



«تقدیم به تمامی مادران سرزینم»

بعد از اخذ فیپا براساس اطلاعات فیپا کامل می شود.

سرشناسه: رازقی، ناصر، ۱۳۱۱. عنوان و نام پدیدآورنده: فیلترها در تصفیه آب (دانش و مهندسی) / نویسندگان: ناصر رازقی، پیمان روحانی، احسان مانی، رؤیا منصوری. مشخصات نشر: تهران: ؟؟؟؟؟؟؟؟؟؟؟ مشخصات ظاهری: [۴۵۶] ص. : مصور، جدول، نمودار.
فهرست نویسی براساس اطلاعات فیپا. موضوع: تصفیه آب، آلاینده‌های میکروبی و شیمیایی، زدایش جامدات معلق، زدایش ترکیبات محلول، زلزلها، فیلترها، میکروبخشی. شناسه افزوده: روحانی، پیمان، ۱۳۵۱. شناسه افزوده: مانی، احسان، ۱۳۶۱. شناسه افزوده: منصوری، رویا، ۱۳۵۰ رده‌بندی کنگره: ۱۳۹۲ الف ۶ ر / ۵ / ۷۴۶ TD رده‌بندی دیویی: ۶۲۸/۳۵۱ شماره کتابشناسی ملی: ۳۲۲۶۶۰۱



فیلترها در تصفیه آب (دانش و مهندسی)

نویسندگان: دکتر ناصر رازقی، پیمان روحانی، احسان مانی، رؤیا منصوری

طراح جلد: نازنین قراگوزلو

صفحه آرایي: نازنین قراگوزلو

نوبت چاپ: اول - ۱۳۹۵

شمارگان: ۱۵۰۰ جلد

ناشر:

لیتوگرافی و چاپ:

صحافی:

قیمت: ۶۰۰۰۰ تومان

شابک:

فیلترها در تصفیه آب
(دانش و مهندسی)

نویسندگان

دکتر ناصر رازقی - استاد گروه مهندسی محیط زیست دانشگاه تهران

پیمان روحانی - کارشناس ارشد شرکت نارون آرا

احسان مانی - کارشناس ارشد شرکت پارس جویاب

رؤیا منصوری - کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست



فهرست فصل‌ها

دیباجه	شماره صفحه
پیشگفتار	
فصل اول- آب و توسعه	۲۴
نگاه کلی	۲۴
فرایندهای تصفیه آب	۳۰
گذشته صنعت تصفیه آب	۳۱
کیفیت آب شرب	۳۲
روند تغییر کیفیت منابع آب	۳۳
هدف‌های تصفیه آب برای شرب	۳۴
ترکیب‌های شیمیایی	۳۶
وضعیت فعلی صنعت تصفیه آب	۳۶
استاندارد کیفیت	۳۸
منابع تولید آلاینده‌ها	۳۹
فصل دوم- زدایش آلاینده‌های گازی آب شرب	۴۳
نگاه کلی	۴۳
انتشار گازها در آب	۴۴
آلاینده‌های گازی	۴۷
دی اکسید کربن	۴۷
اکسیژن و نیتروژن	۴۸
سولفید هیدروژن	۴۸
مواد آلی فرار	۴۹
روش‌های زدایش گازها	۵۰
گرم کننده‌های روباز	۵۰
هوازدایی افشانی	۵۰
هوازدایی بشقابی	۵۲
هوازدایی در فشار کمتر از جو	۵۲

شماره صفحه	روش‌های هوادهی	۵-۲
۵۳	هوادهای ثقلی	۱-۵-۲
۵۵	هوادهای تحت فشار	۲-۵-۲
۵۹	معیارها و توجهات در طراحی	۶-۲
۵۹	طراحی هوادهای افشانی	۱-۶-۲
۶۲	طراحی هواده تزریقی	۲-۶-۲
۶۳	طراحی هواده چند بشقابی	۳-۶-۲
۶۴	طراحی هواده برجی (استوانه‌های آکنده)	۴-۶-۲
۶۹	فصل سوم- آلاینده‌های محلول	
۶۹	نگاه کلی	۱-۳
۷۲	مجموع املاح محلول	۲-۳
۷۳	فرایندهای ممبرانی	۳-۳
۷۳	اسمز معکوس	۱-۳-۳
۸۴	الکترو دیالیز	۲-۳-۳
۸۸	فرایندهای نمک‌زدایی گرمایی	۴-۳
۸۹	تقطیر چند مرحله	۱-۴-۳
۹۲	تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای	۲-۴-۳
۹۵	تراکم بخار آب	۳-۴-۳
۹۸	سختی‌گیری از آب	۵-۳
۹۸	قلیابیت و سختی	۱-۵-۳
۱۰۰	روش‌های زدایش کلسیم و منیزیم از آب	۲-۵-۳
۱۰۷	انواع مبادله‌کننده‌های یونی	۳-۵-۳
۱۱۱	هیدرولیک بهره‌برداری	۴-۵-۳
۱۱۳	کاربردهای دیگر مبادله‌کننده‌های یونی	۵-۵-۳
۱۱۹	زدایش آهن و منگنز	۶-۳
۱۱۹	زدایش بی‌کربنات آهن	۱-۶-۳
۱۲۰	اکسیداسیون آهن توسط کلر	۲-۶-۳
۱۲۱	زدایش آهن توسط ژئولیت	۳-۶-۳
۱۲۱	زدایش آهن در فرایند سختی‌گیری با آهک و سود	۴-۶-۳
۱۲۱	زدایش هیدروکسید فریک	۵-۶-۳
۱۲۲	زدایش سولفات فرو	۶-۶-۳

۷-۶-۳	زدایش آهن کلوییدی و آهن همراه با مواد آلی	۱۲۲
۸-۶-۳	زدایش بیکربنات منگنز	۱۲۲
۹-۶-۳	زدایش منگنز کلوییدی و منگنز همراه با مواد آلی	۱۲۳
۷-۳	زدایش آرسنیک	۱۲۴
۸-۳	زدایش سیلیس	۱۲۵
۹-۳	خوردگی و رسوب	۱۲۷
۱-۹-۳	مبارزه با خوردگی	۱۲۹
۱۰-۳	کاربرد کربن فعال	۱۳۰
۱-۱۰-۳	گرانول کربن فعال	۱۳۴
۲-۱۰-۳	اصلاح فیلترهای تند	۱۳۷
۳-۱۰-۳	اصول بهره‌برداری	۱۳۹
۴-۱۰-۳	احیا گرانول	۱۴۳
	فصل چهارم- آلاینده‌های معلق	۱۴۵
۱-۴	نگاه کلی	۱۴۵
۲-۴	ذرات معلق در آب	۱۴۶
۱-۲-۴	کدورت	۱۴۶
۲-۲-۴	رنگ و مواد آلی	۱۴۷
۳-۲-۴	طعم و بو	۱۴۷
۴-۲-۴	میکروب‌ها	۱۴۸
۳-۴	فرایند دلمه‌سازی- ذره‌سازی	۱۵۰
۱-۳-۴	طراحی واحد اختلاط سریع	۱۵۲
۲-۳-۴	اختلاط مکانیکی	۱۵۳
۳-۳-۴	اختلاط در خط	۱۵۴
۴-۳-۴	اختلاط افشانی در خط	۱۵۵
۵-۳-۴	اختلاط سریع ملخی در خط	۱۵۵
۶-۳-۴	اختلاط با هوا	۱۵۶
۷-۳-۴	اختلاط سریع هیدرولیکی	۱۵۶
۸-۳-۴	طراحی واحد تولید ذره	۱۵۷
۴-۴	زالاسازی	۱۶۴
۱-۴-۴	اصول کلی زالاسازی	۱۶۴
۲-۴-۴	زالاسازهای مستطیلی با جریان افقی	۱۶۸

۳-۴-۴	زالاسازهای با جریان افقی و مقطع دایره	۱۶۹
۴-۴-۴	زالاسازهای لوله‌ای	۱۷۰
۵-۴-۴	زالاساز اکتی فلو	۱۷۳
۶-۴-۴	زالاسازهای صفحه‌ای	۱۷۵
۷-۴-۴	زالاساز یا پتوی لجن	۱۷۶
۸-۴-۴	زالاساز تماسی یا اکسیلاتور	۱۷۷
۹-۴-۴	زالاسازهای ضربه‌ای	۱۷۷
۱۰-۴-۴	شناورسازی	۱۸۱
۱۱-۴-۴	راهنمای انتخاب زالاساز	۱۹۰
۵-۴	نتیجه‌گیری	۱۹۱
	فصل پنجم- فیلترهای ماسه‌ای کند	۱۹۳
۱-۵	نگاه کلی	۱۹۳
۲-۵	عملکرد و کاربرد	۱۹۶
۳-۵	هیدرولیک	۱۹۷
۴-۵	معیارهای طراحی	۱۹۸
۱-۴-۵	شبکه زهکشی	۲۰۳
۲-۴-۵	کنترل میزان آب	۲۰۵
۳-۴-۵	اندازه‌گیری فشار آب	۲۰۶
۴-۴-۵	ماسه بستر فیلتر	۲۰۷
۵-۴-۵	ابعاد فیلتر	۲۰۸
۵-۵	راهنمایی‌های کلی	۲۱۵
۱-۵-۵	بار سطحی	۲۱۵
۲-۵-۵	شبکه زهکشی	۲۱۵
۳-۵-۵	طرح شبکه زهکش	۲۱۶
۴-۵-۵	ویژگی ماسه و شن	۲۱۹
۵-۵-۵	اندازه‌گیری میزان آب	۲۲۰
۶-۵	بهره‌برداری و نگهداری	۲۲۴
۱-۶-۵	شروع کار یک فیلتر	۲۲۴
۲-۶-۵	لایه‌برداری	۲۲۷
۳-۶-۵	شستشوی ماسه	۲۲۷
۴-۶-۵	ماسه‌ریزی دوباره	۲۲۸

												
۵-۶-۵	پایش کیفیت آب تولیدی	۲۲۸	۵-۹-۶	فیلترهای خود بکواش	۲۷۵	۷-۱۰-۱	رسوب گذاری روی ممبران	۳۳۲	فصل دهم- توجهات اساسی در طراحی			۴۰۹
۷-۵	نوآوری های فیلترهای کند	۲۲۸	۱۰-۶	طراحی فیلترها	۲۷۷	۷-۱۰-۲	بهره برداری از نانوفیلترها	۳۳۷	نگاه کلی			۴۰۹
۵-۷-۱	فیلتر درشت دانه	۲۲۹	۶-۱۰-۱	شن بستر	۲۷۹	۷-۱۰-۳	ساختار نانوفیلترها	۳۳۸	ظرفیت تصفیه خانه			۴۱۱
۵-۷-۲	روکش ماسه	۲۳۱	۶-۱۰-۲	شبکه زهکش زیر بستر	۲۸۱	۷-۱۰-۴	دفع پساب	۳۴۰	کیفیت و فرایندهای زدایش			۴۱۲
۵-۷-۳	پیش ازن زنی	۲۳۲	۶-۱۰-۳	کانال جمع آوری آب بکواش	۲۸۳	فصل هشتم- میکرو بکشی			دیاگرام فرایندهای تصفیه			۴۱۸
۵-۷-۴	اصلاحات سطح فیلتر	۲۳۲	۶-۱۰-۴	ابعاد و تعداد فیلترها	۲۸۵	نگاه کلی			بهره برداری و نگهداری			۴۳۱
۵-۷-۵	شیار زدن	۲۳۲	۶-۱۱	بهره برداری	۲۸۶	کلرزنی			توجهات برای ایمنی			۴۳۱
۵-۸	مطالعات آزمایشی	۲۳۳	۶-۱۱-۱	گلوله های گل	۲۸۸	تاسیسات دی اکسید کلر			قدرت و تاسیسات کنترل			۴۳۱
۵-۸-۱	ساخت تاسیسات آزمایشی	۲۳۴	۶-۱۱-۲	جایگزینی مصالح فیلتر	۲۸۸	ازن			سطح خودکاری			۴۳۲
فصل ششم- فیلترهای تند دانه ای			۶-۱۱-۳	بکواش فیلتر	۲۸۹	پرمنگنات پتاسیم			مهندسی انسان			۴۳۲
۶-۱	نگاه کلی	۲۳۷	۶-۱۱-۴	سایش با هوا	۲۹۰	پرتو فرابنفش			توجهات در نگهداری از تاسیسات			۴۳۳
۶-۲	عملکرد فیلترها	۲۳۸	۶-۱۲	فیلتر آزمایشی یا آزمایشگاهی	۲۹۰	فصل نهم- تصفیه لجناب ها در تصفیه خانه آب			تعیین محل احداث تصفیه خانه			۴۳۳
۶-۳	میکروب ها	۲۳۹	۶-۱۳	ارتقای عملکرد تصفیه خانه های موجود	۲۹۱	نگاه کلی			معیارهای انتخاب زمین محل احداث تصفیه خانه			۴۳۶
۶-۴	استقرار واحد فیلتر	۲۴۳	۶-۱۴	بازچرخانی آب در تصفیه خانه	۲۹۳	۹-۱			تاسیسات جنبی			۴۳۷
۶-۵	مصالح بستر	۲۴۴	فصل هفتم- فیلترهای ممبرانی			۹-۲			پلان و مقاطع ساختمان های فرایندی و جنبی			۴۳۸
۶-۶	بار هیدرولیکی	۲۴۸	۷-۱	نگاه کلی	۲۹۹	۹-۳			استقرار واحدهای فرایندی			۴۳۹
۶-۶-۱	کنترل دستی میزان بار هیدرولیکی	۲۴۹	۷-۲	ویژگی های ممبران ها	۳۰۴	۹-۴			پلان استقرار واحدها و پروفیل هیدرولیکی			۴۴۱
۶-۶-۲	کنترل خودکار	۲۴۹	۷-۲-۱	شکل ممبران ها	۳۰۶	۹-۵			تاسیسات برقی تصفیه خانه			۴۴۵
۶-۷	فیلترهای تند تحت فشار	۲۵۷	۷-۲-۲	ممبران ها	۳۰۷	۹-۵-۱			تاسیسات کنترل و ابزار دقیقی تصفیه خانه			۴۴۶
۶-۷-۱	تاسیسات زهکش فیلترهای تند تحت فشار	۲۶۱	۷-۲-۳	پلیمرهای مورد استفاده جهت ساخت	۳۰۸	۹-۶			برآورد هزینه ها			۴۴۸
۶-۷-۲	بهره برداری	۲۶۲	۷-۳	هیدرولیک فیلترهای ممبرانی	۳۰۹	۹-۶-۱			تهیه اسناد مناقصه			۴۴۹
۶-۸	هیدرولیک فیلترها	۲۶۲	۷-۴	توجهات طراحی	۳۱۳	۹-۶-۲			گزارش مطالعات			۴۵۱
۶-۸-۱	معادله کارمن	۲۶۲	۷-۵	گرفتگی	۳۱۹	۹-۶-۳			پیوست			۴۵۳
۶-۸-۲	معادله رز	۲۶۴	۷-۵-۱	روش های مبارزه با گرفتگی	۳۲۱	۹-۶-۴			فهرست شماره ۱			۴۵۳
۶-۸-۳	فشار منفی در فیلترها	۲۶۶	۷-۶	بکواش	۳۲۲	۹-۶-۵			فهرست شماره ۲			۴۵۴
۶-۹	بکواش	۲۶۷	۷-۶-۱	شستشوی شیمیایی ممبران	۳۲۳	۹-۶-۶			مراجع			۴۵۵
۶-۹-۱	روش های انجام بکواش	۲۶۸	۷-۷	توجهات کلی	۳۲۵	۹-۶-۷						
۶-۹-۲	شستشوی سطحی	۲۶۹	۷-۸	فرایندهای پیش تصفیه	۳۲۶	۹-۶-۸						
۶-۹-۳	هیدرولیک بکواش	۲۷۱	۷-۹	بهره برداری	۳۲۷	۹-۶-۹						
۶-۹-۴	سودمندی فیلتر	۲۷۵	۷-۱۰	نانو فیلتر	۳۲۸	۹-۶-۱۰						

فهرست جدول‌ها

شماره صفحه

فصل اول- آب و توسعه

شماره ۱-۱	منابع مولد آلاینده‌های شیمیایی	۳۶
شماره ۱-۲	ضریب جذب بعضی از گازها در آب	۴۵
شماره ۲-۲	غلظت هوا، اکسیژن و نیتروژن در شرایط اشباع بر حسب میلی لیتر در لیتر آب	۴۸
شماره ۳-۲	غلظت سولفید هیدروژن در آب در شرایط اشباع	۴۹
شماره ۴-۲	ضرایب ثابت بعضی از ترکیب‌ها در قانون هنری (برای دمای ۲۰ درجه سلسیوس)	۵۰

فصل سوم- آلاینده‌های محلول

شماره ۱-۳	طبقه‌بندی آب‌ها از نظر نمک‌های محلول	۶۹
شماره ۲-۳	شکل متعارف و منابع آلاینده‌های معدنی خطرناک	۷۰
شماره ۳-۳	فرایندهای زدایش آلاینده‌های معدنی خطرناک بر حسب درصد	۷۱
شماره ۴-۳	درصد زدایش نسبی بعضی از آلاینده‌های آلی	۷۲
شماره ۵-۳	درصد افزایش نمک‌ها در پساب در رابطه با درصد بازیافت	۷۴
شماره ۶-۳	میزان بازیافت و تعداد المان‌ها در هر استوانه فشار	۷۹
شماره ۳-۷	ویژگی‌های تقطیر چند مرحله‌ای	۹۰
شماره ۳-۸	ویژگی‌های یک نمونه از تیخیر ناگهانی چند مرحله‌ای	۹۴
شماره ۹-۳	میزان مصرف انرژی الکتریکی و گرمایی در تکنولوژی‌های نمک‌زدایی	۹۵
شماره ۱۰-۳	ویژگی‌های تاسیسات تراکم بخار	۹۷
شماره ۱۱-۳	مواد و مصالح ساخت تاسیسات تراکم بخار	۹۷
شماره ۱۲-۳	ضرایب تبدیل	۱۰۶
شماره ۱۳-۳	ویژگی‌های یک نوع ژئولیت برای آب‌های با سختی حدود ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر	۱۰۸
شماره ۱۴-۳	ظرفیت کاتیونی سه نوع ژئولیت	۱۰۹
شماره ۱۵-۳	ویژگی‌های مبادله‌کننده‌های کاتیونی	۱۱۰
شماره ۱۶-۳	فرایندهای حذف آهن و منگنز از آب	۱۲۳
شماره ۱۷-۳	عملکرد ممبران‌ها در زدایش آلاینده‌ها و آرسنیک	۱۲۴
شماره ۱۸-۳	ضریب ثابت A	۱۲۸
شماره ۱۹-۳	ضریب ثابت B	۱۲۸
شماره ۲۰-۳	تصفیه‌خانه‌های آب دارای تاسیسات گرانول فعال (امریکا ۱۹۷۰)	۱۳۱
شماره ۲۱-۳	گزینه‌های محل تزریق پودر کربن فعال	۱۳۳
شماره ۲۲-۳	ویژگی‌های چند نوع گرانول کربن فعال در امریکا	۱۱۲۵
شماره ۳-۲۳	انواع محفظه تاسیسات گرانول کربن جاذب	۱۳۹

فصل چهارم- آلاینده‌های معلق

شماره ۱-۴	حدود اندازه گروهی از آلاینده‌ها	۱۴۶
شماره ۲-۴	عوامل بیماری‌زا و نام بیماری در فاضلاب‌های شهری	۱۴۸
شماره ۳-۴	دمای آب و ویسکوزیته آن	۱۵۳
شماره ۴-۴	ضریب اصلاح زمان ماند ($t = \frac{V}{Q}$)	۱۵۳

فهرست جدول‌ها

شماره ۴-۵	ویژگی‌های واحد اختلاط سریع	۱۵۵
شماره ۴-۶	اختلاط سریع هیدرولیکی توسط سرریز	۱۵۷
شماره ۴-۷	معیارهای طراحی واحد اختلاط سریع و تولید ذره برای شکل شماره ۴-۷	۱۵۹
شماره ۴-۹	معیارهای طراحی واحد ذره‌سازی	۱۶۰
شماره ۴-۹	معیارهای طراحی ذره‌سازها	۱۶۳
شماره ۴-۱۰	مقایسه عملکرد سه نوع ذره‌ساز	۱۶۳
شماره ۴-۱۱	ارزش عددی ضریب دراگ در معادله نیوتن	۱۶۶
شماره ۴-۱۲	معیارهای طراحی ته‌نشین کننده‌های با جریان عمودی	۱۷۲
شماره ۴-۱۳	معیارهای طراحی واحد شناورسازی با کمک هوای محلول	۱۸۶
شماره ۴-۱۴	عملکرد فرایند شناورسازی در زدایش آلاینده‌ها	۱۸۹
شماره ۴-۱۵	مزایا و محدودیت‌های زلالسازهای مستطیلی	۱۹۰
شماره ۴-۱۶	مزایا و محدودیت‌های زلالسازهای با جریان روبه بالا و شعاعی	۱۹۰
شماره ۴-۱۷	مزایا و محدودیت‌های زلالسازهای با پتوی لجن	۱۹۱

فصل پنجم- فیلترهای ماسه‌ای کند

شماره ۵-۱	سقف آلاینده‌های آب خام برای فیلتر کند	۱۹۶
شماره ۵-۲	عملکرد فیلتر ماسه‌ای کند	۱۹۷
شماره ۵-۳	اثر بار سطحی روی درصد زدایش کیست و کلیفرم (مطالعات موردی)	۲۱۵
شماره ۵-۴	رابطه سطح تحت تأثیر لوله فرعی زهکش و قطر لوله‌ها	۲۱۹
شماره ۵-۵	اندازه موثر ماسه و درصد زدایش باکتری‌ها از آب تولیدی	۲۱۹
شماره ۵-۶	ضریب Cd برای اندازه گیری میزان جریان	۲۲۱
شماره ۵-۷	برنامه کاری متصدی فیلتر ماسه‌ای کند	۲۲۴
شماره ۵-۸	معیارهای طراحی و عملکرد فیلترهای درشت دانه	۲۳۱
شماره ۵-۹	ویژگی‌های روکش مناسب	۲۳۱

فصل ششم- فیلترهای تند دانه‌ای

شماره ۶-۱	کلیفرم آب خام و فرایندهای زدایش آنها برای تولیدآبی با یک کلیفرم در ۱۰۰ میلی لیتر	۲۳۹
شماره ۶-۲	حدود دانه‌بندی فیلترهای دولایه (به میلیمتر)	۲۴۶
شماره ۶-۳	حدود دانه‌بندی مصالح فیلتر مخلوط (به میلیمتر)	۲۴۷
شماره ۶-۴	ویژگی‌های فیلترهای ایستاده یا عمودی	۲۵۹
شماره ۶-۵	ویژگی‌های فیلترهای افقی با قطر ۲/۴۴ متر	۲۵۹
شماره ۶-۶	آنالیز دانه‌بندی و نتایج محاسبات (مثال شماره ۶-۱)	۲۶۵
شماره ۶-۷	معیارهای طراحی تاسیسات بک‌واش فیلترهای دانه‌ای	۲۶۹
شماره ۶-۸	آنالیز دانه‌بندی ماسه و ویژگی‌های لازم – مثال شماره ۶-۳	۲۷۴
شماره ۶-۹	اندازه گرانول‌ها و ضخامت بستر	۲۸۰
شماره ۶-۱۰	ویژگی‌های ماسه مثال شماره ۶-۴	۲۸۱
شماره ۶-۱۱	ترکیب‌های شیمیایی برای مبارزه با گل‌وله‌های گل فیلترها	۲۸۹
شماره ۶-۱۲	وضعیت شیرهای بهره‌برداری در عملیات مختلف	۲۹۰

فهرست جدول‌ها

شماره صفحه

فصل هفتم - فیلترهای ممبرانی

شماره ۱-۷	آلاینده‌های آب شرب و اندازه تقریبی آنها
شماره ۲-۷	توانایی نسبی زدایش آلاینده‌ها توسط ممبران‌ها
شماره ۳-۷	شکل و کاربرد شش نوع فیلتر ممبرانی
شماره ۴-۷	بعضی از ویژگی‌های ممبران‌ها
شماره ۵-۷	ویژگی‌های سه نوع ممبران فیبری مورد استفاده
شماره ۶-۷	وضعیت شیرهای استوانه فشار در شرایط بهره‌برداری
شماره ۷-۷	روش‌های مبارزه با انواع گرفتگی و عملکرد قابل پیش‌بینی
شماره ۸-۷	چند ترکیب مورد استفاده برای شستشو
شماره ۹-۷	ویژگی‌های میکرو و اولترا فیلترهای لوله ای شرکت کوچ - ممبران‌ها و مدول‌ها
شماره ۱۰-۷	ویژگی‌های میکرو و اولترا فیلترهای لوله ای شرکت پی سی آی - ممبران‌ها و مدول‌ها
شماره ۱۱-۷	ممبران‌ها و زدایش آلاینده‌ها
شماره ۱۲-۷	مقایسه نسبی درصد دفع آلاینده‌ها
شماره ۱۳-۷	ویژگی‌های آب خام مربوط به دیاگرام فرایندهای تصفیه با نانوفیلتر شکل شماره ۷-۱۳
شماره ۱۴-۷	عملکرد تاسیسات نشان داده شده در شکل ۷-۱۴
شماره ۱۵-۷	عملکرد تاسیسات نشان داده شده برای شکل شماره ۷-۱۵
شماره ۱۶-۷	ویژگی‌های طراحی تصفیه‌خانه مجهز به نانوفیلترها (فرانسه)
شماره ۱۷-۷	عملکرد چند نوع ممبران یا ویژگی نانوفیلترها

فصل هشتم - میکروبیکنشی

شماره ۱-۸	پتانسیل اکسیداسیون میکروبیکنش‌های مختلف
شماره ۲-۸	ضریب نسبی میکروبیکنشی ازن و کلر
شماره ۳-۸	حلالیت گاز ازن در آب
شماره ۴-۸	مقایسه نسبی دستگاه‌های تولید ازن
شماره ۵-۸	معیارهای انتخاب واحد تماس ازن
شماره ۶-۸	پتانسیل اکسید کنندگی چند ترکیب نسبت به کلر
شماره ۷-۸	اثربخشی چند ترکیب
شماره ۸-۸	مقایسه میکروبیکنش‌های شیمیایی و پرتو فرابنفش
شماره ۹-۸	ویژگی‌های لامپ‌های تولید پرتو فرابنفش
شماره ۱۰-۸	مقایسه دو نوع لامپ مورد استفاده در صنعت آب شرب
شماره ۱۱-۸	مقایسه دوروش کنترل کار
شماره ۱۲-۸	زمان لازم برای شروع و شروع دوباره
شماره ۱۳-۸	برآورد هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری تاسیسات
شماره ۱۴-۸	میزان پرتو فرابنفش لازم بر حسب مگاژول در سانتیمتر مربع برای غیرفعال سازی (بدون ضریب اطمینان)

فصل نهم - تصفیه لجناب‌ها در تصفیه‌خانه آب

شماره ۱-۹	میزان لجناب نسبت به میزان آب مورد تصفیه
-----------	---

فهرست جدول‌ها

شماره ۲-۹	ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی لجناب‌های تصفیه‌خانه متعارف آب
شماره ۳-۹	ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی لجناب سختی‌گیری توسط آهک
شماره ۴-۹	ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب بکواش فیلترها
شماره ۵-۹	عملکرد و معیارهای طراحی تغلیظ کننده ثقلی
شماره ۶-۹	عملکرد متعارف و معیارهای طراحی واحد شناورسازی
شماره ۷-۹	دستاوردهای یک مطالعه موردی کاربرد فیلتر مکشی در یک تصفیه‌خانه آب با ظرفیت ۳۸ هزار مترمکعب در روز
شماره ۸-۹	عملکرد تغلیظ توسط سانتی‌فیوژ
شماره ۹-۹	عملکرد فرایندهای مختلف تغلیظ لجناب
شماره ۱۰-۹	حدود غلظت جامدات در کیک تولیدی در فناوری‌های آبگیری

فصل دهم - توجهات اساسی در طراحی

شماره ۱-۱۰	فرایندهای زدایش کدورت از آب
شماره ۲-۱۰	آلاینده‌های معدنی و فرایندهای زدایش
شماره ۳-۱۰	فرایندهای زدایش مواد آلی انسان ساخت
شماره ۴-۱۰	فرایندهای زدایش مواد مولد طعم و بو
شماره ۵-۱۰	فرایندهای زدایش رنگ واقعی آب
شماره ۶-۱۰	فرایندهای زدایش تری‌هالومتان‌ها
شماره ۷-۱۰	فرایندهای زدایش مواد آلی کربن دار
شماره ۸-۱۰	فرایندهای زدایش ذرات معلق بیماری‌زا
شماره ۹-۱۰	آلاینده‌ها و فرایندهای زدایش
شماره ۱۰-۱۰	محدوده آلاینده‌ها در آب خام (مثال ۱۰-۱)
شماره ۱۱-۱۰	آلاینده‌ها و فرایندهای موثردر حذف آنها (مثال ۱۰-۱)
شماره ۱۲-۱۰	سودمندی حذف آلاینده‌های مختلف در گزینه‌های پیشنهادی
شماره ۱۳-۱۰	مشخصات واحد شناورسازی به کمک هوای محلول تحت فشار (مثال شماره ۱۰-۱)
شماره ۱۴-۱۰	مشخصات واحد تولید ذره و زلال سازی (مثال شماره ۱۰-۱)
شماره ۱۵-۱۰	مشخصات واحد اختلاط سریع (مثال شماره ۱۰-۱)
شماره ۱۶-۱۰	مشخصات فیلترهای دولایه (مثال شماره ۱۰-۱)
شماره ۱۷-۱۰	مشخصات میکروفیلتر (مثال شماره ۱۰-۱)
شماره ۱۸-۱۰	مشخصات واحد تولید ذره (مثال شماره ۱۰-۱)
شماره ۱۹-۱۰	مشخصات واحد ته‌نشینی مستطیلی (مثال شماره ۱۰-۱)
شماره ۲۰-۱۰	مشخصات حوضچه تماس (مثال شماره ۱۰-۱)
شماره ۲۱-۱۰	مشخصات واحد میکرواسکرین (مثال شماره ۱۰-۱)
شماره ۲۲-۱۰	محدوده حداکثر سرعت مجاز
شماره ۲۳-۱۰	ضریب زبری و عدد رینولتز در معادله دارسی وایسباخ
شماره ۲۴-۱۰	زبری سطوح داخلی لوله‌ها برای جنس‌های مختلف
شماره ۲۵-۱۰	مقادیر K

فهرست شکارها

شماره صفحه

فصل اول- آب و توسعه

شماره ۱-۱ مدار بسته رفاه عمومی

فصل دوم- زدایش آلاینده‌های گازی آب شرب

شماره ۱-۲ شیب غلظت و فشار گاز دو لایه گاز و آب

شماره ۲-۲ تناسب قلیاییت، پی اچ و دی اکسیدکربن

شماره ۳-۲ جزییات یک هوازدای افشانی عمودی

شماره ۴-۲ جزییات یک هوازدای در خلا

شماره ۵-۲ هواده‌های ثقلی: (۱) پله‌ای (۲) صفحه شیبدار (۳) چند بشقابی (۴) برجی

شماره ۶-۲ ابعاد و اندازه‌های هواده بشقابی همراه با قلوه کک

شماره ۷-۲ ویژگی‌های یک برج هواده با دستگاه دمنده هوا

شماره ۸-۲ هواده افشانی و نازل‌ها (۱) روزنه‌ها روی لوله (۲) نازل‌های پیش ساخته

شماره ۹-۲ هیدرولیک و پروفیل هیدرولیکی نازل‌های ثابت (هواده افشانی)

شماره ۱۰-۲ مقطع یک هواده تزریقی با عمق کم آب

شماره ۱۱-۲ هوادهی تحت فشار

شماره ۱۲-۲ تصاویر سیستم‌های مختلف هوادهی: ۱- پله‌ای (آبشاری) ۲- چند بشقابی ۳- برجی ۴- صفحه‌ای ۵- افشانه‌ای

شماره ۱۳-۲ اثر نوع ترکیب مورد زدایش روی ویژگی‌های استوانه آکنده

شماره ۱۴-۲ روابط سودمندی زدایش و ضخامت مواد پرکننده

شماره ۱۵-۲ تأثیر دمای آب روی طراحی برج آکنده

شماره ۱۶-۲ دیاگرام تاسیسات اصلی یک ستون آکنده

شماره ۱۷-۲ شکل‌های مصالح پلاستیکی برای استوانه آکنده

شماره ۱۸-۲ دیاگرام فرایندهای جذب فاز گازی آلاینده‌های مورد بحث توسط کربن فعال

فصل سوم- آلاینده‌های محلول

شماره ۱-۳ واحدهای اساسی فرایندهای نمک‌زدایی ممبرانی با روش اسمزمعکوس

شماره ۲-۳ تعادل حجمی و جرمی

شماره ۳-۳ ترتیب پساب - طرح دو مرحله ۴:۲

شماره ۴-۳ سه مرحله ای ۴:۲:۱

شماره ۵-۳ ترتیب آب تولیدی دو مرحله

شماره ۶-۳ ابزار کنترل کار فرایندها در اسمز معکوس (تاسیسات پیشنهادی یک شرکت سازنده ممبران)

شماره ۷-۳ دیاگرام عبور کاتیون‌ها و آنیون‌ها از ممبران‌ها در الکترولیز (یک واحد)

شماره ۸-۳ دیاگرام الکترودیالیز سه مرحله‌ای

شماره ۹-۳ دیاگرام تقطیر سه مرحله‌ای

شماره ۱۰-۳ دیاگرام تقطیر چند مرحله‌ای

شماره ۱۱-۳ دیاگرام تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای

فهرست شکارها

شماره ۳-۱۲ دیاگرام تبخیر ناگهانی - یکبار گردش آب

شماره ۳-۱۳ دیاگرام تبخیر ناگهانی با گردش دوباره

شماره ۳-۱۴ دیاگرام تاسیسات اصلی تراکم بخار

شماره ۳-۱۵ دیاگرام سختی - قلیاییت - شوری در آب

شماره ۳-۱۶ دیاگرام‌های تاسیسات سختی‌گیری

شماره ۳-۱۷ مبادله‌کننده‌های هم جهت

شماره ۳-۱۸ مبادله‌کننده‌های دوبخشی

شماره ۳-۱۹ مبادله‌کننده‌های تقابلی

شماره ۳-۲۰ دیاگرام فرایندهای زدایش قلیاییت

شماره ۳-۲۱ دیاگرام جریان در تبادل یونی هیدروژنی و قلیا

شماره ۳-۲۲ دیاگرام جریان در تبادل یونی هیدروژنی

شماره ۳-۲۳ زدایش آهن و منگنز توسط هوای تحت فشار و فیلتراسیون در خط

شماره ۳-۲۴ زدایش عنصرهای مولد سختی و سیلیس با استفاده از آهک و سود در دمای بالا و زلالسازی با پتوی لجن

شماره ۳-۲۵ روابط اندازه d۹۰ مصالح بر حسب میلیمتر و میزان آب بکواش برای آب با دمای ۲۰ درجه سلسیوس

شماره ۳-۲۶ ویژگی‌های کلی کانال‌های بکواش

شماره ۳-۲۷ انواع ترتیب استقرار فیلترهای گرانول کربن فعال

شماره ۳-۲۸ مقطع یک فیلتر ثقلی بتنی گرانول کربن فعال

شماره ۳-۲۹ دیاگرام تاسیسات احیای گرانول کربن فعال

شماره ۳-۲۹ دیاگرام تاسیسات احیای گرانول کربن فعال

فصل چهارم- آلاینده‌های معلق

شماره ۴-۱ کدورت، کلروفیل آ و فرایندهای زدایش

شماره ۴-۲ تاسیسات اختلاط سریع با هم زن ملخی

شماره ۴-۳ واحد اختلاط سریع با هم‌زن توربینی

شماره ۴-۴ اختلاط افشانی در خط لوله

شماره ۴-۵ اختلاط سریع در لوله - نوع ملخی

شماره ۴-۶ مقطع طولی تاسیسات هم‌زن در واحد تولید ذره

شماره ۴-۷ پلان کلی واحدهای اختلاط سریع و ذره‌ساز

شماره ۴-۹ مقطع حوضچه تولید ذره با پره‌های عمودی

شماره ۴-۹ مقطع و پلان دو نوع ذره‌ساز هیدرولیکی

شماره ۴-۱۰ مقطع راکتور تماس جامدات

شماره ۴-۱۱ ضریب دراگ در معادله نیوتن

شماره ۴-۱۲ یک زلال‌ساز با ته‌نشین کننده لوله‌ای

شماره ۴-۱۳ زلال‌ساز با جریان رو به بالا با لوله‌های ته‌نشینی

شماره ۴-۱۴ واحدهای فرایندی - هیدرولیکی اکتی فلو

۹۳

۹۴

۹۶

۹۸

۱۰۳

۱۱۱

۱۱۲

۱۱۳

۱۱۴

۱۱۶

۱۱۷

۱۲۱

۱۲۶

۱۳۶

۱۳۶

۱۳۸

۱۴۰

۱۴۳

۱۵۰

۱۵۴

۱۵۴

۱۵۵

۱۵۶

۱۵۸

۱۵۹

۱۶۰

۱۶۱

۱۶۲

۱۶۶

۱۷۱

۱۷۴

۱۷۵

فهرست شکاها

شماره ۴-۱۵	ته نشین کننده صفحه ای
شماره ۴-۱۶	مقطع یک اکسلاتور طرح دگرمون
شماره ۴-۱۷	سوپر پولساتور شرکت دگرمون
شماره ۴-۱۸	بخش های اصلی یک واحد شناور سازی
شماره ۴-۱۹	رابطه سرعت بالا آمدن و اندازه حباب
شماره ۴-۲۰	نتایج میزان کاربرد هوا روی کدورت آب خروجی واحد شناور سازی
شماره ۴-۲۱	رابطه بین فشار هوای روی آب در حوضچه تحت فشار و غلظت محلول آن در آب
شماره ۴-۲۲	مخزن آکنده برای اشباع آب با هوا
فصل پنجم- فیلترهای ماسه ای کند	
شماره ۵-۱	مقطع یک فیلتر ماسه ای کند
شماره ۵-۲	تغییر سطح آب در سراب و پایاب فیلتر ماسه ای کند
شماره ۵-۳	افت فشار در فیلتر
شماره ۵-۴	دیاگرام فرایندهای تصفیه در استفاده از فیلتر ماسه ای کند
شماره ۵-۵	ترتیب کنترل جریان آب بین واحدهای مختلف در یک پروژه در حال بهره برداری
شماره ۵-۶	کلیات درون آر برای کنترل ورودی
شماره ۵-۷	کلیات برون بر برای کنترل خروجی آب
شماره ۵-۸	پلان و مقطع تاسیسات درون آر برای اجتناب از به هم خوردن ماسه روی فیلتر و لایه زنده و توزیع بهتر آب خام در سطح فیلتر
شماره ۵-۹	پلان و مقطع یک فیلتر ماسه ای کند
شماره ۵-۱۰	لوله درون آر، برون آر و سرریز در یک فیلتر ماسه ای کند
شماره ۵-۱۱	جریان سنج و کنترل (میزان آب خام) ورودی به فیلتر (کنترل بالادست)
شماره ۵-۱۲	نوعی استقرار فیلتر با مقطع دایره و مصالح مورد استفاده آجر و یا بلوک های سیمانی است.
شماره ۵-۱۳	نوعی استقرار فیلتر با مقطع مربع و ساخت با مصالح فروسیمان
شماره ۵-۱۴	نوعی استقرار فیلترها با مقطع دایره و با مصالح فروسیمان
شماره ۵-۱۵	نوعی استقرار فیلتر با مقطع مربع مستطیل و مصالح بتن مسلح
شماره ۵-۱۶	نوعی استقرار فیلتر با مقطع مربع مستطیل و مصالح بتن مسلح
شماره ۵-۱۷	هیدرولیک در فرآیند فیلتراسیون
شماره ۵-۱۸	فاصله لوله های فرعی و جریان آرام آب
شماره ۵-۱۹	انواع زهکش فیلترهای ماسه ای کند
شماره ۵-۲۰	افت فشار در وانتوری متر و روزنه
شماره ۵-۲۱	پایاب با سرریز لوله یا مقطع دایره
شماره ۵-۲۲	شیرهای لازم یک واحد فیلتر ماسه ای کند با کنترل خروجی
شماره ۵-۲۳	شیرهای لازم یک واحد فیلتر ماسه ای کند با کنترل ورودی
شماره ۵-۲۴	ابزار کاردستی در بهره برداری

شماره صفحه

۱۷۶
۱۷۸
۱۷۹
۱۸۲
۱۸۳
۱۸۴
۱۸۵
۱۸۷
۱۹۴
۱۹۷
۱۹۸
۱۹۹
۲۰۰
۲۰۱
۲۰۱
۲۰۲
۲۰۳
۲۰۵
۲۰۶
۲۱۰
۲۱۱
۲۱۲
۲۱۳
۲۱۴
۲۱۷
۲۱۸
۲۱۹
۲۲۲
۲۲۳
۲۲۵
۲۲۵
۲۲۶

فهرست شکاها

شماره ۵-۲۵	مراحل ماسه ریزی دوباره در فیلتر
شماره ۵-۲۶	فیلتر درشت دانه برای پیش تصفیه با سه گزینه جریان آب
شماره ۵-۲۷	ویژگی های درون آر و برون بر یک فیلتر آزمایشی
شماره ۵-۲۸	ویژگی های یک فیلتر پایلوت
فصل ششم- فیلترهای تند دانه ای	
شماره ۶-۱	ساختمان فیلترتند ثقلی و جزئیات شبکه زهکشی آن
شماره ۶-۲	توزیع دانه بندی سه جنس گرانول در فیلتر مخلوط
شماره ۶-۳	کنترل کننده تحت فشار (شرکت سیمپلکس)
شماره ۶-۴	تاسیسات کنترل کار فیلتر تند ثقلی (شرکت بیلدر)
شماره ۶-۵	تولید آب در فیلتر با نرخ ثابت توسط کنترل کننده جریان آب
شماره ۶-۶	تولید آب با نرخ ثابت و حفظ ارتفاع آب روی بستر فیلترها
شماره ۶-۷	تولید آب با نرخ ثابت و حفظ ارتفاع آب ورودی همراه با تغییرات ارتفاع آب روی بستر
شماره ۶-۸	مقطع یک فیلتر با نرخ کاهشی
شماره ۶-۹	مقطع یک فیلتر خود بکواش
شماره ۶-۱۰	کلیات پلان و مقطع یک مجموعه فیلتر سبز (خود بکواش)
شماره ۶-۱۱	دیاگرام سیفون ثیرپیک دگرمون با کنترل پایین دست
شماره ۶-۱۲	نمای یک واحد فیلتر تند تحت فشار
شماره ۶-۱۳	مقطع یک فیلتر عمودی تحت فشار
شماره ۶-۱۴	مقطع یک فیلتر تحت فشار خوابیده (افقی)
شماره ۶-۱۵	چند نوع کلاhek روزنه دار شبکه زهکش
شماره ۶-۱۶	فشار منفی در فیلتر تند ثقلی
شماره ۶-۱۷	روابط دانه بندی، دانسیته نسبی و میزان آب بکواش در ۲۰ درجه سلسیوس
شماره ۶-۱۸	تاسیسات شستشوی سطحی پالمر
شماره ۶-۱۹	تاسیسات نصب شده شستشوی سطحی
شماره ۶-۲۰	بستر فیلتر در سه حالت فیلتراسیون، فشار منفی و بکواش
شماره ۶-۲۱	ارتباط بین سرعت آب بکواش و انبساط بستر برای یک ماسه با ویژگی های نشان داده شده
شماره ۶-۲۲	بکواش یک فیلتر توسط آب تولیدی سه فیلتر دیگر
شماره ۶-۲۳	کف روزنه دار فیلتر معروف به کف کاذب . جزئیات نگهدارنده کف کاذب هم نشان داده شده است.
شماره ۶-۲۴	منحنی سطح آب بکواش در کانال جمع آوری
شماره ۶-۲۵	دیاگرام فرایندهای تصفیه آب بکواش
شماره ۶-۲۶	یک فیلتر ماسه ای تند در حال بکواش با استفاده از هوا (دگرمون)
شماره ۶-۲۷	تاسیسات کنترل فیلترها (دگرمون)

فهرست شکارها

شماره صفحه

فصل هفتم- فیلترهای ممبرانی

شماره ۷-۱	محدوده عمل فیلترهای ممبرانی	۳۰۱
شماره ۷-۲	کاربرد دو نوع ممبران در تصفیه آب در یک ترین یا ردیف	۳۰۴
شماره ۷-۳	دیاگرام‌های مختلف فرایندی تصفیه آب با استفاده از میکروفیلترها	۳۰۵
شماره ۷-۴	طبقه بندی ممبران‌ها از نظر بافت	۳۰۵
شماره ۷-۵	رژیم‌های هیدرولیکی عمودی و موازی	۳۱۰
شماره ۷-۶	میکروفیلتر در حوضچه آب خام (مستغرق)	۳۱۰
شماره ۷-۷	یک مدول فیبر توخالی	۳۱۴
شماره ۷-۸	دیاگرام تاسیسات اصلی یک استوانه فشار اولترافیلتر (شرکت داو)	۳۱۵
شماره ۷-۹	تاسیسات اولترافیلتر	۳۱۹
شماره ۷-۱۰	دو مدول میکروفیلتر در استوانه فشار	۳۲۸
شماره ۷-۱۱	دیاگرام فرایندهای زدایش رنگ از آب با فناوری نانو فیلتر	۳۳۱
شماره ۷-۱۲	نانو فیلتر لوله ای و تمیز کردن آن توسط گویچه ابری	۳۳۱
شماره ۷-۱۳	دیاگرام فرایندهای سختی‌گیری از آب زیرزمینی با نانوفیلتر (ایالت فلوریدای امریکای شمالی)	۳۳۴
شماره ۷-۱۴	دیاگرام فرایند سختی‌گیری با نانو فیلتر فشرده	۳۳۵
شماره ۷-۱۵	دیاگرام فرایندهای کاربرد نانوفیلتر در انگلستان برای زدایش کلسیم و حشره‌کش	۳۳۶
شماره ۷-۱۶	صفحات پیچیده ممبران‌های نانو و اسمز معکوس	۳۳۹
شماره ۷-۱۷	استوانه‌های فشار در تاسیسات نانوفیلتر	۳۴۱

فصل هشتم- میکروبی‌کشی

شماره ۸-۱	منحنی مربوط به کلر باقیمانده و در حضور آمونیاک	۳۴۷
شماره ۸-۲	دیاگرام تولید دی اکسید کلر با گاز کلر و محلول اسید هیدروکلریک	۳۵۰
شماره ۸-۳	دیاگرام تولید دی اکسید کلر با استفاده از کلر و کلریت سدیم	۳۵۰
شماره ۸-۴	تولید دی اکسید کلر با روش الکترولیز	۳۵۱
شماره ۸-۵	واکنش‌های ازن در آب	۳۵۲
شماره ۸-۶	بخش‌های اساسی کوره تولید ازن	۳۵۳
شماره ۸-۷	سه صنعت تولید ازن	۳۵۵
شماره ۸-۸	تولید اکسیژن با کاهش سریع فشار هوا و افت دما	۳۵۸
شماره ۸-۹	حوضچه تماس مجهز به حباب‌ساز	۳۶۰
شماره ۸-۱۰	دیاگرام تاسیسات لازم استفاده از پرمنگنات پتاسیم (شرکت ام دبلیو اچ امریکا)	۳۶۳
شماره ۸-۱۱	طیف پرتو ها	۳۶۳
شماره ۸-۱۲	فرایند اکسیداسیون و احیا در نیمه هادی در معرض پرتو فرابنفش	۳۶۵
شماره ۸-۱۳	میزان لازم پرتو فرابنفش برای غیرفعال سازی ۹۰-۹۹ درصد بیماریزاها و ترکیب‌ها	۳۶۶
شماره ۸-۱۴	تاسیسات تولید و کاربرد پرتو فرابنفش	۳۶۷

فهرست شکارها

شماره صفحه

فصل نهم- تصفیه لجناب‌ها در تصفیه‌خانه آب

شماره ۹-۱	فرایندهای تصفیه آب و فاضلاب‌های صنعتی تولید شده	۳۷۸
شماره ۹-۲	مقطع یک تغلیظ کننده ثقلی	۳۸۸
شماره ۹-۳	دیاگرام یک تغلیظ کننده تسمه‌ای ثقلی	۳۸۹
شماره ۹-۴	روش‌های طبیعی آبگیری و فرایندهای مؤثر در تعیین ابعاد و اندازه‌ها	۳۹۰
شماره ۹-۵	مقطع یک بسترماسه‌ای آبگیری طبیعی	۳۹۱
شماره ۹-۶	پلان درون‌آر بستر آبگیری	۳۹۱
شماره ۹-۷	تاسیسات کفاب گیری از برکه	۳۹۲
شماره ۹-۸	ایجاد کفیوش در برکه	۳۹۳
شماره ۹-۹	فیلتر فشاری قاب و صفحه - از شرکت ایمکو	۳۹۴
شماره ۹-۱۰	استقرار نمونه فیلترهای فشاری	۳۹۵
شماره ۹-۱۱	استقرار نمونه تسمه‌های فشاری	۳۹۶
شماره ۹-۱۲	دیاگرام تاسیسات اصلی یک فیلتر مکشی و استوانه آبگیری	۳۹۷
شماره ۹-۱۳	مقطع کامل یک دستگاه سانتریفیوژ (شرکت شارپلس)	۳۹۸
شماره ۹-۱۴	استقرار تاسیسات نمونه در روش سانتریفیوژ	۳۹۹
شماره ۹-۱۵	فرایندهای خشک کردن کیک به کمک انرژی گرمایی	۴۰۰
شماره ۹-۱۶	دیاگرام فرایندهای بازیافت سولفات آلومینیوم	۴۰۱
شماره ۹-۱۷	دیاگرام تاسیسات اصلی کاربرد پلیمر	۴۰۳

فصل دهم- توجهات اساسی در طراحی

شماره ۱۰-۱	شکل شماره ۱۰-۱- فرایندهای جداسازی ذرات موجود در آب با اندازه‌های مختلف (بر حسب میکرون)	۴۱۳
شماره ۱۰-۲	شکل شماره ۱۰-۲- نمودار جریان فرایند در یک تصفیه‌خانه متعارف آب سطحی (رودخانه)	۴۱۸
شماره ۱۰-۳	شکل شماره ۱۰-۳- نمودار فرایندهای گزینه اول (مثال شماره ۱۰-۱)	۴۲۴
شماره ۱۰-۴	شکل شماره ۱۰-۴- نمودار فرایندی گزینه دوم (مثال شماره ۱۰-۱)	۴۲۴
شماره ۱۰-۵	شکل شماره ۱۰-۵- نمودارفرایندی گزینه سوم (مثال شماره ۱۰-۱)	۴۲۵
شماره ۱۰-۶	شکل شماره ۱۰-۶- نمودارفرایندی گزینه چهارم (مثال شماره ۱۰-۱)	۴۲۶
شماره ۱۰-۷	شکل شماره ۱۰-۷- نمودار حداقل مساحت مورد نیاز بر حسب ظرفیت یک تصفیه‌خانه متعارف	۴۳۶
شماره ۱۰-۸	شکل شماره ۱۰-۸- انواع استقرار واحدهای فرایندی تصفیه آب	۴۴۰
شماره ۱۰-۹	شکل شماره ۱۰-۹- دیاگرام مودی	۴۴۳

دیاچه



شور، بکارگیری فناوری‌های دیگری مانند شناور سازی، نمک زدایی گرمایی، نانو فیلترها و اسمزمعکوس اجتناب ناپذیر است. چنین به نظر می‌رسد که با پیچیدگی‌های موجود درانواع آلاینده‌ها و همچنین فناوری‌های زدایش آن‌ها، صنعت تصفیه آب برای مصارف شرب جنبه تخصصی پیدا نموده و لازم است ادبیات فنی این رشته نیز به هنگام گردد.

شرکت نارون آرا، متعهد به محیط زیست، در مسیر افزایش آگاهی همگان و متخصصین این صنعت، پیرو انتشار کتاب "نمک‌زدایی از آب‌های شور و لب‌شور (علم و صنعت)" و کتاب "استفاده دوباره آب (طرح و برنامه)" اقدام به تهیه کتابی با نام "فیلترها در تصفیه آب (دانش و مهندسی)" نمود که در صنعت نمک‌زدایی و در صنعت استفاده دوباره از آب کاربرد آن یک ضرورت اجتناب ناپذیر بوده و در واقع مکمل دو کتاب پیشگفته است.

در خاتمه از آقایان دکتر ناصر رازقی، مهندس پیمان روحانی و خانم مهندس رؤیا منصوری از شرکت نارون آرا و آقای مهندس احسان مانی به نمایندگی از مهندسین مشاور پارس جویاب که در تهیه این کتاب همکاری نموده اند تشکر و قدردانی می‌نمایم.



کامران کاویان

مدیرعامل شرکت نارون‌آرا

با روند افزایش جمعیت کشور و ضرورت توسعه شهرها، شهرک‌ها، روستاها، بخش‌های صنعتی، کشاورزی و به دنبال آن افزایش میزان مصرف آب و در نتیجه تولید فاضلاب‌های صنعتی، کشاورزی، شهری و روستایی، برای حفظ بهداشت و سلامت جامعه و جلوگیری از تخریب و آلودگی محیط زیست و نابودی حیات وحش ضروری است فاضلاب‌ها در حد لازم مورد تصفیه قرار گیرند.

هدف تصفیه در درجه اول زدایش عوامل بیماریزا و پس از آن کاهش غلظت آلاینده‌های شیمیایی در حد بی خطر برای هرگونه تخلیه و استفاده دوباره و پایداری محیط زیست می‌باشد. زیرا آلودگی آب‌ها با آلودگی مواد غذایی، خاک و حتی هوا گره خورده است که در نهایت بهداشت و سلامت جامعه را به مخاطره می‌اندازد. از طرف دیگر بر مبنای روند چند دهه اخیر و افزایش آلودگی منابع آب شامل منابع آب خام مصارف شرب لازم است توجه نمود که آب‌های در دسترس را دیگر نمی‌توان آب متعارف نامید زیرا به دلیل ایجاد دریاچه‌های ذخیره آب و رشد جلبک‌ها و تخلیه انواع فاضلاب‌های خام و حتی تصفیه شده با معیارهای فعلی، میزان تی او سی اکثر این آب‌ها بیشتر از حدود ۴ میلی گرم در لیتر می‌باشد و برای تولید آب شرب لازم است از فناوری‌های غیرمتعارف مانند ازن‌زنی، کربن فعال، نانو فیلتر و اسمزمعکوس استفاده نمود.

با توجه به گرمایش زمین و کاهش بارش‌ها و کمبود آب‌های تجدید شونده متعارف و ضرورت استفاده از منابع آب‌های لب شور و

شرکت مهندسین مشاور پارس جویاب با توجه به نقش پررنگ محیط زیست و آب برای توسعه همه جانبه کشور، از سال ۱۳۶۷، فعالیت خود را در زمینه مطالعات، طراحی و نظارت بر اجرای تاسیسات آب و فاضلاب آغاز نمود و همزمان با رشد دانش، تکنولوژی و ارتقای سطح کیفی خدمات مهندسی، با دعوت از متخصصین متعهد و کارشناسان جوان و مستعد، همواره با توسعه‌ی کمی و کیفی توانایی‌های فنی خود سعی نموده است نقش مسئولانه در زنجیره توسعه و کاربرد صنعت آب و فاضلاب در کشور عهده دار باشد.

به طور کلی نیازها از سمت محیط زیست، در مفهوم کلان آن مشتمل بر اجتماعات انسانی، محیط طبیعی و اقتصاد، به صنعت عرضه می‌گردد و صنعت، از طریق نهادهای فنی و علمی، اقدام به ارائه راهکار برای تامین این خواسته‌ها می‌نماید. بنابراین یکی از انتظارات طبیعی از نهادهای مهندسان مشاور، به عنوان حلقه‌ای از این زنجیره، ایفای نقش واسط بین نهادهای علمی و صنعتی است. بدیهی است ایفای کامل این نقش، علاوه بر ضرورت توانمند سازی مشاور، مستلزم وجود نهادهای علمی خلاق و به روز در کنار صنعتی پویا و پیشرو است. در شرایط کنونی کشور، که دانشگاه‌ها با وجود محدودیت‌های مالی، همپای با رقبای جهانی و در راستای رسالت بنیادی خود در حوزه گسترش مرزهای علم مشغول به فعالیت می‌باشند، و صنعت از سویی دیگر، به دلایل مختلفی نظیر افزایش ناگهانی جمعیت، فرسودگی زیر ساخت‌ها و محدودیت‌های اقتصادی در دهه‌های مختلف، از این مسیر عقب مانده است، نقش شرکت‌های مشاور بیش از پیش اهمیت می‌یابد.

بدین ترتیب بالندگی این زنجیره مستلزم مطالعه، برنامه‌ریزی، ایجاد ساختار، حمایت، پایش و نظارت بر فعالیت‌های ارکان مختلف

دیاچه



این زنجیره می‌باشد، که می‌بایست در برنامه ریزی‌های کلان اقتصادی و سیاسی مد نظر قرار گیرد و امید می‌رود، با اتکا به تجارب کسب شده ملی و جهانی در حوزه‌های مختلف، هر چه زودتر شاهد استقرار ساختار منسجم توسعه همه سو نگر، در طرح‌های مختلف ملی از جمله صنعت آب و فاضلاب کشور، باشیم.

کتاب پیش رو حاصل دغدغه‌های نویسندگان در خصوص نابسامانی‌های صنعت تصفیه آب در مراحل مختلف مطالعات می‌باشد، که با حمایت شرکت نارون آرا و همکاری این مهندسان مشاور به رشته تحریر در آمده است. در این جا شایسته است از شصت سال زحمات موثر استاد گرانمایه جناب آقای دکتر ناصر رازقی، که تجارب خود را بی‌دریغ در اختیار جامعه علمی – صنعتی این رشته قرار داده‌اند، قدردانی گردد. همچنین از شرکت نارون آرا به مدیریت جناب آقای مهندس کامران کاویان در حمایت از تالیف کتاب‌های متعدد در این صنعت، سایر مولفان کتاب آقایان مهندسین پیمان روحانی، احسان مانی و خانم مهندس رویا منصوری و نیز جناب آقای مهندس کمال الدین مانی معاون فنی و مطالعات و اعضای دفتر فنی شرکت مهندسین مشاور پارس جویاب به ویژه سرکار خانم مهندس فرزانه نصوحیان و سایر همکاران صمیمانه تشکر و قدردانی می‌گردد.

احمد مانی

مدیر عامل شرکت مهندسین مشاور پارس جویاب

پیشگفتار



در کمتر تصفیه‌خانه آب شرب می‌توان از فرایند فیلتراسیون اجتناب نمود و چون فیلترها را می‌توان در سه گروه با نام فیلترهای کند، تند و ممبرانی تقسیم نمود فصل‌های پنجم، ششم و هفتم به دانش و فناوری‌های فیلترها پرداخته است . به ویژه در فصل هفتم میکرو، اولترا و نانو فیلترها مورد بحث و گفتگو قرار گرفته است.

در فصل هفتم به نانو فیلترها توجه بیشتری شده زیرا با روند رو به رشد استفاده از فناوری‌های نمک‌زدایی با روش اسمزمعکوس، در صورتیکه قرار است از آب‌های زیرزمینی استفاده شود، پتانسیل استفاده از نانو فیلترهای فشرده قابل ملاحظه خواهد بود. به علاوه از نانوفیلترها نیز برای زدایش گروهی از آلاینده‌ها مانند ویروس‌ها، رنگ‌ها و آنتی بیوتیک‌ها از آب استفاده می‌شود.

در فصل هشتم به فرایندهای میکروبکشی در تصفیه‌خانه‌های آب با توجه به ظهور آلاینده‌های محلول جدید پرداخته شده است و توجه ویژه به عملکرد کاربرد ازن و پرتو فرابنفش در تصفیه آب‌های دارای تی او سی بیش از ۴ میلی‌گرم در لیتر، پرداخته شده است. از طرف دیگر با استفاده از صنایع نمک‌زدایی آب دریا و ضرورت انتقال این آب از سواحل و با توجه به اختلاف ارتفاع و گران تمام شدن قیمت آب، به موازات کمبود آن، استراتژی بازچرخانی و استفاده چندباره هم مورد توجه قرار گرفته و در صنایع تولید آب مناسب مصارف بهداشتی و حتی شرب، صنعت اکسیداسیون پیشرفته هم وارد کارزار تصفیه

ساخت و بهره‌برداری از اولین تاسیسات تصفیه آب برای مصارف شرب همگانی در کشور به حدود ۶۵ سال پیش بر می‌گردد که دلیل آن نگرانی مسئولین و طراحان از وجود عوامل معلق بیماری‌زا مانند باکتری‌ها و پروتوزوآها در آب بوده و به همین دلیل هم هدف اولیه تاسیسات تصفیه، زدایش کدورت با استفاده از فرایندهای زلالسازی و صاف‌سازی بود و چون زدایش عوامل معلق در تصفیه‌خانه هیچگاه به صد در صد نمی‌رسد، تمهیدات میکروبکشی پس از تصفیه، با نام گندزدایی نهایی نیز در نظر گرفته می‌شد.

با گذشت زمان و رشد جمعیت و ضرورت توسعه برای رفاه همگان، آگاهانه و یا بدون برنامه، انواع فاضلاب‌ها چه خام و چه نیمه تصفیه شده به منابع آب شرب سطحی و زیرزمینی تخلیه می‌شود، بنابراین دیگر نمی‌توان تنها نگران آلودگی میکروبی آب‌ها بود بلکه باید نگران وجود انواع آلاینده‌های طبیعی و انسان ساخت در آب خام شرب اجتماعات هم بود. چنانکه آنتی بیوتیک‌ها و هورمون‌ها در این گروه قرار دارند و واکنش‌های باکتری‌های بیماری‌زا و غیربیماری‌زای موجود در فاضلاب نسبت به این آلاینده‌ها از نگرانی‌های امروز جوامع است. فصل‌های کتاب بر مبنای فرایندهای زدایش انواع آلاینده‌های مورد توجه در استاندارد شماره ۱۰۵۳ تدوین گردیده است و چون انواع آلاینده‌های آب شرب مورد توجه در استاندارد پیش گفته به صورت گاز، محلول و معلق می‌باشد در فصل‌های دوم تا چهارم به فرایندهای زدایش آنها و تولید آب زلال پرداخته شده است.

با عنایت به ضرورت تقویت منابع آب خام شرب اجتماعات و روند کاهش بارش‌ها، گرم شدن کره زمین و افزایش تبخیر، کمبود منابع آب‌های تجدیدشونده هم از نگرانی‌های امروز می‌باشد که برای رفع آن صنایع نمک‌زدایی حرارتی و ممبرانی هم رشد و گسترش یافته است. صنایع ممبرانی چه در گروه با فشارهای هیدرولیکی کم مانند میکرو و اولترا فیلترها و چه در گروه ممبران‌های پرفشار مانند اسمزمعکوس و نانو فیلترها جایگاه خود را در تصفیه‌خانه‌های آب شرب و در صنعت بازچرخانی آب پیدا نموده‌اند چنانکه برای زدایش مواد آلی محلول از نانوفیلتر و اسمزمعکوس می‌توان استفاده نمود.

در فصل نهم به موضوع تصفیه لجناب‌ها و بازچرخانی در تصفیه آب و استفاده دوباره از آب و دفع لجناب‌ها پرداخته شده است و کمبود آیین‌نامه‌های دفع لجناب و کیک در تصفیه‌خانه‌های آب مورد توجه قرار گرفته است. همچنین روش‌های طبیعی دفع لجناب و فناوری‌های صنعتی تغلیظ و آبگیری تا تولید کیک در این فصل مورد گفتگو قرار گرفته است.

در فصل دهم روش طراحی یک تصفیه‌خانه آب شرب مورد بحث قرار می‌گیرد و پس از آنالیزهای نتایج کیفیت آب، با توجه به استانداردهای شماره ۱۰۵۳، فرایندهای لازم و ابعاد و اندازه واحدهای فرایندی همراه با ذکر مثال ۱۰-۱ مورد بحث قرار می‌گیرد و پس از برآورد هزینه‌ها، به مطالعات برای تهیه اسناد مناقصه و پیمان پرداخته می‌شود.

علم و مهندسی تصفیه آب برای مصارف شرب و صنعت بسیار گسترده‌تر و مفصل‌تر از آن چیزی است که در این کتاب آورده شده است و نه نویسندگان این کتاب و نه نویسندگان کتب دیگر نمی‌توانند ادعا نمایند که به تمامی سوالات خوانندگان عزیز در یک کتاب پاسخ داده‌اند. این کتاب را می‌توان در درجه اول در حد مقدمات علمی و مهندسی فرایندهای تصفیه آب برای مصارف شرب و در درجه دوم برای مصارف صنعتی دانست.

نویسندگان این کتاب لازم می‌دانند از حمایت‌های معنوی و مادی شرکت‌های نارون آرا و مهندسین مشاور پارس جویاب در تهیه و تدوین کتاب تشکر و قدردانی نمایند. همچنین از تمامی همکاران محترمی که ما را در تدوین هر چه بهتر کتاب یاری نمودند به ویژه خانم‌ها نازنین قراگوزلو، لیلا رحیمی، مهندس آرزو امیرحسینی، مهندس فرزانه نصوحیان، مهناز بازشوشترزاده، پریسا الیاس‌نژاد منفرد، مهندس صدیقه افشاری، مهندس شیوا نصوحیان، عاطفه عباسی و آقایان مهندس مهدی پور و مهندس پیام قاسمی کمال امتنان را داریم.

از طرف نویسندگان

دکتر ناصر رازقی



آب و توسعه



۱-۱- نگاه کلی

برای توسعه کشاورزی، صنعت و شهرها نیاز به آب است و مطالعات ساخت و اجرای طرح‌های تامین، انتقال، تصفیه و توزیع آب شرب، جمع‌آوری فاضلاب، تصفیه و استفاده دوباره از آن به دست مهندسان انجام می‌گیرد. بنابراین ابتدا به تعریف مهندسی که با کلمه رفاه گره خورده است پرداخته می‌شود.

مهندسی حرفه‌ای است که در آن با آموختن علوم ریاضی، طبیعی، مواد و انرژی همراه با کسب تجربه و به خصوص خمیرمایه قضاوت حرفه‌ای برای رفاه بشر به کار می‌رود. طبق این تعریف مهندسان نقش اساسی در توسعه جامعه دارند و می‌توان گفت که ماموریت حرفه‌ای یک مهندس کار برای ایجاد شرایط رفاه در جامعه است. تصور شهری بدون برق، آب، ساختمان، مخابرات، اتومبیل و تسهیلات ارتباطی که شهروندان آن، در رفاه باشند ممکن نیست و به همین دلیل در فصل اول به مقوله رفاه پرداخته شده است.

همه جا سخن از توسعه می‌باشد و هدف توسعه ایجاد شرایطی است که افراد جامعه احساس رفاه داشته باشند و جالب است که توجه کنیم که اهرم‌های ایجاد رفاه در دست یک گروه خاص مانند

اقتصاددانان و یا سیاستمداران و یا مهندسان نیست بلکه همه مردم دست اندر کار فرایند توسعه هستند به طوری که می‌توان گفت که رفاه عمومی حاصل عملکرد یک یک افراد جامعه بوده که در شکل اخلاق متبلور می‌شود. در درجه اول در یک جامعه دارای اخلاق ویژگی‌های زیر قابل مشاهده است:

- اعتماد متقابل مردم به یکدیگر؛
- تمایل مردم به همکاری با یکدیگر؛
- احساس مسئولیت در مقابل کار، وظیفه، رفتار و گفتار؛
- رعایت و احترام به قوانین مانند رعایت قوانین راهنمایی و رانندگی؛
- درستکاری عمومی چون رعایت قوانین مربوط به پرداخت مالیات‌ها و ...

در چنین جامعه‌ای ویژگی‌های زیر مشاهده می‌شود که حاصل کار مسئولین شهرها و دولت‌هاست:

- دسترسی آسان به آموزش و پرورش و وجود فرصت یکسان برای همه کودکان، نوجوانان و جوانان. آموزش و پرورش نقش کلیدی در موفقیت برنامه‌های توسعه دارد و به همین جهت اولین شاخص توسعه



تبدیل به تعامل و همکاری‌های گروهی شود.

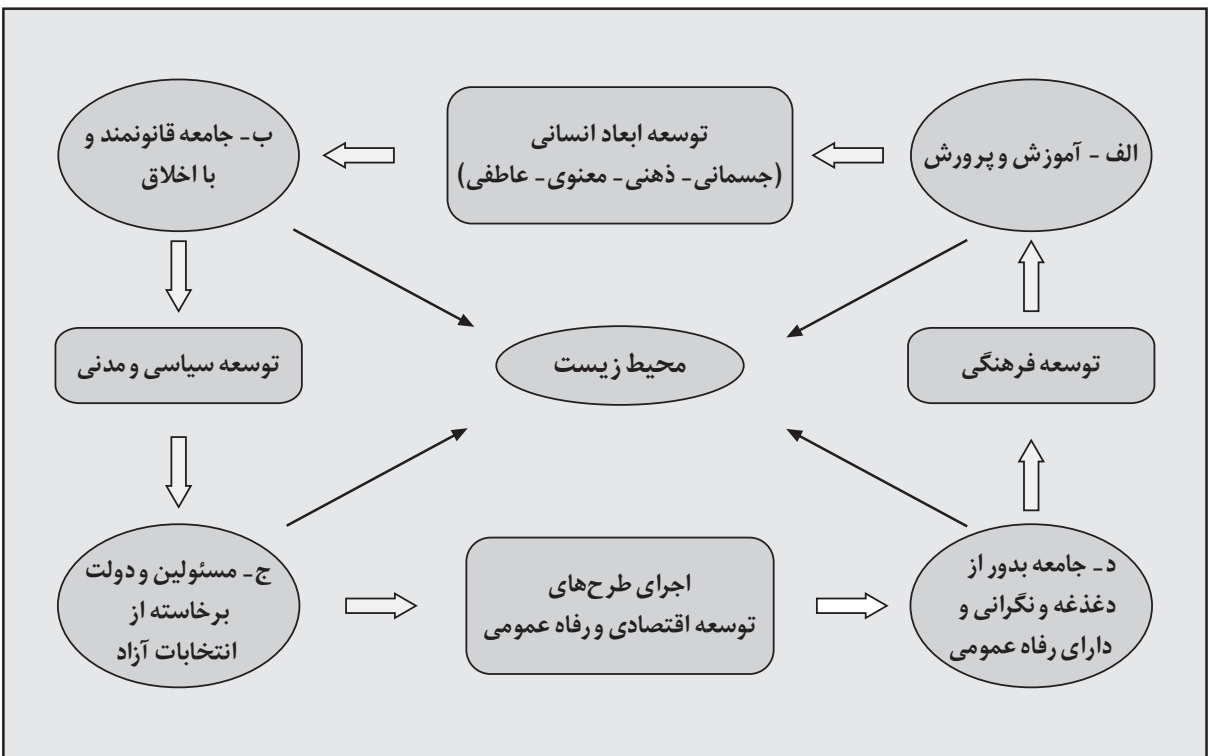
برای ایجاد شرایط پیشگفته، توسعه اقتصادی لازم است که با تولید ثروت بتوان زیربنای شرایط رفاه را فراهم نمود. اما باید توجه داشت که ایجاد شرایط رفاه، هم نیاز به ثروت و هم نیاز به اخلاقیات دارد و به همین جهت کشورها در راه بدست آوردن آن با چالش‌هایی روبرو هستند. رفاه عمومی یک مرحله از مدار بسته توسعه است که در شکل شماره ۱-۱ نشان داده شده است.

همانطور که در شکل ارایه شده، همه مردم در کار اجرای طرح‌های توسعه دخالت دارند و مشکل هم در اینجاست زیرا گروه‌های توسعه نیافته درگیر طرح‌های توسعه می‌شوند که باعث کند شدن روند توسعه می‌گردند. بنابراین تا رفاه عمومی که اساس ثروت عمومی و فرهنگ است، بدست نیاید، آموزش و پرورش توسعه نمی‌یابد و تا آموزش و پرورش به منظور توسعه ابعاد مختلف انسانی توسعه نیابد،

است و مشاهده خواهد شد که برای حرکت در مسیر توسعه نقطه شروع اصلی آموزش و پرورش است.

- دسترسی آسان به خدمات درمانی و بهداشتی. بدین معنی که در موسسات درمانی ابتدا خدمات لازم به فرد مراجعه کننده ارایه شده و پس از تکمیل درمان در مورد هزینه‌ها با شخص گفتگو شود تا هیچکس به هیچ وجه از خدمات درمانی - بهداشتی محروم نشود.
- وجود رابطه‌ای منطقی بین ۸-۱۰ ساعت کار روزانه با میزان درآمد برای هزینه‌های زندگی مانند اجاره مسکن، خوراک و پوشاک به طوری که خانواده فرصت تجربه زندگی جمعی، معاشرت‌های فامیلی، تفریحات سالم، پرداختن به هنر و ادبیات و شرکت در انجمن‌های محلی و حرفه‌ای را پیدا نماید تا احساس همبستگی محلی، شهری و ملی در آنها رشد یابد و این احساس با هم بودن باعث ایجاد تفاهم و درک متقابل شده و تقابل‌های اجتماعی

شکل شماره ۱-۱- مدار بسته رفاه عمومی



توسعه اجتماعی بروز ننموده و توسعه سیاسی هم با مشکل روبرو خواهد شد و در جامعه بدون توسعه سیاسی حکومت برخاسته از رای مردم ایجاد نمی‌شود. در چنین شرایطی اگر طرح‌های توسعه اقتصادی اجرا و حتی موفق هم بشود ثروت تولید شده در راه رفاه اجتماعی به کار نرفته بلکه به تاراج خواهد رفت.

حال چگونه باید در این مدار بسته توسعه فرهنگی، انسانی، اجتماعی، سیاسی و بالاخره اقتصادی نفوذ و آن را پویا نمود. به نظر می‌رسد که توسعه انسانی نقطه امید این مدار بسته است که در آموزش و پرورش خلاصه می‌شود. همانطور که خانواده‌ها سعی در سرمایه‌گذاری برای آموزش و پرورش کودکان خود دارند دولت‌ها هم باید اولویت خود را در امر آموزش و پرورش قرار بدهند و سهم بودجه ملی آن در حد لازم افزایش یابد. فرایند توسعه ابعاد انسانی زمانبر بوده و بنابراین باید برنامه‌ریزی دراز مدت، برای دو تا سه نسل صبورانه پیگیری شود تا کم‌کم توسعه در چهار^۱ بعد افراد جامعه حاصل شود که نتیجه آن توسعه اجتماعی است. لازم است در دبستان‌ها بهترین شرایط فراهم شود و آموزگاران مستعد با بازآموزی‌های لازم مسئولیت آموزش برای توسعه ابعاد مختلف انسانی را بر عهده بگیرند. در این راه توجه به انجمن‌های خانه و مدرسه کودکان نیز ضرورت دارد تا خانواده‌ها نیز در فرایند آموزش قرار گیرند. بنابراین در مدار بسته پیشگفته باید از نقطه الف شروع نمود و وقتی سطح آموزش و پرورش توسعه می‌یابد ویژگی‌های زیر در جامعه متبلور می‌شود:

- صبوری در شنیدن و شجاعت در گفتن؛
- اعتماد به نفس و نبود ترس؛
- نبود فساد؛
- برابری شهروندان؛
- صلح با خود و با دیگران؛
- تقدس قانون؛

- علاقه به کتاب، ادبیات و هنر؛
- رشد انجمن‌های غیر دولتی؛
- شناخت و احترام به متفکرین ملی و جهانی؛
- توسعه ورزش و رشد ورزش دوستی؛
- رشد نوآوری‌ها و اختراعات؛
- و بسیاری ویژگی‌های دیگر مدرنیته.

حال نگاهی به ابعاد انسان خواهیم داشت که در آموزش و پرورش و آموزش عالی باید مورد توجه قرار گیرد:

بعد جسمانی

ظاهراً قابل‌روی‌ترین بعد ما می‌باشد بنابراین سعی در رشد و پرورش آن اولین گام است. این همان بعدی است که خانواده‌ها به آن توجه دارند و کار صحیحی هم می‌باشد، تغذیه خوب، عادات خوب و ورزش. چنانکه بسیاری از دولت‌ها در دبستان‌ها یک وعده غذای مناسب در اختیار دانش‌آموزان قرار می‌دهند زیرا تغذیه نامناسب و سوءتغذیه در رشد فیزیکی و ذهنی افراد تأثیرات نامطلوب و گهگاه غیرقابل بازگشت دارد و آدمی را در فعالیت‌های دیگر به ویژه در هماهنگی‌های جسمی - ذهنی دچار مشکل می‌نماید. آموزش همگانی در مورد تغذیه، ورزش و اجتناب از عادات مخاطره‌آمیز باید در برنامه‌های رادیو، تلویزیون و روزنامه‌ها گنجانده شود. مواد غذایی سالم باید با قیمت مناسب در دسترس مردم باشد تا سوءتغذیه در جامعه گسترش نیابد. انسان با رشد این بعد می‌تواند در میادین ورزشی برای خود و جامعه غرور آفرین شود، چنانکه مسابقات جهانی و کسب مدال‌های قهرمانی را می‌توان به طور مشروط یک شاخص توسعه فیزیکی - ذهنی دانست. اما اگر توسعه فیزیکی همراه با توسعه ابعاد دیگر نباشد انسانی بسیار خطرناک برای جامعه بوجود می‌آید. او دیوی است در شمایل یک انسان، زورگیر، زورگو که می‌تواند ابزار قدرت‌های شیطانی جامعه گردد.

۱. بعد جسمانی، ذهنی، معنوی، عاطفی

بعد ذهنی

این همان قدرت آموختن علوم، فنون و حرفه‌های مختلف مورد نیاز جامعه است که از دبستان شروع، در دانشگاه‌ها ادامه و با کسب تجربه کامل می‌شود. هر انسان مسئول باید این بعد را تا سر حد امکان در خود توسعه دهد تا برای خود، خانواده، جامعه و خانواده بزرگ بشری فردی مفید واقع شود. این استعداد را با ضریب هوشی^۱ می‌سنجند و به تجربه معلوم شده است که ضریب هوشی همه یکسان نیست ولی هر کس با توجه به استعدادهای خود می‌تواند در زمینه‌ای استادکار شده و به خدمت جامعه بپردازد. آموزش و هدایت جوانان به طرف کسب مهارت‌های لازم و استمرار ارتقای آن باید در برنامه‌های مختلف آموزشی در نظر گرفته شود زیرا برای توسعه اقتصادی، این بعد انسان‌ها بسیار ضروری است. اما باید در نظر داشت که رشد این بعد انسان‌ها برای مفید بودن به حال خود و جامعه به تنهایی کفایت ننموده و بدون توجه به دو بعد دیگر، رباتی انسان‌وار تربیت می‌شود. با کمی توجه می‌توان این انسان‌های ربات‌گونه را مشاهده کرد که مسئولیت بسیاری از امور جامعه را به عهده گرفته‌اند. انسان‌وارهایی هستند که غالباً در کار حرفه‌ای خود متبحرند، اما بدون احساس همبستگی ملی، بدون احساس عشق و عاطفه نسبت به دیگران، تنها منافع شخصی، پول و زراندوزی هدف آنهاست. آنها ربات‌هایی قابل ترحم و بدبخت هستند گرچه به ظاهر دارای مشاغل بالا و ثروت زیادی باشند. این‌ها همان گروه‌های رانت‌خوار، فاسد و قانون‌شکنی هستند که در بخش‌های دولتی، خصوصی، بیمارستان‌ها، دانشگاه‌ها، بازار، تعمیرگاه‌ها، مغازه‌ها و غیره حضور دارند که تنها رسالت خود را جمع ثروت می‌دانند و چنان به ظاهر خود را آراسته‌اند که به‌راحتی فریب آنها را می‌خوریم.

این ویژگی زیاده‌خواهی مشکلات محیط زیستی را برای جامعه بشری بوجود آورده است. باران‌های اسیدی، گرم شدن کره زمین،

کاهش جنگل‌ها، افزایش کوبرها، آلودگی آب‌ها، آلودگی هوای شهرها، آلودگی خاک‌های کشاورزی، سیلاب‌های ویران‌کننده، حاشیه‌نشینی شهرها، اختلاف طبقاتی و حتی افراط‌گرایی و نبود اعتماد به جامعه و قانون‌ستیزی پیامد عملکرد این ربات‌ها می‌باشد.

این ربات‌ها در تمام کشورها حضور دارند اما در کشورهای در حال توسعه مانند کشور ما بیشتر هستند و همان‌ها از عوامل توسعه نیافتگی جامعه می‌باشند. متأسفانه این ربات‌ها نقش کلیدی در شکست برنامه‌های توسعه دارند زیرا بسیاری از مسئولیت‌ها، مشاغل و برنامه‌ریزی‌ها برای توسعه توسط آنها تهیه و به اجرا در می‌آید که به انحراف کشیده می‌شود. از اولین علایم آنها سوءاستفاده از مسئولیت‌های داده شده به آنهاست که تشخیص آن هم مشکل نیست. قانون‌ستیزی از اولین ویژگی‌های ربات‌های انسان‌وار می‌باشد.

بعد معنوی

در این بعد رشد انگیزه‌ها و هدف‌های اجتماعی موردنظر است در اینجا قانونمندی^۲، عدالت محوری، صداقت در گفتار و عمل و تقدس کار مطرح است. سر لوحه کار دارای معنویت در شعر زیر متبلور می‌شود:

عبادت به بزرگداشت خلق نیست

به تسبیح و سجاده و دلق نیست
(*سعدی*)

در اینجا مقوله اختلاف بین ربات و آدم مطرح است و اگر این بعد رشد و توسعه کافی پیدا نماید انجام کار با عشق همراه است و در این صورت احساس مسئولیت و پاسخگویی در افراد مشاهده می‌شود. در چنین جامعه‌ای انسان توانمند، برای خود، خانواده و جامعه مفید است. اگر او یک مهندس و یا جراح است و یا تعمیرکار کامپیوتر و یا اتومبیل و یا فروشنده برنج و یا تاجر بازار، مورد اعتماد و احترام مردم است زیرا این

1. Intelligence Quotient



شخص در چارچوب قانون کار می‌کند و کارش هدف نهایی او است. او کارش را با عشق انجام می‌دهد. در عشق، تنفر، دشمنی، بیزاری، ترس، خودخواهی و زراندوزی دیده نمی‌شود. او مسئولیت پیامد کار خود را می‌پذیرد و بهای آن را می‌پردازد.

اگر تعریف کار را تولید چیزی بدانیم که برای خود و دیگران دارای ارزش است و در تولید آن توجه، تفکر، خلاقیت، فعالیت‌های جسمی و یا ذهنی به کار رفته و در آن ارتباط با مردم دیده می‌شود، این کار در نهایت رضایت خاطر بوجود می‌آورد. کار تولید شده تبلور شخصیت ذهنی – معنوی هر فرد است. توجه داشته باشیم که اگر کار کردن بدون رعایت اصول اخلاقی و بدون داشتن جهان بینی مناسب و عشق باشد، شخص را به فساد و تباهی و بی تفاوتی می‌کشاند. چه افراد، چه شرکت‌ها و چه موسسات خدماتی و تولیدی اگر دارای فلسفه و جهان بینی خدمت به جامعه نباشند به تباهی و انحراف کشیده می‌شوند. توسعه انجمن‌ها و جمعیت‌های هنری، ادبی و فلسفی کمک می‌کند که بعد سوم افراد و جامعه رشد و توسعه یابد که همان احساس رفاه را در جامعه گسترش می‌دهد و خود باعث می‌شود مردم در کار توسعه بیشتر شراکت داشته باشند.

توجه داشته باشیم که مصرف‌گرایی و زیاده‌خواهی که از ویژگی‌های ربات‌هاست با رشد بعد سوم انسانی تحت کنترل قرار می‌گیرد و مصرف بهینه مواد، انرژی و ثروت جایگزین زیاده‌خواهی می‌شود. این جامعه از مصرف‌گرایی اجتناب می‌کند زیرا می‌داند که کره زمین در تولید با محدودیت روبروست.

این جامعه به محیط زیست طبیعی و محیط زیست اجتماعی توجه دارد و هنجارها، امیدها، انگیزه‌های خدمات اجتماعی و خدمت به جامعه را سر لوحه کار خود قرار می‌دهد و به همین علت گفته می‌شود محیط‌زیست تبلور فرهنگ یک جامعه می‌باشد. او توجه دارد که رشد جسمی، ذهنی و عاطفی او در بستر جامعه کوچک خانواده و جامعه بزرگ‌تریعنی اجتماع انجام گرفته و خود را مدیون جامعه می‌داند و خدمت و جبران دین خود را بزرگ‌ترین وظیفه می‌داند که در نهایت،

آرامش روحی و سعادت برای او به همراه دارد. توجه داشته باشیم که تاریخ بشریت نشان می‌دهد که جوامع همواره به طرف توسعه که در دموکراسی، مدنیت و قانونمندی تبلور می‌یابد حرکت می‌نماید. در این حرکت، انسان دوستی و جنگ ستیزی و قانونمندی دیده می‌شود زیرا ما به دنبال دانایی، زیبایی، عدالت و مهربانی هستیم که باید مطلق آن در واجب الوجودی باشد. ما در طی ۴۰–۵۰ هزار نسل از غار نشینی به ماه نشینی رسیده‌ایم و قلب، کلیه، کبد و بسیاری از اندام‌های معیوب خود را تعویض می‌کنیم و به کمک سلول‌های بنیادی اعضای جدید بدن را می‌سازیم و تبلور شعر معروف گردیده‌ایم که می‌گوید:

رسد آدمی به جایی که بجز خدا نبیند

بنگر که تا چه حد است مقام آدمیت
(*سعدی*)

پس می‌توانیم بعد معنوی خود را نیز توسعه دهیم. انسان توسعه یافته با امید و اعتماد به نفس به خدمت جامعه می‌پردازد و به زراندوزی توجه ندارد. او طبعاً در این میدان کارزار با انسان‌وارها درگیر خواهد شد و این مبارزه یکی از اهداف او خواهد بود زیرا می‌داند که آنها مشکل اصلی در راه توسعه فرهنگی و اجتماعی می‌باشند. او می‌داند که عشق به جامعه سرچشمه خوشبختی، افتخار و سعادت و مهم‌تر ماندگاری است و باور دارد که ربات‌گونه‌ها خیلی زود از خاطر جامعه پاک می‌شوند و اثری از ثروت اندوخته آنها باقی نمی‌ماند.

بعد عاطفی

درونی‌ترین لایه شخصیتی ما لایه عشق و عاطفه است. عشق و عاطفه از آدم، ابرآدم می‌سازد. او ضمن احترام به قانون و اصول عدالت، منافع قانونی خود را برای منافع اجتماعی خرج می‌کند. می‌توان انسان‌های بزرگی که در گذشته و حال به این مرحله رسیده‌اند را نام برد که عقل و درک آنها به مرحله عشق رسیده است.

عشق اینجا آشت و عقل ووو

عشق چون آید گریزد عقل زود
(*عطار*)



متبلور می‌شود زیرا آزادی در او مسئولیت بوجود می‌آورد و مسئولیت انتخاب، استعدادهای او را شکوفا می‌کند. او می‌تواند یک حیوان بماند و یا یک ابر انسان که مولانا کلمه فرشته را به کار برده است و به همین جهت بزرگ‌ترین نیاز انسان آزادی در انتخاب است. او در آزادی انتخاب می‌تواند یک ربات بشود و یا یک عاشق قانون و عدالت. بنابراین حفظ آزادی برای انتخاب باید از هدف‌های خانواده‌ها و دولت‌ها باشد و پیش نیاز آن چراغ علم است که راه او را روشن می‌نماید.

زمانی که اکثریت جامعه در دو بعد معنوی و عاطفی رشد یافتند فرایند توسعه اجتماعی سریع‌تر شده و جامعه قانونمند و با اخلاق شکل می‌گیرد. از اولین نشانه‌های آن احترام به قوانین مانند قوانین راهنمایی و رانندگی و خلوت شدن دادگاه‌هاست. در این جامعه فقر، جهل، فساد و ترس کم‌رنگ می‌شود. حال در یک انتخابات آزاد مسئولین و دولت قانونمدار بوجود می‌آید که ضمن احترام به محیط‌زیست که متعلق به همه نسل‌ها است و همچنین توجه به نقش آموزش و پرورش،

طرح‌های توسعه اقتصادی را به اجرا در می‌آورد و چون جامعه قانونمند است ثروت تولید شده در راه رفاه اجتماعی هزینه می‌شود. خدمات بهداشتی و درمانی، ایجاد اشتغال و تامین اجتماعی از پیامدهای یک دولت قانونمند است، در این جامعه تخریب و آلودگی محیط زیست، رانت‌خواری، شکوفایی فرصت‌طلبان، تاراج و توزیع غیرعادلانه ثروت ملی و بسیاری از پیامدهای کشورهای در حال توسعه دیده نمی‌شود.

پس در مدار بسته رفاه عمومی، توسعه فرهنگی، توسعه انسانی، توسعه اجتماعی، توسعه سیاسی و توسعه اقتصادی وجود دارد که هر کدام پیش نیاز بعدی و پیامد قبلی هستند و یادآوری گردید که باید از نقطه الف به این مدار بسته نفوذ نمود که عبارت است از پرورش برای تغییر جهان‌بینی افراد تا روش و منش آنها دگرگون شود، حتی اگر امکانات اقتصادی وجود ندارد. زیباترین فضاها باید برای آموزش و پرورش در نظر گرفته شود و بهترین شرایط برای آموزش و پرورش کودکان و نوجوانان فراهم شود.

سقراط می‌گوید که هدف آموزش و پرورش تربیت شهروند خوب

عشق در اینجا عقل پیشرفته است. او به مرحله‌ای از درک جهان رسیده است که می‌داند هر چه به جامعه بدهد و ببخشد برایش ماندگار می‌ماند و هر چه از جامعه می‌گیرد، پس از مرگ که اجتناب ناپذیر است از بین می‌رود. داشتن، مایه افتخار نیست بلکه بخشیدن آن مایه مباهات و احترام برانگیز است. گرچه ربات‌گونه‌ها در رسانه‌های عمومی عکس آن را تبلیغ می‌کنند و ثروت اندوزان را آدم‌های موفق جلوه می‌دهند که در بیشتر موارد چنین نیست. البته انتظار نمی‌رود که بعد عشق و عاطفه در همه افراد رشد پیدا کند. این دسته از معدود افرادی هستند که باعث تغییرات مفید اجتماعی می‌شوند و آثار ماندگاری از خود به یادگار می‌گذارند و در جامعه ماندگار می‌مانند زیرا بخشی از جامعه می‌شوند.

با قبول اصل فرایند تکامل جهان و در راس آن انسان این گروه از آدم‌ها در نوک پیکان تکامل قرار دارند. این مردم جهان را بهتر می‌فهمند و می‌دانند که:

هرگز نمیرد آنگدولش زنده شد به عشق
بست است بر جریده عالم دوام ما
(حافظ)

آنها با علم و آگاهی، خود را در جامه آدمیت که خلیفه خداست حل می‌کنند و ماندگار می‌شوند.

در اینجا لازم به یادآوری است که اختیار و آزادی یکی از بخش‌های توسعه بعد عاطفی انسان‌ها می‌باشد.

از مولانا الهام گرفته می‌شود که می‌گوید:

آدمی زاده طرّف معنوی است
گر کند میل این شود پس از این
ور کند میل آن شود به از آن
(مولانا)

در این شعر، می‌توان به نکته مهمی توجه نمود که کلمه میل است، این کلمه اختیار را نشان می‌دهد. همه عظمت انسان هم در اختیار



است و از طریق آگاهی دادن ریشه درخت بد اخلاقی خشک می‌شود. در حقیقت او معتقد است که آگاهی باعث تغییر رفتار به طرف شهروند خوب شدن است و مهمترین مهارتی که باید به دانش آموز آموخت هنر اندیشیدن است زیرا اختلاف واقعی انسان و حیوان توان اندیشیدن است. کسی که توان اندیشیدن ندارد خوب و بد را تشخیص نمی‌دهد و به طرف حیوانی و ربانی شدن تمایل پیدا می‌کند.

موضوع اندیشیدن هم، جهان‌بینی و خودشناسی و خداشناسی است که در شعرهای متفکرین ما متبلور است. هر شعر آنها باید موضوع یک فصل از کتاب در دبستان‌ها (ادبستان‌ها) شده و حتی به صورت داستان و فیلمنامه در آید تا در ذهن دانش آموز ثبت شود. سپس بر مبنای این زیربنای اخلاقی، علم و فناوری در دانشگاه‌ها آموخته شود تا انسان واقعی پرورش یابد.

علم در وی چون چراغی ره‌نمای
جمله تاریکی است این منّت سرائی
(عطار)

بدین معنی که در تاریکی نمی‌توان راه را از چاه تشخیص داد و دچار اشتباه می‌شویم و علم چراغی است که راه را نشان می‌دهد و انسان آزادانه و آگاهانه راه خود را انتخاب می‌کند. آموزش و پرورش هم باید چراغ علم را به‌دست جوانان دهد که اندیشیدن و یا تفکر بستر لازم آن است.

اقتضای جان چو ای دل آگهی است
هر که آگه تر بود جانش قوی است
(مولانا)

مولانا معرفت و دانایی را سرچشمه قدرت و فرزاندگی و شخصیت انسان را در اندیشه او می‌داند. بسیاری از متفکرین و شاعران ما هم مسئله علم و آگاهی را چراغ زندگی می‌دانند و اخلاق بد را ناشی از جهل. بنابراین بهتر است در دبستان‌ها (ادبستان‌ها) بیشتر علم اخلاق همراه با عمل تدریس شود و چون اکثریت افراد جامعه دوره دبستان را طی می‌کنند صرف نظر از شغل آنها، اخلاق در جامعه رعایت خواهد

شد. زیرا آگاهی روی رفتار ما دخالت دارد. نام دروس اصلی ضروری با شعری در زیر معرفی می‌شود:

درس اول:
بنی آدم اعضای یک پیکرند
که در آفرینش ز یک گوهرند
(سعدی)

درس دوم:
تو که منّت دیگران بی غمی
نشاید که ناست نه‌ند آدمی
(سعدی)

درس سوم:
ببین مراقب باش کردل بایدت
کز پی حرف‌صل خیزی زایدت
(مولانا)

درس چهارم:
بی رنج در این ویران آن گنج مجرای جان
کان گنج گرانمندی رنج نمی‌باشد
(مولانا)

درس پنجم:
در این جهان خراب چون نیکو نگد کنی
بجز عدل و حسن خلق بیچ کار نیست
(مولانا)

درس ششم:
عبادت بجز خدمت خلق نیست
به تسبیح و سجاده و دلق نیست
(سعدی)

درس هفتم:
جهان ماندگار است و ما رفتنی
به کیتی ماند بجز مردمی
(فروسی)



آورد رودخانه‌هاست، کیفیت آب ذخیره شده دستخوش تغییراتی می‌شود که استفاده از آن نیاز به توجه دارد.

اولین تغییر مطلوب در کیفیت آب دریاچه‌ها کاهش کدورت ناشی از ذرات معلق سنگین‌تر از آب است. زیرا با حفظ آب در دریاچه فرصت ته نشینی فراهم می‌شود و به همین جهت کدورت آب خروجی از دریاچه‌ها شبیه آب خام ورودی به آنها نیست. دومین تغییر، بوجود آمدن شرایط برای فعالیت‌های بیولوژیکی جانوری و گیاهی است.

بدین ترتیب که به علت وجود ازت، فسفر، مواد آلی، معدنی و نور خورشید گروهی از تک سلولی‌ها و چند سلولی‌ها از جمله جلبک‌ها در آب رشد و تکثیر پیدا می‌نمایند و در شرایطی حالت شکوفایی^۱ نمایان می‌شود که استفاده از آب را برای شرب و صنعت با مشکل روبرو می‌نماید. به ویژه در صورتی که در بخش کشاورزی از روش‌های نوین آبیاری مانند قطره‌ای و زیرسطحی و یا بارانی استفاده شود جلبک‌ها می‌توانند مشکلاتی مانند انسداد روزنه‌های دستگاه‌ها را باعث شوند. این فعالیت‌ها به آب رنگ، طعم و بو اضافه می‌نماید که برای تصفیه آن برای مصرف‌های شرب، به فرایندهایی غیر از فرآیندهای متعارف نیاز است. در گروهی از جلبک‌ها و باکتری‌ها نیز نوعی ماده شیمیایی سمی وجود دارد که نیاز به توجه دارد. از دست رفتن بخشی از آب دریاچه‌های ذخیره به علت تبخیر هم نباید نادیده گرفته شود^۲.

از طرف دیگر در صورتیکه فاضلاب‌های شهری به این منابع آب تخلیه شوند علاوه بر انواع داروهای مصرفی در شهر، انواع بیماریزاها هم در آب وجود خواهند داشت. لیکن لازم به یادآوری است که شرایط محیط‌زیستی دریاچه برای دوام بیماریزاها مناسب نیست و با نرخی از بین می‌روند و بالاخره فاضلاب‌های صنعتی و کشاورزی که در آنها ترکیب‌های مختلف شیمیایی چون سم، کود، روغن‌های صنعتی، شوینده‌های متنوع و فلزات سنگین وجود دارد نیز به دلیل راه یافتن

برای هر درس لازم است براساس اصول طرح درس، مطالب تهیه شود و آموزگاران و دبیران که بازآموزی شده‌اند تدریس را انجام دهند. در تهیه طرح درس باید اصول علمی رعایت شود و توجه داشت که رشد اخلاق زاینده رشد عقلانیت است و از همان کودکی اهمیت آموزش چهار بعد اصلی به آنها گوشزد شود و به یاد آورده شود که انسان موجودی است مختار و می‌تواند مسیر زندگی خود را انتخاب نماید و آگاهی پیش نیاز انتخاب است، آنکه می‌داند نه حیوان می‌شود و نه ربات.

کره زمین این سیاره آسیب‌پذیر، تنها مسکن انسان و بسیاری از موجودات دیگر است و لازم است برای جلوگیری از تخریب و آلودگی آن کوشش کنیم و با تکیه بر قدرت اندیشه خود راه حل‌های منطقی برای مشکلات محیط‌زیستی خود پیدا کنیم. لذا دولت‌ها باید در آموزش و پرورش سرمایه‌گذاری کنند و هدف آموزش و پرورش هم تربیت آدم باشد نه ربات. اگر آدم تربیت شود خود به دنبال علم می‌رود و با چراغ علم راه خدمت به جامعه برای ایجاد شرایط رفاه را فراهم می‌نماید و آن وقت جامعه‌ای خواهیم داشت که زندگی را یک موهبت الهی می‌داند. تردیدی نیست که آن روز خیلی دور نیست.

۱-۲- فرایندهای تصفیه آب

رشد جمعیت همراه است با ضرورت رشد تولیدات کشاورزی، صنعتی و توسعه شهرها و به موازات آن افزایش نیاز به مصرف آب و پیامد آن افزایش تولید فاضلاب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی است. در صورتیکه در زمینه جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب‌ها سرمایه‌گذاری کافی نشود بخش زیادی از منابع آب در خطر آلودگی قرار می‌گیرد. بنابراین کمبود آب و آلودگی آن می‌تواند از پیامدهای منفی افزایش جمعیت باشد.

از طرف دیگر با توسعه طرح‌های کنترل منابع آب مانند سدسازی و ایجاد دریاچه‌های ذخیره آب برای روزهایی که نیاز به آب بیشتر از

۲. استفاده از فناوری‌های کاهش تبخیر از دریاچه‌های ذخیره یک ضرورت است.

1. Bloom



آنها به رودخانه‌ها، در آب دریاچه‌ها وجود خواهند داشت. لذا کیفیت آب خام رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و منابع آب زیرزمینی دستخوش تغییر شده و فرایندهای تصفیه متعارف یعنی زلالسازی و فیلتراسیون نمی‌تواند آبی در حد کیفیت تعریف شده در استاندارد شماره ۱۰۵۳ تولید نماید.

با نگاهی به فرایندهای مورد استفاده در تصفیه‌خانه‌های کنونی آب اجتماعات در کشور می‌توان مشاهده نمود که هنوز همان فرایندهای متعارف گذشته در حال بهره‌برداری است. لذا بازنگری سیاست‌های کلی تامین و توزیع آب شرب و بازنگری فرایندهای تصفیه آنها یک ضرورت است. در حالیکه می‌توان مشاهده نمود که در طی ۵۰ سال گذشته فرایندهای متعددی مانند پرمگنات‌زنی، هوادهی، کربن فعال، فیلترهای دولایه و مخلوط، میکرواسکرین، شناورسازی و غیره به تاسیسات تصفیه‌خانه‌های آب شرب بسیاری از کشورها اضافه شده است، به علاوه جدا نمودن آب شرب از آب مصرف‌های بهداشتی هم در برنامه‌ریزی کلان آنها مشاهده می‌شود.

از طرف دیگر برای هر نوآوری باید به نوبآوری رسید که محصول تحقیقات پایه و کاربردی است و برای موفقیت در آن نیاز به آزمایشگاه‌های قابل اعتماد است. بخش امکانات آزمایشگاهی تشخیص آلاینده‌های آب در کشور ما دارای مشکلاتی است که مقوله‌ای جدا از مسایل مورد توجه این کتاب است اما تردیدی نیست که نیاز به تحول بسیار جدی دارد.

از طرف دیگر اگر به سیر تحول، تحقیق و تکامل صنعت تصفیه آب جهان توجه شود می‌توان مشاهده نمود که شرکت‌های بزرگ سازنده تجهیزات تصفیه آب، پرچم‌دار تحقیق و نوآوری بوده و دارای فناوری‌های ثبت شده هستند و با رقابت‌های مستمر، تاسیسات فرایندی جدیدی به بازار این صنعت عرضه می‌نمایند. اما در طی ۶۰

سال اخیر که صنعت تصفیه آب در کشور ما فعال گردیده است شرکت‌های سازنده داخلی در این مسیر هیچگونه سرمایه‌گذاری نکرده و در نتیجه تاسیساتی را می‌سازند که سال‌هاست کشورهای دیگر آنها را کامل‌تر و یا جایگزین نموده‌اند.

کتاب با هدف معرفی علم و مهندسی فیلتراسیون طرح‌ریزی شده است اما در فصل دوم تا چهارم به طور چکیده فرایندهای تصفیه آب مورد بحث قرار می‌گیرد و سعی بر آن است که فرایندهای جدیدی که در طی ۵۰ سال اخیر رشد و تکامل یافته نیز معرفی شود. اما چون فیلتراسیون فرایندی است که در تصفیه‌خانه‌های آب‌های سطحی، زیرزمینی، تاسیسات پیش تصفیه صنعت‌های نمک‌زدایی و سیاست‌های استفاده از پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب کاربرد دارد، به عنوان یک فرایند مستقل در فصل‌های ۵ تا ۷ کتاب به آن پرداخته شده است. امید است که مطالب کتاب برای مهندسان محیط زیست و تصفیه آب و بهره‌برداران تصفیه‌خانه‌های آب مفید واقع شود.

۱-۳- گذشته صنعت تصفیه آب

قدیمی‌ترین آثار باستانی^۱ در مورد تاسیسات متمرکز آب به حدود ۵ هزار سال پیش در تمدن سومری‌ها و قدیمی‌ترین مطالب علمی در زمینه آب هم به حدود ۴ هزار سال پیش به مصری‌ها برمی‌گردد. اما اولین گزارش در مورد آب و تصفیه آن، حدود ۱۰۰ سال قبل از میلاد مسیح توسط سکتوس جولیوس فرونتینوس^۲ برای شهر روم تهیه شده است که بحث استفاده از فرایند ته نشینی می‌نماید.

در حدود ۴۰۰ سال پیش یک دانشمند انگلیسی به نام سر فرانسیس بیکن^۳ از تجربه خود در مورد تصفیه آب با روش جوشاندن، تقطیر، فیلتراسیون، انعقاد و ته نشینی گزارش تهیه نمود. او همچنین به رابطه بین تصفیه آب و سلامتی هم توجه داشته است. در سال ۱۶۸۳

۱. طبق مستندات سازمان میراث فرهنگی کشور، تصفیه‌خانه آب چغازنبیل در خوزستان قدیمی‌ترین تصفیه‌خانه آب دنیا می‌باشد.

2. Sextus Julius Frontinus

3. Sir Frances Bacon



۱-۴- کیفیت آب شرب

کیفیت آب شرب شهر تهران در گذشته‌ها در حدی بود که اشاره به خوبی آن می‌شد، اما با رشد و توسعه انواع اماکن مولد فاضلاب، توسعه کشاورزی و صنعت در حاشیه رودخانه‌ها و در حوزه‌های آبریز منابع آب شهر تهران، کم‌کم کیفیت آب جاری در این رودخانه‌ها به طرف نامطلوب شدن تغییر نمود و گهگاه بعضی از محققین و پژوهشگران این رشته انتقاداتی در مورد کیفیت آب شبکه‌های توزیع شهر تهران و بعضی از شهرها داشته‌اند. با پیشرفت دانش در زمینه آلاینده‌های آب و سختگیری بیشتر استاندارد آب شرب، مصرف‌کننده آب را وادار می‌نماید که نسبت به کیفیت آب شبکه در ذهن خود سوالاتی مطرح نماید.

ضعف بخش آزمایشگاه‌های کنترل کیفیت آب شرب شهرها در زمینه اندازه‌گیری آلاینده‌های آب مشروح در استاندارد شماره ۱۰۵۳ و به اطلاع همگان نرساندن کیفیت آب توزیع شده هم خود باعث شده که مصرف‌کننده آگاه نگران کیفیت آب مورد مصرف بشود. با توجه به روند افزایش انواع آلاینده‌های محلول در آب‌های سطحی به ویژه مواد آلی با معیار تی اوسی که بارها در تحقیقات دانشجویان دانشگاه‌ها نشان داده شده است، لازم است برای رفع شبهه آزمایشگاه‌های کنترل کیفیت آب با تجهیز امکانات لازم و پیگیری و ایجاد سهولت دسترسی محققین به مدارک موجود شرایطی فراهم نمایند که مصرف‌کنندگان آب شبکه‌های توزیع همگانی احساس اطمینان پیدا نمایند. این امر در سند راهبرد ملی بهبود و کیفیت آب شرب هم پیش بینی شده است.

طبق سند ملی راهبردی بهبود کیفیت آب شرب که در ۲۰ مهرماه ۱۳۹۰ به تصویب هیئت وزیران رسیده است وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی با همکاری سازمان حفاظت محیط زیست، وزارت نیرو و سازمان ملی استاندارد ایران مسئولیت شناسایی عوامل مولد

آلودگی آب آشامیدنی، به کارگیری فناوری‌های مناسب تصفیه آب شرب، ارتقای استانداردهای ملی آب شرب و بالاخره پایش و نظارت بر کارخانه‌های تولیدکننده آب شرب را بر عهده دارد و چون تصفیه‌خانه‌های شرکت‌های آب و فاضلاب، موسسات تولید آب معدنی و آب بسته‌بندی و سازندگان و فروشندگان تاسیسات تصفیه آب در منازل هدفشان تولید آب شرب است، مشمول این سند می‌شوند. جالب این است که طبق سند راهبرد ملی، وضعیت کیفیت آب شرب باید به اطلاع مصرف‌کنندگان برسد و بنابراین نتیجه‌گیری می‌شود که پژوهشگران نیز باید به گزارش‌های مستند تهیه شده در زمینه کیفیت آب شرب دسترسی داشته باشند.

۱-۵- روند تغییر کیفیت منابع آب

آبگیری رو به افزایش از منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی برای پاسخگویی به نیاز بخش‌های کشاورزی، صنعتی و شهری باعث کاهش میزان جریان آب در پایین‌دست‌ها شده که یکی از پیامدهای نامطلوب آن خشک شدن تالاب‌های کشور است. به علاوه تغییر کیفیت محسوس آب جاری در آنها هم یکی از پیامدهای آن است.
مهمتر اینکه به‌طور فزاینده‌ای تخلیه فاضلاب‌های صنعتی، کشاورزی و شهری به همین منابع محدود آب رو به افزایش می‌باشد و در نتیجه حضور آلاینده‌هایی چون استون، بنزن، بروموبنزن، کلروبنزن، کلروفرم، تولوئن، آنتی بیوتیک‌ها، هورمون‌ها، روغن‌ها، باکتری‌ها، ویروس‌ها و بسیاری دیگر که در جدول شماره ۴ استاندارد ۱۰۵۳ آورده شده است، در منابع آب خام قابل پیش بینی است.
می‌توان مشاهده نمود که عملکرد فرایندهای مورد استفاده در بسیاری از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب‌های شهری و صنعتی دارای سودمندی کافی در زدایش بسیاری از ترکیب‌های شیمیایی پیشگفته نبوده و برای زدایش آنها نیاز به کاربرد صنایع ممبرانی و اکسیداسیون پیشرفته و غیره می‌باشد.

شاید یکی از مهمترین علل آلودگی منابع آب و خاک و در نتیجه



بخشی از مواد غذایی، غفلت در بهره‌برداری و نگهداری از تاسیسات موجود تصفیه فاضلاب‌ها باشد و کمبود تاسیسات جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب شهری و صنعتی نیز در مواردی به این وضعیت دامن زده است.

حتی معیارهای طراحی‌های گذشته جوابگوی نیازهای امروز محیط زیست نیست، چنانکه در تاسیسات تصفیه فاضلاب‌های موجود امکانات جلوگیری از تخلیه پساب با کیفیتی خارج از استاندارد پیش‌بینی نشده است. در حالیکه شرایط امروز حکم می‌کند که تاسیسات بازچرخانی پساب برای تصفیه دوباره در حد معیارهای مصوب باید در تصفیه‌خانه‌ها پیش‌بینی شود. چنانکه یکی از عوامل تخریب اراضی کشاورزی تحت پوشش آبیاری با پساب‌ها، کیفیت نامناسب آنها می‌باشد.

مقوله معیارهای کیفی پساب خود داستان دیگری است بدین ترتیب که استاندارد فعلی بی‌اودی ۱۰۰و ۵۰و کدورت ۵۰ پساب‌ها برای استفاده دوباره از آن و یا تخلیه به محیط باید مورد تجدیدنظر قرار گیرد. به همین دلیل پایش کیفیت پساب خروجی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب باید جدی گرفته شده و نتایج در اختیار محققین بهداشت و محیط زیست قرار گیرد تا بتوان با تشخیص مشکلات، هشدارهای لازم به بهره‌برداران رسانده شود. به ویژه با روند تمایل به استفاده دوباره از آب‌های غیرمتعارف، اطلاع رسانی در خصوص کیفیت آنها یک الزام اجتناب ناپذیر است.

بدین ترتیب و طبق سند پیش گفته و قانون توزیع عادلانه آب می‌توان نتیجه‌گیری نمود که اهرم‌هایی برای جلوگیری از آلودگی منابع آب وجود دارد و می‌توان برای حفظ کیفیت منابع آب شرب اقداماتی موثر به کار برد. از طرف دیگر دانش این صنعت هم در دسترس است و تنها به عزم ملی برای تامین بودجه و اعتبار و تغییر نگرش نسبت به محیط‌زیست نیاز می‌باشد. در غیر این صورت با تشدید آلودگی‌های ناشی از فاضلاب‌ها سلامت و بهداشت جامعه به مخاطره افتاده و پیامدهای غیرقابل کنترل اجتماعی و اقتصادی



زیرزمینی شهر، اندیشه بازچرخانی و یا استفاده چندباره از آب در حوزه، از رویکردهای اساسی و جدید این مطالعه باشد. دستاوردهای انجام مطالعات امکان سنجی و تعریف گزینه برتر و تهیه نقشه راه زمانبندی شده آن می تواند مورد استفاده شهرهای دیگر کشور هم که منبع اصلی آب آنها منابع زیرزمینی است قرار گیرد. اندیشه استفاده از آب جاری در مسیل های تهران در طرح بازچرخانی خود بخشی از گزینه قابل توجه است که دارای محدودیت هایی هم می باشد زیرا کشاورزی پایین دست دارای حق آبه هایی می باشد.

با توجه به بروز شرایط جدید، نگاه ها و استراتژی های گذشته باید مورد بازنگری قرار گیرد. چنانکه افزایش میزان تغذیه منابع زیرزمینی حوزه از طریق بارش ها و فاضلاب های تصفیه شده باید یکی از محورهای توسعه منابع آب شهر تهران باشد و بازچرخانی آب از طریق شبکه آب غیرمتعارف مورد توجه بیشتر قرار گیرد.

۶-۱- هدف های تصفیه آب برای شرب

با عنایت به وجود انواع آلاینده های پیشگفته و استاندارد شماره ۱۰۵۳ آب شرب، هزینه تصفیه این آب ها برای تولید آب شرب در حدی است که ضرورت انجام آن و مصرف در بخش های غیرشرب سوال برانگیز است. چنانکه اگر مصرف سرانه خانگی ۲۰۰ لیتر فرض شود، متوسط مصرف شرب نمی تواند از حدود ۳ لیتر بیشتر شود که حدود ۱/۵ درصد مصرف های خانگی است. حال با توجه به کمبود آب با کیفیت مطلوب و با عنایت به حضور آلاینده های پیش گفته لازم است به گزینه جدا کردن آب شرب از آب مصارف بهداشتی توجه جدی بشود. زیرا تولید آب شرب از منابع آب خام فعلی نیازمند استفاده از فرایندهایی بیشتر از زلال سازی و فیلتراسیون است و با توجه به میزان فرار آب از شبکه های توزیع و مصرف های بهداشتی در منازل این تصفیه دارای توجیه اقتصادی و منطقی نیست. گرچه هم اکنون

متوجه جامعه خواهد شد. این مطلب مقوله ای است که در کتاب استفاده دوباره آب (طرح و برنامه)^۱ به طور مفصل مورد توجه قرار گرفته است.

لازم به توجه است که چون در فاضلاب های شهری انواع آنتی بیوتیک ها، هورمون ها، مسکن ها و بسیاری ترکیب های دارویی دیگر وجود دارد باید این موارد در پایش کیفیت منابع آب خام شرب مورد توجه قرار گیرد. تخلیه پساب این تصفیه خانه ها می تواند باعث آلودگی منابع آب خام مصرف های شرب شود زیرا زدایش آنها در تاسیسات متعارف تصفیه آب و فاضلاب در ابهام قرار دارد.

گرچه کتاب در محدوده تصفیه آب به موضوع منابع آب نگاه کلی دارد اما توجه ویژه به شهر تهران داشته و در زمینه تقویت و توسعه منابع آب زیرزمینی این شهر نکاتی در حد اشاره مطرح می شود. با توسعه شهر تهران به طرف شمال و ارتفاعات و تبدیل باغات، مراتع و مزارع با سطوح نفوذپذیری زیاد نسبت به بارش ها به ساختمان های مسکونی و گذرگاه ها و کاهش ضریب نفوذپذیری این سطوح، میزان تغذیه طبیعی منابع آب زیرزمینی تهران روبه کاهش می باشد و از طرف دیگر طرح و اجرای شبکه جمع آوری فاضلاب و رواناب ها توقف استفاده از چاه های جذبی هم باعث تشدید کاهش این تغذیه می شود. همچنین نیاز به برداشت بیشتر از منابع آب زیرزمینی برای تامین کمبود آب شرب و مصرف های بهداشتی و مصرف های دیگر شهری و صنعتی و توسعه فضای سبز به نظر می رسد که شرایط پایداری در این فرایند وجود ندارد و می توان انتظار داشت که پیامدهای منفی به بار آورد و با توجه به کاهش بارش ها این نگرانی جدی تر می شود.

بنابراین برای شهر تهران باید مدیریت تقاضا و همزمان مدیریت تامین آب فعال تر از گذشته ها و به طور جداگانه و مستقل اعمال سیاست نماید و برای رسیدن به هدف های پیشگفته لازم است مطالعات جامع توسعه منابع آب شهر تهران و تعیین میزان تغذیه منابع



مدیریت تصفیه خانه های آب شرب به نحوی عمل می کنند که فرض بر این است که آب خام در دسترس آنها در گروه آب های متعارف با شاخص تی اوسی در محدوده کمتر از ۴ میلیگرم در لیتر قرار دارد ولی مطالعات صحرایی و بازدیدهای محلی چنین شرایطی را نشان نمی دهد. به ویژه به علت نشت چاه های فاضلاب اماکن عمومی و باغ های حاشیه رودخانه ها این نگرانی بیشتر می شود زیرا احتمال وجود سم، کود، هورمون ها، آنتی بیوتیک ها، شوینده ها و ترکیب هایی از این دست در آب خام رودخانه ها بیشتر است. گرچه با ابزار فعلی آزمایشگاهی شاید نتوان غلظت آنها را تعیین نمود اما ورود مستمر میزان کم آنها همراه با آب شرب به بدن بی تاثیر نبوده به طوری که هیچ پزشکی نمی تواند ادعا کند که اثرات درازمدت آنها مخاطره آمیز نیست. یکی از مهمترین دلایل جدا کردن آب شرب از آب مصرف های دیگر همین نگاه تردید آمیز است زیرا منبع آب خام مصرف های شرب یا باید در معرض دریافت این آلاینده ها نباشد که در شرایط فعلی توسعه در زمینه های مختلف، یافتن چنین منبعی اگر غیرممکن نباشد دارای محدودیت های زیادی است و یا باید با کمک فناوری های جدید تصفیه نسبت به خالص کردن آب از آلاینده ها اقدام نمود. این نگاه در فصل های مختلف کتاب مورد گفتگو قرار می گیرد.

جدا کردن تاسیسات آب شرب از آب مصرف های بهداشتی مستلزم ایجاد شبکه توزیع آب شرب نیست زیرا در صورتی که این رویکرد انتخاب شود برای اجرای آن لازم است برای هر شهری از شهرهای بزرگ و پر جمعیت کشور با توجه به ویژگی های آن مطالعات امکان سنجی اجرای این رویکرد انجام و مزایا و محدودیت های گزینه های مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و شرکت آب و فاضلاب شهر تصمیم گیر نهایی باشد.

تعریف تفکیک کیفیت و استاندارد آب مناسب مصرف های بهداشتی و آب شرب نیز نیاز به انجام مطالعات کارشناسی توسط کار

گروه ویژه ای دارد و استاندارد شماره ۱۰۵۳ معیارهای آب شرب را تعریف نموده است. بنابراین آب مناسب مصرف های بهداشتی ممکن است از نظر بعضی از ویژگی های استاندارد پیشگفته در حد مجاز و یا مطلوب نباشد و با توجه به اینکه فرایندهای تصفیه متعارف می تواند آب مناسب مصرف های بهداشتی را تولید نماید، اگر این آب مورد تصفیه بیشتر برای خالص سازی قرار گیرد آب مناسب شرب تولید می شود. لازم به توجه جدی است که تولید آب ویژه شرب بار مالی زیادی در بر دارد و تصمیم گیری برای آن تنها یک رویکرد ساده نیست. آب مناسب مصارف بهداشتی غیر شرب از نظر عوامل بیماریزا کاملاً مانند آب شرب و طبق استاندارد ۱۰۱۱ می باشد و تنها از نظر ریز آلاینده های شیمیایی که با شاخص تی اوسی اندازه گیری و تعریف می شود می تواند خیلی سختگیرانه نباشد. محدوده مصرف آب بهداشتی در منازل هم عبارت است از ظرفشویی، رختشویی، حمام و فضای سبز منازل. در مورد استفاده از این آب برای پخت غذا هنوز استاندارد و معیاری تعریف نشده است.

گزینه ای که لازم است به آن توجه شود امکان استفاده از پتانسیل های بخش خصوصی به صورت قراردادهای راهگشا^۱ و به صورت غیرمتمرکز و محلی همراه با تدوین آیین نامه های پایش و نظارت بر عملکرد بخش خصوصی و کیفیت آب و رفتار مردم از نقطه نظر اقتصادی – اجتماعی است. لازم به توجه است که بررسی ها نشان می دهد که هر جا کیفیت آب شبکه توزیع به دلیلی مطبوع مردم نیست بخش خصوصی اقدام به تهیه و توزیع آبی می نماید که ظاهراً مطلوب تر است. این تهیه و توزیع طبق سند ملی راهبردی بهبود کیفیت آب شرب عموم باید تحت پوشش بخش پایش کیفی منابع آب شرب وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی و شرکت های آب و فاضلاب شهری قرار گیرد که مطالعات صحرایی نشان می دهد این پایش یا کم رنگ تر از حد لازم است و یا اصلاً انجام نمی گیرد زیرا شاخص های



● اقدامات حفاظتی برای جلوگیری از آلودگی دوباره آب؛

● نوع منبع آب؛

● فرایندهای مورد استفاده برای تصفیه.

فرایندهای تصفیه آب به ترتیب اولویت از نظر شاخص هزینه‌ها و پیچیدگی‌ها عبارتند از:

● کلرزنی ساده؛

● فیلتراسیون همراه با ته نشینی ساده و یا شناورسازی؛

● هوادهی و تولید ذره؛

● کربن فعال؛

● تبادل یونی؛

● ازن زنی؛

● اکسیداسیون پیشرفته؛

● تصفیه توسط ممبران‌ها.

هر یک از فرایندهای پیشگفته با توجه به کیفیت آلاینده و معیارهای بهره‌برداری دارای طیف وسیعی از زدایش هستند که جز با عملیات آزمایشی نمی‌توان شرایط بهینه را تعریف نمود.

۱-۸- وضعیت فعلی صنعت تصفیه آب

با نگاه کلی به وضعیت فعلی صنعت تصفیه آب شرب در کشور

کیفیت آب شرب محدود به کلیفرم وکلر باقیمانده نمی‌باشد.

همچنین می‌توان مشاهده نمود که در بسیاری از شهرهای بزرگ

کشور تمایل مردم به خرید و نصب تاسیسات تصفیه آب در محل مصرف رو به افزایش است و چون هدف از کاربرد آنها تولید آب شرب

است بنابراین مشمول هدف‌های سند ملی راهبردی بوده و نظارت بر عملکرد آنها و به آگاهی همگانی رساندن هم از وظایف وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی و شرکت‌های آبفا است بنابراین برای سند راهبردی ملی پیشگفته لازم است آیین‌نامه‌هایی در این زمینه تهیه شود.

۱-۷- ترکیب‌های شیمیایی

با توجه به انواع ترکیب‌های شیمیایی معدنی و آلی و وجود غلظت‌های کم آنها در منابع آب و مشکلات اندازه‌گیری و اثرات درازمدت آنها بر مصرف‌کننده باید مطمئن گردید که در آب شرب این ترکیب‌ها وجود ندارد. در جدول شماره ۱-۱ طبقه‌بندی ترکیب‌های شیمیایی از نظر منشا تولید آورده شده است.

به هرحال در تصفیه آب که هدف آن زدایش آلاینده‌ها از آب مورد مصرف است، توجه به عوامل زیر ضرورت دارد:

- غلظت آلاینده در آب خام؛

جدول شماره ۱-۱- منابع مولد آلاینده‌های شیمیایی

منشا آلودگی	نوع آلاینده
محیط زیست طبیعی	سنگ‌ها، خاک‌ها و آثار آب و هوا
فاضلاب‌های صنعتی	فلزات سنگین، روغن‌های صنعتی و انواع پلیمرهای صنعتی
فاضلاب‌های کشاورزی	کودها، سموم، حشره‌کش‌ها، آفت‌کش‌ها
فاضلاب‌های شهری	ترکیب‌های آلی، بیماریزها، انواع داروها، آنتی بیوتیک‌ها، هورمون‌ها و غیره
تصفیه‌خانه‌های آب	ترکیب‌های دلمه‌ساز، محصولات جانبی میکروبیکش‌ها، خوردگی لوله‌های آبرسانی، ترکیب‌های شیمیایی مورد مصرف در نمک‌زدایی و غیره
آب دریاچه‌های با رشد جلبکی	سیانو باکتری‌ها و مواد آلی طبیعی



می‌توان به مشکلات و نابسامانی‌های آن پی برد. مرحله‌های طرح، اجرا و بهره‌برداری در این صنعت را می‌توان به شرح زیر بیان نمود:

● تشخیص ضرورت ایجاد تاسیسات تصفیه آب توسط شرکت‌های آب و فاضلاب و مردم؛

● انتخاب مهندس مشاور برای انجام مطالعات توسط شرکت‌های آب و فاضلاب و یا آب منطقه‌ای؛

● انجام مطالعات امکان‌سنجی با توجه به کیفیت منابع آب خام در دسترس مورد تصفیه توسط مهندسین مشاور؛

● تدوین گزینه‌های فرایندی تصفیه و مقایسه اقتصادی – اجرایی آنها؛

● بررسی و تصویب گزارش مطالعات امکان‌سنجی با نام مطالعات مرحله اول طبق نشریه شماره ۳-۱۲۱؛

● انجام مطالعات مرحله دوم و تهیه اسناد مناقصه، طبق نشریه ۱۳۳-الف و ضوابط اجرایی روش منتخب اجرا؛

● انجام مناقصه و انتخاب مشارکت ساخت و اجرای کار که خود دارای گزینه‌های متعددی است؛

● اجرای کارها تا انجام آزمایش‌ها و تحویل موقت.

از نقطه نظر کار حرفه‌ای با اینکه تمام مراحل پیشگفته منطقی و مقبول است اما با کاستی‌ها و نابسامانی‌هایی دست به گریبان است. لیکن موارد زیر را می‌توان در بعضی از تصفیه‌خانه‌های آب شرب مشاهده نمود:

● تاسیسات فرایندی اجرا شده با توجه به کیفیت آب خام در دسترس، قادر به تولید آب شرب نیست و در موارد زیادی آب تولیدی دارای کدورت بیشتر از ۵ ان‌تی‌یو و تی‌اوسی بیشتر از ۲ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد.

● در موارد زیادی بدون انجام عملیات آزمایشی و بر مبنای پیشنهادات مراجع علمی، فرایندهای تصفیه آب انتخاب می‌شود که در بهره‌برداری نمی‌توان به عملکرد مطلوب دست یافت؛

● در برخی طرح‌ها معیار اقتصادی، اصل کیفیت آب شرب را در درجه دوم قرار داده است چنانکه مدت جریان آب تصفیه شده در لوله انتقال بیشتر از ۲-۳ روز بوده و کلرزنی دوباره ضرورت پیدا می‌نماید که خود پیامدهای نامطلوب دیگر دارد؛

● در مواردی تاسیسات اختلاط سریع و تولید ذره و حتی لجن روب زلالسازی به دلایلی از کار افتاده اما تولید آب همچنان ادامه دارد؛

● در تاسیساتی فیلترهای تصفیه‌خانه ماه‌هاست که مورد بکواش قرار نگرفته و متصدی بهره‌برداری به اهمیت آن توجه ندارد؛

● در مواردی تی او سی آب خام ورودی به تاسیسات تصفیه متعارف بیشتر از ۴ میلی‌گرم در لیتر است و فرایندهای مورد استفاده همان زلالسازی و فیلتراسیون است.

به هرحال می‌توان چندین صفحه در زمینه این کارخانه‌های معلول تصفیه آب نوشت اما هدف توجه به علل این مشکلات است تا خواننده در زمینه رفع نابسامانی‌ها در محدوده مسئولیت خویش کاری انجام دهد. به هرحال بررسی‌ها نشان می‌دهد که دلایل نابسامانی‌های نامطلوب پیشگفته عبارتند از:

● کافی نبودن مدت انجام مطالعات امکان‌سنجی و مراعات نشدن دستور عمل انتخاب مشاور مناسب؛

● رقابت ناسالم بین مشاوران که با ترغیب کارفرمایان انجام می‌گیرد و در نتیجه ناکافی بودن مبلغ ارایه خدمات و مدت انجام مطالعات؛

● ضعف مدیریت مشاور از نظر علمی، اخلاقی و حرفه‌ای و قبول توصیه‌های غیرکارشناسی کارفرماها؛

● نبود مسئولیت در کار کارشناس مشاور که دلایل عدیده‌ای دارد؛

● نبود عشق و تخصص در بخش تصویب‌کننده گزارش‌های مشاورین؛

● مراعات نشدن متون نشریه ۳-۱۲۱ و نشریه‌های دیگر حرفه‌ای توسط دست‌اندرکاران صنعت.



- نتایج آزمایش‌های کیفیت آب تصفیه‌خانه‌ها به آسانی در دسترس پژوهشگران برای انجام هر نوع تحقیق و بررسی قرار گیرد.

۹-۱- استاندارد کیفیت

آب شرب همگانی باید دارای کیفیتی باشد که در نشریه شماره ۱۰۵۳ تجدیدنظر پنجم به نام ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب آشامیدنی نشان داده شده است. به طور متعارف این استاندارد هر ۱۰ سال یکبار مورد تجدید نظر قرار می‌گیرد. در تجدید نظر پنجم که در اسفند ۱۳۸۸ مورد تصویب قرار گرفته است یازده جدول به قرار زیر در آن وجود دارد:

- جدول شماره ۱ ویژگی‌های فیزیکی آب آشامیدنی شامل ۴ ردیف.
- جدول شماره ۲ ویژگی‌های مواد شیمیایی معدنی سمی شامل ۱۴ ردیف.
- جدول شماره ۳ ویژگی‌های مواد شیمیایی معدنی غیرسمی شامل ۱۶ ردیف.
- جدول شماره ۴ ویژگی‌های مواد شیمیایی آلی شامل ۲۹ ردیف.
- جدول شماره ۵ حداکثر مجاز برخی از آفت‌کش‌ها در آب آشامیدنی شامل ۳۳ ردیف.
- جدول شماره ۶ مقدار حداکثر مجاز و مطلوب برخی از گندزداها در آب آشامیدنی شامل ۴ ردیف.
- جدول شماره ۷ مقدار حداکثر مجاز و مطلوب برخی از محصولات جانبی گندزدایی در آب آشامیدنی شامل ۱۸ ردیف.
- جدول شماره ۸ مقدار حداقل مجاز کلر آزاد باقیمانده متناسب با پی‌اچ در آب آشامیدنی شامل ۲ ردیف.
- جدول شماره ۹ مقدار مجاز کلر آزاد باقیمانده در آب آشامیدنی در سیستم‌های مختلف آب‌رسانی و محل برداشت شامل ۳ ردیف.



- جدول شماره ۱۰ مقدار حداقل و حداکثر مجاز فلوراید در آب آشامیدنی شامل ۱ ردیف؛

- جدول شماره ۱۱ حداکثر مجاز عوامل متشکله رادیواکتیو در آب آشامیدنی شامل ۲ ردیف در بخش ذرات و ۳ ردیف در بخش مواد.

لذا استاندارد شماره ۱۰۵۳ غلظت مجاز حدود ۱۲۹ ترکیب و عنصر را در آب آشامیدنی تعریف می‌نماید و بنابراین لازم است طبق برنامه‌ای که آن هم توسط دفتر استاندارد مهندسی آب کشور تهیه شده است آب تولیدی برای شرب مورد پایش مستمر قرار گیرد. باید توجه داشت که رابطه بیماری‌های زیر با آلاینده‌های پیش گفته ثابت شده است:

- بیماری‌های سیستم اعصاب؛
- بیماری‌های کبد، کلیه و طحال؛
- بیماری‌های گردش خون؛
- بیماری‌های کم‌خونی؛
- بیماری‌های دستگاه گوارش؛
- بیماری‌های مربوط به غدد مترشحه داخلی؛
- بیماری‌های باکتریایی، ویروسی و انگلی.

مقوله بیماری‌های میکروبی در بخش زدایش میکروارگانیسم‌ها به تفصیل مورد بحث قرار می‌گیرد. به هر حال با این مختصر می‌توان مشاهده نمود که کنترل کیفیت آب شرب عموم برای پیشگیری از بروز طیف وسیع بیماری‌های حاد و مزمن پیشگفته نیاز به عزم جدی دارد. لذا بخش کنترل کیفی تصفیه‌خانه‌های آب شرب باید نسبت به حضور آلاینده‌های تعریف شده استاندارد ۱۰۵۳ حساسیت زیادی نشان دهند.

غلظت مجاز بعضی از این آلاینده‌ها در حد ۰/۰۰۰۰۳ میلی‌گرم در لیتر است لذا آزمایشگاه‌ها باید به دستگاه‌های بسیار پیشرفته مجهز شوند. از طرف دیگر با توجه به اینکه حدود ۹۸ درصد آب مورد مصرف در واحدهای مسکونی ضرورتی ندارد که در حد استاندارد آب شرب تصفیه شود و با توجه به محدودیت منابع آب مناسب در بسیاری از مناطق کشور، جدا نمودن روش‌های تامین و تصفیه آب برای شرب

از آب مصرف‌های بهداشتی یک ضرورت است. حتی جدا کردن آب مصرف‌های بهداشتی از آب مورد استفاده در توسعه فضای سبز، فلاشینگ توالت‌های ساختمان‌های بلند و ابنیه همگانی و بسیاری مصرف‌های صنعتی دیگر امروزه مورد توجه قرار گرفته و به اجرا در آمده است.

استاندارد شماره ۱۰۱۱ نیز برای آلودگی میکروبی و جلوگیری از بروز و انتشار بیماری‌های عفونی محدودیتی قایل شده است. چنانکه در جدول شماره ۱ تحت نام ویژگی‌های باکتریولوژیکی آب آشامیدنی یادآوری می‌نماید که تعداد اشریشیا کلی یا کلیفرم گرم‌پای در یکصد میلی‌لیتر آب شرب باید صفر باشد.

۱-۱۰- منابع تولید آلاینده‌ها

منشا تمام آلاینده‌های مورد توجه استانداردهای پیشگفته فاضلاب‌های صنعتی، کشاورزی، شهری، آلودگی هوا، لایه‌های خاک زمین و بالاخره عملیات تصفیه آب می‌باشد که در جدول شماره ۱-۱ آورده شده است. اما نقش فاضلاب‌ها در این آلودگی نیاز به توجه ویژه دارد. هر جا که تخلیه فاضلاب‌ها به مسیل‌ها و رودخانه‌ها انجام می‌گیرد آلودگی آب، خاک و هوا بیشتر است که از طریق آنها منابع غذایی هم آلوده می‌شود. بنابراین تصفیه فاضلاب‌ها برای تخلیه به محیط به ویژه منابع آب خام مصرف‌های شرب به منظور حفظ منابع آب از آلودگی یک ضرورت است و در مورد فاضلاب‌های شهری می‌توان تصفیه را در حدی پیش برد که مناسب مصرف‌های گوناگون گردد. توسعه فضای سبز اطراف شهرها و حتی فضای سبز داخل شهرها از جمله این مصرف‌هاست که غیرمستقیم باعث کاهش آلودگی منابع آب می‌شود. سابقه استفاده دوباره از آب در جهان بیشتر از ۱۰۰ سال است و در صنایع، کشاورزی، توسعه تالاب‌ها و حتی قایقرانی و ماهیگیری مورد استفاده قرار گرفته است. به هر حال مقوله بازچرخانی آب و استفاده چندباره آب در محدوده‌های شهری دارای مزایای قابل ملاحظه‌ای است که خارج از توجه کتاب است اما با عنایت به کمبود آب متعارف



جامع همه سونگر هم مورد مطالعه و مقایسه قرار گیرد.

برای مثال همان طور که اشاره شد تردیدی نیست که بازچرخانی آب از طریق تصفیه فاضلاب های شهری و استفاده دوباره از آن در شهر با معیارهای توسعه منابع آب هماهنگی دارد و شاید زمان آن رسیده است که در مطالعه طرح های خطوط طولانی انتقال آب از راه های دور تجدیدنظرهایی اعمال شود و نگاهی به منابع آب نزدیک داشت زیرا از هر آبی می توان آبی برای هر نوع مصرفی تولید نمود اما توجهات اقتصادی و محیط زیستی با توجه به کمبود منابع آب مناسب ترین سیاست گذاری را تعریف می نماید.

با عنایت به فلسفه بازچرخانی آب از یک طرف و غیرمتمرکز نمودن تاسیسات تصفیه فاضلاب های جمع آوری شده از طرف دیگر باید نگاهی نو به سیاست گذاری های استفاده دوباره آب داشت تا شهرها، محلات و مناطق بتوانند کمترین میزان آب را از منابع دور دست برای مصرف منتقل نمایند.

در یک اجتماع شهری کوچک و بزرگ در صورتیکه بارش ها مدیریت، مهار و تغذیه آن به لایه های زیرزمینی انجام گیرد و در صورت امکان از توان تصفیه طبیعی لایه های زمین برای تصفیه فاضلاب ها بهره برداری شود طرح بازچرخانی آب در شهر قابل اجراست. حتی اگر زمین شهر توان تصفیه و ذخیره فاضلاب های شهری را نداشته باشد با جمع آوری و تصفیه در حد لازم می توان آب غیرمتعارف را در شهر بازچرخانی نمود. از طرف دیگر در بیشتر شهرها حدود ۲۰-۲۵ درصد آب شبکه از طریق اتصالات و درز و ترک لوله های شبکه توزیع هدر می رود که اگر برای حفظ آن برنامه ریزی و سرمایه گذاری انجام گیرد بحران کم آبی قابل مهار می باشد. گزینه دیگر استفاده از آب های لب شور حوزه ها و آب شور دریاهای شمال و جنوب کشور است که نیاز به برنامه ریزی دراز مدت برای توسعه آنها می باشد.

۱. برای اطلاعات بیشتر در زمینه استفاده دوباره از آب به کتاب "استفاده دوباره آب" از نشریات شرکت نارون آرا مراجعه شود.



این اهداف قابل دسترسی هستند و هیچ مشکل فنی در راه اجرای آنها دیده نمی شود. مشکلات فرهنگی و اقتصادی است که هر دو را جامعه آینده نگر و مسئول می تواند رفع نماید. نقشه راهی باید تهیه شود و با اجرای گام به گام آن، به اهداف دست یافت. با عنایت به اینکه کیفیت منابع آب به دلایلی که در فصل های کتاب به طور مفصل مورد توجه قرار گرفته است رو به تغییر است، برای هر مصرف تعریف کیفیتی ویژه ضرورت دارد و بنابراین تصفیه ویژه ای مورد نیاز است. به طور کلی ویژگی های کیفی آب خام که فرایندهای تصفیه را تعریف می نماید عبارتند از نمک ها، کدورت، رنگ، سختی، قلیائیت، آهن، منگنز، فلزات سنگین، مواد رادیواکتیو، تی اوسی^۱، طعم و بو، جلبک ها، بیماری زاها، کلیفرم ها، ژیا ردیا، کریپتوسپوریدیوم و ویروس ها که در فصل های کتاب به آنها پرداخته می شود.

لازم است برای هر حوزه آبی مدیریت توسعه جامع و همه سونگر، مسئولیت تخصیص و یا تقاضا را داشته و پاسخگوی تصمیمات خود باشد و هر درختی که قرار است کاشته شود و یا هر شهرکی و یا مجتمع مسکونی یا هر کارخانه جدیدی که باید بنا شود تا تخصیص آب مورد

نیاز آن از مدیریت تامین گرفته نشده است به مرحله اجرا نرسد. لازم به یادآوری دوباره است که در هر طرح توسعه نیازمند به آب، اصل صرفه جویی همراه با تعریف کیفیت حداقل لازم آب تعریف شده باشد. بدین ترتیب هیچ طرحی که نیازمند به آب برای ایجاد و توسعه است به مرحله اجرا در نمی آید تا تضمین تامین آب با کیفیت مورد نیاز آن توسط بخش مدیریت تقاضا انجام گیرد و بدین ترتیب طرح ها از نظر تامین آب طرح هایی پایدار خواهند بود.

می توان نتیجه گیری نمود که توسعه در بخش های مختلف در گرو توسعه منابع آب است و محدودیت منابع آب، طرح های توسعه را تحت تاثیر قرار می دهد. چنانچه انتخاب محور توسعه با توجه به هزینه های تمام شده آب ارتباط تنگاتنگ دارد.

وجود نفت، گاز، انرژی خورشید و آب در خلیج فارس و دریای مازندران و فناوری های تولید همزمان انرژی و آب نیاز به برنامه ریزی درازمدت برای سرمایه گذاری دارد تا این محدودیت توسعه کم رنگ تر شود.

۱. تی اوسی ویژگی حضور مواد آلی کربن دار است که برای تعیین غلظت ترکیب های مختلف متشکله آن نیاز به استفاده از دستگاه های دیگر است که در استاندارد ۱۰۵۳ آورده شده است و برای سهولت به عنوان شاخص آلودگی شیمیایی خطرناک آب انتخاب شده است.



زدایش آلاینده‌های گازی آب شرب



۲-۱- نگاه کلی

با تولید و مصرف انواع حشره‌کش‌ها، علف‌کش‌ها، آفت‌کش‌ها در بخش کشاورزی و تولید و مصرف انواع پلیمرهای صنعتی مانند روغن‌ها و شوینده‌ها در بخش صنعت و تولید و مصرف انواع آنتی‌بیوتیک‌ها، هورمون‌ها و مسکن‌ها و هزاران نوع دارو در شهرها، وجود بقایای آنها در فاضلاب‌های شهری، صنعتی و زهاب‌های کشاورزی دور از واقعیت نیست که در نهایت به منابع آب خام مورد مصرف شرب می‌رسند. گروهی از ترکیب‌های پیش‌گفته دارای ویژگی تبخیر هستند که به نام ترکیب‌های فرار^۱ در صنعت آب شناخته می‌شوند و در آب طعم و بو نیز ایجاد می‌نمایند و به همین جهت فرایندهای هوازدایی و هوادهی در تصفیه آب شرب جای خود را باز نموده‌اند. از طرف دیگر با رشد صنایع نمک‌زدایی، چه گرمایی^۲ و چه ممبرانی برای زدایش دی‌اکسیدکربن و اکسیژن برای پیشگیری از خوردگی سطوح فلزی و زدایش سولفید هیدروژن در آب تولیدی اسمز معکوس در صورت ضرورت، فرایندهای

هوازدایی و هوادهی به عنوان صنایع پیش تصفیه و تصفیه نهایی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. به طور کلی تعداد ترکیب‌های انسان ساخت مورد مصرف در بخش‌های مختلف جامعه از حدود ۱۰۰۰ می‌گذرد و به طور فزاینده‌ای رو به افزایش می‌باشد ولی در ادبیات آلاینده‌های آب، به حدود ۱۲۰ قلم آنها اشاره شده است. غلظت بعضی از آنها ممکن است در حدی باشد که دستگاه‌های اندازه‌گیری قادر به تعیین و تشخیص آن نباشد اما دارای ویژگی تجمع بیولوژیکی^۳ باشد که شرایط خطرناکی ایجاد می‌شود و به همین دلیل مقوله جدا نمودن آب شرب از آب مصارف دیگر هم مورد توجه قرار گرفته است.

گرچه فرار بودن و یا نبودن ترکیب‌های مورد بحث در صنعت‌های مربوط تعریف شده است، برای حذف بو و طعم ناشی از حضور آنها از فرایندهای دیگر مانند جذب کربنی نیز استفاده می‌شود اما کاربرد

۲. به ویژه در صنعت تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای

1. Volatile Organic Carbon (VOC)

3. Biological Accumulation



هوازدایی و هوادهی باید در مرحله اول مورد توجه قرار گیرد و به همین

دلیل فصل دوم کتاب به این فرایندها تخصیص یافته است. این

فرایندها در حدی از نظر علمی و صنعتی توسعه یافته اند که معیارهای

طراحی و عملکرد زدایش آنها تدوین شده و قابل پیش بینی است که

نمونه آن برج های هوادهی می باشد.

۲-۲- انتشار گازها در آب

چگونگی انتشار گاز در آب به عوامل زیر بستگی دارد:

- قدرت انتشار مولکول؛
- انتشار به دلیل دخالت عامل دما و باد؛
- انتشار به دلیل عمل ایجاد اغتشاش در آب.

البته فرض بر این است که گازهای اکسیژن، نیتروژن و دی اکسید

کربن با آب واکنش نشان نمی دهند. گرچه دی اکسید کربن در حدود

یک درصد با آب ترکیب شده و اسید کربنیک تولید می نماید. لازم به

یادآوری است که هر گاز به طور مستقل دارای فشار بوده و روی اجسام

و مایعات فشار وارد می نماید و جمع این فشارها قابل اندازه گیری است.

یعنی:

$$P_{\times V} = V \sum P_i$$

و

$$P = \sum_{i=1}^n P_i$$

که در آن:

P = فشار کل مخلوط گازها؛

P_i = فشار ویژه هر گاز از مخلوط؛

n = تعداد گازهای مخلوط.

از طرف دیگر غلظت هر گاز در آب، طبق قانون هنری، در شرایط

اشباع، بستگی به فشار نسبی آن گاز در هوای در تماس با آب دارد

یعنی:

$$C_s = K_s P$$

که در آن:

C_s = غلظت اشباع گاز در آب؛

P = فشار نسبی گاز در هوا؛

K_s = ضریب ثابت نسبی و یا ضریب جذب.

C_s بر حسب میلی لیتر گاز در لیتر آب برای فشار P که متناسب با حجم

نسبی گاز است و K هم بر حسب میلی لیتر در لیتر بیان می شود. در

جدول شماره ۲-۱ ضریب جذب بعضی گازها در آب نشان داده شده

است.

بر مبنای نظریه آواگادرو^۱ که می گوید گازهای واقعی در دمای

یکسان دارای تعداد مولکول های مساوی هستند می توان حجم آنها

را به وزن تبدیل نمود. چنانکه در دمای صفر و فشار ۷۶۰ میلیمتر جیوه

حجم مولکولی تمام گازها ۲۲/۴۱۲ میلی لیتر برای هر گرم مولکول

می باشد.

مثال شماره ۲-۱: در شرایط متعارف صفر درجه و فشار ۷۶۰

میلیمتر جیوه، غلظت اکسیژن در شرایط تعادل و یا اشباع در آب

خالص چیست؟

حل: از جدول شماره ۲-۱ می توان دریافت که $K_s = ۴۹/۳$ میلی لیتر

در لیتر است، اما چون حجم اکسیژن ۲۰/۹۵ درصد حجم هوای خشک

در شرایط متعارف است ، فشار نسبی اکسیژن عبارت است از:

$$\text{میلیمتر جیوه } ۱۵۸/۲۶ = (۴/۵۸ - ۷۶۰) \times ۰/۲۰۹۵$$

لازم به توجه است که ۴/۵۸ فشار نسبی بخار آب در شرایط متعارف

است. بنابراین غلظت حجمی اکسیژن عبارت است از :

$$۱۰/۳ = \frac{۱۵۸/۲۶}{۷۶۰} \times ۴۹/۳ \text{ میلی لیتر در لیتر هوا می باشد.}$$

$$\text{و چون هر میلی لیتر اکسیژن دارای وزن } ۱/۴۳ = \frac{۲ \times ۱۶ \times ۱۰^۳}{۲۲/۴۱۲ \times ۱۰^۳}$$

جدول شماره ۲-۱- ضریب جذب بعضی از گازها در آب

نام گاز	وزن مولکولی (گرم)	وزن در صفر درجه و فشار ۷۶۰ میلیمتر جیوه (گرم در لیتر)	(ضریب K_s)		
			۰ درجه	۱۰ درجه	۲۰ درجه
اکسیژن (O _۲)	۳۲	۱/۴۲۹	۴۹/۳	۳۸/۴	۳۱/۴
نیتروژن (N _۲)	۲۸/۰۱	۱/۲۵۱	۲۳	۱۸/۵	۱۵/۵
دی اکسید کربن (CO _۲)	۴۴/۰۱	۱/۹۷۷	۱۷۱۰	۱۱۹۰	۸۷۸
هیدروژن (H _۲)	۲/۰۱۶	۰/۰۸۹۸	۲۱/۴	۱۹/۶	۱۸/۲
متان (CH _۴)	۱۶/۰۱۴	۰/۷۱۶۸	۵۵/۶	۴۱/۸	۳۳/۱
آمونیاک (NH _۳)	۱۷/۰۳	۰/۷۷۱۰	۱۳۰۰	۹۱۰	۷۱۱
ازن (O _۳)	۴۸	۲/۱۴۴	۶۴۱	۵۲۰	۳۶۸
کلر (Cl _۲)	۷۰/۹۱	۳/۲۱۴	۴۶۱۰	۳۱۰۰	۲۲۶۰
هوا	-	۱/۲۹۳	۲۸/۸	۲۲/۶	۱۸/۷

میلی گرم است. بنابراین غلظت وزنی اکسیژن $۱۴/۷ = ۱۰/۳ \times ۱/۴۳$

میلی گرم در لیتر می باشد.

جذب گاز در آب

اگر این اصل در نظر گرفته شود که میزان جذب یک گاز در آب

متناسب است با میزان آن در غلظت زیر اشباع آن پس می توان نوشت:

$$\frac{dc}{dt} = K_g (C_s - C_t)$$

که در آن:

$$\frac{dc}{dt} = \text{تغییر غلظت یا میزان جذب یا انتقال گاز در مدت t؛}$$

C_s = غلظت اشباع گاز در دمای ویژه؛

C_t = غلظت گاز در زمان t؛

K_g = ضریب تناسب برای شرایط موجود و با انتگرال گیری بین دو حد

$$C_0 \text{ در } t=0 \text{ و } C_t \text{ در زمان } t=t_0$$



و معادله اصلی عبارت است از:

$$C_t - C_0 = (C_s - C_0)[1 - \exp (-K_g t)]$$

که در آن K_g عبارت است از ضریب تناسب که با افزایش دما و عمل

اختلاط افزایش پیدا می نماید. طبق نظریه دو فیلم^۱ ضخامت دو لایه

بین دو فاز (شکل شماره ۲-۱) پارامتر اصلی در میزان تبادل گاز بین

فاز گازی و فاز محلول است. ضخامت لایه نیز تحت تاثیر ویسکوزیته

سینماتیک است که با ایجاد اغتشاش در بدنه اصلی آب و یا هوا

ضخامت آن کاهش می یابد.

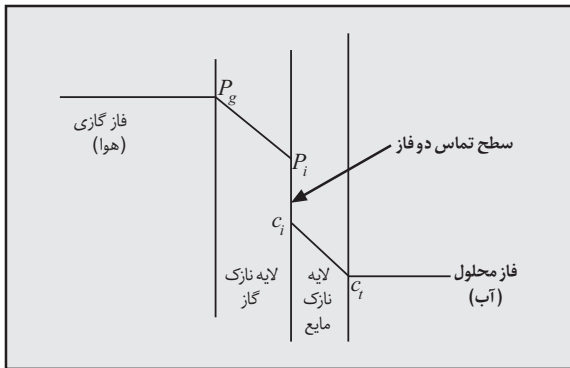
$$\frac{dw}{Adt} = -K_{d(g)}(P_g - P_t) = -K_{d(t)}(C_i - C_t)$$

که در آن:

$$\frac{dw}{Adt} = \text{وزن گاز که در واحد زمان و در واحد سطح تماس انتقال می یابد.}$$



شکل شماره ۲-۱- شیب غلظت و فشار گاز دو لایه گاز و آب



P_i = فشار نسبی گاز در هوا و در لایه همانطور که شکل نشان می‌دهد؛
 P_g = فشار نسبی گاز در هوا؛
 C_i = غلظت گاز در بدنه اصلی آب؛
 C_l = غلظت گاز در لایه تماس با هوا.

در این شرایط سه وضعیت زیر ممکن است بروز نماید:

۱. گاز مورد نظر در آب خیلی خوب محلول می‌شود (مانند آمونیاک) که در اینصورت C_i خیلی بزرگ است حتی اگر P_i کوچک باشد و در این صورت غلظت آن عامل اصلی عبور مولکول گاز از لایه گازی دو لایه است. در این صورت:

$$\frac{dw}{Adt} = K_{d(g)} P_s$$

زیرا P_i بسیار ناچیز می‌باشد و در نتیجه:

$$\frac{dc}{dt} = K_{d(g)} P_g \frac{A}{V}$$

لذا با کاهش ضخامت لایه مشترک از طریق هم زدن انتقال گاز شدت می‌یابد.

۲. گاز مورد نظر در آب کم محلول می‌شود (مانند اکسیژن، نیتروژن و دی اکسید کربن در آب) و در این صورت C_i تقریباً مساوی با C_g می‌باشد در این شرایط غلظت گاز محلول در آب به حالت اشباع و تعادل با گاز در هوای اطراف است. در این صورت لایه نازک عامل موثر در مبادله گاز است و معادله:

$$\frac{dc}{dt} = K_g (C_s - C_l)$$

نزدیک به معادله زیر می‌شود:

$$\frac{dw}{Adt} = K_{d(l)} (C_s - C_l)$$

که در آن C_i غلظت گاز در آب می‌باشد و در نتیجه:

$$\frac{dc}{dt} = K_{d(l)} (C_s - C_l) \frac{A}{V}$$

که شبیه معادله اول می‌شود و در این صورت انتقال گاز با کاهش ضخامت لایه مشترک افزایش می‌یابد.

۳. برای گازهای با حلالیت متوسط (مانند هیدروژن سولفور)، اثر دولایه نازک تماس در مبادله گاز موثر است و بنابراین هم زدن و آشفستگی لایه درانتقال گاز از آب موثر است.

مثال شماره ۲-۲: زدایش دی اکسید کربن

با فرض هوادهی به روش افشانی و قطر قطره‌ها ۰/۵۵ سانتیمتر، اگر غلظت گاز در آب قبل از هوادهی در شرایط فوق اشباع ۲۷/۵۸ میلی گرم در لیتر باشد و اگر زمان تماس یک ثانیه و غلظت گاز پس از مبادله ۱۱/۵ میلی گرم در لیتر گردد، ضریب انتقال گاز چیست؟

حل: می‌دانیم که $C_i - C_o = -۲۷/۵$ و $C_s - C_o = ۱۱/۵$

بنابراین $C_i - C_o = -۱۶$ میلی گرم در لیتر.

براساس معادله:

$$C_i - C_o = (C_s - C_o)[1 - \exp(-K_g t)]$$

بنابراین:

$$-۱۶ = -۲۷/۵ [1 - \exp(-K_g \times ۱)]$$

و در نتیجه:

$$K_g = ۰/۸۷۲ \text{ ثانیه}$$

و حجم قطره برای واحد سطح عبارت است از:

$$\frac{\pi d^3}{۶} = \frac{d}{۶}$$

$$\frac{۰/۵۵}{۶} = ۰/۱۷ \times ۱۰^{-۲} \text{ سانتیمتر}$$



سانتیمتر در ثانیه

$$K_{d(g)} = ۰/۸۷۲ \times ۹/۱۷ \times ۱۰^{-۲} = ۸ \times ۱۰^{-۲}$$

بنابراین ضریب انتقال عبارت است از:

$$\text{سانتیمتر بر ساعت} = ۲۸۸ = ۳۶۰۰ \times ۱۰^{-۲} \times ۸$$

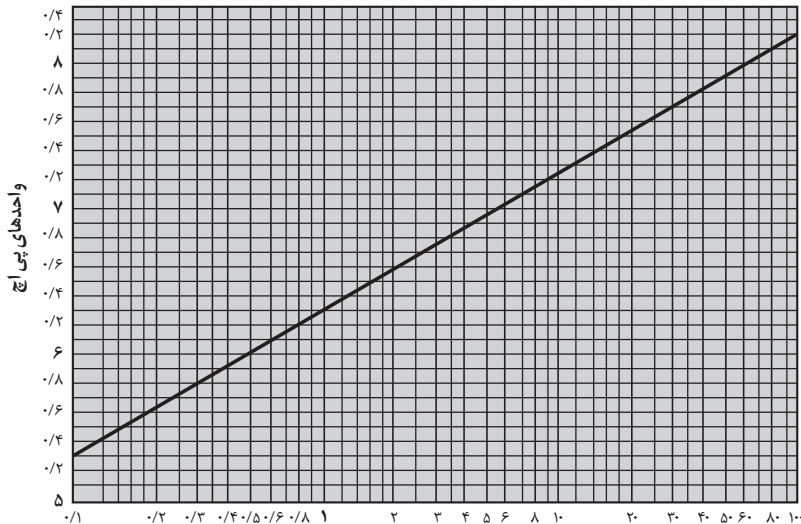
۲-۳- آلاینده‌های گازی

آلاینده‌های گازی که در آب به صورت محلول در آمده و مشکلاتی در عملکرد فرایندهای مختلف تصفیه آب مانند نمک‌زدایی گرمایی ایجاد می‌کنند عبارتند از دی اکسید کربن، اکسیژن، سولفید هیدروژن، متان، نیتروژن و گروهی از مواد آلی که مورد بحث قرار می‌گیرند. وجود سولفید هیدروژن و ترکیب‌های آلی فرار در فرایندهای تصفیه متعارف و حتی نمک‌زدایی باعث کاهش عملکرد و در نتیجه تولید آب نامطلوب می‌شوند و به همین دلیل هوادهی و هوازدایی از فرایندهای لازم بسیاری از صنایع تولید آب شرب می‌باشند.

۲-۳-۱- دی اکسید کربن

غلظت این گاز در آب باران حدود ۰/۲-۰/۵ میلی گرم در لیتر است اما

شکل شماره ۲-۲ - تناسب قلیاییت، پی اچ و دی اکسیدکربن



تناسب = قلیاییت متیل اورانژ (میلی گرم در لیتر کربنات کلسیم)
 دی اکسید کربن آزاد (میلی گرم در لیتر دی اکسید کربن)

اگر در آب مواد آلی باشد غلظت آن می‌تواند بیشتر شود. در لایه‌های سطحی آب دریاچه‌ها نیز غلظت آن در حدود ۲ میلی گرم در لیتر است و با افزایش عمق آب دریاچه میزان آن بیشتر می‌شود.

در منابع آب زیرزمینی غلظت آن متغیر بوده و بستگی به عمق

آب و مواد آلی آن دارد و تا ۳۰۰ میلی گرم در لیتر هم مشاهده شده است. در آب چشمه‌های اراضی آهکی کشور ما غلظت حدود ۵۰ میلی گرم در لیتر تجربه شده است. درجه حلالیت آن در آب با افزایش دما کاهش می‌یابد. غلظت اشباع آن در آب در کنار دریا و دمای حدود ۱۰-۲۰ درجه سلسیوس ۱۷۰۰-۲۳۰۰ میلی گرم در لیتر و یا ۸۵۵-۱۱۷۰ میلی لیتر در لیتر است. برای تعیین غلظت آن در آب از معرف فتل فتالیین استفاده می‌شود. در صورتیکه در آب دی اکسید کربن آزاد وجود داشته باشد محیط آب به رنگ قرمز در می‌آید.

دی اکسیدکربن وقتی در آب حل شود تولید اسیدکربنیک می‌نماید. در آب با دمای ۲۵ درجه سلسیوس و بدون قلیاییت، غلظت آن حدود ۱۴۵۰ میلی گرم در لیتر است و در این شرایط پی اچ آب حدود ۳/۸ است. البته این وضعیت به طور طبیعی بروز نمی‌نماید. آب خالص در شرایط متعارف و تماس با هوا دارای پی اچ حدود ۵/۷ خواهدبود

که قلیاییت آب آن را به حدود ۶/۴ می‌رساند.

اگر در آب قلیاییت بی‌کربناتی باشد پی اچ آن تحت تاثیر قلیاییت متیل اورانژ و دی اکسید- کربن آزاد قرار می‌گیرد. در شکل شماره ۲-۲ رابطه بین دی اکسیدکربن محلول و قلیاییت نشان داده شده است.

برای مثال، طبق شکل در آب حاوی ۲۰

میلی گرم در لیتر دی اکسید کربن آزاد، در صورتیکه قلیاییت آب ۱۰۰ میلی گرم در لیتر باشد پی اچ آب ۷ خواهد بود و اگر غلظت دی اکسید کربن آزاد آن ۴۰ میلی گرم در لیتر و قلیاییت متیل اورانژ آب ۲۰۰ میلی گرم در لیتر شود باز هم



جدول شماره ۲-۲- غلظت هوا، اکسیژن و نیتروژن در شرایط اشباع بر حسب میلی لیتر در لیتر آب

دمای آب (درجه سلسیوس)	هوا	اکسیژن	نیتروژن
۰	۲۸/۶۴	۱۰/۱۹	۱۸/۴۵
۱۰	۲۳/۳۷	۷/۸۷	۱۴/۵
۲۰	۱۸/۲۶	۶/۳۵	۱۱/۹۱

اکسیژن از آب هم جوشاندن آن است. اکسیژن محلول در آب برای آهن، فولاد، آهن گالوانیزه و حتی برنج خاصیت خوردنگی دارد و هر چه پی اچ آب کمتر باشد این خاصیت شدیدتر است. با افزایش دمای آب هم فرایند خوردگی فلز افزایش می یابد که در فصل چهارم به آن پرداخته می شود.

در آب های سطحی و با وجود مواد آلی به صورت بی اودی^۱ اکسیژن محلول آب مصرف می شود و دی اکسیدکربن تولید می شود. در شرایطی که میزان اکسیژن خواهی آب برای تجزیه مواد آلی بیشتر از توان اکسیژن گیری آب شود شرایط بی هوازی ایجاد گردیده و گازهای متان و سولفید هیدروژن ایجاد می شود که در مبحث فاضلاب تصفیه خانه های آب قرار دارد. از طرفی در آب های سطحی فیتوپلانکتون ها^۲ با فرایند فتوسنتز اکسیژن تولید می نمایند که با کاهش دی اکسیدکربن همراه است لذا غلظت آنها در شب و روز و در اعماق دریاچه متغیر است.

۲-۳-۳- سولفید هیدروژن

آب های حاوی این گاز که بیشتر آب های زیرزمینی هستند علاوه بر ایجاد بوی نامطبوع در آب به آن خاصیت خوردنگی داده و استشمام آن نیز خطرناک است. در صورتیکه غلظت آن در آب از حدود ۵/۰ میلی گرم در لیتر بیشتر شود بوی آن قابل تشخیص است و با افزایش

1. BOD

پی اچ آب بوی آن کمتر محسوس می شود.

آب خروجی از چاه ها ممکن است به علت وجود سولفور آهن به رنگ قهوه ای مایل به سیاه باشد که با کلرزنی رنگ از بین می رود. ترسیب ترکیب سولفور آهن می تواند به دو صورت دو ظرفیتی^۱ و چهار ظرفیتی^۲ باشد. در فرایندهای هوادهی این گاز از آب تخلیه می شود اما با وجود قلیاییت و در نتیجه پی اچ بالا عملکرد زدایش کمتر می شود. سرعت تخلیه آن از آب کمتر از تخلیه دی اکسیدکربن است. اکسیژن به عنوان اکسیدکننده موجود در هوا هم روی اکسیداسیون آن بسیار آرام عمل می نماید. جدول شماره ۲-۳ غلظت سولفید هیدروژن را در آب و در شرایط اشباع نشان می دهد.

۲-۳-۴- مواد آلی فرار

در انتقال مواد آلی فرار به آب و یا زدایش آن از آب باید به موارد زیر توجه نمود:

- ویژگی های ترکیب فرار؛
- دمای آب و محیط اطراف؛
- مقاومت انتقال گاز؛
- فشار نسبی گاز در هوای اطراف آب؛
- اغتشاش در آب و هوا؛
- زمان و یا مدت تماس.

۲ نرخ انتقال

نرخ انتقال یک ترکیب فرار از محیط آب به هوا به طور معمول متناسب با اختلاف بین غلظت آن در آب و غلظت شرایط پایدار آن است و به صورت معادله زیر نوشته می شود:

$$M = K_L A (C_i - D_i)$$

که در آن:

جدول شماره ۲-۳- غلظت سولفید هیدروژن در آب در شرایط اشباع

غلظت سولفید هیدروژن دما (سلسیوس)	میلی گرم در لیتر	میلی لیتر در لیتر آب
۰	۷۰۷۰	۴۹۵۰
۱۰	۵۱۱۰	۳۳۲۰
۲۰	۳۸۵۰	۲۵۰۰

M = جرم ماده فرار منتقل شده در واحد زمان و در واحد حجم که به صورت کیلوگرم در ساعت در مترمکعب نمایش داده می شود؛
 K_L = ضریب کلی و ویژه انتقال گاز بر حسب متر در ساعت؛
 A = سطح مؤثر انتقال جرم بر حسب مترمربع برای مترمکعب آب که بستگی به نوع دستگاه حبابساز دارد؛

C_i = غلظت ترکیب در فاز آبی و در شرایط پایدار نسبت به غلظت آن در فاز گازی بر حسب کیلوگرم در متر مکعب؛
 D_i = غلظت ترکیب در فاز آبی بر حسب کیلوگرم در متر مکعب.

سطح موثر A در معادله پیش گفته بیانگر سطح کل حباب هاست که در تماس با آب در می آید و لذا به دستگاه حبابساز بستگی دارد. نیروی مؤثر انتقال گاز عبارت است از اختلاف بین غلظت آن در هوای مورد تزریق و شرایط پایدار آن. غلظت در شرایط پایدار ترکیب در هوا، تناسب مستقیم با غلظت آن در آب مورد هوادهی در دمای تعریف شده دارد که در بخش مربوط به قانون هنری مطرح گردید. در جدول شماره ۲-۴ ضرایب ثابت بعضی از ترکیب ها طبق معادله هنری آورده شده است.

ضریب K_L که در معادله دیده می شود به ویژگی های زیر بستگی دارد:

- نوع ترکیب و یا ضریب هنری؛
- ویژگی های حباب های هوای تزریق شده به آب^۳؛

1. FeS

2. FeS₂

۳. برای اطلاعات بیشتر به فصل چهارم بخش شناورسازی مراجعه شود.



جدول شماره ۲-۴- ضرایب ثابت بعضی از ترکیب‌ها در قانون هنری (برای دمای ۲۰ درجه سلسیوس)

ترکیب	فرمول	ضریب
اکسیژن	O _۲	۴/۳ × ۱۰ ^۴
دی اکسیدکربن	CO _۲	۱/۵۱ × ۱۰ ^۳
تتراکلرید کربن	CCl _۴	۱/۲۹ × ۱۰ ^۳
سولفید هیدروژن	H _۲ S	۵/۱۵ × ۱۰ ^۲
بنزن	C _۶ H _۶	۲/۴ × ۱۰ ^۲
کلروفرم	CHCl _۳	۱/۷ × ۱۰ ^۲
بروموفرم	CHBr _۳	۳۵
آمونیاک	NH _۳	۰/۷۶

- دمای آب؛
- زمان تماس؛
- و بالاخره مقاومت انتقال گاز مورد نظر.

۲-۴- روش‌های زدایش گازها

روش‌های زدایش گازهای پیش گفته از آب را می‌توان در سه صنعت

و یا فناوری تقسیم‌بندی نمود که عبارتند از:

الف – هوازدایی^۱؛

ب – هوادهی^۲؛

ج – واکنش‌های شیمیایی.

در روش‌های هوازدایی چند صنعت مورد استفاده است که به آنها پرداخته می‌شود. چون در دمای ۱۰۰ درجه سلسیوس حلالیت گازهای اکسیژن، نیتروژن و دی اکسیدکربن در آب تقریباً صفر است، لذا جوشاندن آب و تخلیه گازها از آن اساس هوازدایی است. از طرف

دیگر می‌توان آب را در فشار جو، تحت فشار بیشتر و یا کمتر از جو به جوش آورد. توجه شود که اگر فشار نسبی گاز بر روی آب کاهش پیدا ننماید و ثابت بماند این تخلیه انجام نمی‌گیرد لذا خارج کردن گاز تخلیه شده از محیط اطراف آب ضرورت دارد. روش‌های هوازدایی عبارتند از:

۲-۴-۱- گرم‌کننده‌های روباز^۳

برای تولید آب بدون گازهای محلول برای دیگ‌های بخار با فشار کم، این روش کاربرد دارد. در روش ساده جوشاندن آب، اکسیژن محلول در حد ۰/۱-۰/۲ میلی‌گرم در لیتر آب باقی می‌ماند.

۲-۴-۲- هوازدایی افشانی^۴

تاسیسات مورد استفاده در این صنعت در شکل شماره ۲-۳ نشان داده شده است. تاسیسات اصلی عبارتند از دیگ گرم‌کننده، دستگاه پخش و یا افشاندن^۵ آب در داخل دیگ، منبع تولید بخار گرم و شنآوری که سطح آب را در دیگ تنظیم می‌نماید، بدین ترتیب که هر وقت آبیگری انجام گیرد آب جدید هوازدایی شده جایگزین آن می‌شود. لازم به یادآوری است که آب خام قبل از رسیدن به تاسیسات به صورت آبشار باید از واحد گرم‌کننده و تهویه اولیه عبور نماید. برای گرم کردن آب از استیم^۶ استفاده می‌شود و گازهای محلول آب همراه با بخشی از بخار از دیگ تخلیه می‌شود. در مسیر تخلیه، تاسیسات تقطیر وجود دارد که بخار آب خروجی را تقطیر می‌نماید و از آب تولید شده و حرارت بازیافتی استفاده دوباره می‌شود.

در تاسیساتی مانند شکل پیش گفته آبشار آب در تماس با بخار داغ قرار می‌گیرد، گازهای محلول خود را از دست می‌دهد. توجه شود که آب اشباع از هوا در دمای ۱۰ درجه سلسیوس دارای ۷/۹ میلی‌لیتر در لیتر اکسیژن محلول است. این نوع هوازدایی غلظت اکسیژن را

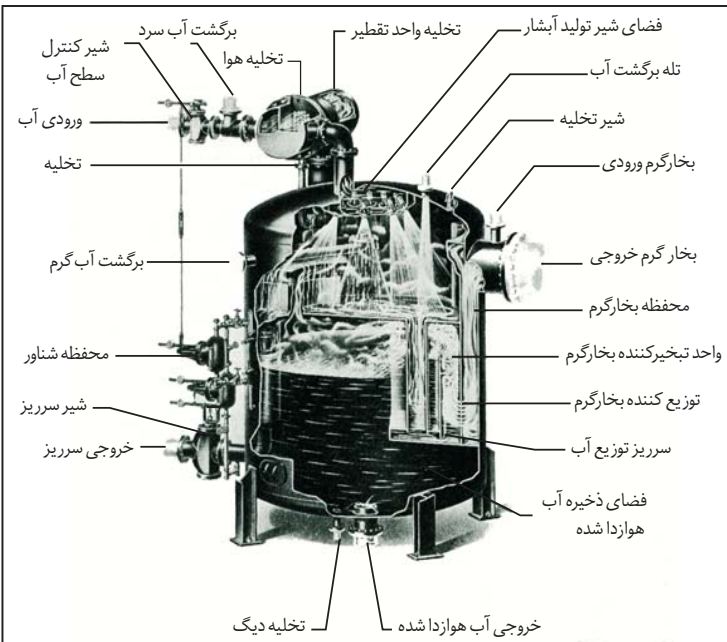
1. Deaeration
2. Aeration

3. Open Heater
4. Spray-Type Deaerator

5. Spray
6. Steam



شکل شماره ۲-۳- جزئیات یک هوازدای افشانی عمودی



به ۰/۳ میلی‌لیتر در لیتر می‌رساند که نشان از ۹۶ درصد زدایش است. ظرفیت این تاسیسات دارای محدودیت تولید آب است که در دفترچه فروشندگان و سازندگان آورده می‌شود.

تاسیسات هوازدایی افشانی می‌توانند عمودی و یا افقی نصب شوند که ظرفیت مورد نیاز روی انتخاب آنها دخالت دارد. در انواع گرم‌کننده‌های باز که مورد بحث قرار گرفت از بخار گرم فقط یک بار استفاده می‌شود و عملکرد زدایش گازها هم ۱۰۰ درصد نیست و مشاهده شد که حدود ۰/۱-۰/۳ میلی‌لیتر گاز در لیتر آب باقی می‌ماند.

در نوع افشانی از بخار در دو مرحله استفاده می‌شود و آب گرم هوازدایی شده مرحله اول توسط بخار آب، مورد زدایش دوباره گاز قرار می‌گیرد تا کار تخلیه گاز کامل شود و سپس بخار استفاده شده به گرم‌کننده اولیه هدایت می‌شود. هوای محلول در آب خروجی گرم‌کننده دوم در حدود ۰/۰۰۵ میلی‌لیتر در لیتر آب است. همانطور که شکل

پیش گفته نشان می‌دهد شیر کنترل سطح آب و تنظیم مقدار آب هوازدا شده در خارج دیگ قرار دارد که دارای دوام و عملکرد بهتری است. در خروجی این شیر لوله برگشت آب سرد پیش‌بینی شده است. آب سرد از طریق واحد تقطیر کننده بخار، گرم شده و به داخل بخش هوازدایی اصلی هدایت می‌شود. ضمن گرم شدن، هوای محلول خود را از دست می‌دهد و میزان اکسیژن آن در حدود ۰/۳ میلی‌لیتر در لیتر آب می‌رسد که در واحد زدایش توسط بخار، از گازهای باقیمانده تخلیه می‌شود.

حجم بخار عبوری از واحد زدایش هوا، در مقایسه با آب گرم مورد هوازدایی خیلی بیشتر است و در نتیجه فشار نسبی اکسیژن در آن قابل

صرفنظر کردن می‌باشد. آب مورد هوازدایی به دلیل فشار بخار، کمی بیشتر از دمای جوشش گرم می‌شود و در خروج دستخوش تبخیر ناگهانی^۱ نسبی شده و فرایند هوازدایی انجام می‌گیرد. لذا تمام بخار عبور کرده از گرم‌کننده از واحد شستشوی آب هم عبور می‌نماید تا به بخش واحد افشان آب برسد و در آنجا آب افشان شده را گرم می‌نماید. در این روش معمولاً از بخار تخلیه شده^۲ از تاسیسات دیگر استفاده می‌شود و در صورتیکه میزان آن کافی نباشد باید از تاسیساتی برای تولید بخار بیشتر استفاده شود.

چون تاسیسات هوازدایی به صورت مجموعه ساخته و عرضه می‌شود کلیاتی در مورد آنها ارایه شده است. تاسیسات باید دارای سرریز، امکانات جمع‌آوری بخار تقطیر شده، درون‌آر و برون‌بر مناسب بوده و طوری طراحی شده باشد که بهره‌برداری از آن آسان باشد. مقاومت تاسیسات به خوردگی نیاز به توجه ویژه دارد.



۲-۴-۳- هوازدایی بشقابی^۱

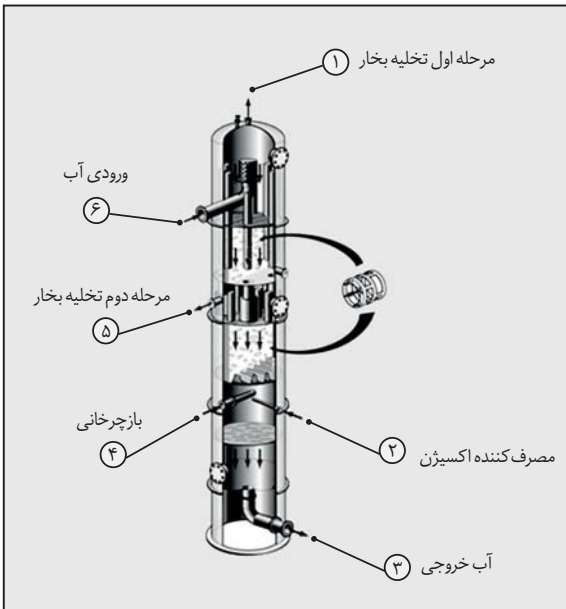
در این نوع هوازداها آب مورد زدایش به صورت باران روی بشقاب‌هایی که روی هم قرار داشته و در فضای پر از استیم نصب شده‌اند پاشیده می‌شود. براساس نحوه تماس آب با استیم فناوری‌های مختلفی وجود دارد. در نوع آبشاری^۲ در حالیکه بخار گرم به طرف بالا حرکت می‌یابد آب به صورت آبشار قطره‌ها ریزش می‌نماید لذا برخورد انجام می‌گیرد. در نوع پودری^۳، هوازدایی در دو مرحله انجام می‌گیرد بدین ترتیب که استیم ورودی، آب هوازداشته را به صورت پودر در می‌آورد و سپس برای گرم کردن آب ورودی مرحله اول مورد استفاده قرار می‌گیرد. در تمام انواع هوازداها تهویه و تخلیه گازهای خارج شده از آب باید به خوبی انجام گیرد تا فشار نسبی گاز روی آب کاهش یافته و زدایش انجام گیرد. این وضعیت با نام عمومی برج افشان^۴ آب هم نامیده می‌شود. به هر حال قطرات آب با تماس با استیم گرم شده و گازهای آن تخلیه می‌شود.

۲-۴-۴- هوازدایی در فشار کمتر از جو^۵

در این صنعت که در کشور ما تا حدودی توسعه یافته است شامل استوانه و یا ستونی است که به طور معمول دارای سه بخش مجزا از هم می‌باشد. بخش اول شامل ورودی آب مناسب هوازدایی، تاسیسات پخش و ایجاد باران آب است که حاوی موادی از قبیل پروپیلن با اندازه حدود ۵ سانتیمتر به عنوان مصالح آکنده^۶ می‌باشد. فشار هوای این بخش در حدود ۴۰-۵۰ میلیمتر جیوه^۷ به کمک پمپ خلا حفظ می‌گردد. بدین ترتیب که با ایجاد قطرات ریز آب و افزایش سطح مبادله، گازهایی مانند اکسیژن و دی اکسید کربن از فاز محلول به فاز گازی تبدیل و با پمپ خلا از فضای بالای آب تخلیه می‌شوند.

آب هوازدا شده به بخش دوم دستگاه هدایت شده که فشار هوای آن کمتر از ۴۰ میلیمتر جیوه می‌باشد و بقیه گازهای محلول از آب جدا می‌شود. آب حاوی اکسیژن محلول حدود ۱/۰ میلی گرم در لیتر به بخش سوم و ذخیره استوانه هدایت می‌شود و در صورت نیاز با تزریق یک ماده شیمیایی مانند بی سولفیت سدیم^۸ می‌توان اکسیژن باقیمانده را نیز از آب حذف نمود. شکل ۲-۴ جزئیات یک دستگاه هوازدایی در خلا را نشان می‌دهد. دمای آب و محیط یکی از محدودیت‌های عملکرد است. ضمن این که ظرفیت تولید آب هم با توجه به محدودیت ظرفیت تولید هر واحد باید تعریف شود. معمولا امکانات بازچرخانی آب در سیستم برای حفظ غلظت اکسیژن محلول باید پیش بینی شود. پیچیدگی‌های این روش هوازدایی در مقایسه با روش‌های استفاده از استیم کمتر است.

شکل شماره ۲-۴- جزئیات یک هوازدای در خلا^۹



- | | | |
|---|---------------------|---------------|
| ۷. توجه شود که فشار جو در کنار دریا و در دمای صفر درجه سلسیوس ۷۶۰ میلیمتر جیوه است. | 4. Spray Tower | 1. Tray-Type |
| ۹. برگرفته از کاتالوگ شرکت طراحی و مهندسی تراوش جم | 5. Vacuum Deaerator | 2. Spray-Type |
| | 6. Packed Material | 3. Atomizing |



آب خام مورد هوازدایی باید دارای ویژگی‌هایی باشد که سازنده تاسیسات آن را تعریف می‌نماید اما به طور کلی به شرح زیر است:

- کدورت کمتر از ۱۰/۰ ان تی یو؛
- جامدات معلق کمتر از ۲/۰ میلی گرم در لیتر؛
- جامدات محلول متغیر بوده زیرا برای شرایط مختلف قابل ساخت است؛
- پی‌اچ ۷-۸؛
- کاتیون‌های مولد سختی کمتر از ۴۰۰-۵۰۰ میلی گرم در لیتر؛
- آهن کمتر از ۰/۴ میلی گرم در لیتر؛
- بدون عناصر سنگین.

۲-۵- روش‌های هوادهی

استفاده از هوادهی برای بهبود کیفیت آب سابقه‌ای طولانی دارد. هدف از هوادهی ایجاد شرایطی است که آب و هوا با یکدیگر تماس پیدا کرده و طبق قانون هنری مبادله گازهای محلول در آن انجام گیرد. یادآوری گردید که غلظت هر گاز در آب با توجه به فشار نسبی آن در هوای روی آب و ضریب ویژه گاز تعریف می‌شود. البته دمای آب و غلظت ترکیب‌های محلول دیگر در آب نیز روی حلالیت گازها دخالت دارد. برای زدایش مواد آلی مولد طعم و بو و گروهی از گازها از انواع روش‌های هوادهی استفاده می‌شود. لذا مواد آلی تبخیر شدنی (فزار) در فرآیند هوادهی با توجه به شرایطی از آب تخلیه می‌شوند. هر چه ضریب هنری بزرگ‌تر باشد فرار گاز از آب سریع‌تر انجام می‌گیرد.

هدف‌های ویژه هوادهی عبارتند از:

- کاهش دی اکسیدکربن، سولفید هیدروژن، مواد آلی فزار مانند روغن‌ها و ترکیب‌های شیمیایی فزار؛
- افزایش اکسیژن و در مواردی ازن.

صنایع هوادهی را می‌توان در سه گروه تقسیم نمود:

- آب به صورت‌های مختلف در تماس با هوا قرار می‌گیرد؛
- هوا به صورت حباب به داخل آب دمیده می‌شود؛
- هوای تحت فشار در آب محلول شده و دوباره تبدیل به گاز و حباب می‌شود.

اما می‌توان صنایع هوادهی را در دو گروه زیر تقسیم بندی نمود:

الف – هواده‌های ثقلی؛

ب – هواده‌های تحت فشار.

۲-۵-۱- هواده‌های ثقلی

همانطور که شکل شماره ۲-۵ نشان می‌دهد این هواده‌ها عبارتند از:

- پله‌ای
- صفحه شیب‌دار
- چند بشقابی
- برجی و یا ستونی

این روش هوادهی در تصفیه‌خانه‌های آب فراوان دیده می‌شود در حالیکه در صنعت تصفیه فاضلاب کاربرد ندارد. در فیلترهای چکنده^۱ که نوعی هوادهی برجی است همان اصول کلی برج‌های آکنده را می‌توان مشاهده نمود که مورد بحث قرار نمی‌گیرد زیرا مربوط به فناوری‌های تصفیه فاضلاب‌ها می‌باشد.

۲-۵-۲- هواده‌های صفحه‌ای و پله‌ای^۲

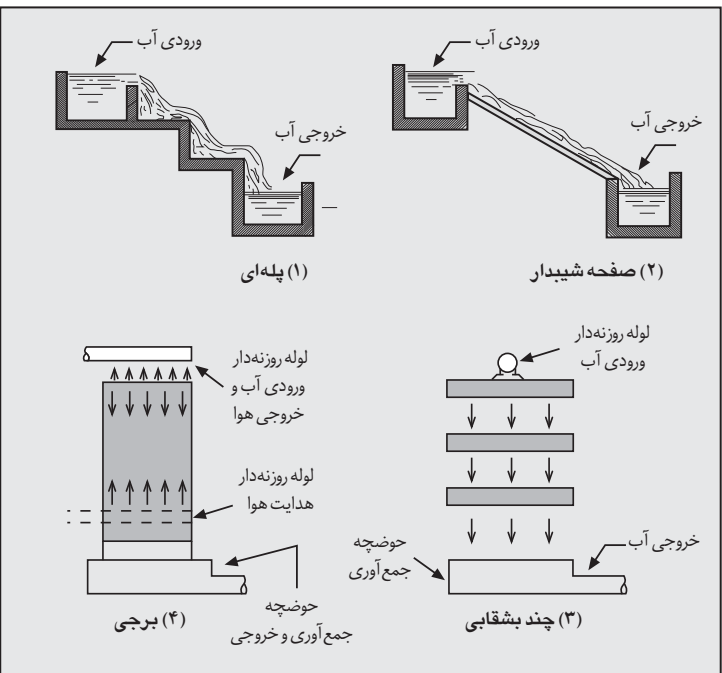
همانطور که در شکل شماره ۲-۵ می‌توان مشاهده نمود تاسیسات شامل سازه ساده‌ای است که به صورت پلکان و یا صفحه شیب‌دار می‌باشد و اگر مشکل رشد جلبک‌ها، ترسیب ترکیب‌های محلول آب و آلودگی‌ها قابل پیشگیری و یا مبارزه بوده و اگر فضا و شیب مناسب

1. Trickling Filters

2.Cascade Aerator and Inclined plain



شکل شماره ۲-۵- هواده‌های ثقلی: (۱) پله‌ای (۲) صفحه شیب‌دار (۳) چند بشقابی (۴) برجی



هم در دسترس باشد از آن می‌توان به ویژه در تصفیه‌خانه‌های با ظرفیت کم استفاده نمود. زمان تماس عبارت است از مجموع زمان سقوط ذره از پله‌ها و حرکت روی سطوح افقی که با ایجاد موانع می‌توان آن را افزایش داد که در صفحات بعد آورده شده است.

هواده‌های چند بشقابی

هواده‌های چند بشقابی شامل چند صفحه است که با نام سینی هم شناخته می‌شود. سینی‌ها دارای روزنه‌ها و شکاف‌هایی هستند و می‌توان روی آنها مصالحی از جنس پلاستیک، کک و یا مصالح مورد استفاده در برج‌های آکنده قرار داد.

آب خام توسط یک صفحه پخش کننده روی سینی بالایی ریخته شده و با نیروی ثقل از سینی‌ها عبور نموده و در حوضچه زیرین جمع‌آوری می‌شود که کار ته‌نشینی را هم انجام می‌دهد. معمولاً اندازه

مصالح ۵-۱۵ سانتیمتر انتخاب می‌شود. در صورتی که نگرانی آلودگی هوا مطرح است تاسیسات باید در فضای بسته نصب شده و مجهز به امکانات مناسب جهت تخلیه هوا باشد (شکل‌های شماره ۲-۵ و ۲-۶). میزان بار هیدرولیکی حدود ۲۰۰-۲۵۰ مترمکعب در مترمربع در روز در کل سینی‌هاست. لذا اگر لازم است روزانه ۱۰ هزار مترمکعب آب هوادهی شود و باید ۵ سینی روی هم قرار گیرد، سطح هر سینی در حدود ۱۰ مترمربع خواهد بود. در بعضی از صنایع، هواده‌های چند بشقابی برای زدایش سولفید هیدروژن نیز کاربرد دارد و برای عملکرد مطلوب به هوای مورد استفاده دی‌اکسیدکربن تزریق می‌شود تا پی‌اچ آب کاهش یابد و زدایش سولفید هیدروژن بهتر انجام گیرد.

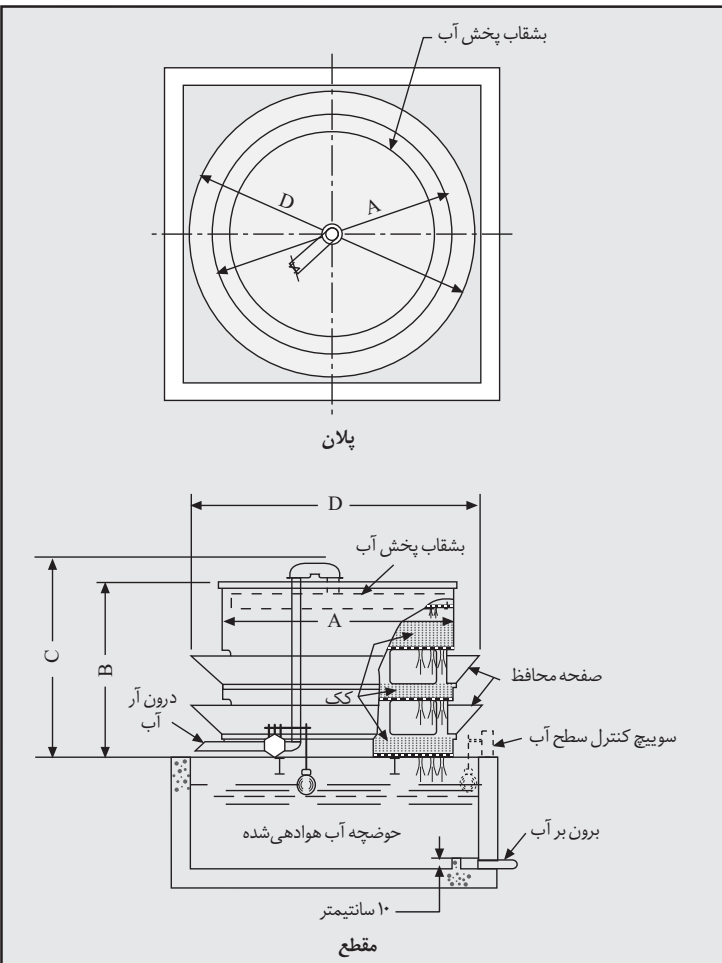
همانطور که یادآوری گردید این نوع هواده‌ها در زدایش مواد آلی مولد طعم و بو عملکرد مطلوبی دارند. در شکل شماره ۲-۶ یک نوع هواده بشقابی همراه ابعاد و اندازه‌های لازم نشان داده شده است و برای زدایش آهن و منگنز دو ظرفیتی محلول در آب‌های زیرزمینی عملکرد مطلوبی داشته است.

هواده‌های برجی^۱

این نوع تاسیسات که به نام برج هوادهی هم نامیده می‌شود دارای عملکرد قابل تنظیم بوده و شامل استوانه‌ای است که در آن سینی‌هایی دارای شکاف و یا روزنه، با فاصله روی هم نصب می‌گردد و یا درون استوانه از موادی درشت دانه پر می‌شود که به نام برج‌های پر شده و یا آکنده^۲ نامیده می‌شود.

آب خام از بالای استوانه توسط پخش کننده روی سینی اول ریخته

شکل شماره ۲-۶- ابعاد و اندازه‌های هواده بشقابی همراه با قلوه کک



نوع هواده	ظرفیت (مترمکعب در ساعت)	سطح لازم	ابعاد (متر)			
			A	B	C	D
۱	۳۹	۱/۸	۱/۲	۱/۹	۲/۱	۱/۵
۲	۶۵	۲/۷	۱/۸	۱/۹	۲/۲	۲/۱
۳	۱۱۴	۴/۷	۲/۴	۱/۹	۲/۲۵	۲/۷
۴	۱۷۸	۷/۳	۳	۱/۹	۲/۴	۳/۳
۵	۲۵۶	۱۱	۳/۶	۱/۹	۲/۴۶	۴



و از زیر هم هوا به داخل استوانه دمیده می‌شود. لذا آب و هوا در دو جهت مخالف جریان یافته و در تماس با یکدیگر می‌آیند. برج‌های آکنده بیشتر در صنایع مورد استفاده قرار می‌گیرند و برای زدایش مواد آلی فزّار کاربرد دارد. در شکل شماره ۲-۷ ویژگی‌های مورد توصیه برای طراحی و ساخت برج‌های سینی دار آورده شده است.

این نوع برج‌ها در زدایش دی‌اکسیدکربن دارای عملکرد بالایی است و در صنعت نمک‌زدایی از آب‌ها به روش گرمایی کاربرد فراوان دارد که نوعی هوازدایی هم می‌تواند باشد.

۲-۵-۲- هواده‌های تحت فشار

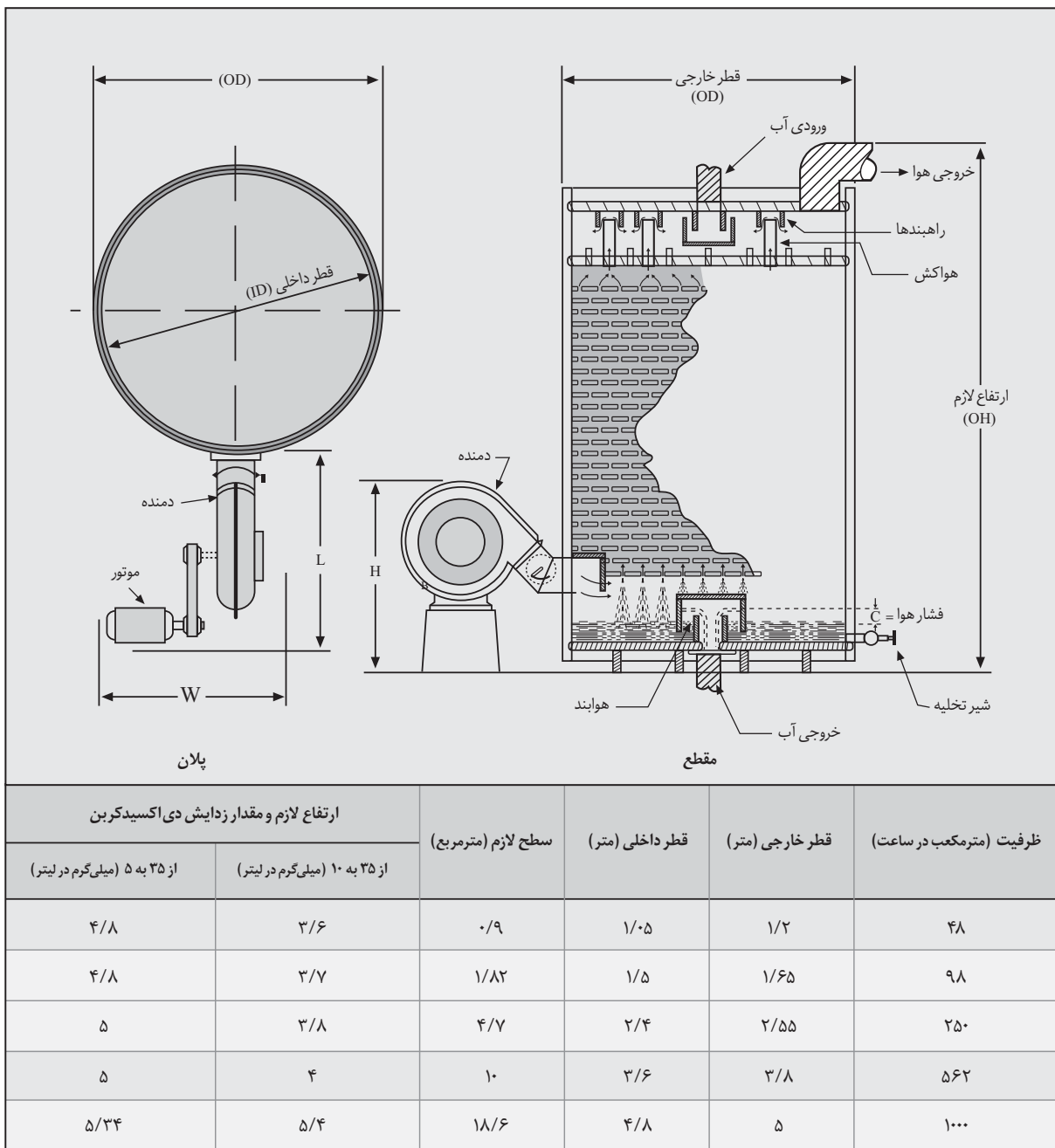
این هواده‌ها در انواع افشانی و تزریقی، مکانیکی و تحت فشار ساخته می‌شوند.

هواده‌های افشانی^۱

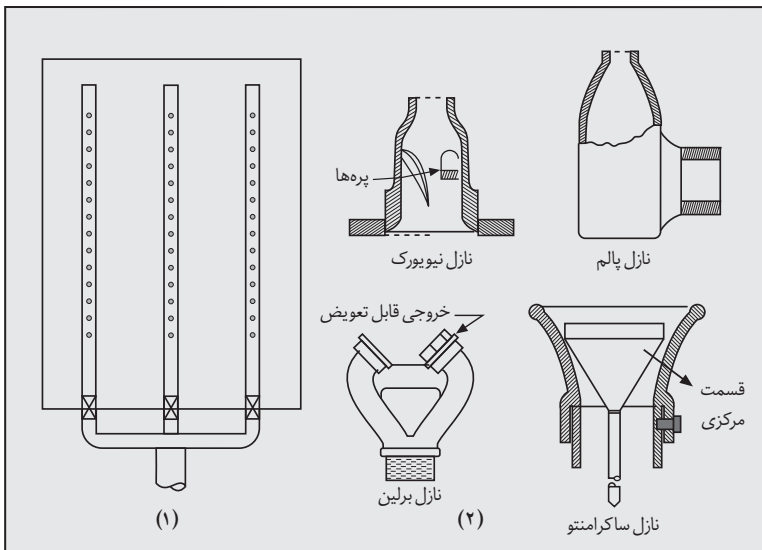
در این روش هوادهی، آب تحت فشار از طریق روزنه‌هایی که روی لوله ایجاد گردیده، با زاویه‌ای به طرف بالا پرتاب می‌شود. آب افشان شده به قطرات تبدیل و در تماس با هوا در می‌آید. در زیر لوله‌ها و روزنه‌ها حوضچه جمع‌آوری آب پیش‌بینی شده است لذا تاسیسات عبارت است از یک حوضچه و لوله‌هایی دارای روزنه در بالای آن. این تاسیسات در زدایش دی‌اکسید کربن و افزایش اکسیژن به آب عملکرد مطلوبی دارد.



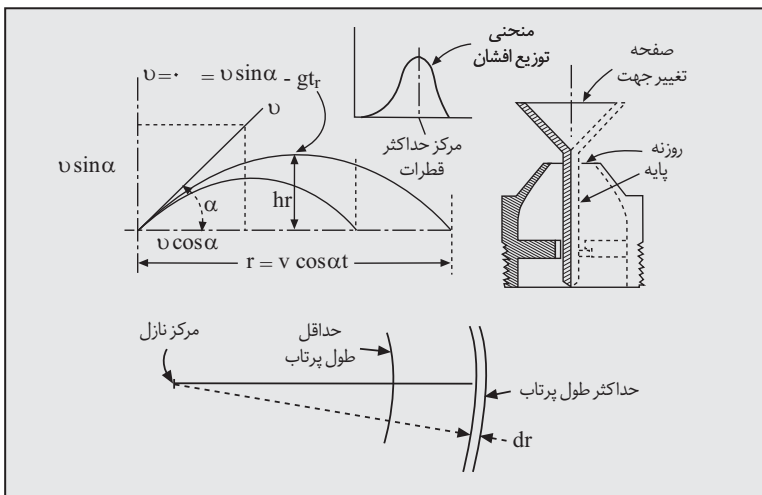
شکل شماره ۷-۲- ویژگی‌های یک برج هواده با دستگاه دمنده هوا^۱



شکل شماره ۸-۲- هواده افشانی و نازل‌ها (۱) روزنه‌ها روی لوله (۲) نازل‌های پیش‌ساخته



شکل شماره ۹-۲- هیدرولیک و پروفیل هندسی نازل‌های ثابت (هواده افشانی)



هواده‌های افشانی در تصفیه‌خانه‌های آب شرب همگانی کاربرد متعارف دارد و برای زدایش طعم و بو مورد توجه است. هر چه قطرات آب کوچک‌تر باشد عملکرد هواده‌ی مطلوب‌تر است. فضای لازم حدود ۵-۱۷ مترمربع برای هر روزنه است و فاصله روزنه‌ها ۰/۶-۲/۵

سانتیمتر و سطح حوضچه ۱۰۰-۳۰۰ مترمربع برای متر مکعب آب تولیدی در ثانیه است. فشار لازم پای روزنه هم حدود یک اتمسفر و کمتر است. در صورتیکه زمان تماس بیشتری مورد نیاز باشد می‌توان حوضچه زیر روزنه‌ها را با مصالحی مانند خرده سنگ مرمر، کک و یا کربن فعال پر نمود تا آب با مصالح حوضچه تماس بیشتری پیدا نموده و زمان تماس افزایش یابد. به کمک عملیات آزمایشی^۱ می‌توان زمان مناسب تماس آب و هوارا تعیین نمود. در شکل‌های شماره ۲-۸ و ۲-۹ کلیاتی از این نوع هواده‌ها نشان داده شده است.

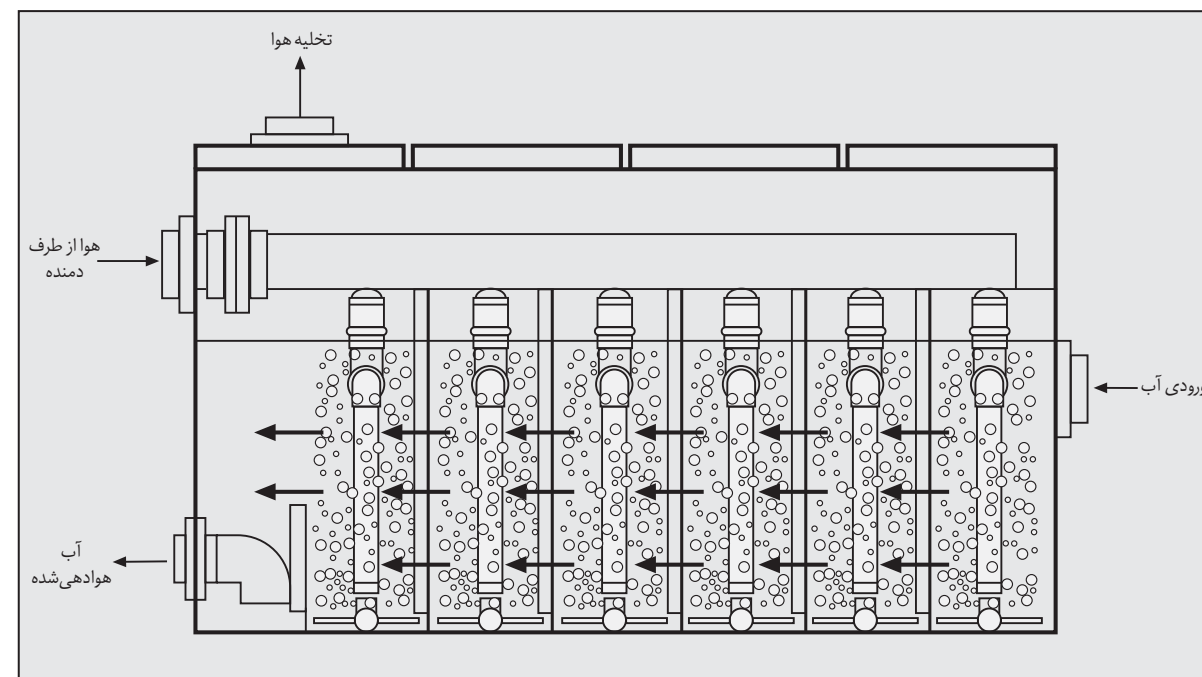
هواده‌های تزریقی^۲

اصول کار این نوع هواده‌ها، تزریق هوا به صورت حباب‌هایی به داخل آب است. لذا تاسیسات شامل یک حوضچه بتنی است که در کف آن شبکه لوله‌های دارای روزنه قرار دارد و با دمیدن هوای تحت فشار، از روزنه‌ها حباب‌های هوا به داخل آب تزریق می‌شود. در مدل‌های جدیدتر مانند شکل شماره ۲-۱۰ هواده‌ی به صورت مرحله‌ای انجام می‌گیرد. زمان ماند در حوضچه هواده‌ی ۱۰-۳۰ دقیقه

است و برای تزریق ازن کاربرد فراوان دارد. عمق آب در این حوضچه‌ها حدود ۰/۵-۰/۹ متر است. در حالیکه برای هواده‌های تزریقی متعارف عمق حوضچه حدود ۳-۵ متر است. برای عمق‌های کمتر می‌توان از دمنده‌های سانتریفیوژ استفاده نمود و برای عمق‌های بیشتر باید از



شکل شماره ۲-۱۰- مقطع یک هواده تزریقی با عمق کم آب



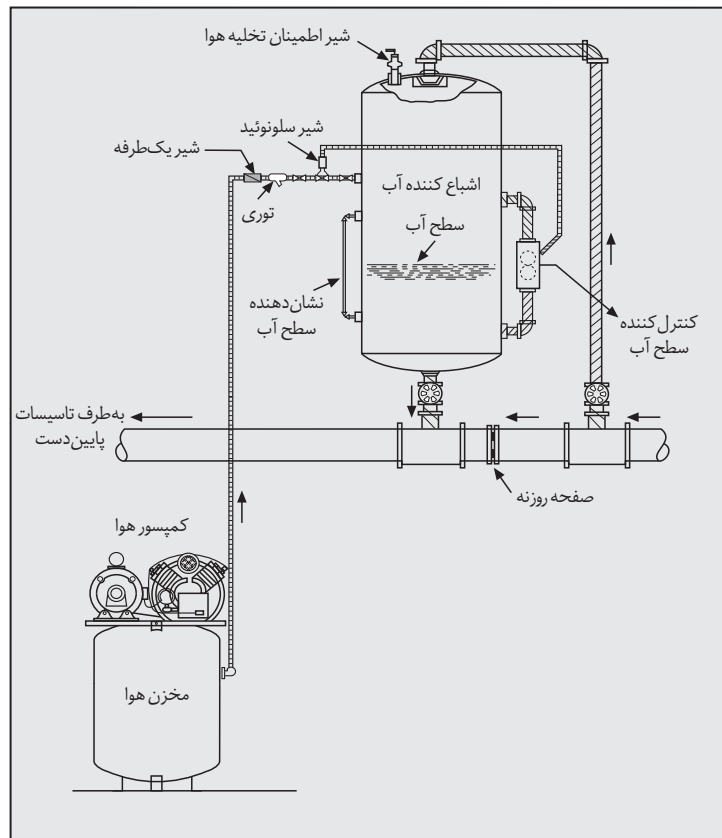
هوای تحت فشار توسط کمپرسور بهره گرفت. در تزریق هوا به داخل آب حوضچه، روش‌های مختلفی وجود دارد. به هر حال با افزایش عمق آب در حالیکه زمان تماس هوا و آب افزایش می‌یابد و عملکرد مطلوب‌تر می‌شود، انرژی الکتریکی بیشتری برای خنثی نمودن فشار آب ضرورت دارد. همچنین پیش‌بینی تاسیسات اندازه‌گیری و تنظیم مناسب هوا به آب لازم است. این فناوری در بخش ازن زنی مفصل‌تر مورد بحث قرار گرفته است.

هواده‌های مکانیکی^۱

این نوع هواده‌ها بیشتر در تصفیه‌های بیولوژیکی فاضلاب کاربرد دارند و با نام هواده سطحی^۲ و هواده عمقی^۳ شناخته می‌شوند. در صورتیکه هدف افزایش اکسیژن محلول در آب باشد مانند تصفیه فاضلاب به روش لجن فعال هواده‌های عمقی کاربرد دارد. به دلایل



شکل شماره ۲-۱۱- هوادهی تحت فشار



روزنه‌های ایجاد شده روی لوله و یا نصب روزنه‌های پیش ساخته باشد که با پرتاب و یا افشاندن آب منظره‌ای زیبا ایجاد می‌نماید. برای انواع ثابت و برای ظرفیت‌های زیاد و با غلظت بالایی گاز، قطر مناسب روزنه‌ها حدود ۴ سانتیمتر می‌باشد.

عملکرد هیدرولیکی هواده افشانی که با فشار هیدرولیکی عمل می‌نماید با سه اصل ارتباط دارد:

- ویژگی روزنه؛
- ویژگی زاویه پرتاب؛
- اثرات باد.

معادله $V = C_v \sqrt{2gh}$ سرعت پرتاب آب را نسبت به فشار

دست هوادهی، فرایندهای ته‌نشینی و فیلتراسیون را طی نماید. در مورد هواده‌های تحت فشار به بخش ته‌نشینی و مبحث شناور سازی مراجعه شود. گفته شد که در این روش، هوای تحت فشار، در کف حوضچه به آب تزریق می‌شود و لذا درون آر^۱ آب باید در لایه‌های زیرین و برون بر^۲ در لایه‌های سطحی قرار گیرد و هوای مناسب از کف وارد حوضچه شده و از سطح آب خارج شود. برای افزایش عملکرد زدایش، عمق آب در حوضچه باید افزایش، حباب‌های هوا کوچک‌تر و زمان تماس بیشتر شود.

۲-۶- معیارها و توجهات در طراحی

فرایندهای هوازدایی بیشتر در صنایع شیمیایی مورد استفاده است و در صنعت تصفیه آب، به ویژه در صنایع نمک‌زدایی کاربرد پیدا نموده است. به هر حال شرایط زیر در طراحی‌ها باید مورد عنایت قرار گیرد:

- دمای آب و هوای محیط؛
- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی ترکیب مورد زدایش؛
- تناسب هوا به آب مورد تصفیه؛
- زمان تماس هوا و آب برای زدایش آلاینده؛
- سطح مؤثر که تکنولوژی حبابساز را معرفی می‌نماید.

الف- طراحی هواده‌های تحت فشار

۲-۶-۱- طراحی هواده‌های افشانی

این هواده‌ها به صورت ثابت و یا متحرک بوده که می‌تواند شامل



شکل شماره ۲-۱۲- تصاویر سیستم‌های مختلف هوادهی: ۱- پله‌ای (آبشاری) ۲- چند بشقابی ۳- برجی ۴- صفحه‌ای ۵- افشانه‌ای^۱



(۱- ب)



(۱- الف)



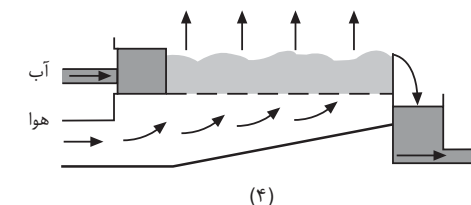
(۳)



(۲)



(۵)



(۴)

۱. برگرفته از گزارشات شرکت مهندسین مشاور پارس جویاب



هیدرولیکی نشان می‌دهد. بنابراین:

$$Q = C_v A \sqrt{(2gh)}$$

که در آن:

A = مجموع سطوح روزنه‌های مورد استفاده؛

ضریب C_v حدود ۰/۶ برای روزنه‌های دارای لبه‌های تیز و ۰/۸ برای

روزنه‌های با لبه‌های گرد شده است و برای روزنه‌های ویژه

۰/۸۵-۰/۹۲ می‌باشد و طبق شکل شماره ۲-۹ زمان تماس قطره با

هوا دو برابر زمان پرتاب می‌باشد.

بنابراین می‌توان نوشت:

$$t_r = \frac{1}{\sqrt{g}} t = \frac{V \sin \alpha}{g} = C_v \sqrt{\left(\frac{2h}{g}\right)} \sin \alpha$$

$$h = \frac{gt_r^2}{2C_v^2 \sin^2 \alpha}$$

که در آن:

t_r = زمان پرتاب؛

t = زمان تماس؛

C_v = ضریب سرعت روزنه؛

α = زاویه پرتاب؛

h = ارتفاع پرتاب؛

r = طول یا شعاع پرتاب.

با فرض اثر باد ناچیز:

$$r = 2 V t_r \cos \alpha = 2 C_v^2 h \sin 2\alpha$$

و ارتفاع پرتاب:

$$h_r = \frac{1}{\sqrt{g}} gt_r^2 = C_v^2 h \sin^2 \alpha$$

مثال شماره ۲-۳: با فرض زمان هوادهی ۲ ثانیه و ضریب سرعت روزنه ۰/۹۵ برای پرتاب ۹۰ درجه و ۶۰ درجه فشار لازم چیست؟

حل: (۱) برای $\alpha = 90^\circ$

$$\sin 90^\circ = 1 \quad \sin 2\alpha = \sin 180^\circ = 0 \quad t_r = 1$$

$$h = \frac{gt_r^2}{2C_v^2 \sin^2 \alpha}$$

$$\frac{9/81 \times 1^2}{2 \times 0/95^2 \times 1} = 5/43 \text{ متر}$$

و طبق معادله

$$r = 2 C_v^2 h \sin 2\alpha$$

چون $\sin 2\alpha = 0$ بنابراین ثانیه $r = 0$

$$h_r = \frac{1}{\sqrt{g}} gt_r^2 = \frac{1}{\sqrt{g}} \times 9/81 \times 1^2 = 4/9 \text{ متر}$$

(۲) برای $\alpha = 60^\circ$

$$\sin 60^\circ = 0/866 \quad \sin 2\alpha = \sin 120^\circ = 0/866 \quad t_r = 1 \text{ ثانیه}$$

با استفاده از همان معادلات بخش اول می‌توان نوشت:

$$h = \frac{9/81 \times 1^2}{2 \times 0/95^2 \times 0/866^2} = 7/25 \text{ متر}$$

$$r = 2 \times 0/95^2 \times 7/25 \times 0/866 = 11/33 \text{ متر}$$

$$h_r = \frac{1}{\sqrt{g}} \times 9/81 \times 1^2 = 4/90 \text{ متر}$$

اثر باد در شرایط مختلف یکسان نیست و حتی یک جریان آرام هم روی عملکرد هوادهی دخالت دارد. اما این دخالت بیشتر از ۱۰ درصد نیست.

$$\ell = 2 C_D V_v t_r$$

ℓ = فاصله‌ای که قطره توسط باد جابجا و باعث افزایش زمان تماس می‌شود؛

C_D = ضریب دراگ باد (حدود ۰/۶)؛

V_v = سرعت باد.

برای پرتاب قطره مسئله شماره ۲-۳ و با فرض سرعت باد ۱۶ کیلومتر

در ساعت می‌توان نوشت:

$$\ell = 2 \times 0/6 \times 1 \times \frac{16,000}{3600} = 5/33 \text{ متر}$$



- درصد زدایش دی اکسیدکربن در این روش ۷۰-۹۰ درصد است.
- محدودیت‌های استفاده از هواده‌های افشانی عبارت است از:
- فضای زیادی لازم دارد؛
 - در مناطق سرد خطر یخبندان مطرح است؛
 - زمان تماس آب با هوا کوتاه است؛
 - خطر آلودگی آب به علت هوای آلوده محیط وجود دارد که در این صورت باید در فضای بسته قرار گیرد و لذا تاسیسات تخلیه هوای محوطه مورد نیاز است؛
 - در شرایطی تبخیر و از دست رفتن آب نیز از محدودیت‌ها است.

۲-۶-۲- طراحی هواده تزریقی

طرح حوضچه

حوضچه‌های مورد استفاده برای هوادهی تزریقی معمولاً دارای عرض ۳-۹ و عمق مفید آب ۳-۵ متر است و تناسب عرض به عمق نباید از ۲ بیشتر شود تا اختلاط آب و هوا در حد مطلوب انجام گیرد. طول حوضچه بستگی به میزان آب و زمان تماس دارد. زمان تماس هم بین ۱۰-۳۰ دقیقه متغیر است. لذا زمان هوادهی در این هواده‌ها بیشتر از انواع آبشاری است.

لوله‌های دارای روزنه معمولاً در یک طرف و در طول حوضچه نصب می‌شود تا با تزریق هوا، آب دارای نوعی جریان گردشی شود. جریان گردشی ایجاد شده باعث می‌شود که سطح تماس حباب‌ها با آب افزایش یافته و در نتیجه نرخ انتقال گاز از فاز محلول به فاز گازی بیشتر شود. به علاوه زمان ماند حباب‌ها در آب هم افزایش می‌یابد.

دستگاه حبابساز^۲

دستگاه حبابساز، همان لوله دارای روزنه‌هاست و یا از صفحات روزنه‌دار هم استفاده می‌شود و ویژگی‌های دستگاه‌های حبابساز

سازندگان مختلف یکسان نیست. زیرا هر چه حباب‌ها ریزتر باشد عملکرد کار زدایش آلاینده‌ها مطلوب‌تر است.

در مورد انتخاب کمپرسور برای میزان هوا و فشار مطلوب سخنی نمی‌رود زیرا بخش مکانیک و برق باید به آن توجه نماید. محل نصب حبابساز هر چه به کف نزدیک‌تر شود به دلیل افزایش ارتفاع آب، فشار هوا باید افزایش یابد و در نتیجه زمان تماس هم بیشتر می‌شود. شرایط هر طرح، عمق بهینه را تعیین می‌نماید و به هر حال نصب آن در کف ضرورت ندارد. میزان هوای لازم معمولاً کمتر از ۱۰ لیتر برای هر لیتر آب مورد تصفیه است.

فشار هیدرولیکی لازم به نوع حبابساز، عمق نصب، ارتفاع آب روی روزنه‌ها و بالاخره افت فشار در تاسیسات بستگی دارد. نیروی لازم حدود ۲/۰۰۳ وات برای هر مترمکعب آب تولیدی در روز است. در بعضی از تاسیسات هوای مورد استفاده باید فیلتر شود تا باعث انسداد روزنه‌های دستگاه حبابساز نشود. کمپرسور مورد استفاده باید نیاز به روغن کاری نداشته باشد تا هوای مورد استفاده آلوده به آن نشود. این نوع هواده‌ها به فضای کمتری نیاز دارند و افت فشار آب در سیستم مطرح نیست زیرا به جای نیروی ثقل از انرژی برق استفاده می‌شود و در تصفیه‌خانه‌های آب بیشترین کاربرد را دارند.

❖ ب - طراحی هواده‌های ثقلی

عامل اصلی هواده‌های ثقلی اختلاف ارتفاع است که می‌تواند یکباره و یا در چند قسمت مورد استفاده قرار گیرد و رابطه بین اختلاف ارتفاع، سقوط آزاد و زمان تماس به شکل معادله زیر نشان داده می‌شود:

$$dh = g \int_0^h t dt \quad \text{و} \quad \frac{dh}{dt} = gt$$

که می‌توان نوشت $h = \frac{1}{g} gt^2$ که در آنها h عبارت است از اختلاف ارتفاع و یا ارتفاع ریزش، t زمان و g شتاب ثقل است. می‌توان دریافت



که در یک سقوط آزاد با ارتفاع h رابطه زیر وجود دارد:

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}}$$

و اگر ارتفاع h به n تعداد تقسیم شود می‌توان نوشت:

$$t = n \left(\frac{2h}{ng} \right)^{1/2} = \sqrt{\left(\frac{2nh}{g} \right)}$$

مثال شماره ۲-۴: اگر ارتفاع ریزش ۲/۸۰ متر باشد زمان سقوط برای دو وضعیت محاسبه می‌شود.

$$t = \sqrt{\left(\frac{2 \times 1 \times 2/8}{9/8} \right)} = 0/75 \quad \text{ثانیه} \quad n=1 \text{ و بنابراین:}$$

$$t = \sqrt{4 \times 0/75} = 1/5 \quad \text{ثانیه} \quad n=4 \text{ و در نتیجه:}$$

باید توجه داشت که عملکرد زدایش در ریزش چند مرحله‌ای کمتر از ریزش یک مرحله‌ای است و بنابراین افزایش زمان هوادهی ضرورت دارد. به طور متعارف برای هر ۱۰۰۰ مترمکعب آب در روز ارتفاع ریزش ۱-۳ متر و فضای لازم ۳ مترمربع انتخاب می‌شود. در انواعی که سینی‌ها روی هم قرار می‌گیرند فضای کمتری مورد نیاز می‌باشد و فاصله بین سینی‌ها باید در حدود ۴۰ سانتیمتر باشد. روی سینی‌ها می‌توان مصالحی با ابعاد ۵-۱۰ سانتیمتر قرار داد تا زمان تماس آب و هوا بیشتر شود.

۲-۶-۳- طراحی هواده چندبشقابی^۱

به طور متعارف تعداد بشقاب و یا سینی‌های یک دستگاه حدود ۳-۹ عدد بوده که روی هم و به فاصله ۳۵-۷۵ سانتیمتر قرار می‌گیرند. فضای لازم هوادهی به طور متوسط حدود ۱-۲ مترمربع برای هر هزار مترمکعب آب تولیدی در روز است. عملکرد این روش هوادهی در زدایش دی اکسید کربن و جذب اکسیژن بسیار خوب است.

طراحی هواده‌های چند بشقابی خیلی شبیه تاسیسات تهویه





• دمای آب و دمای هوا؛

• ویژگی های فیزیکی ترکیب شیمیایی مورد زدایش.

میزان هوای لازم برای استوانه های آکنده بستگی به ضریب هنری ترکیب شیمیایی مورد زدایش دارد و ارتفاع استوانه هم با توجه به عملکرد مورد نیاز در زدایش تعیین می شود، زیرا با افزایش ارتفاع استوانه و ضخامت مصالح آن سودمندی زدایش آلاینده از آب بیشتر می شود.

تناسب هوا به آب هم بستگی به دمای دو فاز و درصد زدایش مطلوب آلاینده مورد نظر دارد و چون میزان هوا، ظرفیت تاسیسات تصفیه و دمنده هوا را تعیین می نماید انتخاب آن نیاز به توجهاتی دارد. این تناسب دارای طیف وسیع ۳۰ تا ۱۰۰ به یک است و بار سطحی آب مورد تصفیه هم در حدود ۱۵۰۰-۲۰۰۰ مترمکعب در روز در مترمربع می باشد.

هر چه ضریب هنری آلاینده مورد نظر کوچک تر باشد تناسب هوا به آب باید افزایش یابد و جمعاً بار سطحی هم باید کمتر انتخاب شود. بر مبنای مطالعات انجام شده، شکل شماره ۲-۱۳ تدوین شده است. طبق شکل برای زدایش سه نوع ترکیب سه منحنی تدوین گردیده است که نشان می دهد با افزایش تناسب هوا به آب ارتفاع استوانه کاهش می یابد. هر چه ضریب هنری ترکیب شیمیایی بزرگ تر می شود تناسب هوا به آب و یا ارتفاع استوانه آکنده مورد نیاز کمتر می گردد. بنابراین با توجه به ضریب هنری ترکیب مورد نظر ویژگی های طرح آزمایشی باید تهیه شود. به علاوه سودمندی زدایش آلاینده روی تناسب هوا به آب دخالت دارد که در شکل های شماره ۲-۱۴ و ۲-۱۵ نشان داده شده است. بنابراین ارتفاع استوانه تابعی است از ویژگی های ترکیب مورد زدایش و درصد مجاز باقیمانده.

در شکل شماره ۲-۱۵ اثر دما روی عملکرد زدایش هم نشان داده شده است. با افزایش دمای آب و هوا، ارتفاع استوانه و یا ضخامت

مطبوع هستند. تهویه هوای اطراف و توزیع یکنواخت آب دو ویژگی تاسیسات است که نیاز به توجه دارد. از آنجا که این تاسیسات معمولاً باید در فضاهای بسته نصب شوند لذا تخلیه هوای آلوده اطراف تاسیسات ضرورت دارد.

در بهره برداری از این تاسیسات رشد جلبک ها روی سطوح آن، خوردگی صفحات و یا سینی ها و ترسیب ترکیب های شیمیایی موجود در آب مسایل احتمالی آنهاست. مصالح مورد استفاده برای ساخت می تواند بتنی، آلومینیوم و فولاد ضد زنگ باشد. زدایش دی اکسیدکربن با معادله:

$$C_n = C_c \times 10^{-kn}$$

C_n = غلظت دی اکسیدکربن در آب پس از عبور از n تعداد سینی بر حسب میلی گرم در لیتر؛

C_c = غلظت دی اکسیدکربن در آب خام ورودی برای هوادهی بر حسب میلی گرم در لیتر؛

n = تعداد سینی ها و یا بشقاب ها که شامل صفحه پخش کننده اولیه هم می شود؛

K = ضریبی که تحت تاثیر وضعیت تهویه، دمای آب و محیط، اغتشاش آب و غیره است و حدود آن ۰/۱۲-۰/۱۵ می باشد.

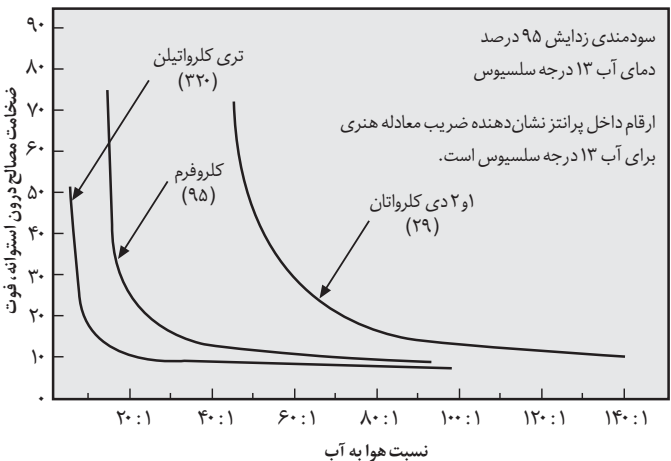
۲-۶-۴- طراحی هواده بر جی (استوانه های آکنده)

باید یادآوری شود که عملکرد زدایش مواد آلی فرار در استوانه آکنده بستگی به عوامل زیر دارد:

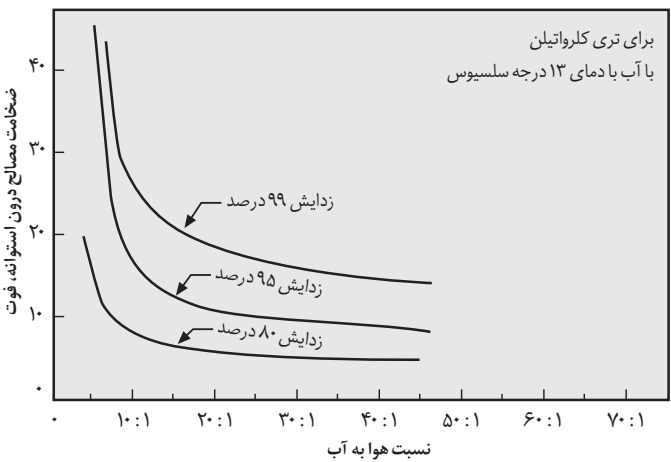
- تناسب میزان هوا و آب ورودی به استوانه؛
- ارتفاع و یا ضخامت مصالح داخل استوانه که در واقع مدت تماس را تعریف می نماید؛
- سطوح تماس هوا و آب؛
- میزان آب در واحد سطح؛



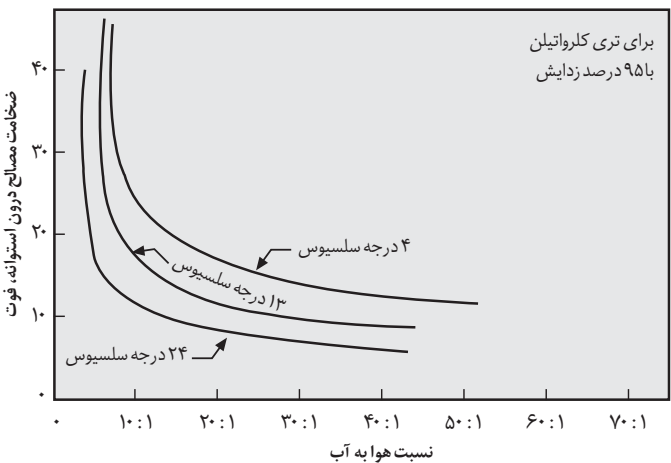
شکل شماره ۲-۱۳- اثر نوع ترکیب مورد زدایش روی ویژگی های استوانه آکنده



شکل شماره ۲-۱۴- روابط سودمندی زدایش و ضخامت مواد پرکننده



شکل شماره ۲-۱۵- تاثیر دمای آب روی طراحی برج آکنده



مواد پرکننده کاهش پیدا می نماید زیرا همانطور که جدول شماره ۲-۲ و یا ۲-۳ نشان می دهد غلظت گاز در شرایط اشباع کاهش پیدا می نماید.

تاسیسات اصلی استفاده از استوانه های آکنده عبارتند از:

- استوانه و مصالح داخل آن؛
- دمنده هوا؛
- حوضچه جمع آوری آب تصفیه شده؛
- پمپ های انتقال آب خام به استوانه.

بدنه استوانه می تواند از مصالح مختلف مانند پلاستیک، فایبرگلاس، آلومینیوم، فولاد ضد زنگ و بتن باشد که انتخاب آن با توجه به هزینه های آن و معیارهای فنی و زیبایی منظر انجام می گیرد. توجه شود که گهگاه لازم است با محلول نسبتاً غلیظ کلر مصالح داخل استوانه شستشو شود لذا پیشگیری از خوردگی بدنه استوانه و مقاومت مصالح پرکننده به کلریکی از معیارهای انتخاب آن است. صفحه پخش کننده آب ورودی در بالای استوانه، ورودی، دریچه دسترسی به داخل استوانه برای بهره برداری و نگهداری و تاسیسات تخلیه هوای مرطوب بالای استوانه از بخش های اساسی دستگاه است. شکل شماره ۲-۱۶ دیاگرام تاسیسات یک استوانه و یا برج آکنده را نشان می دهد.

برای جلوگیری از میان بر زدن آب در فاصله سطوح داخلی استوانه و مصالح درون آن باید راهبندهایی پیش بینی شود. صفحه توزیع کننده آب که در بالای مصالح قرار می گیرد باید با توجه به خوردگی و انسداد طراحی گردد و دسترسی به آن برای بازدیدهای مستمر امکان پذیر باشد.

در امریکا برای پر کردن استوانه از مصالح سرامیکی،



شکل شماره ۲-۱۷- شکل های مصالح پلاستیکی برای استوانه آکنده



هوا به داخل استوانه باید جلوگیری شود لذا نوعی توری در بخش مکش دمنده باید پیش بینی گردد.

در صورتی که تاسیسات برای زدایش مواد آلی فرّار استفاده می شود، آلودگی هوای محیط و نزدیکی تاسیسات به محیط زیست ساکنین اطراف نیاز به توجهاتی دارد. عنایت به مقررات موجود در

کشور و یا کشورهای دیگر در این زمینه توصیه

می شود. بنابراین تهیه آیین نامه استفاده از برج

آکنده برای زدایش مواد آلی فرّار ضرورت دارد.

در صورتیکه مقررات مربوط به آلودگی هوا اجازه

تخلیه هوای حاوی مواد آلی تبخیر شده را ندهد

لازم است نسبت به تصفیه هوای خروجی اقدام

شود. این اقدامات با روش های زیر قابل انجام

است:

- تجدید نظر روی طرح و بهره برداری استوانه؛
- سوزاندن گازهای خروجی؛
- سوزاندن کاتالیزوری گازهای خروجی؛
- اکسیده کردن ترکیب توسط ازن؛
- جذب توسط کربن فعال.

شاید ارزان ترین روش با رعایت آیین نامه، تخلیه

آن به هوای محیط و استفاده از اصل رقیق سازی

پلاستیکی و غیره استفاده شده است. انواع پلی اتیلنی و مانند آن به

دلیل سبکی و مقاومت در مقابل خوردگی محبوبیت دارند. این مصالح

نباید در مقابل جریان آب و هوا مقاومت زیادی ایجاد نمایند. شکل این

مواد پر کننده در شکل شماره ۲-۱۷ نشان داده شده است.

پخش کننده آب خام که در بالای مصالح پرکننده قرار می گیرد

باید با دقت طراحی، ساخته و نصب گردد. زیرا توزیع یکنواخت آب

در عملکرد زدایش آلاینده نقش اساسی دارد. در همین رابطه

راهنمادهای محیطی برای برگرداندن آب میان بر زده به محیط استوانه

باید نصب گردد. همانطور که در شکل شماره ۲-۱۶ نشان داده شده

است دمنده هوا که در پایین استوانه قرار دارد باید هوای لازم را به

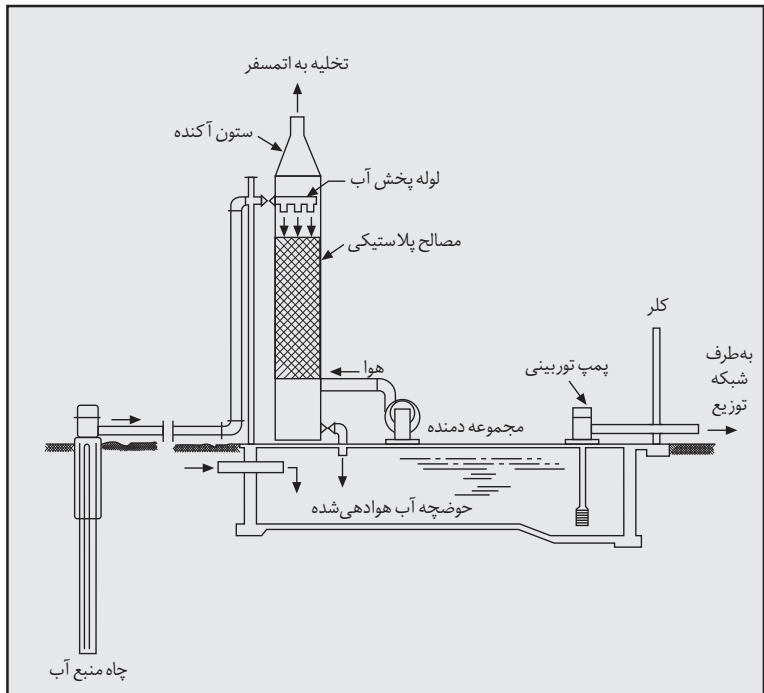
داخل استوانه بدمد و هوا پس از عبور از فضاهای خالی مصالح و تماس

با آب و زدایش آلاینده از آب از روزنه بالای استوانه خارج می شود.

انجام محاسبات لازم مربوط به تعیین الکتروموتور و دمنده آن مقوله

خارج از بحث کتاب است. از ورود حشرات و آلاینده های موجود در

شکل شماره ۲-۱۶- دیاگرام تاسیسات اصلی یک ستون آکنده



است لذا لازم است با افزایش ارتفاع استوانه مبادله، افزایش میزان

هوای تزریقی و افزایش سرعت جریان گاز در لوله تخلیه و یا افزایش

ارتفاع دودکش، تخلیه گازهای آلاینده با مشکل روبرو نشود. سوزاندن

گازهای خروجی از استوانه نیازمند انرژی حرارتی است. اما سوزاندن

با کمک کاتالیزور و یا افزایش ازن برای شکستن ترکیب گزینه های

بعدی هستند. استفاده از گرانول کربن فعال در زدایش مواد آلی موجود

در هوای این تاسیسات در اکثر شرایط دارای توجه اقتصادی می باشد.

جذب فاز گازی این گروه مواد راحت تر از جذب فاز مایع آنهاست. در

شکل شماره ۲-۱۸ دیاگرام تاسیسات اصلی این روش زدایش مواد

آلی از هوای خروجی استوانه های هوادهی نشان داده شده است.

همانطور که دیاگرام نشان می دهد چون هوای آلوده خروجی

مرطوب است و تقطیر آب روی گرانول کربن فعال کار جذب را دچار

اختلال می نماید گرم کردن هوا ضرورت دارد که قبل از فیلتر کربن

فعال قرار گرفته است. بنابراین در محاسبات و تعیین ابعاد و اندازه

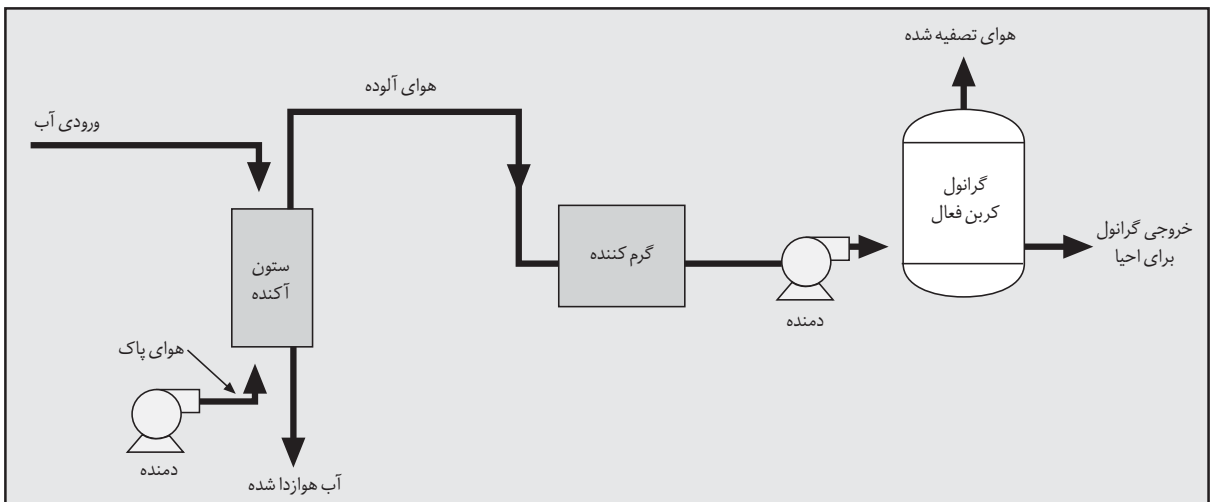
تاسیسات جذب، خطر فرار آلاینده های هوا باید در نظر گرفته شود.

لذا نوعی پایش عملکرد دستگاه ضرورت دارد.

یادآوری گردید که تخلخل مصالح درون استوانه در خطر گرفتگی

ناشی از ترسیب و یا رشد بیوفیلم و یا به تله افتادن ذرات معلق هوا

شکل شماره ۲-۱۸- دیاگرام فرایندهای جذب فاز گازی آلاینده های مورد بحث توسط کربن فعال



می باشد و با افزایش گرفتگی، جریان عبور آب و هوا با مقاومت روبرو

شده و سودمندی زدایش آلاینده از آب کاهش می یابد و ترسیب کربنات

کلسیم روی مصالح درون استوانه هم می تواند مشکل ساز شود.

تخلیه دی اکسیدکربن آب و افزایش پی اچ آن می تواند باعث این

ترسیب گردد و ذرات مصالح را به هم متصل نماید و راه عبور آب را

ببندد. آهن دو ظرفیتی موجود در آب چاه نیز در داخل استوانه با جذب

اکسیژن، اکسیده شده و به آهن سه ظرفیتی تبدیل شده و رسوب

می نماید. ترکیب حاصل هیدروکسید آهن است که قهوه ای رنگ

می باشد. رشد بیوفیلم معمولا به علت رشد باکتری های آهن دوست و

حضور آهن در آب است و برای جلوگیری از گرفتگی مورد بحث،

کلرزی آب و فیلتراسیون آن قبل از پمپاژ به داخل استوانه زدایش یک

گزینه می باشد. به هرحال در صورتیکه آب تمایل به ایجاد رسوب و

گرفتگی دارد، شستشوی مصالح با محلول کلر و یا اسید طبق یک

برنامه منظم می تواند مشکل را حل نماید. برای اطمینان از عملکرد

تاسیسات، لازم است که به کمک دستگاه آزمایشی وامکانات آزمایشگاه

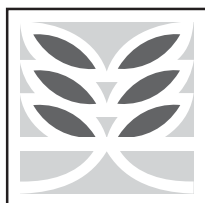
نتایج را مورد ارزیابی قرار داد، زیرا رفتار آب را نمی توان به تنهایی

براساس توصیه های مراجع پیش بینی نمود و با استفاده از نوعی

آزمایش باید به نتایج کار تقریباً اطمینان حاصل نمود.



آلاینده‌های محلول



۳-۱- نگاه کلی

گام‌های اساسی است. در جدول شماره ۳-۳ نیز فرایندهای زدایش آلاینده‌ها در تصفیه‌خانه نشان داده شده است.

همانطور که جدول پیش گفته نشان می‌دهد فرایندهای تصفیه متعارف، در زدایش آلاینده‌ها عملکردهای یکسانی نداشته و جدول برای هر فرایند طیف وسیعی از زدایش را نشان می‌دهد و لذا عملیات

یادآوری گردید که جدول‌های شماره ۲ تا ۷ استاندارد شماره ۱۰۵۳ حداکثر مجاز و مطلوب مواد و عنصرهای شیمیایی سمی و غیر سمی در آب‌ها را نشان می‌دهد که در فصل اول مورد توجه قرار گرفته است. تمام آب‌ها چه در حالت طبیعی و چه پس از تصفیه دارای میزانی از نمک‌های معدنی هستند که برای هر کدام به دلایلی، حدودی در استاندارد تعریف شده است. طبقه‌بندی کلی آب‌ها از نظر نمک‌های محلول در جدول شماره ۳-۱ نشان داده شده است.

در جدول شماره ۲ استاندارد ۱۰۵۳ از ۱۳ عنصر و آزیست صحبت شده که به عنوان مواد شیمیایی معدنی سمی شناخته می‌شوند. شکل حضور و منابع تولید آنها در جدول شماره ۳-۲ نشان داده شده است و می‌توان مشاهده نمود که فاضلاب صنایع، منابع طبیعی، خوردگی تاسیسات و فاضلاب‌های کشاورزی حامل آنها می‌باشند و بنابراین برای جلوگیری از حضور آنها در منابع آب، کنترل فاضلاب‌ها یکی از

جدول شماره ۳-۱- طبقه‌بندی آب‌ها از نظر نمک‌های محلول

نام آب	مجموع املاح محلول (میلی‌گرم در لیتر)
آب مقطر	تقریباً صفر
آب متعارف ^۱	۰-۲ هزار
آب لب شور	۲ هزار - ۱۰ هزار
آب شور	بیش از ۱۰ هزار

۱. آب متعارف که در ادبیات صنعت آب، آب شیرین نامیده می‌شود دارای مجموع نمک‌های محلول حدود ۶۰۰ میلی‌گرم در لیتر است که در استانداردهای مختلف حدود آن یکسان نیست. در استاندارد ۱۰۵۳ حداکثر مجاز آن ۱۵۰۰ و مطلوب ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر تعریف شده است.



جدول شماره ۳-۲ - شکل متعارف و منابع آلاینده‌های معدنی خطرناک

ردیف	آلاینده	ترکیب شیمیایی	منشأ و یا منابع تولیدکننده	حضور در منبع آب
۱	آرسنیت	AsO _۳	معادن - صنایع	آب‌های زیرزمینی و سطحی
	آرسنات	AsO _۴	صنایع	آب‌های سطحی
۲	باریم	Ba ^{+۲}	معادن - صنایع	آب‌های زیرزمینی
۳	کادمیم	Cd ^{+۲}	خوردگی و صنایع	آب شبکه‌های توزیع و آب‌های سطحی
۴	کروم	Cr ^{+۳}	صنایع	آب‌های سطحی
۵	مس	Cu ^{+۲}	خوردگی و صنایع	آب شبکه‌های توزیع و آب‌های سطحی
۶	فلورید	F ⁻	معادن	آب‌های زیرزمینی
۷	سرب	Pb ^{+۲}	خوردگی و صنایع	آب شبکه توزیع و آب‌های سطحی
۸	جیوه	Hg ^{+۲}	صنایع	آب‌های سطحی
		[CH _۳ Hg] ⁺		
۹	نیتрат	NO _۳ ⁻	کشاورزی	آب‌های زیرزمینی
۱۰	رادیوم	Ra ^{+۲}	معادن	آب‌های زیرزمینی
۱۱	سلنیوم	Se ^{-۲}	معادن	آب‌های زیرزمینی
۱۲	نقره	Ag ^{+۱}	صنایع - تصفیه آب	آب‌های سطحی - آب تصفیه شده
۱۳	روی	Zn ^{+۲}	خوردگی	آب شبکه‌های توزیع
۱۴	آزبست	سیلیکات کلسیم و منیزیم	کنده شدن از جدار لوله	آب شبکه‌های توزیع از جنس آزبست

آزمایشی ضرورت دارد زیرا ویژگی‌های آب، معیارهای طراحی و معیارهای بهره‌برداری از تاسیسات روی عملکردها موثر هستند. استفاده از هوادهی و اکسیداسیون به دلیل عملکرد ضعیف مورد توصیه نیست و در مقابل استفاده از پودر کربن فعال و جاذب‌های دیگر پیشنهاد می‌شود. باید یادآوری گرددکه مواد آلی چه از نوع طبیعی^۱ و چه به شکل انسان ساخت^۲ یا به صورت مولکول‌های درشت و معلق در آب هستند و یا به صورت مولکول‌های ریز که محلول و یا کلویدی

2. Synthetic Organic Mater (SOM)

1. Natural Organic Mater (NOM)



جدول شماره ۳-۲ - فایندهای زیان‌ناک آلاینده‌های معدنی خطرناک بر حسب درصد

آلاینده	هواهی	تصفیه متعارف	سختی‌گیری با آهک	تبادل آنیونی	تبادل کاتیونی	اسمز معکوس	اکسیداسیون	گراول کربن فعال	پودر کربن فعال	آزمینای فعال
آرسنیک ^۳	۲۰-۰	۹۰-۲۰	۹۰-۲۰	۱۰۰-۶۰	۲۰-۰	۹۰-۲۰	۲۰-۰	۹۰-۲۰	۹۰-۰	۱۰۰-۶۰
آرسنیک ^۵	۲۰-۰	۱۰۰-۶۰	۱۰۰-۶۰	۱۰۰-۶۰	۲۰-۰	۱۰۰-۶۰	۲۰-۰	۹۰-۲۰	۶۰-۰	۱۰۰-۹۰
آزبست	۲۰-۰	۱۰۰-۶۰	-	-	-	-	۲۰-۰	-	-	-
باریم	۲۰-۰	۶۰-۰	۱۰۰-۶۰	۲۰-۰	۱۰۰-۹۰	۱۰۰-۹۰	۲۰-۰	۲۰-۰	۲۰-۰	۲۰-۰
کادمیم	۲۰-۰	۱۰۰-۶۰	۱۰۰-۹۰	۲۰-۰	۱۰۰-۹۰	۱۰۰-۹۰	۲۰-۰	۶۰-۰	۲۰-۰	۲۰-۰
کرم ^۳	۲۰-۰	۱۰۰-۶۰	۱۰۰-۶۰	۲۰-۰	۱۰۰-۹۰	۱۰۰-۹۰	۶۰-۲۰	۹۰-۲۰	۶۰-۲۰	۲۰-۰
کرم ^۶	۲۰-۰	۲۰-۰	۲۰-۰	۱۰۰-۹۰	۲۰-۰	۱۰۰-۶۰	۲۰-۰	۹۰-۲۰	۶۰-۲۰	۲۰-۰
سیانور	۲۰-۰	-	-	-	-	۹۰-۶۰	۱۰-۹۰	-	-	-
فلوراید	۲۰-۰	۹۰-۲۰	۶۰-۰	۶۰-۰	۲۰-۰	۱۰۰-۹۰	۲۰-۰	۱۰۰-۶۰	۲۰-۰	۱۰۰-۹۰
سرب	۲۰-۰	۱۰۰-۹۰	۱۰۰-۹۰	۲۰-۰	۹۰-۲۰	۱۰۰-۹۰	۲۰-۰	۹۰-۲۰	۶۰-۰	۲۰-۰
جیوه	۲۰-۰	۹۰-۲۰	۹۰-۲۰	۲۰-۰	۹۰-۲۰	۹۰-۲۰	۲۰-۰	۹۰-۲۰	۶۰-۲۰	۲۰-۰
نیکل	۲۰-۰	۹۰-۲۰	۱۰۰-۹۰	۲۰-۰	۱۰-۹۰	۱۰۰-۹۰	۲۰-۰	۹۰-۲۰	۶۰-۰	۲۰-۰
سلنیوم ^۶	۲۰-۰	۲۰-۰	۲۰-۰	۱۰۰-۶۰	۲۰-۰	۱۰۰-۹۰	۲۰-۰	۲۰-۰	۲۰-۰	۱۰۰-۶۰
سلنیوم ^۴	۲۰-۰	۹۰-۲۰	۶۰-۲۰	۱۰۰-۶۰	۲۰-۰	۱۰۰-۹۰	۲۰-۰	۲۰-۰	۲۰-۰	۱۰۰-۶۰



جدول شماره ۳-۴- درصد زدایش نسبی بعضی از آلاینده‌های آلی

نوع آلاینده	تصفیه متعارف	گرانول کربن فعال	پودر کربن فعال	هوادهی یا هوای محلول	اکسیداسیون	اسمز معکوس
بنزن ^۱	۲۹-۰۰	۱۰۰-۷۰	-	-	۱۰۰-۷۰	۲۹-۰۰
کلردان ^۲	-	۱۰۰-۷۰	-	-	-	؟
کلروبنزن ^۳	۲۹-۰۰	۱۰۰-۷۰	۱۰۰-۷۰	؟	۶۹-۳۰	۱۰۰-۷۰
اتیل بنزن ^۴	۲۹-۰۰	۱۰۰-۷۰	۹۹-۳۳	۸۹-۲۴	۱۰۰-۷۰	۳۰-۰۰
هیدروکربن‌ها	-	خوب	-	-	-	-
تترا کلرو اتیلن ^۵	؟	۱۰۰-۷۰	؟	۹۵-۷۳	خوب	۹۰-۷۰
تکرافن ^۶	۲۹-۰۰	۱۰۰-۷۰	۹۹-۴۰	-	-	-

با افزایش جمعیت و رشد آلودگی و شور شدن تدریجی منابع آب، صنایع نمک‌زدایی در طی ۶۰ سال گذشته رشد پیدا نموده است. در اواخر سال‌های ۱۳۴۰ واحدهای نمک‌زدایی گرمایی با ظرفیت تولید آب حدود ۸۰۰۰ مترمکعب در روز در نقاط مختلف جهان مورد استفاده قرار گرفت و در کمتر از ۱۰ سال ظرفیت به حدود ۵۰ هزار مترمکعب در روز رسید. از حدود سال‌های ۱۳۵۰ صنایع نمک‌زدایی ممبرانی مانند الکترودیالیز و اسمزمعکوس هم توسعه یافت. طبق گزارش‌های موجود ظرفیت جهانی تولید آب نمک‌زدا شده در سال ۱۳۹۲ در حدود ۸۰ میلیون مترمکعب در روز بوده است.

در حال حاضر مهمترین صنعت‌های نمک‌زدایی گرمایی شامل تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای^۸، تقطیر چند مرحله‌ای^۹، تراکم بخار^{۱۰} و صنعت‌های نمک‌زدایی ممبرانی الکترودیالیز و اسمزمعکوس است. صنعت نانو فیلتر هم که یک نوع نمک‌زداست می‌تواند در این لیست قرار گیرد.

در طی ده سال اخیر مقبولیت نمک‌زدایی با استفاده از فناوری

1. Benzene	4. Ethylbenzene	7. Total Dissolved Solids(TDS)	10. Vapor Compression(VC)
2. Chlordane	5. Tetrachloroethylene	8. Multi Stage Flash(MSF)	
3. Chlorobenzene	6. Toxaphene	9. Multi Effect Distillation(MED)	

اسمزمعکوس بیشتر از صنعت‌های حرارتی گردیده و در بین انواع گرمایی هم صنعت تبخیر ناگهانی طرفداران بیشتری پیدا نموده است. کشور ما هم از حدود سال‌های ۱۳۵۴ در لیست کشورهای استفاده کننده از صنعت نمک‌زدایی قرار گرفت و در سال ۱۳۸۸ تعداد واحدهای نمک‌زدایی کوچک و بزرگ به حدود ۱۵۴ واحد رسید که جمع تولید آب آنها در حدود ۷۰۰ هزار مترمکعب در روز بوده است که نشان می‌دهد نسبت به جمعیت کشور، در استفاده از این فناوری‌ها در مقام مناسبی قرار داریم.

۳-۳- فرایندهای ممبرانی

صنایع شناخته شده ممبرانی در صنعت نمک‌زدایی آب عبارتند از نانو فیلتر، اسمزمعکوس و الکترودیالیز. در این مقوله لازم است از میکروفیلتر و اولترافیلتر نام برد ولی در زدایش نمک‌های محلول عملکردی نداشته و به عنوان فرایندهای پیش تصفیه کاربرد دارند. در فصل هفتم میکروفیلترها، اولترا فیلترها و نانو فیلترها مورد بحث قرار می‌گیرند.

۳-۳-۱- اسمزمعکوس

آب نمک نسبتاً غلیظ اگر به وسیله یک پرده نیمه تراوا از یک آب بدون نمک جدا باشد، آب از محیط کم نمک به سمت آب پر نمک جریان می‌یابد و وقتی به مرحله پایداری برسد سطح آب در ستون پر نمک بالاتر از سطح آب بخش کم نمک قرار می‌گیرد که حاکی از اختلاف فشار هیدرولیکی است که آن را فشار اسمزی نامند. یعنی فشار هیدرولیکی از طرف آب بدون نمک به آب پر نمک اعمال می‌شود. هر چه میزان نمک بیشتر باشد فشار اسمزی هم بیشتر خواهد بود.

فشار اسمزی آب کم نمک برای هر ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر

نمک‌های محلول آب حدود ۰/۸ اتمسفر است چنانکه برای آب دریا



با مجموع نمک‌های محلول ۳۵۰۰۰ گرم در مترمکعب معادل ۲۸ اتمسفر است. حال اگر روی آب پر نمک، فشاری معادل ۲۸ اتمسفر اعمال گردد. آب در دو طرف ممبران بدون جریان باقی می‌ماند و اگر فشار افزایش یابد آب خالص از محیط پر نمک به طرف محیط کم نمک جریان می‌یابد که خلاف فرایند اسمز است و صنعت استفاده از آن را اسمزمعکوس نامند.

نمک هم با توجه به قانون انتشار^۱ از محیط پر نمک به طرف محیط کم نمک انتشار می‌یابد. بنابراین صنعت نمک‌زدایی اسمزمعکوس با اعمال فشار هیدرولیکی و عبور آب از ممبران و یا پرده نیمه تراوا تعریف می‌شود که عکس جریان اسمزی است. امروزه بیشتر ممبران‌های مورد استفاده از جنس پلیمر پلی آمید است که نسبت به اکسیدکننده‌هایی مانند کلر حساسیت دارند و در شکل‌های صفحات پیچیده^۲، لوله‌ای^۳، فیبرهای توخالی^۴ و صفحه‌ای^۵ ساخته می‌شوند و انتخاب نوع مناسب آن بستگی به ویژگی‌های زیر دارد:

- کیفیت و میزان آب مورد نیاز یا تولیدی؛
- فرایندهای پیش تصفیه و تصفیه نهایی؛
- مشکلات و هزینه دفع نهایی پساب حاصل؛
- تجربه‌های واحدهای مشابه؛
- آنالیزهای اقتصادی؛
- قدرت دفع نمک‌ها توسط ممبران؛
- توانایی عملکرد مطلوب در طیف زیاد دما و پی اچ آب؛
- مقاومت در مقابل ترکیب‌های شیمیایی و حملات بیولوژیکی؛
- عمر مفید طولانی همراه با فلاکس مناسب.

ممبران‌های اسمزمعکوس در زدایش نمک‌های محلول، کاتیون‌های دو ظرفیتی، نیترات‌ها، فسفات‌ها، حشره‌کش‌ها، رنگ و ترکیب‌های انسان ساخت از آب عملکرد خوبی دارند ولی هرگز به سقف ۱۰۰ درصد نمی‌رسند که باید مورد نظر باشد.

1. Diffusion	2. Spiral Wound	3. Tubular	4. Hollow Fiber	5. Plate with Frame
--------------	-----------------	------------	-----------------	---------------------



معادله اصلی مورد استفاده عبارت است از:

$$Q_w = K_s A (\Delta P - \Delta \pi)$$

که در آن:

Q_w = میزان عبور آب برحسب مترمکعب در ثانیه؛

K_w = ضریب تراوایی ممبران نسبت به آب برای فشار هیدرولیک

یک اتمسفر؛

ΔP = فشار هیدرولیکی اعمال شده توسط پمپ منهای افت

فشارهای سیستم؛

$\Delta \pi$ = اختلاف فشار اسمزی آب خام و آب تولیدی؛

A = سطح مفید ممبران مورد استفاده.

در عمل معادله به صورت زیر در می‌آید:

$$Q_w = NDP \times K_w \times A$$

که در آن NDP عبارت است از فشار خالص موثر که در آن فشار

اسمزی و افت فشارها در سیستم از فشار کل هیدرولیکی کسر گردیده

است. معادله دیگر که وضعیت عبور نمک از ممبران را تعریف

می‌نماید عبارت است از:

$$SP = K_s C \frac{A}{T}$$

که در آن:

SP = میزان عبور نمک از ممبران؛

K_s = ضریب نفوذپذیری ممبران نسبت به املاح محلول آب؛

C = اختلاف غلظت نمک‌ها در دو طرف ممبران؛

A = سطح مفید ممبران مورد استفاده؛

T = ضخامت ممبران.

و بالاخره میزان باز یافت آب که تناسب آب تولیدی به آب

خام مصرفی را به صورت درصد نمایش می‌دهد در معادله

ساده زیر خلاصه می‌شود:

$$R = \frac{Q_p}{Q_f} \times 100$$

که Q_f و Q_p به ترتیب عبارتند از میزان آب تولیدی و آب خام ورودی

به تاسیسات.

در انتخاب ضریب باز یافت توجهات زیادی ضرورت دارد زیرا هر چه

درصد آن افزایش یابد به علت افزایش نمک‌ها در پساب، مشکلات

ناشی از ترسیب ترکیب‌های شیمیایی افزایش می‌یابد و معادله آن

عبارت است از:

$$C_c = \frac{C_f}{1-R}$$

که در آن:

C_c = غلظت نمک‌ها در پساب؛

C_f = غلظت نمک‌های آب خام؛

R = ضریب باز یافت (برحسب اعشار) ^۲.

بدین ترتیب که برای باز یافت ۵۰، ۷۰ و ۸۰ درصد غلظت نمک‌های

پساب ۲، ۳/۳ و ۵ برابر غلظت نمک‌های آب خام خواهد شد. البته

در مقابل حجم پساب کاهش پیدا می‌نماید که دفع آن از نظر حجمی

با مشکلات کمتری روبرو می‌شود. در جدول شماره ۳-۵ درصد

باز یافت متعارف از انواع آب‌های خام شور نشان داده شده است.

در شکل شماره ۳-۱ واحدهای اساسی یک مجموعه

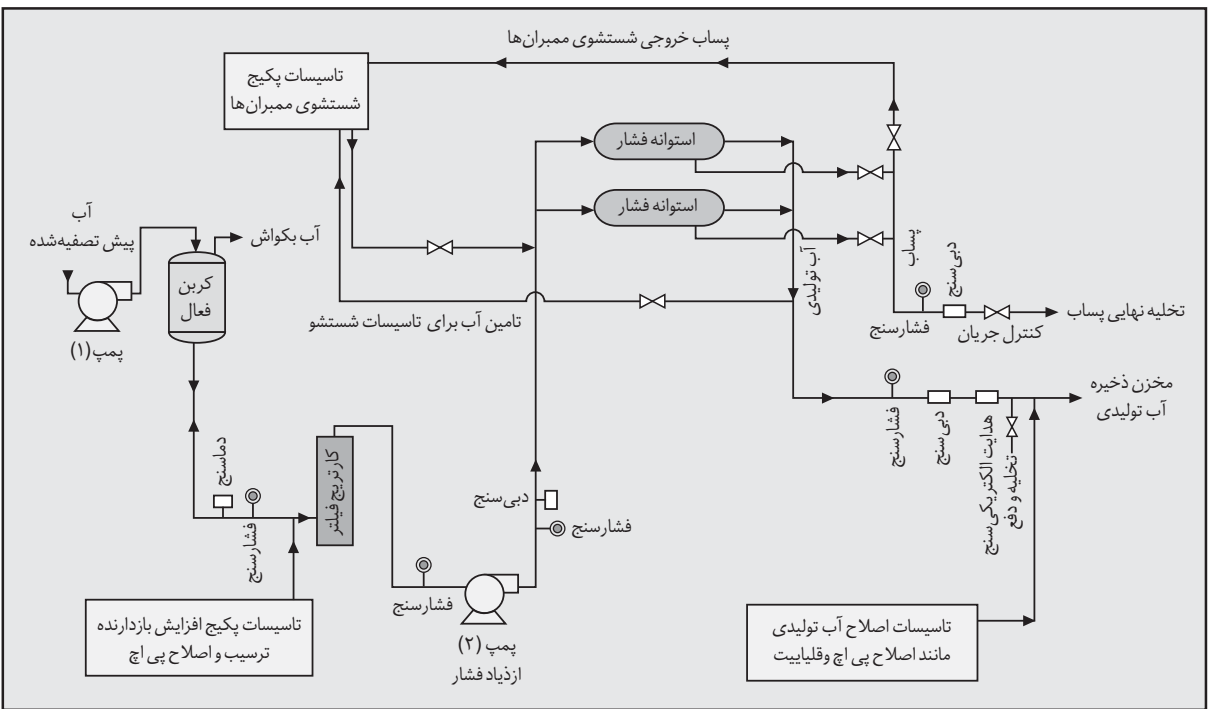
نمک‌زدایی ممبرانی به صورت دیاگرام نشان داده شده است.

جدول شماره ۳-۵- درصد افزایش نمک‌ها در پساب در رابطه با درصد باز یافت

نوع فناوری	نمک‌زدایی به روش اسمز معکوس		تبخیر ناگهانی	تقطیر چند مرحله‌ای
	لبشور	شور		
درصد باز یافت	۸۵-۶۰	۶۰-۳۰	۳۰	۲۰
درصد افزایش نمک در پساب (حداکثر)	۶۶۶-۲۵۰	۲۵۰-۱۴۰	۱۴۲	۱۲۵



شکل شماره ۳-۱- واحدهای اساسی فرایندهای نمک‌زدایی ممبرانی با روش اسمز معکوس



بدین ترتیب که به کمک پمپ شماره (۱) آب حاصل از عملیات پیش

تصفیه از فیلتر کربن فعال عبور می‌نماید تا مواد آلی آن و کلر باقیمانده

از آب زدایش شود و در پایین دست آن ترکیب بازدارنده ترسیب و یا

اسید برای اصلاح پی‌اچ و یا هر دو به آب تزریق می‌شود و پس از آن

آب از فیلتر کارتریج عبور نموده و وارد لوله مکش پمپ شماره (۲)

می‌شود. فشارسنج میزان فشار لازم مکش را نشان می‌دهد. آب به

کمک پمپ اصلی به استوانه‌های فشار پمپاژ می‌شود که در دیاگرام

دو استوانه نشان داده شده است.

فشار لازم هیدرولیکی باید بیشتر از فشار اسمزی در روی آخرین

المان استوانه فشار باشد تا آب خالص از ممبران که همان پرده نیمه

تراواست عبور نماید. در هر استوانه فشار ۶-۸ المان نصب می‌گردد

و با توجه به فلاکس^۱ و یا میزان عبور آب در واحد سطح هر المان،

۱۰-۱۵ درصد آب خام تبدیل به آب نسبتاً خالص می‌شود که به نام آب

تولیدی شناخته می‌شود. لذا توسط شش المان منصوب در یک استوانه

فشار می‌توان در حدود ۳۰-۶۰ درصد باز یافت و بیشتر به دست آورد

که با کمک شیر تنظیم جریان روی لوله پساب، طبق برنامه کنترل

می‌شود. بنابراین براساس ویژگی‌های آب و نوع ترکیب بازدارنده مورد

مصرف و تنظیم پی‌اچ می‌توان درصد باز یافت را انتخاب نمود و برای

انجام محاسبات، نرم افزارهایی وجود دارد که می‌تواند در انجام

محاسبات مورد استفاده قرار بگیرد.

در نمک‌زدایی از آب‌های لبشور دو تا سه مرحله نمک‌زدایی

انجام می‌گیرد. بدین ترتیب که پساب مرحله اول با فرض ۵۰ درصد

باز یافت به استوانه‌های فشار مرحله دوم که در ردیف یا ترین^۲ قرار

دارد هدایت می‌شود. در مرحله دوم هم می‌توان ۵۰ درصد از آب خام



الکتریسیته کمتر می‌شود. به‌علاوه با افزایش دمای آب حلالیت اکثر ترکیب‌های شیمیایی مزاحم بیشتر شده و مشکلات کمتری ایجاد می‌شود. گرچه در طرح‌های بزرگ نمک‌زدایی دمای آب قابل تغییر و کنترل نیست ولی توجه شود که با افزایش دمای آب، عبور نمک‌ها از ممبران بیشتر می‌شود. افزایش فلاکس نسبت به دمای آب را با معادله زیر می‌توان نشان داد:

$$Q_T = Q_{T_0} \times 1/0.3^{T-25}$$

که در آن:

Q_T = میزان تولید آب در دمای T؛

Q_{T_0} = میزان تولید آب در دمای ۲۵ درجه سلسیوس؛

T = دمای آب بر حسب سلسیوس.

بدین ترتیب می‌توان مشاهده نمود که در دمای ۱۵ درجه سلسیوس، با حفظ ویژگی‌های دیگر، تولید آب حدود ۵۰ درصد کمتر از میزان آن در دمای ۳۰ درجه سلسیوس است. لذا در انجام محاسبات برای تعیین تعداد المان‌ها و تعداد استوانه‌های فشار باید دماهای حداقل و حداکثر مورد توجه قرار گیرد و چون با افزایش مدت بهره‌برداری از المان‌ها میزان فلاکس کاهش می‌یابد لذا باید تعداد المان‌ها در دمای حداقل و در سال‌های آخر عمر مفید المان‌ها که حدود ۵ سال است، تعیین گردد. شرکت سازنده لازم است حداکثر فلاکس را برای سال پنجم و دمای حداقل تعریف نماید.

دمای آب

ممبران‌های ساخته شده از پلی‌آمید در آب‌های با پی‌اچ ۴-۱۰ بدون صدمه دیدن دارای عملکرد مطلوبی هستند. اما گروه دیگری از المان‌ها در محدوده کمتری از پی‌اچ مناسب بوده لذا دانستن ویژگی‌های ممبران ضرورت دارد.



ترسیب

قبلا یادآوری گردید که وجود ترکیب‌هایی از قبیل کربنات کلسیم، سولفات کلسیم، فلورید کلسیم، سولفات باریوم و سیلیس در فرایندهای نمک‌زدایی می‌توانند مشکل آفرین شوند و بنابراین نیاز به توجه دارند و برای مثال کربنات کلسیم مورد بحث قرار می‌گیرد. کلسیم و منیزیم محلول در آب به آن ویژگی سختی می‌دهد که در بخش سختی‌گیری آورده شده است. در این بخش از نظر نمک‌زدایی با روش ممبرانی مورد توجه قرار می‌گیرد. برای پیشگیری از رسوب کربنات کلسیم در روی ممبران‌ها لازم است شاخص لانگلی^۱ در آب و در روی آخرین دستگاه محاسبه شود و هیچگاه از حدود صفر بیشتر نشود. امروزه با کاربرد بازدارنده‌ها و اصلاح پی‌اچ ضریب لانگلیر حدود ۲+ هم ممکن است مشکلی ایجاد ننماید. در تاسیسات ممبرانی غیر سلولزی از اسید پلی‌اکریلیک^۲ به عنوان بازدارنده ترسیب استفاده می‌شود.

با استفاده از نرم‌افزارهایی می‌توان با توجه به دما، پی‌اچ، غلظت نمک‌های آب خام و تغییرات حاصل از باز یافت، خطر ترسیب آنها را محاسبه نمود و در نتیجه می‌توان ضرورت اصلاح آب مانند افزایش بازدارنده، اصلاح پی‌اچ و یا تغییر درصد باز یافت را مورد توجه قرار داد.

در اینجا لازم است به پدیده قطبی شدن آب داخل استوانه فشار اشاره نمود. به علت عبور آب خالص از ممبران، غلظت املاح محلول در آب خام افزایش می‌یابد اما این افزایش غلظت در آب لایه‌های نزدیک ممبران بیشتر از لایه‌های دورتر است. زیرا جریان آب در استوانه فشار خیلی به غیر آشفته نزدیک‌تر و درصد اختلاط کم است و غلظت نمک‌ها در لایه آب نزدیک ممبران افزایش بیشتری می‌یابد که پدیده قطبی شدن نام دارد.

لذا پدیده قطبی شدن باعث کاهش فلاکس ممبران می‌شود مگر آنکه به همان نسبت فشار هیدرولیکی آب خام افزایش یابد. غلظت سولفات کلسیم و سیلیس آب خام و پساب هم باید اندازه‌گیری شده و در صورت ضرورت نسبت به اصلاح آب و افزودن بازدارنده ترسیب تصمیم‌گیری نمود. به طور خلاصه گزینه‌های زیر باید مورد مطالعه قرار گیرد:

- کاهش درصد باز یافت؛
- اصلاح پی‌اچ آب؛
- افزایش بازدارنده ترسیب؛
- سختی‌گیری در عملیات پیش تصفیه؛
- ترکیبی از روش‌های بالا.

ضریب اصلاح به خاطر قطبی شدن با معادله زیر نشان داده شده است:

$$CPF = \frac{C_s}{C_b}$$

که در آن:

CPF = ضریب اصلاح به خاطر قطبی شدن^۳؛

C_s = غلظت نمک‌ها در آب لایه نزدیک به ممبران؛

C_b = غلظت نمک‌ها در آب درون استوانه.

بنابراین با افزایش میزان درصد باز یافت و افزایش غلظت نمک‌ها در لایه‌های نزدیک ممبران پدیده قطبی شدن تشدید و با معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$CPF = K_p \exp \left(\frac{2R}{2-R} \right)$$

که در آن:

K_p = ضریب ثابت که با افزایش درصد باز یافت بزرگتر باید انتخاب شود. طیف تغییرات عددی آن ۱/۱۵-۱/۳۶ می‌باشد؛

R = ضریب باز یافت.

برای اطلاعات بیشتر به بخش ۳-۹ همین فصل مراجعه کنید. 1. Langelier Index
2. Polyacrylic Acid

3. Correction Polarization Factor

1. Silt Density Index

4. Total Organic Carbon

5. Adenosine Triphosphates

مبارزه با میکروب‌ها

وجود مواد آلی مورد تغذیه میکروب‌ها و حضور میکروب‌ها در آب خام ورودی به استوانه‌های فشار می‌تواند باعث رشد آنها روی ممبران‌ها و اسپیسرها^۱ با نام بیوفیلم شود که باعث کاهش فلاکس آب می‌گردد. لذا زدایش مواد آلی و میکروب‌ها باید یکی از هدف‌ها در عملیات پیش تصفیه باشد.

با کاربرد میکروبخش مناسب مانند کلر می‌توان از ورود آنها به داخل استوانه‌ها جلوگیری نمود ولی بعضی از پلیمرها مانند پلی‌آمیدها که امروزه در این صنعت کاربرد فراوان دارند نسبت به اکسیدکننده‌هایی مانند کلر حساسیت داشته و آسیب می‌بینند. توجه شود که کلر هم میکروبخش است و هم اکسیدکننده مواد آلی در نتیجه می‌تواند پلیمر را اکسید نماید.

بنابراین آب ورودی به استوانه فشار باید بدون کلر و یا هر اکسیدکننده دیگر باشد. در نتیجه آب‌های زیرزمینی مناسب‌تر بوده و آب‌های سطحی مانند آب دریا از این جهت نیاز به تصفیه دارد. آب‌های آلوده به فاضلاب‌های شهری در گروه آب‌های نامناسب این صنعت قرار دارند و لذا در طراحی فرایندهای پیش تصفیه باید آب خام را از این جهت هم مورد مطالعه قرار داد و نسبت به تصفیه آن اقدام نمود.

در آب زیرزمینی هم حضور سولفید هیدروژن، کلسیم، منیزیم، آهن و منگنز مشکلات دیگری به همراه می‌آورد و به طور چکیده باید یادآوری شود که در طراحی تاسیسات نمک‌زدایی به روش اسمزمعکوس لازم است کیفیت آب خام مورد مطالعه دقیق قرار گرفته و واحدهای مناسب پیش تصفیه طراحی و اجرا شود. توجه به بهره‌برداری مطلوب و تغییرات کیفیت آب خام در مدت عمر مفید طرح نیز نباید فراموش شود.

طراحی‌ها در روش اسمزمعکوس

با توجه به روابط ریاضی که در بخش‌های ابتدای این فصل در مورد نمک‌زدایی به روش اسمزمعکوس ارایه گردید، اصول کار طراحی مورد بحث قرار می‌گیرد. معادله عمومی و کاربردی عبارت است از:

$$F_w = K_w (P - \pi)$$

در این معادله:

F_w = فلاکس ممبران برای تولید آب؛

K_w = ضریب تراوایی ممبران در شرایط آزمایش سازنده؛

P = فشار هیدرولیکی روی ممبران،

π = فشار اسمزی پساب با توجه به پدیده قطبی شدن و بازیافت.

در جریان تراوش آب از ممبران که ناشی از اعمال فشار هیدرولیکی است بخش کمی از نمک آب خام به علت پدیده انتشار از ممبران عبور می‌نماید. از آنجا که میزان انتشار نمک هیچ ارتباطی با فشار هیدرولیکی ندارد بنابراین با افزایش فشار در حالی که آب بیشتری تولید می‌شود کیفیت آب تولیدی بهتر خواهد بود.

به طور کلی ممبران‌های معروف به صفحات پیچیده در دمای حدود ۲۵ درجه سلسیوس و فشار هیدرولیکی ۱۰-۱۵ اتمسفر دارای توانایی دفع نمک تا سقف ۹۹ درصد از آب با مجموع املاح محلول حدود ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر هستند و برای آب‌های با املاح محلول ۳۰ تا ۴۰ هزار گرم در مترمکعب درصد دفع به ۹۹/۷ هم می‌رسد. شرکت‌های سازنده ویژگی‌های ممبران‌های خود را در کاتالوگ‌ها برای شرایط آزمایشگاهی اعلام می‌دارند که مبنای محاسبات قرار می‌گیرد. لذا با توجه به غلظت نمک‌های آب خام و درصد بازیافت آب، فشار هیدرولیکی لازم برای تولید آب محاسبه می‌شود که معادله آن عبارت است از:

$$NDP = P_F - (\pi + P_p + H_l)$$



که در آن:

NDP = فشار هیدرولیکی موثر در تولید آب؛

P_F = فشار هیدرولیکی در خروجی پمپ اصلی؛

H_l = افت فشار هیدرولیکی از خروجی پمپ تا خروجی آب از استوانه

فشار؛

π = فشار اسمزی آب خام روی آخرین المان در استوانه فشار

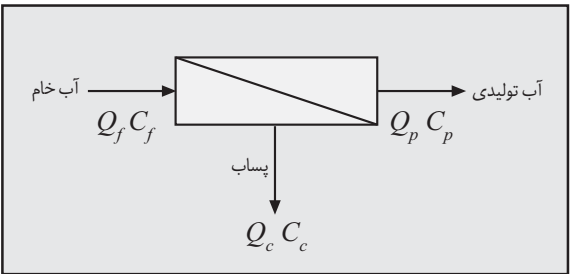
با توجه به پدیده قطبی شدن و درصد بازیافت؛

P_p = فشار هیدرولیکی آب تولیدی.

توجه شود که در عبور آب از هر المان در استوانه فشار و کاهش میزان آب و در نتیجه افزایش نمک‌های محلول آن، فشار اسمزی آب افزایش می‌یابد. بنابراین دانستن فشار اسمزی آب در روی آخرین المان ضرورت دارد. در غیر این صورت المان‌های آخر ممکن است آبی تولید نمایند.

در صورتیکه در ردیف تاسیسات، دو مرحله نمک‌زدایی پیش‌بینی شده باشد پساب مرحله اول، آب خام مرحله دوم خواهد بود و فشار پساب مرحله اول همان P_F مرحله دوم است. باید سعی گردد که فشار هیدرولیکی آب تولیدی همیشه کمتر از یک اتمسفر حفظ گردد تا فشار خالص لازم در حداقل بماند زیرا هر چه فشار هیدرولیکی افزایش یابد فشردگی ممبران‌ها بیشتر شده و عمر مفید آنها کمتر خواهد شد. دیاگرام‌کلی فرایند در شکل شماره ۳-۲ نشان داده می‌شود که مبنای تدوین معادلات لازم است. طبق شکل فرض بر این است که در استوانه فقط یک المان قرار دارد.

شکل شماره ۳-۲ - تعادل حجمی و جرمی



لذا می‌توان نوشت:

$$Q_f = Q_p + Q_c$$

تعادل حجمی - جرمی:

$$Q_f C_f = Q_p C_p + Q_c C_c$$

تعادل نمک‌ها:

$$R = \frac{Q_p}{Q_f}, C = \frac{C_f}{1-R}$$

جدول شماره ۳-۶ - میزان بازیافت و تعداد المان‌ها در دو مرحله نمک‌زدایی را نشان می‌دهد.

جدول شماره ۳-۶ - میزان بازیافت و تعداد المان‌ها در هر استوانه فشار

تعداد المان‌ها در یک استوانه فشار	حداکثر بازیافت توسط هر استوانه - درصد		جمع بازیافت
	مرحله اول	مرحله دوم	
۴	۴۰	۴۰ از ۶۰ یا ۲۴	۶۴
۵	۵۰	۵۰ از ۵۰ یا ۲۵	۷۵
۶	۵۵	۵۵ از ۴۵ یا ۲۵	۸۰
۷	۶۵	۶۵ از ۳۵ یا ۲۳	۸۸

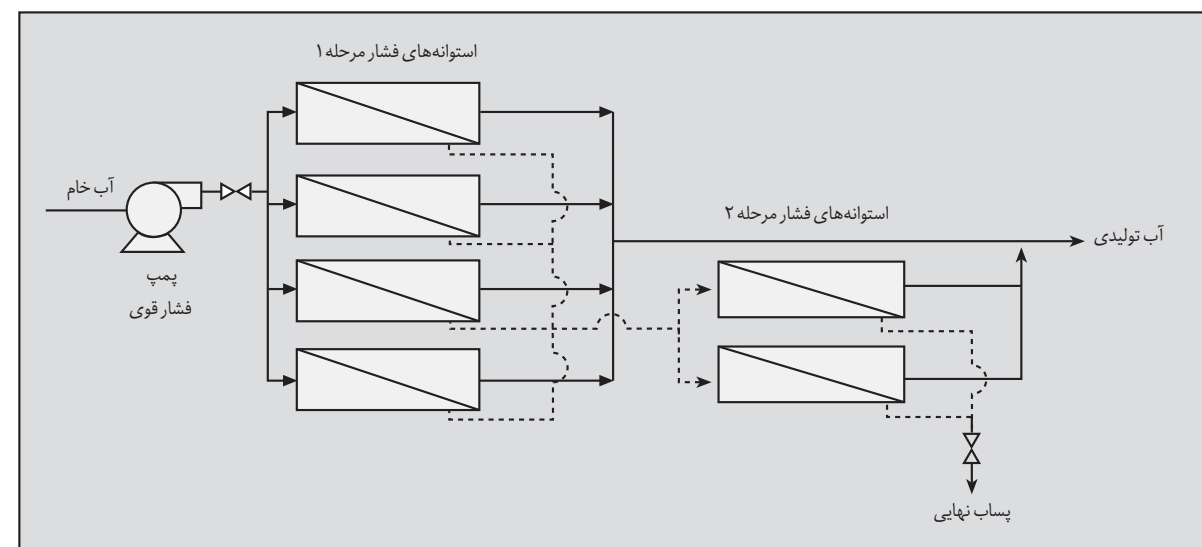
ترتیب استوانه‌ها

ترتیب قرار گرفتن استوانه‌های فشار تابع درصد بازیافت مورد نظر است که خود تابع کیفیت آب خام و آب تولیدی است. در صورتی که هدف بازیافت ۵۰ درصد و کمتر باشد در ردیف یک مرحله نمک‌زدایی پیش‌بینی می‌شود و هر چه مقدار آب بیشتری مورد نیاز باشد تعداد استوانه‌های بیشتری به صورت موازی باید نصب شود.

شکل شماره ۳-۳ - ترتیب پساب با دو مرحله نمک‌زدایی و با تعداد استوانه‌های فشار ۲:۴ را نشان می‌دهد. در مرحله اول میزان بازیافت را در محدوده ۵۰ درصد می‌توان حفظ نمود و در مرحله دوم هم ۵۰ درصد از آب ورودی به آن را که خود ۵۰ درصد آب خام اولیه است، بازیافت نمود. لذا جمع بازیافت ۷۵ درصد خواهد بود.



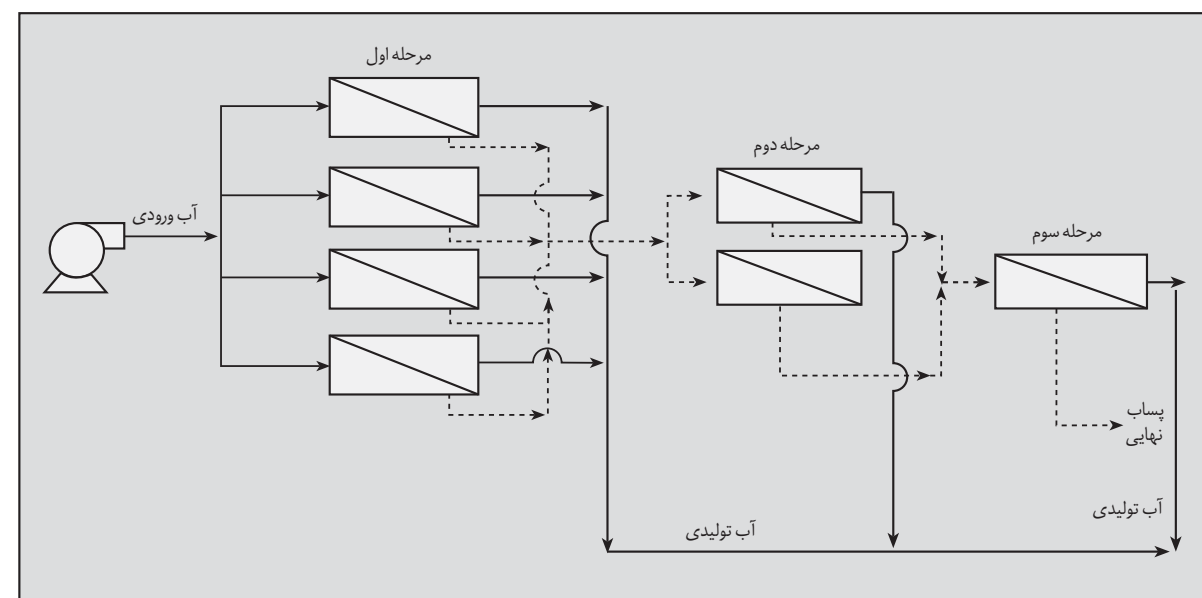
شکل شماره ۳-۳ - ترتیب پساب - طرح دو مرحله ۴:۲



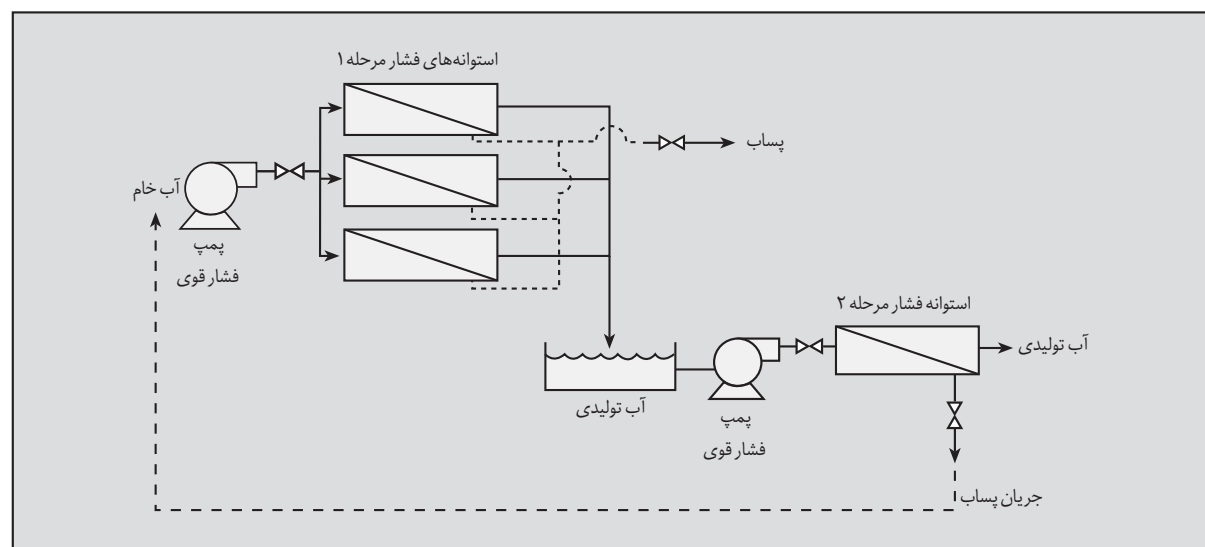
خواهد بود و بدین ترتیب می‌توان به درصد حدود ۸۵ رسیده و در این صورت میزان پساب ۱۵ درصد آب خام است. این ترتیب در شکل شماره ۳-۴ نشان داده شده است.

حال اگر قرار است میزان بازیافت به حدود ۸۵ درصد برسد لازم است پساب مرحله دوم که خود حدود ۲۵ درصد آب خام ورودی به ابتدای ردیف است، وارد استوانه‌های فشار مرحله سوم شود که باز هم ۵۰ درصد بازیافت حاصل می‌شود. لذا تولید ۱۲/۵ درصد آب خام اولیه

شکل شماره ۳-۴ - سه مرحله ای ۴:۲:۱



شکل شماره ۳-۵ - ترتیب آب تولیدی دو مرحله



زیرا مشاهده گردید که تنها در حدود ۳-۵ در هزار نمک آب خام از ممبران عبور کرده و به آب تولیدی می‌رسد. لذا اگر آب خام دارای مجموع نمک‌های محلول ۴۰ هزار گرم در مترمکعب باشد در آب تولیدی مرحله اول ۱۲۰-۲۰۰ گرم در مترمکعب نمک باقی خواهد ماند. چون طبق استاندارد آب شرب مجموع نمک‌های محلول آب می‌تواند تا حدود ۶۰۰-۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر باشد لذا برای اصلاح آب تولیدی تمهیداتی خاص لازم است که یک گزینه آن اختلاط آب تولیدی با آب خام ورودی به استوانه فشار است که فرایندهای پیش-تصفیه را گذرانیده باشد و یا با افزودن ترکیب‌هایی مانند بی‌کربنات سدیم، کربنات سدیم، اکسید کلسیم، آب آهک و سود سوز آور می‌توان آبی تولید نمود که ضریب لانگلیر آن در حدود صفر باشد که در بحث خوردگی آب صحبت شده است. البته اختلاط با آب خام که مراحل پیش تصفیه را گذرانده باشد دارای مزایایی است که مهمترین آن عبارت است از کاهش سطح ممبران‌ها به دلیل کاهش نیاز به تولید و کاهش میزان پساب که هر دو بخشی از سرمایه‌گذاری لازم را کاهش

برای افزایش بازیافت در یک ردیف می‌توان از دو مرحله و یا سه مرحله نمک‌زدایی بهره برد که در شکل شماره ۳-۴ یک ردیف سه مرحله ای نشان داده شده است بدین ترتیب که پساب هر مرحله نمک‌زدایی آب خام مرحله پایین دست است. اما برای افزایش درصد زدایش نمک‌های آب می‌توان از ترتیب آب تولیدی بهره گرفت که در شکل شماره ۳-۵ نشان داده شده است که با نام دوبار عبور^۱ هم شناخته می‌شود. در این فرایند آب تولید مرحله اول، آب خام مرحله دوم خواهد بود.

ترتیب آب تولیدی

وقتی هدف تولید آبی است که نمک‌های آن باید نزدیک صفر باشد، آب تولیدی مرحله اول باید به استوانه‌های فشار مرحله دوم هدایت شود و چون معمولاً آب تولیدی دارای فشار هیدرولیکی نیست لازم است از پمپ مناسب بهره‌گیری شود. در نمک‌زدایی از آب‌های شور برای تولید آب شرب معمولاً از یک مرحله نمک‌زدایی استفاده می‌شود



می‌دهد. برای تولید آب تقریباً مقطر از فناوری‌های دیگر مانند تقطیر چند مرحله‌ای، تبخیر ناگهانی چند مرحله‌ای، تراکم بخار و تبادل یونی استفاده می‌شود.

❧ شستشوی المانها

با استمرار فرایند نمک‌زدایی و افزایش غلظت نمک‌های آب در استوانه فشار به ویژه روی المان‌های آخر ردیف، خطر ترسیب آنها افزایش می‌یابد لذا ضرورت دارد گهگاه المان‌ها شسته شوند. همچنین در صورتیکه قرار است المان‌ها مدتی از مدار تولید خارج شوند برای جلوگیری از ترسیب ترکیب‌های شیمیایی، المان‌ها باید شسته و نگهداری شوند.

آب مورد استفاده برای شستشوی المان‌ها معمولاً همان آب تولیدی دستگاه است که باید در مخزنی ذخیره شود. در صورتیکه آب خام از چاه است و در آن سولفید هیدروژن وجود دارد استفاده از آن مشروط به این که آب در معرض هوا قرار نگیرد مناسب‌تر است. در آب تولیدی مورد استفاده برای شستشو نباید کلر وجود داشته باشد مگر آنکه المان نسبت به کلر حساسیت نداشته باشد.

پیش تصفیه آب در روش اسمز معکوس

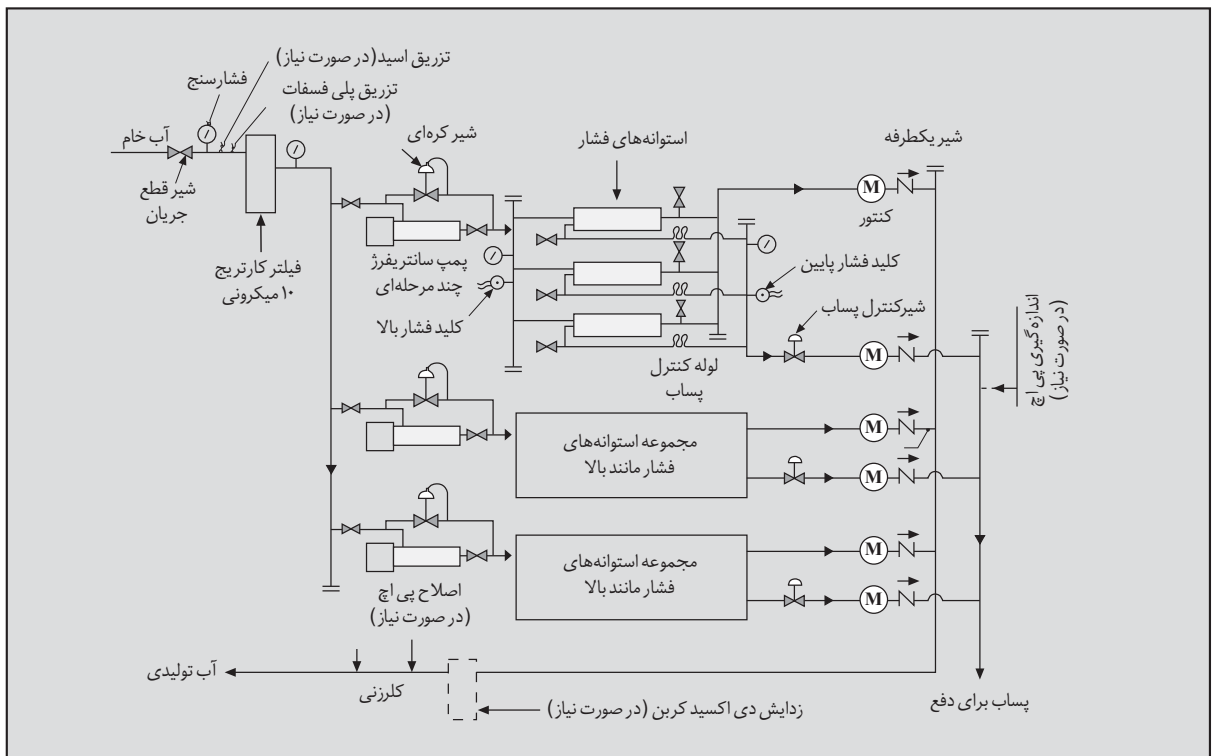
کیفیت آب مناسب جهت پمپاژ به داخل استوانه‌های فشار و روی

المان‌ها باید دارای ویژگی‌های زیر باشد:

- کدورت کمتر از ۱ آن تی یو؛
- شاخص سیلت کمتر از ۴ اس دی آی؛
- آهن فرو^۱ کمتر از ۲ میلی گرم در لیتر؛
- منگنز کمتر از ۵/۰ میلی گرم در لیتر؛
- استرانسیوم کمتر از ۳۰۰۰ درصد غلظت اشباع؛
- سیلیس کمتر از ۱۶۰ میلی گرم در لیتر؛



شکل شماره ۳-۶- ابزار کنترل کار فرایندها در اسمن معکوس (تاسیسات پیشنهادی یک شرکت سازنده ممبران)



❧ دفع پیساب

انواع فاضلاب‌های تاسیسات نمک‌زدایی ممبرانی عبارتند از:

- پساب استوانه‌های فشار با غلظت زیاد نمک‌های باقیمانده و بازدارنده ترسیب و در شرایطی کلر؛
- فاضلاب تاسیسات پیش تصفیه؛
- فاضلاب حاصل از شستشوی ممبران‌ها؛
- فاضلاب حاصل از نظافت شیمیایی ممبران‌ها؛
- فاضلاب دوران نگهداری و خارج بودن ممبران‌ها از مدار تولید.

بنابراین تعیین کمی و کیفی انواع آلاینده‌های موجود در پساب، ملاحظات محیط‌زیستی تخلیه، ضرورت نوعی تصفیه و چگونگی دفع آنها نیاز به تعریف گزینه‌ها و مقایسه فنی - اقتصادی دارد.

راهبری و کنترل شده گر چه ابزار بهره‌بردارى دستى هم پيش بينى مى‌شود. همان‌طور كه در شكل ۳-۶ مى‌توان مشاهده نمود روى لوله مكش پمپ اصلى و قبل از فيلتر كار تريج، فشار سنج، دماسنج و روى لوله پس از فيلتر كار تريج و قبل از پمپ اصلى فشار سنج و روى لوله آب توليدى، فشار سنج، دبی سنج، هدايت الكتريكى سنج و پي اچ سنج بايد نصب گردد. نصب شير كنترل جريان و جريان سنج روى لوله پساب براى كنترل درصد باز يافت يکى از ابزارهاى لازم است. توجه شود كه پمپ اوليه قبل از فيلتر كار تريج و پمپ اصلى از دياد فشار بايد داراى تاسيسات كار كرد همزمانى باشند بنابر اين ابزار دقيق ويژه‌اى براى آنها لازم است. پمپ اصلى نياز به يك حداقل فشار مثبت^۱ دارد كه پمپ اول بايد آن را تامين نمايد.

ل کنترول کیفیت

برای پایش عملیات و کنترل کیفیت آب تولیدی، نصب تاسیسات ابزار دقیق در بخش‌های مختلف واحدهای نمک‌زدایی ضرورت دارد که در شکل شماره ۳-۶ به عنوان نمونه نشان داده شده است و در آن ابزار اصلی کنترل کیفیت، باز یافت، محل نمونه برداری‌ها از آب خام، آب تولیدی و کیفیت آب هر مرحله هم پیش بینی شده است. امروزه تمام تاسیسات مختلف اسمز معکوس به کمک پی‌ال‌سی^۲



روش های دفع عبارتند از:

- تخلیه به منابع آب های سطحی مانند دریا؛
- تخلیه به شبکه جمع آوری فاضلاب شهری؛
- تخلیه به منابع آب های زیرزمینی؛
- تخلیه به برکه های تبخیر؛
- فرآوری و کاهش حجم و بازیافت مواد.

اندیشه استفاده از پساب این صنعت رو به توسعه می باشد، پرورش آبزیان، استخراج نمک های آن، تزریق به زمین در صنعت استخراج نفت، سرد کننده های صنعتی و کنترل گرد و غبار، از بسترهای جدید استفاده آن است. هر کدام از روش های بالا دارای محدودیت ها، مزایا و هزینه های مربوط است که با توجه به حفظ محیط زیست باید انتخاب شود.

در مطالعات مرحله اول نباید گزینه های دفع پساب نادیده گرفته شود زیرا روی معیارهای امکان سنجی و هزینه نهایی تاثیر دارد. اهمیت معیارهای محیط زیستی در حدی است که باید به طور مستقل انجام گیرد. لذا مطالعات این صنعت شامل بخش های مستقل زیر است:

- منابع آب؛
- آبرگیری از منبع انتخاب شده؛
- عملیات پیش تصفیه؛
- فرایندهای نمک زدایی؛
- دفع پساب ها و فاضلاب ها؛
- اصلاح آب تولید شده؛
- تامین انرژی از دو منبع مستقل؛
- بهره برداری، نگهداری و پایش های لازم؛
- پیامدهای محیط زیستی در مراحل اجرا و بهره برداری.

۳-۳-۲- الکترو دیالیز

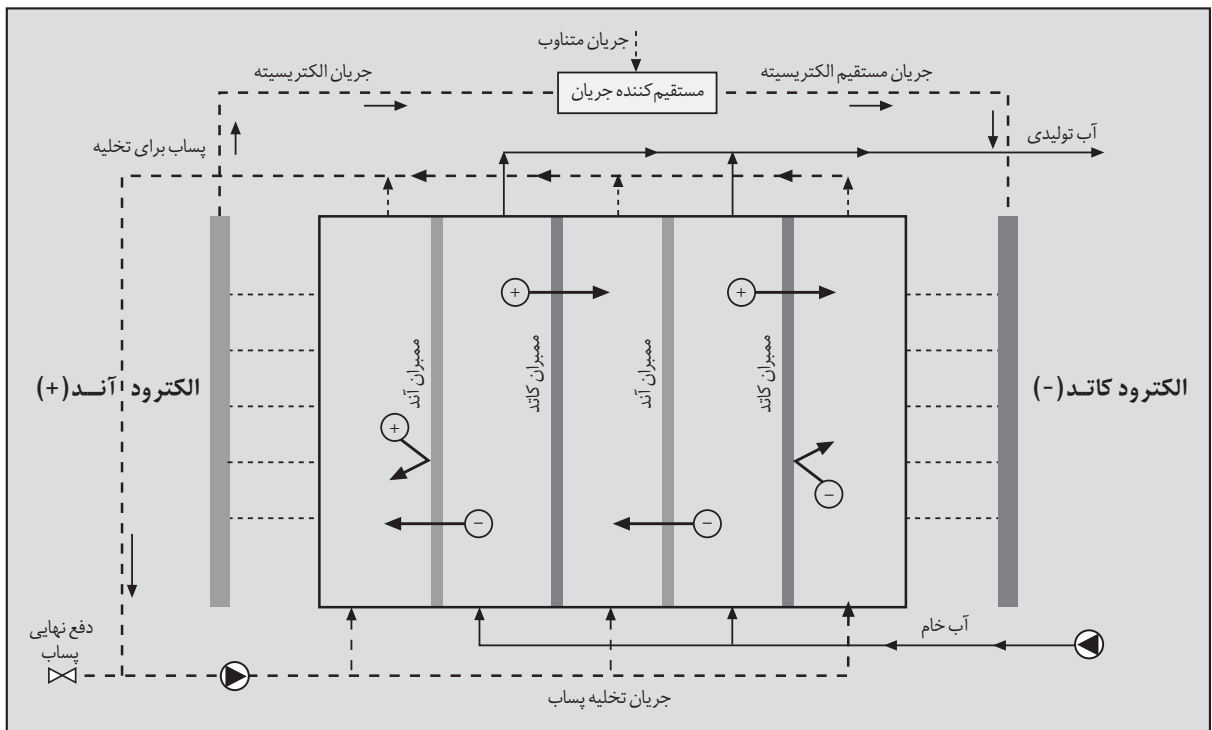
در این روش نمک زدایی، از ممبران نیمه تراوایی استفاده می شود که به دلیل حضور دو قطب مثبت و منفی یون های باردار از آن عبور می نماید و در نتیجه نمک های آب کاهش می یابد. بدین ترتیب که با اعمال جریان مستقیم الکتریسیته و ایجاد دو قطب مثبت و منفی یون های با بار مثبت به طرف الکترود منفی یا کاتد و یون های با بار منفی به طرف الکترود مثبت و یا آند جریان می یابند و در مسیر جریان از ممبران ویژه عبور کرده وارد جریان پساب دستگاه می شوند. بین دو الکترود چندین ممبران آنیونی و کاتیونی به طور متناوب قرار می گیرد که مجموعه^۱ نامیده می شود که در شکل شماره ۳-۷ نشان داده شده است.

ذرات معلق بدون بار آب خام، از ممبران عبور نکرده و در آب تولیدی حضور خواهند داشت. گرچه در بالادست مجموعه، فیلترهای کارتریج با اندازه اسمی ۲۰ میکرون نصب می شود که ذرات معلق ۲۰ میکرون و بزرگ تر را از آب زدایش می نماید اما ذرات ریزتر حضور خواهند داشت.

در فرایند نمک زدایی در اطراف دو الکترود مجموعه، آب دچار تغییراتی می گردد که نیاز به توجه دارد. در اطراف الکترود آند یون های کلر، اکسیژن و هیدروکسیل و در اطراف الکترود کاتد هیدروژن تجمع می یابد. لذا پی اچ آب در اطراف دو الکترود تغییر می نماید که در کار نمک زدایی مانع ایجاد می نماید و به همین علت الکترودیالیز متناوب^۲ توسعه یافته است. در این دگرگونی بار الکتریکی دو الکترود به طور مرتب تغییر می نماید و اکسیژن، هیدروژن و هیدروکسیل های تشکیل گردیده در فرایندهای کار خنثی می شوند و لذا دستگاه مشکلات کمتری دارد. به هر حال تمهیدات تخلیه گازهای اکسیژن و هیدروژن در این مجموعه ها ضرورت دارد. تغییر بار الکترودها یک امتیاز قابل توجه دارد که عبارت است از کاهش بروز ترسیب ترکیب های شیمیایی.



شکل شماره ۳-۷- دیگرام عبور کاتیون ها و آنیون ها از ممبران ها در الکترولیز (یک واحد)



لذا کاربرد باز دارنده ترسیب در بعضی شرایط ضرورت پیدا نمی کند. از معادله:

$$I = \frac{Q \times F_d \times \Delta N}{e \times N}$$

برای محاسبه میزان جریان برق مستقیم مورد نیاز بر حسب آمپر استفاده می شود. در این معادله:

$$F_d = \text{ضریب فاراده معادل } 96500 \text{ آمپر؛}$$

$$Q = \text{میزان آب تولیدی بر حسب لیتر در ثانیه؛}$$

$$\Delta N = \text{تغییر نرمالیت آب ورودی و خروجی که در واقع بیان کننده مقدار زدایش نمک های آب می باشد؛}$$

$$e = \text{سودمندی مصرف الکتریسیته که در انواع تاسیسات یکسان نیست؛}$$

$$N = \text{تعداد سلول ها در یک مجموعه دستگاه؛}$$

$$I = \text{میزان جریان مستقیم برق بر حسب آمپر.}$$

هر سلول شامل دو ممبران و یک اسپیسر است که دو ممبران را از هم جدا نگهداشته و باعث تسهیل جریان آب و بهبود فرایند زدایش نمک از آب می شود. ممبران های کاتیونی از جنس پلی استیرن سولفونات^۱ بوده و ممبران های آنیونی از جنس آمونیوم چهار ظرفیتی است. برای زدایش هر ۲ کیلوگرم نمک از ۲ مترمکعب آب در حدود یک کیلووات ساعت برق لازم است که انرژی لازم برای تولید فشار هیدرولیکی به منظور جابجایی آب در دستگاه و مصرف های دیگر باید به آن اضافه گردد. با افزایش دمای آب مصرف الکتریسیته کاهش می یابد به طوری که برای هر یک درجه سلسیوس دو درصد بیشتر املاح از آب



زدایش می شود. میزان زدایش نمک‌ها در دستگاه الکترودیالیز تابعی است از شدت جریان الکتریسیته که در انواع دستگاه‌های ساخته شده یکسان نیست و لذا ویژگی‌های هر سازنده باید مورد توجه قرار گیرد. عملکرد دستگاه در زدایش نمک‌های آب خام در محدوده ۳۰-۶۰ درصد قرار دارد. لذا در پساب غلظت املاح افزایش می‌یابد که پیامدهای ترسیب در پی داشته و توجه به آن ضرورت دارد. به همین جهت برای افزایش میزان زدایش نمک‌ها باید مجموعه‌ها را به طور سری نصب نمود. معمولاً تاسیسات برای تولید آبی با املاح محلول ۲۰۰-۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر طراحی می‌شود. ویژگی‌های زیر روی عملکرد دستگاه دخالت دارد:

- با کاهش میزان نمک‌های آب مقاومت الکتریکی آب افزایش یافته لذا باید ولتاژ دستگاه به همان نسبت بیشتر شود که با محدودیت همراه است؛
- اگر غلظت نمک‌های پساب از حدی بیشتر شود پدیده انتشار باعث برگشت نمک به آب تولیدی می‌شود. چنانکه اگر غلظت نمک‌های پساب از ۱/۵ برابر نمک‌های آب تولیدی بیشتر شود این فرایند رخ می‌دهد. بعضی از ممبران‌ها در عبور یون‌های دو ظرفیتی بهتر از یون‌های سه ظرفیتی عمل می‌کنند که از ویژگی‌های پلیمر و ممبران ساخته شده است.

تاسیسات اصلی

در یک ردیف الکترودیالیز واحدهای زیر پیش‌بینی می‌شود:

- تاسیسات پیش تصفیه آب جهت زدایش عواملی که باعث گرفتگی ممبران می‌شوند.
- الکتروپمپ مناسب برای ایجاد فشار هیدرولیکی لازم و حوضچه مکش آب خام
- کارتریج فیلتر که برای افزایش اطمینان به کیفیت آب ورودی مجموعه می‌باشد و اندازه اسمی روزنه‌های آن ۱۰-۲۰ میکرون بوده و میزان عبور آب برای اندازه ۲۵ سانتیمتری آن حداکثر ۱/۲

مترمکعب در ساعت است. لذا برای انتخاب، باید ظرفیت تولید و ظرفیت هر واحد با توجه به ویژگی‌های آن تعریف شود؛

- مجموعه الکترودیالیز که مورد بحث قرار گرفت و تاسیسات حفاظت از الکترودها در مقابل ترکیب‌های شیمیایی تولیدی مانند کلر، هیدروژن و هیدروکسید؛
- تاسیسات شستشوی مجموعه که از اسید هیدروکلرید و کلرورسديم استفاده می‌شود و یکی از هدف‌های کار تنظیم پی‌اچ آب می‌باشد؛
- برای کنترل عملیات و فرایندها، لازم است از ابزار دقیق استفاده شود. یادآوری گردید که هر مرحله از فرایند الکترودیالیز حدود ۵۰ درصد نمک‌های محلول را از آب زدایش می‌نماید و در مواردی لازم است چند مرحله به صورت سری نصب شوند و به همین جهت برای نمک‌زدایی از آب‌های لبشور مورد استفاده قرار می‌گیرد.

به علاوه ظرفیت تولید هر مجموعه از آنها در محدوده ۵۰۰۰ مترمکعب آب در روز است. بنابراین برای ظرفیت‌های زیاد چندین واحد باید به طور موازی نصب شوند که از محدودیت‌های این صنعت می‌باشد. در شکل شماره ۳-۸ دیاگرام الکترولیز سه مرحله‌ای همراه با گردش دوباره نشان داده شده است.

گرفتگی ممبران‌ها

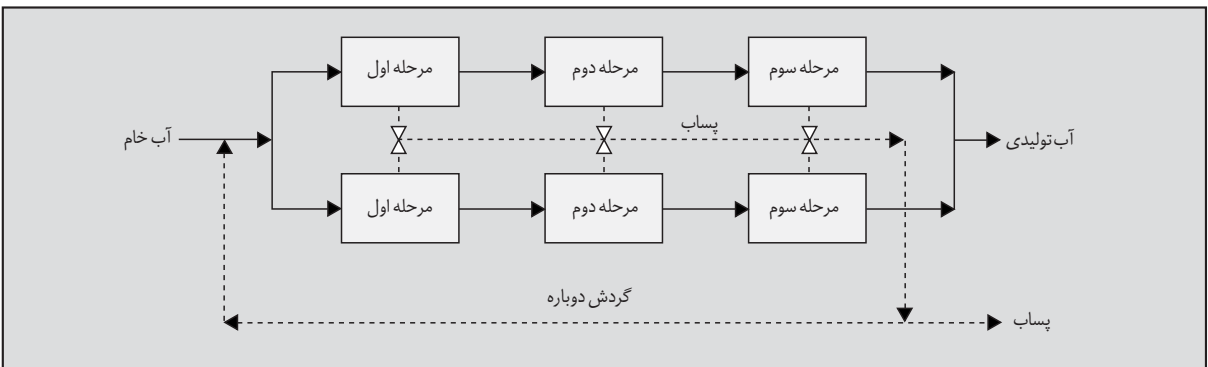
در فرایند تولید آب در روش الکترودیالیز، ذرات معلق بدون بار ممکن است روی ممبران‌ها نشسته مانع عبور یون‌ها گردند. به علاوه ترسیب شیمیایی هم ممکن است بروز نماید لذا پیش‌بینی تمهیداتی برای شستشوی ممبران‌ها ضرورت دارد.

برای جلوگیری از مصرف غیر ضروری برق به خاطر افزایش مقاومت ممبران در مقابل عبور یون‌ها، آب خام ورودی باید با کاربرد عملیات پیش تصفیه، مناسب تاسیسات الکترودیالیز گردد. کیفیت مطلوب آب خام دستگاه عبارت است از:

- کدورت کمتر از ۵/۰ ان‌تی‌یو؛



شکل شماره ۳-۸- دیاگرام الکترودیالیز سه مرحله‌ای



پدیده قطبی شدن

به علت عبور املاح محلول از لایه‌های آب نزدیک ممبران و کاهش غلظت املاح در آب پدیده قطبی شدن بروز می‌نماید که با پدیده قطبی شدن اسمز معکوس متفاوت است، زیرا در اینجا کاهش املاح رخ می‌دهد. پیامدهای قطبی شدن عبارتند از:

- تغییر پی‌اچ آب؛
- کاهش سودمندی برق مورد مصرف؛
- افزایش مقاومت الکتریکی آب در دستگاه؛
- یونیزاسیون آب.

توجه شود که حتی ضریب لانگلیر آب در حدود ۲/۵+ با کاربرد بازدارنده ترسیب مناسب مشکلی برای این تاسیسات ایجاد نمی‌نماید. البته غلظت کلسیم در آب نباید از حدود ۱۵۰-۲۰۰ درصد اشباع بیشتر شود. در غیر این صورت افزایش بازدارنده ترسیب به آب برگشتی و یا آب گردش دوباره ضرورت دارد. حذف آهن در عملیات پیش تصفیه لازم است که در بخش زدایش آهن و منگنز مطرح شده است. اگر ممبران به کلر حساسیت دارد و رشد بیوفیلم هم مشکل‌آفرین است باید کلر آب توسط بی‌سولفیت سدیم و یا کربن فعال قبل از هدایت به مجموعه

- شاخص سیلت کمتر از ۱۵ واحد برای زمان ۱۵ دقیقه^۱؛
- آهن کمتر از ۳/۰ میلی‌گرم در لیتر؛
- منگنز کمتر از ۱/۰ میلی‌گرم در لیتر؛
- سولفورها کمتر از ۱/۰ میلی‌گرم در لیتر؛
- دما حداقل ۱ درجه و حداکثر ۴۳ درجه سلسیوس؛
- سولفات کلسیم^۲ $6 \times k_{sp}$ در پساب دستگاه؛
- سولفات باریوم $150 \times k_{sp}$ در پساب دستگاه؛
- سولفات استرانسیوم $8 \times k_{sp}$ در پساب دستگاه؛
- کلرید کلسیم $500 \times k_{sp}$ در پساب دستگاه؛
- سیلیس تا مرز اشباع در دمای آب؛
- ضریب لانگلیر تا مرز ۲+ در پساب.

بنابراین با توجه به کیفیت آب خام مناسب دستگاه الکترودیالیز، فرایندهای پیش تصفیه برای زدایش آلاینده‌ها از آب خام باید طراحی گردد. کدورت کمتر از ۵/۰ ان‌تی‌یو ضرورت استفاده از تاسیسات فیلتراسیون را نشان می‌دهد و آهن و منگنز هم اگر از غلظت پیشگفته بیشتر شود زدایش آنها ضرورت دارد که در بخش‌های آینده مورد بحث قرار می‌گیرد.

۱. برای تعریف شاخص سلیت به فصل چهارم کتاب نمک‌زدایی از آب‌های لب‌شور و شور از انتشارات شرکت نارون آرا رجوع شود.

۲. ضریب k_{sp} تحت نام قابلیت حلالیت شناخته می‌شود.



انرژی حرارتی هدایت می شود و بنابراین جزو آب تولیدی شناخته نمی شود. میزان انرژی حرارتی عبارت است از ۲۹۰ کیلوژول برای هر کیلوگرم آب تولیدی معادل ۸۰/۶ کیلو وات ساعت در متر مکعب.

نحوه قرار گرفتن لوله های حامل بخار تولید شده در هر محفظه می تواند افقی، عمودی و عمودی جمعی^۱ باشد. نوع عمودی جمعی که تقریباً طرحی نو می باشد دارای ویژگی های زیر است:

- ضریب انتقال حرارت آن بیشتر از معیارهای طراحی شده است؛
- دمای آب بین ۳۷/۸-۱۱۰ درجه سلسیوس متغیر است؛
- خوردگی سطوح در آن قابل ملاحظه نبوده و مبارزه با بروز ترسیب روی لوله ها ساده تر انجام پذیر است.

همان طور که شکل نشان می دهد آب خام باقیمانده هر مرحله به مرحله بعدی هدایت می شود و در نتیجه مجموع نمک های آن افزایش پیدا می نماید و بالاخره با دمای نزدیک به دمای آب خام اولیه به دریا بازگردانده می شود. در جدول شماره ۳-۷ ویژگی های این صنعت نشان داده شده است.

جدول شماره ۳-۷- ویژگی های تقطیر چند مرحله ای

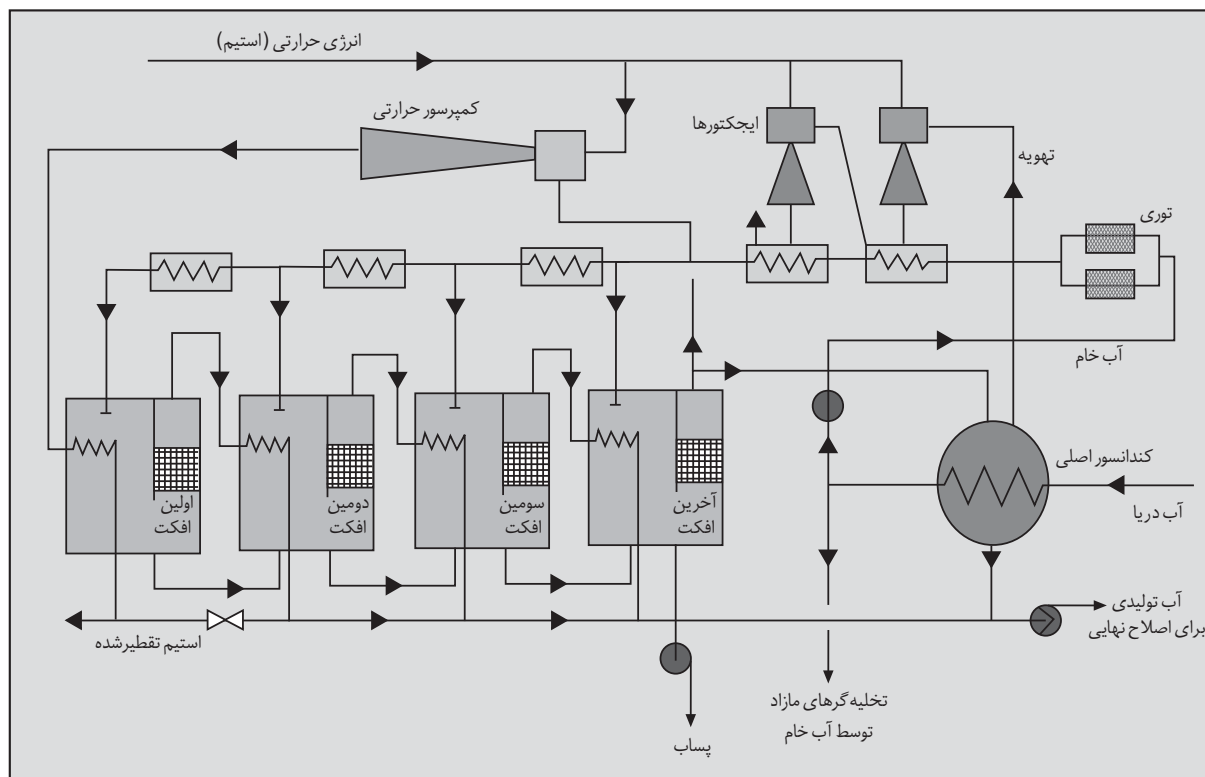
دمای حداکثر آب (درجه سلسیوس)	۷۱/۷				۱۱۰
نحوه استقرار لوله های مبادله گرما	افقی	عمودی	عمودی جمعی	عمودی	افقی
درصد باز یافت	۳۵-۲۰	۳۵-۲۰	۶۷	۳۵-۲۰	۲۵-۲۰
حدود عملکرد (کیلوگرم برای مگاژول)	۵-۴	۴/۳-۳/۳	۱۰	۶/۵-۳/۵	۶/۵-۳/۵
ضریب انتقال حرارت برای هر درجه کلوین و یا سلسیوس (وات-مترمربع-درجه)	۳/۴-۱/۷	۳/۴-۱/۷	۱۱/۴-۴/۵	۴/۳-۱/۷	۴/۳-۱/۷
مصرف برق (مگاژول بر مترمکعب آب)	۰/۰۰۲۶-۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۲۶-۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۱۰۶-۰/۰۰۰۵۳	۰/۰۰۲۶-۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۲۶-۰/۰۰۱۳
غلظت نمک در پساب (میلی گرم در لیتر)	۵۴۰۰۰	۵۴۰۰۰	۱۰۶۰۰۰	۵۴۰۰۰	۵۴۰۰۰
پیش تصفیه لازم - افزودن بازدارنده ترسیب	پلی فسفات	پلی فسفات	اسید یا پلیمر	پلیمر	اسید یا پلیمر
غلظت نمک در آب تولیدی (میلی گرم در لیتر)	۲۵-۰/۵	۲۵-۰/۵	۲۵-۰/۵	۲۵-۰/۵	۲۵-۰/۵

1. Vertical Bundles

طبق شکل شماره ۳-۱۰ آب خام دریا در کندانسور اصلی با سرد کردن آب تولیدی مرحله ها و باقیمانده بخار به دو بخش اصلی و فرعی تقسیم می شود. بخش اصلی به دریا بازگردانده می شود و بخش کوچکی از آن پس از عبور از واحد زدایش دی اکسیدکربن و اکسیژن که باعث خوردگی می شود به نام آب جبرانی به اولین مرحله هدایت می شود. سپس این آب روی لوله های حاوی استیم پاشیده شده، بخشی تبخیر و بخشی گرم می شود. بخار گرم به لوله های مرحله بعدی هدایت و آب مرحله اول روی آن پاشیده می شود. فشار هوا در واحدها رو به کاهش می گذارد تا آب نمک واحد قبلی که به آن هدایت می شود دستخوش جوشش و تبخیر شود.

همانطور که شکل شماره ۳-۱۰ نشان می دهد آب نمک غلیظ هر واحد پایین دست روی لوله های مبادله حرارت بالادست پاشیده شده و بخار آب تولید می شود و بخار درون لوله ها هم تقطیر می شوند. از حدود سال های ۱۳۸۵ در ساخت پوسته کندانسورها از مصالح غیرفلزی استفاده می شود که نسبت به خوردگی مقاومت تر هستند.

شکل شماره ۳-۱۰- دیاگرام تقطیر چند مرحله ای



تاسیسات تخلیه بخارهای تقطیر نشدنی هم در دیاگرام دیده می شود.

جدول شماره ۳-۷ ویژگی های تقطیر چند مرحله ای برای دو دمای ۷۱/۷ و ۱۱۰ درجه سلسیوس را نشان می دهد.

چون در دمای کمتر مشکلات خوردگی کمتر است، در نتیجه از مصالح ارزان تر برای ساخت می توان استفاده نمود. رابطه بین دمای آب و غلظت ترکیب هایی مانند سولفات کلسیم از نظر ترسیب به صورت منحنی هایی تهیه شده است که در کتب تخصصی می توان از آنها استفاده نمود و باید در دستور بهره برداری و نگهداری تهیه شده توسط سازنده هم وجود داشته باشد.

قطر همه لوله های مبادله حرارت ۲ اینچ معادل ۵۰/۸ میلیمتر است. در سال ۱۹۶۸ اولین مدل لوله های عمودی در امریکا ساخته و به ثبت رسید و مدل توسعه یافته به صورت لوله های افقی، تا سال ۲۰۰۶ به تعداد ۳۰۰ واحد ساخته و مورد استفاده قرار گرفته است. مدل لوله های



عمودی جمعی که به صورت آزمایشی مورد بهره برداری قرار گرفته است دارای امتیازات قابل ملاحظه ای است. ظرفیت حداکثر هر واحد با لوله های افقی ۷۵۷۰۰ و مدل های با لوله های عمودی ۳۷۸۰۰ مترمکعب آب تولیدی در روز می باشد. از محدودیت های استفاده از این صنعت سرمایه گذاری اولیه بالا و مصرف انرژی حرارتی زیاد است.

از محدودیت های دیگر خوردگی تاسیسات فلزی است که شاید به همین علت صنعت تبخیر ناگهانی رشد و توسعه یافته است. باید توجه داشت که آب تولیدی تقریباً گرم است و نیاز به تاسیسات خنک کننده دارد. به علاوه آب تولیدی خورنده است و لازم است به کمک ترکیباتی اصلاح شود. از مزایای این صنعت آن است که آب خام نیاز به عملیات مفصل پیش تصفیه ندارد و صنعتی است که عملکرد آن قابل اعتماد می باشد.



چند مرحله ای است. جهت جریان آب خام جاری در لوله ها برعکس جهت حرکت آب شور گرم شده است.

بدین ترتیب که آب خام طبق شکل پیش گفته ابتدا از مرحله سوم و سپس دوم و بالاخره اول و از طریق لوله های مبادله حرارت عبور می کند تا به گرم کننده اصلی برسد. در گرم کننده اصلی آب به دمای لازم مورد نظر تاسیسات رسیده و وارد اولین محفظه شده و تبخیر ناگهانی رخ می دهد. اگر دمای حداکثر $90/6$ درجه سلسیوس انتخاب شود که به واحد اول هدایت گردد با تبخیر ناگهانی، دمای آب باقیمانده کاهش پیدا می نماید. بدین ترتیب که با دمای کمتر و فشار کمتر فرایند تبخیر و سپس تقطیر و تولید آب ادامه پیدا می نماید. بنابراین دمای آب در محفظه دوم $78/1$ درجه سلسیوس است که نشان می دهد که دمای آب $12/5$ درجه کاهش پیدا نموده است. ترتیب استقرار لوله های حاوی آب خام به نام مبادله کننده های حرارت به دو صورت موازی و عمودی می باشد و همچنین جریان آب هم به صورت یکبار گردش و گردش دوباره قابل تنظیم است.

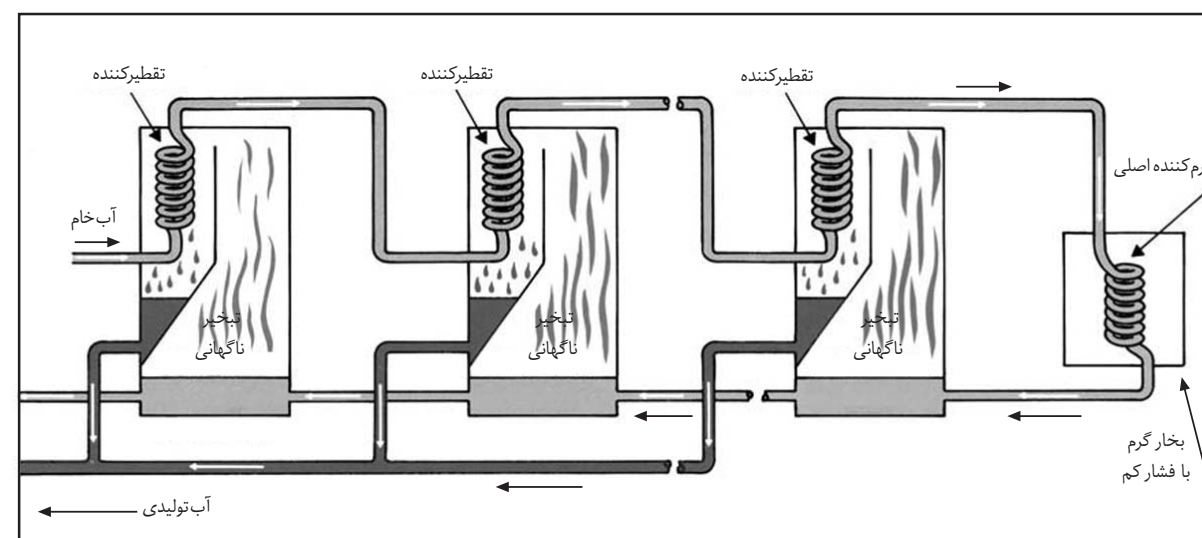
۳-۴-۲- تبخیر ناگهانی چند مرحله ای^۱

یکی دیگر از صنایع نمک زدایی به کمک حرارت، صنعت تبخیر ناگهانی چند مرحله ای است. در این صنعت هم آب شور پس از پمپاژ وارد لوله هایی می شود که به ترتیب از مرحله آخر به مرحله اول جریان یافته و با دریافت حرارت بخار تولید شده هر مرحله، گرم تر می شود تا به کندانسور و یا گرم کننده اصلی می رسد. در خروج از این واحد، دمای آب به یک حداکثر مورد طراحی تاسیسات برای مثال 110 و یا $90/6$ درجه سلسیوس می رسد که به محفظه اول هدایت شده و تبخیر ناگهانی انجام می گیرد.

بخار تولید شده طبق شکل شماره ۳-۱۱ در همان محفظه، حرارت خود را از طریق لوله حاوی آب دریا از دست داده و تقطیر می شود. آب شور هم با کاهش دما وارد محفظه پایین دست شده و فرایند تکرار می شود.

بنابراین تولید بخار و تبدیل آن به آب در همان محفظه و در دو بخش جدا انجام می گیرد و لذا باز یافت حرارت آن بهتر از نوع تقطیر

شکل شماره ۳-۱۱- دیاگرام تبخیر ناگهانی چند مرحله ای



1. Multi Stage Flash(MSF)

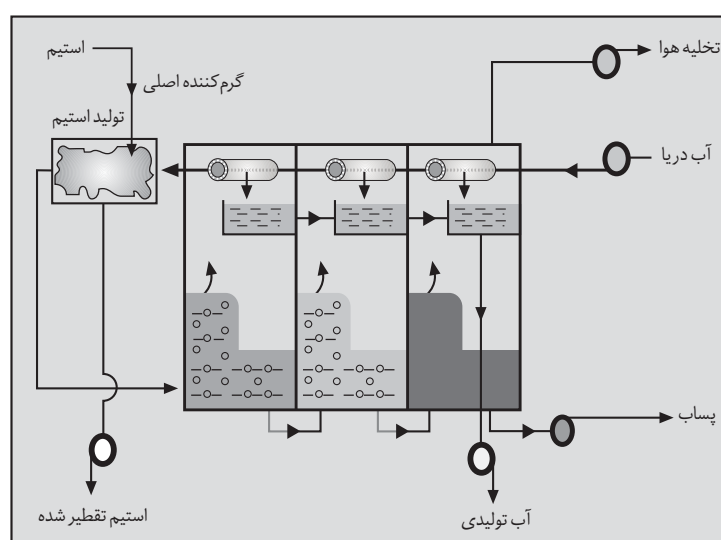


در صنعت لوله های موازی لوله ها به موازات جهت جریان آب خام و در نوع دوم لوله ها به صورت عمود نسبت به جهت جریان آب قرار می گیرند. نحوه استفاده و فرایند کار در هر دو صنعت یکسان است اما در مورد یکبار گردش و گردش دوباره توضیحاتی داده می شود.

تبخیر ناگهانی با یکبار گردش

همانطور که در شکل شماره ۳-۱۲ می توان مشاهده نمود آب خام دریا پس از عبور از محفظه های باز یافت انرژی حرارتی و پس از عبور از گرم کننده اصلی وارد اولین محفظه تبخیر ناگهانی شده و پس از عبور از آخرین محفظه به عنوان پساب به محیط مناسب که در بیشتر شرایط دریاست تخلیه می شود. نقطه ضعف این صنعت در آن است که تمام آب خام قبل از هدایت به واحدهای تبخیر - تقطیر باید پیش تصفیه شود تا فرایندهای خوردگی و ترسیب رخ ندهد. به علاوه به خاطر استفاده از واحدهای زدایش اکسیژن و دی اکسید کربن نیاز به دو مرحله پمپاژ است. ظرفیت این واحدها بزرگ تر از صنعت گردش دوباره است. در این صنعت می توان دمای آب را بیشتر و فشار محفظه را کمتر نمود زیرا نگرانی ترسیب خیلی کمتر است.

شکل شماره ۳-۱۲- دیاگرام تبخیر ناگهانی - یکبار گردش آب



تبخیر ناگهانی با باز چرخانی پساب

برای رفع محدودیت های فناوری یکبار گردش آب شامل هزینه های پمپاژ، تصفیه شیمیایی حجم زیادی از آب و کاهش ظرفیت واحدهای زدایش اکسیژن و دی اکسید کربن صنعت گردش دوباره توسعه یافت که در شکل شماره ۳-۱۳ نشان داده شده است. در بخش تبخیر دو فرایند مجزا از هم رخ می دهد. بخش دفع انرژی گرمایی و بخش باز یافت انرژی گرمایی.

بخش دفع گرما برای جذب انرژی حرارتی در نظر گرفته شده و در بخش باز یافت هم آب با گردش دوباره دمای بیشتر پیدا می نماید. بدین ترتیب که آب خام از بخش دفع حرارت عبور کرده و گرم می شود و پس از آن به جریان اصلی آب هدایت می شود و سهم کمی از آن به عنوان آب جبرانی گرفته می شود. این بخش از آب پس از اصلاح از واحدهای زدایش اکسیژن و دی اکسید کربن عبور کرده و سپس به بخش دفع انرژی گرمایی آخرین محفظه هدایت می گردد. در محفظه آخر بخشی از آب گردش دوباره برای آب جبرانی مورد استفاده قرار می گیرد. ویژگی های تبخیر ناگهانی در جدول شماره ۳-۸ نشان داده شده است.

دمای آب خام بسته به شرایط محیط در محدوده ۵-۳۵ درجه

سلسیوس است و دمای پسابی که تخلیه می شود

تقریباً کمی کمتر از دمای آب خام ورودی به

تاسیسات خواهد بود. لازم به یادآوری است که

انرژی حرارتی که در ابتدا به صورت بخار تحت

فشار به واحد گرم کننده فرستاده می شود عبارت

است از 290 کیلوژول برای هر کیلوگرم آب تولیدی

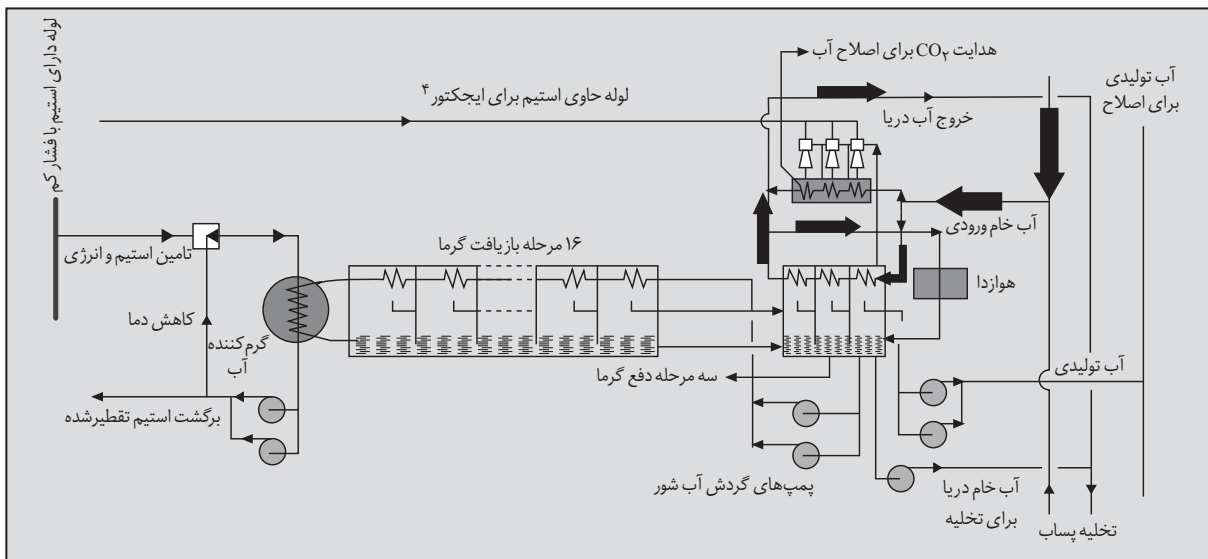
یا معادل $80/6$ کیلووات ساعت برای هر مترمکعب

آب تولیدی.

جنس مصالح مورد استفاده برای ساخت



شکل شماره ۳-۱۳- دیاگرام تبخیر ناگهانی با گردش دوباره



جدول شماره ۳-۸- ویژگی های یک نمونه از تبخیر ناگهانی چند مرحله ای

ویژگی	یکبار گردش	گردش دوباره
حداکثر دما (سلسیوس)	۹۰/۶	۱۱۰
تعداد واحدهای تبخیر - تقطیر	≈۲۰	≈۲۰
درصد باز یافت	۱۵-۱۰	۲۰-۱۰
تناسب عملکرد (کیلوگرم در مگاژول)	۴/۳-۳/۴۴	۵/۱۷-۳/۴۴
ضریب انتقال حرارت (وات در مترمربع کلون)	۳/۴۰۷-۲/۲۷۱	۳/۴۰۷-۲/۲۷۱
املاح پساب (میلی گرم در لیتر)	۵۸،۰۰۰	۶۲،۵۰۰
مصرف انرژی (مگاژول در لیتر):		
• بخار آب با فشار زیاد	-	۰/۲۹-۰/۲
• بخار آب با فشار کم	۰/۲۹-۰/۲۴	-
• الکتریسیته*	۰/۲۶	۰/۲۶
املاح آب تولیدی (میلی گرم در لیتر)	۲۵-۰/۵	۲۵-۰/۵
پیش تصفیه لازم افزایش بازدارنده ترسیب	پلی فسفات	اسید۱۴۰ یا پلیمر۵-۱۰≈
میزان مصرف (میلی گرم در لیتر)	-	پلیمر۵-۱۰≈

* . در حدود ۳-۴ کیلووات ساعت برای هر مترمکعب آب تولیدی یا مجموع املاح محلول ۲۰≈ میلی گرم در لیتر



برای ساخت دیواره ها و بخش های دیگر محفظه استفاده نمود و نیازی به پوشش آن نیست. انتخاب جنس مصالح و رابطه آن با وزن دستگاه نیاز به توجه دارد و استفاده از فولاد ضد زنگ بیشتر کاربرد پیدا نموده است. از طرف دیگر اگر معیارهای طراحی کمتر انتخاب شود و در نتیجه واحدها کوچکتر شوند لازم است هزینه انجام پوشش را به طرح تحمیل نمود. البته در ۳-۶ محفظه ابتدای تاسیسات به دلیل دمای بالای آب که حدود ۱۱۰ درجه سلسیوس است، انجام پوشش اجتناب ناپذیر است و در نتیجه می توان سرعت بیشتر آب را در طراحی در نظر گرفت. برای تعریف و تعیین ویژگی های فنی مصالح مورد استفاده لازم است به کتب تخصصی مراجعه نمود، اما وضعیت این صنعت در جهان را می توان چنین بیان نمود که نوع با یکبار گردش آب صنعتی است که مقبول واقع گردیده و در بین سال های ۱۹۷۰ تا ۲۰۰۰ واحدهای زیادی از آن ساخته و فروخته شده است و هم اکنون در کشور ما هم مورد استفاده است. در جدول شماره ۳-۹ میزان مصرف انواع انرژی در تکنولوژی های نمک زدایی نشان داده شده است.

جدول شماره ۳-۹- میزان مصرف انرژی الکتریکی و گرمایی در تکنولوژی های نمک زدایی

پارامتر	واحد	تبخیر ناگهانی چند مرحله ای	تقطیر چند مرحله ای	اسمز معکوس
فشار بخار	بار	۳-۲/۵	۰/۵-۰/۳	-
میزان انرژی گرمایی	مگاژول در مترمکعب	۲۵۸-۲۳۳	۲۵۸-۲۳۳	-
میزان انرژی الکتریکی	کیلو وات ساعت در مترمکعب	۵-۳	۲/۵-۱/۵	۵-۳

ترسیب و خوردگی

چون در نوع یکبار جریان، دمای آب نسبت به نوع دارای بازچرخانی

پایین تر می باشد مشکل ترسیب به مراتب کمتر است. با توجه به غلظت سولفات کلسیم آب خام و دمای آب در محفظه ها، منحنی های ترسیب تدوین گردیده و نرم افزارهایی هم وجود دارد که میزان تزریق اسید و یا پلیمر را تعریف و مشخص می کنند. به علاوه خوردگی و سایش هم در تبخیر ناگهانی باید مورد مطالعه قرار گیرد. کشورهای عربستان سعودی، کویت و امارات متحده عربی برای تولید آب مورد نیاز خود با استفاده از آب خلیج فارس از صنعت تبخیر ناگهانی در ظرفیت های بالا استفاده می نمایند. محدودیت های این صنعت عبارت است از:

- سرمایه گذاری بیشتر نسبت به صنعت تقطیر چند مرحله ای؛
- درصد باز یافت کم؛
- ضرورت اصلاح آب تولیدی؛
- ضرورت عملیات پیش تصفیه مانند زدایش گازها.

اما امتیازات آن خیلی بیشتر است. چنانچه برای تولید آب در ظرفیت های زیاد، صنعتی مناسب بوده و سابقه استفاده از آن طولانی و بنابراین فناوری قابل اعتمادی است.

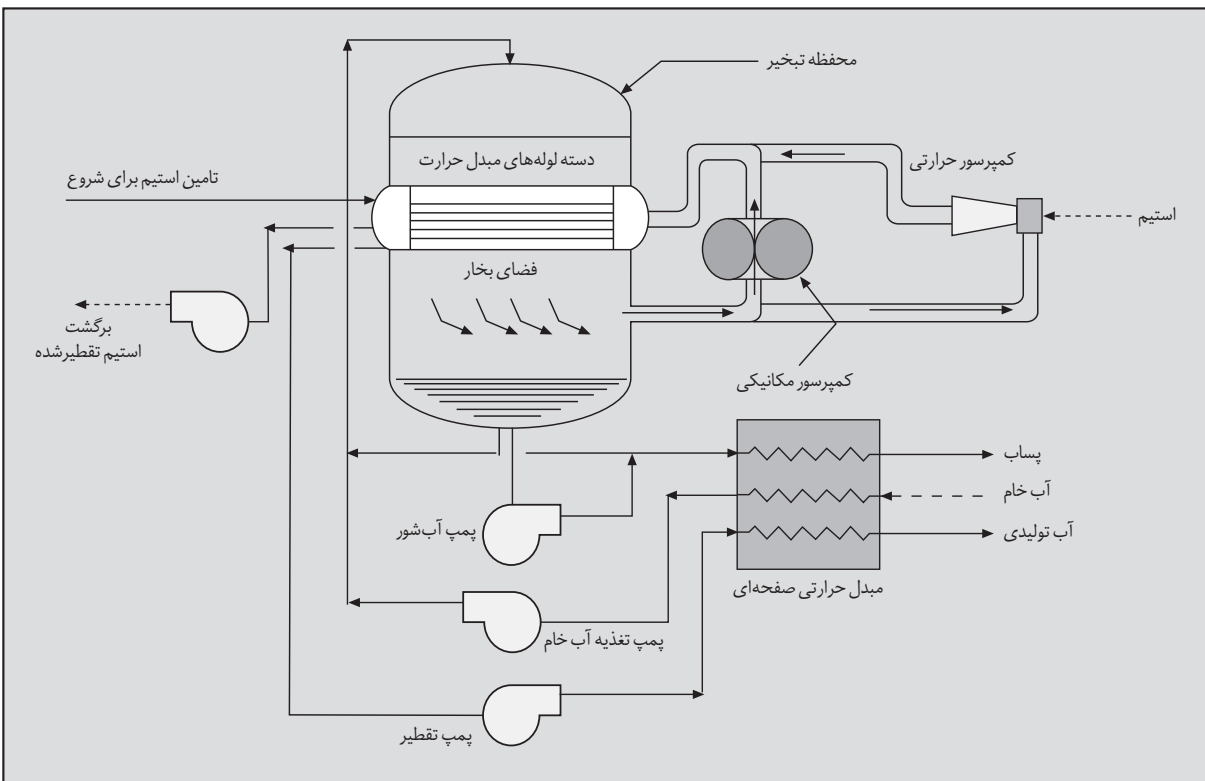
۳-۴-۳- تراکم بخار آب^۱

واحدهای این صنعت برای تولید آب در مقادیر حدود حداکثر ۲۰ هزار مترمکعب در روز ساخته می شود. تناسب باز یافت آن نسبت به سایر روش های گرمایی بیشتر است. چنانکه در نمک زدایی از آب دریا به ۵۰ درصد هم می رسد. به علاوه عملکرد فرایندی آن هم تا مرز ۷/۷ کیلوگرم در مگا ژول امکان پذیر است. این رقم حدود ۵۰ درصد بیشتر از تبخیر ناگهانی و تقطیر چند مرحله ای است. در شکل شماره ۳-۱۴ دیاگرام کلی آن نشان داده شده است.

آب خام ابتدا به واحد گرم کننده فرستاده می شود که در آن با بخشی از آب در گردش مخلوط می شود. تناسب این اختلاط بستگی به محاسبات طراحی دارد. حال این آب روی لوله های مبدل حرارت



شکل شماره ۳-۱۴- دیاگرام تاسیسات اصلی تراکم بخار



پاشیده شده و در نتیجه تبخیر می شود. لوله های مبدل حرارت می تواند افقی و یا عمودی نصب شده باشد که بستگی به نوع صنعت دارد. بخار آب تولید شده در بخش دیگری توسط کمپرسور دستگاه فشرده شده و دمای آن بالا می رود و حرارت خود را از طریق سطوح لوله های حامل به آب خام که روی آن پاشیده می شود منتقل می نماید. انجام تراکم بخار می تواند توسط کمپرسور مکانیکی و یا استیم انجام گیرد. آب نمک غلیظ هم توسط پمپ از محفظه تخلیه می شود. یادآوری گردید که بخشی از این آب با آب خام ورودی به نام گردش دوباره مخلوط می شود. از نقطه نظر دمای آب، تاسیسات برای دمای آب ۴۶/۱ تا ۱۰۸/۷ درجه سلسیوس ساخته می شود و به صورت یک مجموعه قابل تهیه است.



جدول شماره ۳-۱۰- ویژگی های تاسیسات تراکم بخار

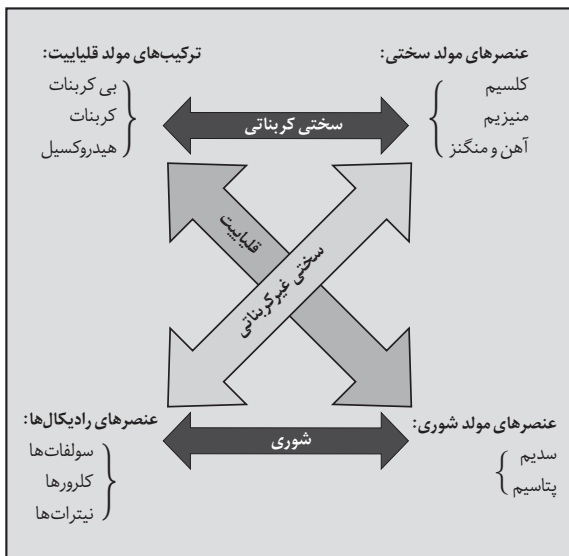
ویژگی	دمای کم با تراکم مکانیکی	دمای زیاد با تراکم مکانیکی	دمای کم با تراکم بخار
حداکثر دمای آب بهره برداری (درجه سلسیوس)	۴۶/۱	۱۰۱/۷	۴۶/۱
باز یافت (درصد)	۴۰	۴۰	۴۰
تناسب عملکرد (کیلوگرم در مگاژول)	۵/۱۷-۳/۴۴	-	-
ضریب انتقال حرارت (وات در مترمربع کلوین)	۲/۲۷-۱/۷	-	-
املاح پساب (میلی گرم در لیتر)	۵۸،۰۰۰	۵۸،۰۰۰	۵۸،۰۰۰
مصرف انرژی (مگاژول در مترمکعب)	-	-	-
• بخار یا فشار بالا	۰/۰۲۵۲-۰/۰۱۷۲	-	۰/۰۲۳۸-۰/۰۱۵۹
• مصرف برق	۰/۰۲۵۲-۰/۰۱۷۲	۰/۰۲۵۲-۰/۰۱۷۲	۰/۰۰۱۳۲
املاح محلول آب تولیدی (میلی گرم در لیتر)	کمتر از ۲۵	کمتر از ۱۰	کمتر از ۲۵
پیش تصفیه لازم	پلی فسفات	اسید یا پلی فسفات	پلی فسفات
• باز دارنده ترسیب	۰/۵	۱۰-۴	۰/۵
• (میلی گرم در لیتر)			

جدول شماره ۳-۱۱- مواد و مصالح ساخت تاسیسات تراکم بخار

بخش های تاسیسات	دمای کم	دمای بالا
بدنه محفظه تبخیر	کربن استیل با پوشش اپوکسی	کربن استیل با پوشش فولادی ضدزنگ مناسب
لوله های مبدل حرارت آب خام	آلومینیوم	تیتانیوم
لوله های ارتباطی	غیرفلزی	فولاد ضدزنگ مناسب
صفحات تبادل حرارت تولید بخار	آلومینیوم	کربن استیل با پوشش تیتانیوم
گرم کننده آب خام	تیتانیوم	تیتانیوم
پمپ ها	برنز	فولاد ۳۱۶
رطوبت گیر و خشک کننده	فولاد ۳۱۶	فولاد ۳۱۶



شکل شماره ۳-۱۵- دیاگرام سختی- قلیاییت- شوری در آب



و رادیکال‌ها در آب خواصی ایجاد می‌شود که عبارت است از قلیاییت همراه با سختی، قلیاییت بدون سختی، شوری بدون سختی و سختی کربناتی و غیرکربناتی.

۳-۵-۱- قلیاییت و سختی

قبل از بحث سختی‌گیری لازم است در مورد قلیاییت و اسیدپته آب مقدمه‌ای آورده شود. قلیاییت آب با اندازه‌گیری مقدار اسید لازم جهت خنثی نمودن قلیاییت آن شامل هیدروکسید، کربنات و بی‌کربنات اندازه‌گیری می‌شود. معرف مورد مصرف فنل فتالین و متیل اورانژ است. تیتراسیون با متیل اورانژ قلیاییت متیل اورانژ آب را بیان می‌کند که قلیاییت کل آب است. تیتراسیون با فنل فتالین، قلیاییت فنل فتالین را نشان می‌دهد و به طور اجمال روابط زیر را می‌توان بیان نمود:

- اگر قلیاییت فنل فتالین در آب نباشد نشان می‌دهد که قلیاییت از نوع بی‌کربنات‌هاست.

ساخت می‌گیرند. این تاسیسات برای نقاط دور از اجتماعات مانند پادگان‌های نظامی در مرزها و جزایر دور افتاده کاربرد فراوان دارد و استفاده از این نوع تاسیسات در ایران برای موارد پیش‌گفته سابقه‌ای طولانی دارد.

۳-۵-۲- سختی‌گیری از آب

همانطور که جدول شماره ۳ استاندارد شماره ۱۰۵۳ نشان می‌دهد میزان حداکثر مجاز سختی کل بر حسب کربنات کلسیم ۵۰۰ و حداکثر مطلوب آن ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر است. وجود کلسیم و منیزیم محلول در آب باعث می‌شود که در آب مورد استفاده برای شستشوی لباس و ظروف کف با سختی تولید شود و شاید به همین جهت کلمه آب سخت^۱ به این آب‌ها گفته می‌شود. تاکنون ثابت نشده است که وجود این دو کاتیون در آب شرب مشکل بهداشتی ایجاد می‌نماید اما مصرف صابون را افزایش داده و همچنین امکان ترسیب آنها به خصوص در تاسیسات آب گرم وجود دارد، لذا استاندارد از منظر اقتصادی به مسئله نگاه می‌نماید.

اگر کلسیم و منیزیم در آب با آنیون‌های کربنات، بی‌کربنات و هیدروکسید^۲ اتصال داشته باشد سختی را سختی کربناتی و ناپایدار می‌نامند. زیرا با تخلیه گاز دی‌اکسید کربن دوکاتیون رسوب می‌نمایند و اگر با آنیون‌های سولفات، کلرور و نیترات متصل باشند آن را سختی غیر کربناتی یا پایدار گویند. از طرف دیگر آنیون‌های بی‌کربنات، کربنات و هیدروکسید عوامل مولد قلیاییت هم هستند. لذا سختی می‌تواند با قلیاییت همراه باشد و قلیاییت می‌تواند با سدیم و پتاسیم که عناصر مولد شوری هستند اتصال داشته باشد.

با توجه به شکل شماره ۳-۱۵ بحث قلیاییت، سختی و شوری را می‌توان چنین عنوان نمود که نحوه اتصال کاتیون‌های کلسیم، منیزیم، سدیم و پتاسیم با بنیان‌های کربنات، بی‌کربنات، هیدروکسید



- در صورتیکه قلیاییت فنل فتالین در آب باشد و اگر دو برابر میزان آن کمتر و یا مساوی قلیاییت متیل اورانژ باشد در این صورت قلیاییت به علت حضور کربنات‌ها است.

- اگر قلیاییت فنل فتالین در دو ضرب شود و حاصل آن بیشتر از قلیاییت متیل اورانژ باشد اختلاف آن قلیاییت هیدروکسید است. برای مثال اگر پی‌اچ آبی بیشتر از ۱۰ باشد این آب دارای عامل هیدروکسید است و اگر پی‌اچ آب بیشتر از ۸/۳ باشد معرف آن است که عامل کربنات در آن وجود دارد. می‌توان به کمک عملیات آزمایشگاهی چون تیتراسیون و معرف‌ها هر پنج نوع قلیاییت آب را تعیین نمود که در طرح فرایندهای تصفیه آب مورد نیاز است. پنج نوع قلیاییت عبارتند از:

- قلیاییت ناشی از هیدروکسیدها؛
- قلیاییت ناشی از هیدروکسیدها و کربنات‌ها؛
- قلیاییت ناشی از کربنات‌ها؛
- قلیاییت ناشی از کربنات‌ها و بی‌کربنات‌ها؛
- قلیاییت ناشی از بی‌کربنات‌ها.

با رسم نمودار میله‌ای کاتیون‌ها و آنیون‌ها وضعیت آب از نظر میزان دی‌اکسید کربن هم تعیین می‌شود. همچنین با بررسی نتایج تیتراسیون می‌توان ویژگی‌های آب را به شرح زیر بیان نمود:

- اگر قلیاییت متیل اورانژ مساوی و یا بیشتر از سختی کل گردد، تمام سختی آب به صورت سختی کربناتی است؛
- اگر قلیاییت متیل اورانژ کمتر از سختی کل باشد سختی کربناتی مساوی قلیاییت است؛
- سختی غیر کربناتی در شرایط بند بالا عبارت است از سختی کل منهای قلیاییت متیل اورانژ؛
- اگر قلیاییت متیل اورانژ بیشتر از سختی کل گردد، قلیاییت مازاد قلیاییت متصل به سدیم است.

به هر حال با مصرف اسید و معرف‌های فنل فتالین و متیل اورانژ می‌توان انواع قلیاییت‌ها را تعیین نمود و با اندازه‌گیری کاتیون‌های

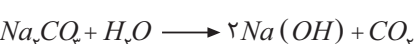
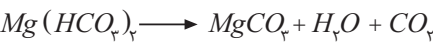
آب، کیفیت آب را تعریف نمود و چون عملیات در آزمایشگاه انجام می‌گیرد بیشتر در مورد آن سخن گفته نمی‌شود.

رسوب کربنات کلسیم

چون حلالیت کربنات کلسیم کمتر از کربنات منیزیم بوده و هر دو دارای حلالیت کمتری نسبت به سدیم می‌باشند، لذا زمانی که آب گرم می‌شود اول کربنات کلسیم ترسیب می‌شود و سپس کربنات منیزیم رسوب می‌نماید. اما کربنات سدیم ترسیب نمی‌شود مگر آنکه با تبخیر آب غلظت کربنات سدیم از حد اشباع آن بگذرد. در آب با دمای یکصد درجه سلسیوس که حالت جوشش دارد، درجه حلالیت سه ترکیب بالا به قرار زیر است:

- کربنات کلسیم معادل ۱۳ میلی‌گرم در لیتر
- کربنات منیزیم معادل ۷۵ میلی‌گرم در لیتر
- کربنات سدیم معادل ۲۸۹ هزار میلی‌گرم در لیتر

با افزایش دمای آب دارای بی‌کربنات کلسیم و منیزیم، گاز دی‌اکسیدکربن از آب خارج می‌شود و در نتیجه بی‌کربنات‌ها تبدیل به کربنات می‌شوند و با توجه به حداکثر غلظت اشباع آنها مازاد آن ترسیب می‌شود که روی سطوح مانند لوله‌های آب گرم کن، دیگ بخار و غیره تولید یک لایه رسوب می‌نماید که در صنایع مشکلاتی به همراه دارد. معادلات کلی شیمیایی تولید رسوب عبارت است از:



در عمل کربنات منیزیم با آب تشکیل هیدروکسید منیزیم را داده و ترسیب می‌شود. بدین ترتیب که دی‌اکسیدکربن تولید شده همراه با بخار از سیستم خارج می‌شود. در دمای بیشتر واکنش‌های دیگری

۲. رادیکال یک ظرفیتی OH را هیدروکسید نامند که با همراهی رادیکال‌های دیگر هیدروکسیدها را تشکیل می‌دهند.

1. Hard



بروز می‌نماید که در صنایع کاربرد دارد و از محدوده بحث آب شرب خارج است.

رسوب سولفات کلسیم

از بین ترکیب‌های کلسیم و منیزیم غیر کربناتی تنها سولفات کلسیم است که تولید رسوب می‌نماید و بقیه آنها دارای حلالیت بسیار زیادی هستند. این ترکیب در فرایندهای نمک‌زدایی و دیگ‌های بخار مشکل‌آفرین است. در صنعت نمک‌زدایی حرارتی در شرایطی رسوب نموده و به نام گچ شناخته می‌شود. رسوب ایجاد شده دارای ظرفیت تبادل حرارتی بسیار کمتر نسبت به بدنه فولادی دیگ بخار و لوله‌های مبادله حرارت می‌باشد و لذا به خاطر مصرف انرژی حرارتی بیشتر عملکرد تاسیسات کاهش و در نتیجه هزینه تصفیه آب افزایش می‌یابد. در صنعت نمک‌زدایی به روش تبخیری زدایش گاز دی‌اکسیدکربن و اکسیژن از فرایندهای پیش تصفیه است و به علاوه باید با کاربرد ترکیب‌های بازدارنده ترسیب، مانع بروز مشکلات پیش‌گفته شد که قبلاً مورد بحث قرار گرفت.

نمک‌های سدیم

سدیم به صورت نمک‌های سولفات، کلرور، نیتрат و بی‌کربنات در آب‌ها حضور دارد و دارای حلالیت بسیار زیاد در آب است. در صنعت نمک‌زدایی افزایش غلظت آن در آب می‌تواند مشکل‌آفرین شده و لذا امکانات تخلیه بخشی از آن و گرفتن آب جدید با نام آب جبرانی، می‌تواند مشکل را تحت کنترل در آورد. در واقع یکی از هدف‌های نمک‌زدایی و تولید آب متعارف زدایش سدیم از آب است که در بخش نمک‌زدایی مورد بحث قرار گرفت.

۳-۵-۲- روش‌های زدایش کلسیم و منیزیم از آب

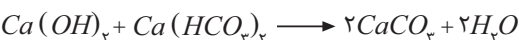
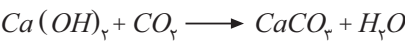
زدایش کلسیم و منیزیم از آب با فرایندهای زیر انجام می‌گیرد و انتخاب روش مناسب بستگی به کیفیت آب مورد نیاز و نوع مصرف دارد.

- سختی‌گیری با آهک و سود
- سختی‌گیری با روش‌های تبادل یون
- سختی‌گیری با روش نانو فیلتر
- سختی‌گیری با روش الکترودیالیز

بحث الکترودیالیز قبلاً مورد توجه قرار گرفت و به نانو فیلتر در فصل هفتم پرداخته می‌شود بنابراین روش‌های اول و دوم در این فصل مورد گفتگو قرار می‌گیرد.

الف) سختی‌گیری با آهک و سود

براساس شکل شماره ۳-۱۵ می‌توان مشاهده نمود که کلسیم و منیزیم اگر با ترکیب‌های مولد قلیابیت همراه باشد سختی و قلیابیت در آب مشاهده می‌شود و اگر به صورت کلرور و سولفات و نیترات باشد سختی بدون قلیابیت در آب حضور دارد. وقتی آهک هیدراته که به نام هیدروکسید کلسیم هم نامیده می‌شود به آب اضافه شود واکنش‌های زیر رخ می‌دهد:



لذا با کاربرد هیدروکسید کلسیم و یا آب آهک، کلسیم به صورت کربنات و منیزیم به صورت هیدروکسید منیزیم ترسیب می‌شود و دی‌اکسیدکربن هم بخشی از آب آهک را مصرف کرده و به صورت کربنات کلسیم ترسیب می‌شود. لذا لازم است مقدار دی‌اکسیدکربن موجود در آب تعیین شود. در صورتیکه غلظت دی‌اکسیدکربن زیاد باشد باید گزینه استفاده از فرایندهای هوادهی در مقابل روش شیمیایی مورد مطالعه و مقایسه اقتصادی قرار گیرد. اما سولفات کلسیم تولید



شده که هنوز خاصیت سختی به آب می‌دهد به نام سختی غیر کربناتی است لذا با کاربرد کربنات سدیم طبق معادله زیر از آب زدایش می‌شود.



معادلات سختی‌گیری با آهک و سود که قبلاً یادآوری گردید نشان می‌دهد که برای زدایش هر مولکول قلیابیت کلسیم و یا سختی کربناتی یک مولکول آب آهک لازم است و برای زدایش هر مولکول قلیابیت منیزیم دو مولکول آب آهک لازم است. مولکول اول برای تبدیل آن به کربنات منیزیم و مولکول دوم برای تبدیل کربنات به هیدروکسید منیزیم نامحلول در آب می‌باشد. لازم به یادآوری است که حلالیت بی‌کربنات کلسیم و کربنات کلسیم در آب صفر درجه به ترتیب عبارت است از ۱۶۲۰ و ۱۵ میلی‌گرم در لیتر و مجموع سختی ناشی از کربنات کلسیم و هیدروکسید منیزیم در آب با دمای حدود ۲۰ درجه سلسیوس در حدود ۲۰ میلی‌گرم در لیتر است که از محدودیت این روش سختی‌گیری است. بنابراین با توجه به حدود مطلوب و مجاز به ترتیب ۲۰۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر، طرح زدایش کاتیون‌های مولد سختی باید تهیه شود.

ترکیب‌های مورد استفاده در سختی‌گیری عبارتند از:

- ♦ **آهک (CaO)**: که از ترکیب‌های دیگر ارزان‌تر است گرچه برای انبار کردن آن توجهاتی لازم دارد. با آب ترکیب آب آهک با معادله $Ca(OH)_2$ را می‌دهد و درجه خلوص آن در حدود ۹۰ درصد است.
- ♦ **آهک هیدراته**: یا آب آهک که آن را باید در ظروف غیر فلزی تهیه و ذخیره نمود و درجه خلوص آن حدود ۹۳ درصد است.
- ♦ **آهک دولومیت**: این ترکیب مخلوط آب آهک و اکسید منیزیم (MgO) می‌باشد که در فرایند زدایش سیلیس کاربرد بیشتری دارد.

- ♦ **کربنات سدیم**: این ترکیب با معادله Na_2CO_3 دارای خلوص ۹۹/۲ و با ترکیب Na_2O با خلوص ۵۸ درصد، در سختی‌گیری مورد استفاده است.

برای روشن‌تر شدن مطالب پیش‌گفته چند مثال آورده می‌شود.

مثال شماره ۳-۱:

برای طرح سختی‌گیری آب لازم است به دفعات از آب نمونه‌برداری شده و ویژگی‌های آن تعیین گردد. حال با فرض اعداد زیر محاسبات انجام می‌گیرد:

- غلظت دی‌اکسیدکربن بر حسب کربنات کلسیم ۲۰ میلی‌گرم در لیتر؛
- قلیابیت بر حسب کربنات کلسیم ۱۹۰ میلی‌گرم در لیتر؛
- سختی کل بر حسب کربنات کلسیم ۲۱۰ میلی‌گرم در لیتر؛
- کلسیم بر حسب کربنات کلسیم ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر؛
- سدیم بر حسب کربنات کلسیم ۵۰ میلی‌گرم در لیتر؛
- سولفات بر حسب کربنات کلسیم ۵۰ میلی‌گرم در لیتر؛
- کلرور بر حسب کربنات کلسیم ۲۰ میلی‌گرم در لیتر.

دمای آب ۲۰ درجه سلسیوس و در نتیجه حلالیت کربنات کلسیم حدود ۱۵ میلی‌گرم در لیتر خواهد بود. حال برای اطمینان از صحت ارقام پیش‌گفته نمودار شماره م-۱ تهیه می‌شود. در صفحات بعد روش تبدیل عنصرها و ویژگی‌های مختلف آب بر حسب کربنات کلسیم همراه با جدول مربوط ارائه شده است.

از نمودار می‌توان دریافت که مجموع کاتیون‌ها و آنیون‌ها بر حسب کربنات کلسیم برابر هستند و نتایج آزمایش شیمیایی قابل اعتماد و برای ادامه محاسبات مناسب می‌باشند. زیرا اگر ستون کاتیون‌ها و آنیون‌ها با هم دارای اختلاف بیشتر از حدود ۵ درصد باشند به میزان غلظت ترکیب‌ها نمی‌توان اعتماد نمود.

به هر حال سختی ناشی از وجود منیزیم برابر است با:

$$(برحسب CaCO_3) \quad mg/l = 200 - 210$$

سختی غیر کربناتی عبارت است از:

$$(برحسب CaCO_3) \quad mg/l = 20 - 190 - 210$$

که به صورت سولفات کلسیم و منیزیم می‌باشد.

- آهک برای خنثی نمودن دی اکسیدکربن معادل ۲۰ میلی گرم در لیتر
- آهک برای خنثی نمودن قلیابیت معادل ۱۹۰ میلی گرم در لیتر

توجه شود که در این آب کلسیم بیشتر از قلیابیت است. لذا معادل قلیابیت، آب آهک به آب اضافه گردیده است و اگر کلسیم کمتر باشد باید به اندازه کلسیم، آب آهک مصرف شود. افزودن هیدروکسید کلسیم و یا آب آهک در واحد اختلاط سریع باید انجام گردد و پس از آن واحد تولید ذره و ته نشینی پیش بینی می شود تا کربنات کلسیم ترسیب شود. بحث اختلاط سریع در فصل چهارم مورد توجه قرار گرفته است.

$$Ca(OH)_v + CO_v \longrightarrow CaCO_v + H_vO$$

که نشان از افزایش سختی می‌دهد. برای خنثی نمودن قلیابیت آب باید معادل ۱۹۰ میلی‌گرم در لیتر بر حسب کربنات کلسیم آب آهک به آب افزود.

در نتیجه تمام قلیائیت آب که به صورت بی‌کربنات کلسیم است به صورت کربنات کلسیم ترسیب می‌شود و میزان کاتیون‌ها و آنیون‌های محلول در آب به صورت نمودار شماره م-۲ در می‌آیند.

- ته نشین کننده با پتوی لجن^۱؛
- ته نشین کننده متعارف؛
- ته نشین کننده کاتالیزوری؛
- ته نشین کننده غیر مستمر^۲.

1. Sludge Blanket

2. Batch-Process



کربنات کلسیم مورد توصیه است. فصل ششم به فیلترهای تند می‌پردازد که شامل فیلترهای سختی‌گیری و یا زدایش آهن و منگنز اکسید شده هم می‌شود.

حال آب فرضی دیگری با سختی زیاد منیزیم و سختی غیر کربناتی مورد محاسبه قرار می‌گیرد. در مسئله قبل، از ۲۱۰ میلی‌گرم در لیتر سختی ۲۰۰ میلی‌گرم آن سختی کربناتی بود که با کاربرد آهک تنها معادل ۲۰ میلی‌گرم در لیتر آن در آب باقی‌ماند و ۱۵ میلی‌گرم در لیتر دی‌اکسیدکربن هم به کربنات کلسیم تبدیل گردید که با افزایش دوباره دی‌اکسیدکربن سختی کربناتی به بی‌کربنات تبدیل گردید و در نهایت مجموع سختی باقیمانده در این آب عبارت است از ۳۵ میلی‌گرم در لیتر که ۲۰ میلی‌گرم در لیتر غیر کربناتی و ۱۵ میلی‌گرم در لیتر کربناتی است.

➤ مثال شماره ۳-۲:

آبی با ویژگی‌های زیر باید سختی‌گیری شود. تمام ارقام بر حسب کربنات کلسیم است.

- غلظت دی‌اکسید کربن ۲۰ میلی‌گرم در لیتر
- غلظت قلیابیت ۱۹۰ میلی‌گرم در لیتر
- غلظت سختی کل ۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر
- غلظت کلسیم ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر
- غلظت منیزیم ۵۰ میلی‌گرم در لیتر
- غلظت سدیم ۵۰ میلی‌گرم در لیتر
- غلظت سولفات ۸۰ میلی‌گرم در لیتر
- غلظت کلرور ۳۰ میلی‌گرم در لیتر

ابتدا لازم است نمودار کاتیون‌ها و آنیون‌های آب ترسیم بشود تا هم صحت ارقام ثابت و هم راهکار سختی‌گیری تعریف شود. مانند مسئله شماره ۳-۱ ابتدا آهک برای خنثی کردن دی‌اکسیدکربن به کار می‌رود و در نتیجه سختی آب معادل حلالیت کربنات کلسیم در حدود ۱۵ میلی‌گرم در لیتر افزایش می‌یابد.

میلی گرم در لیتر بر حسب کربنات کلسیم ۲۴۵=۱۵+۲۵۰

به هر حال جهت تزریق دی‌اکسیدکربن و یا اسید سولفوریک به آب قبل از فیلتر ضرورت دارد تا فیلتر دچار انسداد ناشی از ترسیب کربنات کلسیم نگردد.

در نوع پتوی لجن اگر بهره‌برداری صحیح انجام گیرد کدورت آب خروجی از زلالساز کمتر از ۱۰ ان تی یو خواهد بود و در بسیاری از صنایع، آبی با این کیفیت نیازی به فیلتراسیون ندارد. صنعت پتوی لجن دارای تنوع زیادی می‌باشد که در فصل چهارم مورد بحث قرار گرفته است. مدت ته‌نشینی در زلالسازهای با پتوی لجن حدود یک ساعت و در انواع متعارف بیشتر از ۲ ساعت است. در تاسیسات متعارف برخلاف زلالساز با پتوی لجن، واحد تولید ذره جدا بوده و ته‌نشینی طبق نظریه استوک محاسبه می‌شود.

در مورد تاسیسات کاتالیزوری و غیر مستمر که کاربردش محدود به صنایع است گفتگو نمی‌شود. به هر حال در بعضی از شرایط افزایش آهک و ترسیب در یک مرحله و افزایش کربنات سدیم و دی‌اکسیدکربن و ته‌نشینی در مرحله دوم انجام می‌گیرد که با نام فرایندهای زدایش سختی یک مرحله‌ای و دو مرحله‌ای شناخته می‌شود.

در مواردی فرایند دو مرحله‌ای زدایش سختی به صورت دو بخشی انجام می‌گیرد. بدین ترتیب که ۱۰-۳۰ درصد از آب بدون تزریق آهک و عبور از فرایندهای اختلاط انعقاد و ته‌نشینی، کنار گذر شده و پس از دریافت کربنات سدیم و در مواردی دلمه‌ساز، به واحدهای فرایندی هدایت شده و خروجی واحد اول هم با آن مخلوط می‌شود. این روش باعث صرفه‌جویی در مصرف آهک و دی‌اکسیدکربن و کاهش لجناب می‌شود. در مواردی بخشی از آب با روش تبادل یون و بخشی به کمک آهک و سود سختی‌گیری می‌شود و آب‌های تولیدی دو فرایند با هم مخلوط می‌شوند.

فیلترهای مورد استفاده در سختی‌گیری تفاوتی با فیلترهای تصفیه متعارف ندارد. در انواع دو جنسی و یا دو لایه بار سطحی تا ۱۲ متر در ساعت مورد توصیه است. فاصله زمانی بین دو بک‌واش به ۴۸ ساعت هم می‌رسد. افزایش پلی‌فسفات برای جلوگیری از ترسیب



سپس آهک در حد ۱۹۰ میلی‌گرم در لیتر برحسب کربنات کلسیم برای خنثی نمودن قلیابیت اضافه می‌شود و در نتیجه ۱۹۰ میلی‌گرم در لیتر سختی از آب زدایش می‌شود و ستون کاتیون‌ها و آنیون‌ها تغییر می‌نماید.

➤ شکل نمودار م ۳- کاتیون‌ها و آنیون‌های آب مسئله شماره ۳-۲

آنیون‌ها		کاتیون‌ها	
۳۰۰	Cl ⁻	۳۰۰	Na ⁺
۲۷۰	SO _۴ ^{۲-}	۲۵۰	Mg ^{۲+}
۱۹۰		۲۰۰	Ca ^{۲+}
۰	HCO _۳ ⁻	۰	
۲۰	CO _۳ ^{۲-}	۲۰	CO _۲

➤ شکل نمودار م ۴- کاتیون‌ها و آنیون‌های آب مسئله شماره ۳-۲ پس از آهک‌زنی اولیه

آنیون‌ها		کاتیون‌ها	
۱۱۰	Cl ⁻	۱۱۰	Na ⁺
۸۰	SO _۴ ^{۲-}	۶۰	Mg ^{۲+}
۰		۱۰	Ca ^{۲+}
۰		۰	Ca ^{۲+}
۰	CO _۳ ^{۲-}	۰	

در نتیجه سختی این آب عبارت است از ۷۵ میلی‌گرم در لیتر که ۲۵ میلی‌گرم در لیتر آن کربنات و سولفات کلسیم است و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر آن سولفات منیزیم. حال برای زدایش سختی منیزیم لازم است ابتدا پی‌اچ آب به حدود ۱۰/۳ برسد و برای رسیدن به آن لازم است حدود ۵۰ میلی‌گرم در لیتر آب آهک به آب افزوده شود. اگر در آب

قلیابیت کافی وجود داشته و پی‌اچ آن حدود ۱۰/۳ باشد این افزایش ضرورت ندارد. اگر در آب قلیابیت وجود داشته باشد واکنش زیر رخ می‌دهد:



که به جز مقدار ناچیزی، بقیه منیزیم به صورت هیدروکسید ترسیب و کلسیم به صورت سختی غیرکربناتی در آب باقی‌می‌ماند. اکنون وضعیت نمک‌های کلسیم، منیزیم و سدیم در آب طبق نمودار شماره م-۵ خواهد بود. بدین ترتیب که:

- ۶۰ میلی‌گرم در لیتر سختی کلسیم به صورت سولفات کلسیم؛
- ۱۵ میلی‌گرم در لیتر سختی کلسیم به صورت کربنات کلسیم؛
- ۵ میلی‌گرم در لیتر سختی منیزیم به صورت هیدروکسید منیزیم؛
- ۵۰ میلی‌گرم در لیتر سختی کلسیم به صورت آهک اضافه و جمعا ۱۳۰ میلی‌گرم در لیتر سختی در آب حضور دارد.

برای زدایش سختی غیر کربناتی موجود باید از کربنات سدیم استفاده نمود. بدین ترتیب که:



➤ شکل نمودار م ۵- کاتیون‌ها و آنیون‌های آب مسئله شماره ۳-۲ پس از افزایش آهک اضافی

آنیون‌ها		کاتیون‌ها	
۱۱۰	Cl ⁻	۱۱۰	Na ⁺
۸۰	SO _۴ ^{۲-}	۶۰	Ca ^{۲+}
۰		۰	Ca ^{۲+}
۱۵	CO _۳ ^{۲-}	۱۵	Ca ^{۲+}
۶۵	OH ⁻	۶۵	Ca ^{۲+}
۷۰	OH ⁻	۷۰	Mg ^{۲+}



جدول شماره ۳-۱۲- ضرایب تبدیل

برای تبدیل به کربنات کلسیم	ضریب تبدیل به کربنات کلسیم	ضریب تبدیل به عنصر و یا بنیان
کلسیم	Ca ^{۲+}	۰/۴
منیزیم	Mg ^{۲+}	۰/۲۴۳
سدیم	Na ⁺	۰/۴۶
پتاسیم	K ⁺	۰/۷۸۲
بی‌کربنات	HCO _۳ ⁻	۱/۲۲
کربنات	CO _۳ ^{۲-}	۰/۶
هیدروکسیل	OH ⁻	۰/۳۴
کلرور	Cl ⁻	۰/۷۰۹
نیتрат	NO _۳ ⁻	۱/۲۴
سولفات	SO _۴ ^{۲-}	۰/۹

در بخش صنعت می‌توان از دو فرایند آهک – سود و تبادل یون بهره گرفت، بدین ترتیب که ابتدا به کمک آهک سختی کربناتی از آب زدایش شده و قبل از هدایت آب به واحد ته‌نشینی، یک دلمه‌ساز به آن اضافه می‌شود. آب خروجی از زلال‌سازی به کمک اسید سولفوریک و یا دی‌اکسیدکربن اصلاح شده و به واحدهای تبادل یون هدایت و سختی غیر کربناتی و بقایای سختی کربناتی زدایش می‌شود. دلیل اصلی ترکیب این دو فرایند، ارزانی زدایش سختی کربناتی توسط آهک است.

لازم به یادآوری است که آهن و منگنز اگر به صورت بی‌کربنات‌های دو ظرفیتی باشند در فرایند سختی‌گیری زدایش می‌شوند و البته آهن و منگنز هم در فرایند تکمیلی انعقاد و ته‌نشینی ممکن است از آب جدا شوند. زدایش سیلیس هم در فرایند سختی‌گیری با آهک به موازات ترسیب هیدروکسید منیزیم ته‌نشین می‌شود. لذا استفاده از کربنات منیزیم و یا اکسید آن ضرورت دارد.

لذا ۶۰ میلی‌گرم در لیتر سولفات کلسیم نیز از آب زدایش می‌شود و تنها حدود ۲۰ میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم و هیدروکسید منیزیم در آب باقی‌می‌ماند که از محدودیت‌های این روش سختی‌گیری است. آهک لازم برای زدایش سختی از این آب عبارت است از:

- ۲۰ میلی‌گرم در لیتر برای زدایش دی‌اکسیدکربن؛
- ۱۹۰ میلی‌گرم در لیتر برای زدایش کلسیم وابسته به کلیاییت؛
- ۵۰ میلی‌گرم در لیتر آهک اضافه برای افزایش پی‌اچ؛
- ۵۰ میلی‌گرم در لیتر برای زدایش منیزیم.

و جمعا ۳۱۰ میلی‌گرم در لیتر آهک بر حسب کربنات کلسیم و ۶۰ میلی‌گرم در لیتر کربنات سدیم مورد نیاز است. نکاتی چند در مورد دو مسئله پیش‌گفته مورد بحث قرار می‌گیرد.

- برای جلوگیری از ترسیب کربنات کلسیم مازاد بر غلظت اشباع، در تاسیسات پایین دست دو گزینه وجود دارد که عبارت است از افزودن دی‌اکسیدکربن و تبدیل آن به بی‌کربنات و یا افزودن کربنات سدیم و ترسیب آن.

- افزودن دی‌اکسیدکربن باید در حدی باشد که پی‌اچ آب را به حدود ۹/۵ کاهش دهد. در مواردی آزمایشگاه نتایج آنالیز آب را براساس غلظت عناصر و ترکیبات می‌دهد و لازم است آنها بر حسب کربنات کلسیم معادل‌سازی شوند. برای مثال در صورتیکه غلظت کلسیم ۹۰ میلی‌گرم در لیتر بر حسب Ca^{۲+} اعلام شده باشد روش محاسبه در معادله زیر نشان داده شده است:

$$\frac{۹۰mg}{l} Ca^{۲+} \times \frac{meq}{۲۰mg} \times \frac{۵۰mg}{meq} = ۲۲۵ mg/l$$

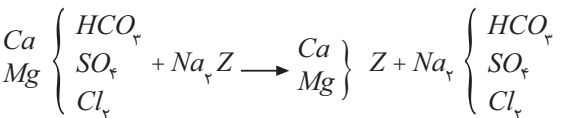
غلظت کلسیم بر حسب میلی گرم در لیتر بر حسب کربنات کلسیم چون هر میلی‌اکی‌والان کلسیم ۲۰ میلی‌گرم در لیتر و هر میلی‌اکی‌والان کربنات کلسیم ۵۰ میلی‌گرم در لیتر است، لذا ۹۰ میلی‌گرم در لیتر بر حسب کلسیم معادل ۲۲۵ میلی‌گرم در لیتر بر حسب کربنات کلسیم است. برای سهولت محاسبات ضرایب تبدیل در جدول شماره ۳-۱۲ ارائه گردیده است.



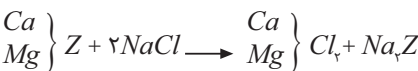
ب) سختی‌گیری با روش مبادله یون‌ها^۱

سختی‌گیری با روش مبادله یون‌ها معمولا همراه است با کلمه زئولیت که ترکیبی است معدنی و در طبیعت یافت می‌شود که از آلومینیوم، سیلیس، کلسیم و آب تبلور تشکیل گردیده است. نوعی از آن تامسونیت^۲ نامیده می‌شود که میزان سیلیس آن از دو تا ده مولکول متغیر است. در حدود سال‌های ۱۸۴۵ یک کشاورز انگلیسی به همراهی یک شیمیدان متوجه گردید که در بخشی از مزرعه خود که کود نیتروژنه داده شده، ازت کود با بارش باران شسته نشده و در دسترس گیاه قرار گرفته و معلوم شد که با کلسیم خاک مبادله شده و در خاک مزرعه باقیمانده است.

در سال ۱۹۱۵ یک شیمیدان آلمانی دریافت که از خاک زئولیت می‌توان برای زدایش سختی از آب استفاده نمود و دستگاهی ساخت که پرموتیت^۳ نامیده می‌شد. در همان سال‌ها از مخلوط کائولن^۴ و بی‌کربنات سدیم^۵ زئولیت انسان ساخت تهیه گردید که در صنایع نساجی برای زدایش سختی آب بهره‌گیری می‌شد. تبادل یون‌های مولد سختی را در معادله زیر و به طور ساده می‌توان نشان داد.



با ادامه سختی‌گیری و اشباع شدن زئولیت از کلسیم، منیزیم، آهن و منگنز موجود در آب، مبادله یون متوقف می‌شود و باید آن را دوباره فعال یا احیا نمود. با استفاده از آب نمک که محلول کلرور سدیم است واکنش‌های زیر در زئولیت انجام می‌گیرد:



جوش شیرین یا بی‌کربنات سدیم: ۵. NaHCO_۳

3. Permutit

4. Kaolin

لذا زئولیت با دریافت سدیم فعال شده و می‌تواند دوباره مورد استفاده قرار گیرد. واکنش‌ها در حد ۱۰۰ درصد نیست و سختی آب تولیدی صفر نخواهد بود و احیای آن هم ۱۰۰ درصد نیست مگر آنکه آب نمک فراوان به کار رود. از نیترات سدیم هم می‌توان برای احیا زئولیت بهره گرفت ولی هزینه کار را افزایش می‌دهد اما در نقاطی به دلیل فراوانی این ماده معدنی از آن استفاده می‌شود.

برای زدایش یون‌هایی مانند سولفات‌ها، نیترات‌ها، سلنیوم، آرسنیک و حتی اورانیوم می‌توان از فرایند تبادل یونی استفاده نمود. در صورتیکه هدف، زدایش یک یون ویژه مانند آرسنیک باشد می‌توان از رزین ویژه استفاده نمود. فعال سازی رزین‌ها توسط نمک‌های مختلف مانند نمک طعام انجام می‌گیرد.

لازم به یادآوری است که بعضی از یون‌ها تمایل بیشتری برای جذب و مبادله شدن دارند و بنابراین ممکن است در شرایطی جایگزین یون دیگری بشوند که قبلا از آب زدایش و جذب رزین شده است و در نتیجه یون جذب شده دوباره آزاد و محلول در آب بشود. این ویژگی باید توسط سازنده اعلام شود. در شرایطی که یک رزین بازی قوی به کمک کاتیون دارای کلرور احیا شود، کلرورها خود را با آنیون‌های آب خام مبادله می‌نماید و در این تبادل همان قانون تمایل بیشتر، حاکم است. چنانکه بی‌کربنات‌های آب دارای کمترین تمایل به مبادله با رزین هستند و لذا ممکن است در بخش‌های آخر لایه‌های رزین جذب و مشاهده شوند.

۳-۵-۳- انواع مبادله‌کننده‌های یونی

مبادله کننده‌های یونی در دو گروه معدنی و آلی تقسیم بندی می‌شوند که می‌توانند طبیعی و یا انسان ساخت باشند و بر اساس عملکرد نیز در چهار گروه تقسیم بندی می‌شوند که عبارتند از کاتیونی قوی، آنیونی قوی، کاتیونی ضعیف و آنیونی ضعیف.

1. Ion Exchange

2. Thamsonite (NaCa_۳Al_۵Si_۵O_{۳۰}·۶H_۲O)



جدول شماره ۳-۱۳- ویژگی‌های یک نوع ژئولیت برای آب‌های با سختی حدود ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر

ظرفیت سختی‌زدایی (کیلوگرم بر مترمکعب)	نمک مورد نیاز برای احیا	
	کیلوگرم نمک برای هر مترمکعب سختی زدایش شده	کیلوگرم نمک برای هر مترمکعب حجم ژئولیت
۱۸/۴	۲/۷۹	۵۲
۲۰/۷	۳/۱۴	۶۴
۲۳	۳/۴۹	۸۱
۲۷/۴	۴/۷۶	۱۲۹

تغییر در خصوصیات فیزیکی دانه‌ها شامل ایجاد ترک در دانه، شکسته شدن و ریزتر شدن آنهاست. در نتیجه ذرات ریز تولید شده با جابجایی خود، فضای خالی بستر را پر کرده و مقاومت هیدرولیکی بستر افزایش پیدا می‌نماید و تماس آب با سطوح دانه‌های رزین کمتر شده و پیامدهای منفی دیگر مانند عبور دانه‌های رزین به همراه آب خروجی را در پی دارد.

اکسیژن آب و اکسیدکننده‌های دیگر هم روی رزین‌ها اثرات مخرب دارند. رشد بیوفیلم، رسوب بقایای خورَدگی تاسیسات فلزی بالادست و چسبیدن ذرات روغن به آنها قدرت تبادل یون رزین را کاهش می‌دهد. حتی اگر آب خروجی از زلالسازها دارای بقایای پلیمر باشد که معمولاً چنین است، باعث ایجاد پوشش بر روی دانه‌های رزین می‌شود و چون فرایند مبادله ابتدا در سطح رزین انجام گرفته و سپس با انتقال به داخل آن جابجایی انجام می‌شود ایجاد هر نوع پوشش روی آن باعث کاهش ظرفیت مبادله رزین خواهد شد.

چون امروزه تقریباً تمام مبادله‌کننده‌های یونی از پلیمرهای آلی ساخته می‌شوند به ویژگی آنها پرداخته می‌شود. اکثر این مبادله‌کننده‌ها پلی‌استیرن بوده که پلیمری است که با دی‌وینیل بنزن اتصال شیمیایی دارد. البته پلیمرهای دیگر مانند اکریلیک، فنل

مشاهده گردید که اولین مبادله‌کننده‌های یونی دارای ریشه معدنی بود اما با فراوری ذغال سنگ مبادله‌کننده‌های آلی ساخته شد که به نام مبادله‌کننده‌های کاتیونی معروف هستند. این مبادله‌کننده‌ها با اسید سولفوریک احیا می‌شوند و در نتیجه کاتیون هیدروژن آزاد می‌کنند و برای تولید آب بدون املاح کاربرد دارند که مورد گفتگو قرار می‌گیرند.

به طور کلی تغییرات پی‌اچ به این نوع مبادله‌کننده‌ها صدمه نمی‌زند اما در صورت بروز رسوب کلسیم عملکرد آن کاهش می‌یابد لذا در کاربرد این مواد، توجه به ضریب لانگلیر آب خام ضرورت دارد. این مبادله‌کننده‌ها در زدایش آهن آب تا حدود ۱۰ میلی‌گرم در لیتر و با سختی تا حدود ۳۵۰ میلی‌گرم در لیتر عملکرد مطلوبی دارند. در شرایطی که سختی آب کمتر باشد غلظت آهن آب هم باید زیاد نباشد تا مبادله‌کننده صدمه نبیند لذا کنترل آهن ضروری می‌باشد.

تقریباً تمام مبادله‌کننده‌های رزینی از نوعی پلیمر آلی همراه با پایه‌های اسیدی و بازی ساخته می‌شوند که می‌توانند کاتیون سدیم و یا هیدروژن را با کاتیون‌های دو ظرفیتی محلول در آب مبادله کنند. پلیمرهای مورد استفاده تقریباً پلی‌استیرن^۱ همراه با دی‌وینیل بنزن^۲ است و در این روند ژئولیت‌های معدنی کم‌کم مقبولیت خود را از دست می‌دهند اما برای زدایش آهن و منگنز هنوز کاربرد دارند. از مهمترین ژئولیت‌های طبیعی گلوکنیت است که از رسوبات دریایی بدست می‌آید و ویژگی‌های مبادله و احیا آن مقبولیت دارد.

ژئولیت‌های انسان ساخت اولیه که معروف به ماسه سبز بودند نیز تقریباً برای احیا و دوباره فعال شدن به سه برابر سختی زدایش شده نمک نیاز داشتند. ویژگی‌های یک نوع آن در جدول شماره ۳-۱۳ نشان داده شده است.

رزین‌ها ممکن است قدرت تبادل یون خود را کم‌کم از دست بدهند که نتیجه تغییر در خواص فیزیکی و شیمیایی آنهاست.



فرمالدئید، اپوکسی پلی‌آمین و ترکیباتی با پایه پریدین هم برای ساخت آنها به کار می‌رود. پلیمرهای اکریلیک و اپوکسی بیشتر از بقیه در این صنعت به کار می‌رود.

رزین‌های کاتیونی با اتصال رادیکال‌های با بار منفی به پلیمرها و رزین‌های آنیونی با اتصال رادیکال‌های با بار مثبت به پلیمرها ساخته می‌شوند. این رزین‌ها به صورت جامدات دانه‌ای یا گرانول است و تبادل یون در سطح دانه‌ها رخ می‌دهد و با افزایش مدت بهره‌برداری، یون‌ها کم‌کم به داخل دانه‌ها نفوذ می‌نمایند. اندازه گرانول‌ها برای این نوع بسترها ۰/۳-۱/۲ میلیمتر بوده و کوچکتر از ۰/۳ میلیمتر برای شرایط ویژه کاربرد دارد. دانه رزین‌ها از نظر شکل فیزیکی به دو گروه تقسیم می‌شوند:

- اسفنجی درشت‌روزنه^۱، که در آن روزنه‌ها روی دانه‌ها وجود دارد؛
- روزنه مولکولی، که در آن روزنه‌ها بخشی از ساختمان پلیمر است.

در نوع اول تناسب سطح به حجم زیادتر از نوع دوم است و آن را به دو شکل می‌سازند. شکل اول تحت نام نسل اول از به هم چسبیدن میکروگرانول‌ها ساخته می‌شود. در ساخت نسل دوم با اختلاط یک ماده بدون کنش به محلول منومرها انجام می‌گیرد.

ظرفیت و احیای رزین‌ها

هر رزینی دارای یک ظرفیت تبادل یون است و زمانیکه ظرفیت تبادل آن تمام شده و اشباع شود، در آب خروجی از آن یون‌های جذب نشده مشاهده می‌شود. فعال سازی دوباره رزین به نام عمومی احیا توسط آب نمک، اسید و یا باز انجام می‌گیرد. لذا محلول احیا با غلظت زیاد از بستر رزین عبور داده می‌شود و رزین غیرفعال دوباره احیا می‌شود. با افزایش غلظت محلول فاضلاب کمتری هم تولید می‌شود. متعارف‌ترین ترکیب احیاکننده رزین‌های آب شرب، کلور سدیم است. برای فعال سازی دوباره رزین‌های مورد استفاده برای زدایش رادیوم،

اورانیوم، آرسنیک و یا نیتрат هم از کلور سدیم استفاده می‌شود و در صورتی که کاربرد کلور سدیم دارای محدودیت باشد از کلور پتاسیم هم می‌توان برای احیا رزین استفاده نمود.

برای احیا رزین مورد استفاده در فناوری تولید آب بدون املاح^۲ از اسیدها و بازها استفاده می‌شود. چنانکه برای احیای رزین‌های کاتیونی از اسید سولفوریک و یا کلریدریک استفاده می‌شود و رزین‌های آنیونی قوی هم با کاربرد هیدروکسید سدیم و هیدروکسید پتاسیم احیا می‌شود. رزین‌های کاتیونی اسیدی ضعیف را هم می‌توان با اسیدهای ضعیف مانند اسید استیک، اسید سیتریک و اسید کربنیک و مانند آنها احیا نمود. البته می‌توان رزین‌های اسیدی و بازی ضعیف را با اسید و باز قوی هم احیا نمود. در صورتیکه غلظت یون‌های آب خام از حدود ۵۰۰ میلی‌گرم در لیتر تجاوز نماید به دلیل نیاز بیشتر به نمک برای احیا، از فرایند تبادل یونی هم می‌توان استفاده نمود، گرچه تا ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر هم این روش کاربرد دارد. باید توجه داشت که آب خام مناسب مبادله‌کننده‌های یونی باید عاری از اکسیدکننده‌ها، ذرات معلق و مواد روغنی باشد در غیر این صورت ذرات معلق روی گرانول‌های رزین را می‌پوشانند. از نظر دمای آب هم این پلیمرها دارای محدودیت هستند و لازم است با سازنده آن مشورت شود. در صورت امکان می‌توان از آب دریا برای احیای ژئولیت بهره‌برد زیرا مقدار نمک سدیم آن در حدود ۳۷،۰۰۰ گرم در مترمکعب است. در جدول شماره ۳-۱۴ سه نوع ژئولیت همراه با ویژگی‌های آنها نشان داده شده است.

جدول شماره ۳-۱۴- ظرفیت کاتیونی سه نوع ژئولیت

نوع ژئولیت	ظرفیت (کیلوگرم در مترمکعب)	متر مکعب آب دریا برای احیای هر متر مکعب ژئولیت
ماسه سبز	۳/۹۴	۲/۲۹
ماسه سبز با ظرفیت زیاد	۶/۹۶	۴
مبادله‌کننده آلی	۹/۷	۵

1. Macro Porous

2. Demineralized

1. Polystyrene

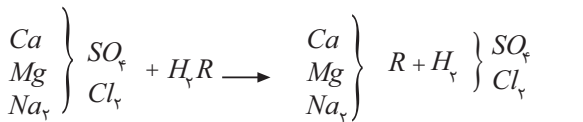
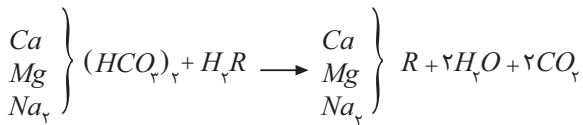
2. Di Vinyl Benzene (DVB)



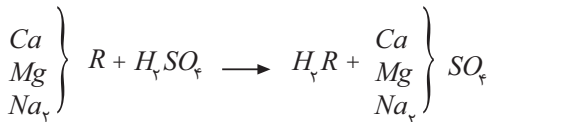
جدول شماره ۳-۱۵- ویژگی‌های مبادله‌کننده‌های کاتیونی

مبادله‌کننده کاتیونی	ظرفیت اسمی (کیلوگرم در مترمکعب)	میزان نمک برای احیا	
		کیلوگرم برای هر کیلوگرم سختی زدایش شده	در مترمکعب
ماسه سبز	۶/۴	۲۰	۳
ماسه سبز فراوری شده	۱۲/۵	۳۹	۳
زئولیت سیلیسی انسان ساخت	۲۵	۷۹	۳
رزین پلی استیرن A	۷۳	۲۰۲	۳
رزین پلی استیرن B	۵۰	۸۰	۱/۷

در سختی‌گیری سدیمی که کاتیون سدیم جایگزین کلسیم و منیزیم خواهد شد، باعث افزایش غلظت سدیم در آب می‌شود که خود در استاندارد ۱۰۵۳ دارای حداکثر مجاز ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر است. در نوعی دیگر هیدروکسیل جایگزین می‌شود که هیدروکسیل و هیدروژن با هم ترکیب شده و آب تولید می‌شود و در نتیجه املاح آب افزایش پیدا نمی‌نماید. معادله کلی تبادل یون این فرایند را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:



و فرایند احیای آن هم در نوع کاتیونی آن به صورت زیر است:



1. Na₂R

برای احیا زئولیت به جای اسید سولفوریک و یا اسید کلریدریک می‌توان از نمک طعام استفاده نمود که رزین سدیمی^۱ تولید می‌شود. در صورتیکه در فرایند احیا خطر ترسیب کلسیم و منیزیم وجود دارد بستر با نمک طعام احیا شده و سپس با کاربرد اسید، زئولیت هیدروژنی تولید می‌شود. برای خنثی نمودن اسیدهای تولیدی چند روش وجود دارد:

- در شرایطی پیش از هوادهی و زدایش دی‌اکسید کربن با کاربرد کربنات سدیم و یا هیدروکسید سدیم اسیدهای آب را می‌توان خنثی نمود؛

- در صورتیکه میزان سولفات‌ها و کلرورهای آب زیاد بوده و اسیدهای حاصل قابل ملاحظه باشد، آن را با آب خروجی از زئولیت سدیم مخلوط کرده و اسیدها خنثی می‌شوند؛

- در شرایطی بستر مبادله کاتیون‌ها از مخلوط مبادله سدیمی و هیدروژنی تشکیل می‌شود و فعال سازی بستر هم با مخلوط اسید و کلرور سدیم انجام می‌گیرد لذا اسید در داخل بستر خنثی می‌شود؛

- در صورتیکه حضور مقداری سختی در آب قابل تحمل باشد، خروجی مبادله‌کننده هیدروژنی با آب خام اولیه مخلوط می‌شود. میزان اختلاط بستگی به کیفیت آب مورد مصرف از نظر سختی و قلیاییت دارد.

عملیات احیا بستر زئولیت دارای سه مرحله است که عبارتند از:

- مرحله اول بکواش بستر برای تخلیه ذرات معلق آورده شده توسط آب خام می‌باشد. این مرحله باید بتواند بستر را در حدود ۵۰ درصد منبسط نماید، لذا مانند بکواش فیلترها رابطه بین میزان آب ورودی و سرعت ته‌نشینی ذرات بستر باید مورد محاسبه قرار گیرد که در فصل ششم و فیلترهای تند به آن پرداخته شده است؛
- مرحله دوم که احیای رزین و یا زئولیت می‌باشد عبارت است از

هدایت آب دارای نمک و یا اسید برای جابجایی ترکیبات دو ظرفیتی مبادله شده توسط رزین؛

- مرحله سوم شستشوی بستر و تخلیه نمک و یا اسید باقیمانده در بستر است که در بخش‌های بعدی مورد توجه بیشتر قرار می‌گیرد. این مرحله خود به چند مرحله قابل تفکیک می‌باشد.

انواع مختلفی از رزین‌های مبادله‌کننده ساخته شده است که هر کدام دارای خاصیت انتخاب ویژه خود هستند و به همین جهت زدایش نیترات، آرسنیک، کلرور، فلوراید، سرب و غیره در آنها یکسان نیست. انواعی از رزین‌های آنیونی در زدایش گروهی از ترکیب‌های آلی مولد تی‌اوسی عملکرد مطلوبی دارند اما واکنش‌های مبادله آرام‌تر از واکنش‌های دیگر است و لذا طراحی‌ها با توجه به آن باید انجام گیرد. این مبادله هم دارای عملکرد ۱۰۰ درصد نیست و بخشی از تی‌اوسی در آب باقی می‌ماند و در صورت لزوم باید از فیلتر گرانول کربن فعال برای زدایش بیشتر تی‌اوسی استفاده شود.

یک توجه دیگر در انتخاب نوع یون زدایی، توجه به ضرورت گاززدایی است. دی‌اکسیدکربن موجود در آب و دی‌اکسیدکربن تولیدشده ناشی از واکنش بی‌کربنات‌ها و یون هیدروژن تولیدی در بخش تبادل کاتیونی باید از سیستم تخلیه شود که در بخش هوازدایی مطرح گردیده است.

۳-۵-۴- هیدرولیک بهره‌برداری

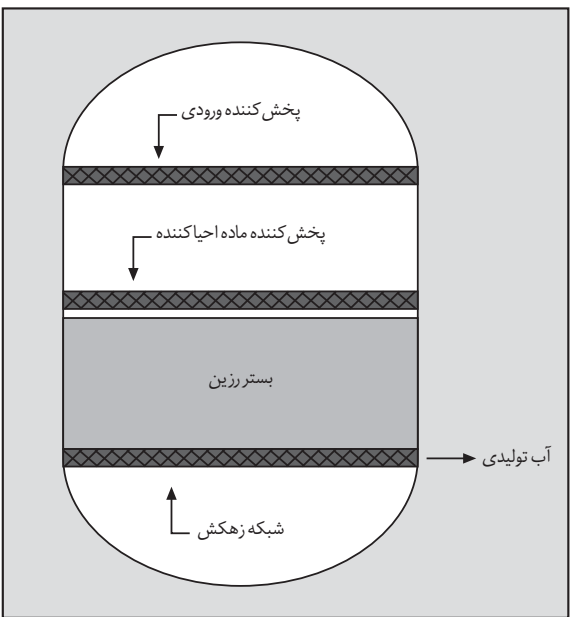
در بهره‌برداری از مبادله‌کننده‌ها با توجه به جهت جریان آب در هنگام سختی‌گیری و جهت آب نمک برای احیاء بستر، مبادله‌کننده‌ها دو گروه می‌باشند.

مبادله‌کننده‌های هم‌جهت^۱

مبادله‌کننده‌های هم‌جهت، از طرح‌های قدیمی هستند و سودمندی



شکل شماره ۳-۱۷- مبادله‌کننده‌های هم‌جهت



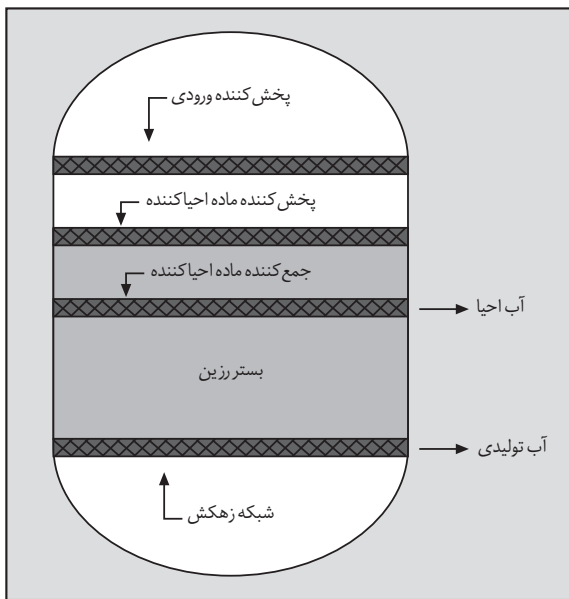
کمتری نسبت به دیگر مبادله‌کننده‌ها داشته و آب تولیدی به خوبی انواع جدید نیست، اما این مبادله‌کننده‌ها قابل اعتماد بوده و برای آب‌های با کدورت زیاد عملکرد بدی ندارند. در شکل شماره ۳-۱۷ مبادله‌کننده‌های هم‌جهت نشان داده شده است.

تاسیسات این مبادله‌کننده‌ها استوانه‌ای است که در آن رزین قرار می‌گیرد و در بالا، صفحه پخش‌کننده آب خام قرار دارد تا بار هیدرولیکی را در تمام سطح بستر یکسان حفظ نماید و در زیر بستر، هم‌شبه زهکشی پیش‌بینی می‌شود که آب خروجی از بستر را جمع‌آوری و به خارج از استوانه هدایت می‌نماید. در هنگام احیا و یا دوباره فعال سازی بستر، محلول احیا کننده هم از بالا وارد بستر می‌شود و به طرف شبکه زهکشی جریان می‌یابد. در این نوع تاسیسات، فضایی بین سطح بستر رزین و صفحه پخش‌کننده آب پیش‌بینی می‌شود. این فضا که به نام ارتفاع آزاد هم گفته می‌شود برای انبساط مصالح بستر در هنگام بکواش است. لذا صفحه پخش‌کننده آب خام در

1. Coflow Exchanger or Cocurrent Exchanger



شکل شماره ۳-۱۸- مبادله‌کننده‌های دوبخشی



به بستر هدایت شده و به طرف بالا جریان می‌یابد. باید توجه داشت که بستر رزین کار فیلتراسیون را هم انجام می‌دهد و لذا در لایه‌های بالا ذرات معلق به تله افتاده حضور دارد. با این روش هم فشردگی بستر از بین می‌رود و هم ذرات معلق از بستر خارج می‌شود. میزان این آب معادل میزان آب در انواع هم جهت است. اما مدت انجام آن چند دقیقه بیشتر نیست زیرا هدف ایجاد یک انبساط در بستر است.

♦ **تزریق احیا کننده:** از زیر بستر و از بالای بستر هم زمان محلول احیا کننده^۲ تزریق شده و توسط شبکه جمع‌آوری کننده واقع در وسط بستر به خارج از بستر هدایت می‌شود و نام تاسیسات هم به خاطر فرایند کار است. اگر برای احیا از اسید سولفوریک استفاده شود، این روش احتمال ترسیب کلسیم را کاهش می‌دهد. میزان جریان و زمان احیا مانند انواع دیگر است که باید رعایت شود. سرعت میزان تزریق از زیر بستر نباید از ۲/۵ متر در ساعت بیشتر شود.

1. Split- Flow Exchanger

۲. منظور آب حاوی نمک طعام و یا اسید و یا باز است.

بکواش کار جمع‌آوری آب بکواش را هم انجام می‌دهد. عملیات احیا این مبادله‌کننده‌ها در چهار گام و به شرح زیر انجام می‌گیرد:

♦ **بکواش:** در این گام آب از طریق شبکه زهکش فیلتر وارد شده و با ایجاد حدود ۵۰ درصد انبساط بستر، از تاسیسات درون آر تخلیه می‌شود. هدف اصلی بکواش تخلیه ذرات معلق به تله افتاده و انبساط بستر فشرده شده می‌باشد. در این کار ذرات ریز رزین هم جابجا شده و به لایه‌های سطحی برگردانده می‌شود.

♦ **احیا بستر:** هدایت محلول رقیق احیا کننده‌ها محلول نمک است از بالای بستر به داخل آن هدایت شده و لایه‌ها از بالا تا پایین احیا می‌شوند.

♦ **شستشوی آرام:** شستشوی آرام که جابجایی هم نامیده می‌شود. هدایت آب با همان میزان محلول رقیق احیا است تا ماده احیا کننده آرام آرام به طرف شبکه زهکشی جریان یافته و فرصت عملیات احیا فراهم شود.

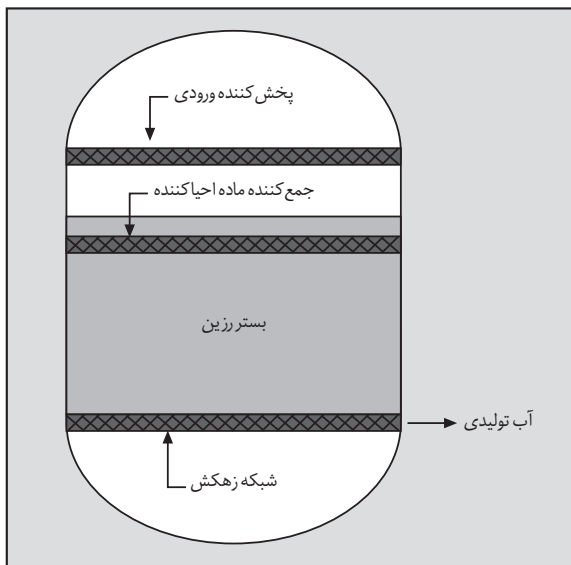
♦ **شستشوی سریع:** میزان آب ورودی در این مرحله معادل میزان آب در جریان سختی گیری است و هدف تخلیه بستر از ماده احیا کننده باقیمانده مانند نمک است.

گونه دیگری از مبادله‌کننده‌های هم جهت تاسیسات دو بخشی^۱ هستند. در این مبادله‌کننده‌های یونی تاسیسات جمع‌آوری آب نمک در فاصله یک سوم نسبت به سطح رزین و در داخل بستر قرار می‌گیرد و محلول احیا از زیر و از بالای بستر به آن تزریق می‌شود و جمع کننده آنها را به خارج از استوانه هدایت می‌نماید. در بالای استوانه صفحه توزیع کننده‌ای پیش بینی می‌شود. عملیات احیای مصالح بستر در این نوع تاسیسات که در شکل شماره ۳-۱۸ نشان داده شده است به قرار زیر است:

♦ **بکواش سطحی:** در این مرحله آب از طریق تاسیسات جمع‌آوری



شکل شماره ۳-۱۹- مبادله‌کننده‌های تقابلی



و یون هیدروکسیل تعریف می‌شود. در صنعت تصفیه آب شرب زدایش قلیائیت آب با افزودن یک اسید هم انجام می‌گیرد ولی به دلیل اینکه آب در پی‌اچ کم دارای خاصیت خوردگی است این روش مطلوب نیست. رزین‌های بازی قوی که با کلرورها مانند کلرور سدیم احیا می‌شوند قادرند سه عامل مولد قلیائیت آب را با کلرور مبادله کنند. در نتیجه سختی موقت نیز از بین می‌رود زیرا سختی بی‌کربناتی تبدیل به سختی کلرید می‌شود. این روش برای تولید آب مناسب دیگرهای بخار مرسوم است. برای زدایش قلیائیت آب که دارای کاربردهای صنعتی است به مراجع دیگر باید رجوع شود.

طبق شکل شماره ۳-۲۰ آبی که سختی آن حذف شده، قلیائیت آن را نیز می‌توان توسط واحد دوم حذف نمود. در حالی که میزان کربنات‌ها درصد کوچکی از قلیائیت آب است و بی‌کربنات‌ها بخش اصلی قلیائیت آب را تشکیل می‌دهد ولی تمایزشان برای مبادله بارزین کم است. بنابراین بی‌کربنات اولین آنیونی است که در آب خروجی از واحد زدایش آنیون‌ها مشاهده می‌شود. در نتیجه در لایه‌های بالایی

♦ **شستشوی آرام و یا شستشوی جابجایی:** این مرحله در واقع ادامه کار مرحله دوم است اما میزان آب بیشتر است تا زمان فعال سازی کوتاه تر شود. حجم آب مورد مصرف بستگی به روش مرحله چهارم دارد. اگر آب مرحله چهارم مورد استفاده قرار نمی‌گیرد و قرار است دفع شود، مقدار آب این مرحله معادل دو برابر حجم مصالح بستر خواهد بود.

♦ **شستشوی آخر:** آب خروجی را می‌توان دفع نمود و یا از مبادله‌کننده کناری عبور داد (خروجی مبادله کاتیونی به ورودی مبادله آنیونی). این مرحله معمولاً برای تاسیسات تصفیه آب زیرزمینی کاربرد دارد.

۱ مبادله‌کننده‌های تقابلی

در این نوع مبادله‌کننده‌ها که بیشتر برای تولید آب بدون یون^۲ به کار می‌رود، ترکیب فعال ساز هم اسید است. جهت هدایت محلول اسید عکس جهت حرکت تولید آب بدون یون است به طوری که بخش‌هایی که کمتر با آب سخت تماس داشته‌اند ابتدا در تماس با اسید قرار می‌گیرند. معمولاً این مبادله‌کننده‌ها طوری مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند که جریان آب در فرایند سختی‌گیری از بالای محفظه به طرف پایین و شبکه زهکش است و محلول اسیدی از پایین وارد شده و به طرف بالا جریان می‌یابد. لذا تاسیسات جمع‌کننده محلول اسیدی در ۱۵ سانتیمتری بالای بستر رزین قرار دارد تا از انبساط بستر جلوگیری شود. روش بهره‌برداری از آن کمی پیچیده‌تر از دو نوع مبادله‌کننده قبلی است. در شکل شماره ۳-۱۹ تاسیسات اصلی مبادله‌کننده تقابلی نشان داده شده است.

۳-۵-۵- کاربردهای دیگر مبادله‌کننده‌های یونی

۱ زدایش قلیائیت

مشاهده شد که زدایش قلیائیت آب در حذف بی‌کربنات‌ها، کربنات‌ها

1. Counter Current Exchangers

2. Demineralized or De-ionized

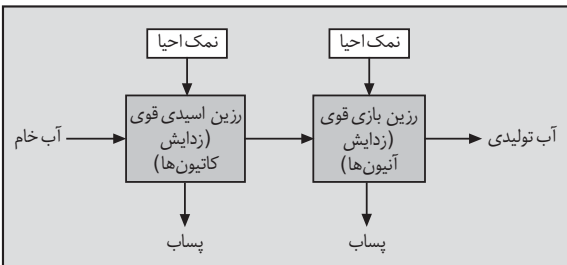


زدایش نیترات^۱

حداکثر مجاز نیتروژن بر حسب نیترات در آب شرب طبق استاندارد ۱۰۵۳ حدود ۵۰ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. وجود این ترکیب در آب شرب برای نوزادان و گروه‌های آسیب‌پذیر یک نوع سم محسوب می‌شود و ممکن است در آنها علائم مسمومیت ایجاد نماید. یک منشاء آن تجزیه و فساد مواد آلی دارای نیتروژن است و منشا دیگر آن زهاب مزارع کشاورزی مصرف کننده کودهای ازته می‌باشد.

برای زدایش نیترات‌ها از هر دو نوع رزین بازی آنیونی می‌توان استفاده نمود. این رزین‌ها پس از سولفات‌ها، نیترات‌ها را بهتر و زودتر از آنیون‌های دیگر جذب می‌کنند. چنانکه در فرایند تبادل یون، سولفات‌ها می‌توانند جانشین نیترات‌های مبادله شده بشوند که در بخش‌های بعدی به آن پرداخته می‌شود. اما در فرایند احیا سولفات‌ها زودتر توسط رزین مبادله می‌شوند. چنانکه در فرایند زدایش در ابتدا تمام آنیون‌ها با کلرورها مبادله شده و در مرحله خروج آب از رزین، کلرور آب با نیترات باقیمانده در رزین مبادله می‌شود و در آب مشاهده خواهد شد و لذا باید در احیا رزین که از کلرور سدیم استفاده می‌شود اطمینان یافت که سدیم جانشین نیترات شده است. دفع فاضلاب ناشی از احیا رزین به دلیل وجود نیترات‌ها نیاز به توجهات محیط‌زیستی دارد. زدایش نیترات توسط رزین‌هایی که به طور انتخابی عمل می‌نمایند رو به گسترش است. این مبادله‌کننده‌های یونی از نظر ترکیب ساختمانی مشابه رزین‌های گروه یک هستند (رزین‌های آنیونی بازی که با تری متیل آمین فعال شده) اما بخش فعال آنها از آمین‌های بزرگ‌تر از تری متیل آمین تشکیل گردیده است. مبادله‌کننده‌های رزینی که از تری اتیل آمین، تری پروپیل آمین و تری بوتیل آمین استفاده می‌کنند به نام رزین‌های انتخابی نیترات معروفند که دلیل آن این است که نسبت به آنیون‌های چند ظرفیتی کمتر تمایل مبادله دارند. در نتیجه سولفات‌ها نمی‌توانند باعث رها شدن نیترات‌ها شوند

شکل شماره ۳-۲۰- دیاگرام فرایندهای زدایش قلیاییت



سولفات‌ها وجود دارند و در زیر آن نیترات‌ها و در پایین تر کلرورها و در نهایت بی‌کربنات‌ها در لایه‌های آخر رزین مبادله شده قرار می‌گیرند. در فرایند احیا تقریباً ۸۰ کیلوگرم نمک برای ۱۰۰۰ لیتر رزین لازم است که با آب با غلظت نمک حدود ۴-۶ درصد مورد استفاده قرار می‌گیرد تا رزین کاملاً احیا گردد. ظرفیت رزین‌ها در صفحات قبل و در جدول‌ها آورده شده است.

زدایش آرسنیک

از آلومینای فعال برای زدایش هر دو فرم آرسنیک در یک محدوده کوچک پی‌اچ آب استفاده شده است. اکسیداسیون آرسنیک و تبدیل آن به آرسنات و در پی‌اچ ۵-۵/۵ و جذب توسط آلومینای فعال مورد توصیه است و یادآوری گردید که احیای آن هم در دو مرحله انجام می‌گیرد.

اگر غلظت سولفات‌ها در آب شرب زیاد باشد باعث اختلال دستگاه گوارش می‌شود و لذا می‌توان با رزین آنیونی و احیا با نمک طعام آن را از آب زدایش نمود. رزین‌های نوع دوم بیشتر کاربرد دارند و زدایش به ۱۰۰ درصد هم می‌رسد و میزان نمک برای احیا هم در حدود ۸۰ کیلوگرم در مترمکعب رزین لازم است و ظرفیت تبادل آن هم در محدوده ۴۶-۵۷ کیلوگرم سولفات بر حسب کربنات کلسیم برای هر مترمکعب است.



و در آب‌های با سولفات بالا نگرانی فرار نیترات‌ها خیلی کمتر است و از کلرور سدیم هم برای احیا هر دو نوع رزین استفاده می‌شود. همانطور که گفته شد هر دو نوع رزین تمایل بیشتر به جذب سولفات‌ها در شرایط فیزیکی و شیمیایی آب شرب دارند. بنابراین ابتدا سولفات‌ها در بخش بالایی رزین مبادله شده و جانشین سدیم می‌شوند و در نتیجه نیترات‌ها در لایه‌های زیرتر با سدیم رزین مبادله می‌شوند و با حضور سولفات‌ها باز هم نیترات‌ها به لایه‌های پایین‌تر کشانده می‌شوند. این فرایند توسط نیترات‌ها برای کلرورها و کلرورها برای بی‌کربنات‌ها استمرار می‌یابد تا اینکه نیترات در آب خروجی ظاهر شود. زمانی که بی‌کربنات‌ها از بستر آزاد شده و با آب خروجی تخلیه می‌شوند پی‌اچ محیط رزین افزایش می‌یابد و حال کم‌کم نیترات‌ها در آب خروجی مشاهده خواهند شد. زمانی که غلظت نیترات‌ها به حدود ۲۰ درصد نیترات آب خام و یا به حدود ۱۰ میلی‌گرم در لیتر می‌رسد لازم است تصفیه و تولید آب متوقف و عملیات احیای رزین شروع گردد. در غیر این صورت با ادامه کار، سولفات‌ها جای نیترات‌ها را گرفته و مقدار نیترات در آب خروجی افزایش می‌یابد. این فرایند بنام رها شدن نیترات شناخته می‌شود.

زدایش سرب

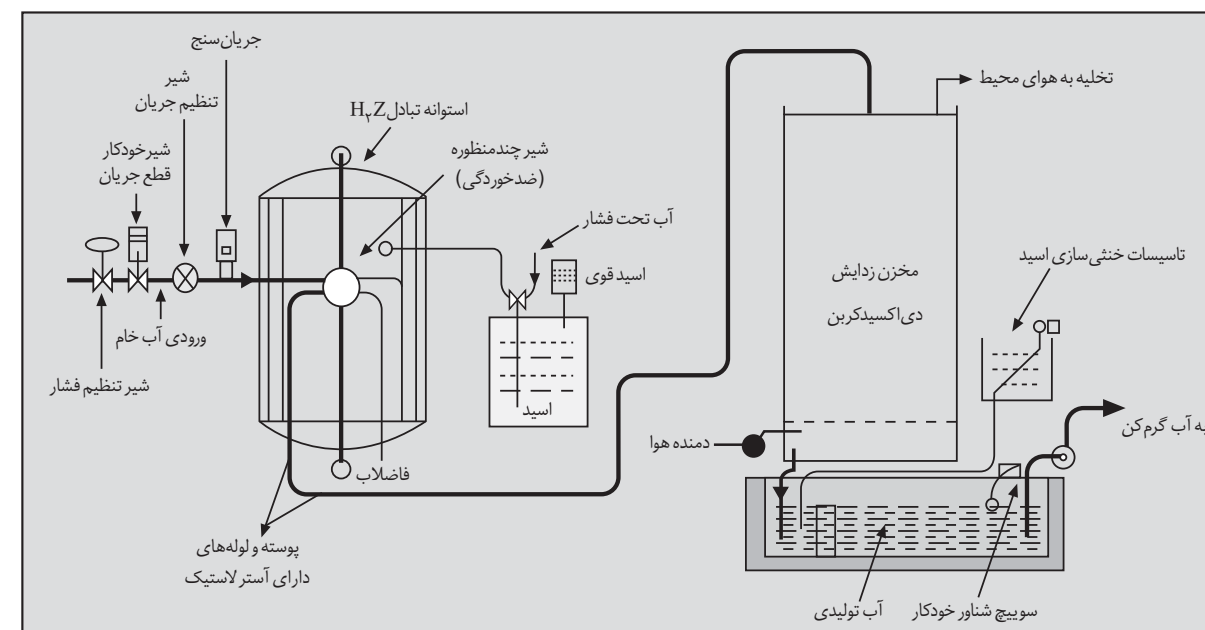
حداکثر غلظت مجاز سرب در آب شرب ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر اعلام گردیده و مشاهده گردید که سرب را می‌توان با مبادله‌کننده‌های کاتیونی از آب زدایش نمود. در عملیات سختی‌گیری هم این زدایش انجام می‌گیرد. اما چون نمک‌های سرب در آب دارای حلالیت کم هستند لذا در آب‌ها کمتر وجود داشته و تنها انواعی که در آب محلول و تولید یون می‌نماید با این روش قابل زدایش است. برای تصمیم‌گیری روی روش زدایش سرب انجام عملیات آزمایشی ضرورت دارد تا نوع ترکیب تشخیص داده شود.

تاسیسات اصلی مبادله‌کننده‌ها

در صورتیکه تاسیسات تحت فشار هیدرولیکی عمل نمایند جنس پوسته از فولاد و یا مصالح مناسب دیگر ساخته می‌شود تا فشارهای حداکثر ممکن را تحمل نماید. انواع عمودی آن در اندازه‌های استاندارد ساخته می‌شود و انواع افقی آن با طول حدود ۸ متر و با قطر ۵/۲-۵/۳ متر است. شبکه زهکش کف برای جمع‌آوری آب سختی‌زدایی شده و همچنین پخش آب بکواش طراحی می‌شود. در طراحی شبکه زهکشی باید مطمئن بود که توزیع آب بکواش در سطح مقطع فیلتر یکسان باشد. لذا باید دارای شبکه اصلی و فرعی و سپرهای آب پخش‌کن باشد. روی لوله‌های فرعی و اصلی در فاصله‌هایی روزنه‌هایی باید تعبیه گردند و در روی آن چند لایه شن قرار داده می‌شود که از پایین به بالا ریزتر می‌شود و لازم است ویژگی‌های لیسانس آن مراعات شود. چون در عملیات بکواش بستر ژئولیت باید انبساط یابد، ارتفاع و یا فضای لازم برای انبساط ۲۵-۳۵ درصد ضخامت بستر پیش بینی می‌شود. این فضا برای رزین‌های آلی ۵۰-۷۵ درصد است. در مورد توجهات طراحی شبکه زهکشی در فصل پنجم – فیلترهای کند ثقلی صحبت شده است.

طراحی تاسیسات درون‌آر نیاز به توجه دارد که یا براساس آزمایش و یا پاتنت^۱ باید انتخاب شود. درون‌آر باید دارای تاسیسات توزیع یکنواخت آب و محلول نمک در بالای پوسته باشد و اطمینان حاصل شود که عملیات فعال سازی در تمام سطح مقطع انجام می‌گیرد. غلظت آب نمک (کلرور سدیم) مورد مصرف باید در حدود ۶-۱۰ درصد باشد و چون حلالیت این نمک در آب زیاد می‌باشد، تهیه محلول اشباع آن ورقیق‌سازی برای غلظت مطلوب عملیات را ساده می‌نماید. میزان آب برای بکواش اولیه باید کنترل شود و در صورت امکان از فشار ایستایی یعنی مخزن ذخیره واقع در ارتفاع مناسب بهره‌گیری شود. در غیر این صورت با نصب پمپ بکواش که روی لوله رانش آن

شکل شماره ۳-۲۱- دیاگرام جریان در تبادل یونی هیدروژنی و قلیا



وانتوری مترو شیر تنظیم میزان آب قرار دارد می توان استفاده نمود.

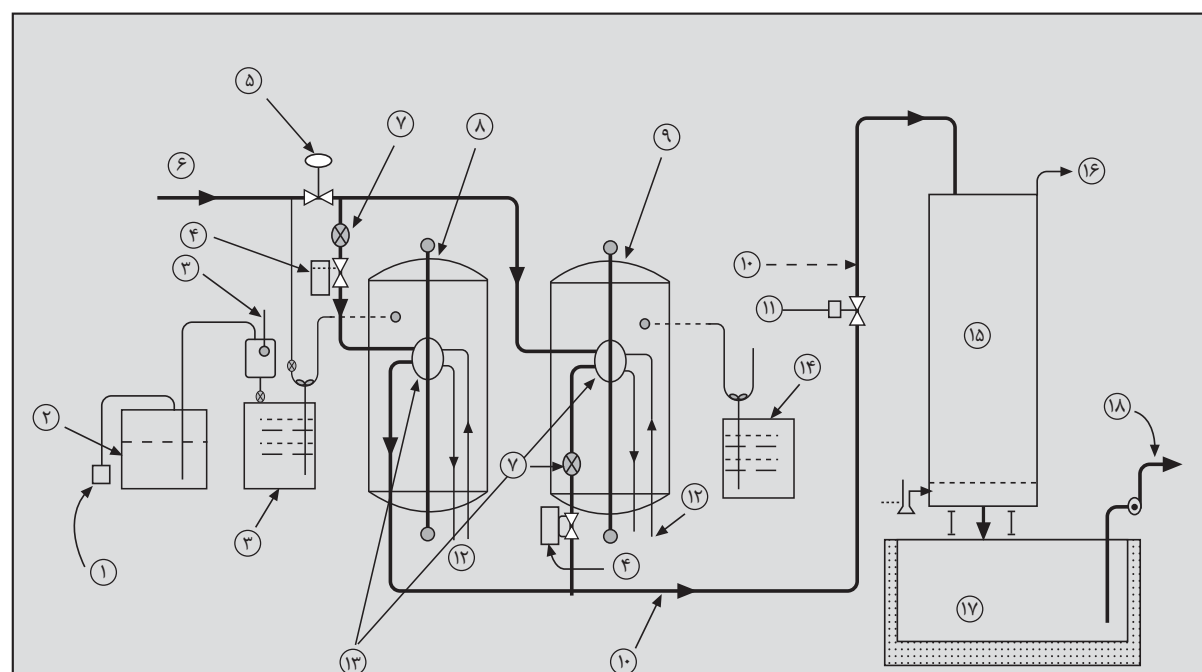
در مورد آب لازم برای شستشوی بستر نیز باید میزان آب مورد مصرف تنظیم شده باشد و در روی لوله خروجی آب تولیدی نصب کنتور اندازه‌گیری ضرورت دارد. تاسیسات می‌تواند خودکار، نیمه خودکار و یا دستی مورد بهره‌برداری قرار گیرد.

چون در فرایند مبادله هیدروژنی برای احیا، اسید استفاده می شود لذا تاسیسات باید نسبت به خوردگی اسید مقاوم باشند. بنابراین پوسته فولادی باید دارای آستر مقاوم نسبت به اسید باشد. در ساخت پوسته می توان از مواد پلیمری مقاوم به اسید هم استفاده نمود.

❖ یون زدایی^۱ از آب

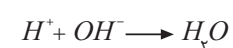
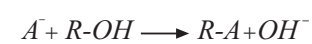
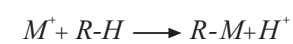
هدف از کاربرد این فرایند تولید آب بدون یون می باشد که در حقیقت نمک زدایی کامل از آب است. چون لازم است تمام کاتیون های آب با

شکل شماره ۳-۲۲- دیاگرام جریان در تبادل یونی هیدروژنی و سدیمی



۱. کمپرسور هوا با فشار کم
۲. مخزن اسید
۳. دستگاه اندازه‌گیری اسید غلیظ و مخزن اسید رقیق شده
۴. جریان نما و کنترل جریان
۵. شیر تنظیم فشار
۶. ورودی آب خام
۷. شیر کنترل جریان
۸. مخزن ژئولیت هیدروژنی با آستر مناسب
۹. مخزن ژئولیت سدیمی با آستر مناسب
۱۰. لوله آب اصلاح شده با آستر مناسب
۱۱. شیر خودکار توقف جریان
۱۲. لوله تخلیه مخزن
۱۳. شیر چندنمونه ورودی و خروجی آب
۱۴. مخزن آب نمک اشباع
۱۵. تانک زدایش دی اکسیدکربن
۱۶. تخلیه گاز به هوا
۱۷. آب تولیدی
۱۸. آب اصلاح شده بطرف مصرف

یون هیدروژن مبادله شده و تمام آنیون‌های آب هم با یون هیدروکسیل مبادله شود و هیدروژن و هیدروکسیل با هم ترکیب شده و آب تولید گردد. بنابراین می‌توان نوشت:



طبق معادله‌های پیش‌گفته در فرایند یون زدایی دو نوع رزین لازم است که یکی کاتیون‌ها و دیگری آنیون‌ها را از آب زدایش نماید و با توجه به ویژگی‌های آب چندین نوع مبادله‌کننده قابل استفاده است. رزین‌های کاتیونی و آنیونی می‌توانند در دو بستر و یا محفظه جداگانه و یا به صورت مخلوط در یک بستر و یا محفظه قرار گیرند. در بسترهای مخلوط با تشکیل مولکول‌های آب عملکرد مبادله بهتر است و آب خالص تری تولید می‌شود. در صورتیکه هدف تولید آب صنعتی است



روش‌های احیا رزین

صرف نظر از هدف زدایش آلاینده، روش متعارف احیا هم جهت^۱ است که در آن جهت حرکت آب نمک برای احیا همان جهت حرکت آب برای یون زدایی است که مورد گفتگو قرار گرفت و به طور چکیده بدین ترتیب است که ابتدا با عملیات بکواش لازم است ذرات معلق به تله افتاده آب خام و گرانول‌های شکسته از بستر خارج شود و پس از آن هدایت محلول حاوی اسید و یا باز به بستر شروع شده تا کار احیا را انجام دهد و پس از آن شستشوی سریع با آب به منظور تخلیه باقیمانده احیاکننده از بستر و تاسیسات انجام گیرد.

در جریان شستشوی آخر لازم است آخرین بخش ماده احیاکننده همراه با آب از بستر به طرف پایین و خروج از تاسیسات جریان یابد که نقطه ضعف این روش احیا است زیرا احتمال دارد بخشی از آن در بستر باقیمانده و در آب تولیدی وجود داشته باشد. این محدودیت برای تاسیسات زدایش نیترات‌ها دارای اهمیت زیادی است و برای رفع این مشکل دو روش به کار می‌رود.

روش اول بدین ترتیب است که اگر تعداد استوانه‌های تبادل یون دو عدد و یا بیشتر و به صورت سری قرار گیرد و یک ماده احیا کننده استفاده شود، آب شستشوی واحد اول که در آن ماده شیمیایی احیا وجود دارد به واحد دوم فرستاده می‌شود و خروجی آن دوباره از واحد قبلی عبور کرده و تخلیه می‌شود. در روش دوم از بخش آخر آب احیا دوباره برای احیا استفاده می‌شود که البته در عمل مشکلاتی با خود دارد.

برای مقایسه دو روش هم جهت و تقابلی چند نکته مطرح می‌گردد. در صورتیکه آب خام تقریباً پاک باشد و آب تولیدی هم باید دارای کیفیت مطلوب باشد روش دوم مناسب‌تر است و هر چه آب خام با کیفیت‌تر باشد و آب تولیدی خیلی عالی مورد نیاز نباشد شستشوی هم جهت بیشتر طرفدار دارد.

از روش اول استفاده می‌شود که دارای محدودیت‌هایی هم می‌باشد. اما برای تولید آب شرب این روش کاربرد عملی ندارد.

اصول طراحی و بهره‌برداری

اولین موضوع در طراحی تعیین میزان آب مورد نیاز و رابطه آن با سطح و حجم بستر ژئولیت است. در صورتیکه بار سطحی از حدود ۵۰ متر در ساعت بیشتر شود این فشار همراه با تنش‌های دیگر چون فشار اسمزی و تنش حرارتی باعث می‌شود که دانه‌های رزین شکسته شود. گرچه مقاومت دانه‌های رزین خیلی بیشتر از آن است اما در صورتیکه افت فشار در لایه‌های ژئولیت از حدود ۴ اتمسفر بیشتر شود ترک‌هایی روی رزین ایجاد می‌گردد. به طور کلی افت فشار هیدرولیکی مجاز در بستر رزین‌های کاتیونی و در بسترها رزین‌های آنیونی باید کمتر از ۱/۵ اتمسفر باشد. رقم متعارف در حدود ۰/۷ اتمسفر است و لذا بار سطحی بستر نیز در محدوده خیلی کمتر از ۳۵ متر در ساعت باید باشد.

دفعات احیا و ضخامت بستر

حجم مواد رزینی لازم بستگی دارد به مدت زمان بهره‌برداری بین دو احیا که البته در انتخاب آن دو فاکتور وجود دارد که ممکن است محدودیت‌هایی ایجاد نماید اول بار سطحی و دوم ضخامت بستر. این مدت برای طرح‌های صنعتی معمولاً ۸-۱۳ ساعت است. گرچه فاصله زمانی بین دو احیا می‌تواند تا چند روز هم برسد و این انتخاب از طرف دیگر بستگی به حجم رزین انتخاب شده و مجموع غلظت یون‌های آب خام مورد تصفیه دارد که سرمایه‌گذاری اولیه را تعریف می‌نماید. ضخامت بستر رزین در محدوده یک متر و بار هیدرولیکی هم در محدوده ۲۰ متر در ساعت مبنای محاسبات انتخاب می‌شود. ضخامت کمتر از ۶۰ سانتیمتر مورد توصیه نیست. هر چه فاصله بین دو احیاء بیشتر شود میزان بیشتری رزین مورد نیاز خواهد بود.



در صورتیکه آب خام مورد یون‌زدایی دارای ذرات معلق، آهن و مواد آلی باشد که در بستر به تله می‌افتند و به دلایل محدودیت ابعاد محفظه و نبود فضا برای انبساط بستر در عملیات بکواش چون در بستر باقی می‌مانند، ضرورت دارد که دفعات بکواش بیشتر شده که خود یک محدودیت برای آن خواهد بود.

بهترین آبی که این روش احیا تولید می‌کند دارای مقاومت الکتریکی ۰/۱ میکرو اهم است و در موارد زیادی ۰/۵ اهم نیز قابل تولید است. مبادله‌کننده‌هایی که جهت جریان آب احیا هم جهت فرایند یون‌زدایی است آبی در حد کیفیت نوع دوم نمی‌تواند تولید نماید و درصد کاهش هدایت الکتریکی آب خام در تاسیسات دارای دو بستر در محدوده ۹۰ قرار دارد. هدایت الکتریکی باقیمانده در آب تولیدی به علت فرار سدیم از بستر کاتیونی به بستر آنیونی و در نتیجه تولید هیدروکسید سدیم در آب می‌باشد و اگر در بستر دوم خنثی نشود این وضعیت پیش می‌آید. اما چون هیدروکسید سدیم دارای توان هدایت الکتریکی دو برابر کلرور سدیم و یا کلرور کلسیم است لذا کاهش هدایت الکتریکی دو بستر سری بیشتر از ۹۵ درصد است و لذا فرار سدیم کمتر از ۵ درصد است. در مبادله‌کننده‌های تقابلی فرار سیلیس کمتر است و در شرایط مطلوب میزان آن در آب تولیدی در محدوده ۲۰-۵۰ میکروگرم در لیتر است. فرار سیلیس تحت تأثیر عملکرد احیا پس از هر مرحله تولید آب است.

سیلیس با ترکیب با مصالح بستر آنیونی پلیمری مزاحم ایجاد می‌نماید و یکی از هدف‌های احیا به هم زدن وضعیت پلیمرهای تشکیل شده است. این کار تحت تأثیر دمای آب قرار دارد و نیازمند زمان هم می‌باشد و در شرایطی عملیات احیا نمی‌تواند پلیمرهای تشکیل شده را شکسته و از بستر خارج نماید. در صورتیکه آب خام دارای سیلیس زیاد باشد لازم است بار سطحی بستر آنیونی کمتر انتخاب شود.

۳-۶- زدایش آهن و منگنز

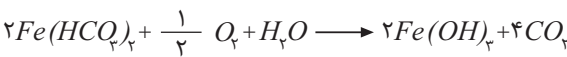
آهن و منگنز از آلاینده‌های آب بوده و حداکثر میزان آن در آب شرب طبق استاندارد شماره ۱۰۵۳ به ترتیب عبارت از ۰/۳ و ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر است. در آب مورد نیاز بسیاری از صنایع میزان مجاز آن باید کمتر از این دو رقم باشد. میزان غلظت آن برای تاسیسات صنعت نمک‌زدایی به روش اسمز معکوس باید کمتر از ۲ میلی‌گرم در لیتر باشد. ترکیب شیمیایی آن در آب به صورت‌های زیر است:

- بی‌کربنات آهن^۱؛
- هیدروکسید آهن – دو ظرفیتی و سه ظرفیتی^۲؛
- سولفات آهن^۳؛
- شکل کلویدی و یا آهن آلی؛
- کربنات آهن^۴.

روش‌های زدایش آنها از آب یکسان نیست و دانستن نوع ترکیب برای زدایش آن ضرورت دارد که نیازمند همکاری با یک آزمایشگاه مناسب است.

۳-۶-۱- زدایش بی‌کربنات آهن

در آب‌ها بیشتر بی‌کربنات آهن دو ظرفیتی وجود دارد و با افزایش غلظت دی‌اکسید کربن حلالیت آن در آب افزایش می‌یابد. غلظت آهن در آب اکثر چاه‌ها کمتر از ۵ میلی‌گرم در لیتر و آن هم به صورت بی‌کربنات است. بی‌کربنات آهن دو ظرفیتی ترکیبی است بی‌رنگ که پس از تماس با هوا به هیدروکسید آهن سه ظرفیتی نامحلول تبدیل می‌شود.



لذا آب دارای بی‌کربنات فرو پس از تماس با هوا تولید رسوب نموده و سطوح تماس خود را رنگین می‌نماید و در بسیاری از صنایع زدایش آن ضرورت دارد. چنین آبی در منازل، بیمارستان‌ها، هتل‌ها و هر

1. $Fe(HCO_۳)_۳$ 2. $Fe(OH)_۳$, $Fe(OH)_۲$ 3. $Fe_۲(SO_۴)_۳$ 4. $FeCO_3$

1. Cocurrent



جای دیگر که مورد استفاده قرار گیرد باعث ایجاد رنگ شده و لذا آب مطلوبی نیست.

علاوه بر مشکلات پیش گفته گروهی از باکتری ها تحت نام باکتری های آهن در چنین آب هایی رشد و تکثیر پیدا نموده و با ایجاد رسوب باعث اختلال در جریان آب می شوند و با مرگ و میر خود تولید طعم و بوی نامطبوع در آب می نمایند. این گروه از باکتری ها چه در حضور نور و چه در تاریکی رشد و نمو پیدا می نمایند اما باکتری های هوازی بوده و نیاز به اکسیژن محلول در آب دارند. روش های زدایش این ترکیب آهن عبارت است از:

(الف) هوادهی، ته نشینی و فیلتراسیون

(ب) تبادل یونی، سختی گیری توسط ژئولیت؛

(ج) تبادل یونی توسط ژئولیت هیدروژنی؛

(د) فرایند سختی گیری توسط آهک و سود؛

(ه) ترکیب دو فرایند سختی گیری آهک و سود و ژئولیت؛

هوادهی و در نتیجه اکسیداسیون بی کربنات توسط اکسیژن هوا و تبدیل آن به هیدروکسید فریک و ته نشینی آن در زلال ساز و فیلتراسیون از روش های متعارف است و چون حلالیت هیدروکسید فریک ناچیز و در حد ۰/۰۱ میلی گرم در لیتر است لذا آهن از محیط آب زدایش می شود. طبق معادله پیش گفته می توان محاسبه نمود که یک میلی گرم در لیتر اکسیژن محلول آب می تواند ۷ میلی گرم در لیتر آهن دو ظرفیتی را اکسید نماید.

باید توجه داشت که در دمای ۱۵ درجه سلسیوس، غلظت اکسیژن محلول در آب اشباع حدود ۱۰ میلی گرم در لیتر است (معادل ۷/۰۴ میلی لیتر در لیتر آب) در نتیجه چنین آبی دارای اکسیژن کافی برای اکسیداسیون ۷۰ میلی گرم در لیتر آهن دو ظرفیتی می باشد. فرایند اکسیداسیون آن در پی اچ پایین بسیار آرام بوده و در پی اچ بالا سریع تر انجام می گیرد. در تحقیقاتی نشان داده شد که در پی اچ حدود ۸ پس از ۱۵ دقیقه هوادهی از ۱۰ میلی گرم در لیتر آهن تنها حدود ۰/۱ میلی گرم در لیتر آن در آب باقیمانده است و در پی اچ حدود ۶ مقدار

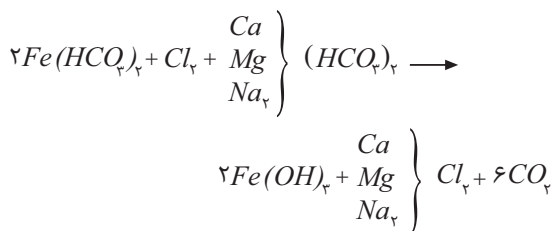
باقیمانده آهن حدود ۲/۵ میلی گرم در لیتر بوده است. لذا پی اچ در زدایش آن نقش موثری دارد.

هوادهی بشفایی دارای کک که در فصل دوم مورد بحث قرار گرفت در فرایند زدایش این آلاینده بیشترین کاربرد را داشته است. در آب های دارای قلیائیت بی کربناتی نیازی به افزایش پی اچ پیش نمی آید و در صورتی که در آب دی اکسیدکربن وجود داشته باشد با هوادهی و تخلیه آن پی اچ آب افزایش یافته و کار اکسیداسیون آهن سریع تر انجام خواهد گرفت.

مدت زمان ته نشینی نباید کمتر از ۳۰ دقیقه باشد. استفاده از فیلترهای ثقلی و یا تحت فشار در شرایط مختلف می تواند در زدایش هیدروکسید فریک تولید شده بسیار موفق عمل نماید. این روش در تصفیه آب های زیرزمینی کشور مورد استفاده است. اکسیداسیون و زدایش بی کربنات فرو را می توان به کمک تاسیسات نشان داده شده در شکل شماره ۳-۲۳ انجام داد.

۳-۶-۲- اکسیداسیون آهن توسط کلر

معادله اکسیداسیون آهن توسط کلر به شرح زیر است:

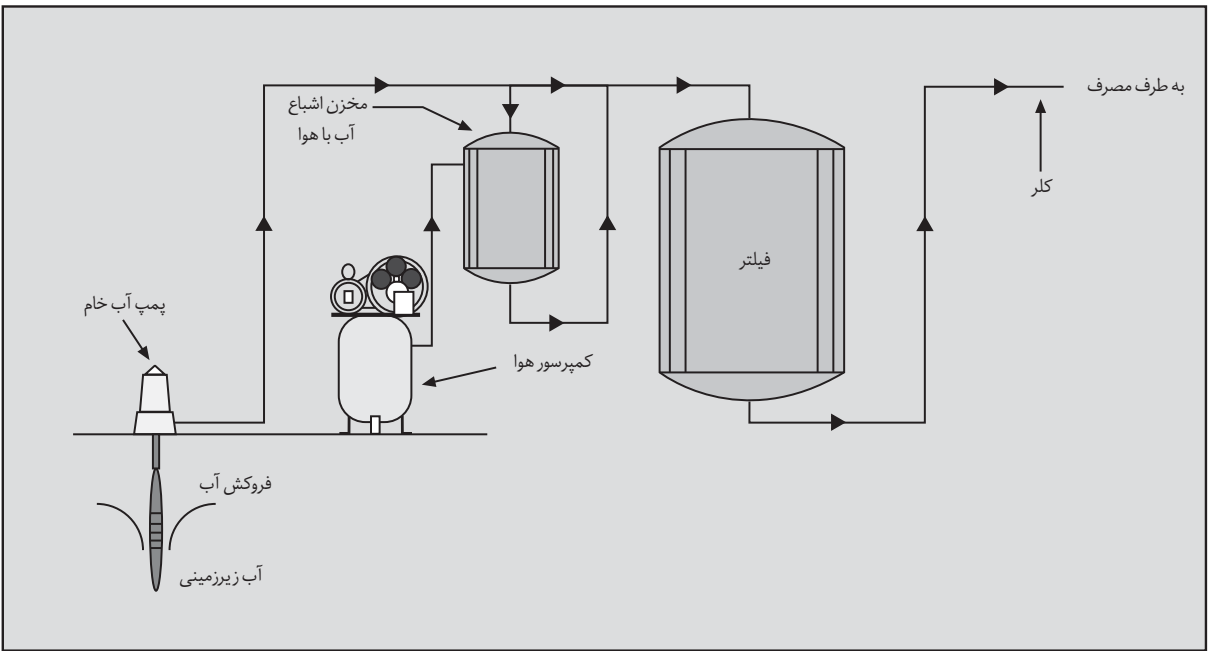


طبق معادله پیش گفته می توان مشاهده نمود که هر میلی گرم در لیتر کلر حدود ۱/۶ میلی گرم در لیتر آهن دو ظرفیتی را اکسید می نماید. فرایند زدایش در پی اچ کمتر با سرعت بیشتری انجام می گیرد. لذا کاربرد کلر بدون تغییر پی اچ زمان تماس را کوتاه تر می نماید زیرا میزان اسید هیپو کلرو^۱ افزایش می یابد. اما در صورت وجود مواد آلی

1. HOCl



شکل شماره ۳-۲۳- زدایش آهن و منگنز توسط هوای تحت فشار و فیلتراسیون در خط



افزایش هیدروکسید کلسیم برای سختی گیری، پی اچ آب به حدود ۹ می رسد و اکسیداسیون آهن با سرعت انجام شده و در زلال ساز با پتوی لجن و فیلتر پس از آن زدایش می شود.

۳-۶-۳- زدایش آهن توسط ژئولیت

همانطور که در بخش سختی گیری گفته شد در فرایند سختی گیری توسط ژئولیت، آهن هم از آب زدایش می شود لذا در این مورد بحث بیشتری نشده و یادآوری می شود که فعال سازی و یا احیا دوباره ژئولیت با کاربرد اسید سولفوریک انجام خواهد گرفت.

۳-۶-۴- زدایش آهن در فرایند سختی گیری با آهک و سود

در صورتیکه میزان آهن در آب بیشتر از ۴ میلی گرم در لیتر باشد، قبل از فرایند سختی گیری اگر هوادهی شود، بی کربنات فرو تبدیل به هیدروکسید فریک شده همراه با کربنات کلسیم ترسیب خواهد شد. اگر زدایش دی اکسیدکربن از هدف های هوادهی نباشد، زمان هوادهی برای اکسیداسیون آهن می تواند کم شود زیرا در فرایند

در آب جایگزینی پرمنگنات پتاسیم با کلر باید به کمک آزمایش مورد توجه قرار گیرد.

۳-۶-۴- زدایش آهن در فرایند سختی گیری با آهک و سود

در صورتیکه میزان آهن در آب بیشتر از ۴ میلی گرم در لیتر باشد، قبل از فرایند سختی گیری اگر هوادهی شود، بی کربنات فرو تبدیل به هیدروکسید فریک شده همراه با کربنات کلسیم ترسیب خواهد شد. اگر زدایش دی اکسیدکربن از هدف های هوادهی نباشد، زمان هوادهی برای اکسیداسیون آهن می تواند کم شود زیرا در فرایند



این ترکیب هم بدون رنگ است، لذا آب چاه حاوی آن رنگی را نشان نمی‌دهد و چون همراه است با بی‌کربنات آهن، در مدت کوتاهی که در معرض هوا قرار گیرد آهن اکسید شده و به صورت هیدروکسید فریک در آمده که نامحلول است. برای اکسیداسیون بی‌کربنات منگنز نیاز به پی‌اچ حدود ۹/۵-۱۰ است تا رسوبی رنگی تولید شود که می‌تواند سطوح مورد تماس را رنگین نماید لذا زدایش منگنز نیاز به توجهات بیشتری دارد. روش‌های زدایش زیر باید با عملیات آزمایشی مورد مطالعه قرار گیرد:

الف) افزایش پی‌اچ، هوادهی، زلالسازی و فیلتراسیون؛

ب) استفاده از فرایند تبادل یون توسط ژئولیت سدیمی و یا هیدروژنی؛
ج) سختی‌گیری توسط آهک و سود،

د) ترکیب روش‌های بالا.

در روش الف مانند روش الف زدایش بی‌کربنات آهن باید توجه داشت که با افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن محلول در آب حلالیت بی‌کربنات منگنز افزایش می‌یابد. این افزایش می‌تواند به حدود ۱۹۰ میلی‌گرم در لیتر برسد و در صورتیکه در آب دی‌اکسیدکربن نباشد حداکثر غلظت و یا حلالیت آن ۳۱ میلی‌گرم در لیتر خواهد بود و در این شرایط هیدروکسید منگنز در حدود ۱ میلی‌گرم در لیتر خواهد بود. لذا اکسیداسیون و فیلتراسیون می‌تواند زدایش منگنز را از آب به خوبی انجام دهد. یادآوری گردید که پی‌اچ مناسب در محدوده ۹-۱۰ قرار دارد، در حالیکه برای زدایش آهن افزایش پی‌اچ لازم نیست.

رسوبات منگنز نقش کاتالیزور در اکسیداسیون محلول دو ظرفیتی آن را در آب دارد. استفاده از این ویژگی باید مورد توجه قرار گرفته و به موقع عملیات بکواش انجام گیرد تا رسوبات مورد استفاده به عنوان کاتالیزور از دانه‌های ماسه کنده نشده و همراه آب فیلتر شده حرکت ننماید، لذا اکسیداسیون باید قبل از فیلتراسیون انجام گیرد. در صورت استفاده از کلر به عنوان اکسیدکننده لازم است پی‌اچ آب افزایش یابد لذا کاربرد کلر از جهاتی با بار منفی روبروست. هوادهی و تخلیه



۳-۶-۶- زدایش سولفات فرو^۱

در آب‌های اسیدی معادن، سولفات فرو، بی‌کربنات فرو و حتی هیدروکسید فریک ممکن است حضور داشته باشد. بعضی از این آب‌ها دارای میزان بالایی سختی و آهن هم‌زمان هستند که زدایش آنها از آب بسیار پر هزینه خواهد بود.

تعیین دی‌اکسیدکربن موجود در این آب‌ها برای هوادهی ضرورت دارد و پس از هوادهی عملیات اصلاح آب مانند از بین بردن اسیدیته آن انجام می‌گیرد. در صورتیکه غلظت آهن آب بیشتر از ۲۵ میلی‌گرم در لیتر باشد، دو مرحله هوادهی ضرورت پیدا می‌نماید تا اکسیژن لازم برای اکسیداسیون آهن در آب محلول گردد.

۳-۶-۷- زدایش آهن کلوییدی و آهن همراه با مواد آلی

در آب‌های سطحی که دارای رنگ هستند ممکن است آهن به صورت کلوییدی و آلی در آب حضور داشته باشد. در این شرایط با روش‌های متعارف هوادهی، زلال‌سازی و فیلتراسیون آهن از آب زدایش نمی‌شود. با افزودن آهک و با افزایش پی‌اچ آب به حدود ۸/۳ و هوادهی و استفاده از فیلتراسیون، باز هم احتمال حضور آهن در آب وجود دارد. در این صورت کاربرد دلمه‌ساز و تولید ذره و عبور از واحدهای ته‌نشینی و فیلتراسیون مورد توصیه است. دلمه‌ساز مناسب سولفات آلومینیوم است و نوع ته‌نشینی نیز انواع مجهز به پتوی لجن کاربرد بیشتری دارد.

۳-۶-۸- زدایش بی‌کربنات منگنز

احتمال حضور منگنز در آب‌ها کمتر از حضور آهن است که معمولاً هم به صورت بی‌کربنات دو ظرفیتی است و حلالیت آن خیلی بیشتر از بی‌کربنات فرو می‌باشد. چون تبدیل آن به هیدروکسید در شرایط بالایی پی‌اچ آب انجام می‌گیرد لذا کمتر به صورت هیدروکسید در آب‌ها مشاهده می‌شود.



دی‌اکسیدکربن باعث افزایش پی‌اچ آب می‌گردد. در مورد استفاده از روش تبادل یونی در بخش سختی‌گیری در حد لازم بحث شده است که در فرایندهای زدایش منگنز هم کاربرد دارد.

۳-۶-۹- زدایش منگنز کلوییدی همراه با مواد آلی

در بعضی از آب‌های سطحی و گهگاه زیرزمینی منگنز به صورت

جدول شماره ۳-۱۶- چکیده فرایندهای حذف آهن و منگنز از آب

ویژگی‌های آب	فرایندهای تصفیه	پی‌اچ مناسب	ترکیبات شیمیایی لازم	اثر اکسیداسیون	توجهات
آهن با مواد آلی کم	هوادهی ته‌نشینی فیلتر ماسه‌ای	بالتر از ۶/۵	-	آری	بهره‌برداری ساده
آهن و منگنز با مواد آلی کم و با اتصال ضعیف	هوادهی فیلتراسیون تماسی	بالتر از ۶/۵	-	آری	-
آهن و منگنز با مواد آلی و اتصال ضعیف و با اسیدهای آلی کم	هوادهی اکسیداسیون ته‌نشینی فیلتر ماسه‌ای	بالتر از ۶/۵	-	آری	-
آهن و منگنز با مواد آلی با دی‌اکسید کربن کم و اسیدهای آلی کم	فیلتراسیون تماسی	بالتر از ۶/۵	-	آری ولی نه با هوا	-
آهن و منگنز با اتصال ضعیف با مواد آلی	هوادهی آهک زنی ته‌نشینی فیلتر ماسه‌ای	۸/۵-۹/۶	آهک	آری	کنترل پی‌اچ لازم است
آب سطحی با کدورت و رنگ، آهن و منگنز و مواد آلی	هوادهی اکسیداسیون آهک زنی ته‌نشینی فیلتر ماسه‌ای	۸/۵-۹/۶	آهک و دلمه‌ساز	آری	وسایل کامل آزمایشگاهی لازم است.
آب زیرزمینی بدون اکسیژن و با حداکثر ۲ میلی‌گرم در لیتر آهن	استفاده از ژئولیت	بالتر از ۶/۵	-	خیر	احیا بستر لازم است.
آب چاه و بدون سختی و بدون اکسیژن و با آهن بی‌کربناتی	آهک زنی ته‌نشینی فیلتر ماسه‌ای	۸-۹/۲	آهک	خیر	-



لازم به یادآوری است که با توجه به اندازه رنگ ها که حدود ۱ نانومتر و اندازه نیترات ها که حدود ۵/۰ نانومتر است، نانوفیلترها و گروهی از اولترافیلترها در زدایش رنگ ها کاربرد دارند که در فصل هفتم به آن پرداخته شده است. اما در تاسیسات اسمز معکوس هم به دلیل کوچک تر بودن روزنه ها نسبت به نانوفیلترها نیترات ها و رنگ ها زدایش می شوند. در جدول شماره ۳-۱۷ عملکرد و تنوع ممبران ها برای زدایش گروهی از آلاینده ها آورده شده است.

جدول شماره ۳-۱۷- عملکرد ممبران ها در زدایش آلاینده ها و آرسنیک

آلاینده	ممبران ها	الکترو دیالیز	اسمز معکوس	نانو فیلتر	اولترا فیلتر	میکرو فیلتر ^۳
مواد غیر آلی	+	+	+	+	-	-
مواد آلی انسان ساخت	-	-	+	+	+	+
آرسنیک	+	+	+	+	+	+
سولفات ها	+	+	+	+	-	-
ذرات رادیواکتیو	+	+	+	+	-	-
کلیفرم ها	-	-	+	+	+	+
مواد آلی طبیعی	-	-	+	+	+	+

اکسیداسیون آرسنیت و تبدیل آن به آرسنات با کاربرد کلر انجام می گیرد و برای عملکرد حدود ۹۵ درصد، کلر باقیمانده پس از ۵ ثانیه اگر ۱ میلی گرم در لیتر باشد اکسیداسیون کامل انجام گرفته است. وجود مواد آلی احیا کننده در این واکنش دخالت نامطلوب دارد. لذا لازم است با عملیات آزمایشی عملکرد را ارزیابی نمود.

همچنین رزین های آنیونی بازی قوی مبادله آرسنات را بهتر از آرسنیت انجام می دهند. چنانکه سولفات ها و کلرورها هم زودتر از آرسنیت مبادله می شوند. بنابراین در محاسبه ظرفیت تبادل باید آنها را مورد محاسبه قرار داد. اما همانطور که گفته شد یون آرسنیت در

۳. در مورد میکرو فیلترها به فصل هفتم مراجعه شود.

۳-۷- زدایش آرسنیک

طبق جدول شماره ۲ استاندارد شماره ۱۰۵۳ میزان حداکثر مجاز آرسنیک آب شرب ۰/۰۱ میلی گرم در لیتر برحسب آرسنیک است. اما این عنصر در پوسته زمین به فراوانی یافت می شود و وجود آن در آب ها محتمل بوده و می تواند در مصرف کننده باعث بروز بیماری های پوستی، عصبی و سرطان شود. معمولاً به صورت ترکیب با آهن و سولفید و غیر محلول مشاهده می شود. منشأ دیگر آرسنیک در آب های شرب،

کاربرد سموم حشره کش آرسنیکی است. شکل غیر محلول آن به صورت آرسنیت^۱ و یا آرسنات^۲ وجود دارد دریافت بیش از ۱۰۰ میلی گرم آن در روز توسط انسان باعث مسمومیت شدید می شود. در صورتیکه آرسنیک به صورت محلول در آب حضور داشته باشد رزین بازی قوی آن را از آب با فرایند تبادل یونی زدایش می نماید. آلومینای فعال و جاذب های دیگر هم عملکرد خوبی دارند. در آب های بدون اکسیژن مانند آب چاه های عمیق شکل آرسنیت آن بیشتر است. این ترکیب یک اسید ضعیف است و در پی اچ کمتر از ۹ یونیزه نشده و لذا با تبادل یون زدایش نمی شود. اما آرسنات یک اسید نسبتاً قوی است و در پی اچ زیر ۶ یونیزه می شود. لذا با

کاربرد کلر می توان آرسنیت را به آرسنات تبدیل نمود. با اینکه آلومینای فعال ۸۰ برابر بیشتر آرسنات را از آب زدایش می نماید، اما استفاده از رزین بهتر از آلومینای فعال است. زیرا با نمک معمولی می توان آن را احیا نمود اما احیا آلومینای فعال باید در دو مرحله انجام گیرد. در مرحله اول با کاربرد هیدروکسید سدیم و سپس با کاربرد اسید باید آن را خنثی نمود. توجه شود که رزین های آنیونی تمایل به جذب سولفات و آزاد کردن آرسنیک دارند و لذا این روش تصفیه محبوبیت خود را از دست داده است زیرا وجود آهن و میزان بالای سولفات کار جذب آرسنیک را مختل می نماید.



برابر رزین های آنیونی بازی قوی قابلیت جذب بیشتری نسبت به کلرورها و کمتر نسبت به سولفات ها دارد. لذا خطر دوباره آزاد شدن آن وجود دارد.

۳-۸- زدایش سیلیس

برای سیلیس در استاندارد ۱۰۵۳ محدودیتی ارایه نشده و لذا دارای اهمیت بهداشتی نیست اما در صنعت نمک زدایی، الکترو دیالیز، نیروگاه ها و دیگ های بخار به دلیل ایجاد مشکلات مورد توجه است. میزان آن در آب ها متغیر است و در دیگ بخار و در پره های توربین نیروگاه تولید رسوب مزاحم می نماید. در دیگ بخار و با وجود کلسیم به صورت سیلیکات کلسیم و در صورت وجود اکسید آلومینیوم، به صورت سیلیکات آلومینیوم و یا به شکل رسوب سیلیس روی سطوح ترسیب می شود. برای جلوگیری از رسوب سیلیکات کلسیم می توان با افزودن نوعی فسفات به آب مانع تشکیل آن گردید و رسوب ایجاد شده فسفات کلسیم خواهد بود که زدایش آن راحت تر است.

در آب دیگ های بخار با فشار کم در صورتیکه تناسب قلیابیت به سیلیس در حدود یک باشد مشکلی ایجاد نمی شود زیرا رسوب تولید شده مشکل ساز نیست. اما در دیگ های بخار با فشار بالا چون ضرورت دارد که قلیابیت آب زیاد نباشد نسبت سیلیس تغییر می نماید و همراه با بخار، جابجا شده و روی پره های توربین ترسیب می شود که رسوبی است شفاف، سخت و بسیار چسبنده لذا کاهش سیلیس آب دیگ بخار ضرورت دارد.

روش های زدایش آن عبارت است از:

اول) کاربرد آهک دولومیتی در فرایند سختی گیری با آهک و سود؛

دوم) کاربرد سولفات فریک به عنوان دلمه ساز؛

سوم) استفاده از مبادله کننده های آنیونی.

در روش اول، عامل زدایش سیلیس، اکسید منیزیم موجود در آهک

دولومیتی است. در صورتیکه سختی گیری مطرح نباشد و زدایش سیلیس مورد نظر است استفاده از دلمه سازی و زلال سازی با پتوی لجن توصیه می شود.

لازم به توضیح است که آهک دولومیتی مخلوط اکسید کلسیم و منیزیم است که در آب به صورت محلول^۱ در می آید. تناسب آنها به ترتیب ۶۲ درصد هیدروکسید کلسیم و ۳۲ درصد اکسید منیزیم خواهد بود که در حالت خشک این نسبت ها فرق می نماید.

فرایند زدایش سیلیس از آب در دمای بیشتر بهتر انجام می گیرد. در طرح های تامین آب صنعتی با پخش آب روی استیم باعث افزایش دمای آن شده و پس از آن ترکیب شیمیایی سختی گیری همراه با آهک دولومیتی به آب افزوده می شود و در صورت نبود آهک دولومیتی می توان از اکسید آلومینیوم هم بهره گرفت.

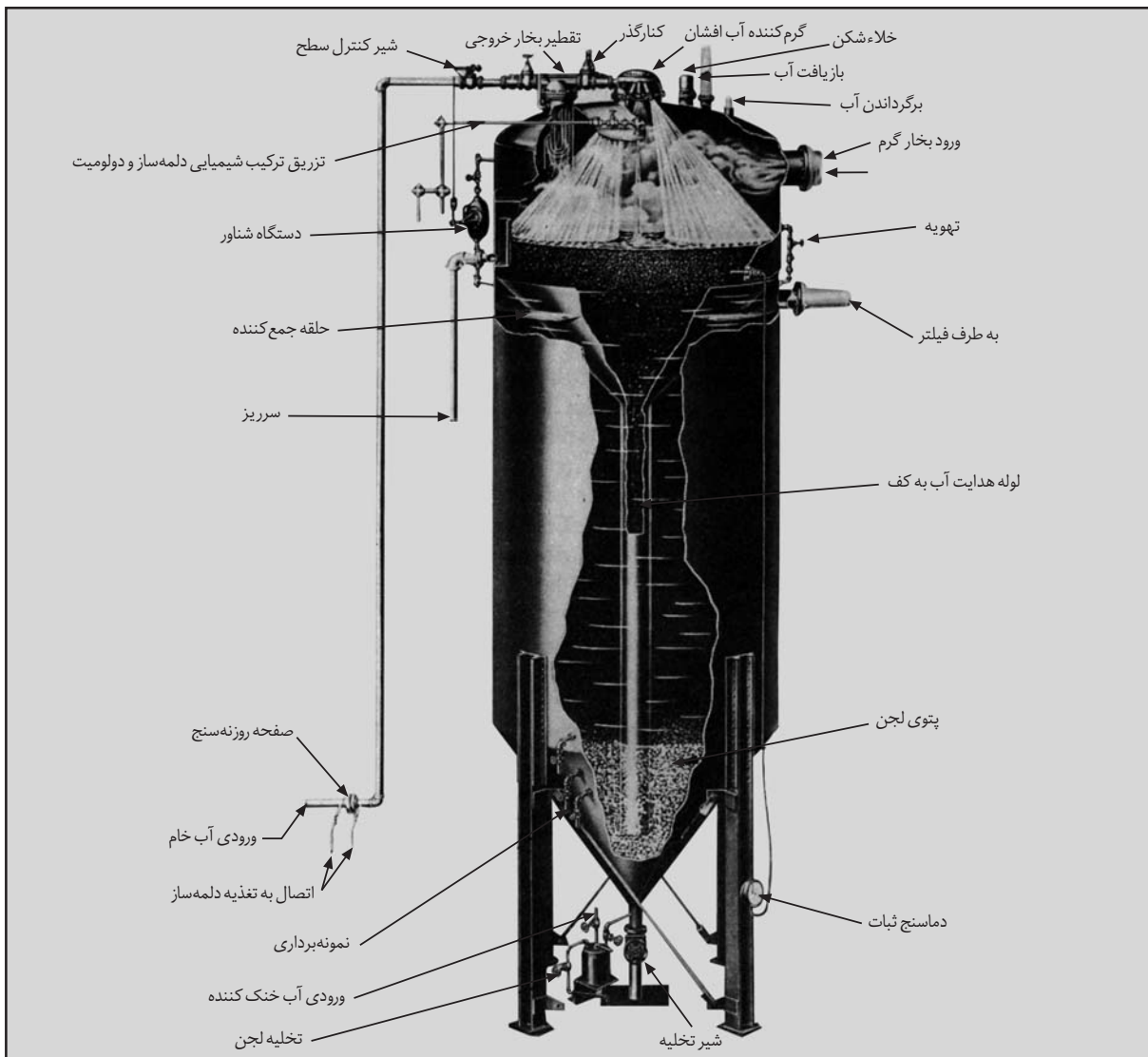
پس از انجام اختلاط کامل در حالیکه دمای آب به حدود ۱۰۰ درجه سانتیگراد رسیده است زدایش عنصرهای مولد سختی و سیلیس انجام می گیرد. زلال ساز باید از نوع پتوی لجن باشد و آب خالص پس از عبور از آن از بالای زلال ساز تخلیه می شود. شکل شماره ۳-۲۴ تاسیسات زدایش سختی و سیلیس در دمای بالا و در ظرفیت کم برای مصارف صنعتی را نشان می دهد.

زدایش سیلیس توسط اکسید منیزیم بیشتر ناشی از واکنش های شیمیایی است. زیرا در پتوی لجن، سیلیکات منیزیوم وجود دارد. به هر حال با حضور اکسید منیزیم در آب با دمای بالا هیدروکسید منیزیم تولید می شود که در زدایش سیلیس بسیار موثرتر است. چون سختی ناشی از منیزیم در آب گرم به صورت هیدروکسید ترسیب می شود لذا سیلیس آب هم زدایش می شود که در بخش سختی گیری مورد توجه قرار گرفته است. در انجام محاسبات تعیین میزان کاربرد آهک دولومیتی، وجود اکسید منیزیم هم باید مورد محاسبه قرار گیرد. چنانکه در آب های با سختی زیاد و سیلیس تقریباً کم، کاربرد سه

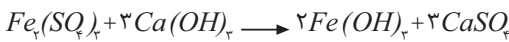
۱. Ca(OH)_۲+MgO



شکل شماره ۳-۲۴- زدایش عنصرهای مولد سختی و سیلیس با استفاده از آهک و سود در دمای بالا و زلالسازی با پتوی لجن



ترکیب آهک، آهک دولومیتی و کربنات سدیم ضرورت دارد و در آب‌های با سختی کم و سیلیس زیاد، آهک، منیزیم و کربنات سدیم کاربرد دارد. در صورتیکه سختی ناشی از منیزیم در حدی نیست که سیلیس را زدایش نماید، سه ترکیب لازم عبارتند از آهک آبدیده، منیزیم و کربنات سدیم. از سولفات فریک هم در پی‌اچ حدود ۹ می‌توان برای زدایش سیلیس استفاده نمود که در صورت کمبود قلیاییت، افزایش آب آهک ضرورت دارد.



میزان لازم سولفات فریک حدود ۸-۲۰ میلی‌گرم در لیتر است که بستگی به غلظت سیلیس در آب خام، حداکثر مجاز آن در آب تولیدی و نتایج عملیات آزمایشی دارد و فرایند آن هم در واقع دلمه‌سازی و ذره‌سازی می‌باشد. توجه شود که طبق واکنش بالا زدایش سیلیس با افزایش املاح آب همراه است.



به هر حال کاربرد دلمه‌ساز سولفات فریک برای کاهش کدورت، رنگ و سیلیس آب متداول است. در صورتیکه اگر زدایش و یا کاهش سیلیس با این فرایند کافی نباشد باید از اکسید منیزیم و یا آهک دولومیتی استفاده نمود که مورد بحث قرار گرفت. استفاده از فرایند تبادل یونی هم باید مورد مطالعه قرار گیرد که در بخش‌های قبلی بدان پرداخته شده است.

۳-۹- خوردگی و رسوب

در صنعت آب خوردگی عبارت است از بروز واکنش‌های فیزیکی شیمیایی و الکتروشیمیایی لوله و یا دیواره مخازن فولادی با آب داخل و یا خاک اطراف آن که در نتیجه فلز تبدیل به یون شده و از بدنه لوله جدا می‌شود. لوله فولادی جدار چاه‌ها هم ممکن است دچار خوردگی شود. از فرایندهای خوردگی فلزات در رابطه با خاک و پیامدهای آن و روش‌های استفاده از آند قربانی و حفاظت کاتدی در این کتاب صحبتی نمی‌شود، بلکه واکنش‌های آب در رابطه با خوردگی و رسوب در داخل لوله‌های آبرسانی مورد توجه قرار می‌گیرد زیرا هدف اصلاح آب است که در طیف دانش تصفیه آب‌ها قرار دارد.

ویژگی‌های موثر در پدیده خوردگی ناشی از آب به چهار دسته تقسیم می‌شود که عبارتند از:

- ویژگی‌های فیزیکی؛
 - ویژگی‌های شیمیایی؛
 - ویژگی‌های بیولوژیکی؛
 - ویژگی‌های سایشی.
- ویژگی‌های فیزیکی عبارتند از سرعت جریان و دمای آب.

ویژگی‌های شیمیایی عبارتند از پی‌اچ، قلیاییت، اکسیژن محلول، دی‌اکسید کربن، املاح محلول، کلرورها، سولفات‌ها و بسیاری دیگر. ویژگی‌های بیولوژیکی عبارتند از گروهی از باکتری‌ها.

ویژگی‌های سایشی عبارتند از اثرذرات معلق در آب همراه با سرعت زیاد آب.

با انجام آزمایشاتی می‌توان آب را از نظر خوردگی مورد مطالعه قرار داد. مهمترین آزمایش‌ها تعیین شاخص لانگلیز، ضریب خوردگی و شاخص پایداری رایزنر^۱ می‌باشد.

شاخص لانگلیز

این شاخص بر مبنای اثر پی‌اچ و قلیاییت آب روی حلالیت کربنات کلسیم موجود در آب قرار دارد. در صورتیکه آب از نظر کربنات کلسیم اشباع باشد که با دما و پی‌اچ ارتباط دارد آن را پی‌اچ اشباع نامند. لذا آب تمایل به حل کلسیم لوله نداشته و رسوب هم تولید نمی‌شود و با دانستن پی‌اچ و پی‌اچ اشباع ضریب لانگلیز محاسبه می‌شود.

$$LSI = pH - pH_s$$

اگر ضریب بزرگ‌تر از صفر باشد تمایل آب را به ترسیب کربنات کلسیم نشان می‌دهد. اگر ضریب کوچک‌تر از صفر باشد تمایل آب را به انحلال کربنات کلسیم نشان می‌دهد. اگر ضریب صفر باشد آب در حالت اشباع و پایدار است. برای تعیین این ضریب در محاسبه پی‌اچ اشباع نیاز به ویژگی‌های زیر است:

- قلیاییت بر حسب میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم؛
- کلسیم بر حسب میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم؛
- مجموع املاح محلول بر حسب میلی‌گرم در لیتر؛
- پی‌اچ؛
- دمای آب؛
- پی‌اچ آب اشباع از کربنات کلسیم.

اما پی‌اچ آب اشباع از معادله زیر به دست می‌آید:

$$pH_s = A + B - \log(Ca) - \log(Alk)$$

1. Ryznar Stability Index

که در آن:

Ca = غلظت کلسیم بر حسب کربنات کلسیم ؛

Alk = قلیائیت بر حسب کربنات کلسیم.

ضریب‌های A و B از دو جدول شماره ۳-۱۸ و ۳-۱۹ به دست می‌آید.

✍ مثال شماره ۳-۳:

آنالیز شیمیایی و فیزیکی آبی به قرار زیر است:

- کلسیم بر حسب کربنات کلسیم ۸۸ میلی‌گرم در لیتر و لگاریتم آن ۱/۹۴
- مجموع املاح محلول ۴۰۰ میلی‌گرم در لیتر؛
- پی‌اچ آب معادل ۸/۲ در دمای ۲۰ درجه سلسیوس؛

📄 جدول شماره ۳-۱۸ – ضریب ثابت A

دمای آب بر حسب سلسیوس	ضریب A
۰	۲/۶
۴	۲/۵
۸	۲/۴
۱۲	۲/۳
۱۶	۲/۱
۲۰	۲
۲۵	۱/۹

📄 جدول شماره ۳-۱۹ – ضریب ثابت B

مجموع املاح محلول	ضریب B
۱۰۰	۹/۷۷
۲۰۰	۹/۸۳
۴۰۰	۹/۸۶
۸۰۰	۹/۸۹
۱۰۰۰	۹/۹۰



- قلیائیت بر حسب کربنات کلسیم ۱۱۰ میلی‌گرم در لیتر و لگاریتم آن ۲/۰۴.

در نتیجه پی‌اچ در شرایط اشباع عبارت است از:

$$pH_s = A + B - \log(Ca) - \log(Alk)$$

$$= 2 + 9/86 - 1/94 - 2/04 = 7/88$$

$$LSI = 8/2 - 7/88 = 0/32$$

در نتیجه این آب تمایل به ایجاد رسوب دارد. منطقی است که باید میزان دی‌اکسیدکربن آزاد آن تعیین و مقدار بی‌کربنات آن محاسبه شود که در بخش‌های قبل مورد توجه قرار گرفته است. باید توجه داشت که اگر دمای آب ۱۲ درجه سلسیوس فرض شود ضریب A معادل ۲/۳ خواهد بود و با فرض ثابت بودن ویژگی‌های دیگر:

$$pH_s = 2/3 + 9/6 - 1/94 - 2/04 = 8/18$$

$$LSI = 8/2 - 8/18 = 0/02$$

در این شرایط آب رسوب گذار نخواهد بود. لازم به یادآوری است که معادله پیش‌گفته برای آب‌های با پی‌اچ در محدوده ۵/۶-۹ کاربرد دارد بنابراین این ویژگی آب تحت تاثیر دمای آب متغیر است.

✍ شاخص رایزنر

در نگاه کلی شاخص رایزنر شبیه شاخص لانگلییر است و معادله آن عبارت است از:

$$RSI = 2pH_s - pH$$

که اگر ضریب کمتر از ۵/۶ شود نشان دهنده رسوب‌دهی آب است و اگر بزرگ‌تر از ۵/۶ باشد نشان دهنده تمایل آب به خوردگی است. لذا می‌توان مشاهده نمود که کیفیت شیمیایی آب باعث خوردگی و یا رسوبدهی می‌شود و قلیائیت، پی‌اچ و دما نقش موثری دارند که در بخش سختی‌گیری هم مورد توجه قرار گرفت. بنابراین لازم است به طور مستمر آب مورد نمونه‌برداری و آزمایش قرار گرفته و شاخص رایزنر آن محاسبه شود.



افزایش غلظت فلزاتی مانند روی و آهن در بخش‌های پایین شبکه توزیع آب نشان از بروز پدیده خوردگی است و در صورتیکه از لوله‌های گالوانیزه استفاده شود یکی از پیامدهای خوردگی حضور کادمیوم در آب است. اگر لوله‌های شبکه توزیع آب از جنس آربست سیمان باشد افزایش کلسیم آب و الیاف آربست از پیامدهای خوردگی است. بررسی سطوح داخلی لوله‌های شکسته شده شبکه نیز می‌تواند وضعیت رسوبدهی و یا خوردگی آب را نشان دهد.

۳-۹-۱- مبارزه با خوردگی

در برخورد با پدیده خوردگی ناشی از آب و پیشگیری از آن می‌توان چهار روش را مورد مطالعه قرار داد:

- اصلاح کیفیت شیمیایی آب؛
- پیش‌بینی آستر حفاظتی بین سطوح لوله و آب؛
- انتخاب لوله مقاوم به خوردگی؛
- افزودن بازدارنده فرایند خوردگی.

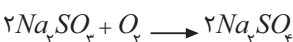
در مورد انتخاب لوله و طراحی تاسیسات انتقال و توزیع، ضخامت و جنس لوله در این کتاب بحثی نمی‌شود، بلکه به مسئله کیفیت آب و تصفیه آن توجه خواهد شد.

✍ اصلاح آب

منظور از اصلاح آب تنظیم پی‌اچ آن می‌باشد. زیرا هرچه پی‌اچ آب پایین‌تر باشد به دلیل افزایش یون‌های هیدروژن که دریافت‌کننده الکترون هستند آب از نظر شیمیایی فعال‌تر بوده و بسیاری از فلزات را به صورت محلول در می‌آورد و از طرف دیگر هرچه پی‌اچ آب بالاتر رود خطر برای فلزاتی پیش می‌آید که هیدروکسید آنها محلول است. با وجود قلیائیت کربناتی، با افزایش پی‌اچ میزان کربنات‌ها در آب افزایش می‌یابد که شرایط بروز خوردگی را نامناسب می‌نماید و طبق معادله لانگلییر هرچه پی‌اچ آب نزدیک‌تر و بزرگ‌تر از پی‌اچ اشباع باشد شرایط خوردگی کمتر ایجاد می‌گردد. برای افزایش قلیائیت و

پی‌اچ آب، از آهک، کربنات سدیم و سود سوزآور می‌توان استفاده نمود. با افزایش یک میلی‌گرم در لیتر کربنات سدیم ۱۵/۹۹ درصد، قلیائیت آب در حدود یک میلی‌گرم در لیتر افزایش می‌یابد و با افزایش یک میلی‌گرم در لیتر اکسید کلسیم حدود ۶/۱ میلی‌گرم در لیتر قلیائیت و ۵/۱ میلی‌گرم در لیتر سختی به آب افزوده می‌شود. در صنعت نمک‌زدایی و تولید آب متعارف از آب‌های شور برای اصلاح آب از سود سوزآور ۹۸ درصد هم استفاده می‌شود و هر میلی‌گرم در لیتر آن ۳۳/۱ میلی‌گرم در لیتر به قلیائیت آب می‌افزاید.

ضمناً برای زدایش اکسیژن که خاصیت خوردگی آب را افزایش می‌دهد غیر از تاسیسات هوازدایی می‌توان از سولفیت سدیم نیز استفاده نمود. بدین ترتیب که سولفیت سدیم با جذب اکسیژن آب تبدیل به سولفات می‌شود.



کاربرد بازدارنده‌های خوردگی مانند فسفات‌های معدنی برای مبارزه با خوردگی هم متداول است. با ایجاد یک لایه پوشش ترکیب فسفات روی سطوح فلزی می‌توان مانع تماس آب با فلز گردید. از پلی فسفات‌ها، ارتوفسفات‌ها، هگزا فسفات‌ها و سیلیکات سدیم همراه با سود سوزآور برای جلوگیری از تولید آب قرمز استفاده می‌شود. در سختی‌زدایی با روش تبادل یون و جلوگیری از تولید آب خورنده این ترکیب‌ها کاربرد دارند. برای جلوگیری از تولید آب قرمز در شبکه توزیع آب شرب اصلاح آب توصیه می‌شود. بدین ترتیب که آب تصفیه شده قبل از هدایت به شبکه توزیع از نظر ضریب لانگلییر برای رقم حدود ۲/۰ - ۳/۰ اصلاح گردد و با انجام عملیات پایش سطوح داخلی لوله‌های اصلی شبکه، مانع از بین رفتن آستر کربنات کلسیم و یا افزایش آن گردید. از مخلوط سیلیکات سدیم و سودسوزآور هم برای جلوگیری از مشکلات آب قرمز استفاده می‌شود. میزان لازم سیلیکات حدود ۱۰ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد و سودسوزآور در حدی باید استفاده شود که پی‌اچ آب بالاتر از ۳/۸ شود.



♦ انجام بررسی های میدانی از حوضه آبریز منبع آب خام و تعیین انواع ترکیب های شیمیایی مورد مصرف در حوضه و احتمال وجود آنها در فاضلاب های تولیدی.

♦ بررسی روش های زدایش آنها در تصفیه خانه آب برای رسیدن به حداکثر غلظت مجاز طبق استاندارد شماره ۱۰۵۳ و به موازات آن اجرای برنامه های کاهش مصرف آنها در حوضه، تصفیه فاضلاب های شهری، صنعتی و کشاورزی و جلوگیری از تخلیه آنها به منابع آب.

♦ جستجو برای پیدا کردن منابع آب دیگر که دارای کیفیت بهتری است.

♦ جدا کردن آب شرب از آب های غیر شرب در شهر.

در ابتدا باید یادآوری شود که زدایش مواد آلی با معیار تی اوسی با روش های مختلفی انجام پذیر است که در فصل های مختلف مورد گفتگو قرار گرفته است. اما قبل از بحث درباره کربن فعال باید گفت که فرایندها و صنایع زیر در زدایش مواد آلی آب دارای عملکردهای مطلوبی هستند:

- هوادهی با روش تزریقی و برج آکنده؛
- اسمزمعکوس و نانو فیلترها و اولترا فیلترها؛
- اکسیداسیون.

بنابراین در صورتیکه آلاینده اصلی آب خام مولد طعم و بو باشد با توجه به گزینه های پیش گفته لازم است پس از عملیات آزمایشی و آنالیز هزینه ها، گزینه مناسب انتخاب شود. البته در این بخش تنها به مقوله کربن فعال پرداخته می شود.

کربن فعال به عنوان جاذب مولکول ها و یون های مواد آلی مولد طعم، بو، حشره کش ها و کلر کاربرد دارد و به صورت پودر خشک و یا دوغاب^۱ و یا گرانول آن در تصفیه خانه های آب شرب و پیش تصفیه



نمک زدایی ممبرانی مورد استفاده است. چون برای جذب توسط آن زمان لازم است پودر آن در بالادست تاسیسات تصفیه متعارف به آب خام افزوده می شود و در فرایند لخته سازی، ته نشینی و حتی شناورسازی از آب زدایش می شود. فیلتراسیون پایین دست هم کار زدایش دانه های پودر باقی مانده را کامل می نماید.

کربن فعال دانه ای^۱ دارای سطحی در حدود ۵۰۰-۱۴۰۰ مترمربع برای هر گرم است و رقم متوسط ۶۵۰ در مراجع آمده است و با توجه به تمایل آن به جذب مواد آلی مستعد به تولید طعم و بو کاربرد آن جنبه متعارف پیدا نموده است. گرانول آن پس از اشباع از مواد آلی جذب شده با دریافت حرارت در شرایط ویژه، دوباره فعال می شود زیرا با دریافت حرارت مواد آلی جذب شده تبخیر و وارد فاز گازی شده و از گرانول جدا می شود. پس از خرید یا احیا و اطمینان به مناسب بودن آن برای مصرف، آزمایشاتی روی آن انجام می گیرد که به صورت استاندارد در آمده است که عبارتند از عدد یدی و عدد قندی.

عدد یدی و عدد قندی

مقدار واقعی بخش فعال حجمی از کربن فعال با عدد یدی و یا عدد قندی تعریف می شود زیرا برای تعیین آن از محلول های استاندارد ید و یا قند استفاده می شود. عدد یدی عبارت است از میزان ید جذب شده برحسب میلی گرم در لیتر از محلول ۰/۰۲ نرمال آن توسط یک گرم کربن فعال و عدد قندی^۲ هم ظرفیت جذب کربن را برای مولکول های بزرگ تر مانند مولکول های مولد رنگ در آب بیان می نماید و جنبه مقایسه ای دارد و معیار سنجش هم رنگ است. این شاخص را به نام عدد رنگبری^۳ کربن هم می نامند. بنابراین عدد یدی و یا قندی یک بستر کربن فعال گرانولی با شروع بهره برداری و جذب مواد آلی رو به کاهش می گذارد. در استاندارد انجمن کارهای آبی آمریکا^۴ گفته شده است که عدد یدی کربن فعال نباید از ۵۰۰ میلی گرم

برای هر گرم کربن فعال کمتر باشد. در جدول شماره ۳-۲۰ آمار مربوط به استفاده از گرانول کربن فعال در سال های ۱۹۷۰ در تصفیه خانه های آب در امریکای شمالی را نشان داده است. امروزه این رقم ده ها برابر شده است.

جدول شماره ۳-۲۰ – تصفیه خانه های آب دارای تاسیسات گرانول فعال (امریکا ۱۹۷۰)

ایالت محل نصب	سال نصب	ظرفیت تصفیه خانه (مترمکعب در روز)	ضخامت بستر گرانول (سانتیمتر)
ویرجینیا	۱۹۶۱	۱۱،۳۵۵	۶۰
ویرجینیا	۱۹۶۶	۳۷،۸۵۰	۷۲
کالیفرنیا	۱۹۶۳	۶،۰۰۰	۳۰
اکلاهما	۱۹۶۷	۲۰،۰۰۰	۹۰
ماساچوست	۱۹۶۸	۱۷،۰۰۰	۲۸
ماساچوست	۱۹۶۹	۳۷،۸۵۰	۶۰
اهایو	۱۹۶۹	۳۰،۰۰۰	۴۵
اکلاهما	۱۹۷۰	۱۷،۰۰۰	۶۰
ایلینویز	۱۹۷۱	۲۷،۰۰۰	۴۵
کنتاکی	۱۹۷۰	۶،۰۰۰	۶۰
میشیگان	۱۹۶۸	۲۷،۰۰۰	۶۰

به کمک عملیات اندازه گیری میزان ماده جذب شده توسط میزان معین کربن فعال و رسم منحنی تغییرات آنها می توان ضرایب را تعیین نمود که در محدوده کار تصفیه آب قرار نمی گیرد و از ادامه بحث خودداری می شود.

از معادله فروندلیچ^۵ برای محاسبات مربوط به غلظت های کم آلاینده ها استفاده می شود که به صورت زیر می باشد:



- براساس تجارب حداقل زمان تماس آب و ذرات کربن باید ۱۵ دقیقه باشد. گرچه برای جذب بعضی از ترکیب‌های آلی زمان تماس بیشتری لازم است.
- سطح ذرات کربن فعال نباید توسط ترکیب‌هایی مانند ماده دلمه‌ساز و یا روغن پوشیده شود زیرا فرایند جذب سطحی با مشکل روبرو می‌شود.
- کاربرد هم زمان آن با کلر و پرمنگنات و یا هر اکسیدکننده دیگر باعث می‌شود که عدد یدی آن برای جذب آلاینده‌ها کاهش پیدا نماید.

- در بهره‌برداری از فیلترهای پایین دست توجه شود که پودر آن از فیلتر عبور نکرده و وارد شبکه توزیع نشود.

- در صورتیکه در تاسیسات استفاده از میکروفیلتر و اولترافیلتر کاربرد آن ضرورت دارد لازم است قبل از انتخاب ممبران با سازنده آن مشورت شود زیرا بعضی از انواع پلیمرهای مورد استفاده برای ساخت این فیلترها با کربن فعال سازگاری ندارد.

- میزان کاربرد آن حداکثر حدود ۲۰ میلی‌گرم در لیتر است و بدون عملیات آزمایشی تصمیم‌گیری در مورد انتخاب آن منطقی نیست.
- با توجه به احتمال تغییر میزان غلظت آلاینده‌ها در آب خام، تاسیسات تزریق آن هم باید دارای انعطاف‌پذیری در میزان تزریق باشد.

- انجام نمونه‌برداری مستمر و تعیین میزان غلظت آن در مرحله بهره‌برداری ضرورت دارد.

گزینه‌های محل تزریق پودر کربن فعال به آب خام طبق جدول شماره ۳-۲۱ قابل مطالعه و انتخاب است.

که در آن: $\frac{X}{m} = KC^{1/n}$

X = میزان رنگ جذب شده؛
 m = وزن کربن مورد استفاده و لذا $\frac{X}{m}$ نشان‌دهنده تناسب رنگ جذب شده به واحد وزن کربن؛
 K = ضریب ثابت؛
 C = مقدار رنگ جذب نشده؛
 ۱/n = شیب خط مقادیر جذب شده.

ویژگی‌های عمومی گرانول کربن فعال به قرار زیر است:

- وزن^۱ در حدود ۴۲۰ کیلوگرم در مترمکعب؛
- سطح در حدود ۸۵۰-۱۵۰۰ مترمربع در گرم؛
- وزن مخصوص ۱/۳-۱/۴ گرم در سانتیمتر مکعب و جرم حجمی ۰/۳-۰/۴؛
- اندازه موثر ۰/۸-۰/۹ میلیمتر؛
- ضریب یکسانی کمتر از ۱/۹؛
- عدد یدی بیشتر از ۸۵۰؛
- عدد سایش بیشتر از ۷۰؛
- خاکستر کمتر از ۸ درصد. اما طبق استاندارد B-۶۰۴ خاکستر قابل حل در آب باید کمتر از ۴ درصد باشد؛
- رطوبت کمتر از ۲ درصد.

ویژگی‌های پیش‌گفته در کربن فعال سازندگان مختلف یکسان نیست چنانکه عدد یدی می‌تواند به حدود ۱۰۰۰-۱۲۰۰ هم برسد و برای انتخاب و کاربرد آن به چند نکته باید توجه نمود که عبارتند از:

- زمان تماس کربن با مواد آلی آب - باید توجه داشت که ذرات کربن به صورت معلق در آب باشد و در سطح آب شناور نشود. زیرا برای انجام فرایند جذب سطحی، تماس آلاینده موجود در آب با سطح ذرات جاذب ضرورت دارد.



جدول شماره ۳-۲۱- گزینه‌های محل تزریق پودر کربن فعال

محل تزریق	مزایا	محدودیت‌ها
آبگیر	اختلاط بهتر و زمان تماس بیشتر در لوله انتقال آب خام تا تصفیه خانه.	ممکن است بخشی از آن جذب تاسیسات انتقال شده لذا میزان بیشتری باید مصرف شود.
قبل از اختلاط سریع و دلمه‌سازی و به صورت دوغاب	زمان کافی باید پیش‌بینی شود و عملکرد بهتری دارد.	یک واحد هیدرولیکی ویژه همراه با تاسیسات آن مورد نیاز خواهد بود.
با دلمه‌ساز و در واحد اختلاط سریع	اختلاط خوب انجام می‌گیرد و در واحد تولید ذره زمان تماس کافی خواهد بود.	احتمالا میزان لازم باید به دلیل دخالت دلمه‌ساز در کار جذب افزایش یابد و بدون آزمایش توصیه نمی‌شود.
ورودی به فیلترها	نیاز کمتر به پودر دارد.	احتمال فرار پودر از فیلتر وجود دارد.

- پمپ تزریق که باید از نوع محوری^۱ بوده و دارای روتامتر باشد و پمپ تزریق یدک هم پیش‌بینی شود.
- تمام لوله‌ها، اتصالات و شیرهای تاسیسات باید نسبت به خاصیت خوردگی پودر و دوغاب کربن فعال مقاوم و تمهیدات شستشوی آنها فراهم باشد.
- ذخیره آن بهتر است به صورت دوغاب و در مخزن مناسب باشد و انتقال آن به مخازن مصرف روزانه هم ثقلی انجام گیرد.
- تمهیدات شستشوی تاسیسات با آب باید پیش‌بینی شود و سرعت آب در داخل لوله‌ها بیشتر از ۱/۵ متر در ثانیه باشد تا پودر رسوب کرده را از تاسیسات تخلیه نماید.
- دوغاب آن باید به طور مستمر توسط همزن مخلوط شود زیرا دوغاب با سرعت صلب می‌شود. برای اطمینان از عملکرد مطلوب در زمان نیاز، در ایامی هم که استفاده نمی‌شود باید به طور آزمایشی استفاده شود.
- تهیه دستورعمل بهره‌برداری و نگهداری از تاسیسات و مراعات آن ضرورت دارد.

دوغاب پودرکربن فعال اکسیژن هوا را جذب می‌نماید لذا اکسیژن هوای محیط را کاهش می‌دهد، به علاوه گرد و غبار آن در هوای محیط بسته قابل انفجار است و در نتیجه پیش‌بینی تمهیدات ایمنی ضرورت دارد. از مهمترین این تمهیدات دستگاه اندازه‌گیری اکسیژن، کمربند ایمنی و حضور هم زمان یک کارگر همراه متصدی در فضای بیرون اتاق و یا انبار برای کمک‌رسانی به کارگر درون ساختمان است. کلید و پریزها هم باید ضد ایجاد جرقه باشد و نیز تهیه آیین‌نامه لازم و رعایت آن برای این استفاده‌ها یک ضرورت است.

دوغاب کربن فعال می‌تواند آلاینده‌های آلی موجود در هوا را هم جذب نماید لذا انتخاب محل انبار آن نیاز به توجهات بیشتری دارد. انبار مستقل و جداگانه اولین نیاز است، انبار نمودن کیسه‌های آن باید طبق دستور سازنده انجام گیرد.

تاسیسات لازم در کاربرد دوغاب کربن فعال عبارتند از:

- مخزن تهیه دوغاب تاسیسات و تزریق، لازم است که همیشه به صورت دو واحد موازی پیش‌بینی شود و باید دارای تمهیداتی مانند همزن، کنترل سطح آب و دوغاب، تخلیه پودر به داخل آن و امکانات جلوگیری از بخش گرد و غبار باشد.

1. Rotary

1. $\frac{\text{mg}}{\text{V}}$



از نظر اندازه دانه‌های پودر کربن فعال باید ۹۹ درصد آن از توری با مش ۱۰۰ عبور نماید که اندازه حدود ۰/۰۶ میلی‌متر را نشان می‌دهد.

۳-۱۰-۱- گرانول کربن فعال

در صورتیکه از گرانول کربن فعال استفاده شود دستگاه مورد نیاز را فیلتر می‌نامند. این فیلترها به سه صورت زیر می‌تواند نصب و مورد بهره‌برداری قرار گیرد:

- قبل از تاسیسات تصفیه متعارف که با نام پیش فیلتر جذبی شناخته می‌شود.
- بعد از تاسیسات تصفیه متعارف که با نام فیلتر جذبی پس از تصفیه معروف است.
- بخشی از فرایند تصفیه متعارف است و فیلتراسیون همراه با جذب انجام می‌گیرد.

استفاده از روش اول در تاسیسات آب شرب عموم متداول نبوده و مورد توصیه هم نیست زیرا گرانول آن قدرت جذب سطحی خود را با سرعت از دست می‌دهد. اما روش دوم بیشترین کاربرد را دارد زیرا آب تصفیه شده که دارای کمترین مواد معلق و مواد آلی است به آن هدایت می‌شود.

عملکرد این فیلترها تحت تاثیر ویژگی‌های زیر می‌باشد:

- بار هیدرولیکی و تاسیسات ابزار دقیق برای حفظ آن؛
- بار مواد آلی فیلتر؛
- ویژگی‌های گرانول مناسب؛
- زمان برای بستر خالی و فرار مواد آلی؛
- حجم و ضخامت گرانول در بستر فیلتر؛
- تسهیلات و تمهیدات بکواش با توجه به ویژگی‌های فیزیکی گرانول.

اصول طراحی فیلترهای گرانول کربن فعال شبیه فیلترهای ماسه‌ای و آنتراسیت است بدین ترتیب که با توجه به بار هیدرولیکی مجاز و ظرفیت تصفیه‌خانه تعداد و سطح فیلترها تعیین می‌شود. مبنای اصلی کار زمان تماس برای بستر خالی است که باید برای بدترین شرایط از نظر غلظت مواد آلی و میزان آب مورد تصفیه، طراحی‌ها انجام گیرد و باید توجه داشت که نوع ماده آلی مورد زدایش و غلظت آن در آب خام و فرایندهای بالادست فیلتر روی عملکرد آن دخالت دارد.

ویژگی‌های انواع آن که در امریکا تولید و مورد استفاده است در جدول شماره ۳-۲۲ نشان داده شده است.

فرار آلاینده‌ها^۱

تعیین مقدار کربن فعال لازم در تصفیه‌خانه به دو ویژگی فرار آلاینده و زمان تماس بستگی دارد. منظور از فرار آلاینده زمانی است که غلظت آلاینده مورد زدایش در آب خروجی از فیلتر بیشتر از حد مجاز مورد

نظر گردد و شاخص تی‌اوسی هم برای آن استفاده می‌شود.

به طور کلی زمانی که غلظت تی‌اوسی در آب خروجی به مدت ۳ روز متوالی بیشتر از عملکرد تعریف شده فیلتر گردد زمان تعویض بستر رسیده است که این وضعیت بستگی به غلظت و مقدار آلاینده در آب و ویژگی‌های بستر مورد استفاده دارد. به طور متعارف عملکرد چنین است که در ابتدایه‌های بالای گرانول فیلتر از مواد آلی اشباع می‌شود و کم‌کم لایه‌های زیرین تا اینکه حضور آلاینده‌ها در آب خروجی مشاهده می‌شود. بنابراین تهیه منحنی تغییر غلظت آلاینده در آب خروجی در رابطه با مدت بهره‌برداری ضرورت دارد.

زمان تماس

زمان تماس حاصل تقسیم حجم خالی فضایی است که گرانول در فیلتر اشغال می‌نماید به میزان آب مورد تصفیه و در تعریف دیگر



جدول شماره ۳-۲۲ - ویژگی‌های چند نوع گرانول کربن فعال در امریکا

انواع ویژگی	جی‌ای سی ۴۰ ^۱ ذغال بیتومین یا نرم ۱	فیلتراسرب ^۲ ذغال بیتومین یا نرم ۱	هیدرودارکو ^۳ اچ دی ۱۰۳۰	هیدرودارکو ^۴ ۸۳ پلاس	ویتکورپ ^۵
اندازه موثر (میلی‌متر)	۰/۶	۰/۸-۰/۹	۰/۸-۰/۹	۰/۸-۰/۹	۰/۸-۰/۹
ضریب یکسانی	کمتر از ۱/۹	کمتر از ۱/۹	کمتر از ۱/۷	کمتر از ۱/۷	کمتر از ۱/۷
وزن مخصوص (گرم بر سانتیمتر مکعب)	۰/۴۷	۰/۴-۰/۵	۰/۴-۰/۵	۰/۴۷	۰/۴۶-۰/۵۳
ضریب یدی (میلی‌گرم در گرم)	۱۰۵۰	۱۰۵۰	۶۰۰	۹۰۰	۱۰۵۰
سطح کل برای گرم گرانول (مترمربع)	۱۱۰۰-۱۰۰۰	۱۰۵۰	۶۵۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰

عبارت است از تقسیم ضخامت بستر گرانول به سرعت جریان آب و یا بار هیدرولیکی.

این زمان در واقع زمان ماندگاری و تماس آب در بستر گرانول است که تعیین آن به سادگی انجام می‌گیرد. اما زمان واقعی تماس آب با سطوح کربن فعال به حجم تخلخل بستر بستگی دارد که خود تابعی است از اندازه ذرات و تغییرات آن که مشاهده گردید که در انواع گرانول‌ها یکسان نبوده و اندازه گیری آن ساده نیست.

میزان بار هیدرولیکی در محدوده ۶-۱۲ متر در ساعت و ضخامت بستر هم در محدوده ۰/۷-۳ متر قرار دارد که زمان تماس آب با مصالح بستر را تعریف می‌نماید. با توجه به اینکه فرایند کار، جذب سطحی است لذا زمان تماس باید ملاک محاسبات قرار گیرد و بار سطحی نقش غیر مستقیم دارد. در حالیکه اگر لازم باشد بستر دو فرایند فیلتراسیون و جذب را انجام دهد بار هیدرولیکی باید مورد توجه قرار گیرد و در این صورت چون عملیات بکواش مصالح فیلتر ضرورت دارد ویژگی‌های سختی مصالح نیز دارای اهمیت می‌شود.

گرانول ساخته شده از ذغال سنگ دارای ویژگی‌های نزدیک به آنتراسیت است و برای این نوع فیلترها مناسب است. هر چه زمان

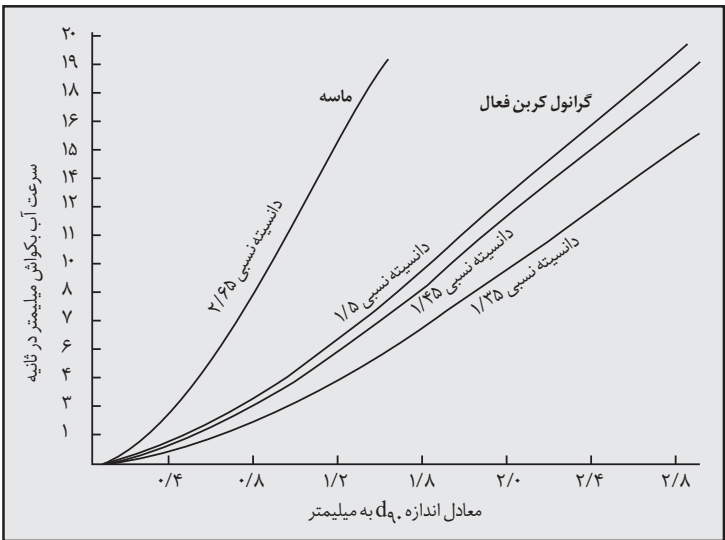
تماس بیشتر شود فرار آلاینده‌ها دیرتر رخ می‌دهد و لذا هر چه مقدار گرانول مورد استفاده بیشتر شود طول زمان تعویض مصالح بستر برای احیا و یا فعال سازی دوباره طولانی‌تر می‌شود. در بهره‌برداری از بستر گرانول کربن فعال در صورتیکه در عملیات بکواش انبساط بستر ضرورت دارد، ارتفاع آزاد باید نصف ضخامت مصالح و حداقل ۲۰-۳۰ درصد ضخامت بستر باشد.

بکواش

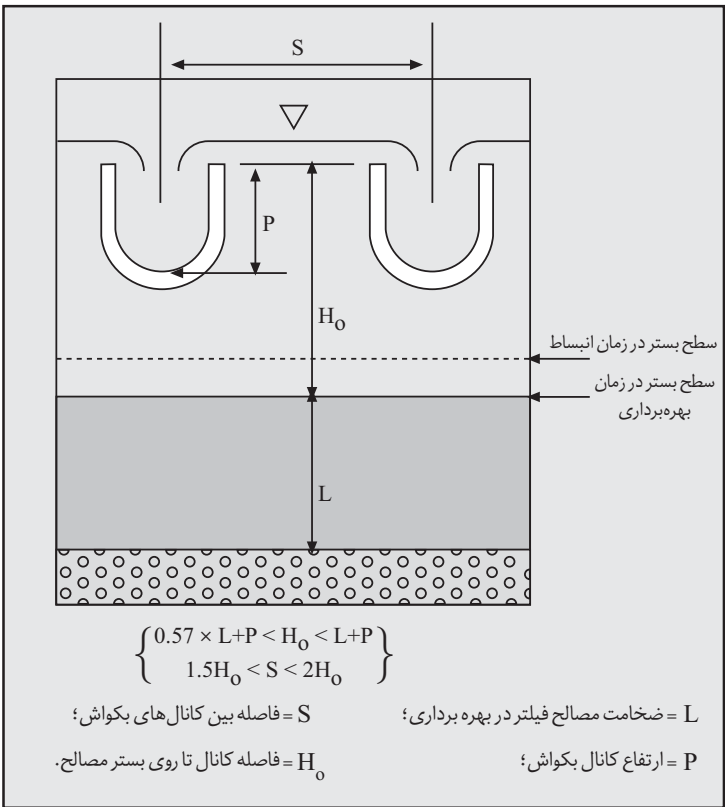
روش انجام بکواش گرانول کربن فعال مشابه فیلترهای دانه‌ای دیگر است. حال اگر لازم باشد بستر فیلترکار فیلتراسیون را نیز انجام دهد اصول طراحی و بکواش آن در فصل ششم کتاب به تفصیل آورده شده است. فیلتراسیون می‌تواند از بالای بستر به زیر و یا برعکس باشد به علاوه می‌توان با فشار هیدرولیکی و یا با جریان ثقلی انجام گیرد. لازم است توجه شود که میزان آب برای بکواش بستگی به درصد انبساط لازم دارد که خود تابعی است از توزیع دانه‌بندی مصالح بستر و ویژگی‌های گرانول مانند چگالی و دمای آب مورد استفاده. برای جلوگیری از تولید گلوله‌های گلی استفاده از عملیات شستشوی سطحی



شکل شماره ۳-۲۵ - روابط اندازه d_{۹۰} مصالح بر حسب میلیمتر و میزان آب بکواش برای آب با دمای ۲۰ درجه سلسیوس



شکل شماره ۳-۲۶ - ویژگی‌های کلی کانال‌های بکواش



توصیه شده است. در شکل شماره ۳-۲۵ روابط لازم

برای تعیین میزان آب بکواش و دانه‌بندی مصالح بستر نشان داده شده است و شکل شماره ۳-۲۶ فرازهای طراحی تاسیسات بکواش را نشان می‌دهد.

توجه شود که هدف از بکواش ایجاد انبساط و لایه‌بندی دوباره برای بهبود فرایند جذب است. از آنجا که چگالی گرانول کربن فعال نسبت به ماسه کمتر است، جهت عملیات بکواش و انبساط بستر به سرعت آب کمتری نیاز است. چنانکه اگر فشار آب در زیر بستر حدود ۳ متر باشد برای انبساط آن کافی است. اما اگر بستر بخشی از آب خود را از

دست داده باشد مشکل انبساط پیش می‌آید زیرا لایه‌های بالای بستر که در محیط آب مستغرق نیست انبساط نمی‌یابد. بنابراین ممکن است که

فشار اعمال شده با توجه به سطح اثر، نیرویی ایجاد کند که به تاسیسات خسارت وارد نماید. بنابراین بهتر است افزایش سرعت آب بکواش به آرامی انجام گیرد تا تمام بستر منبسط شود و سرعت آب

از حدود ۸-۱۰ متر در ساعت باید به آرامی به حد لازم برسد. کاهش فشار آب و سرعت آن هم باید به آرامی انجام گیرد تا لایه‌بندی مصالح بستر رخ دهد.

تخلیه گرانول کربن از محفظه فیلتر هم بهتر است به صورت دوغاب باشد. لذا پیش‌بینی چندین دریچه تخلیه در کف محفظه مورد توصیه است گرچه پیش‌بینی یک دریچه هم می‌تواند کار تخلیه را در زمان بیشتری انجام دهد. در طراحی فیلتر دو جنسی

ماسه - کربن فعال توجهات زیر ضرورت دارد:



● ضخامت مصالح جذبی می‌تواند تمام بستر دانه‌ای را تشکیل داده باشد و یا مانند فیلترهای دو جنسی از دو نوع مصالح ساخته شده باشد؛

● محل تزریق کلر برای میکروبخشی باید پایین دست فیلتر باشد؛

● اندازه موثر و ضریب یکسانی و دانسیته دو نوع گرانول؛

● محدودیت‌های مربوط به افت فشار هیدرولیکی؛

● کنترل بار هیدرولیکی و میزان آب بکواش.

۳-۱۰-۲- اصلاح فیلترهای تند

برای تبدیل فیلترهای تند ثقلی به فیلترهای دو منظوره مورد بحث می‌توان فیلتر دو جنسی ماسه گرانول کربن را انتخاب نمود و یا تک جنسی تمام گرانول کربن فعال، که در فصل ششم کتاب مورد بحث قرار گرفته است.

باید توجه داشت که این فیلترها مانند انواع دیگر با ادامه بهره‌برداری و تکرار عملیات بکواش بخشی از مصالح خود را از دست می‌دهند. اما برای جلوگیری و کاهش از دست رفتن مصالح، لبه‌لاندِر جمع‌کننده آب بکواش باید در ارتفاع مناسب قرار گیرد که در شکل شماره ۳-۲۶ نشان داده شده است. گر چه برای تصمیم‌گیری با توجه به ویژگی‌های گرانول مورد استفاده و دمای آب انجام محاسبات دقیق ضرورت دارد.

۲- میزان مصرف کربن

منظور از میزان مصرف کربن تعیین نرخ کاهش قدرت جذب گرانول کربن نسبت به مواد آلی و زمان تعویض آن می‌باشد. برای تعیین آن یا از مدل فیزیکی استفاده می‌شود و یا از مدل منحنی‌های هم جذب^۱ و برای ارزیابی کار از تاسیسات آزمایشی باید استفاده شود و معیارهای طراحی دستگاه آزمایشی هم باید مشابه معیارهای طراحی تاسیسات

صنعتی انتخاب شود.

مشاهده گردید که با افزایش زمان تماس، میزان جذب مواد آلی آب توسط کربن بیشتر می‌شود و هر چه ضخامت بستر بیشتر شود مواد آلی بیشتری جذب کربن شده و احتمال فرار آن کمتر می‌شود. اما چون هر چه مقدار کربن و ضخامت آن در محفظه بیشتر باشد طبعاً هزینه ساخت محفظه بیشتر و زمان بین دو تعویض هم طولانی‌تر می‌شود، بنابراین گزینه‌های مختلف وجود دارد که باید وضعیت بهینه تعریف شود. در واقع دو ویژگی مهم زمان تماس و میزان مصرف کربن فعال است که میزان سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

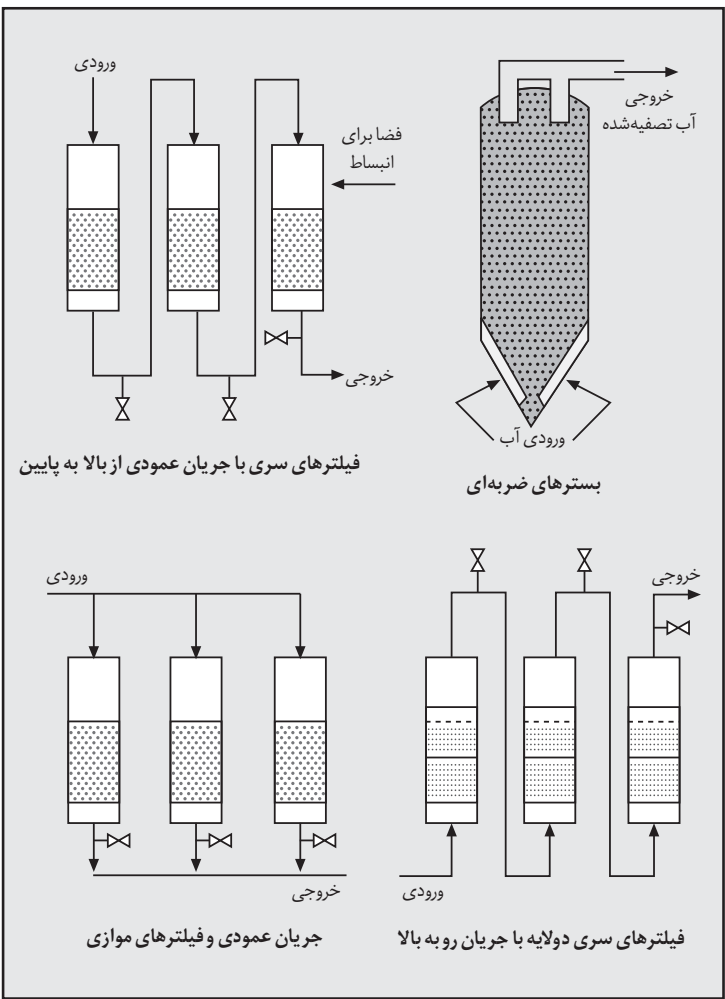
یادآوری گردید که این فیلترها در پایین دست تاسیسات تصفیه متعارف قرار می‌گیرند و چون آب ورودی به آنها تصفیه شده است فاصله بین دو تعویض طولانی‌تر است. در این نوع واحدهای جذبی اندازه موثر گرانول کوچکتر و ضریب یکسانی بزرگ‌تر انتخاب می‌شود تا فرایند جذب سریع‌تر و لایه‌بندی بستر از نظر جذب بهتر و عملکرد کلی مطلوب‌تر گردد. این شبه فیلترها در زدایش آلودگی میکروبی باقی‌مانده مناسب‌تر از روش‌های دیگر مانند افزودن ازن هستند. در شکل شماره ۳-۲۷ چند نوع ترتیب قرارگیری این واحدهای جذبی نشان داده شده است.

۲- ترتیب استقرار سری

در ترتیب پشت سر هم معروف به سری همانطور که شکل پیش‌گفته نشان می‌دهد جهت حرکت آب از سطح بستر به طرف کف آن است و زمان بستر خالی با توجه به تعداد آنها تعیین می‌شود. لذا واحد اول زودتر و واحد آخر دیرتر به مرحله تعویض مصالح بستر می‌رسد. با در نظر گرفتن یک واحد یدک باید ترتیبی داده شود که با باز و بسته کردن شیرهای پیش‌بینی شده، واحد یدک جایگزین واحد اول بشود



شکل شماره ۳-۲۷ - انواع ترتیب استقرار فیلترهای گرانول کربن فعال



بسترهای ثابت و موازی

در تصفیه آب شهری ترتیب بسترهای موازی و با جریان رو به پایین بیشتر طرفدار دارد. در صورتیکه از بستر برای دو فرایند فیلتراسیون و جذب استفاده می شود این ترتیب هیدرولیکی مناسب تر است. لذا آب مورد تصفیه بین واحدها تقسیم و زمان تماس هر واحد به طور مستقل محاسبه می شود. برای شستشوی بستر باید از عملیات بکواش بهره گرفت که اصول آن در فصل ششم مورد بحث قرار گرفته است. در شرایطی که آب ورودی به فیلتر جذبی از خروجی تصفیه خانه متعارف یعنی فیلترهای آن تامین می شود در حالیکه جریان آب در آن از بالا به پایین است اما به دلیل صافی آب ورودی به آن عملیات بکواش کمتر ضرورت پیدا نمی نماید.

بسترهای غیر ثابت

در این واحدها که آب از پایین بستر وارد و از بالا خارج می شود برای آب های دارای کدورت زیاد مناسب تر است. زیرا در بکواش که ریز دانه ها در بالا قرار می گیرند اگر جریان از بالا باشد افت فشار

با سرعت بیشتری افزایش می یابد. اگر چه برای آب های با کدورت کم هم این مدل هیدرولیکی مناسب تر است. در این مدل جریان، گرانول بستر تا حدودی منبسط گردیده و باعث می شود که از سطح بیشتری از گرانول برای جذب مواد آلی استفاده شود.

بسترهای ضربه ای^۱

چون یک بستر ضربه ای دارای جریان رو به بالاست. جهت حرکت



آب خام و جهت حرکت گرانول ها در تقابل هستند و تخلیه کربن مصرف شده از زیر بستر می تواند به طور مستمر و یا متناوب انجام گیرد و کربن فعال هم از بالا به سیستم اضافه می شود و این فرایند تخلیه و جایگزینی مانع عملیات مستمر تولید آب نمی شود.

در این مدل از فیلترهای جاذب، بیشترین استفاده از قدرت جذب کربن می شود. اما وجود ذرات معلق و مواد آلی قابل مصرف باکتری ها باعث تشکیل بیوفیلم روی گرانول ها شده لذا بکواش فیلتر ضرورت دارد و انجام آن باعث اختلاط گرانول های نو و کهنه شده و از امتیازات این نوع بستر می کاهد. کیفیت آب تولیدی این فیلتر دارای تغییرات کمتری است.

طرح محفظه گرانول کربن فعال

محفظه نگهدارنده گرانول جاذب بستگی به ظرفیت، نوع گرانول، روش بهره برداری و تعداد واحدها دارد و معمولاً استوانه ای می باشد که می تواند تحت فشار هیدرولیکی و یا ثقلی عمل نماید. اما انواع با مقطع مربع مستطیل هم مورد استفاده قرار می گیرد. در جدول شماره ۳-۲۳ چهار نوع شکل محفظه بستر جاذب نشان داده شده است که عبارتند از:

- فولادی بدون سقف و با جریان هیدرولیکی ثقلی؛
- فولادی با سقف و با جریان هیدرولیکی ثقلی؛
- فولادی با سقف و تحت فشار هیدرولیکی؛
- بتنی بدون پوشش و با جریان هیدرولیکی ثقلی.

جدول شماره ۳-۲۳ - انواع محفظه تاسیسات گرانول کربن جاذب

نوع محفظه	جنس مصالح	حجم (مترمکعب)	قطر (متر)	توجهات
فولادی ثقلی	با آستر کربن	۶۰-۱۷	۹-۶	با توجه به امکانات ساخت
فولادی تحت فشار	با آستر کربن	۱۴۰-۶	۳/۶ تا	-
بتنی ثقلی	بتن مسلح	۵۰۰-۵	مربع مستطیل	تناسب طول به عرض ۲ به ۱

در ظرفیت های کم معمولاً از تاسیسات تحت فشار استفاده می شود، گر چه انواع ثقلی آن طرفداران بیشتری دارد.

محفظه های استوانه ای برای جریان ثقلی و تحت فشار کاربرد دارند و می توانند به صورت سری و یا موازی قرار گیرند و تعداد آنها بستگی به ظرفیت تولید آب و امکانات ساخت دارد. انتخاب، طرح و بهره برداری از محفظه های مستطیلی مانند یک تصفیه خانه متعارف آب است که در فصل ششم مطرح گردیده است.

پس از محاسبه و تعیین حجم مصالح گرانول و سطح لازم، تعداد واحدها قابل انتخاب است اما توجه به ویژگی های زیر ضرورت دارد:

- سرمایه گذاری اولیه؛
- هزینه های بهره برداری؛
- سهولت بهره برداری و انعطاف پذیری؛
- تاسیسات مورد نیاز بکواش با توجه به سطح واحدها زیرا با بزرگ تر شدن سطح فیلتر تاسیسات بکواش باید برای جابجایی آب بیشتری طراحی شود؛
- امکانات حفظ میزان آب بکواش و انعطاف پذیری آن یعنی استفاده از تاسیسات ابزار دقیق؛
- لوله کشی ها و شیرهای لازم؛
- توجهات سازه ای.

۳-۱۰-۳ - اصول بهره برداری

در تاسیسات با ظرفیت زیاد تولید آب، نوع فیلترهای ثقلی بیشتر مورد استفاده قرار می گیرد و برای ظرفیت های کم از فیلترهای تحت فشار

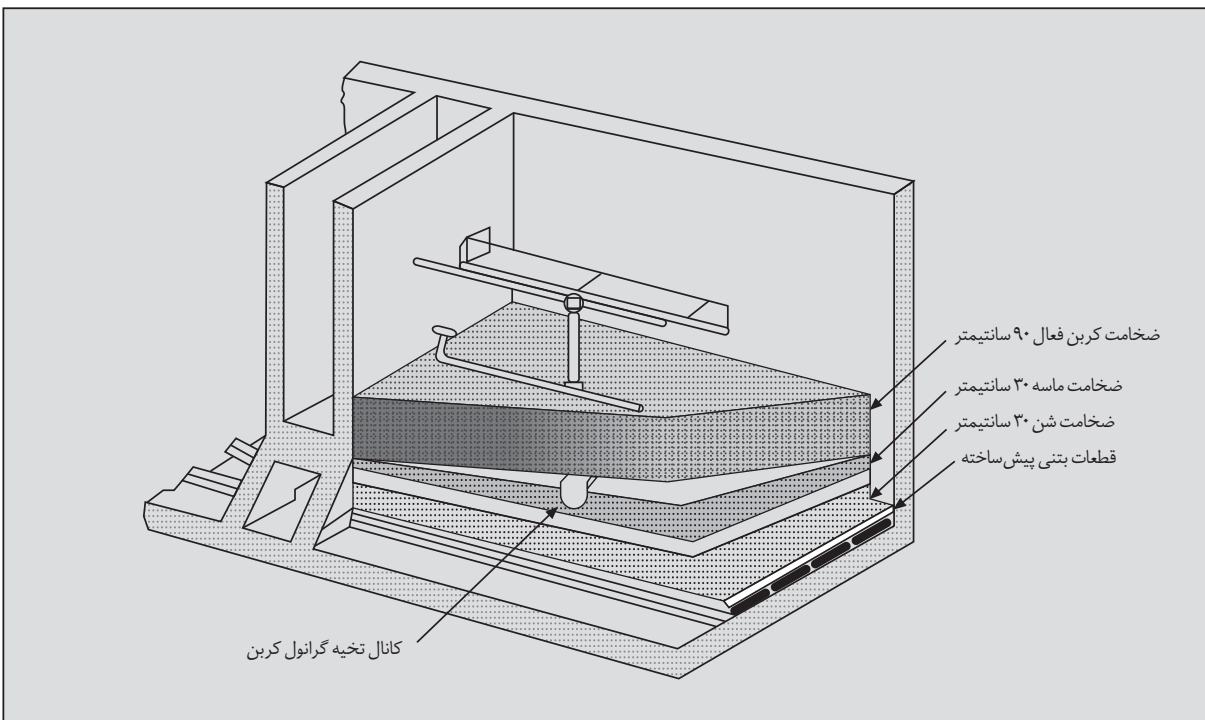
نیز استفاده می شود. در انواع تحت فشار هیدرولیکی

می توان بستر را طوری طراحی نمود که جریان آب خام ورودی از سطح و یا از کف فیلتر وارد بستر بشود.

در انتخاب تاسیسات تحت فشار هیدرولیکی و یا فیلترهای با جریان ثقلی باید توجه نمود که در اکثر تاسیسات چه قدیمی و چه جدید که از فیلترهای



شکل شماره ۳-۲۸- مقطع یک فیلتر ثقلی بتنی گرانول کربن فعال



- حمل و نقل و احیا گرانول؛
- توجه به رشد بیوفیلم و بار سطحی.

بستر دو منظوره در حقیقت نوعی فیلتر دو لایه است که در فصل ششم مورد بحث قرار گرفته است. توجه شود زمانی که گرانول در محفظه فیلتر قرار می‌گیرد در ابتدا چگالی آن حدود ۱۰ درصد کمتر از چگالی بسته بندی اولیه است و پس از اولین بکواش باز هم کمتر و به حدود ۱۷ درصد کمتر می‌رسد که حدود ۷ درصد انبساط یافته است. در یک بستر با ضخامت ۶۰ سانتیمتر که ۸ درصد انبساط می‌یابد ارتفاع آن حدود ۴/۸ سانتیمتر افزایش می‌یابد، این وضعیت مشکل بهره‌برداری به همراه نخواهد داشت. در صورتی که اگر ضخامت بستر بیشتر شود نتیجه انبساط می‌تواند روی بهره‌برداری دخالت نماید. از طرف دیگر در فرایند بهره‌برداری تراکم مصالح بوجود می‌آید. لذا اگر تاسیسات شستشوی سطحی پیش بینی می‌شود این انبساط باید مورد محاسبه قرار گیرد و برای بسترهای با ضخامت زیاد استفاده از شستشوی

جذبی پس از تصفیه متعارف و در پایین دست فیلترهای تصفیه‌خانه استفاده می‌شود به دلیل نبود و یا کمبود فشار هیدرولیکی، با استفاده از پمپ مناسب از تاسیسات تحت فشار استفاده می‌شود که معمولاً هزینه‌های آن کمتر از طراحی تاسیسات ثقلی است مگر آن که رقوم زمین چنین طراحی را اجازه دهد.

بسترهای دو منظوره

در صورتیکه فیلتر باید برای جذب مواد آلی و زدایش ذرات مولد کدورت استفاده شود ویژگی‌های زیر نیاز به توجه دارد:

- طول مدت زمان بین دو بکواش، عمر مفید، ضخامت و حجم مصالح؛
- روش فیلتراسیون و روش بکواش بستر؛
- پایش ضخامت گرانول کربن در بستر؛
- عملکرد فرایند بکواش فیلتر؛
- جابجایی گرانول از انبار به بستر و برعکس؛



سطحی مورد توصیه نیست. به طور کلی استفاده از تاسیسات شستشوی سطحی برای این فیلترها مشکلاتی دارد که مورد پیشنهاد قرار نمی‌گیرد.

کنترل فعالیت‌های بیولوژیکی

سطح زیاد گرانول کربن باعث می‌شود که باکتری‌ها روی آن چسبیده و به فعالیت‌های حیاتی خود ادامه دهند که باعث تغییر کیفیت آب می‌شود، لذا مهار آن ضرورت دارد. زیرا اگر شرایط غیرهوازی بروز نماید باعث تولید طعم و بو در آب می‌شود. کاربرد محلول کلر برای مبارزه با آن توصیه نمی‌شود زیرا نه فقط مانع فعالیت‌های باکتری‌ها نشده بلکه باعث تولید ترکیب‌های مولد رنگ می‌شود. به‌علاوه کلر روی گرانول‌های کربن فعال اثر تخریبی دارد و باعث می‌شود که شکنندگی پیدا نمایند.

برای این منظور اعمال بکواش و یا تغییر مصالح بستر بیشتر مورد توجه باید قرار گیرد. از طرف دیگر بکواش بیشتر از حد باعث می‌شود که عملکرد بستر کاهش یابد زیرا ممکن است مصالح بستر را غیر ضروری جابجا نماید و گرانول‌هایی که بیشتر آلاینده‌ها را جذب نموده‌اند به لایه‌های زیرین منتقل شوند و فرار آلاینده‌ها زودتر بروز نماید.

از طرف دیگر فعالیت‌های بیولوژیکی بستر گرانول کربن فعال دارای مزایایی نیز می‌باشد زیرا بعضی از آلاینده‌های آب را جذب خود می‌نماید و لذا باعث بهبود کیفیت آب هم می‌شود. چنانکه اگر در بالادست آن به آب ازن و یا ازن و آب اکسیژنه اضافه شود فعالیت‌های بیولوژیکی مطلوب بستر افزایش می‌یابد و شبکه توزیع کمتر گرفتار مشکل بیوفیلم می‌شود. در هر صورت عملیات پیش تصفیه آب قبل از فیلتر کربن فعال مورد توصیه است.

توجه شود که فعالیت‌های بیولوژیکی روی سطوح داخلی

لوله‌های شبکه توزیع باعث می‌شود که خوردگی لوله‌ها افزایش یابد و آب دارای طعم و بو شود. به علاوه نیازمندی آب به کلر هم افزایش می‌یابد. وجود هر اکسید کننده در آب ورودی به فیلتر گرانول کربن فعال باعث می‌شود که با سرعت جذب کربن شود و کار جذب مواد آلی آن را دچار اختلال نماید.

اگر در آب مواد آلی باشد، افزودن کلر به آب در بالادست بستر جاذب و خنثی نمودن آن قبل از رسیدن به بستر مفید است، زیرا ترکیب‌های جانبی تولید شده، در بستر کربن جذب می‌شود. توجه شود که در فرایند احیای کربن ترکیب‌های آلی جذب شده تبدیل به دیوکسین^۱ و فوران^۲ می‌شوند و به همین جهت کلرزیی بهتر است در پایین دست فیلتر جاذب انجام گیرد. از نقطه نظر انرژی و هیدرولیکی باید توجه داشت که افزایش فعالیت‌های بیولوژیکی در بستر جاذب و رشد باکتری‌ها باعث افزایش مقاومت هیدرولیکی بیشتر بستر هم می‌شود. نفوذ ذرات کربن فعال به زیر شبکه زهکشی فیلتر می‌تواند باعث ایجاد محیط مناسب فعالیت‌های بیولوژیکی نامطلوب گردد که نمی‌توان با کاربرد میکروبیکش آنها را از بین برد. بکواش فیلتر هر پنج روز یک بار ممکن است این فعالیت‌ها را کنترل نماید که خود پیامد منفی دارد که یادآوری گردید.

بدنه فولادی فیلتر باید دارای آستر لاستیکی و با رنگ اپوکسی باشد و یا از فولاد ۳۱۶ ساخته شود. عمر مفید آستر لاستیکی بستگی به دفعات بکواش و دفعات تعویض مصالح بستر دارد و تقریباً هر ۱۰ سال باید تعویض گردد. در این زمان باید تاسیسات زهکشی هم مورد بازدید، تعمیر و تعویض قرار گیرد.

ابزار و تاسیسات جابجایی

لوله‌های مورد استفاده برای جابجایی دوغاب کربن فعال می‌تواند به علت سایش و خوردگی از بین برود و لذا باید تمهیدات لازم برای

1. Diuxins

2. Furans



♦ در تاسیسات بکواش توجه شود که هوا به هیچ وجه وارد بستر نشود تا سایش کربن فعال رخ ندهد.

♦ در انتقال گرانول کربن فعال از دوغاب ۱۲/۰-۰/۳۴ کیلوگرم کربن در لیتر آب استفاده و سعی شود که طول لوله‌های انتقال در حداقل ممکن باشد و از ایجاد سایش جلوگیری شود و سرعت جریان آب در لوله هم حدود ۵/۱ متر در ثانیه باشد.

♦ پیش‌بینی تمهیدات تخلیه آب نامناسب تولیدی به فاضلابرو محوطه ضرورت دارد.

♦ پیش‌بینی تاسیسات اندازه‌گیری میزان دوغاب توصیه می‌شود تا مصرف آن تنظیم و ثبت گردد.

♦ جنس لوله‌ها بهتر است فولاد ۳۱۶ و با حداقل قطر ۵۰ میلیمتر باشد و خم‌های لوله دارای شعاع زیاد بوده تا سایش کمتر پیش آید.

♦ از کاربرد شیر تنظیم و تغییر میزان جریان روی لوله دوغاب خودداری شود تا حداکثر جریان آب در لوله ایجاد گردد.

♦ پروانه پمپ انتقال دوغاب باید دارای پوشش لاستیکی بوده و سرعت آن هم از حدود ۹۰۰ دور در دقیقه کمتر باشد.

♦ در محاسبه حجم مخزن دریافت کننده دوغاب پیش‌بینی ۲۰ درصد برای انبساط مصالح توصیه می‌شود و تنها یک مخزن برای تحویل و ذخیره پیش‌بینی شود. ابزار اندازه‌گیری میزان آن در مخزن ضرورت دارد.

♦ پیش‌بینی تمهیدات تخلیه به کمک خلا نیز ضرورت دارد تا باقی‌مانده کربن فعال از تاسیسات تخلیه شود.

تمام تاسیساتی که در تماس با دوغاب کربن قرار می‌گیرند باید از فولاد دارای پوشش اپوکسی و یا از جنس فولاد ۳۱۶ ساخته شده باشند که البته از بتن و فایبرگلاس هم می‌توان استفاده نمود. کاربرد مصالح پلاستیکی به دلیل خطر سایش توصیه نمی‌شود. البته لازم به یادآوری است که پودر خشک کربن فعال و دوغاب آن خورنده نیستند اما پودر مرطوب آن به شدت خورنده است لذا در انتخاب مصالح مربوط به کربن فعال دقت لازم است.

شستشوی آنها فراهم باشد. تاسیسات جابجا کننده لازم است به موقع تعویض شوند. از دست دادن گرانول کربن در سه بخش بهره‌برداری ممکن است رخ دهد:

- در فیلترهای مورد بهره‌برداری از طریق بکواش و نفوذ به زیر شبکه زهکشی؛
- در تاسیسات حمل و نقل و جابجایی؛
- در مرحله احیای کربن.

ضمناً در طراحی تاسیسات توجهات زیر توصیه می‌شود:

♦ در صورتیکه از حوضچه‌های بتنی برای ساخت فیلتر استفاده می‌شود بهتر است به دو بخش تقسیم شود تا میزان لحظه‌ای آب لازم برای بکواش کاهش یابد. لذا هر بخش به طور جداگانه مورد شستشو قرار می‌گیرد. البته در این صورت شیر، لوله و اتصالات بیشتری مورد نیاز خواهد بود. این روش ساخت با نام بسترهای دوقلو هم معروف است.

♦ تاسیسات زهکش بهتر است در حدود ۳۰ سانتیمتر بالاتر از کف محفظه قرار گیرد تا کربن‌های شسته شده به این فضا جمع‌آوری شود زیرا همانطور که گفته شد می‌تواند محیط رشد و تولید مثل باکتری‌ها گردد و پیش‌بینی یک شیب از عقب به طرف جلو کمک به شستشوی کف فیلتر می‌نماید.

♦ شبکه زهکش کف نباید از نوع روزنه‌دار باشد زیرا گرفتگی رخ می‌دهد. انواع کف کاذب هم مناسب نیست اما ترکیب کف کاذب و روزنه مناسب است چون در عملیات بکواش گرفتگی‌ها برطرف می‌شود لذا از طرح‌های دارای لیسانس باید بهره گرفت و یا پس از پایلوت طراحی‌ها انجام گیرد.

♦ پیش‌بینی ابزار اندازه‌گیری ضخامت کربن فعال در بستر ضرورت دارد.

♦ در صورتیکه از سازه بتنی استفاده می‌شود پوشش بتن روی میلگردها نباید کمتر از ۱۵ سانتیمتر باشد زیرا میلگردها نسبت به خوردگی ناشی از کربن آسیب‌پذیر هستند.

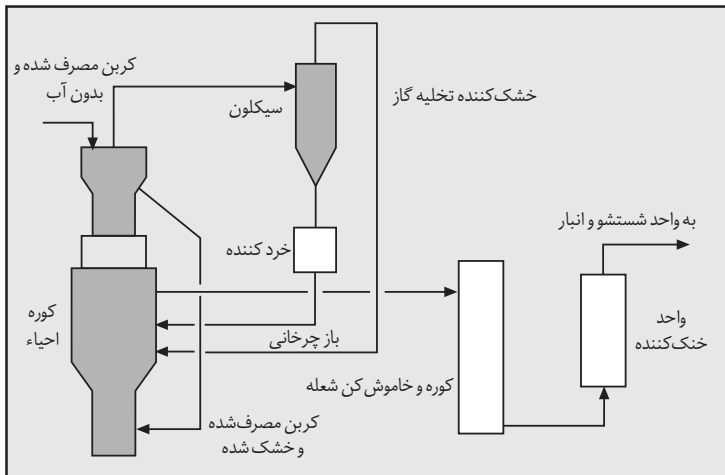


۳- ۱۰-۴- احیا گرانول

ایجاد تاسیسات احیا کربن فعال اشباع از مواد آلی که مبنایش حرارت دادن است در طرح‌های کوچک اقتصادی نیست و لذا از روش تعویض استفاده می‌شود. اما در تاسیسات با مصرف زیاد ممکن است با توجه به آنالیزهای اقتصادی، ایجاد تاسیسات احیا توجیه پذیر باشد. برای این کار کوره مخصوص مورد نیاز است که دیاگرام تاسیسات لازم در شکل شماره ۳-۲۹ نشان داده شده است.

گرانول کربن فعال در فرایند جذب مواد آلی با توجه به میزان آن، میزان مواد آلی آب و میزان آب مورد تصفیه پس از زمانی از مواد جذب شده اشباع گردیده و قدرت جذب خود را از دست می‌دهد. این مدت با محاسبات و یا در مرحله بهره‌برداری قابل تشخیص است. از سایت دفن زباله‌های شهر برای دفع کربن مرده می‌توان استفاده نمود. به نظر می‌رسد در صورتی که میزان احیا کربن مرده در حدود ۹۰۰ کیلوگرم در روز باشد ایجاد تاسیسات احیا در محل تصفیه‌خانه دارای توجیه اقتصادی می‌باشد که بستگی به قیمت‌ها و هزینه‌ها دارد. طبق محاسبات در شرایط اقتصادی جامعه امریکا اگر میزان مصرف آن ۲۲۵-۷۰۰ کیلوگرم در روز باشد ایجاد کارخانه احیا ویژه تصفیه‌خانه اقتصادی نبوده و باید از تاسیسات احیا در خارج از تصفیه‌خانه آب استفاده نمود.

شکل شماره ۳-۲۹ - دیاگرام تاسیسات احیای گرانول کربن فعال



روش‌های احیا کربن مرده عبارت است از:

- شیمیایی؛
- حرارتی؛
- بخار آب.

روش شیمیایی بیشتر برای صنایع به کار می‌رود که در آن بازیافت مواد جذب شده هم مطرح است. اما احیا به کمک حرارت متعارف‌تر است و عبارت است از:

- آبگیری از گرانول تا سقف ۴۰-۵۰ درصد در تاسیسات آبگیری؛
 - خشک کردن آن در دمای ۲۰۰ درجه سلسیوس؛
 - قرار دادن گرانول در دمای ۵۰۰-۷۰۰ درجه سلسیوس؛
 - فعال نمودن آن در دمای بیشتر از ۷۰۰ درجه سلسیوس که همراه است با شعله‌ور شدن گرانول؛
 - خاموش و خنک کردن گرانول.
- عملیات خشک کردن و شعله‌ور نمودن آن باید در کوره انجام گیرد.
- این کوره‌ها در سه نوع ساخته و مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد:
- کوره الکتریکی با استفاده از پرتو فرو قرمز؛
 - کوره با شناورسازی گرانول؛
 - کوره طبقاتی.

و برای انتخاب نوع کوره معیارهای زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد:

- هزینه سرمایه‌گذاری؛
- هزینه‌های بهره‌برداری و تجربه‌های موجود؛
- انعطاف‌پذیری دستگاه تغذیه؛
- امکانات کنترل فرایندهای مختلف خشک کردن، تجزیه مواد آلی و احیا گرانول؛
- یکسانی و کیفیت گرانول احیا شده؛
- معیارهای ایمنی استفاده از دستگاه؛
- عملکرد و سودمندی تاسیسات؛
- میزان مصرف انرژی.



✎ کوره الکتریکی با پرتوفرو قرمز^۱

این نوع کوره محفظه ایست که در سقف آن المان های تولید حرارت با طول موج زیر نور قرمز قرار دارد و گرانول های مرده روی تسمه نقاله به داخل کوره فرستاده می شود. طراحی طوری است که در طول جابجایی گرانول دمای محیط افزایش یافته و گرانول شعله ور می شود و در انتها از کوره خارج شده و به یک حوضچه حاوی آب برای خاموش شدن شعله ها ریخته می شود.

✎ کوره نوع دوم

در این کوره با انرژی و فشار گاز بستر گرانول انبساط یافته و در فضای کوره شناور می شود. امتیاز اصلی این روش، رسیدن دمای یکسان به گرانول ها و عملکرد مطلوب تر انتقال حرارت به گرانول می باشد. در این دستگاه گرانول ابتدا خشک می شود و رطوبت آن به یک درصد می رسد و پس از آن به صفحه پایین تر هدایت می شود که در دمای ۹۸۲ درجه سلسیوس باقی می ماند. وقتی گرانول به این دما برسد مواد آلی آن تجزیه شده و تبخیر می شود.

پس از این مرحله گرانول از کوره به بیرون کشیده شده و به حوضچه آب سرد تخلیه می شود. در فاصله دو مرحله هوا به داخل آن تزریق می شود تا مواد آلی، منوکسید کربن و هیدروژن آزاد شده را بسوزاند. حرارت ناشی از سوزاندن ترکیب های پیش گفته به صفحه بالا برای خشک کردن گرانول ها منتقل می شود.

✎ کوره طبقاتی

این کوره شامل ۵ تا ۸ بخش فولادی است که سطوح آنها از لایه ضد حرارت پوشیده شده است و در مرکز هم بخش تولید حرارت قرار دارد. گرانول مرده ابتدا به بخش بالای کوره هدایت می شود تا خشک شود و پس از آن پاروهایی آن را به سطح دیگر هدایت می نماید. گرانول پس از عبور از بخش هایی که به مرور دمای آنها اضافه می شود، شعله ور می گردد و سپس به واحد خاموش شدن شعله و خنک شدن هدایت می شود.

✎ اندازه کوره

با توجه به ظرفیت لازم برای احیا گرانول ابعاد کوره انتخاب می شود و ظرفیت ها در حدود ۱۴۵-۵۶۰ کیلوگرم در روز می باشد. استفاده از کوره برای احیا گرانول کربن نباید باعث آلودگی هوا شود لذا از دو نوع تاسیسات برای این کار استفاده می شود، اول شستشوی گازها با آب و دوم تکمیل سوزاندن. در اولی با کمک دوش آب، ذرات معلق موجود در دود کوره گرفته می شود و در دومی ترکیب های نسوخته اکسیده می شوند. با توجه به این که استفاه از گرانول کربن فعال در فناوری های تصفیه آب شرب اجتناب ناپذیر است باید سعی شود که در تولید گرانول و احیای آن در شرکت های مسئول آب شرب برنامه ریزی هایی انجام گیرد و برای آن ویژگی های لازم و آیین نامه های استفاده از آن تهیه شود.



آلاینده های معلق



۴-۱- نگاه کلی

آلاینده های آب شرب که در استاندارد شماره ۱۰۵۳ طبقه بندی شده اند شامل انواع ترکیب های شیمیایی آلی و معدنی، مواد رادیواکتیو، عناصر و عوامل زنده بیماریزا می باشند. این آلاینده ها در صورتیکه از اندازه ای بزرگ تر باشند در کلاس جامدات معلق قرار می گیرند و از نظر معیارهای آزمایشگاهی و استاندارد پیش گفته جامداتی می باشند که در آب باعث ایجاد کدورت شده و با سانتریفیوژ از آب جدا می شوند. اما اندازه جامدات معلق آب خود دارای طیف وسیعی است که به طور کلی بزرگتر از ۰/۱ میکرون می باشد. بخش های پایین آن ذرات با اندازه یک صدم میکرون و کوچکتر است که در کلاس ترکیب های محلول قرار می گیرند. برای زدایش جامدات معلق ریز شامل کلوییدها لازم است با کاربرد یک ترکیب با نام دلمه ساز آنها را درشت تر نموده تا در زلالسازها ته نشین شده و یا در فیلترهای تصفیه خانه از آب زدایش شوند. اما در بهره برداری از فیلترها، کدورت آب ورودی به آنها باید در محدوده ۱۵ ان تی یو باشد تا مدت زمان بین دو بکواش منطقی گردد. به همین دلیل واحدهای زلالساز قبل از واحدهای فیلتر در نظر گرفته می شود. در واقع می توان گفت که

زالاسازها واحدهای پیش تصفیه آب برای فیلترها می باشند. در همین بستر فکری اگر کدورت آب خام از حدی بیشتر شود، عملکرد زلالساز هم در حد مطلوب نخواهد بود و برای آن واحد پیش ته نشینی در نظر گرفته می شود که پیش تصفیه واحد زلالساز است. در این فصل ویژگی های جامدات معلق، معادلات ریاضی مربوط به رفتار آنها در آب و در زلالسازها مورد توجه قرار گرفته و معیارهای طراحی زلالسازها در تصفیه متعارف آب با هدف تولید آبی با کدورت حدود ۱۵ ان تی یو معرفی می شود.

فرایندهای لازم برای ارتقای عملکرد مطلوب زلالسازها، مانند پیش ته نشینی، دلمه سازی و ذره سازی نیز در این فصل مورد توجه قرار می گیرد تا آبی با کدورت مناسب فیلتر پایین دست تولید شود. چون فیلترهای تند متعارف و فیلترهای دولایه دارای عملکرد تقریباً یکسان در این مورد هستند، زلالسازها بدون توجه به نوع فیلتر پایین دست مورد طراحی قرار می گیرند. لیکن باید توجه داشت که فیلترهای دولایه کدورت بیشتری را تحمل می کنند که در فصل ششم به آن پرداخته می شود.

۱. بخشی از طیف پرتوها که طول موج آن بزرگتر از طول موج قرمز آشکار است. شکل شماره ۸-۱۱

۴-۲- ذرات معلق در آب

هر نوع ذره ریز نامحلول که به صورت معلق در آب وجود دارد در کار عبور نور دخالت نموده و نتیجه آن ایجاد کدورت در آب است. ذرات معلق مورد بحث می‌تواند زنده، مرده، معدنی و یا آلی باشد و حدود اندازه آنها در جدول شماره ۴–۱ نشان داده شده است.

اندازه مولکول‌های ذرات محلول آب، کوچکتر از ۰/۰۰۱ میکرومتر می‌باشند که با اندازه نانومتر نشان داده می‌شوند. برای مثال بی‌کربنات دارای اندازه ۰/۴۲ نانومتر، آب ۰/۳۳ نانومتر و هیدروژن ۰/۰۵۳ نانومتر است که در ایجاد کدورت دخالتی ندارد. البته با تعیین کدورت آب نمی‌توان با دقت نسبت به جامدات معلق موجود در آن قضاوت نمود زیرا ذرات معلق نشان داده شده در جدول شماره ۴–۱ در یک مقدار ثابت کدورت‌های یکسانی را در آب نشان نمی‌دهند. به عبارت دیگر میزان مواد معلق آب‌های مختلف با کدورت یکسان می‌تواند برابر نباشد. باید توجه داشت که اکثر آب‌ها بجز آب منابع زیرزمینی از نظر کدورت دستخوش تغییرات زیادی هستند. در استاندارد شماره ۱۰۵۳ ایران حداکثر مجاز کدورت آب شرب ۵ ان تی یو می‌باشد.

۴-۲-۱- کدورت

دریاچه‌های پشت سدها را می‌توان یک واحد ته‌نشینی بسیار بزرگ دانست اما به دلایلی نمی‌توان آب خروجی آنها را همیشه زلال فرض کرد. زیرا با رشد جلبک‌ها، باکتری‌ها، جانداران تک‌سلولی و یا چند سلولی ریز در آب کدورت و رنگ ایجاد می‌شود. به علاوه موقعیت دریچه آبگیری از دریاچه نیز روی کدورت موجود در آب خروجی دخالت دارد و به همین جهت در آبگیری از دریاچه‌ها برای مصرف‌های بهداشتی و شرب توصیه می‌شود که دریچه‌های مختلف از نظر رقوم ارتفاعی پیش بینی شود تا در آبگیری با توجه به تغییر کیفیت لایه‌های آب، حق انتخاب وجود داشته باشد.

جدول شماره ۴–۱- حدود اندازه گروهی از آلاینده‌ها

آلاینده	اندازه به نانومتر
جلبک‌ها	۱۰۰۰ – ۱۰,۰۰۰
باکتری‌ها	۱۰۰ – ۱۰,۰۰۰
کیست‌ها	۱۰۰۰ – ۱۰,۰۰۰
رنگ‌ها	۱ – ۱۰۰
قارچ‌ها	۵۰۰۰
کلوئیدها	۱۰۰ – ۱۰۰۰
اسید هیومیک	۱ – ۱۰۰
ویروس‌ها	۱۰ – ۱۰۰
نمک‌های محلول	۱ – ۰/۱
یون فلزات	۱ – ۰/۱
مواد آلی طبیعی	۱ – ۱۰۰

در بسیاری از دریاچه‌های پشت سدها، با توجه به عمق آب و شرایط آب و هوایی در فصل‌هایی جابجایی لایه‌های آب^۱ انجام می‌گیرد که نیاز به بررسی پیامدهای ناشی از آن دارد. جابجایی لایه‌های آب باعث تغییر در رنگ، کدورت، طعم و بوی آب و حتی املاح و گازهای محلول آن می‌شود.

کدورت آب‌های زیرزمینی که از طریق چاه، چشمه و یا قنات به دست می‌آید به دلیل فیلتراسیون طبیعی بسیار ناچیز است مگر در شرایط ویژه‌ای مانند چشمه‌های واقع در زمین‌های آهکی که دارای درز و شکاف هستند. فرایندهای لازم زدایش کدورت عبارتند از ته‌نشینی ساده، ته‌نشینی به کمک دلمه‌سازها و تولید ذره و فیلتراسیون. در صورت وجود جلبک‌ها فرایند شناورسازی نیز باید مورد توجه قرار گیرد که در این فصل به آن پرداخته شده است.

۴-۲-۲- رنگ و مواد آلی

وجود رنگ در آب‌های سطحی، آب چاه‌های کم عمق و در مواردی آب چشمه‌سارها دور از انتظار نیست گرچه در مواردی آب چاه‌های عمیق هم ممکن است دارای رنگ باشد. رنگ آب از زرد حصیری تا قهوه‌ای تیره می‌تواند باشد. رنگ واقعی آب به علت وجود مواد رنگی محلول در آب است که پس از سانتریفیوژ نمودن آب و زدایش ذرات معلق آن، قابل اندازه‌گیری است. از فیلتر نمودن آب در آزمایشگاه برای اندازه‌گیری رنگ آن باید خودداری شود زیرا اکثر فیلترهای آزمایشگاهی روی رنگ آب اثر دارند.

مقیاس اندازه‌گیری رنگ پلاتین کبالت است و میزان یک میلی‌گرم در لیتر آن باعث ایجاد یک واحد رنگ می‌شود. به نظر می‌رسد که مخلوطی از ترکیب‌های آلی که از نظر اندازه در محدوده کلوئید و کوچکتر قرار دارند و دارای بار الکتریکی هم هستند باعث ایجاد رنگ در آب می‌شوند. البته بخشی از مواد مولد رنگ می‌توانند ذرات غیر کلوئیدی، اسیدهای آلی و املاح معدنی بدون بار هم باشند. بار الکتریکی ذرات مولد رنگ اکثرا منفی است، اما با بار مثبت هم مشاهده می‌شود. بنابراین ایجاد جریان مستقیم الکتریسیته روی رفتار آنها اثر داشته و باعث جذب در قطب مخالف بار خود می‌شود. ذره با تخلیه بار خود در قطب مربوط ممکن است ترسیب شود. لازم به توجه است که وجود رنگ در آب لزوما دلیل حضور ترکیب‌های آهن نیست. مشاهده گردید که مواد آلی محلول در آب که وضعیت پیچیده‌ای^۱ دارند باعث ایجاد رنگ می‌شود به علاوه میزان رنگ آب با میزان مواد آلی آب هم ارتباط ساده‌ای ندارد.

فرایندهای ذره‌سازی، زلالسازی و بالاخره فیلتراسیون برای زدایش مواد آلی محلول و رنگ هم کاربرد فراوان دارد. پی اچ مناسب که در محدوده ۵/۵–۶/۸ قرار دارد برای عملیات آزمایشی توصیه می‌شود. گر چه کاربرد اکسید کننده‌ها مانند کلر می‌تواند رنگ آب را

از بین ببرد و مراجعی هم آن را توصیه می‌نمایند اما نگرانی ایجاد ترکیب‌های هالوژنه و تری‌هالومتان‌ها وجود دارد. کاربرد پودر کربن فعال و گرانول آن، با استفاده از فرایندهای متعارف تصفیه آب توصیه می‌شود. استفاده از فیلترهای ممبرانی مانند اولترافیلترها و به ویژه نانوفیلترها در زدایش رنگ کاربرد پیدا نموده است، که در فصل هفتم به آن پرداخته شده است.

۴-۲-۳- طعم و بو

در استاندارد شماره ۱۰۵۳ تنها به بوی آب اشاره می‌شود زیرا برای اندازه‌گیری طعم آب چشیدن لازم است که انجام آن توصیه نمی‌شود. در استاندارد پیش گفته نوع بو مورد توجه قرار نگرفته و تنها به آستانه بو بسنده شده است. علت وجود بو حضور مواد آلی فرار و همچنین هیدروژن سولفوره در آب می‌باشد. برای زدایش بوی آب فرایندهای زیر مورد توصیه است که انتخاب آن بستگی به نوع ماده مولد بو دارد و با کمک عملیات آزمایشی باید فرایند مناسب زدایش را تعیین نمود:

- هوادهی؛
- تصفیه متعارف؛
- اکسیداسیون؛
- گرانول و یا پودر کربن فعال.

درصد زدایش بستگی به نوع ماده آلی مولد طعم و بو و معیارهای طراحی دارد چنانکه در هوادهی سودمندی زدایش ۲۰–۱۰۰ درصد و یا در کاربرد فرایندهای تصفیه متعارف ۰–۶۰ درصد است. استفاده از کلر یا پرمنگنات در بالادست فرایندهای تصفیه متعارف و جذب سطحی توسط کربن فعال مورد توصیه است. چون طعم و بو معمولا با رنگ همراه است برای زدایش آنها فرایندهای پیش پرمنگنات زنی، تصفیه متعارف، فیلترهای گرانول کربن فعال و یا ماسه‌ای و یا ترکیب آنها باید مورد مطالعه قرار گیرد.


^[1] Complex



جدول شماره ۴-۲- عوامل بیماری‌زا و نام بیماری در فاضلاب‌های شهری

بیماری‌زا	بیماری	بیماری‌زا	بیماری
۱. باکتری‌ها: شیگلا سالمونلا تایفی سالمونلا ویبر یوکلرا اشریشیا کلای پرسینیا انتروکولایتیکا لپتوسپیرا باکتری کامپیلو	اسهال باسیلی تب حصبه سالمونلوزیس وبا التهابات روده‌ای پرسینیوزیس لپتوسپیروزیس التهابات روده‌ای	۳. پروتوزواها : آمیب هیستولپیتیکا ژیاردیا لامبلیا کریپتسپوریدیوم	اسهال آمیبی التهابات روده‌ای اسهال و تب
۲. انگل‌ها: آسکاریس انکی لوستوما نکاتور آمریکانوس کرم تنیا آنتریبوس	آلودگی به انگل آلودگی به انگل آلودگی به انگل آلودگی به انگل آلودگی به انگل	۴. ویروس‌ها: ویروس‌های روده‌ای* هپاتیت آ آدنوویروس روتا ویروس پارو ویروس نورو ویروس کالسی ویروس کورونا ویروس و چند نوع ویروس دیگر	التهابات روده‌ای و غیره عفونت هپاتیت ناراحتی ریه و چشم التهابات روده‌ای التهابات روده‌ای التهابات روده‌ای التهابات روده‌ای التهابات روده‌ای

* شامل ویروس پولیو و کوکساکسی

ایجاد طعم، بو و حتی رنگ در آب می‌شوند. تشکیل این لایه‌ها روی کندانسورها، ممبران‌های اسمز معکوس و اسپیسرهای آنها و حتی روی سطوح تاسیسات خنک‌کننده مشکل آفرین می‌شوند.

- در صورتیکه در آب مواد آلی تجزیه پذیر زیاد باشد ممکن است با مصرف اکسیژن محلول، شرایط بی‌هوازی ایجاد شده و در آب بو و طعم نامطلوب بوجود آید.
- گروهی از جلبک‌ها که در آب دریاچه پشت سدها رشد و نمو می‌نمایند دارای سموم حاصل از متابولیسم خود هستند که با نام عمومی توکسین شناخته می‌شود و کاربرد بیوسایدهایی مانند کلر باعث می‌شود جدار سلول شکسته و سم آنها آزاد شود که در بخش زلالسازی و فیلتراسیون مورد بحث قرار گرفته است.

در استاندارد شماره ۱۰۱۱ در مورد آلودگی آب به بیماری‌زاها از شاخص

۴-۲-۴- میکروب‌ها^۱

چون منابع آب از طریق فاضلاب‌های مختلف صنعتی، کشاورزی و شهری در خطر آلودگی است که در بخش آلودگی به مواد آلی گفته شد، حال به خطرات فاضلاب‌های شهری پرداخته می‌شود که در آن عوامل زنده و ترکیب‌های شیمیایی بیماری‌زا وجود دارد. در جدول شماره ۴-۲ عوامل بیماری‌زا و نام بیماری‌ها در فاضلاب‌های شهری نشان داده شده است.

به همین دلیل این گروه از بیماری‌زاها در منابع

آب‌های سطحی فراوان و در آب‌های زیرزمینی در شرایط خاص ممکن است وجود داشته باشند زیرا در جریان عبور فاضلاب، پساب و آب‌های آلوده از لایه‌های خاک به دلیل اعمال فرایندهای مختلف چون فیلتراسیتون از آب زدایش^۲ می‌شوند. در زمین‌های آهکی و دارای درز و شکاف آب‌های سطحی که حامل

مواد معلق زنده و مرده هستند بدون فیلتراسیون به منابع زیرزمینی می‌رسند و آب این نوع چشمه‌سارها و یا چاه‌ها ویژگی کلی آب‌های سطحی را نشان می‌دهند.

برای تعیین آلودگی آب به بیماری‌زاها و درجه آلودگی آن از شاخص کلیفرم‌های گرمایای استفاده می‌شود که در نشریه ۱۰۱۱ مورد توجه است. حضور این گروه از باکتری‌ها نشان دهنده آلودگی آب به فاضلاب‌های انسانی و مواد دفعی حیوانات خون‌گرم دیگر است.

میکروب‌ها چه از گروه جانوران و چه از گروه گیاهان در صنعت تصفیه آب برای شرب مشکل آفرین هستند که مهمترین پیامدهای نامطلوب آنها به قرار زیر است:

- چسبیدن، تکثیر و ایجاد پوشش روی سطوح مانند سطوح داخلی لوله‌های آبرسانی و توزیع آب و سطوح فیلتر و زلالسازها که باعث

۲. به تصفیه فاضلاب توسط زمین در مرجع شماره ۴ رجوع شود.



می‌گیرد. در اینجا تنها یادآوری می‌شود که باید جلبک‌ها را در صورت زیاد بودن، زنده از آب زدایش نمود تا پیامدهای پیش‌گفته کم‌رنگ‌تر شود. در فناوری کاهش تبخیر آب از سطوح دریاچه پشت سدها و کاهش نفوذ نور خورشید به داخل آب، رشد و تولید مثل جلبک‌ها هم کمتر خواهد شد. تنها شاخصی که در این مورد در مراجع علمی وجود دارد کلروفیل آ^۱ می‌باشد که حداکثر مجاز آن ۵ میکروگرم در لیتر است که رابطه آن با تعداد جلبک‌ها در آب خام خیلی روشن نیست. به علاوه این ترکیب در استاندارد ۱۰۵۳ نیز مورد توجه قرار نگرفته و نشان داده نشده است.

با توجه به روند رو به رشد ایجاد دریاچه‌های ذخیره آب و حضور آلاینده‌های شیمیایی آلی در آنها و وجود نور و دما و در نتیجه رشد جلبک‌ها، در فرایندهای تصفیه آب پیش‌بینی فرایندهای زدایش جلبک‌ها ضرورت دارد.

به طور کلی جلبک‌ها در گروه ذرات معلق زنده قرار می‌گیرند و زدایش آنها مانند ذرات معلق دیگر است، اما ذرات معلق مورد بحث که طیف اندازه و نام آنها قبلا معرفی گردید در فرایندهای تصفیه متعارف تا سقف ۱۰۰ درصد قابل زدایش نیستند.

رابطه بین کدورت آب خام و میزان کلروفیل آ بر حسب میکروگرم در لیتر و نوع تصفیه به صورت منحنی تهیه شده که در شکل شماره ۴-۱ نشان داده شده است.

همانطور که شکل نشان می‌دهد در صورتیکه مقدار کلروفیل آ از حدود ۳۰ میکروگرم در لیتر تجاوز نماید و کدورت کمتر از حدود ۲۰ ان‌تی‌یو باشد، مانند آب پشت بعضی ازسدها، شناورسازی ضرورت دارد. اگر کدورت حدود ۱۰ ان‌تی‌یو و کلروفیل آ کمتر از ۱۰ میکروگرم باشد فیلتراسیون مستقیم کافی است و اگر مقدار کدورت تا ۵۰ ان‌تی‌یو افزایش یابد، دو مرحله فیلتراسیون توصیه می‌شود.

در کدورت‌های تا ۱۰۰ ان‌تی‌یو و کلروفیل آ در محدوده ۱۰ و بیشتر

کلیفرم استفاده می‌شود و طبق آن تعداد کلیفرم‌های گرمایای در یکصد میلی‌لیتر آب قابل شرب باید صفر باشد.

زدایش میکروب‌ها از آب و غیرفعال‌سازی آنها با روش‌های مختلف ممکن است اما همانطور که در جدول شماره ۴-۱ نشان داده شده میکروب‌ها از نظر اندازه و شکل در چند گروه تقسیم‌بندی می‌شوند.

به هر حال روش‌های زدایش آن‌ها عبارتند از:

- فرایندهای متعارف زلالسازی و فیلتراسیون که حدود زدایش ۶۰-۱۰۰ درصد می‌باشد.
- فرایند سختی‌گیری با آهک که درصد زدایش مانند تصفیه متعارف است.
- اکسیداسیون که حدود ۹۰-۱۰۰ درصد کار زدایش را انجام می‌دهد.

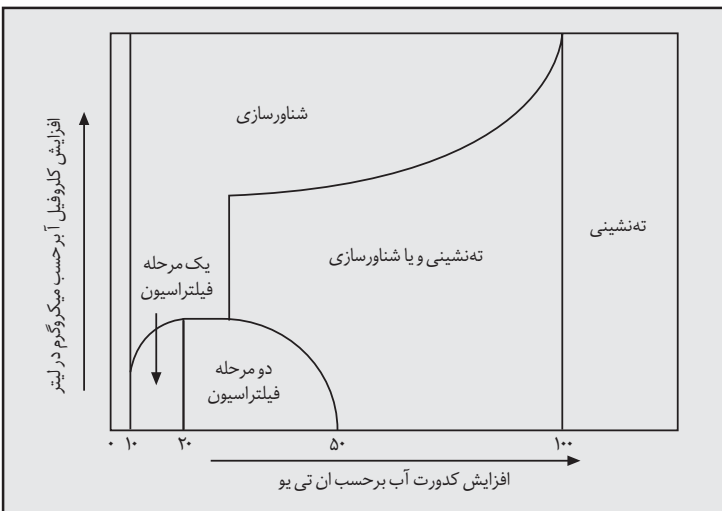
جلبک‌ها پس از مرگ و متلاشی شدن سلول آنها تشکیل مواد آلی طبیعی می‌دهند که مولد طعم، بو و رنگ بوده و به علاوه در صورت کلرزنی تشکیل ترکیب‌های خطرناک تری‌هالومتان‌ها محتمل است. به نظر می‌رسد که در حدود ۳۰ درصد مواد آلی طبیعی با کلرزنی تبدیل به ترکیب‌های پیش‌گفته می‌شود. جلبک‌های سبز آبی مولد سم توکسین هستند که توجهات بیشتری لازم دارند. در شرایطی که نور، حرارت و مواد غذایی گیاهی در آب حضور داشته باشد رشد آنها بیشتر شده که در روز باعث افزایش اکسیژن محلول آب شده و در شب با مصرف آن باعث کاهش اکسیژن محلول آب می‌شوند. لذا رشد جلبک‌ها، کیفیت آب خام را نامناسب می‌نماید و تصفیه آن برای شرب توجهات بیشتری می‌طلبد.

در مورد مبارزه با جلبک‌ها در دریاچه سخنی نمی‌رود و تنها یادآوری می‌شود هر چه ازت و فسفر که در فاضلاب‌ها حضور دارند کمتر به منابع آب برسد، نرخ رشد آنها کمتر می‌شود. اما زدایش آنها در تصفیه آب مقوله‌ای است که در بخش زلالسازها مورد بحث قرار

1. Chlorophyl - a



شکل شماره ۴-۱- کدورت، کلروفیل آ و فرایندهای زدایش



شناورسازی و یا ته نشینی می تواند عملکرد مطلوبی داشته باشد. اما اگر کدورت از حدود ۱۰۰ ان تی یو بگذرد ته نشینی ضرورت دارد. توجه شود که ته نشینی برای زدایش جلبک ها با محدودیت همراه است. اما ذره سازی، زلال سازی و فیلتراسیون می تواند بیشتر از ۹۵ درصد جلبک ها را از آب زدایش نماید. بنابراین برای آب خام پشت سدهای کشور که کدورت آنها همیشه زیر ۱۰۰ و در موارد زیادی کمتر از ۳۰ ان تی یو است شناورسازی گزینه قابل مطالعه می باشد. استفاده از میکرواسکرین و جلبک کش ها در صفحات دیگر آورده شده است. بحث زلال سازی باید با تولید ذره شروع شود زیرا باید شرایطی فراهم شود که کلوییدها و ذرات ریز معلق آب در زلال سازی از آب زدایش شوند.

۴-۳- فرایند دلمه سازی - ذره سازی

به تجربه معلوم شده است که با افزایش بعضی از محلول های شیمیایی به آب، یک ترکیب ژلاتینی نامحلول در آب بوجود می آید که بار ذرات باردار معلق در آب را خنثی نموده و جذب خود می نماید و تمایل به رسوب در آن افزایش می یابد. به علاوه با ادامه سقوط در آب ذرات

دیگر را هم به خود جذب می نماید به طوریکه نرخ فرایند زلال سازی این آب خیلی بیشتر از حالت آب ساده می باشد. این فرایندها را به طور کلی دلمه سازی^۱ و تولید ذره^۲ و ته نشینی^۳ نامند و ترکیب شیمیایی مورد نظر هم دلمه ساز^۴ نامیده می شود. ذرات جذب شده ممکن است کلوییدهای موجود در آب هم باشند. لذا می توان دلمه سازی را چنین تعریف نمود که عبارت است از افزایش یک ماده شیمیایی برای کاهش بار ذرات و تغییر آنها از حالت معلق پایدار به معلق ناپایدار .

ذراتی که وجودشان در آب باعث ایجاد کدورت

می شود عبارتند از رس، سیلت، ویروس ها، باکتری ها، اسیدهای هیومیک و فولویک، سیلیس، ذرات آلی و ذرات رادیواکتیو. در پی اچ بیشتر از ۴ این ذرات به طور کلی دارای بار منفی هستند. افزایش ماده شیمیایی معروف به دلمه ساز در واحدی انجام می گیرد که به نام اختلاط سریع شناخته می شود. قبل از شرح فرایند دلمه سازی چند تعریف مطرح می شود:

♦ **اختلاط سریع**: منظور از کاربرد کلمه اختلاط سریع این است که ماده دلمه ساز در زمانی بسیار کوتاه با تمام آب خام ورودی به حوضچه به طور کامل مخلوط گردد.

♦ **ذره سازی**: ذره سازی عبارت است از چسبیدن ذرات ریز و کلوییدها به هم تا تشکیل ذره قابل ته نشینی و یا شناورسازی و یا قابل زدایش توسط فیلتر را بدهد. ذره سازی و یا تشکیل ذره پس از افزایش دلمه ساز و ناپایدار شدن ذرات، به علت مصرف انرژی و ایجاد اغتشاش در آب انجام می گیرد. حوضچه تولید ذره پس از واحد اختلاط سریع پیش بینی می شود تا ذرات ناپایدار به هم نزدیک شده، به هم چسبیده و برای ته نشینی و یا شناور شدن مناسب گردند.



♦ **دلمه سازی بهتر**^۱: برای زدایش مواد آلی^۲ کربن دار آب خام با افزایش میزان دلمه ساز و با تنظیم پی اچ می توان عملکرد فرایند اختلاط را بهتر نمود که در نتیجه تولید ذره و زدایش آنها بیشتر می شود.

♦ **ذره ساز یا دلمه ساز**: ترکیب های معدنی و یا آلی هستند که وقتی به آب افزوده می شوند باعث خنثی شدن بار ذرات معلق شده و آنها را از حالت پایدار معلق خارج می نمایند. اکثر دلمه سازها کاتیونی هستند یعنی دارای بار مثبت می باشند.

♦ **کمک ذره سازها**: برای تشکیل ذرات بزرگ تر و یا سنگین تر علاوه بر دلمه ساز از ترکیب های دیگر استفاده می شود این گروه به انواع کاتیونی، آنیونی و یا بدون بار تقسیم می شوند و مصرف آنها همیشه کمتر از یک میلی گرم در لیتر است.

♦ **فیلتراسیون مستقیم**: در بعضی از شرایط واحدهای زلال سازی حذف می گردد و آب خروجی از واحد ذره سازی به فیلترها هدایت می شود.

♦ **فیلتراسیون در خط**: در مواردی هم علاوه بر حذف واحد زلال ساز واحد تولید ذره هم حذف و آب خام پس از واحد اختلاط سریع به فیلترها هدایت می شود و کار ذره سازی و زدایش در فضاهای خالی فیلتر انجام می گیرد.

دلمه سازها

مهمترین دلمه سازهای مورد مصرف در صنعت آب شرب عبارتند از:

♦ **سولفات آلومینیوم**: از معروفترین دلمه سازها در آمریکا که کاربردش معمولاً با یک پلیمر کاتیونی همراه است.

♦ **پلی آلومینیوم کلرید**: ترکیبی است که در بعضی آب ها نیاز به تنظیم پی اچ آب ندارد و در نتیجه لجناب آن دارای جامدات کمتری است.

♦ **کلروفریک**: در بعضی شرایط عملکرد بهتری دارد و در ایران بیشتر مورد توجه است.

♦ **سولفات فریک**: در بعضی آب ها مؤثرتر است و از نظر اقتصادی ارزان تر است.

♦ **پلیمر کاتیونی**: که یک دلمه ساز و کمک دلمه ساز است و به تنهایی و یا همراه با دلمه سازهای دیگر به کار می رود.

♦ **هیدوکسید منیزیم** و آهک که در فصل نهم به آن پرداخته شده است.

معادلات شیمیایی آنها در بخش تصفیه لجناب زلال سازها در آخر فصل نهم آورده شده و لذا از تکرار آن خودداری می شود.

کمک دلمه سازها

ذره های حاصل از کاربرد دلمه ساز آلومینیوم سبک و شکننده بوده و ترسیب آنها در حد مطلوب نیست و با کاربرد یک پلیمر و یا افزودنی های دیگر می توان باعث شد که ذره بهتر ته نشین شود و یا در فیلتر به تله بیفتد. افزودنی های مرسوم عبارتند از:

- پلیمرهای آنیونیک و یا بدون بار با وزن مولکولی زیاد؛
- سیلیس فعال؛
- بنتونیت.

پس از افزودن دلمه ساز و گذشت حدود ۵ ثانیه یکی از ترکیب های پیش گفته به آب اضافه می شود. فاصله زمانی افزودن ترکیب نباید از ۱۰ دقیقه بیشتر شود. محل تزریق کمک دلمه ساز مانند دلمه ساز باید طوری انتخاب شود که پخش آن در تمام حجم آب حوضچه و با سرعت انجام گیرد.

انتخاب دلمه ساز

انتخاب دلمه ساز و کمک دلمه ساز برای یک تصفیه خانه بر مبنای



توجهات اقتصادی همراه با درجه اعتماد به دسترسی و تهیه آن، نکات ایمنی و معیارهای انبارداری انجام می‌گیرد. بهترین روش انتخاب دلمه‌ساز انجام عملیات آزمایشگاهی و به کمک دستگاه معروف به جار تست^۱ است. برای تاسیسات با ظرفیت‌های زیاد طرح و ساخت فیلتر آزمایشی مورد توصیه است که در فصل ششم مورد بحث قرار گرفته است.

تنظیم پی‌اچ

تنظیم پی‌اچ و قل‌یابیت آب برای عملکرد بهتر فرایند تولید ذره ضروری است. برای دلمه‌ساز آلومینیوم حدود مطلوب پی‌اچ ۵/۵-۷/۵ و برای ترکیب‌های آهن ۵-۸/۵ می‌باشد. لذا پی‌اچ حدود ۷-۷/۵ برای هر دو دلمه‌ساز مناسب است.

در مواردی ضرورت پیدا می‌نماید که پی‌اچ آب تغییر نماید. توجه شود که سولفات آلومینیوم و کلورفریک بخشی از قل‌یابیت آب را مصرف کرده لذا پی‌اچ آب کاهش می‌یابد اما کاربرد آن برای کاهش پی‌اچ صحیح نمی‌باشد.

برای کاهش پی‌اچ از دی‌اکسید کربن و یا اسید استفاده می‌شود و برای افزایش پی‌اچ، سود و یا آهک به کار می‌رود. در مورد آب‌هایی که برای زدایش مواد آلی آن از دلمه‌سازی بهتر باید استفاده شود لازم است پی‌اچ آب کمتر از شرایط زدایش کدورت باشد. مناسب‌ترین پی‌اچ برای زدایش مواد آلی آب در صورت کاربرد آلومینیوم ۶-۶/۵ و در صورت کاربرد دلمه‌ساز با پایه آهن ۵/۵-۶ است. در صورت کاربرد پلی‌آلومینیوم کلرید معمولاً نیازی به کاهش پی‌اچ نیست. در صورتیکه از میزان غلظت بیشتر دلمه‌ساز برای فرایند دلمه‌سازی و ذره‌سازی استفاده شود که با نام دلمه‌سازی بهتر شناخته می‌شود پیامدهای دیگری هم دارد که عبارتند از افزایش جامدات لجناب،

کاهش ویژگی جدا شدن جامدات از آب، افزایش تمایل به خوردگی بتن و فلزات توسط آب و افزایش هزینه تصفیه آب. بنابراین در صورت کاهش پی‌اچ برای دلمه‌سازی بهتر لازم است آب تولیدی از نظر پی‌اچ اصلاح و برای این منظور باید از محلول آب آهک استفاده شود و در مواردی می‌توان از کربنات سدیم برای تنظیم قل‌یابیت قبل از ذره‌سازی بهره برد.

۴-۳-۱- طراحی واحد اختلاط سریع

برای اختلاط ماده دلمه‌ساز با آب خام در واحد اختلاط سریع روش‌های مختلفی بکار می‌رود که نیاز به ابزارهایی دارد. آنچه که اصل است باید توجه داشت که کار اختلاط دلمه‌ساز با آب با سرعت زیاد انجام گیرد. شدت هم‌زدن و یا شدت آشفتنگی آب برای دسترسی به اختلاط مطلوب با متغیر جی^۲ اندازه‌گیری می‌شود که به نام شیب سرعت^۳ شناخته می‌شود.

مفهوم جی توسط کامپ و استین^۴ در سال ۱۹۴۳ تعریف گردید و از آن به بعد برای طراحی واحد اختلاط سریع – دلمه‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد. معادله آن عبارت است از:

$$G = \left(\frac{P}{\mu V} \right)^{1/5}$$

که در آن:

G = شیب سرعت یا میزان تغییر سرعت لایه‌های آب بر حسب متر در ثانیه در متر و یا فوت در فوت؛

P = توان به کار رفته بر حسب نیوتن متر بر ثانیه و یا فوت – پوند در ثانیه؛

μ = ویسکوزیته دینامیک آب بر حسب نیوتن ثانیه بر مترمربع و یا پوند در ثانیه در فوت مربع؛

V = حجم واحد اختلاط سریع بر حسب مترمکعب و یا فوت مکعب.

۲. در بیان شیب سرعت از کلمه جی (G) استفاده شده است زیرا در مواردی بیان مطلب راحت‌تر می‌باشد.
1. Jar Test
3. Velocity Gradient
4. Camp & Stein



معادله جی برای انواع واحدهای اختلاط سریع تنظیم شده است و سازندگان تاسیسات واحد اختلاط سریع و دلمه‌سازی هم برای آن اطلاعاتی به طراح و استفاده‌کننده می‌دهند. یک متغیر دیگر که برای طراحی به کار می‌رود حاصل ضرب جی در زمان ماند آب در واحد اختلاط سریع است که در حقیقت میزان انرژی به کار رفته برای تولید ذره و برای واحد حجم آب می‌باشد. واحدهای اختلاط سریع برای دلمه‌سازی در انواع مختلف زیر ساخته می‌شود:

- با ابزار مکانیکی در واحد فرایندی ویژه؛
- اختلاط‌کننده در لوله آب (در خط^۱)؛
- اختلاط‌کننده‌های با هوا؛
- اختلاط‌کننده‌های هیدرولیکی.

چون در معادله پیش‌گفته ویژگی ویسکوزیته آب مورد استفاده است جدول شماره ۴-۳ برای این منظور آورده شده است.

جدول شماره ۴-۳- دمای آب و ویسکوزیته آن

دمای آب (سلسیوس)	μ – ویسکوزیته (سانتی پوز ^۲)
۰	۱/۷۹۲۱
۵	۱/۵۱۸۸
۱۰	۱/۳۰۹۷
۱۵	۱/۱۴۴۷
۲۰	۱/۰۰۸۷

چون معیارهای طراحی برای دمای ۲۰ درجه سلسیوس تدوین گردیده در صورت تغییر دمای آب خام لازم است از جدول شماره ۴-۴ ضریب اصلاح زمان ماند که روی حجم حوضچه در معادله شیب سرعت تأثیر دارد استفاده گردد.

جدول شماره ۴-۴- ضریب اصلاح زمان ماند ($t = \frac{V}{Q}$)

دمای آب بر حسب سلسیوس	ضریب اصلاح زمان ماند
۰	۱/۳۵
۵	۱/۲۵
۱۰	۱/۱۵
۱۵	۱/۰۷
۲۰	۱

بنابراین با کاهش دما و افزایش نیروهای ویسکوزیته آب، باید مدت هم‌زدن افزایش یابد. لذا طراحی واحد اختلاط سریع باید برای کمترین دما و بیشترین میزان آب لحظه‌ای طراحی شود. انواع ذره‌سازها به شرح زیر است:

۴-۳-۲- اختلاط مکانیکی

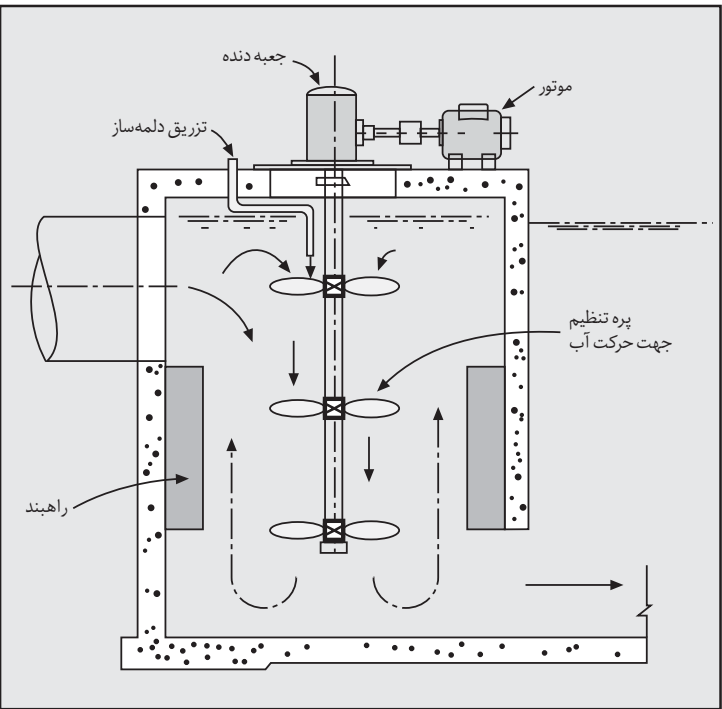
اختلاط‌کننده‌های پره‌ای و یا ملخی بیشترین کاربرد را دارند و یک نمونه آن در شکل شماره ۴-۲ نشان داده شده است. در شکل شماره ۴-۳ تاسیسات هم‌زن با شکل توربینی آورده شده است. همانطور که یادآوری گردید، در واحد اختلاط سریع هدف انجام اختلاط کامل و سریع ماده دلمه‌ساز با آب خام است. تعداد پره‌های متصل به بازوی دستگاه با انجام محاسبات^۳ تعیین می‌شود تا انرژی لازم را برای ایجاد اغتشاش آب در حوضچه فراهم نماید که همان شیب سرعت نامیده می‌شود.

همانطور که در شکل‌های مربوط به اختلاط سریع می‌توان مشاهده نمود تاسیسات شامل موتور، جعبه دنده برای تغییر سرعت حرکت دورانی میله^۴ و در نهایت پره‌ها می‌باشد. جهت حرکت آب حوضچه‌را می‌توان با تنظیم پره‌ها و سرعت دوران آن‌ها کنترل نمود.

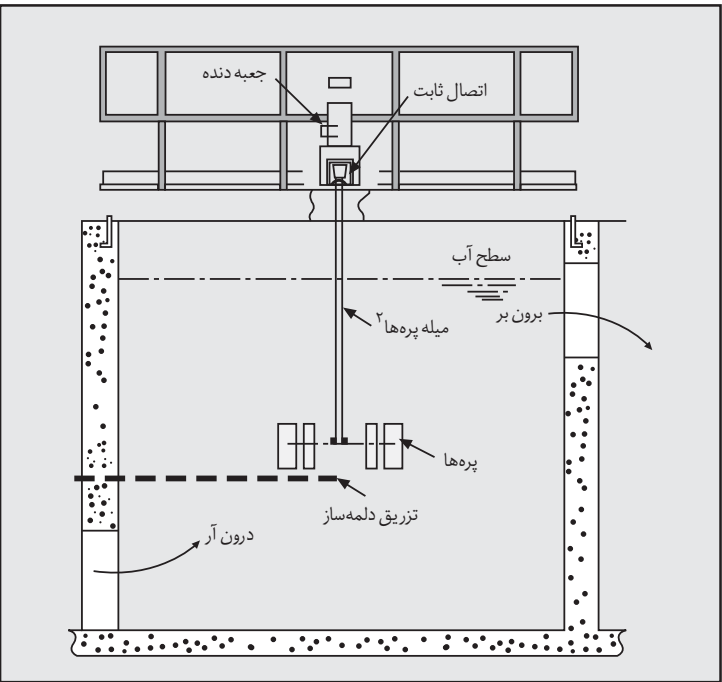
۲. یک سانتی‌پوز معادل ۱۰^{-۲} گرم جرم بر سانتیمتر – ثانیه می‌باشد.
۳. برای اطلاعات روش کار به مرجع شماره ۲ مراجعه شود.
1. In line
4. Shaft



شکل شماره ۴-۲ - تاسیسات اختلاط سریع با هم زن ملخی



شکل شماره ۴-۳ - واحد اختلاط سریع با هم زن توربینی



شرکت سازنده تاسیسات لازم است ویژگی های حرکت دورانی، شیب سرعت ایجاد شده و توان مصرفی را در کاتالوگ خود معرفی نماید. چون ضرورت پیدا می نماید که با تغییر دمای آب و یا تغییر میزان آب ورودی، میزان انرژی اعمال شده به آب تنظیم شود لذا دستگاه تغییر سرعت حرکت میله و پره ها باید پیش بینی شود که یک جعبه دنده می باشد. در بسیاری از تصفیه خانه های آب، واحد اختلاط سریع در دو و یا سه واحد و به صورت موازی پیش بینی می شود و لذا انعطاف پذیری بیشتری برای زمان ماند فراهم می شود که برای نمونه جدول شماره ۴-۵ مربوط به تصفیه خانه آب شهر سان دیگو آمریکا آورده شده است.

۴-۳-۳ - اختلاط در خط^۱

تحقیقات اخیر در آمریکا نشان می دهد که استفاده از اختلاط سریع در آب جاری در لوله دارای عملکرد بهتری نسبت به اختلاط کننده های متعارف حوضچه ای می باشد زیرا عمل اختلاط دلمه ساز با آب در حد لحظه ای انجام می گیرد و لذا میزان شیب سرعت زیاد خواهد بود. باید توجه داشت که برای بعضی از آب ها و در بعضی از شرایط تولید ذره نیاز به زمان ماند بیشتری دارد و لذا در پایین دست واحد اختلاط سریع در لوله، حوضچه هایی جهت ادامه کار فرایند ذره سازی فراهم می شود که در جدول پیش گفته این شرایط نشان داده شده است.

1. In-Line Blender

2. Shaft

جدول شماره ۴-۵ - ویژگی های واحد اختلاط سریع^۱

تعداد واحدها در یک سری: ۳ مرحله ای
نوع اختلاط: - مرحله اول اختلاط به کمک پمپ در خط با میزان جی معادل ۱۰۰۰ در ثانیه - مرحله دوم اختلاط مکانیکی با میزان جی معادل ۱۵۰-۳۰۰ در ثانیه - مرحله سوم اختلاط مکانیکی با میزان جی معادل ۱۵۰-۳۰۰ در ثانیه
زمان ماند: - واحد اول یک ثانیه در خط - واحد دوم ۳۰ ثانیه - واحد سوم ۳۰ ثانیه
تعداد حوضچه ها: ۲ واحد
حجم واحد: ۲۱۵ مترمکعب (عمق ۴/۶ متر - عرض ۶/۷ متر - طول ۷ متر)

۴-۳-۴ - اختلاط افشانی در خط^۲

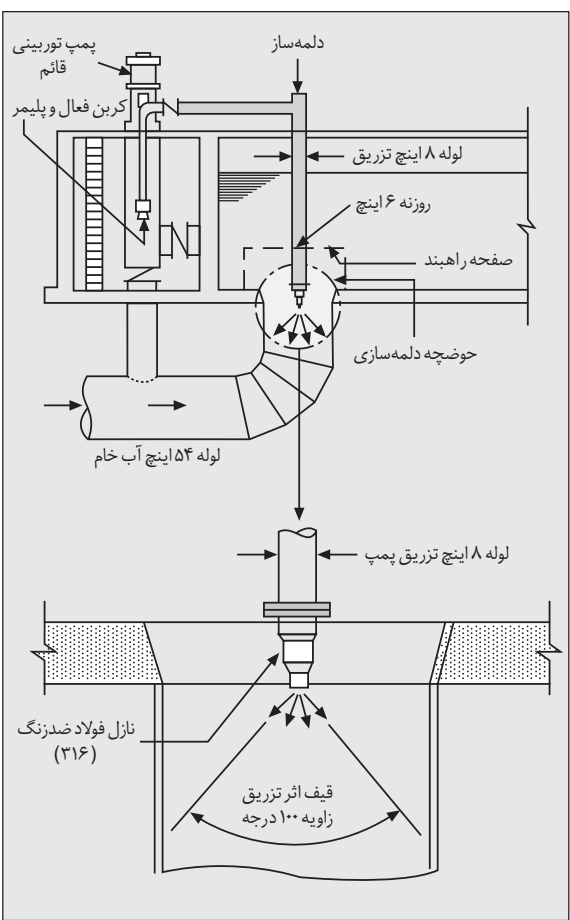
نوعی دیگر از اختلاط سریع که در شکل شماره ۴-۴ نشان داده شده است برای تصفیه خانه ای با ظرفیت ۳۱۰ هزار مترمکعب در روز طراحی شده است. سرعت آب در لحظه خروج از روزنه ها حدود ۷ متر در ثانیه و با میزان ۶۰ لیتر در ثانیه می باشد. توان موتور محرکه هم ۱۰ اسب و میزان شیب سرعت هم ۱۰۰۰ در ثانیه می باشد.

از امتیازات چنین تاسیساتی آن است که می توان در تزریق محلول دلمه ساز، از آب خام و آب مخلوط با دلمه ساز هم استفاده نمود که نیاز به تنظیم تاسیسات دارد. به علاوه به کمک شیر نصب شده روی لوله رانش پمپ می توان با باز و بسته نمودن آن میزان دلمه ساز و انرژی انتقالی به آب خام را نیز تنظیم نمود.

۱. تصفیه خانه با ظرفیت ۶۵۰ هزار مترمکعب آب در روز - شهرستان دیگو آمریکای شمالی



شکل شماره ۴-۴ - اختلاط افشانی در خط لوله



۴-۳-۵ - اختلاط سریع ملخی در خط^۳

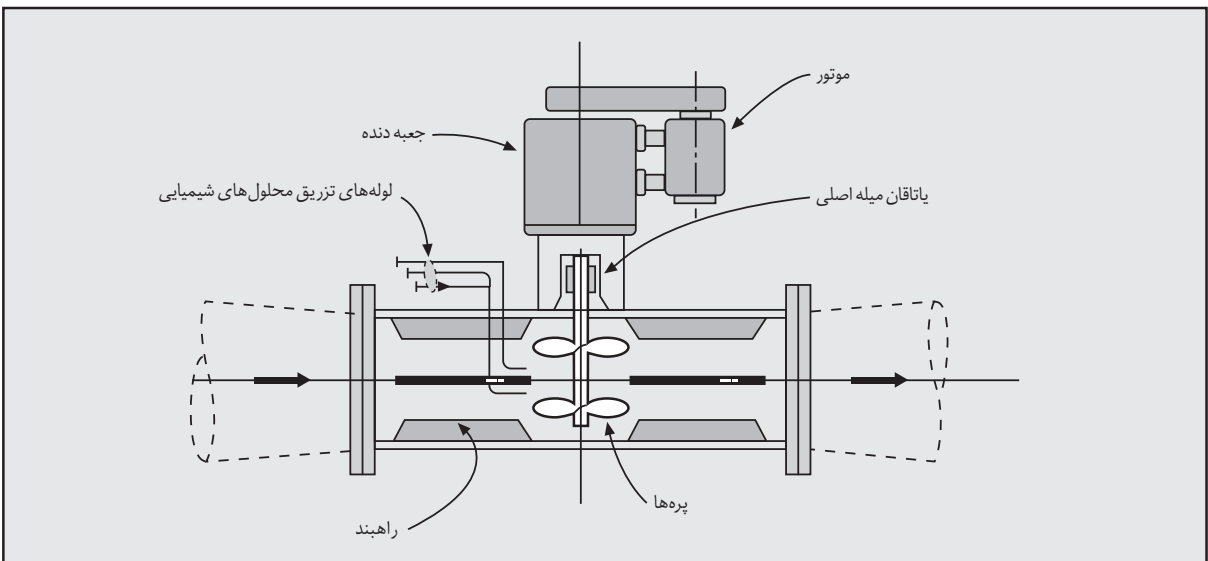
اختلاط سریع در خط که در شکل شماره ۴-۵ نشان داده شده است عبارت از یک موتور الکتریکی، جعبه دنده تنظیم سرعت، میله متصل به پروانه های ملخی شکل است و دلمه ساز و کمک دلمه ساز در بالادست و به فضای بین پره ها تزریق می شود. این نوع تاسیسات به صورت پانتنت ساخته می شود و لذا برای شیب سرعت های مختلف قابل تنظیم است.

2. In-Line Jet Mixer

3. Mechanical In-line Blender



شکل شماره ۴-۵- اختلاط سریع در لوله - نوع ملخی



۴-۳-۶- اختلاط با هوا

استفاده از اختلاط سریع با کاربرد حباب‌های هوا نیاز به تاسیسات ساده‌ای دارد و در صورتیکه هوادهی آب هم ضرورت داشته باشد انتخاب آن خود امتیاز بیشتری در بر خواهد داشت. میزان انرژی لازم برای تولید شیب سرعت بستگی به میزان هوای مورد تزریق دارد. به هرحال این صنعت طرفداران زیادی ندارد زیرا در مواردی کفاب تولید می‌نماید که مطلوب نیست.

۴-۳-۷- اختلاط سریع هیدرولیکی^۱

تزریق دلمه ساز به محلی که آشفستگی آب بوجود آمده همچون پایین دست سرریزها، پارشال فلوم‌ها، روزنه‌ها، شیرهای مولد آشفستگی آب و مانند آن صورت می‌گیرد که با نام اختلاط هیدرولیکی شناخته می‌شود که در شرایطی دارای عملکرد بسیار مطلوبی است. در این نوع اختلاط سریع انرژی مورد مصرف بستگی به میزان آب در جریان دارد اما چون معمولاً تصفیه‌خانه‌های آب برای میزان ثابت

آب طراحی می‌شوند میزان تغییرات آن قابل ملاحظه نیست و تغییرات فصلی آب خام ورودی را با تنظیم تعداد واحدهای اختلاط سریع می‌توان در حد مطلوب حفظ نمود. در صورتیکه از شیرهای تولید آشفستگی استفاده شود که به نام شیرهای کنترل میزان جریان هم نامیده می‌شوند نباید افت فشار در آن از حدود ۳ متر بیشتر شود در غیر این صورت تزریق دلمه‌ساز باید در پایین دست شیر در منطقه‌ای که انرژی آب در حال تمام شدن است انجام گیرد زیرا انرژی زیاد ممکن است مولکول‌های پلیمر را بشکند.

در صورت استفاده از سرریز باید توجه داشت که اگر ارتفاع ریزش آب با دمای ۲۰ درجه سلسیوس حدود ۳۰ سانتیمتر باشد، باعث ایجاد جی معادل ۱۰۰۰ در ثانیه خواهد شد. این نوع اختلاط سریع اگر با پیش‌بینی راهبند پایین دست همراه باشد برای تنظیم ارتفاع ریزش آب و در نتیجه تنظیم جی در رابطه با میزان جریان آب مناسب‌تر خواهد بود.



در صورت استفاده از سرریز برای اختلاط لازم است تزریق دلمه‌ساز تقریباً در طول سرریز و در نزدیکی تاج آب سرریز انجام گیرد. این روش تزریق در تصفیه‌خانه‌های با ظرفیت کمتر از ۱۵۰ هزار مترمکعب آب در روز مناسب است. در صورتیکه از سرریز برای تقسیم آب بین واحدهای تولید ذره و زلالسازی استفاده شود، محل تزریق می‌تواند در بالادست سرریزهای تقسیم انتخاب شود.

در چنین شرایطی اگر راهبند در پایین دست پیش‌بینی شود، میزان جی با میزان جریان تغییر می‌نماید. همانطور که در جدول شماره ۴-۶ نشان داده شده است اگر حجم حوضچه برای مصرف انرژی ثابت بماند مقدار جی دچار تغییرات زیادی می‌شود و اگر حجم حوضچه با میزان جریان متناسب گردد میزان جی کمتر دچار تغییر خواهد شد.

۴-۳-۸- طراحی واحد تولید ذره

برای تولید ذرات با اندازه مناسب جهت ته‌نشینی باید شیب سرعت در محدوده ۲۰-۷۰ در ثانیه و مدت زمان اختلاط هم ۱۰-۳۰ دقیقه باشد، اما برای فیلتراسیون مستقیم، ذرات باید سنگین‌تر باشند و لذا شیب سرعت باید نزدیک به ۷۰ در ثانیه انتخاب شود. در صورتیکه از زلالسازی متعارف و یا لوله‌ای و یا صفحه‌ای که در بخش بعدی مورد بحث قرار می‌گیرند، استفاده شود برای تولید ذرات بزرگ‌تر و مقاوم به شکسته شدن باید انرژی کمتری به آب داده شود. یادآوری گردید که معمولاً برای تولید ذرات سنگین‌تر از پلیمر نیز استفاده می‌شود.

تقریباً دو ثانیه پس از تزریق دلمه‌ساز و انجام اختلاط سریع، فرایند تولید ذره شروع می‌شود و پس از آن اگر مقدار شیب سرعت زیاد باشد ذره‌های تشکیل شده ممکن است شکسته شوند و در نتیجه ته‌نشین نشده و احتمال بزرگ شدن دوباره ذره هم زیاد نیست. برای تولید ذره‌هایی که یا در زلالسازها ته‌نشین شوند و یا در فیلترها به تله افتند لازم است شیب سرعت به آرامی کم شود. پس از اختلاط کامل و سریع دلمه‌ساز با آب مقدار شیب سرعت در واحد تولید ذره باید به

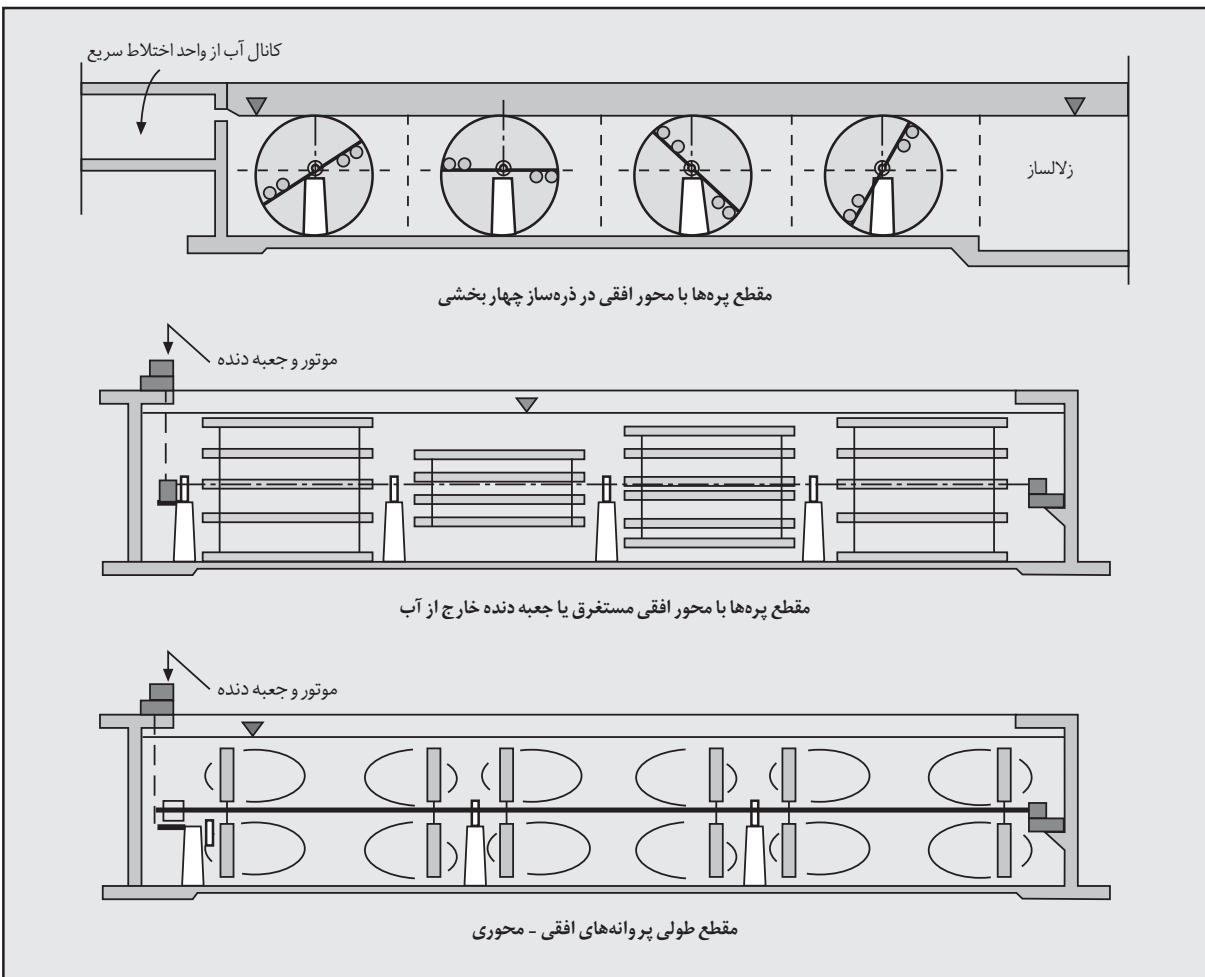
جدول شماره ۴-۶- اختلاط سریع هیدرولیکی توسط سرریز

میزان آب (درصد نسبت به حداکثر)	میزان نسبی جی برای حجم ثابت حوضچه	جی در رابطه با تغییرات حجم و میزان آب
۱	۱	۱
۰/۹	۰/۹۳	۰/۹۷
۰/۸	۰/۸۳	۰/۹۳
۰/۷	۰/۷۴	۰/۸۸
۰/۶	۰/۶۵	۰/۸۴
۰/۵	۰/۴۷	۰/۷۳
۰/۳۵	۰/۴۲	۰/۷۱

حدود ۱۰۰-۱۵۰ در ثانیه و حتی کمتر برسد. لذا با ایجاد اغتشاش آرام باید شرایط ساخته شدن ذرات قابل ته‌نشینی فراهم شود. فرایند تولید ذره در چند مرحله همراه با کاهش تدریجی سرعت حرکت پره‌ها و به صورت سری انجام می‌گیرد که در شکل شماره ۴-۶ نشان داده شده است. با ایجاد واحدهای مستقل و سری از میانبر زدن آب هم جلوگیری می‌شود و میزان انرژی داده شده به آب کنترل شده خواهد بود. برای واحدهای ذره‌سازی مکانیکی راهبندهایی پیش‌بینی می‌شود و تناسب سطح روزنه‌های راهبند در حداکثر میزان عبور آب ۳-۶ درصد سطح مقطع حوضچه و سرعت عبور آب از آنها در حدود ۳۰ سانتیمتر در ثانیه باشد.

در تصفیه‌خانه‌های با ظرفیت کم، فاصله بین واحد اختلاط سریع و واحد ذره‌سازی کوتاه است و ذره‌سازی کنترل نشده دارای اهمیت نیست. اما در تصفیه‌خانه‌های با ظرفیت زیاد، معمولاً طول فاصله واحد انتقال آب پس از اختلاط سریع به واحدهای ذره‌سازی ممکن است زیاد و تا ۳۰ متر هم برسد که در این طول فرایند ذره‌سازی کنترل نشده رخ می‌دهد و بنابراین ممکن است ذره تشکیل شده دوباره شکسته شود و در نتیجه ذرات در واحد ذره‌سازی در حد لازم

شکل شماره ۴-۶ - مقطع طولی تاسیسات هم‌زن در واحد تولید ذره



درشت نشوند. در این شرایط میزان تزریق دلمه‌ساز باید افزایش یابد.

برای تقسیم آب خروجی از واحد اختلاط سریع بین واحدهای

ذره‌سازی معمولاً از سرریز و روزنه استفاده می‌شود لذا سرریز باید از

نوع مستغرق و دارای سرعت کم باشد. این سرعت نباید بیشتر از

۰/۵-۰/۹ متر در ثانیه باشد. در جدول شماره ۴-۷ معیارهای طراحی

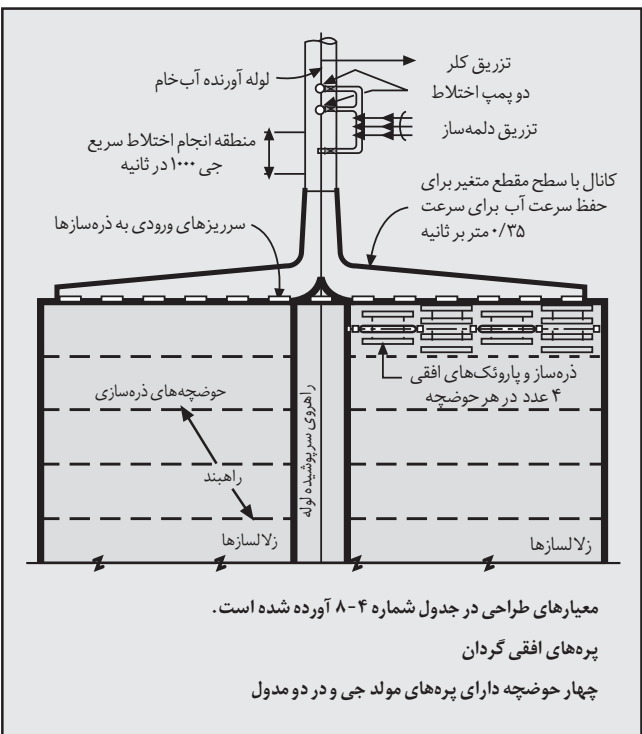
برای تصفیه‌خانه‌های بزرگ آورده شده است.

مدت تولید ذره

در اکثر تصفیه‌خانه‌ها مدت زمان ماند در واحد تولید ذره برای آب با



شکل شماره ۴-۷ - پلان کلی واحدهای اختلاط سریع و ذره‌ساز



در نظر گرفته شده باشد. این زمان ۱۸-۲۵ دقیقه رعایت می‌شود. حال اگر واحد

ذره‌سازی دارای حوضچه‌های سری نباشد لازم است زمان ماند بیشتر انتخاب

گردد و این غیر از اصلاح زمان ماند بر اساس دمای آب است. برای فیلتراسیون

با استفاده از ممبران‌ها زمان ماند ۵-۱۵ دقیقه انتخاب می‌شود که با توجه به

ضرورت زدایش مواد آلی مدت پیش‌گفته ممکن است تغییر نماید.

انرژی مورد نیاز

انرژی لازم برای ذره‌سازی با استفاده از دلمه‌ساز با یون‌های فلزی و ترکیب‌های

آلی باید به حدی باشد که جی حدود ۳۰-۷۵ در ثانیه به دست آید. در جدول

شماره ۴-۸ مقدار شیب سرعت و زمان ماند برای تولید ذره در آب با دمای ۲۰

درجه سلسیوس آورده شده است اما اندازه ذره‌های تشکیل شده و چگالی آنها

برای ته‌نشینی و یا به تله افتادن در فیلترها باید تنظیم گردد. با رعایت جی‌تی

ارایه شده در جدول پیش‌گفته ارقام شیب سرعت و زمان ماند باید انتخاب

شود.

جدول شماره ۴-۷ - معیارهای طراحی واحد اختلاط سریع و

تولید ذره برای شکل شماره ۴-۷

ظرفیت اسمی:	۴/۳ مترمکعب در ثانیه
قطر لوله آورنده آب خام	۸۴ اینچ معادل ۲/۱۳ متر
اختلاط اولیه:	
• پمپ اختلاط	۲ واحد
• قدرت هر پمپ	۱۰ اسب
• میزان جی یا انرژی داده شده به آب	۱۰۰۰ در ثانیه
• حجم واحد اختلاط سریع	۱۵ متر مکعب
• زمان ماند	۳/۶ ثانیه
کانال توزیع:	
• عمق آب	۳ متر
• عرض کانال	۰/۵-۲ متر
• سرعت حداکثر آب	۰/۳۶ متر در ثانیه
ذره‌سازی:	
• تعداد واحدها	۲ واحد
• تعداد حوضچه‌های هر واحد	۴
• عمق متوسط	۴/۸ متر
• ابعاد حوضچه‌ها = طول × عرض	۴/۵ × ۲۴ متر
• حجم هر حوضچه	۲۱۸۰ متر مکعب
• جمع کل زمان ماند	۱۸ دقیقه
• تعداد میله‌های پره‌ها در هر حوضچه	۴ عدد
• حداکثر جی در هر حوضچه	۵۰ در ثانیه
• حداکثر قدرت داده شده به آب در هر حوضچه	۲ اسب بخار
ترکیب‌های شیمیایی:	
• کلر - قبل از فیلتر	۵ میلی‌گرم در لیتر
• آلوم - حداکثر - در واحد اختلاط سریع	۲۰ میلی‌گرم در لیتر
• پلیمر کاتیونی - در واحد اختلاط سریع	۲ میلی‌گرم در لیتر
• پلیمر بدون بار - در واحد دوم ذره‌سازی	۰/۵ میلی‌گرم در لیتر
• پرمنگنات پتاسیم - در اختلاط سریع	۲ میلی‌گرم در لیتر



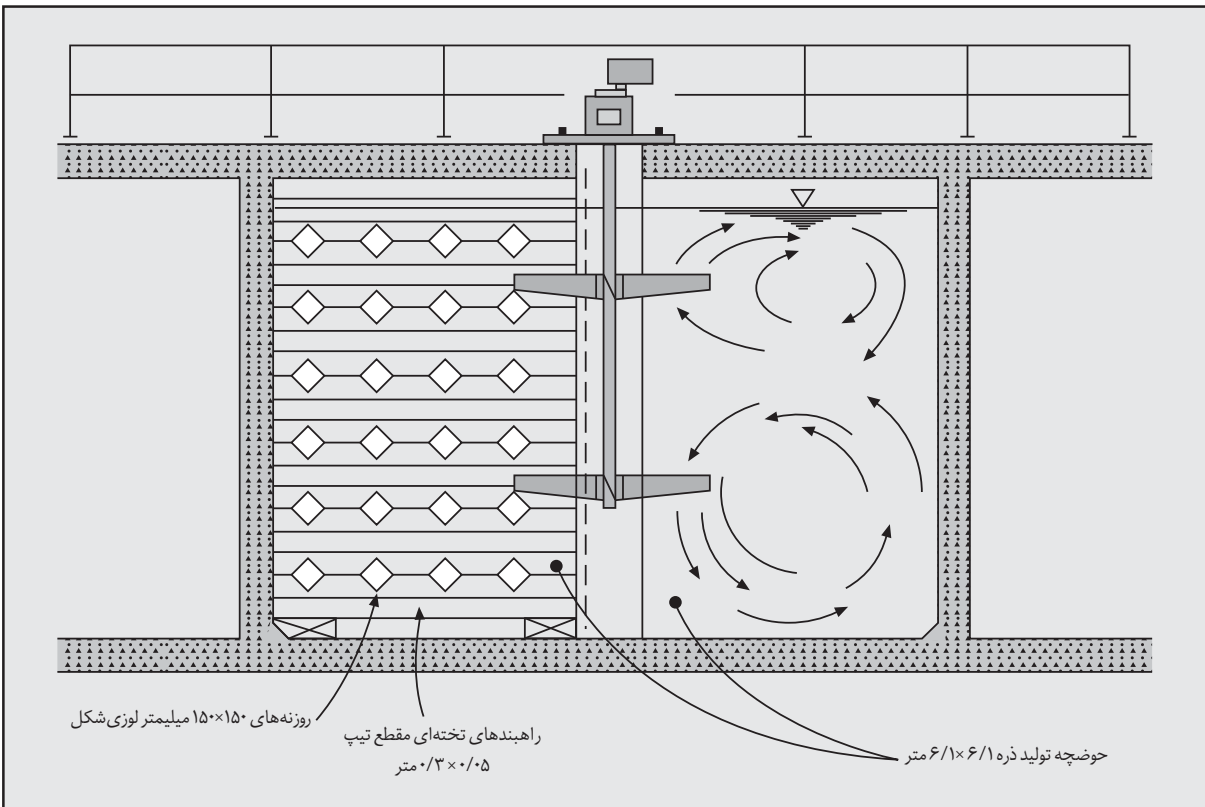
جدول شماره ۴-۸ - معیارهای طراحی واحد ذره‌سازی

نوع ذره‌ساز	شیب سرعت (در ثانیه)	زمان ماند (ثانیه)	جی تی
کانال اختلاط سریع و ذره‌سازی	۱۵۰-۱۰۰	متغیر	-
ذره‌سازی با کاربرد انرژی زیاد و برای فیلتراسیون مستقیم	۷۵-۲۰	۱۵۰۰-۹۰۰	۷۵,۰۰۰-۴۰,۰۰۰
ذره‌سازی متعارف	۶۰-۱۰	۱۵۰۰-۱۰۰۰	۶۰,۰۰۰-۳۰,۰۰۰

ذره‌ساز مکانیکی

استفاده از ذره‌سازهای مکانیکی به دلیل امکان کنترل بهتر میزان شیب سرعت و افت فشار ناچیز محبوبیت بیشتری دارد و انواع آنها در شکل‌های شماره ۴-۶، ۴-۷ و ۴-۸ نشان داده شده است. نوع تاسیسات مکانیکی در واقع معماری سازه را دیکته می‌نماید. چنانکه انواع عمودی، مناسب سازه با مقطع مربع می‌باشد که ابعاد

شکل شماره ۴-۸ - مقطع حوضچه تولید ذره با پره‌های عمودی



آن ۶×۶ متر بوده و عمق آنها نیز ۳-۵ متر می‌باشد. در انواع با محور افقی و دارای پارویک‌های گردان دارای طولی در محدوده ۶-۳۰ متر و عرض ۳-۵ متر است. بین هر دستگاه گردان یا هر مرحله لازم است راهبند پیش بینی شود تا مانع میانبیر زدن آب شود. سرعت عبور آب از روزنه‌های راهبند باید در محدوده ۳۰-۴۵ سانتی متر در ثانیه قرار گیرد. جنس راهبندها معمولاً از مصالح مختلف مانند بتن، آجر و



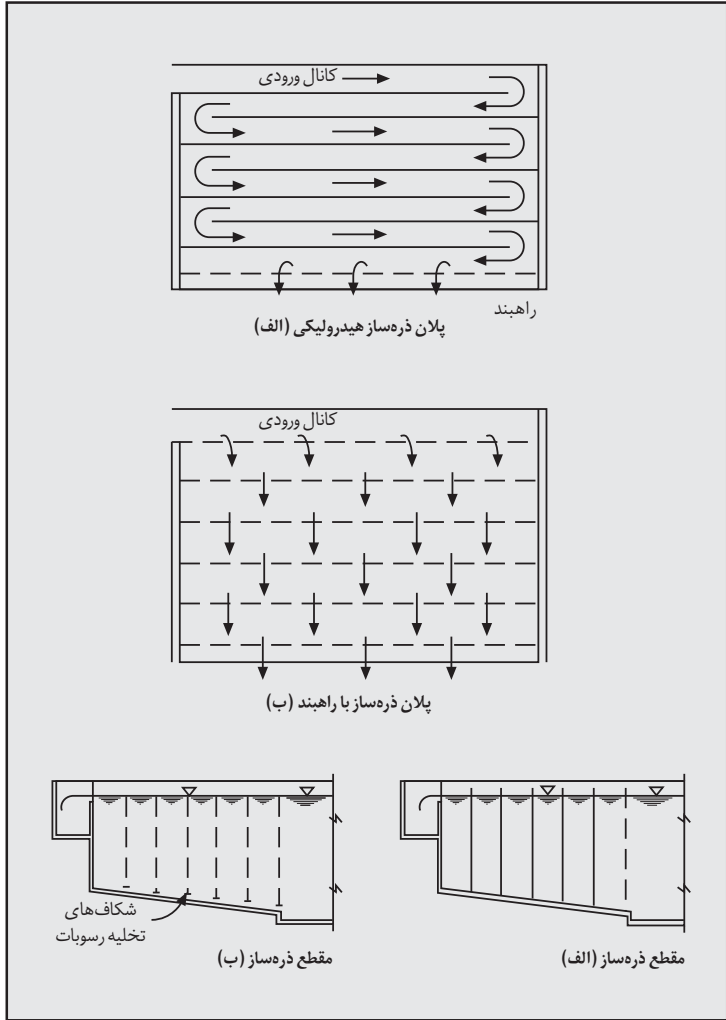
چوب می‌باشد. سرعت دورانی انواع عمودی بیشتر از انواع افقی می‌باشد و لذا میزان انرژی نسبی مصرفی در بخش‌ها بیشتر است و بنابراین برای ذره‌سازی، فیلتراسیون مستقیم مناسب‌تر است. به‌علاوه انواع عمودی به دلیل اینکه یاتاقان‌های مستغرق در آب ندارند از محبوبیت بیشتری برخوردار بوده و سرعت آب در آنها بیشتر و هزینه تهیه کمتری دارند. ذره‌سازی با سرعت زیاد در تولید ذره‌های مناسب ته‌نشینی برای زلاسازهای متعارف خیلی موفق عمل نمی‌کنند. به طور کلی در انواع با مصرف زیاد انرژی و برای تولید ذره و برای میزان جی در حدود ۵۰-۷۵ در ثانیه حداکثر سرعت نوک پره‌ها نباید از ۳ متر در ثانیه تجاوز نماید و در انواع با مصرف کم انرژی و برای جی ۲۰-۴۵ در ثانیه سرعت نوک پره‌ها باید کمتر از ۰/۷۵ متر در ثانیه باشد. جعبه دنده کاهش سرعت حرکت پره‌ها یکی از بخش‌های اساسی تاسیسات است.

ذره‌ساز هیدرولیکی

ذره‌سازهای هیدرولیکی ساده و کار آیی مطلوبی دارند و در تصفیه‌خانه‌های آب ایران هم مورد

استفاده هستند به ویژه اگر میزان جریان آب نسبتاً متغیر نباشد. حجم فرضی حوضچه ذره‌ساز حجم کل حوضچه است گرچه به علت تغییر شرایط ممکن است اغتشاش کافی ایجاد نگردد. نقطه ضعف آن مشکل تنظیم جی به علت متغیر بودن میزان جریان آب است. طبق شکل شماره ۴-۹ ایجاد راهبندهایی باعث اغتشاش در جریان آب شده و با مصرف انرژی دینامیک آب کار ذره‌سازی انجام می‌گیرد. در محدوده سرعت ۲۱-۴۳ سانتیمتر در ثانیه آب با ایجاد راهبند و تغییر جهت حرکت آب در ۱۸۰ درجه و در نتیجه ایجاد اغتشاش،

شکل شماره ۴-۹ - مقطع و پلان دو نوع ذره‌ساز هیدرولیکی



ذره‌سازی انجام می‌گیرد. در صورتیکه سرعت آب کمتر باشد در انتهای هر کانال باید روزنه‌هایی پیش بینی شود تا انرژی بیشتری برای تولید اغتشاش فراهم شود که از انرژی آب گرفته می‌شود. در انواع عبور آب از بالا و پایین راهبند، انرژی ناشی از افت فشار که به آب منتقل می‌شود و میزان جی در هر بخش از معادله افت فشار بدست می‌آید:

$$G = 62/5 \times \frac{h_v}{t\mu}$$

که در آن:



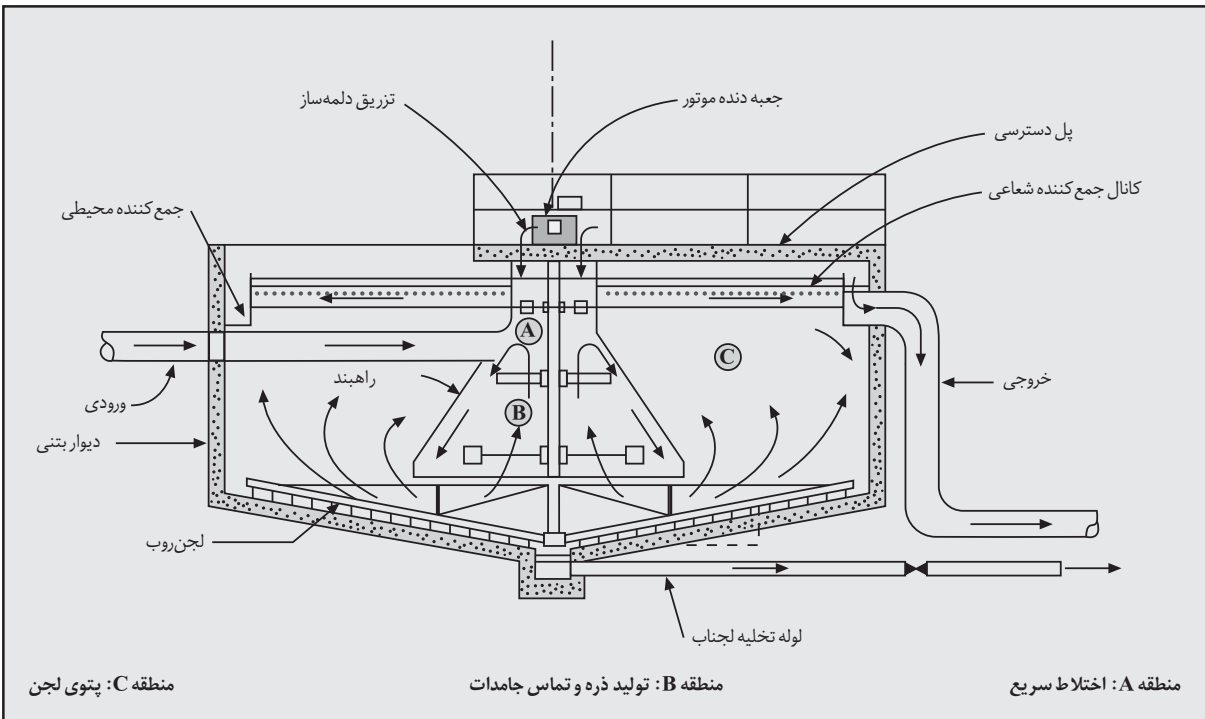
h_v = افت انرژی آب در ورود به حوضچه که خود بستگی به سرعت آب دارد؛

t = زمان ماند در حوضچه بر حسب ثانیه؛

μ = ویسکوزیته آب بر حسب پوند - ثانیه در فوت مربع.

و افت فشار آب در عبور از روزنه‌های راهبند به کمک معادله افت در روزنه‌های با مقطع مربع و مستغرق بدست می‌آید و ضریب آبدهی هم ممکن است $0/8$ فرض شود گرچه $0/61$ هم در مراجع آمده است. حال اگر افت فشار محاسبه شده کمتر از افت فشار واقعی باشد میزان جی منتقل شده به آب بیشتر خواهد بود که مشکلی ایجاد نمی‌شود. برای جریان آب در انواع ذره‌سازهای دارای روزنه لازم است شکاف‌هایی با عرض $10-15$ و طول $40-60$ سانتیمتر در کف برای تخلیه رسوبات پیش بینی شود.

شکل شماره ۴-۱۰- مقطع راکتور تماس جامدات^۱



1. Solid Contact Reactor

2. End Baffles

3. Patent

راهبندهای انتهایی^۲

در اکثر ذره‌سازها در انتهای حوضچه راهبندی پیش بینی می‌شود که انرژی باقی مانده آب را مصرف نماید تا به واحد زلال سازی منتقل نشود پیش بینی این راهبند کمک می‌نماید که هم میانبر زدن آب کمتر و هم پیامدهای تغییر دمای آب کم اثرتر شود. چندین سازنده، تاسیسات ویژه‌ای^۳ طراحی نموده‌اند که فرایندهای اختلاط سریع، ذره‌سازی و زلال سازی در یک مجموعه و یا واحد انجام می‌گیرد که نمونه آن در شکل شماره ۴-۱۰ ارایه می‌گردد.

در جدول شماره ۴-۹ معیارهای طراحی سه نوع ذره‌ساز و در جدول شماره ۴-۱۰ مقایسه عملکرد آنها آورده شده است.



جدول شماره ۴-۹- معیارهای طراحی ذره‌سازها

معیار طراحی	ذره ساز هیدرولیکی با راهبند	ذره‌ساز مکانیکی	
		با میله اصلی افقی ^۱	با میله اصلی عمودی ^۲
میزان جی (در ثانیه)	$10-50$ با تغییر آرام	$10-50$ با تغییر آرام	$10-50$ با تغییر آرام
زمان ماند (دقیقه)	$30-45$	$30-40$	$20-40$
تعداد کانالها یا تعداد میله اصلی	$6-10$	$3-6$	$2-4$
تنظیم انرژی داده شده به آب	تغییر میزان جریان	استفاده از جعبه دنده تغییر سرعت	استفاده از جعبه دنده تغییر سرعت
حداکثر سرعت آب (متر در ثانیه)	$0/91$	$0/91$	$1/9-2/74$
تناسب سطح پره‌ها به سطح حوضچه تولید ذره (درصد)	-	$5-20$	$5-20$
پره‌ها $\frac{D}{T}$	-	$0/5-0/75$	$0/2-0/4$
حرکت دورانی میله اصلی (دور در دقیقه)	-	$1-5$	$8-25$
کاربردهای اصلی	تصفیه کامل متعارف	تصفیه کامل متعارف	تصفیه کامل متعارف و برای فیلتراسیون مستقیم

جدول شماره ۴-۱۰- مقایسه عملکرد سه نوع ذره‌ساز

ویژگی‌ها	ذره ساز هیدرولیکی با راهبند	ذره‌ساز مکانیکی	
		با میله اصلی افقی و پارویک	با میله اصلی عمودی
فرایند ذره سازی	خوب تا عالی	خوب تا عالی	متوسط تا خوب
درجه اعتماد به کار	خوب	متوسط تا خوب	خوب
انعطاف پذیری و بهره برداری	متوسط تا ضعیف	خوب	خوب
هزینه سرمایه گذاری	کم	تقریباً زیاد	متوسط تا عالی
پیچیدگی سازه	ساده	متوسط	تقریباً ساده
تعمیرات	کم	متوسط	تقریباً کم
نوع جریان	خیلی آرام	با احتمال میانبر زدن آب	با احتمال میانبر زدن
مزایای اصلی	ساده و موثر با هزینه‌های کم بهره برداری و نگهداری بدون بخش‌های مکانیکی دارای حرکت	فرایند تشکیل ذره خوب با اختلاط خوب بدون افت فشار	انرژی زیاد مورد نیاز است تعمیرات کم مورد نیاز است بدون افت فشار
محدودیت‌های اصلی	انرژی لازم بستگی به میزان آب دارد افت فشار حدود یک متر	دقت در نصب لازم دارد اعمال انرژی به آب دارای محدودیت نگهداری منظم مورد نیاز است	تعداد واحدهای لازم بیشتر پره‌های مناسب‌توربینی، با تنش در سطح پره‌ها

1. Horizontal Shaft

2. Vertical Shaft

۴-۴- زلالسازی^۱

دانش و صنعت زلالسازی آب و یا زدایش کدورت از آب‌ها در بسیاری از مراجع فارسی در حد لازم مورد بحث قرار گرفته است. بنابراین مطالب این بخش به طور چکیده آورده می‌شود. زلالسازی به کمک ته‌نشینی در درجه اول یکی از واحدهای تصفیه‌متعارف آب است که قبل از فیلتراسیون قرار دارد تا بهره‌برداری از فیلترها بهتر انجام گیرد. در فرایندهای اختلاط ماده دلمه‌ساز، کلویدها و ذرات ریز به هم چسبیده تا شرایط ته‌نشینی در آنها فراهم و در واحد ته‌نشینی رسوب نموده و آب زلال تولید می‌شود. کدورت آب خروجی از واحدهای زلالسازی برای هدایت به روی فیلترهای تند متعارف باید همیشه کمتر از ۱۵ ان‌تی‌یو باشد و به همین جهت زلالسازی را می‌توان پیش تصفیه فیلتراسیون نامید.

با توسعه فیلترهای دو جنسی^۲ معروف به دولایه، حداکثر کدورت آب ورودی به آنها می‌تواند به ۲۰–۳۰ ان‌تی‌یو هم برسد. به طور متعارف گرانول ماسه و آنتراسیت و یا ماسه و کربن فعال دو نوع گرانول مورد استفاده هستند. به هرحال مقوله فیلترهای گرانولی در فصل‌های پنجم و ششم مورد توجه قرار می‌گیرند.

در صورتی‌که کدورت آب خام که با میزان جامدات معلق سنجیده می‌شود از حد معینی بیشتر شود، استفاده از واحدهای پیش ته‌نشینی ضرورت پیدا می‌نماید. تصمیم در مورد استفاده از این واحد به دو ویژگی بستگی دارد اول نوع زلالساز است و دوم غلظت جامدات معلق آب خام.

در صورتی‌که زلالساز اصلی دارای تاسیسات مکانیکی لجن‌روبی نباشد مانند زلالسازهای با پتوی لجن و میزان جامدات معلق آب خام از حدود ۱/۵–۲ گرم در لیتر تجاوز نماید واحد پیش زلالساز ضرورت پیدا می‌نماید و اگر زلالساز اصلی دارای تاسیسات مکانیکی جمع – آوری رسوبات باشد این رقم به ۵ گرم در لیتر می‌رسد.

۴-۴-۱- اصول کلی زلالسازی

به طور کلی برای زدایش کدورت، مواد آلی، طعم و بوی زیاد آب خام و هر نوع آلاینده‌ای که زدایش آنها در تصفیه متعارف با مشکل روبرو شود می‌توان آن ها را به کمک ترکیب‌هایی چون پلیمر، پودر کربن فعال و پودر پرمنگنات در واحدهای پیش ته‌نشینی تا حدودی از آب زدایش نمود. لذا واحد پیش ته‌نشینی در حقیقت پیش تصفیه واحدهای تصفیه متعارف است. حتی می‌توان به کمک یک میکروبیکش در این واحد بار میکروبی تصفیه‌خانه را کاهش داد. برای استفاده از واحد زلالسازی و پس از آن فیلتراسیون لازم است ذرات ریز معلق و کلویدهای موجود در آب به کمک یک ترکیب شیمیایی در حد لازم بزرگ‌تر شده تا در واحد ته‌نشینی و یا در واحد فیلتراسیون از آب زدایش شوند که در بخش‌های ابتدایی فصل به آن پرداخته شد. معادله معروف استوک^۳ که برای ذرات کوچکتر از یک میلیمتر و برای عدد رینولدز کمتر از یک کاربرد دارد، عبارت است از:

$$V_s=\frac{g}{18\mu}(\rho_s-\rho)d^{\frac{2}{3}}$$

که در آن:

V_s = سرعت ته‌نشینی ذره برحسب سانتیمتر در ثانیه؛

d = قطر ذره بر حسب سانتیمتر؛

μ = ویسکوزیته دینامیک بر حسب گرم بر سانتیمتر ثانیه؛

ρ = دانسیته آب که معادل یک می‌باشد؛

ρ_s = دانسیته ذره که برای ماسه ۲/۶۵ و برای ذرات دلمه شده

۱/۲–۱/۵ گرم بر سانتیمتر مکعب فرض می‌شود؛

g = شتاب ثقل بر حسب سانتیمتر بر مجذور ثانیه.

و برای ذرات بزرگ‌تر از ۱ و تا اندازه ۱۰ میلیمتر هم معادله نیوتن کاربرد دارد که عبارت است از:

$$V_s=\left[\frac{4}{3}\times \frac{g}{C_D}\times \frac{(\rho_s-\rho)}{p}\times d\right]=\left[\frac{4}{3}-\frac{g}{C_D}\cdot (S_s-1)\times d\right]^{\frac{1}{5}}$$

در معادله بالا:

C_D = ضریب دراگ^۱ نیوتن؛

S_s = وزن مخصوص ذره.

عواملی مانند باد، تغییر دمای آب و شکل و ابعاد حوضچه روی عملکرد ترسیب ذرات دخالت دارند که معادلات آن‌ها تدوین گردیده است. نکته اصلی، رفتار ذرات تشکیل شده ناشی از کاربرد دلمه‌ساز است که باید به کمک عملیات آزمایشگاهی تعیین گردد که به هر حال در عمل این رفتار دچار تغییر خواهد شد. مهمترین ویژگی در طراحی ته‌نشین‌کننده‌ها بار هیدرولیکی سطحی و پس از آن زمان لازم برای رسیدن کوچکترین ذره مورد نظر به بخش ذخیره لجن حوضچه است که خود بستگی به اندازه ذرات تشکیل شده و ویژگی‌های ذره دارد. رقم‌های ۲۰–۵۰ مترمکعب در مترمربع در روز مورد توصیه مراجع قابل اعتماد است.

هر قدر مواد آلی معلق مانند جلبک‌های آب بیشتر باشد بار سطحی باید کمتر انتخاب شود، زیرا سرعت رسوب ذرات تشکیل شده کمتر است. طبق نشریه شماره ۳–۱۲۱ در حوضچه‌های مستطیلی سرعت افقی آب نباید از ۰/۱۵ متر در دقیقه تجاوز نماید. حال با توجه به عمق حوضچه و سرعت ته‌نشینی ذره می‌توان طول حوضچه را تعریف و از آن حداقل زمان ماند را محاسبه نمود.

بار سطحی در حقیقت نشان دهنده سرعت بالا آمدن آب می‌باشد و کوچکترین ذره ایی که در حوضچه ترسیب می‌شود باید دارای سرعت ته‌نشینی بیشتر از آن باشد چنانکه اگر بار سطحی ۵۰ مترمکعب در مترمربع در روز انتخاب شود می‌توان محاسبه نمود که سرعت بالا آمدن آب عبارت است از:

$$\text{میلیمتر در ثانیه}\quad ۰/۵۸=\frac{۵۰,۰۰۰\text{میلیمتر}}{۸۶,۴۰۰}\times \frac{۵۰\text{متر}}{\text{روز}}$$

این سرعت ته‌نشینی برای ذرات با وزن مخصوص ۲/۶۵ مربوط است



به ذره با قطر حدود ۰/۰۱ میلیمتر و برای ذره با وزن مخصوص ۱/۲ مربوط است به ذره با قطر ۰/۰۸۵ میلیمتر. اثر دمای آب که موجب تغییر ویسکوزیته آن می‌شود نیز روی نتیجه کار مؤثر است. با گرم‌تر شدن آب و کاهش ویسکوزیته آن سرعت ته‌نشینی ذره بیشتر و عملکرد حوضچه از این جهت بهتر می‌شود. لذا طراحی باید برای روزهای سرد انجام گیرد.

🔪 مثال شماره ۴–۱:

در صورتیکه اندازه ذره‌ای ۰/۰۰۵ سانتیمتر باشد و وزن مخصوص آن ۲/۶۵ سرعت ته‌نشینی آن در آب با دمای ۲۰ درجه سلسیوس محاسبه می‌شود. با در نظر گرفتن ویسکوزیته آب برابر ۰/۰۱۰۱ سانتیمتر می‌توان نوشت:

$$V_s=\frac{۹۸۱}{۱۸}\times \frac{۲/۶۵-۱}{۰/۰۱۰۱}\times ۰/۰۰۵^2=۰/۲۲۲\text{ سانتیمتر در ثانیه}$$

حال اگر وزن مخصوص آن ۰/۸ باشد سرعت شناورسازی^۲ آن برابر است با:

$$V_s=\frac{۹۸۱}{۱۸}\times \frac{۰/۸-۱}{۰/۰۱۰۱}\times ۰/۰۰۵^2=-۰/۰۲۶۹\text{ سانتیمتر در ثانیه}$$

که علامت منفی به معنی شناور شدن و یا بالا آمدن ذره است. حال با فرض اندازه ذره یک سانتیمتر و وزن مخصوص ۲/۶۵ سرعت ترسیب آن محاسبه می‌شود. چون ذره بزرگ‌تر از یک میلیمتر است معادله استوک نمی‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین معادله مورد استفاده نیوتن است.

$$V_s=\left[\frac{4}{3}\times \frac{۹۸۱}{C_D}\times (S_s-۱)d\right]^{\frac{1}{5}}$$

که برای تعیین C_D باید از منحنی‌های مربوطه استفاده نمود و یا از رابطه ۰/۳۴+

۳

N

R

{\displaystyle {\frac {۳}{\sqrt {N_{R}}}}}

+

۲۴

N

R

{\displaystyle {\frac {۲۴}{N_{R}}}}}

 که C_D ضریب دراگ که نیروی ناشی از ویسکوزیته آب و N_R عدد رینولدز می‌باشد که از معادله

^[1] Drag

^[2] Floatation

^[1] Clarification

^[2] Double Media

^[3] Stokes



$$\frac{V_s \times d}{\gamma} \text{ به دست می‌آید که در آن:}$$

γ = ویسکوزیته سینماتیک؛

D = اندازه مؤثر ذره؛

V_s = سرعت ته‌نشینی ذره.

لذا با آزمون و خطا باید مقدار C_D تعیین شود. با فرض ضریب دراگ

برابر ۱ سرعت ته‌نشینی ذره محاسبه می‌شود که رقمی در حدود ۱۵

سانتیمتر در ثانیه را نشان می‌دهد. ارزش عددی ضریب دراگ و رابطه

آن با عدد رینولدز در جدول شماره ۴-۱۰ نشان داده شده است

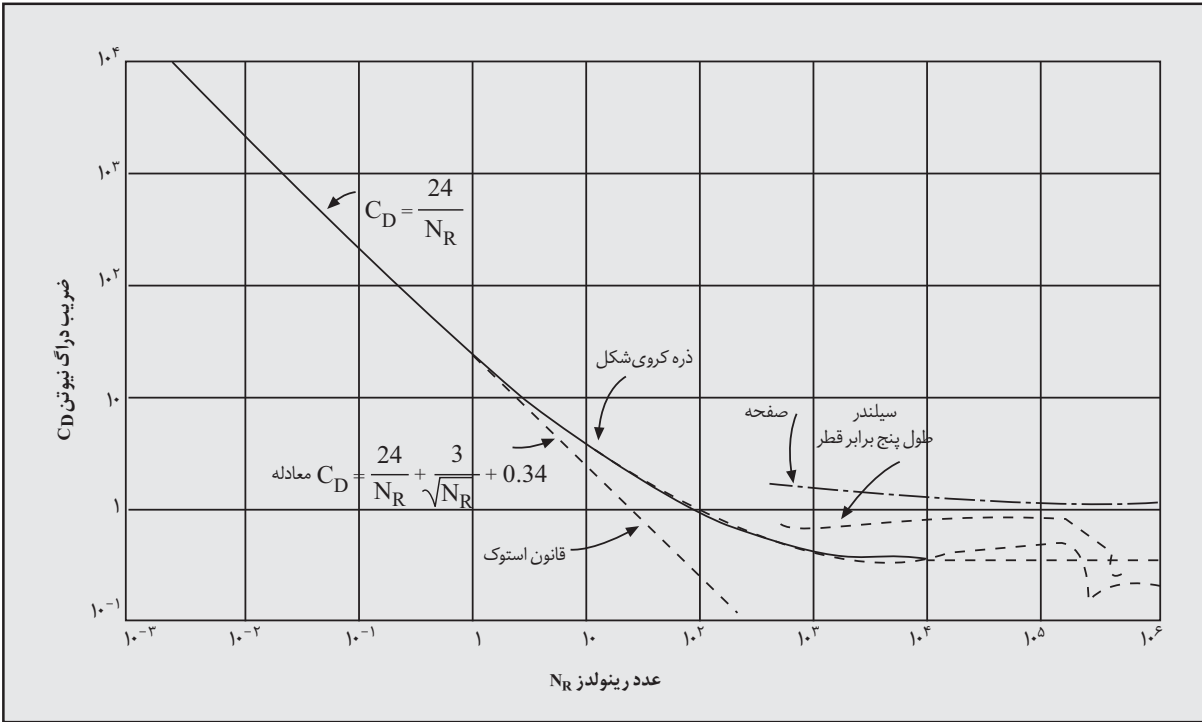
و از شکل شماره ۴-۱۱ نیز می‌توان آن را به دست آورد.

در واحدهای زلاسازی اندازه ذرات حاصل از ذره‌سازی در حدود

جدول شماره ۴-۱۱- ارزش عددی ضریب دراگ در معادله نیوتن

عدد رینولدز (N_R)	10^{-3}	10^{-2}	10^{-1}	۱	۱۰	10^2
ضریب دراگ (C_D)	$24/1 \times 10^3$	$24/1 \times 10^2$	25×10	$27/3$	$36/9 \times 10^{-1}$	88×10^{-2}

شکل شماره ۴-۱۱- ضریب دراگ در معادله نیوتن



۰/۳-۰/۲ میلیمتر است و وزن مخصوص آنها در محدوده ۱/۵-۱/۲

می‌باشد که برای انجام محاسبات باید مورد توجه قرار گیرد. در هر

صورت برای انتخاب بار هیدرولیکی لازم است کوچکترین ذره‌ای که

باید در واحد ته‌نشینی از آب زدایش شود همراه با چگالی آن انتخاب

شده و با توجه به قانون استوک سرعت ته‌نشینی آن محاسبه و بار

هیدرولیکی کمتر از آن انتخاب شود. برای مثال بار هیدرولیکی ۴۰ متر

در روز معادل سرعت بالا آمدن آب برابر ۰/۴۶ میلیمتر در ثانیه است.

حال اگر ذره مورد نظر دارای چگالی ۱/۲ باشد قطر آن ۰/۰۹ میلیمتر

خواهد بود و اگر چگالی آن ۲/۶۵ باشد اندازه آن ۰/۰۱۵ میلیمتر است

که در حقیقت ذرات بزرگ‌تر از دو عدد پیش گفته در این بار هیدرولیکی



قابل ته‌نشینی هستند. توجه شود که اندازه جلبک‌ها در محدوده ۱۰

میکرون و یا ۰/۰۱ میلیمتر است و اگر چگالی آن هم ۱/۲ فرض شود در

شرایط مطلوب سرعت ته‌نشینی آن عبارت است از ۰/۰۰۸ میلیمتر در

ثانیه که در این بار سطحی ترسیب نمی‌شود و در شرایط پتوی لجن

قابل زدایش است و یا از شناورسازی باید استفاده نمود.

با کاربرد یک دلمه‌ساز مناسب و با عملکرد مطلوب تولید ذره

هم می‌توان جلبک‌ها را از آب زدایش نمود و در این صورت بار سطحی

زلالساز می‌تواند به ۶۰-۷۰ متر در روز هم برسد. زیرا اندازه ذرات

تشکیل شده می‌تواند به ۱/۰ میلیمتر برسد که دارای سرعت ته‌نشینی

حدود ۱۰۰ متر در روز است. آگاهی به طیف دانه‌بندی و جنس ذرات

معلق آب برای انتخاب معیارهای طراحی ضرورت دارد. انجام عملیات

جار تست توسط کارشناس خبره و یا اجرای طرح آزمایشی برای

تصمیم‌گیری منطقی ضرورت دارد.

زمان ماند

هدف اصلی از زمان ماند، تامین فرصت برای کوچکترین ذره مورد

نظر برای ته‌نشینی و رسیدن به حدود کف حوضچه یا منطقه ذخیره

لجناب است. برای مثال در صورتی که سرعت ته‌نشینی ذره ۱/۲ میلیمتر

در ثانیه باشد عمق حدود ۴ متر حوضچه ته‌نشینی را در یک ساعت

طی می‌نماید و به همین جهت زمان مورد توصیه ۱/۵ تا ۲ ساعت است.

در مورد حوضچه‌های مستطیلی توصیه شده است که سرعت

افقی آب حدود ۰/۱۵ متر در دقیقه باشد. با فرض زمان ماند ۹۰ دقیقه،

حداقل طول حوضچه برای این شرایط $13/5 = 90 \times 0.15$ متر است که

با بخش درون‌آر و برون بر باید حدود ۱۵ متر در نظر گرفت. لذا با توجه

به دو ویژگی پیش گفته ابعاد و حجم حوضچه ته‌نشینی قابل تعریف

شدن است. اما در مورد ویژگی‌های درون آر و برون بر توصیه‌هایی

نیز شده که در مرجع شماره ۱۰ به آن پرداخته شده است.

به هرحال هر چه سرعت افقی آب بیشتر شود، عمق حوضچه

باید کمتر و یا طول آن بیشتر شود، اما از طرف دیگر وضعیت برخورد

ذرات و به هم چسبیدن و بزرگ‌تر شدن آنها کمتر خواهد شد. در

حوضچه‌های با پتوی لجن مسئله کمی فرق دارد. توجه به معیارهای

مورد توصیه نشریه ۳-۱۲۱ استاندارد مهندسی آب کشور الزامی است،

زیرا گزارش مشاور با توجه به آن نشریه باید مورد تصویب قرار گیرد.

به هرحال معادله اصلی عبارت است از:

$$V_s = \frac{Q}{A}$$

که در آن:

Q = میزان آب ورودی بر حسب مترمکعب در ثانیه؛

A = سطح حوضچه ته‌نشینی بر حسب مترمربع؛

V_s = سرعت ته‌نشینی کوچکترین ذره مورد زدایش بر حسب متر در

ثانیه.

و بنابراین با افزایش سطح حوضچه و یا کاهش میزان آب ورودی ذرات

کوچک‌تر ته‌نشین می‌شوند.

تعداد واحدهای زلالساز

تعداد واحدهای ته‌نشینی یک تصفیه‌خانه بستگی به ظرفیت

تصفیه‌خانه، مدولاسیون و مراحل اجرای آن دارد. در ظرفیت‌های کمتر

از ۱/۵ مترمکعب در ثانیه که در یک مرحله اجرا می‌شود اگر در یک

مدول باشد، حداقل ۲ واحد و حداکثر سه واحد باید در نظر گرفته شود.

انتخاب معیارها باید برای نیاز حداکثر روزهای گرم‌ترین ماه

سال‌های انتهایی طرح و خارج بودن یک واحد از سه واحد برای تعمیرات

انجام گیرد. در مورد شهرهایی که مسافره‌های زیارتی و سیاحتی دارند،

متوسط روزهای پرجمعیت‌ترین ماه باید ملاک تصمیم‌گیری قرار

گیرد. از طرف دیگر فرایندهای بالادست آن یعنی واحدهای اختلاط

و تولید ذره هم خود مقوله دیگری است که قبلاً مورد توجه قرار گرفته

و روی تعداد واحدهای لازم ته‌نشینی دخالت دارد.

در تصفیه‌خانه‌های با ظرفیت بیشتر از ۲-۳ مترمکعب در ثانیه،

معمولاً ابتدا تعداد مدول‌ها باید انتخاب شود و برای هر مدول ۲ واحد



آب است که با طراحی مناسب خروجی و ورودی آب می‌توان اثر میانبر زدن را در حد زیادی کاهش داد. اگر جریان آب در تمام سطح مقطع عرض حوضچه تقسیم نشود، سرعت افقی آب در دالانی از حوضچه افزایش پیدا نموده و زمان ماند کمتر شده و در نتیجه عملکرد حوضچه در زدایش ذرات معلق کاهش می‌یابد.

چنانکه هر چه تعداد ورودی‌های یک حوضچه برای یک میزان آب بیشتر شود احتمال میانبر زدن کمتر می‌شود. در حوضچه‌های بزرگ‌تر پیش‌بینی راهبند با تعداد زیادی روزنه کار توزیع آب ورودی را به تمام سطح مقطع انجام می‌دهد. اگر افت فشار در عبور آب از روزنه‌های راهبند ۴-۵ برابر فشار سرعت باشد کار تقسیم آب در سطح مقطع مطلوب خواهد بود. لذا باید توجه داشت که میزان شیب سرعت در روزنه کمتر از شیب سرعت در آخرین مرحله تولید ذره باشد تا شکستن ذرات رخ ندهد. بنابراین سرعت آب در روزنه‌ها باید بیشتر از حدود ۳۰ سانتیمتر در ثانیه نشود.

برون‌بر حوضچه

شکل خروجی و نحوه عمل آن نیز روی بروز میانبر زدن و کنده شدن ذرات ته‌نشین شده از کف حوضچه تاثیر دارد و به همین جهت وضعیت خروجی واحدهای ته‌نشینی در طی سال‌ها دستخوش تغییر و تکامل شده است. توصیه می‌شود که بار سرریز خروجی در حدود ۲۴۰ مترمکعب در مترطول سرریز در روز بیشتر نشود و بدین ترتیب سرعت خروجی کاهش یافته و پدیده نامطلوب پیش گفته کمتر رخ می‌دهد. در نشریه ۳-۱۲۱ بار سرریز ۱۷۰-۲۴۰ متر در روز در مترطول برای شرایط مختلف توصیه شده است. خروجی هم مانند ورودی به صورت راهبند روزنه‌دار پیش‌بینی می‌شود، لذا افت فشار هیدرولیکی این روزنه هم باید در طراحی در نظر گرفته شود. گرچه آب سردتر ورودی هنوز می‌تواند باعث میانبر زدن در لایه‌های پایین حوضچه گردد.

ته‌نشینی پیش‌بینی می‌شود. حال در صورتیکه با خارج شدن یکی از واحدها از مدار تولید معیارهای بهره‌برداری واحد دوم بیشتر از حداکثر معیارهای طراحی گردد، آن وقت پیش‌بینی سه واحد باید مورد توجه قرار گیرد. لذا با حفظ معیارهای طراحی چون بار هیدرولیکی، زمان ماند و سرعت افقی جریان آب که هر سه معیار دارای طیفی عددی هستند روی تعداد واحدها با توجه به میزان سرمایه‌گذاری‌ها باید تصمیم‌گیری نمود که خود بستگی به ویژگی‌های هر طرح دارد. بر این اساس انواع ته‌نشین‌کننده‌ها ابداع شده اند که مورد بحث قرار می‌گیرند:

۴-۴-۲- زلا‌لسازهای مستطیلی با جریان افقی

گرچه بیشترین نوع این ته‌نشین‌کننده‌ها به شکل مربع مستطیلی است اما انواع دایره و مربع آن هم مورد استفاده است. در این ته‌نشین‌کننده‌ها اثر باد و اختلاف دمای آب کمتر دخالت دارد و عملکرد آن‌ها مطلوب می‌باشد. در نوع مستطیلی طول آنها ۳-۵ برابر عرض است و در صورتیکه لازم است جمع‌آوری و تخلیه لجن به طور مکانیکی انجام گیرد، عرض حوضچه تابع مشخصات تاسیسات مکانیکی مورد استفاده است.

در انواع دایره‌ای هم قطر حوضچه تابع مشخصات پل لجن روب است لذا آگاهی از امکانات ساخت تاسیسات مکانیکی برای طراحی ابعاد و در نتیجه تعداد حوضچه‌ها ضرورت دارد. عمق این حوضچه‌ها در محدوده ۳-۴/۵ متر می‌باشد. به هر حال سازنده پل که شرکت تامین‌کننده تاسیسات الکترومکانیکال است با حفظ معیارهای بهره‌برداری اندازه نهایی را تعیین می‌نماید.

درون‌آر حوضچه

یکی از مشکلات در بهره‌برداری از ته‌نشین‌کننده‌ها پدیده میانبر زدن^۱



تخلیه لجن

رسوبات ته‌نشین شده را به کمک لجن روب‌ها و به طور مستمر و یا غیر مستمر باید جمع‌آوری و به خارج از حوضچه هدایت نمود. در صورتیکه بتوان به طور ثقلی و با کمک فشار هیدرولیکی حوضچه این تخلیه را انجام داد گزینه بهتری است زیرا انرژی کمتری مصرف می‌شود و یکی از معیارهای مقایسه زلا‌لسازها هم همین ویژگی است. در تصفیه‌خانه‌های روستایی و در اجتماعات کوچک که مدت تولید رسوب به خصوص در واحدهای پیش‌ته‌نشینی محدود است می‌توان رسوبات را به کمک نیروی ثقل تخلیه نمود. اصول طراحی این حوضچه‌ها در مراجع تخصصی وجود دارد.

تاسیسات جمع‌آوری لجناب واحدهای ته‌نشینی اصولاً توسط شرکت‌های تخصصی طرح و ساخته می‌شود و بخشی از طرح ویژه آنها می‌باشد. مشکل اصلی این تاسیسات خوردگی و زنگ‌زدگی است که نگهداری از آنها نیاز به توجه دارد و اکنون از مصالح پلیمری چون پلاستیک که خورده نمی‌شود استفاده می‌گردد.

تاسیسات مکانیکی جمع‌آوری رسوبات ته‌نشین شده در واحدهای با سطح مقطع دایره‌ای علاوه بر امتیازات سازه‌ای مشکلات تعمیر و نگهداری کمتری داشته و به همین جهت طرفداران بیشتری دارد و در مقابل فضای بیشتری از محوطه تصفیه‌خانه را به خود اختصاص می‌دهد. برای ته‌نشین‌کننده‌های مستطیلی نیز تاسیسات جمع‌آوری لجن و رسوبات توسعه پیدا کرده و چون هزینه‌های ساختمان آنها کمتر و عملکرد ته‌نشینی هم بهتر است و فضای کمتری هم اشغال می‌نمایند باید مورد استفاده بیشتری قرار گیرد. استفاده از تاسیسات جمع‌آوری لجناب به کمک پمپ‌های مکش یکی از گزینه‌های مطلوب است که البته تخلیه لجناب با مصرف انرژی همراه است.

۴-۴-۳- زلا‌لسازهای با جریان افقی و مقطع دایره

توسعه تاسیسات لجن رویی حوضچه‌های با سطح مقطع دایره‌ای که

نیروی محرکه به کمک جعبه دنده و یاتاقان‌ها در خارج از آب گردش پرگاری را دارد از محبوبیت بیشتری برخوردار است. زیرا لجن‌روب‌های زنجیری واحدهای مستطیلی نیاز به تعمیر و نگهداری بیشتری دارند. این ته‌نشین‌کننده‌ها با محدودیت قطر حوضچه که همان طول پل‌های لجن‌روب است مواجه می‌باشند که رقم ۳۰ متر معیار اکثر طراحی‌ها بوده گرچه با قطر بزرگ‌تری هم ساخته شده است. در این حوضچه‌ها که جریان آب ورودی از مرکز و به طرف محیط حوضچه و به صورت افقی است دارای عملکردی به خوبی حوضچه‌های مستطیلی بوده و نوع جریان را افقی‌شعاعی نامند. شرکت‌های بسیاری در دنیا دارای امتیاز ویژه این زلا‌لسازها هستند که شرکت ایمکو^۱ یکی از آنهاست.

ابعاد حوضچه

چون نوع جریان آب در آن مانند حوضچه‌های مستطیلی است مبنای طرح آن بار هیدرولیکی بوده و معیارهای طراحی مشابه حوضچه‌های مستطیلی است. تنها محدودیت آن همانطور که گفته شد، قطر بازوهای پل لجن‌روب است. در طراحی این حوضچه‌ها ضخامت و یا عمق آب در کنار دیواره حوضچه دارای اهمیت است. زیرا اگر کم انتخاب شود باد و اختلاف دمای آب باعث به حرکت در آوردن دوباره رسوبات شده و از حوضچه شسته می‌شود. در مورد حوضچه‌های دارای پتوی لجن هم این رخداد قابل پیش‌بینی است و به همین جهت با توجه به ضرورت حفظ شیب کف، حداقل عمق این بخش ۳-۳/۵ متر انتخاب می‌شود.

ورودی

در مرکز این زلا‌لسازها استوانه کم قطری پیش‌بینی می‌شود که می‌تواند با مقطع مربع هم باشد. آب خروجی از واحدهای ذره‌سازی و اختلاط سریع وارد آن شده و آب به صورت شعاعی و یکنواخت به طرف سرریزهای بخش زلا‌لسازی هدایت می‌شود که عملکرد مطلوبی



دارد و به همین جهت بخش ته‌نشینی آن‌ها طوری طراحی می‌شود که بار هیدرولیکی آنها کمتر از ۶۰ متر در روز باشد. این رقم در محدوده بار هیدرولیکی زلالسازهای مستطیلی قرار دارد.

❧ خروجی

آب زلال شده که به طرف محیط حوضچه جریان دارد باید توسط تاسیسات خروجی به طور یکسان و یکنواخت جمع‌آوری شده و به طرف واحدهای پایین دست یعنی فیلترها هدایت شود. خروجی زلالساز یا به صورت روزنه‌های مستغرق است و یا از نوع سرریزهای متعدد محیطی به شکل مثلث یا مربع مستطیل می‌باشد. در بعضی از قسمت‌ها از ناودانک استفاده می‌شود که یا دارای روزنه‌های مستغرق است و یا آب زلال شده از طریق سرریز به خارج هدایت می‌شود. گفته می‌شود که نوع دارای سرریز را بهتر می‌توان از نظر هیدرولیکی کنترل نمود زیرا میزان آب سرریز تابع ارتفاع تیغه آب در روی سرریز است. گرچه در مورد روزنه مستغرق هم این روابط قابل محاسبه و تنظیم است.

❧ قیف جمع‌آوری لجن و شیب کف

حوضچه قیف شکل جمع‌آوری لجناب که در دور پایه بتنی در مرکز زلالساز پیش‌بینی می‌شود از یک امتیاز خوب برخوردار است و آن ظرفیت نگهداری لجناب است و به همین جهت از انواع دیگر مناسب‌تر است. برای جلوگیری از تجمع لجن در قیف پیش‌بینی‌هایی لازم است تا شرایط بی‌هواری در آن ایجاد نگردد. قطر لوله تخلیه لجناب نباید از ۱۵ سانتیمتر کمتر باشد و امکانات تخلیه و نظافت آن در صورت بروز گرفتگی باید پیش‌بینی گردد. بنابراین تمهیداتی جهت استفاده از جریان‌های پر فشار آب در نظر گرفته می‌شود.

پیش‌بینی شیب کافی در کف حوضچه که خود بستگی به

تاسیسات جمع‌آوری لجن و به خصوص پارو یک‌ها دارد نیازمند توجهات خاص است و ضرورت دارد که از تاسیسات ویژه سازندگان استفاده شود. در حوضچه‌های با قطر بیشتر از ۲۴ متر شیب کف را در تمام سطح مقطع یکسان انتخاب نمی‌کنند بدین ترتیب که در قیف جمع‌آوری لجناب شیب کف بیشتر است. به طور کلی این بخش با توجه به تجارب سازنده پل لجن‌روب باید ساخته شود.

ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای^۱، صفحه‌ای^۲، تماس جامدات^۳، پتوی لجن^۴، شناورسازی^۵ و تماسی^۶ در گروه زلالسازهای با بار هیدرولیکی بالا قرار می‌گیرند که در ادامه به آنها پرداخته خواهد شد.

۴-۴-۴- زلالسازهای لوله‌ای

مشاهده شد که بار هیدرولیکی که تقریباً کمی کمتر از سرعت ته‌نشینی کوچکترین ذره مورد زدایش است، معیار اصلی در طراحی زلالسازها است و ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای هم بر مبنای همین اصل طراحی و ساخته می‌شوند. لذا با نصب لوله‌های موازی ضمن اینکه سطح ته‌نشینی حوضچه بیشتر می‌شود و عمقی هم که باید توسط ذره طی شود کوتاه تر شده، بنابراین ته‌نشینی و زلالسازی در زمان کمتری انجام می‌گیرد. اولین ته‌نشین‌کننده‌های لوله‌ای در سال ۱۹۶۰ توسط شرکت میکروفلوک^۷ ساخته شد. قطر لوله‌های مورد استفاده ۵ سانتیمتر و شکل مقطع آن هم مربع بوده، در نتیجه فاصله ته‌نشینی از چند متر به حدود ۵ سانتیمتر تقلیل یافت.

با قرار گرفتن لوله‌ها در زاویه ۶۰ درجه، رسوبات با نیروی ثقل به طرف کف مخزن لغزیده می‌شوند بدین ترتیب که آب حاوی ذرات دلمه شده در حالیکه در لوله به طرف بالا حرکت می‌کند ذرات ترسیب شده در کف لوله به طرف پایین می‌لغزند. رسوبات کف هم توسط تاسیسات مکانیکی لجن‌روبی می‌شوند. در شکل شماره ۴-۱۲ یک نوع ته‌نشین‌کننده لوله‌ای نشان داده شده است.

1. Tube Settlers
2. Plate Settlers

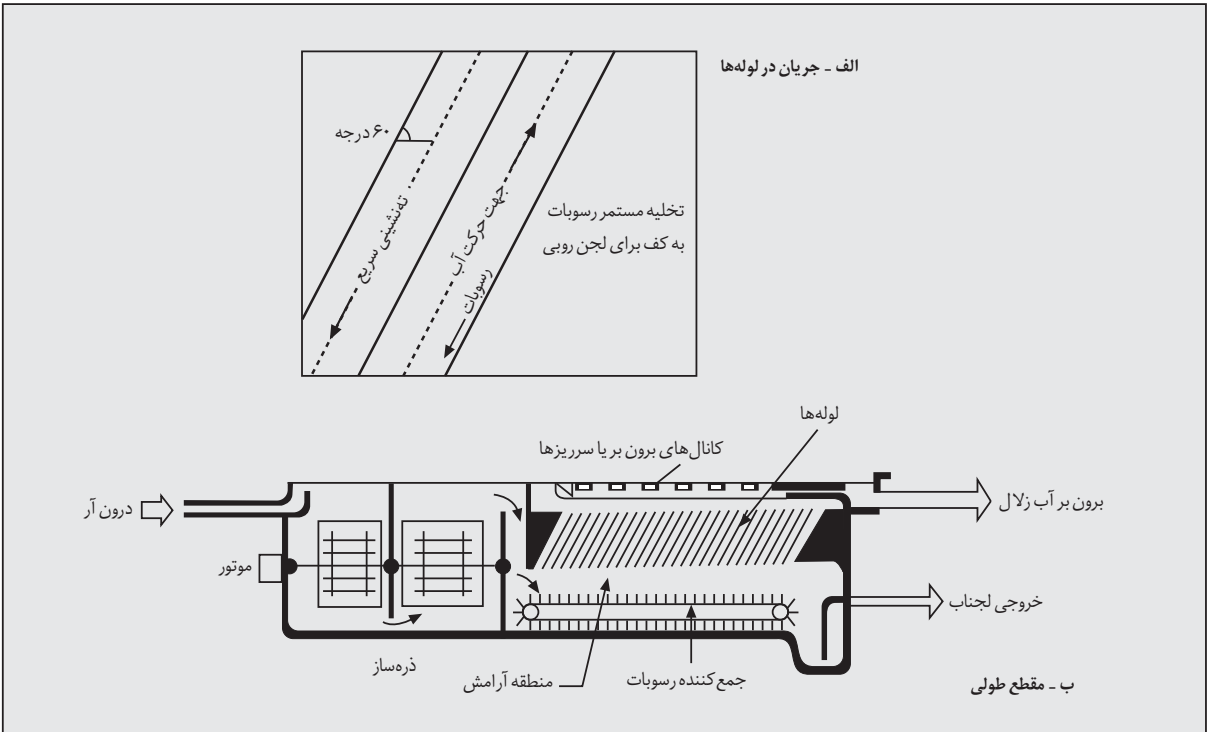
3. Solid Contact Units
4. Sludge Blanket

5. Floatation Unit
6. Contact Clarification

7. Microfloc



❧ شکل شماره ۴-۱۲- یک زلالساز با ته‌نشین‌کننده لوله‌ای



❧ معیارهای طراحی

سطح مورد محاسبه حوضچه با توجه به زاویه ۶۰ درجه برابر جمع کل سطوح لوله‌ها بوده و بار سطحی حدود ۲۸ متر در روز می‌باشد. برای ذرات حاصل از کاربرد دلمه‌ساز در شرایطی بار هیدرولیکی می‌تواند به حدود ۴۸ متر در روز هم برسد و این در صورتی است که عملکرد ذره‌سازی مطلوب باشد و ذرات دارای وزن مخصوص مناسب گردند. حال اگر سطح حوضچه بدون لوله‌ها در نظر گرفته شود بار سطحی می‌تواند ۱۶۰-۱۷۰ متر در روز برسد و افزایش بار سطحی حدود ۶ برابر را نشان می‌دهد که بدون لوله‌ها چنین باری در حوضچه مجاز شناخته نمی‌شود.

❧ درون آر

با توجه به نصب لوله‌های پیش‌گفته، توزیع میزان یکنواخت آب ورودی درون لوله‌ها دارای اهمیت است و در نتیجه نیاز به ملاحظات

دارد. در صورت بروز آشفتگی آب در ورودی، عملکرد ته‌نشینی در لوله‌ها دچار اختلال می‌شود. زیرا ضمن اینکه توزیع یکنواخت آب بین لوله‌ها به هم می‌خورد، خروج ذرات ته‌نشین شده در لوله‌ها را نیز دچار اغتشاش می‌نماید. در نتیجه ممکن است ذرات تشکیل شده شکسته و ته‌نشین نشده و با آب از زلالساز خارج شوند. برای جلوگیری از بروز این پدیده پیش‌بینی منطقه آرامش آب در حوضچه ضرورت دارد. در جدول شماره ۴-۱۲ معیارهای پیشنهادی برای طراحی زلالسازهای با جریان آب رو بالا آورده شده است.

همانطور که شکل پیش‌گفته بخش ب نشان می‌دهد فاصله انتهای لوله‌ها از کف حوضچه در حدودی است که برای نصب تاسیسات جمع‌آوری لجناب خروجی از لوله‌ها در نظر گرفته می‌شود که فضای ایجاد آرامش آب ورودی نیز است. به علاوه امکان دسترسی به تاسیسات در مرحله بهره‌برداری هم فراهم می‌شود.



جدول شماره ۴-۱۲- معیارهای طراحی ته‌نشین‌کننده‌های با جریان عمودی^۱

بار سطحی برای تمام سطح حوضچه (مترمکعب در متر مربع در ساعت)	بار سطحی روی بخش ورودی لوله‌ها (مترمکعب در مترمربع در ساعت)	کدورت قابل انتظار آب خروجی (ان تی یو)
۱) برای آب‌هایی که دمای آن معمولاً حدود ۵ درجه سلسیوس است.		
۳/۴	۴/۵	۳-۱
۳/۴	۶/۸	۵-۱
۳/۴	۱۷/۴	۷-۳
۴/۵	۴/۵	۵-۱
۴/۵	۶/۸	۷-۳
۲) برای آب‌هایی که دمای آن معمولاً حدود ۱۰ درجه سلسیوس است.		
۴/۵	۴/۵	۳-۱
۴/۵	۶/۸	۵-۱
۴/۵	۱۷/۴	۷-۳
۵/۷	۵/۷	۷-۳
۵/۷	۶/۸	۱۰-۵
الف) کدورت آب خام ۱۰۰-۱۰۰ ان تی یو است.		
۴/۵	۵/۷	۵-۱
۴/۵	۶/۸	۷-۳
۶/۸	۱۷/۴	۱۰-۵
ب) کدورت آب خام ۱۰۰-۱۰۰۰ ان تی یو است.		
۴/۵	۵/۶	۷-۳
۴/۵	۶/۸	۱۰-۵
۳) برای مناطقی که دمای آب تقریباً همیشه بیشتر از ۱۰ درجه سلسیوس است.		
الف) کدورت ۱۰۰۰-۱۰۰ ان تی یو		
۴/۵	۵/۷	۳-۱
۴/۵	۶/۸	۵-۱
۴/۵	۱۷/۴	۷-۳
۶/۸	۷/۴	۵-۱
۶/۸	۱۷/۴	۷-۳
ب) کدورت آب خام ۱۰۰-۱۰۰۰ ان تی یو است.		
۴/۵	۵/۷	۵-۱
۴/۵	۶/۸	۷-۳

1. Upflow



برون‌بر

آب زلال شده خروجی از لوله‌های ته‌نشینی باید در سطح حوضچه توسط برون‌برها جمع‌آوری شود و این جمع‌آوری باید طوری انجام گیرد که جریان آب درون لوله‌ها دچار اختلال نشود. لذا پیش‌بینی لوله مستغرق و یا کانال دارای روزنه‌هایی در کف آن و در فاصله ۰/۶-۱ متر نسبت به خروجی لوله‌ها لازم است. کانال‌های جمع‌آوری نباید دارای فاصله‌ای بیشتر از ۱/۵ متر نسبت به هم باشند. نحوه جمع‌آوری و تخلیه رسوبات نیز در شکل نشان داده شده است. اما نحوه عملکرد نیروی محرکه لجن روب در شکل نشان داده نشده است که بستگی به طرح ویژه سازنده دارد.

گفته شد که لوله‌ها باید در منطقه ای از حوضچه قرار گیرند که کمترین اغتشاش در آب باشد و به همین دلیل در بخش ۰/۵-۰/۷۵ متر مقطع نزدیک به خروجی حوضچه قرار داده می‌شوند. بخش انتهایی لوله‌ها باید ۰/۶-۱/۲ متر زیر سطح آب قرار گیرد و رقم ۰/۶ متر بیشتر رعایت می‌شود. در صورتیکه عمق آب در کناره‌های حوضچه حدود ۴-۶ متر باشد رقم ۱/۲ متر رعایت می‌شود. فاصله کانال‌های جمع‌آوری آب خروجی از یکدیگر در حدود ۳-۴ متر انتخاب می‌شود.

مثال شماره ۴-۲:

یک تصفیه خانه آب با ظرفیت اسمی ۱۵،۱۴۰ مترمکعب در روز دارای یک حوضچه ته‌نشینی با سطح مقطع مربع مستطیل و با جریان افقی آب و فیلتر تند ثقلی است.

ابعاد حوضچه ته‌نشینی عبارت است:

طول = ۴۰ متر؛

عرض = ۹/۱۴ متر؛

بار سطحی حوضچه = ۴۰ متر در روز؛

عمق متوسط حوضچه = ۴/۵۷ متر.

سرریز حوضچه در عرض انتهایی آن قرار دارد. آب خام ورودی به آن

دارای کدورت ۲۵-۳۰ ان تی یو است و دمای آب به کمتر از ۱۰ درجه سلسیوس می‌رسد. واحد تولید ذره قبل از آن دارای زمان ماند ۴۰ دقیقه برای ظرفیت ۱۴۰، ۱۵ متر مکعب آب در روز است. در اوقاتی که کدورت آب زیاد و دمای آن کمتر است کمک دلمه ساز هم به آب اضافه می‌شود. در نظر است که ظرفیت تصفیه خانه به ۲۸۰، ۳۰ مترمکعب در روز افزایش یابد. در این شرایط بارسطحی ته‌نشینی عبارت است از ۸۰ متر در روز (۳/۳ متر در ساعت). بار سطحی ۳/۳ متر در ساعت کمتر از ارقام جدول شماره ۴-۱۲ می‌باشد اما به هر حال در بار سطحی ۳/۴ تا ۶/۸ متر در ساعت برای واحدهای زلال‌ساز مجهز به لوله‌های ته‌نشینی انتظار می‌رود که کدورت آب خروجی ۱-۵ ان تی یو باشد که مناسب هدایت به فیلترهای دوجنسی است. برای آب‌های با کدورت و دمای معمولی بار سطحی حدود ۶/۸ برای ته‌نشین‌کننده‌های دارای لوله‌های ته‌نشینی و ۳/۳ برای ته‌نشین‌کننده‌های معمولی، خروجی مناسبی تولید می‌کنند. در نتیجه اگر میزان آب مورد تصفیه ۱۲۶۲ مترمکعب در ساعت و بار سطحی ۶/۸ متر در ساعت باشد، سطح کل لوله‌های ته‌نشین‌کننده حدود ۱۸۶ مترمربع خواهد بود.

حال بخشی که باید تحت پوشش لوله‌ها قرار گیرد عبارت است از ۹/۱۴:۱۸۶ در نتیجه طول ۳/۲۰ متر با توجه به اندازه و ابعاد سازنده لوله‌ها دستخوش اصلاح خواهد گردید. بنابراین همانطور که شکل شماره ۴-۱۳ نشان می‌دهد مجموعه لوله‌ها از دیوار تا طول حدود ۳/۲۰ متر را اشغال خواهد نمود. در نتیجه سه کانال جمع‌آوری جدید هر کدام به طول حدود ۳/۲۰ متر ضرورت دارد تا آب زلال را جمع‌آوری نموده و به کانال محیطی هدایت نماید. فاصله محور کانال‌ها از یکدیگر ۳ متر و بقیه اندازه‌ها در شکل نشان داده شده است.

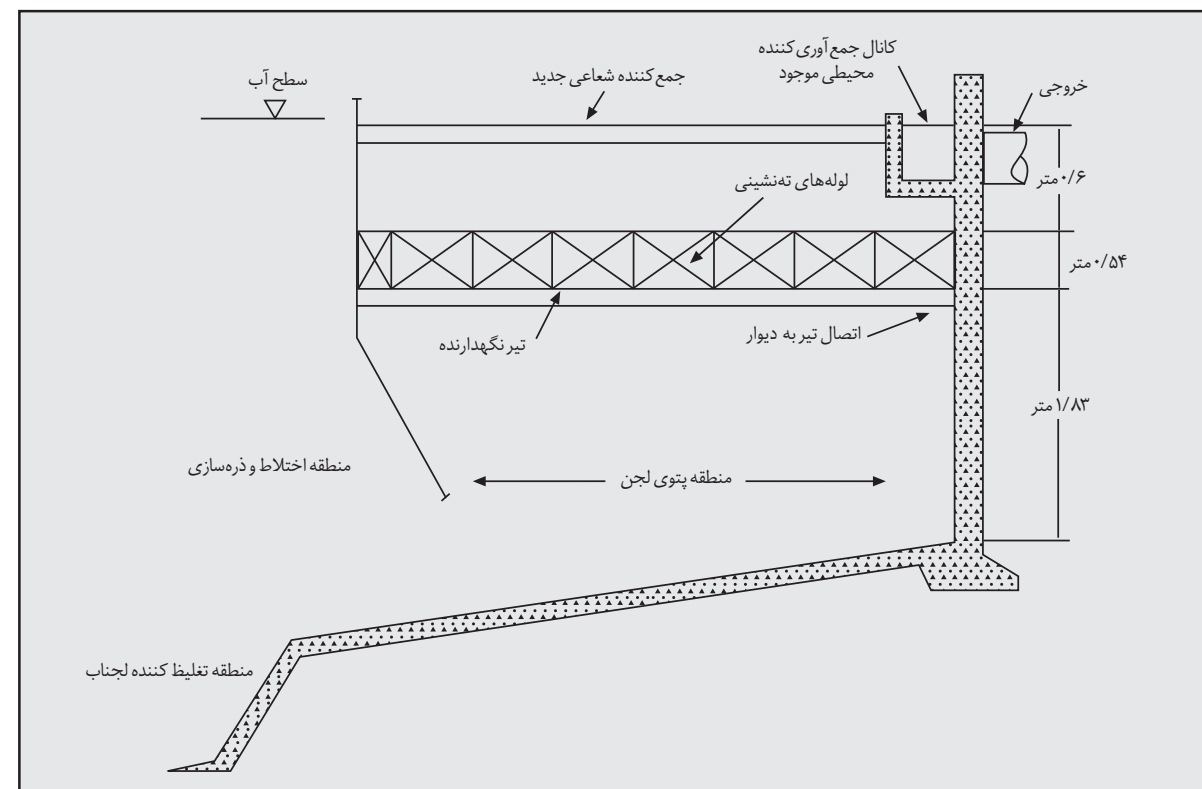
۴-۴-۵- زلال‌ساز اکتی فلو^۱

یک نوع تاسیسات ثبت شده که از ویژگی‌های ته‌نشین‌کننده‌های

1. Actiflo



شکل شماره ۴-۱۳- زلالساز با جریان رو به بالا با لوله‌های ته‌نشینی



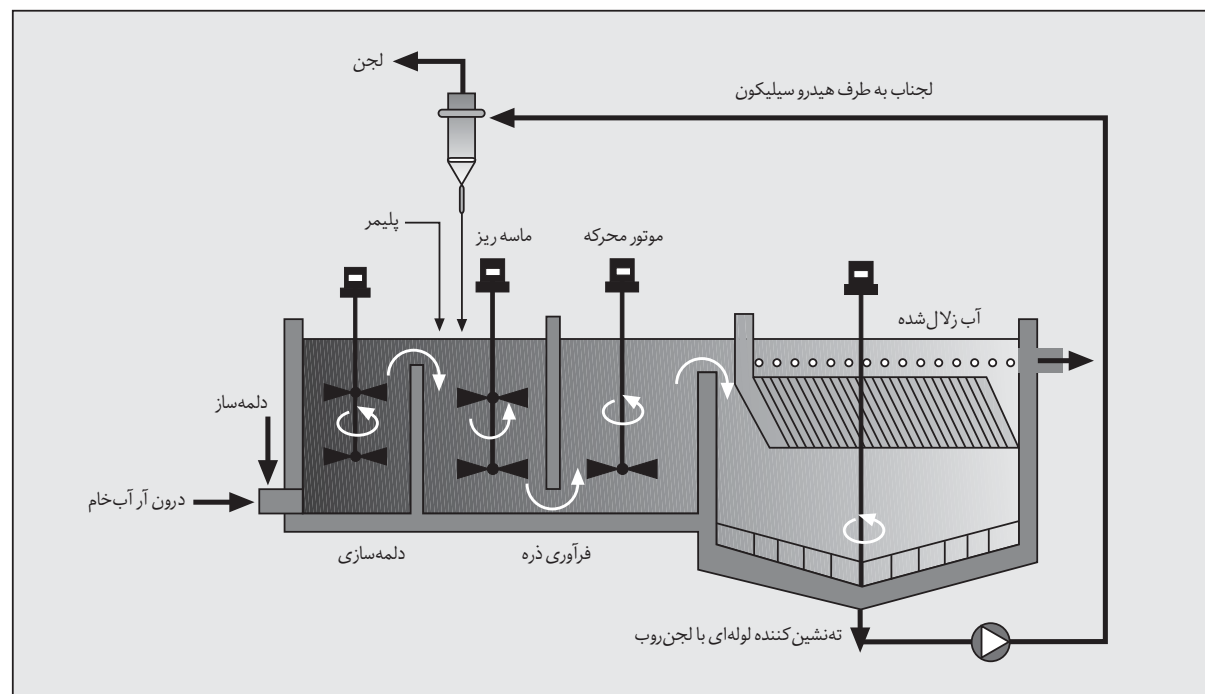
لوله‌ای بهره‌می‌برد اکتی فلو است که از ماسه بسیار ریز برای تشکیل هسته ذره استفاده می‌نماید. ماسه بسیار ریز^۱ قبل از دلمه‌سازی به آب خام اضافه می‌شود و هسته ذرات را تشکیل می‌دهد لذا ذرات تشکیل شده در لوله‌ها با سرعت خیلی بیشتری ترسب می‌شوند. بار سطحی این زلالسازها در حدود ۲۴۰۰ متر در روز است که در عمل ارقام کمتری انتخاب می‌شود، لذا با افزایش بار سطحی می‌توان حوضچه را کوچکتر ساخت. وجود ماسه بسیار ریز فرایند دلمه‌سازی را هم تسریع می‌نماید. جامدات ترسب شده پس از خروج از حوضچه برای باز یافت و استفاده دوباره ماسه به واحدی به نام هیدروسیکلون^۲ هدایت می‌شود تا مورد شستشو قرار گیرد (شکل شماره ۴-۱۴).

2. Hydrocyclone

1. Microsand



شکل شماره ۴-۱۴- واحدهای فرایندی- هیدرولیکی اکتی فلو



باید برای رسیدن به کف طی کنند کوتاه‌تر می‌شود. در نتیجه می‌توان بار سطحی حوضچه را به طور قابل ملاحظه افزایش داد.

معیارهای طراحی

مانند دیگر زلالسازها معیار طراحی این ته‌نشین‌کننده‌ها هم بار سطحی است که به طور متوسط حدود ۲۸ متر در روز انتخاب می‌شود اما اگر صفحات نصب شده نادیده گرفته شود بار سطحی حدود ۲۵۰-۳۵۰ متر در روز خواهد بود که ۱۰ برابر نوع متعارف است. ابعاد حوضچه هم در سازندگان مختلف به دلیل ویژگی‌های صفحات یکسان نیست لذا همکاری طراح و سازنده در انتخاب آن ضرورت دارد.

درون آر

درون آر حوضچه روی عملکرد زلالسازها دخالت دارد و به همین جهت ویژگی آن در سازندگان مختلف یکسان نیست. در بعضی موارد توزیع

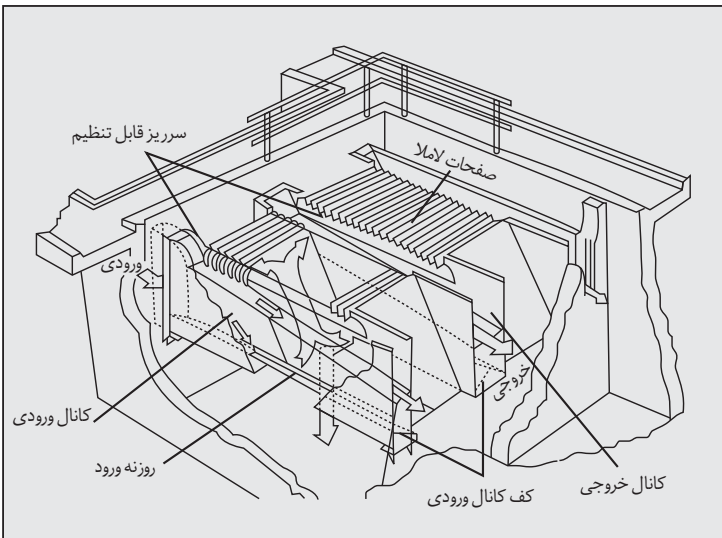
معیارهای مورد بهره‌برداری، دارای سودمندی کافی نیز باشد. هیچ واحد فرایندی را نمی‌توان بدون انجام عملیات آزمایشی معروف به پایلوت برای استفاده در تولید آب شرب عموم مورد استفاده قرار داد مگر آنکه صاحب امتیاز آن عملکرد مطلوب را تضمین نماید.

۴-۴-۶- زلالسازهای صفحه‌ای

در بحث‌های پیشین گفته شد که عملکرد فرایند ته‌نشینی تحت تأثیر بار هیدرولیکی است یعنی متناسب با میزان آب ورودی به سطح بخش ته‌نشینی حوضچه است. بنابراین برای افزایش عملکرد ته‌نشینی و رسوب ذرات ریزتر می‌توان به کمک صفحاتی سطح حوضچه ته‌نشینی را افزایش داد که اساس حوضچه‌های ته‌نشین‌کننده‌های صفحه‌ای است. طبق شکل شماره ۴-۱۵ صفحاتی به صورت مورب در بخش ته‌نشینی نصب می‌گردد. در نتیجه با کوچک‌تر شدن $\frac{Q}{A}$ ذرات ریزتر ترسب می‌شوند و به دلیل حضور صفحات، طولی را که ذرات



شکل شماره ۴-۱۵- ته‌نشین کننده صفحه‌ای



آب توسط صفحه روزنه‌دار انجام می‌گیرد و افت فشار روزنه باعث تقسیم بهتر آب بین صفحات می‌شود و در انواع دیگر، کانال کناری آب را بین صفحات توزیع می‌نماید. در برخی زلالسازها مانند زلالسازهای لوله‌ای آب به فضای بزرگ زیر صفحات هدایت شده و در شرایط نسبتاً ایستایی آب به فضای بین صفحات هدایت می‌شود.

برون بر

طرح تاسیسات برون بر هم در سازندگان مختلف یکسان نیست و از کانال، ناودانک و یا سرریز و روزنه استفاده می‌شود. در مواردی دو کانال روی هم که زیرین درون آر و بالایی برون بر است مورد طراحی و ساخت قرار گرفته است (شکل شماره ۴-۱۵).

۴-۷- زلالساز با پتوی لجن

برای افزایش عملکرد زدایش ذرات معلق تشکیل شده در واحد زلالسازی از نوعی زلالساز با نام عمومی زلالسازهای با پتوی لجن^۱

استفاده می‌شود. در این نوع زلالسازها جریان آب طوری تنظیم می‌شود که ذرات تشکیل شده در واحد ذره‌سازی در بخش ته‌نشینی به صورت ابری در ارتفاعی از حوضچه معلق می‌ماند و ذرات معلق آب که به این منطقه می‌رسد در آن به تله می‌افتد. به علاوه فرایند دلمه‌سازی هم در این منطقه انجام می‌گیرد. در واقع ابر تشکیل شده با نام پتوی لجن فرایندی شبیه فیلتراسیون را انجام می‌دهد و ذرات را در خود به تله می‌اندازد. در این زلالسازها رخداد میانبرزدن تقریباً پیش نمی‌آید و بار سطحی آنها ۳-۴ برابر زلالسازهای متعارف است. اما اگر

اختلاف دما بین آب ورودی و آب درون حوضچه پیش آید، مانند گرم شدن آب حوضچه به دلیل تابش نور خورشید عملکرد پتوی لجن کاهش یافته و ذرات پتوی لجن به طرف خروجی زلالساز جابجا می‌شود که این فرایند با نام جوشش^۲ شناخته می‌شود.

فرایندهای اختلاط، تولید ذره و ته‌نشینی می‌تواند در بخش‌های مختلف آن انجام گیرد که بستگی به طرح ویژه سازندگان مختلف دارد. در انواعی بخشی از لجناب به منطقه اختلاط و تولید ذره منتقل می‌شود تا به فرایند تولید ذره کمک نماید. گفته می‌شود که تماس ذرات ریز تشکیل شده در بخش ذره‌سازی، در عبور از پتوی لجن جذب ذرات درشت‌تر شده و لذا ذره جدید تمایل به ته‌نشینی بیشتری پیدا می‌نماید.

معیارهای طراحی

معیار اصلی طراحی آنها نیز بار سطحی است که برای زدایش ذرات مولد رنگ حدود ۲۸-۸۵ متر در روز انتخاب می‌شود. برای زدایش

سختی در فرایندهای آهک و سود بار سطحی ۲-۴ برابر ارقام پیش - گفته انتخاب می‌شود. به کمک آزمایش جار و نوعی محاسبه باید بار سطحی مناسب را انتخاب نمود.

در استوانه مرکزی که عمل اختلاط سریع، دلمه‌ساز و تولید ذره انجام می‌گیرد به زمان ماند حدود ۳۰ دقیقه نیاز است. در این زلالسازها، آب خام ابتدا وارد استوانه مرکزی حوضچه می‌شود، اما برون بر آن در سطح بخش ته‌نشینی قرار دارد. ابعاد آنها مانند قطر، عمق و همچنین تاسیسات مکانیکی آنها متغیر است و به نام عمومی لاندِر^۱ و یا ناودانک شناخته می‌شود. نحوه هدایت آب از بخش تولید ذره به بخش ته‌نشینی نیز در سازندگان مختلف یکسان نیست اما به طور کلی باید از طریق دریچه و یا روزنه‌هایی از پایین استوانه باشد تا آب به طرف بالا و خروجی‌ها حرکت نموده و ذرات معلق را با خود حمل ننماید. بنابراین جریان مستقیم شعاعی و رو به بالا می‌باشد و ذرات با سرعت ته‌نشینی بیشتر از سرعت بالا آمدن آب ترسیب می‌شوند.

آب زلال معمولاً از لبه‌های سرریز محیط حوضچه تخلیه می‌شود. کانال‌های سطحی معروف به لاندرها هم که به صورت شعاعی در حوضچه قرار دارند کار جمع‌آوری آب زلال را انجام می‌دهند. فاصله لاندرها از هم ۴-۶ متر و بار سرریز در حدود ۳۶۰ متر در متر طول در روز است. یادآوری گردید که هر چه سرعت آب در مرحله نزدیک شدن به سرریزها کمتر باشد، احتمال حمل ذرات معلق از حوضچه توسط آب کمتر است. در اکثر این زلالسازها لجن روب نصب شده در کف، کار جمع‌آوری رسوبات و هدایت آن را به قسمت مرکزی انجام می‌دهد. تاسیسات مکانیکی این زلالسازها عبارتند از:

- استوانه مرکزی با تاسیسات اختلاط و تولید ذره؛
- مخروط گردش دوباره بخشی از لجناب؛
- لوله درون آر و راهبند.
- پل دسترسی که محل نصب الکتروموتورها و جعبه دنده‌هاست توسط



تاسیسات لجن روب حرکت می‌نماید. البته نیروی محرکه گردش پل و لجن‌روب جدا از بخش هم‌زن‌ها می‌باشد زیرا دو کار مستقل از هم را انجام می‌دهند.

۴-۴-۸- زلالساز تماسی یا اکسیلاتور^۲

اکسیلاتور که نوعی از آن در شکل شماره ۴-۱۶ نشان داده شده است زلالساز تماسی هم شناخته می‌شود.

این زلالساز ابتدا توسط اینفیلکو^۳ ساخته شد و در زیر مخروط مرکزی توربینی پیش‌بینی شده است که کار اختلاط و گردش دوباره لجناب را انجام می‌دهد. در بخش ته‌نشینی، لجناب به طور ثقلی از سیستم خارج می‌شود. لذا تمام سه فرایند اختلاط - دلمه‌سازی و تولید ذره و ته‌نشینی در یک واحد انجام می‌گیرد. آب زلال از طریق روزنه‌های لاندرها می‌تواند از حوضچه خارج می‌شود. به کمک شیر پیش‌بینی شده حجم و ارتفاع لجناب قابل تنظیم می‌باشد.

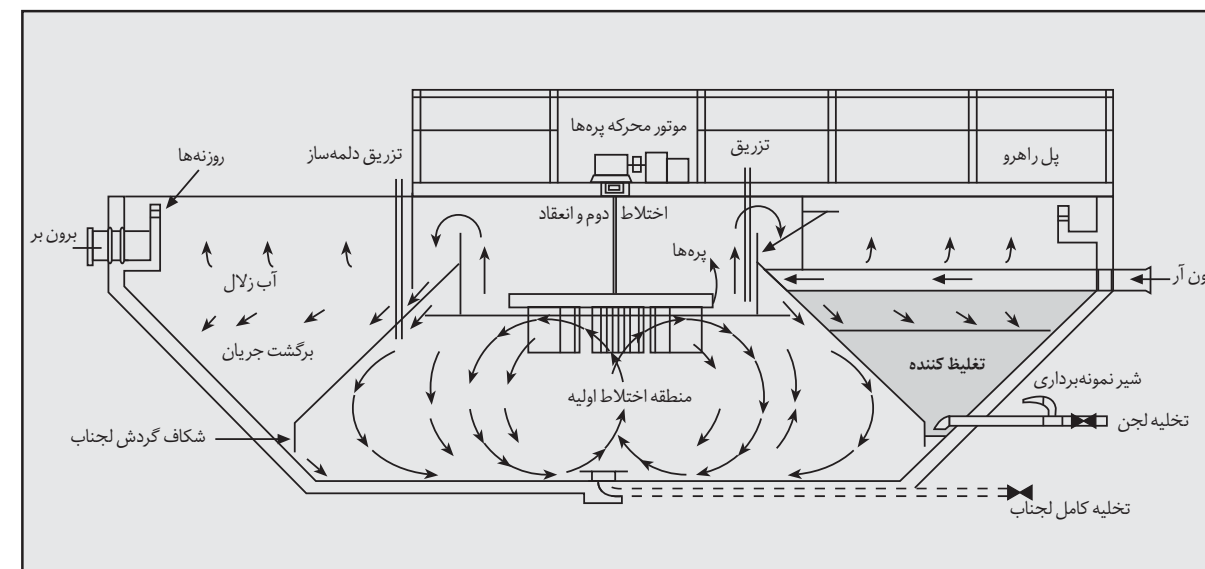
اکسیلاتورهای با قطر کم دارای تجهیزات لجن‌روب نبودند اما امروزه اکسیلاتورها با حفظ همان فرایندهای مورد بحث دارای تاسیسات جمع‌آوری و تخلیه لجناب هم هستند.

موتور مربوط به توربین تاسیسات از نوع دور متغیر می‌باشد که بر اساس کیفیت آب خام ورودی، میزان مصرف انرژی برای اختلاط و ذره‌سازی را تنظیم می‌نماید. در بهره‌برداری از آن با عملیات جار تست و نمونه‌برداری از لجناب می‌توان میزان لجناب گردش دوباره را نیز تنظیم نمود.

۴-۴-۹- زلالسازهای ضربه‌ای

- نمونه معروف آن پولساتور شرکت دگرمون است که بخش‌های اساسی آن به قرار زیر می‌باشد:
- اتاقک خلا؛

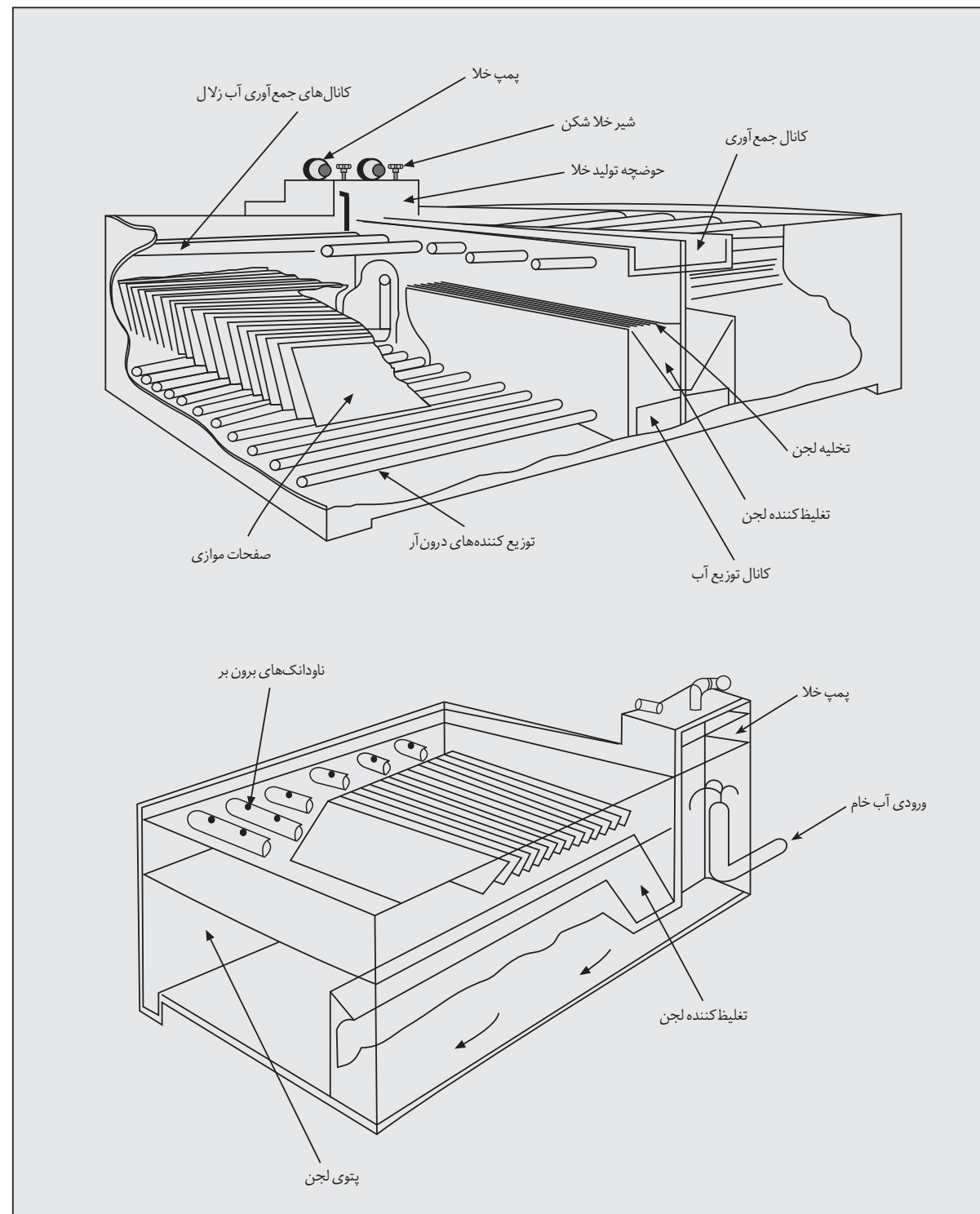
شکل شماره ۴-۱۶- مقطع یک اکسیلاتور طرح دگرمون



- تاسیسات درون آر؛
- تاسیسات برون بر؛
- تاسیسات تخلیه لجن؛
- تاسیسات کنترل؛
- تاسیسات شستشو و نمونه برداری.

فرایند کار به صورت دوره‌ای و ضربه‌ای است، در هر دوره آب مخلوط با دلمه‌ساز به اتاقک خلا هدایت می‌شود و در حالیکه پمپ ایجاد خلا در حال کار است سطح آب در اتاقک بالا می‌آید تا به ارتفاع معین برسد. ارتفاع آب در این اتاقک توسط یک زمان سنج که فرمان قطع کار پمپ خلا و باز شدن شیر خلا شکن را می‌دهد تنظیم می‌شود. با باز شدن شیر خلا شکن، آب در اثر نیروی ثقل با سرعت سقوط کرده و باعث ایجاد موج در آب می‌شود. این آب به شبکه لوله‌های توزیع واقع در کف حوضچه هدایت شده و همراه با موج ایجاد شده کار اختلاط - ذره‌سازی را تکمیل می‌نماید. زمانی که ارتفاع آب در اتاقک خلا هم‌رقوم آب در حوضچه و آب ورودی گردید و امواج از بین رفت

شکل شماره ۴-۱۷- سوپرپولساتور شرکت دگرمون





روی لوله‌های پیش گفته روزنه‌هایی پیش‌بینی شده است که کار تقسیم آب را انجام می‌دهد. فاصله لوله‌های فرعی از هم ۱/۱ متر می‌باشد. در روی لوله‌های فرعی درون‌آر معمولاً راهبند قرار دارد که در تقسیم و توزیع آب نقش کنترل‌کننده داشته و فرایند تولید ذره را نیز تکمیل می‌نماید.

برون بر

برون بر شامل لوله‌هایی است که در فاصله حدود ۲ متری یکدیگر نصب شده‌اند و در روی آنها روزنه‌های خروجی آب قرار دارد. لوله‌های فرعی آب جمع شده را به کانال اصلی کناری هدایت نموده و از حوضچه خارج می‌نماید. در شکل شماره ۴-۱۷ کلیات بحث پیشگفته نشان داده شده است.

برای بهره‌برداری از هر نوع زلالساز لازم است سازنده و طراح روش بهره‌برداری از آن را به صورت دستور عمل تدوین نمایند و در این دستور بهره‌برداری، مشکلات احتمالی را پیش‌بینی و دلایل بروز و راه‌حل‌های رفع مشکل را توصیه نمایند. در صورتیکه متصدی دستور بهره‌برداری را رعایت نماید عملکرد مطلوب حاصل خواهد شد. لازم به یادآوری است که عملکرد زلالسازها به شدت تحت تاثیر عملکرد واحدهای اختلاط و تولید ذره است و این فرایند هم تحت تاثیر عواملی چون میزان دلمه‌ساز به کار رفته، میزان آب ورودی و تغییر ویژگی‌های آب مانند تغییر ناگهانی دما و پی‌اچ است. بنابراین برای عملکرد مطلوب زلالساز باید عملکرد فرایندهای قبلی و یا بالادست مطلوب باشد.

باید توجه داشت که ممکن است به دلیل مصرف بیش از حد دلمه‌ساز آب خروجی از زلالساز دارای زلالی مطلوب باشد که در این صورت بهره‌برداری بهینه نامیده نمی‌شود. بنابراین بهره‌بردار با ثبت دقیق مشاهدات و عملیات بهره‌برداری و کیفیت آب خام ورودی باید پیامدهای نامطلوب را کشف و رابطه آن با عملیات را تعیین و نسبت به رفع آن اقدام نماید تا بهره‌برداری بهینه حاصل شود. تمام انواع

کانال‌های جمع‌آوری آب زلال هم در ارتفاعی بالایی صفحات مورب پیش‌گفته در نظر گرفته می‌شود. با افزایش ذرات جامد در لایه پتوی لجن و افزایش حجم لازم است برای پایداری آن به صورت معلق بخشی از لجن تخلیه شود. لذا لبه قیف تخلیه لجن مازاد و یا ذرات معلق در ارتفاعی در نظر گرفته می‌شود. قیف جداسازی لجناب مازاد تنها برای تخلیه لجن از حوضچه در نظر گرفته شده است و طبق شکل پیش‌گفته دارای جریان رو به بالایی آب نیست.

معیارهای طراحی

مانند دیگر زلالسازها مهمترین معیار طراحی، بار هیدرولیکی در واحد سطح منطقه ته‌نشینی است. سطح مربوط به تغلیظ لجن نباید در این محاسبه لحاظ گردد. ارقام زیر در مراجع مختلف ارایه شده و در کشور نیز تجربه زیادی در استفاده از پولساتورها وجود دارد. بار سطحی در نوع متعارف پتوی لجن ۵/۲-۳ و در نوع دارای صفحات مورب ۵-۱۵ و در نوع دارای لوله‌های ترسیب ۳-۱۲ مترمکعب در مترمربع در ساعت می‌باشد. در انتخاب ابعاد حوضچه و معیار مربوط به آن حفظ یکنواختی سرعت جریان رو به بالایی آب در سطح مقطع دارای اهمیت است.

همانطور که در شکل شماره ۴-۱۷ نشان داده شده است سوپرپولساتور از دو بخش تشکیل گردیده و در هر بخش عرض پتوی لجن ۹/۴ متر و عرض اتاق خلا ۳ متر شامل قیف تغلیظ لجن و برون بر باید باشد و عمق آن هم ۹/۴ متر است. اما طول حوضچه بستگی به میزان آب مورد تصفیه در پولساتور و توجهات هیدرولیکی دارد.

درون آر

پس از شکسته شدن خلا در اتاقک آب خام و شروع تاثیر نیروی ثقل، آب ناگهان به دو مجرای با مقطع مربع مستطیل و تحت فشار هیدرواستاتیک حوضچه هدایت شده و در لوله‌های فرعی درون‌آر هر بخش جاری می‌شود.



زلالسازها در شرایط مناسب آب و بهره‌برداری صحیح می‌توانند آبی با کدورت کمتر از ۱۰-۱۵ ان تی یو تولید کنند تا مناسب فیلترهای پایین دست باشد.

مشکلات احتمالی در بهره‌برداری از زلالسازها عبارتند از:

- افزایش ناگهانی بار هیدرولیکی به علت افزایش میزان آب خام ورودی؛
- تغییر دما و پی‌اچ آب خام؛
- افزایش و یا کاهش مواد معلق آب خام؛
- قطع برق و از کار افتادن تاسیسات برقی مانند توقف عملیات هم‌زن‌ها و جمع‌کننده‌های رسوبات؛
- قطع، کاهش و یا افزایش میزان دلمه‌ساز تزریقی به آب خام؛
- رشد جلبک‌ها و میکروب‌ها در آب حوضچه؛
- تغییر غلظت، حجم و مشخصات لجن به ویژه در نوع پتوی لجن.

۴-۴-۱۰- شناورسازی^۱

استفاده از فرایند شناورسازی در تصفیه آب برای مصرف‌های شرب سابقه‌ای ۳۰ ساله در دنیا دارد. این فرایند برای زلالسازی آب حاوی ذرات معلق سبک مانند جلبک‌ها کاربرد داشته و لذا در زلالسازی آب دریاچه‌پشت سدها که دارای جانداران و گیاهان ریز می‌باشد می‌تواند عملکرد مناسبی داشته باشد. با توسعه صنعت نمک‌زدایی از آب‌های شور فرایند شناورسازی برای پیش تصفیه آب فناوری اسمز معکوس به ویژه به علت شکوفایی جلبک‌های قرمز در آب‌های خلیج فارس یک گزینه قابل مطالعه می‌باشد.

فرایند کار عبارت است از قرار دادن یک بخش کوچکی از آب در محفظه تحت فشار هوا و در نتیجه انحلال هوا در آب و اختلاط سریع آن با آبی که مراحل اختلاط و ذره‌سازی را طی نموده و دارای ذرات دلمه‌شده معلق می‌باشد. لذا با کاهش ناگهانی فشار روی آب

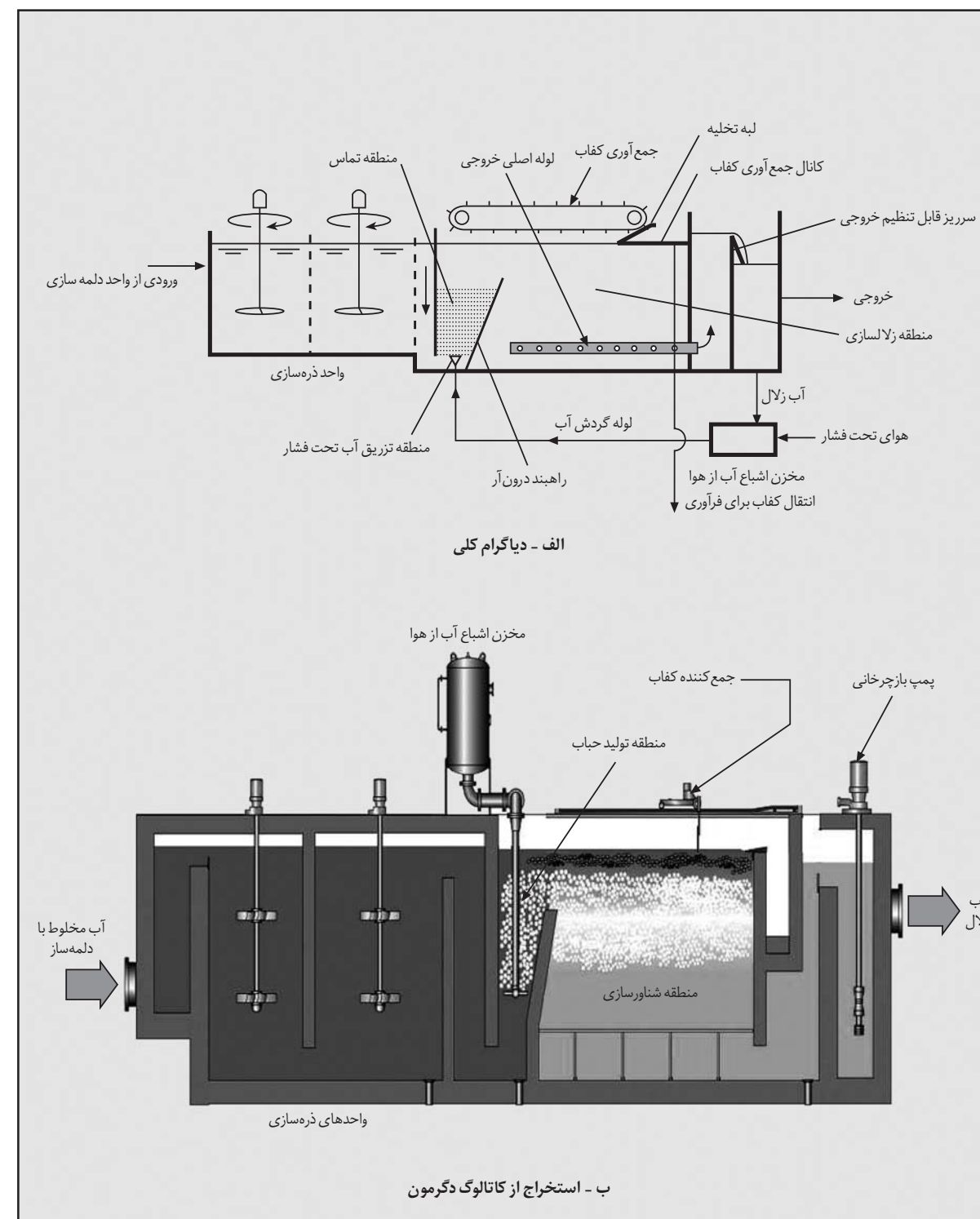
در حوضچه مناسب، هوای محلول به صورت حباب‌های ریز در آب ظاهر شده و در نتیجه به سمت سطح حوضچه حرکت می‌نماید.

این حباب‌های ریز با خود ذره‌های تولید شده در بخش ذره‌سازی را به طرف سطح حوضچه حمل می‌نمایند. اصول نظری کاربرد دلمه‌سازی برای ته‌نشینی و شناورسازی یکسان است اما در ته‌نشین‌کننده‌ها لازم است ذره تشکیل شده، بزرگ و سنگین شود تا در اثر نیروی ثقل در کف حوضچه ته‌نشین شود لیکن در شناورسازی ذره باید کوچک باشد تا با نیروی حرکتی حباب‌های ریز هوا به سطح حوضچه رانده شود. نحوه عمل حباب‌های هوا با سه مکانیسم زیر انجام می‌گیرد:

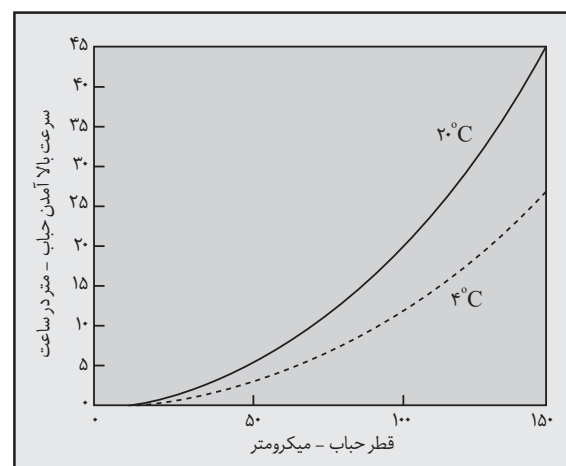
- چسبیدن حباب به ذره تولیدشده؛
- به تله افتادن حباب در زیر ذره دلمه‌شده؛
- جذب سطحی حباب توسط ذره.

اندازه حباب‌های تشکیل شده روی عملکرد مناسب شناورسازی تاثیر دارد. اگر حباب‌ها بزرگ‌تر از اندازه لازم باشند به علت سرعت زیاد بالا آمدن، شرایط جریان نوع آشفته^۲ بوده و ممکن است ذره دوباره شکسته شود و اگر حباب‌ها کوچک‌تر از اندازه لازم باشند سرعت بالا آمدن کم بوده و لذا زمان ماند بیشتری در حوضچه لازم می‌شود. در شکل شماره ۴-۱۸ یک واحد شناورسازی نشان داده شده است. صاحب امتیاز حباب‌سازهای این صنعت برخی سازندگان خاص هستند. بار سطحی این شناورسازها حدود ۲۴۰-۲۸۸ متر در روز است و در بعضی از انواع ۲۰۰-۱۲۰ متر در روز هم انتخاب می‌شود. میزان مناسب شیب سرعت ۵۰-۱۰۰ در ثانیه است و بنابراین مدت دلمه‌سازی می‌تواند کوتاه‌تر از دلمه‌سازهای متعارف گردد و حتی میزان مصرف دلمه‌ساز هم به دلیل نیاز به ذرات ریز تر کمتر است. حدود مطلوب اندازه حباب‌ها حدود ۱۰-۱۰۰ میکرومتر است و اگر اندازه حباب‌ها خارج از محدوده پیش‌گفته قرار گیرد عملکرد شناورسازی مطلوب نخواهد بود. در شکل

شکل شماره ۴-۱۸ - بخش‌های اصلی یک واحد شناورسازی



شکل شماره ۴-۱۹ - رابطه سرعت بالا آمدن و اندازه حباب



شماره ۴-۱۹ رابطه بین اندازه حباب‌ها و سرعت بالا آمدن آن در آب با دمای ۴ و ۲۰ درجه سلسیوس نشان داده شده است و بدین ترتیب سرعت بالا آمدن حباب‌ها نباید از حدود ۱۵ متر در ساعت بیشتر شود. ولی به طور متعارف مطابق شکل پیش گفته، اندازه مناسب حباب‌ها در محدوده ۵۰ میکرون قرار دارد که عملیات آزمایشی باید نتایج را مورد تایید قرار دهد و یا از تاسیسات سازندگان خاص استفاده شود.

سرعت شناور شدن حباب

این سرعت بستگی به اندازه حباب و دمای آب دارد. بهترین شرایط وقتی رخ می‌دهد که جریان حرکت به آرامی صورت پذیرد و در این صورت معادله آن عبارت است از:

$$V_{pb} = \frac{16/27 g^{1/8} (P_w - P_{pb})^{1/8} d_{pb}^{1/4}}{\rho_w^{1/2} \mu^{1/6}}$$

که در آن:

V_{pb} = سرعت مجموعه ذره و حباب بر حسب متر در ساعت؛

g = شتاب ثقل برابر ۹/۸۱ متر در ثانیه؛

ρ_w = دانسیته آب بر حسب کیلوگرم در مترمکعب؛

d_{pb} = قطر معادل مجموعه هوا و ذره بر حسب متر؛

μ = ویسکوزیته دینامیک آب بر حسب نیوتن ثانیه بر مترمربع؛

ρ_{pb} = دانسیته مجموعه هوا و ذره بر حسب کیلوگرم در مترمکعب.

اما دانسیته مجموعه هوا - ذره به کمک معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$p_{pb} = \frac{\rho_b d_p^3 + N_{ab} \cdot \rho_p d_b^3}{d_p^3 + N_{ab} \cdot d_b^3}$$

که در آن:

ρ_p = دانسیته ذره بر حسب کیلوگرم در متر مکعب؛

d_p = قطر ذره بر حسب متر؛

N_{ab} = تعداد حباب‌های چسبیده به ذره؛

d_b = متوسط قطر حباب بر حسب متر.

و قطر معادل مجموعه ذره و حباب هم با معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$d_{pb} = (d_p^3 + N_{ab} \cdot d_b^3)^{1/3}$$

میزان هوا

همانطور که در شکل شماره ۴-۱۸ نشان داده شده است بخش کوچکی از آب خروجی واحد شناورسازی برای تولید آب دارای هوای محلول به کار می‌رود تا در محل خروج آب تحت فشار، ابری از حباب‌های مناسب تشکیل گردد. با افزایش میزان هوای مورد مصرف، کدورت آب خروجی کمتر شده و لذا در طراحی‌ها باید مورد توجه قرار گیرد.

در شکل شماره ۴-۲۰ رابطه بین میزان هوا و عملکرد واحد شناورسازی نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش غلظت هوای محلول و در نتیجه تولید حباب‌های بیشتر کدورت آب خروجی واحد شناورسازی کمتر می‌شود.

مقدار هوای آزاد شده از معادله زیر تعیین می‌شود:

$$C_b = \frac{C_r - C_{fl}}{1 + r} \times r$$

که در آن:

C_b = میزان هوای آزاد شده بر حسب میلی گرم در لیتر؛

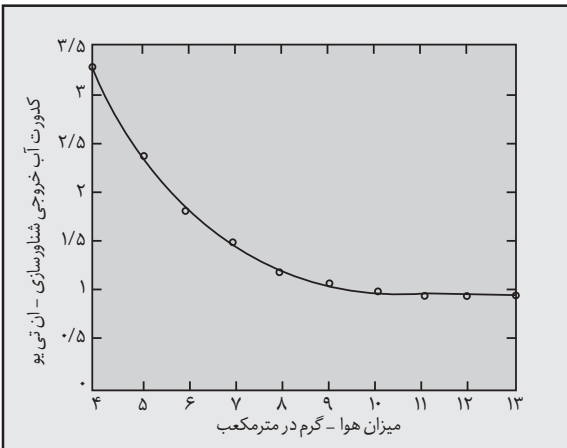
C_r = میزان هوای موجود در آب خروجی از مخزن تحت فشار بر

حسب میلی گرم در لیتر؛

C_{fl} = میزان هوای محلول در آب خروجی از واحد شناورسازی بر

حسب میلی گرم در لیتر؛

شکل شماره ۴-۲۰ - نتایج میزان کاربرد هوا روی کدورت آب خروجی واحد شناورسازی



τ = تناسب گردش دوباره با رقم اعشاری.

برای تعیین C_T از قانون هنری استفاده می‌شود و غلظت هوا در مخزن اشباع با دوروش قابل محاسبه است.

روش اول با معادله:

$$\phi_b = \frac{C_b}{\rho_{air}}$$

که در آن:

ϕ_b = غلظت حباب‌های هوا برحسب لیتر در لیتر؛

C_b = وزن هوای تخلیه و یا آزاد شده بر حسب میلی‌گرم در لیتر؛

ρ_{air} = دانسیته هوای اشباع از بخار آب بر حسب میلی‌گرم در لیتر.

روش دوم با معادله:

$$N_b = \frac{10^{-6} \times \phi_b}{\pi d_b^3}$$

که در آن:

N_b = تعداد حباب‌های هوا در میلی‌لیتر؛

10^{-12} = ضریب تبدیل میکرومتر مکعب به میلی‌لیتر؛

d_b = متوسط قطر حباب‌ها برحسب میکرومتر.

۱. هر لیتر هوا در شرایط متعارف ۱/۲۹۳ گرم وزن دارد.



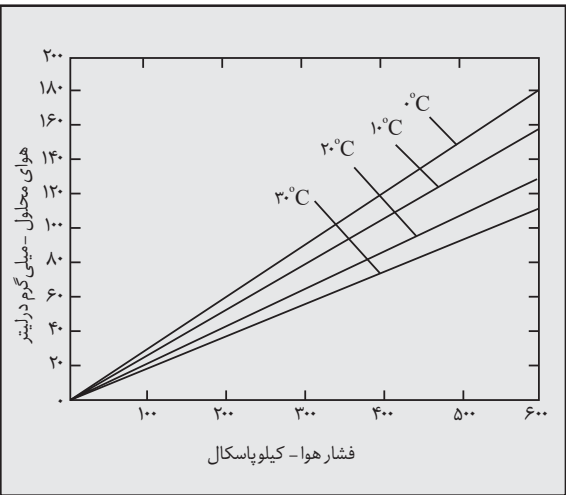
بنابراین هر چه N_b بیشتر شود عملکرد فرایند شناورسازی بهتر خواهد بود. زمانی که حباب هوا به ذره می‌چسبد باعث کاهش دانسیته نسبی ذره شده و لذا سرعت بالا آمدن آن افزایش می‌یابد.

انحلال هوا

هر چه فشار هوای روی آب بیشتر شود، طبق قانون هنری، هوای بیشتری در آب محلول شده اما با افزایش دمای آب میزان انحلال کمتر می‌شود. در شکل شماره ۴-۲۱ رابطه بین فشار هوا در مخزن اشباع و غلظت آن به صورت محلول در دماهای مختلف نشان داده شده است. بنابراین دانستن دمای آب باز چرخانی در حوضچه شناورساز ضرورت دارد.

مکانیسم چسبیدن حباب هوا به ذره در ابتدای بحث شناورسازی به اختصار گفته شد. لذا با حل یک مسئله مطلب بیشتر مورد بحث قرار می‌گیرد.

شکل شماره ۴-۲۱ - رابطه بین فشار هوای روی آب در حوضچه تحت فشار و غلظت محلول آن در آب



مثال شماره ۴-۳:

در یک واحد شناورسازی میزان آب بازچرخانی ۱۰ درصد جریان اصلی و فشار هوای مورد استفاده ۵ اتمسفر در نظر گرفته شده است. آب خروجی از واحد ذره‌سازی که وارد حوضچه شناورسازی می‌شود دارای ذرات تشکیل شده با غلظت ۲۰۰۰ ذره در میلی‌لیتر است و غلظت حباب‌های هوا (ϕ_b) عبارت از 2×10^{-6} لیتر در لیتر و یا ۲ میلی‌گرم در لیتر است. حال لازم است که وزن هوای تخلیه شده (C_b) در منطقه تولید حباب تعیین شود و همچنین غلظت حباب‌های هوا (ϕ_b) محاسبه شده و در نتیجه تعداد حباب‌های هوا تعریف شود و مقایسه‌ای بین حباب‌های هوا و ذرات دلمه‌شده نیز انجام گیرد.

با فرض دمای آب ۲۰ درجه سلسیوس و دانسیته هوا ۱/۲ کیلوگرم در مترمکعب و یا ۱۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر، هوای محلول آب خروجی از واحد شناورسازی ۲۴ میلی‌گرم در لیتر است و در صورتیکه متوسط قطر حباب‌ها نیز ۴۰ میکرومتر باشد، محاسبات در گام‌های زیر انجام می‌گیرد:

♦ مقدار هوای موجود در آب واحد شناورسازی:

ابتدا هوای محلول در آب واحد مخزن اشباع به کمک شکل شماره ۴-۲۱ محاسبه می‌شود. مقدار هوای محلول برای فشار مورد نظر ۱۳۰ میلی‌گرم در لیتر است. لذا غلظت هوای آزاد شده عبارت است از:

$$C_b = \frac{C_r - C_{fi}}{1 + \alpha/l} \times \alpha/l = \frac{(130 - 24) \text{ mg/air/l}}{1/1} \times \alpha/l = 9/64 \text{ mg/l}$$

♦ حال غلظت حباب‌های هوا باید محاسبه شود.

$$\phi_b = \frac{C_b}{\rho_{air}} = \frac{9/64 \text{ mg/l}}{1200 \text{ mg/l}} = 8.033 \times 10^{-6} \text{ l/l} = 8.033 \text{ mg/l}$$

♦ اکنون تعداد حباب‌های هوا محاسبه می‌شود:

تعداد حباب‌ها در میلی‌لیتر:



$$N_b = \frac{10^{-6} \times \phi_b}{\pi d_b^3} = \frac{10^{-6} \times 8.033 \times 10^{-6}}{3/14 \times 40^3} = 2/4 \times 10^5 \text{ b/ml}$$

♦ حال غلظت حباب‌ها و غلظت ذرات تشکیل شده مورد مقایسه قرار می‌گیرد:

با پیش فرض رقم ۲۰۰۰ تعداد ذره‌های دلمه‌شده در میلی‌لیتر آب:

$$\phi_b = 2 \text{ ppm}$$

$$\frac{N_b}{N_p} = \frac{2/4 \times 10^5}{2000} = 120$$

چون تناسب تعداد حباب‌ها نسبت به تعداد ذرات دلمه‌شده مطلوب است لذا احتمال برخورد حباب‌ها با ذرات معلق تشکیل شده زیاد است و در نتیجه کار شناورسازی عملکرد خوبی خواهد داشت، پس نسبت غلظت حباب هوا به غلظت ذرات دلمه‌شده برابر است با:

$$\frac{\phi_b}{\phi_p} = \frac{8.033}{2} = 4.017$$

توجه شود که فرض مسئله این است که آب تحت فشار در حدود ۱۰۰ درصد اشباع از هوا بوده و هوای محلول در ابتدای واحد شناورسازی، آزاد شده و حباب تولید می‌نماید.

ابعاد حوضچه

اساس طراحی شناورسازی بار هیدرولیکی است و حدود آن عبارت است از ۴۰ متر در ساعت در حالیکه در طراحی‌های اولیه ارقام ۱۰-۲۰ متر در ساعت لحاظ می‌شد. بررسی‌ها نشان داده است که زمان ماند حدود ۵ دقیقه برای تولید ذره و بار هیدرولیکی ۲۹-۳۹ متر در ساعت برای شناورسازی کافی است گرچه دمای آب نیز مهم است. در جدول شماره ۴-۱۳ معیارهای طراحی واحد شناورسازی با کمک هوای محلول^۱ آورده شده است.



جدول شماره ۴-۱۳- معیارهای طراحی واحد شناورسازی با کمک هوای محلول

معیار طراحی	واحد	حدود معیارهای طراحی
بار هیدرولیکی	متر در ساعت	۲۰-۱۰
طول حوضچه تا کانال لجناب	متر	۱۱ و کمتر
تناسب طول به عرض	-	بزرگ‌تر از ۱
حداکثر سطح حوضچه	مترمربع	۹۰-۱۱۰
حداکثر ظرفیت هر واحد	لیتر در ثانیه	۵۲۰-۲۶۰
سرعت جریان در حوضچه	متر در ساعت	۱۸-۱۰۰
عمق حوضچه	متر	۱/۵-۳
زمان ماند منطقه تماس	ثانیه	۶۰-۲۴۰
بار هیدرولیکی منطقه تماس	متر در ساعت	۳۸-۹۲
زاویه راهبند منطقه تماس	درجه نسبت به افق	۶۰-۹۰
سرعت جریان از راهبند	متر در ساعت	۵۵
تاسیسات گردش آب		
تناسب گردش دوباره یا بازچرخانی	درصد نسبت به ورودی	۶-۱۰
فشارکار	کیلو پاسکال	۴۴۸-۵۸۶
فاصله نازل‌ها	متر	۰/۲-۰/۳
بار سطحی واحد اشباع از هوا	متر در ساعت	۶۲/۵-۸۵
ضخامت مواد پرکننده	متر	۱-۱/۵
نوع نازل‌ها (نوع ثابت مورد توصیه است)		
تناسب هوا و آب	کیلوگرم هوا به مترمکعب آب خام	۶۰۰۰-۱۰,۰۰۰
اندازه حباب‌های هوا	میکرومتر	۱۰-۱۰۰
غلظت حباب‌ها	تعداد در میلی لیتر آب	۱×۱۰ ^۵ -۲×۱۰ ^۵
تناسب حباب‌ها به ذرات معلق	-	۱-۱۰ تا ۱-۲۰۰
غلظت حجمی حباب‌ها	پی پی ام	۳۵۰۰-۸۰۰۰
تناسب حباب‌ها به ذرات	-	۱×۱۰ ^۵ -۸۰۰۰:۱
پمپ بازچرخانی آب	سانتریفیوژ همراه با یدک برای هرواحد گردش دوباره	
کمپرسور	از نوع مارپیچ و روغنی	
برون بر حوضچه	شبکه روزنه‌دار و یا راهبند با خروجی از کف حوضچه	

طول حوضچه

طول حوضچه دارای محدودیت است و تا محل خروج مواد جمع شده طبق شکل شماره ۴-۱۸ نباید از ۱۲ متر بیشتر شود تا دانسیته لجناب تحت کنترل قرار گیرد. لجناب تشکیل شده با حباب‌های هوا در ابتدا ضخیم و سفت است اما با جریان یافتن آن به طرف کانال تخلیه نازک و شل می‌شود و به همین جهت طول جابجایی آن کوتاه گرفته می‌شود زیرا ممکن است لجناب از بین رفته و ذرات دوباره معلق شوند.

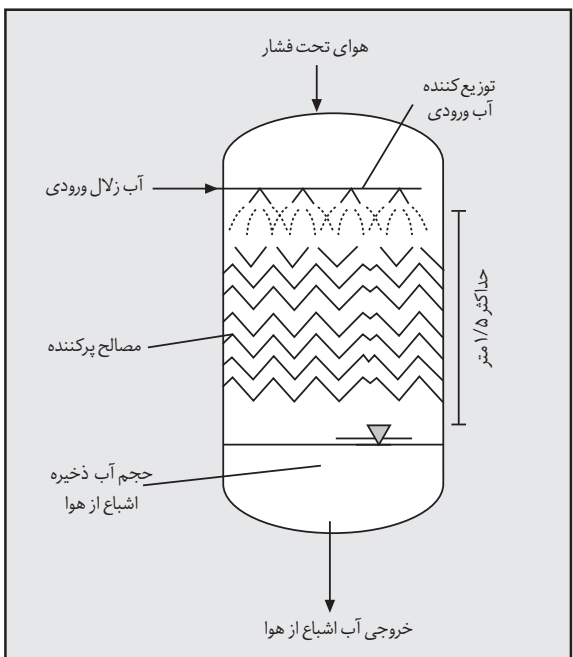
عرض حوضچه تحت تاثیر بار هیدرولیکی آن قرار دارد و ابعاد تاسیسات مکانیکی جمع‌آوری لجناب آن را دیکته می‌نماید. عمق حوضچه هم در محدوده ۳ متر انتخاب می‌شود زیرا اگر کمتر گرفته شود حباب‌ها با آب از حوضچه خارج می‌شوند. استفاده از ابعاد مورد توصیه سازندگان خاص الزامی است. توجه شود که راهبند درون‌آر طوری طراحی و اجرا شود که تماس حباب‌های هوا با آب را طبق جدول فراهم آورد. ویژگی‌های تاثیرگذار روی محل دیواره راهبند، فاصله دیوار اول و راهبند است و همچنین زاویه شیب و طول راهبند فاصله لبه آن را از سطح آب تعریف می‌نماید که در جدول شماره ۴-۱۳ ارایه شده است و بالاخره خروج کفاب با دستگاه‌های مکانیکی و یا هیدرولیکی انجام می‌گیرد که مورد بحث قرار گرفته است. حجم حوضچه تماس که در آن حباب‌ها تشکیل و با ذرات اتصال می‌یابند برای بهبود عملکرد دارای اهمیت است.



تاسیسات باز چرخانی آب

توجه شود که برای عملکرد مطلوب باید سعی شود هر چه بیشتر هوا و به میزان کمتر آب در تاسیسات بازچرخانی شود. از طرف دیگر باید در هنگام تخلیه هوا به بخش تماس نیز کمترین اغتشاش ایجاد شود که در جدول شماره ۴-۱۳ اصول لازم ارایه گردیده است. مخزن اشباع آب از هوا یا مخزن آکنده معمولاً از مصالح مقاوم به خوردگی پر می‌شود تا فرایند اشباع شدن آب از هوا را تسهیل نماید و معیار طراحی آن هم بار هیدرولیکی است که عبارت است از میزان گردش آب تقسیم بر جمع سطوح ایجاد شده و اگر مصالح در آب مستغرق شود سودمندی کار کاهش می‌یابد. در شکل شماره ۴-۲۲ مقطع یک مخزن بازچرخانی برای اشباع آب از هوای محلول نشان داده شده است.

شکل شماره ۴-۲۲- مخزن آکنده برای اشباع آب با هوا



آب لازم برای بازچرخانی از خروجی شناورساز گرفته شده و به داخل و روی صفحه توزیع مخزن تحت فشار هوا پمپاژ می‌شود و در نتیجه آب به صورت آبشار روی مصالح ریخته و در معرض هوای تحت فشار

قرار می‌گیرد. تاسیسات تزریق هوا و حفظ فشار لازم آن نیز پیش‌بینی می‌شود و هوا هم از بالای مخزن به داخل آن تزریق می‌گردد. در بخش پایین مخزن، فضای لازم برای ذخیره آب اشباع از هوا پیش‌بینی می‌شود که آب را به زیربخش تماس و از طریق نازل‌های لازم تزریق می‌نماید. محل تخلیه این آب تقریباً نزدیک به کف بخش تماس و در محل تغذیه آب خام حامل ذرات دلمه شده قرار دارد. نازل‌ها در عرض حوضچه تماس و در فاصله‌های یکسان قرار می‌گیرند تا حباب‌ها یکسان تولید شود.

سازندگان مختلفی دارای امتیاز خاص حباب‌ساز هستند اما در کل برای مهار آثار نامطلوب کاهش فشار و تولید ذره حباب دو روش زیر مورد استفاده است:

۱- پیش‌بینی تمهیداتی برای کاهش سریع فشار و تولید حباب‌های مورد نظر، زیرا کاهش سریع فشار باعث تولید حباب‌های ریز می‌شود.

۲- در پایین دست بخش کاهش سریع فشار، تمهیدات برخورد و تغییر جهت حرکت آب پیش‌بینی می‌شود تا حباب‌های هوا تشکیل گردد. ممکن است از شیرهای سوزنی برای تولید حباب استفاده شود. همچنین کاربرد نازل‌های ثابت محبوبیت بیشتری دارد. باید توجه داشت که آب زلال حوضچه باید از بخش پایین در جهت عکس حرکت ذرات و به خارج از حوضچه هدایت شود و برای انجام این مهم دوروش زیر مورد توجه است.

اول) پیش‌بینی دیواره راهبند در تمام عرض حوضچه شناورساز و دریچه‌های خروج در بخش پایین دیواره؛
دوم) پیش‌بینی یک شبکه لوله‌های سوراخدار در کف که تقریباً به‌طور یکنواخت آب زلال شده را جمع‌آوری می‌نماید.

به هر حال محاسبه افت فشار هیدرولیکی در تاسیسات خروجی ضروری است که حدود ۰/۳ متر است. استفاده از نقشه‌های دارای امتیاز خاص توصیه می‌شود که سازنده عملکرد تاسیسات را ضمانت می‌نماید و یا به کمک عملیات آزمایشی تصمیم‌گیری می‌شود که انجام آن نیاز به سرمایه و امکانات دیگر دارد.



غلظت‌تر می‌شود تا به کانال تخلیه هدایت شود و غلظت جامدات آن بستگی به فاصله زمانی حرکت پارویک‌ها و چگونگی فشردگی کفاب دارد.

میزان عمقی که پارویک در آب قرار می‌گیرد باید تنظیم شود تا کمترین آب در کفاب باقی بماند چنانکه اگر فرورفتگی تیغه در آب زیاد شود باعث می‌شود که جامدات کمتری از کفاب به کانال تخلیه شود و اگر کمتر از حد لازم باشد باعث می‌شود که از هم گسیختگی در کفاب ایجاد شود.

حرکت پارویک‌ها با کمک یک زمان سنج قابل تنظیم است که بهره‌بردار باید کنترل نماید. این تاسیسات در خارج از آب قرار دارند و لذا تعمیر و نگهداری آن راحت‌تر از تاسیسات مکانیکی ته‌نشینی است که در کف حوضچه‌ها قرار می‌گیرد.

♦ (ب) کفاب‌روب پاندولی: این تاسیسات شامل پارویک‌های سوار بر اهرمی می‌باشد که توسط یک موتور در روی سطح حوضچه به جلو و عقب حرکت داده می‌شود. فاصله پارویک‌ها ۱/۵-۲/۱ متر است و تقریباً ۶۶ درصد سطح حوضچه را پوشش می‌دهد. تمام تاسیسات متحرک این ابزار هم در بالای سطح آب قرار گرفته و لذا تعمیر و نگهداری آن راحت است. جنس کفاب روب از فولاد ضد زنگ است و یا از پلاستیک ساخته می‌شود که نوع پلاستیکی آن به دلیل سبکی، انرژی کمتری مصرف می‌نماید.

♦ (ج) کفاب‌روب گردشی: این دستگاه شامل میله اصلی دارای چرخش است که روی آن پارویک‌ها نصب شده‌اند. میله دستگاه در کنار کانال تخلیه کفاب نصب می‌شود و پارویک‌ها کفاب را جمع‌آوری و به کانال مربوط تخلیه می‌نمایند.

جمع‌آوری هیدرولیکی

در این روش ابتدا شیر خروجی حوضچه شناورساز بسته می‌شود در

در طراحی تاسیسات زلالسازی با هوای محلول دو بخش نیاز به توجه دارد. اول منطقه تماس^۱ حباب‌های هوا با ذرات معلق آورده‌شده از واحد ذره‌سازی است که بار هیدرولیکی در این منطقه حدود ۱۰۰ متر در ساعت و کمتر است. دو منطقه شناورسازی و یا جداسازی^۲ است که بار سطحی حدود ۶۰-۸۰ متر در ساعت است. زمان ماند هم ۱-۲ دقیقه برای منطقه تماس در نظر گرفته می‌شود. به طور اجمالی معیارهای طراحی برای تاسیسات متعارف عبارت است از:

- بار سطحی منطقه تماس ۱۰۰-۲۰۰ متر در ساعت؛
- بار سطحی منطقه جداسازی ۶۰-۸۰ متر در ساعت؛
- زمان ماند منطقه تماس ۱-۲/۵ دقیقه؛
- میزان هوا ۶-۱۰ گرم برای هر متر مکعب آب؛
- میزان بازچرخانی فاضلاب حدود ۱۰ درصد.

کفاب‌روبی

کفاب حوضچه با ابزار مکانیکی و یا عملیات هیدرولیکی باید جمع‌آوری و تخلیه شود. دانسیته نسبی کفاب به شدت تحت تاثیر ضخامت لایه جمع‌آوری است. اگر ضخامت کفاب روبی بیشتر از حدود ۸ سانتیمتر گردد روی دانسیته آن تاثیر فراوان دارد. جمع‌آوری توسط کفاب‌روب انجام می‌گردد و در نهایت به درون کانال مخصوص که در انتهای حوضچه شناورساز قرار دارد تخلیه می‌شود و به همین جهت ضخامت کفاب‌روبی قابل تنظیم است. تاسیسات مکانیکی این روش کفاب‌روبی سه نوع می‌باشند که عبارتند از:

♦ (الف) پارویک‌های زنجیری: تاسیسات بسیار شبیه به تاسیسات جمع‌آوری رسوبات حوضچه‌های ته‌نشینی است. پارویک‌ها از جنس لاستیک و یا نایلون بوده که در سطح آب به کمک زنجیر کشیده شده و کفاب را به کانال تخلیه می‌رسانند. در فرایند جابجایی کفاب، آب آن به علت فشار ناشی از حرکت جدا شده و جامدات آن



حالیکه شیر ورودی باز است لذا رقوم سطح آب افزایش یافته و بالا می‌آید تا به ارتفاع لبه سرریز کانال تخلیه کفاب رسیده و با استمرار جریان ورودی، کفاب از سرریز تخلیه می‌شود. این روش تخلیه کفاب ساده‌تر و ارزان‌تر است اما میزان آبی که همراه کفاب خارج می‌شود خیلی بیشتر از روش تخلیه مکانیکی است. مجموع جامدات کفاب در حدود ۵/۰-۱ درصد است لذا حجم لجناب مورد تصفیه زیادتر از انواع مکانیکی است. بنابراین مقایسه اقتصادی برای انتخاب روش کار جمع‌آوری کفاب ضرورت دارد. جامدات کفاب حاصل از جمع‌آوری مکانیکی در حدود ۲-۴ درصد است.

عملکرد شناورسازی

حباب‌های ریز تولید شده، آهن محلول آب را اکسیده کرده و ترکیب نامحلول بوجود می‌آید. این ترکیب با چسبیدن به ترکیب‌هایی مانند مواد آلی تبخیر شونده، شوینده‌ها، روغن‌ها و جامدات معلق دیگر موجود در آب درشت‌تر شده که با حباب‌های هوا در سطح حوضچه شناور می‌شوند. عملکرد شناورسازی در زدایش گروهی از آلاینده‌های آب در جدول شماره ۴-۱۴ آورده شده است.

زالاسازی تماسی^۱

این زلالسازها همان فیلترهای درشت دانه هستند زیرا آب دارای ذرات معلق حاصل از دلمه‌سازی به داخل حوضچه حاوی بستر دانه‌ای مانند فیلترها، هدایت شده و ذرات روی سطوح مصالح بستر، ته‌نشین می‌شوند البته با گذشت زمان لازم است بستر از مواد ته‌نشین شده تخلیه شود.

بار سطحی آنها به مراتب بیشتر از ته‌نشین‌کننده‌های متعارف است زیرا سطح خارجی مصالح در واقع سطح حوضچه ته‌نشینی است. استفاده از این زلالسازها برای آب‌های با کدورت کم و در نتیجه

جدول شماره ۴-۱۴- عملکرد فرایند شناورسازی در زدایش آلاینده‌ها

آلاینده	حدود ^۲ درصد زدایش
بی‌اودی ۵	۶۸
جامدات شناور	۸۸
مجموع فسفر	۹۸
روغن و چربی‌ها	۷۹
آرسنیک	۴۵
کادمیوم	۹۸
کرم	۵۲
مس	۷۵
سیانید	۱۰
سرب	۹۸
جیوه	۷۵
نیکل	۷۳
نقره	۴۵
کربن تتراکلرید	۷۵
کلروفرم	۵۸
ان‌نیتروژو دی‌فنیل آمین	۶۶
فنول	۵۷
نفتالین	۷۷

مصرف کمتر دلمه‌ساز بیشتر رایج است. عملیات شستشوی آن‌ها با روش بکواش است و در مواردی با تخلیه سریع آب حوضچه کار تخلیه رسوبات انجام می‌گیرد. امروزه شرکت‌هایی دارای امتیاز خاص طرح و ساخت آنها هستند. بار هیدرولیکی ظاهری آنها ۴۵۰-۵۵۰ متر در روز می‌باشد اما در عمل بار هیدرولیکی کمتر انتخاب می‌شود.



جدول شماره ۴-۱۵- مزایا و محدودیت‌های زلالسازهای مستطیلی

مزایا	محدودیت‌ها
۱. تغییرات بار هیدرولیکی را بهتر تحمل می‌کنند.	۱. تغییر دانسیته آب ورودی روی عملکرد آن اثر قابل ملاحظه دارد.
۲. عملکرد آن قابل پیش‌بینی است.	۲. درون آر و برون بر آنها نیاز به توجه در طراحی دارد.
۳. بهره‌برداری و نگهداری راحت‌تر است.	۳. معمولا واحد ذره‌سازی جدا لازم می‌شود.
۴. با سهولت به سوپر زلالساز تبدیل می‌شود.	

- عمق آب ۳-۵ متر؛
- زمان ماند ۱-۳ ساعت؛
- بار سرریز حدود ۷ متر در متر طول در ساعت.

مزایا و محدودیت این زلالسازها در جدول شماره ۴-۱۶ آورده شده است. در صورتی که کمیت و کیفیت آب خام مورد تصفیه دارای تغییرات زیادی باشد این زلالسازها مناسب نیستند و برای ظرفیت‌های زیاد هم دارای محدودیت می‌شوند.

جدول شماره ۴-۱۶- مزایا و محدودیت‌های زلالسازهای با جریان رو به بالا و شعاعی

مزایا	محدودیت‌ها
۱. شکل هندسی آن به دلیل فشردگی ^۴ اقتصادی است.	۱. دارای مشکلات میانبر زدن است.
۲. تخلیه لجناب آن راحت انجام‌پذیر است.	۲. تغییرات بار هیدرولیکی روی عملکرد تاثیر دارد.
۳. عملکرد زلالسازی عالی است.	۳. بهره‌برداری آن آسان نیست.
	۴. از نظر قطر دارای محدودیت است.
	۵. در اکثر شرایط واحد ذره‌سازی جدا است.

1. Microfloc

2. US Filter

3. Radial Upflow

4. Compact

این نوع زلالسازی در تصفیه‌خانه‌های دارای فیلترهای کند کاربرد فراوان دارد که در فصل پنجم همراه با فیلترهای ماسه‌ای کند مورد بحث قرار گرفته است. این فن‌آوری از حدود ۴۰ سال پیش مورد توجه قرار گرفت و مبتکر آن شرکت میکروفلاک^۱ بود و اکنون امتیاز آن در دست یواس فیلتر^۲ است.

۴-۴-۱۱- راهنمای انتخاب زلالساز

گرچه در متون معرفی انواع زلالسازها مزایای آنها نیز آورده شده است لیکن در این بخش کلیات انتخاب در رابطه با امتیازات آنها ارایه می‌گردد.

زلالساز با سطح مقطع مستطیلی

ویژگی‌های این نوع زلالسازها به قرار زیر است:

- نوع جریان آرام و افقی؛
- بار سطحی حدود ۱-۲/۵ متر در ساعت؛
- زمان ماند ۱/۵-۳ ساعت؛
- تناسب عرض به طول بیشتر از ۱/۵؛
- بار سرریز حدود ۱۱ متر در متر طول در ساعت.

این زلالسازها دارای مزایا و محدودیت‌هایی هستند که در جدول شماره ۴-۱۵ آورده شده است. برای تاسیسات با ظرفیت‌های زیاد و تصفیه آب شهرها و صنایع کاربرد فراوان دارد.

زلالساز با جریان شعاعی^۳

سطح مقطع می‌تواند دایره و یا مربع باشد و ویژگی‌های آن عبارت است از:

- بار سطحی ۱/۳-۲ متر در ساعت؛



زلالساز با پتوی لجن^۱

ویژگی‌های این نوع زلالسازها به قرار زیر است:

- زمان لازم برای ذره‌سازی حدود ۲۰ دقیقه؛
- زمان ماند برای ته‌نشینی ۱-۲ ساعت؛
- بار سطحی حدود ۲-۳ متر در ساعت؛
- بار سرریز ۷/۵-۱۵ متر در متر در ساعت؛
- سرعت بالا آمدن^۲ آب کمتر از ۰/۶ متر در ساعت؛
- بازچرخانی لجناب ۳-۵ برابر میزان ورودی آب.

مزایا و محدودیت این نوع زلالسازها در جدول شماره ۴-۱۷ آورده شده است.

۴-۵- نتیجه‌گیری

چون هدف اصلی کتاب معرفی فناوری‌های فیلترها در تصفیه آب شهری است بنابراین به فناوری‌های بالادست و پایین‌دست فیلترها کمتر توجه شده است. اما با توجه به استاندارد شماره ۱۰۵۳ و ضرورت توجه به شکل آلاینده‌ها در آب خام برای انتخاب فرایندهای تصفیه، ضرورت پیدا نمود که آلاینده‌های معلق آب خام و فناوری‌های زدایش آنها در چهار چوب فرایند زلالسازی در این فصل مورد توجه قرار گیرد. از طرف دیگر کدورت آب مناسب فیلتراسیون در محدوده زیر ۱۵ ان تی یو قرار دارد و بنابراین در شرایطی زلالسازی و کاهش کدورت آب، قبل از ورود به فیلترها ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. این فرایند و صنایع آن در بسیاری از کتب و مراجع فارسی آورده شده و در فصل چهارم به طور چکیده مورد بحث قرار گرفته است.

انتخاب فناوری زلالسازی با توجه به جامدات معلق آب خام و تغییرات هفتگی آن مقوله مقایسه اقتصادی روش‌ها می‌باشد زیرا در صورتیکه طراحی‌ها در حد مطلوب انجام گیرد و اصول بهره‌برداری مراعات شود نتیجه زلالسازی تولید آبی است که مناسب فیلترها

جدول شماره ۴-۱۷- مزایا و محدودیت‌های زلالسازهای با پتوی لجن

مزایا	محدودیت‌ها
۱. در زدایش کدورت و سختی عملکرد خوبی دارند.	۱. نسبت به تغییرات بار حساسیت دارد.
۲. شکل هندسی آن اقتصادی است.	۲. تغییر دمای آب روی عملکرد آن تاثیر دارد.
۳. تغییرات کیفی آب روی عملکرد آن کم تاثیر است.	۳. برای تشکیل پتوی لجن چند روز فرصت لازم است.
	۴. عملکرد آن تابع کار تنها یک موتور اختلاط و ذره‌سازی است.
	۵. نیاز به متصدی ماهر داشته و هزینه نگهداری آن کم نیست.

خواهد بود. در انتخاب نوع زلالساز توجه به کیفیت لجناب، روش و هزینه تخلیه آن ضرورت دارد و به ویژه اگر بازچرخانی در تصفیه‌خانه یکی از اهداف باشد هزینه‌های تصفیه لجناب نیز یکی از معیارهای انتخاب فناوری است.

با رشد سد سازی در کشور و آبیگری از دریاچه‌های پشت سدها که احتمالا به دلیل آلودگی آب، حرارت و نور خورشید، فعالیت‌های بیولوژیکی و رشد جلبک‌ها در آنها رو به فزونی است، لازم است به فناوری شناورسازی و امتیازات آن در مقابل زلالسازهای متعارف توجه بیشتری شود. زیرا در اکثر شرایط آب خروجی از دریاچه پشت سدها دارای کدورت زیر ۲۰ ان تی یو بوده و عامل اصلی این کدورت هم گیاهان و جانوران با دانسیته نزدیک به جلبک‌ها می‌باشند.

با توجه به اینکه فناوری شناورسازی در کشور هنوز در حد لازم گسترش نیافته و تجربه کار با آن بسیار محدود می‌باشد استفاده از پاتنت شرکت‌های شناخته شده که نتایج کار را ضمانت می‌کنند توصیه می‌شود در غیر این صورت طراحی، اجرا، بهره‌برداری از واحدهای آزمایشی مورد توصیه است که معیارهای طراحی بخش‌های مختلف

1. Solid Contact Type

2.Upflow



آن در جدول شماره ۴-۱۳ آورده شده است. لازم به توجه است که شکل شماره ۴-۱ در مواردی اجتناب از ته نشینی و استفاده از شناور سازی را توصیه نموده است. به این ترتیب با تمهیداتی می توان در شرایطی که جلبک‌های آب افزایش می‌یابد با دو مرحله فیلتراسیون آنها را از آب زدایش نمود. در این راستا توجه به آزاد شدن و وجود سم توکسین در آب تولیدی ضرورت دارد. از طرف دیگر چون منبع آب خام شرب بسیاری از اجتماعات کشور ما منابع زیرزمینی است، اصولاً نیازی به زلالسازی نیست و فیلتراسیون مستقیم و فیلتراسیون در خط می‌تواند آب شرب مطلوب را تولید نماید.

در صنعت نمک زدایی از آب‌های شور خلیج فارس، دریای عمان و مازندران و عملیات پیش تصفیه آب، اصولاً زلالسازی ضرورت ندارد مگر در شرایطی که جلبک‌های آب دریا از حد متعارف بیشتر شود و در چنین مواردی هم انتخاب فیلتر دو لایه و یا دو مرحله فیلتراسیون گزینه‌های مقابل شناور سازی می‌باشند که انجام مطالعات و مقایسه اقتصادی آن‌ها ضرورت دارد.

در پایان فصل جدول شماره ۴-۱۸ آورده می‌شود که برای مطالعات امکان‌سنجی می‌تواند مفید باشد.

جدول شماره ۴-۱۸- چکیده زلالسازها و درصد زدایش کدورت

نوع زلالساز	بار سطحی (مترمکعب در مترمربع در ساعت)	زمان ماند (دقیقه)	درصد زدایش کدورت
با سطح مربع مستطیل	۱-۲	۱۲۰-۱۸۰	۹۰-۹۵
با سطح دایره	۱-۳	۶۰-۱۲۰	۹۰-۹۵
باپتوی لجن	۱-۳	۱۲۰-۱۸۰	۹۰-۹۵
با لوله‌های ته‌نشینی	۵-۱۲	۶۰-۱۲۰	۹۰-۹۵
با ماسه بسیار ریز	کمتر از ۲۰۰	۵-۷	۹۵-۹۹
با بازچرخانی لجناب	کمتر از ۱۲۰	۱۰-۱۶	۹۵-۹۹



فیلترهای ماسه‌ای کند



۵-۱- نگاه کلی

کوتاه شدن مدت بهره‌برداری در فاصله بین دو لایه برداری جای خود را به فیلترهای تند داد. اولین فیلتر ماسه‌ای کند در حدود ۱۴۰ سال پیش در آمریکا ساخته و مورد بهره‌برداری قرار گرفت. به دلایل زیادی که در ادامه این فصل خواهد آمد، اجتماعات کوچک هنوز از فیلترهای ماسه‌ای کند برای تصفیه آب استفاده می‌نمایند. به ویژه بعد از اینکه ثابت گردید که این فیلترها در زدایش کیست ژیا ردیا خوب عمل می‌نماید محبوبیت آن بیشتر گردید به طوری که در سال ۱۹۹۱ انجمن کارهای آب آمریکا^۱ اقدام به تهیه کتابی نمود که با نام راهنمای طرح و بهره‌برداری فیلترهای ماسه‌ای کند^۲ شناخته می‌شود. گرچه حدود ۴ سال قبل از آن مرکز مستندسازی بین‌المللی برای بهسازی آب شرب اجتماعات وابسته به سازمان جهانی بهداشت هم در زمینه برنامه‌ریزی، طرح، اجرا، بهره‌برداری و نگهداری فیلترهای کند ماسه‌ای^۳ کتابی

کلمه صافی در فرهنگ لغات فارسی معانی مختلفی دارد و در اصل نام ظرفی است که توسط آن سیالی را صاف می‌کنند و ریشه آن عربی به معنی پاک شدن و خالص شدن است. کار صافی در صنعت تصفیه آب فقط صاف کردن و یا غربال کردن ذرات ریز از آب نیست و در بخش‌های فصل به فرایندهای مختلفی که در این واحد تصفیه آب می‌گذرد پرداخته می‌شود. در این فصل و فصل‌های ششم و هفتم که از انواع صافی‌ها صحبت می‌شود کلمه فیلتر به کار می‌رود زیرا برای بیان کلماتی مانند میکروفیلتر، اولترافیلتر و نانوفیلتر می‌توان راحت‌تر مطالب را توضیح داد.

از حدود ۲۰۰ سال پیش فیلترهای ماسه‌ای کند ابتدا در انگلستان و سپس در اروپا برای تصفیه آب شرب همگانی مورد توجه قرار گرفت. اما از حدود ۹۰ سال پیش چون آب‌های جاری در رودخانه‌ها دارای کدورت بیشتری شدند عملکرد آنها برای اجتماعات بزرگ به دلیل

1. AWWA
2. Manual of Design for Slow Sand Filtration
3. Slow Sand Filtration for Community Water Supply, IRC, June, 1987.



برای تصفیه آب اجتماعات بزرگ است. در این فصل به طراحی، بهره‌برداری و نوآوری‌های این فیلترها پرداخته می‌شود. در دهه ۱۳۵۰ یک طرح تحقیقاتی در مورد عملکرد این فیلترها و تهیه خطوط اصلی برای طراحی در کشورهای کلمبیا، هندوستان، کنیا، سودان، تایلند و چند کشور دیگر زیر نظر مرکز تحقیقات پیش گفته تهیه و به اجرا در آمد که بر مبنای آن نشریه‌ای تهیه گردید.

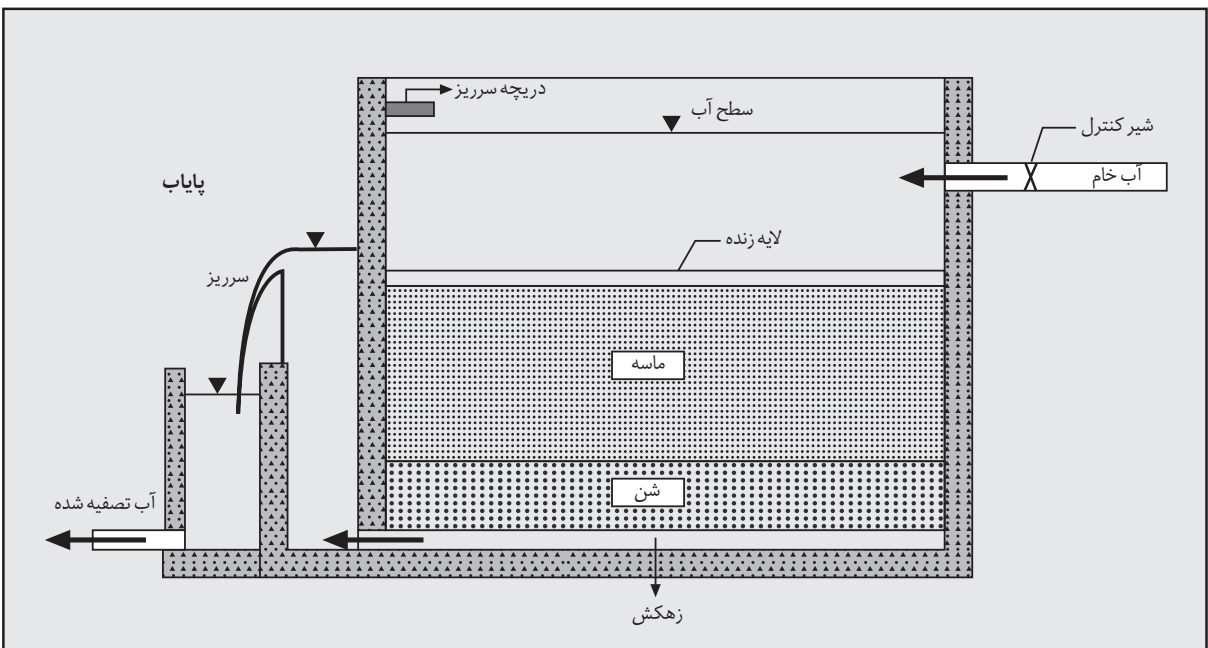
طبق شکل شماره ۵-۱ یک فیلتر ماسه‌ای کند حوضچه‌ای است که در کف آن یک شبکه زهکشی مرکب از لوله‌های سوراخدار و یا تاسیساتی مشابه تشکیل شده که روی آن چند لایه شن نگهدارنده و در بالای آن ماسه‌ای با ویژگی‌هایی خاص قرار می‌گیرد و آب خام با عبور از بستر ماسه تصفیه می‌شود. آب تصفیه شده از روی سرریز یا پایاب^۱ به حوضچه آب پاک جریان می‌یابد.

در شروع بهره‌برداری چون بستر ماسه‌ای فیلتر تمیز است لذا

انتشار داد که این دو مرجع برای تهیه این فصل کتاب بیشتر مورد استفاده قرار گرفته است. طبق نظر سازمان جهانی بهداشت در بسیاری از تصفیه‌خانه‌های آب شرب مجهز به فیلترهای ماسه‌ای تند به دلیل کم توجهی در نگهداری تاسیسات ابزار دقیق و کنترل بار هیدرولیکی، عملکرد آنها مطلوب نیست. این وضعیت برای اجتماعات کوچک به دلیل کمبود نیروی انسانی ماهر نامناسب تر است و لذا استفاده از فیلترهای ماسه‌ای کند توصیه شده است.

بنابراین به طور اجمال می‌توان گفت که فیلترهای ماسه‌ای کند یک صنعت ساده و قابل اعتماد برای تصفیه آب‌های دارای آلودگی میکروبی شناخته شده که می‌تواند آبی مطابق استانداردهای آب شرب تولید نماید و چون هزینه‌های تاسیسات الکترومکانیکال آنها ناچیز می‌باشد هنوز جایگاه خود را برای تولید آب حفظ نموده است. کاربرد آن به دلیل نیاز به زمین و عملیات ساختمانی بیشتر، دارای محدودیت

شکل شماره ۵-۱- مقطع یک فیلتر ماسه‌ای کند



1. Tail Water



عبور آب با مقاومت هیدرولیکی زیادی روبرو نمی‌شود، اما با ادامه عبور آب که فرایند فیلتراسیون نامیده می‌شود ذرات زنده و مرده معلق آب در روی بستر و در لایه‌های سطحی چند سانتیمتر اول به تله افتاده و ضمن کمک به تصفیه آب در عبور آب مانع ایجاد می‌کند و در نتیجه افزایش افت فشار پیش می‌آید که باعث ازدیاد ارتفاع آب روی ماسه می‌شود.

زمانی که این افت به اندازه ارتفاع مجاز آب و ضخامت ماسه و شن زیر ماسه اولیه گردد مشکلاتی در فیلتر بوجود می‌آید که بهره‌برداری باید متوقف گردد. زیرا پس از چند روز بهره‌برداری، کم‌کم لایه‌ای از دیاتمه‌ها، پروتوزاها، باکتری‌ها و جلبک‌ها در روی بستر تشکیل می‌گردد که به نام لایه زنده^۱ شناخته می‌شود که نقش اصلی در تصفیه آب و ایجاد مقاومت هیدرولیکی فیلتر دارد.

طبق مدارک موجود در ادبیات این رشته در سال ۱۹۰۰ میلادی جمعیتی در حدود ۲۱/۵ میلیون نفر در کشورهای آمریکا، اروپا و آسیا برای تصفیه آب شرب همگانی از فیلترهای ماسه‌ای کند استفاده می‌نمودند. در فصل‌های سوم و چهارم در مورد آلاینده‌های محلول و معلق گفتگو شد و یادآوری گردید که فرایند فیلتراسیون کار زدایش را تقریباً کامل می‌نماید. اما وضعیت در این فیلترها بیشتر تحت تأثیر واکنش‌های بیولوژیکی است، یعنی لایه زنده نقش اصلی در زدایش آلاینده‌ها را دارد. چنانکه هر چه آب به لایه‌های زیرتر نزدیک می‌شود مواد غذایی کمتری در آن وجود خواهد داشت و در نتیجه فعالیت‌های بیولوژیکی کمتر می‌شود. بنابراین در لایه‌های بالا و به ویژه در لایه زنده، فرایند غربال کردن دارای اهمیت بیشتر و در لایه‌های زیرین جذب سطحی و جذب الکترواستاتیک و اتصال شیمیایی، فرایندهای غالب است.

مواد آلی که به صورت ذرات معلق با آب همراه است به لایه‌های بالایی چسبیده و موجودات زنده لایه‌ها از آنها تغذیه کرده و تبدیل به

سلول‌های زنده می‌شود که خود توسط موجودات دیگر تغذیه شده و تبدیل به مواد غیر آلی مانند آب، دی‌اکسید کربن، نیترات‌ها و فسفات‌ها می‌شوند.

لذا آب حوضچه فیلتر هر چه به لایه‌های پایین نزدیک‌تر می‌شود از نظر مواد غذایی فقیرتر شده و مبارزه میکروب‌ها برای بقا شدیدتر می‌شود. در لایه‌های زیرین موجوداتی قادر به ادامه حیات خواهند بود که از مواد ساده‌تر و املاح آب برای تغذیه استفاده کنند. لذا در آب خروجی فیلتر تقریباً اثری از مواد آلی و باکتری‌ها دیده نمی‌شود. به طور کلی این فرایندها در ۴۰-۶۰ سانتیمتری لایه‌های بالای فیلتر رخ می‌دهد. عملکرد زدایش باکتری‌ها در آن در حدود ۹۹/۹۹ درصد است و شاخص ام‌پی‌ان^۲ آب خروجی فیلتر نزدیک صفر است.

ویژگی‌های لایه زنده به شدت تحت تأثیر شرایط محیط زیستی فیلتر است و لذا فرایندهای زدایش در فیلترهای مختلف یکسان نیست، چنانکه عملکرد یک فیلتر در تابستان و زمستان متغیر است. ویژگی محدود کننده در عملکرد این فیلترها کدورت آب خام است، به طوری که مراجع سقف ۲۰ ان‌تی‌یور مورد تأکید قرار می‌دهند و لذا اگر کدورت کمی بیشتر از ۲۰ باشد، در صورتی که استفاده از فیلتر کند مصلحت باشد، لازم است از فیلتر درشت دانه و یا زلالسازی قبل از فیلتر کند استفاده گردد.

حضور جلبک‌ها در آب خام باعث می‌شود که انسداد لایه زنده با سرعت بیشتری رخ دهد اما از طرف دیگر با فرایند فتوسنتز باعث افزایش اکسیژن محلول آب شده و آب در عبور از لایه‌های ماسه با شرایط بی‌هوازی کمتر روبرو می‌شود. اما حضور اکسیژن بیشتر از حد در آب نیز مشکلاتی در بهره‌برداری ایجاد می‌کند که مورد گفتگو قرار می‌گیرد. برای کاهش مقاومت هیدرولیکی از روی ماسه بستر، لایه‌برداری می‌شود که به هر حال روی عملکرد فیلتر پیامدهایی به جای می‌گذارد.



جدول شماره ۵-۱- سقف آلاینده‌های آب خام برای فیلتر ماسه‌ای کند

ویژگی	حداکثر
کدورت	۵-۱۰
جلبک‌ها	۲۰۰ هزار در لیتر
رنگ واقعی	۱۵-۲۵
تری هالومتان‌ها	۵۰ میکروگرم در لیتر
اکسیژن محلول	بیشتر از ۶ میلی‌گرم در لیتر
فسفات	۳۰ میکروگرم در لیتر
آمونیاک	۳ میلی‌گرم در لیتر
آهن	کمتر از ۱ میلی‌گرم در لیتر
منگنز	کمتر از ۱ میلی‌گرم در لیتر
مواد آلی کربن دار	۲/۵ میلی‌گرم در لیتر

در مراجع امریکای شمالی سقف جمعیت تحت پوشش این فیلترها ۱۰ هزار نفر اعلام شده است. اما در عمل اجتماعات بزرگ‌تری هم وجود دارد که از فیلترهای کند ماسه‌ای برای تصفیه آب استفاده می‌نمایند و لذا شاید اگر قیمت زمین زیاد باشد این نوع فیلتر از نظر اقتصادی گزینه اول نباشد اما از نظر هزینه‌های بهره‌برداری و اعتماد به کیفیت آب تولیدی امتیازات آن بیشتر از فیلترهای تند است.

ادبیات موجود نشان می‌دهد که اگر میزان جلبک‌ها بر حسب کلروفیل آ^۲ در آب خام بیشتر از ۵ میلی‌گرم در مترمکعب آب باشد عملکرد این فیلترها مطلوب نیست. لذا وجود سیلت، کلویدها و جلبک‌ها در آب خام محدودیت‌هایی در کاربرد آن ایجاد می‌نماید. در جدول شماره ۵-۲ کیفیت آب خام و بعضی از عملکردهای فیلتر ماسه‌ای کند نشان داده شده است. توجه به درصد زدایش مواد آلی

۱. سقف کدورت مجاز آب خام برای فیلترهای ماسه‌ای کند ۲۰ ان تی یو هم اعلام شده است که با توجه به دانه‌بندی ماسه انتخابی و عملیات آزمایشی باید تصمیم‌گیری نمود.

2. Chlorophyll-a

۵-۲- عملکرد و کاربرد

انتخاب فیلتر ماسه‌ای کند برای تصفیه آب شرب همگانی بستگی به شرایط ویژه‌ای دارد که مورد گفتگو قرار می‌گیرد. اما ابتدا چند اصل مطرح می‌گردد:

- با توجه به کیفیت آب خام، آب تولیدی این فیلترها می‌تواند آب قابل شرب شناخته شود اما در مورد تغییرات ترکیب‌های معدنی نیاز به توضیحات بیشتر است که خواهد آمد. این فیلترها در زدایش ژیا ردیا و کلیفرم‌ها تا سقف ۶ لاگ می‌توانند عمل نمایند که بهتر از فیلترهای تند متعارف است.
- طرح، اجرا و بهره‌برداری از این فیلترها به مراتب ساده‌تر از فیلترهای تند است به طوریکه اعتماد به کیفیت آب تولیدی آن زیادتر است.
- از محدودیت‌های آن نیاز به زمین بیشتر است زیرا بار سطحی آنها کمتر از ۱۰ متر در روز در مقایسه با فیلترهای تند است که می‌تواند تا ۳۰۰ متر در روز برسد.

- یادآوری گردید که کدورت آب خام نباید از حدود ۱۰-۲۰ ان تی یو تجاوز نماید و اگر کدورت به صورت کلوییدی باشد احتمال عبور از فیلتر زیاد بوده و در آب خروجی دیده می‌شود. در صورتیکه انتخاب فیلتر کند گزینه برتر گردد عملیات پیش تصفیه برای دلمه‌سازی، زلالسازی و کاهش کدورت به حدود ۱۰ ان تی یو ضروری است و چنین آبی مناسب این نوع فیلتر خواهد بود و در نتیجه فاصله زمانی بین دو لایه‌برداری می‌تواند تا چندین ماه برسد.

در جدول شماره ۵-۱ ویژگی‌های آب خام که کاربرد فیلتر ماسه‌ای کند را محدود می‌نماید به صورت ارقام حداکثر مناسب آورده شده است.



جدول شماره ۵-۲- عملکرد تقریبی فیلتر ماسه‌ای کند*

ویژگی	میزان حداکثر مجاز در آب خام	درصد زدایش
کدورت	حدود ۱۰ ان تی یو	بیشتر از ۹۰
جلبک‌ها	۵ میکروگرم در لیتر - کلروفیل آ	-
تری هالومتان‌ها	۵۰ میکروگرم در لیتر	کمتر از ۲۵
رنگ	۲۵	تا ۳۰
مواد آلی محلول	۲/۵ میلی‌گرم در لیتر	۱۵ تا ۲۵
کلیفرم	-	۱-۳ لاگ
ویروس‌ها	-	۳-۷ لاگ
کیست ژیا ردیا	-	۲-۴ لاگ و بیشتر
بی اودی	-	کمتر از ۵۰
فلزات سنگین	-	۳۰-۹۰

*. هر چه اندازه ماسه ریزتر باشد درصد زدایش افزایش می‌یابد.

بر حسب تی اوسی ضرورت دارد زیرا هم درصد زدایش زیاد نیست و هم پس از کلر زنی احتمال تولید ترکیب‌های مولد بیماری در آب وجود دارد. با توجه به روند رو به رشد افزایش مواد آلی آب رودخانه‌ها کاربرد این فیلتر نیاز به توجهات ویژه دارد. چنانکه استفاده از گرانول کربن فعال به عنوان بخشی از مصالح بستر فیلتر یک گزینه است که در بخش ۵-۷ به آن پرداخته شده است.

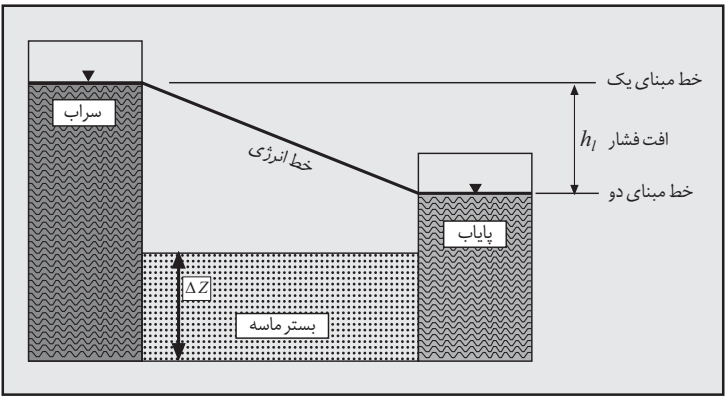
۵-۳- هیدرولیک

در شکل شماره ۵-۲ مقطع یک فیلتر ماسه‌ای کند نشان داده شده است. همانطور که می‌توان مشاهده نمود رقوم آب در سراب و پایاب دارای اختلافی معادل h_L است که نشان دهنده افت فشار در عبور آب از بستر فیلتر، شامل ماسه، شن، شبکه زهکش و تاسیسات ورودی و خروجی است که در بخش ۵-۵ به طور مفصل مورد گفتگو قرار گرفته است.

نحوه عبور آب از بستر ماسه‌ای فیلتر را می‌توان با معادله دارسی بیان نمود که می‌گوید $V = -k \frac{dh}{dz}$ که در آن V عبارت است از سرعت آب در جهت عمود به سطح بستر ماسه که همان بار هیدرولیکی $\frac{Q}{A}$ می‌باشد و h تغییر ارتفاع آب که نشان دهنده افت فشار و Z هم طول حرکت آب که معادل ضخامت ماسه می‌باشد.

k عبارت است از ضریب هیدرولیکی بستر^۱. Q و A به ترتیب میزان آب ورودی به فیلتر و سطح بستر ماسه است و چون دمای آب روی ویسکوزیته آن دخالت دارد معادله به صورت دیگری در می‌آید که می‌توان نوشت $V = \frac{K'}{\mu} \times \frac{h_L}{\Delta Z}$ که در آن K' عبارت است از ضریب هیدرولیکی واقعی بستر بر حسب نیوتن متر و μ ویسکوزیته دینامیک آب. برای بهتر نشان دادن فشارها و افت فشارها از شکل شماره ۵-۳ یاری گرفته می‌شود. همانطور که شکل نشان می‌دهد با پیش‌بینی تعدادی پیزومتر می‌توان وضعیت فشار و در نتیجه افت فشار هیدرولیکی را در لایه‌های مختلف فیلتر مشاهده نمود. بدین ترتیب که اختلاف رقوم دو نقطه A و B نشان دهنده افت فشار آب در عبور از لایه زنده فیلتر است که بیشترین مقدار را نشان می‌دهد و اختلاف ارتفاع D و E یعنی افت فشار در لایه‌های شن نگهدارنده است که کمترین میزان افت را نشان می‌دهد و اختلاف A و E افت فشار در فیلتر را بیان می‌نماید.

شکل شماره ۵-۲- تغییر سطح آب در سراب و پایاب فیلتر ماسه‌ای کند



1. Hydraulic Conductivity of Porous Media (m.hr)



۴-۵- معیارهای طراحی

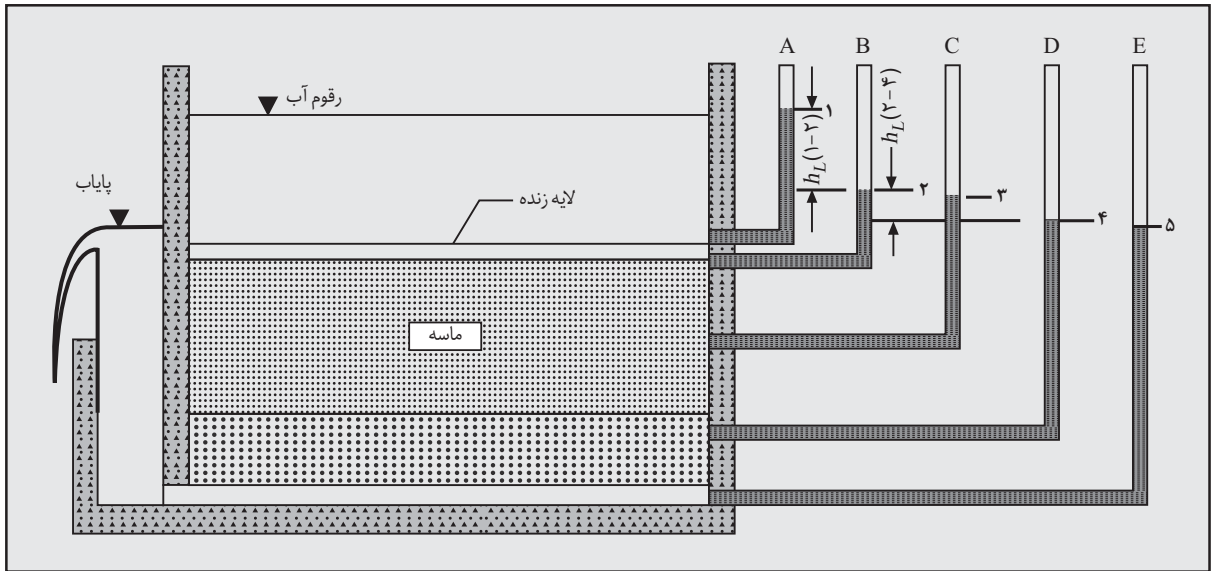
اولین بخش مطالعات مربوط به تصفیه آب تعیین کیفیت آب خام و فرایندهای زدایش آلاینده‌های موجود در آب است که در فصل‌های دوم تا چهارم مورد بحث قرار گرفته است. حاصل مطالعات کیفیت آب خام و کیفیت آب تولیدی، تعیین فرایندهای تصفیه آب است که به صورت دیاگرام باید ترسیم شود و برای شروع بحث شکل شماره ۴-۵ معرفی می‌شود. با توجه به محدودیت عملکرد این فیلترها که در جدول‌های ۱-۵ و ۲-۵ آورده شده است فرایندهای لازم تصفیه آب انتخاب می‌شود.

پس از رسم و تعریف فرایندهای لازم برای تصفیه، ضرورت دارد که معیارهای طراحی واحدها با توجه به توصیه‌های مراجع قابل اعتماد تدوین گردد تا پس از تصمیم‌گیری در خصوص فرایندهای تصفیه، ابعاد و اندازه‌های واحدها محاسبه شود. گرچه در بخش‌های آینده به طور مفصل ضرورت انجام آزمایش^۱ و ارزیابی نتایج مطرح می‌گردد، اما در اینجا باید متذکر گردید که فیلتر ماسه‌ای کند بر مبنای فرایندهای

برای جلوگیری از بروز فشار منفی در این فیلترها که ناشی از تاخیر در لایه برداری است در فصل ششم اشاره شده است. باید توجه نمود که افت فشار آب در عبور از لایه زنده می‌تواند به اندازه فشار موجود یعنی ارتفاع آب روی ماسه گردد. بنابراین لایه زنده باید به کمک دو پیرومتر A و B به طور مستمر زیر نظر باشد.

ضریب هیدرولیکی واقعی بستر (K') فیلتر تمیز بستگی به اندازه مصالح بستر یعنی اندازه ماسه و توزیع دانه‌بندی آن دارد. هر چه اندازه ذرات کوچکتر باشد، در حالیکه عملکرد زدایش باکتری‌ها و ویروس‌ها مطلوب‌تر است اما افت فشار بیشتر و روند افزایش آن هم سریع‌تر است. به هر حال افت فشار در این فیلترها عبارت است از افت در ورودی، بستر ماسه، شن نگهدارنده، روزه‌های روی لوله‌های فرعی و شبکه لوله‌های زهکش که به تفصیل مورد بحث قرار می‌گیرد زیرا برای تولید آب مطلوب باید بار هیدرولیکی صحیح انتخاب شده و میزان آن در بهره‌برداری حفظ گردد که به شدت تحت تاثیر طراحی تاسیسات زهکش کف فیلتر است.

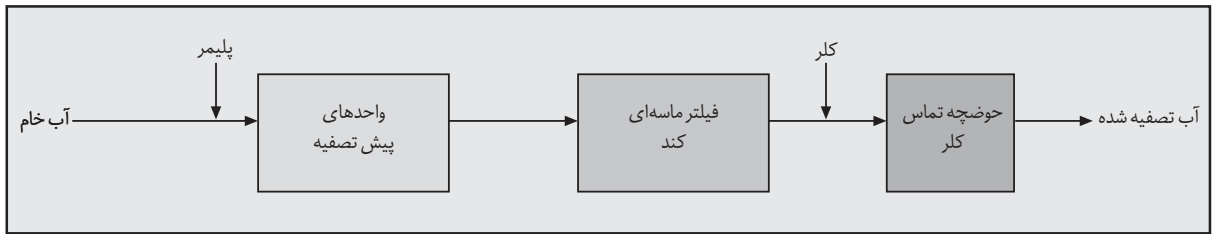
شکل شماره ۳-۵- افت فشار در فیلتر



1. Pilot



شکل شماره ۴-۵- دیاگرام فرایندهای تصفیه در استفاده از فیلتر ماسه‌ای کند



و اگر بار سطحی فیلتر ۰/۲۵ متر در ساعت فرض شود، سطح کل فیلترها عبارت است از:

$$A = \frac{۶۲/۵}{۰/۲۵} = ۲۵۰ m^2$$

و با فرض پیش بینی سه فیلتر سطح هر کدام عبارت است از:

$$\frac{۲۵۰}{۳} = ۸۴ m^2$$

در این صورت در روزهایی که یکی از سه فیلتر برای لایه برداری و دیگر تعمیرات از مدار تولید خارج می‌شود، تولید آب به میزان زیادی کاهش می‌یابد. در اینجا دو گزینه باید مورد مطالعه قرار گیرد، اول افزایش بار هیدرولیکی دو فیلتر دیگر در روزهای مورد نظر و استفاده از ظرفیت مخازن ذخیره آب پاک و دوم پیش بینی فیلتر چهارم. در این صورت بار سطحی چهار فیلتر در سال‌های آخر حدود ۰/۱۹ متر در ساعت خواهد بود.

گزینه دیگر پیش بینی دو فیلتر با سطح کل ۲۵۰ مترمربع و یک فیلتر هم برای شرایط تعمیر و لایه برداری است. در این صورت بار سطحی عبارت است از ۰/۱۷ متر در ساعت. لذا گزینه‌های مختلفی وجود دارد که باید مورد مطالعه و مقایسه قرار گیرد. در تمام گزینه‌ها استفاده از حجم مخزن ذخیره ضرورت دارد. در مخازن ذخیره و سرویس نیازهای زیر باید پیش بینی شود:

- اختلاف نیاز ساعتی شبکه و تولید تصفیه‌خانه؛
- حجم آب برای مبارزه با آتش‌سوزی‌ها، طبق آیین‌نامه‌های موجود؛
- حجم آب برای شرایط اضطراری که مورد بحث قرار گرفت.

در مواردی حجم مورد نیاز ردیف آخر نسبت به احجام دیگر خیلی

بیولوژیکی عمل می‌نماید و لذا شرایط محیط زیستی روی کارایی آن دخالت دارد و نمی‌توان بدون آزمایش در محل تصمیم‌گیری نمود. پس از تعیین جمعیت در سال افق و تعیین نیاز روزهای پر مصرف ماه که ممکن است تابستان‌ها و یا تحت تاثیر شرایط زیارتی و یا سیاحتی فصل دیگری باشد، مقدار آب مورد نیاز تعریف می‌شود. در صورتیکه فاصله محل استقرار واحدهای تصفیه و آبگیر از منبع آب خام طولانی است و در نتیجه نیاز به لوله انتقال آب خام است باید با آنالیزهای حوادث احتمالی قطع آب به علت شکستن لوله انتقال و روزهای لازم برای تعمیر آن، حجم مخازن ذخیره آب خام و یا آب تصفیه شده محاسبه شود.

تاسیسات ذخیره آب خام ارزان‌تر از ذخیره آب تصفیه شده است، اما چون مخزن روباز است تغییر کیفیت آب باید مورد مطالعه قرار گیرد و اگر رشد جلبک‌ها مشکل آفرین است مخزن مسقف ضرورت دارد و در این صورت ذخیره آب پاک منطقی‌تر است. به هر حال معادل روزهای قطع جریان انتقال آب خام، باید تاسیسات ذخیره در شهر پیش بینی شود. در مورد انتخاب محل فیلترهای تصفیه‌خانه به فصل دهم و بخش ۱۰-۶ مراجعه شود.

مثال شماره ۵-۱:

اگر جمعیت نهایی سال افق شهری ۵۰۰۰ نفر و متوسط سرانه مصرف ۰/۲ مترمکعب در روز و ضریب حداکثر نیز ۱/۵ فرض شود. میزان آب مورد نیاز عبارت است از:

$$Q_w = ۵۰۰۰ \times ۰/۲ \times ۱/۵ = ۱۵۰۰ m^3/d = ۶۲/۵ m^3/hr$$



بیشتر است. لذا به طور اجمال تعیین تعداد و سطح کل فیلترها نیاز به

آنالیزهای مفصل دارد تا ضمن کاهش سرمایه‌گذاری، انعطاف‌پذیری

تاسیسات هم در نظر گرفته شود. به هرحال توجهات اساسی در

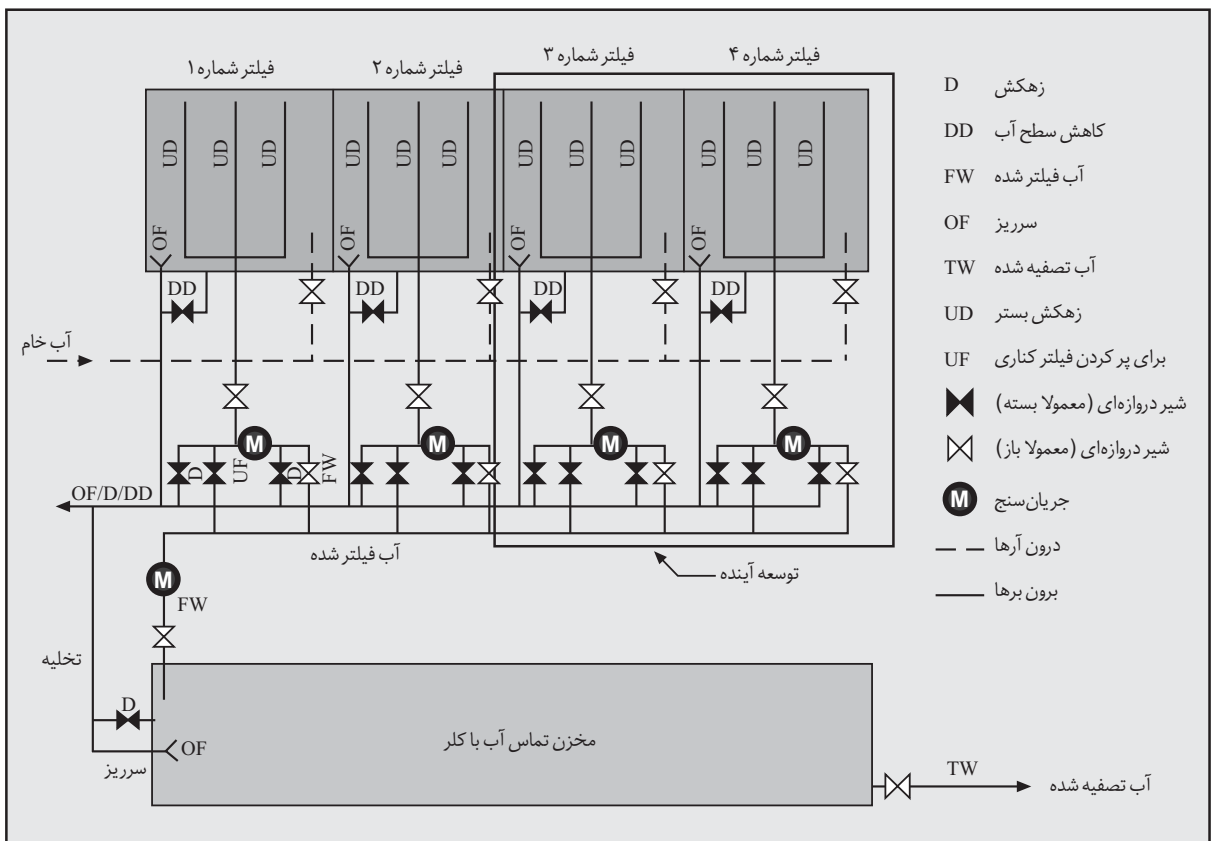
هیدرولیک فیلتر عبارت است از:

- توزیع آب خام ورودی به روی بستر ماسه بدون ایجاد جابجایی و سایش ماسه‌ها؛

- جمع‌آوری آب فیلتر شده به نحوی که بار هیدرولیکی در تمام سطح فیلتر یکسان حفظ گردد؛

- سهولت پایین بردن سطح آب روی ماسه در هنگام لایه‌برداری؛
- پیش‌بینی سرریز در صورتیکه لایه‌برداری به موقع انجام نگرفته و سطح آب بالا آمده است و همچنین استفاده از آن برای تخلیه مواد

شکل شماره ۵-۵- ترتیب کنترل جریان آب بین واحدهای مختلف در یک پروژه در حال بهره‌برداری (مرجع شماره ۱۳)



و اجسام شناور به ویژه قبل از لایه‌برداری که در بهره‌برداری مورد بحث قرار می‌گیرد؛

- اندازه‌گیری و کنترل میزان آب خام ورودی و آب تصفیه شده تولیدی و کنترل بار هیدرولیکی فیلتر؛
- اندازه‌گیری افت فشار و جلوگیری از بروز فشار منفی در بستر فیلتر؛
- انعطاف‌پذیری در بهره‌برداری مانند تخلیه آب اولیه فیلترها به تاسیسات دفع و یا تغذیه یک فیلتر از طریق شبکه زهکشی آن با آب فیلتر شده فیلتر کناری.

در شکل شماره ۵-۵ دی‌گرام لوله‌کشی‌های لازم برای این توجهات نشان داده شده است. همانطور که شکل پیش گفته نشان می‌دهد دو فیلتر در طرح وجود دارد و دو واحد هم برای توسعه آینده در نظر گرفته

شده است و در هر فیلتر سه لوله جمع‌آوری آب فیلتر شده در طول فیلتر و یک لوله نهایی هم در عرض آن پیش‌بینی شده است. برای انجام عملیات مورد بحث شیرهای لازم پیش‌بینی شده است. آب خروجی از هر فیلتر به کمک ۴ شیر و به شرح زیر می‌تواند مورد تنظیم قرار گیرد:

- هدایت به مخزن تماس با کلر قبل از خروج از تصفیه‌خانه؛
- پایین آوردن سطح آب روی بستر برای عملیات بهره‌برداری مانند لایه‌برداری؛
- تغذیه هر فیلتر از طریق زهکش توسط آب فیلتر شده بقیه فیلترها؛
- تخلیه آب‌های فیلتر شده در مراحل شروع بهره‌برداری به فاضلابرو.

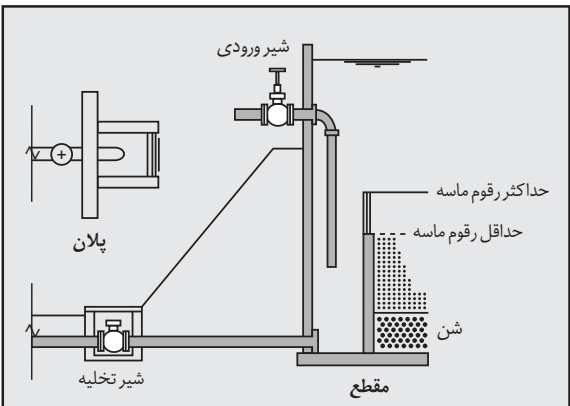
توصیه مورد نظر سازمان تحقیقات بین‌المللی در مورد تاسیسات درون آر و برون بر در شکل‌های شماره ۵-۶ و ۵-۷ نشان داده شده است. چون هدایت آب خام به روی فیلتر و حفظ لایه زنده و بار هیدرولیکی از اهمیت زیادی برخوردار است طرح دیگری غیر از شکل‌های پیش گفته مورد استفاده قرار می‌گیرد که در شکل شماره ۵-۸ نشان داده شده است. گرچه این طرح مستلزم کاربرد مقادیر بیشتر لوله و اتصالات است اما دارای امتیازاتی است. طبق شکل پیش گفته آب خام از طریق ۱۰ دریچه به روی سطح فیلتر هدایت می‌شود و برای آن مثال شماره ۵-۱۲، رایج می‌گردد.

مثال شماره ۵-۲:

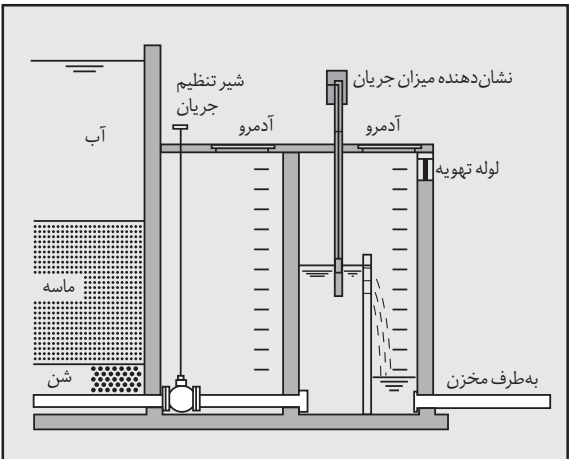
با فرض بار سطحی ۰/۴ متر در ساعت که حداکثر مجاز برای این فیلترهاست و با فرض سطح صافی ۳۰۰=۳×۱۰ مترمربع، میزان تولید آب عبارت است از ۱۲۰ مترمکعب در ساعت برابر ۰/۰۳۳ مترمکعب در ثانیه محاسبات انجام می‌گیرد.

اگر لوله دارای قطر ۳۰ سانتیمتر باشد سطح مقطع آن ۰/۰۷ مترمربع و سرعت آب در آن در ابتدا ۰/۴۷ متر در ثانیه خواهد بود و حال با فرض پیش‌بینی ۱۰ دریچه طبق شکل شماره ۵-۸ می‌توان نوشت:

شکل شماره ۵-۶- کلیات درون آر برای کنترل ورودی



شکل شماره ۵-۷- کلیات برون بر برای کنترل خروجی آب



$$Q = 0.033 \div 10 = 0.0033 \text{ m}^3/s$$

و با فرض سطح مقطع هر دریچه معادل ۰/۰۵ مترمربع، سرعت آب خروجی از دریچه عبارت است از:

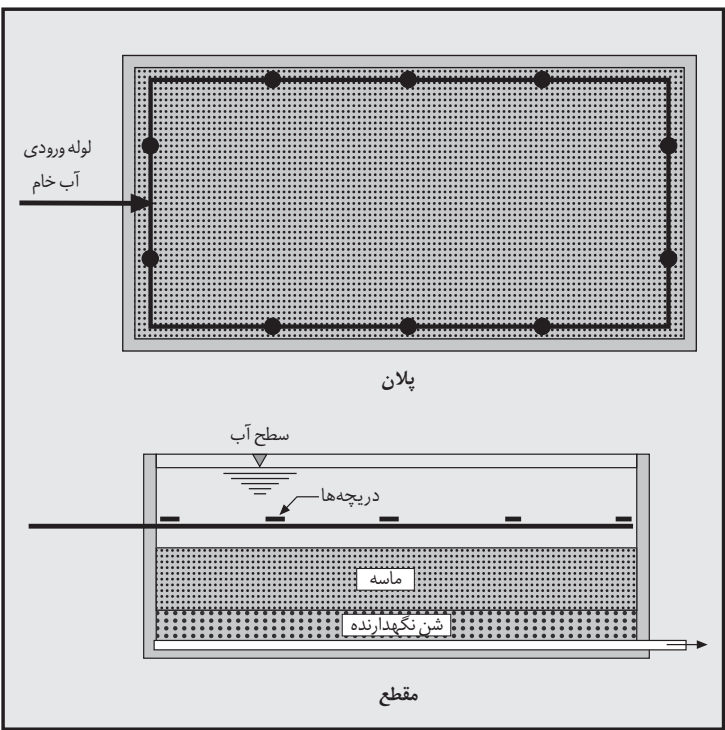
$$V_R = 0.033 \div 0.05 = 0.66 \text{ m/s}$$

با توجه به میزان لازم گذر آب، فشار هیدرولیکی مورد نیاز در پشت آن باید محاسبه شود. اگر d قطر دریچه و D قطر لوله باشد، با فرض ضریب خروجی دریچه $C_d = 0.77$ و $\frac{d}{D} = 0.83$ می‌توان نوشت:

$$Q = C_d A (\frac{2gh}{\frac{d}{D}})^{1/5}$$



شکل شماره ۵-۸- پلان و مقطع تاسیسات درون‌آر برای اجتناب از به هم خوردن ماسه روی فیلتر و لایه زنده و توزیع بهتر آب خام در سطح فیلتر



در دو معادله بالا علایم عبارتند از:

$$Q = \text{میزان عبور آب از روزنه بر حسب متر مکعب در}$$

ثانیه؛

$$A = \text{سطح مقطع روزنه بر حسب مترمربع؛}$$

$$d = \text{قطر روزنه بر حسب متر؛}$$

$$C_d = \text{ضریب آبگذر، طبق جدول شماره ۵-۵؛}$$

$$g = \text{شتاب ثقلی معادل (۹/۸) متر در ثانیه در ثانیه؛}$$

$$\Delta h = \text{اختلاف فشار بین دو طرف روزنه؛}$$

$$h_f = \text{افت فشار هیدرولیکی در لوله بر حسب متر؛}$$

$$f = \text{ضریب اصطکاک در معادله دارسی وایسباخ که}$$

$$۰/۱۲ \text{ فرض می شود؛}$$

$$L = \text{طول لوله به متر؛}$$

$$D = \text{قطر لوله به متر؛}$$

$$V = \text{سرعت جریان آب بر حسب متر در ثانیه.}$$

از آنجا که V عبارت است از $۰/۴۷$ متر در ثانیه خواهیم داشت:

$$h = ۰/۱۲ \times \frac{۱۴}{۰/۳} \times \frac{۰/۴۷^۲}{۲ \times ۹/۸۱} = ۰/۰۰۶۳ \text{ m} = ۰/۶ \text{ سانتیمتر}$$

چون هر چه تعداد دریچه‌ها بیشتر باشد خطر به هم ریختن ماسه و سایش ماسه‌های لایه‌های سطحی کمتر می‌شود، تمایل به افزایش تعداد آنها بیشتر می‌شود که هزینه کار را افزایش می‌دهد. برای جلوگیری از این پدیده همانطور که قبلاً مطرح گردید بهتر است آب فیلتر شده از فیلتر کناری و از طریق شبکه زهکشی فیلتر به آن هدایت شده تا سطح آب به حدود $۲۰ - ۳۰$ سانتیمتری روی ماسه بالا آید و سپس هدایت آب خام به فیلتر آغاز گردد. این روش بهره‌برداری دارای مزایایی است که در بخش بهره‌برداری به آن پرداخته می‌شود.



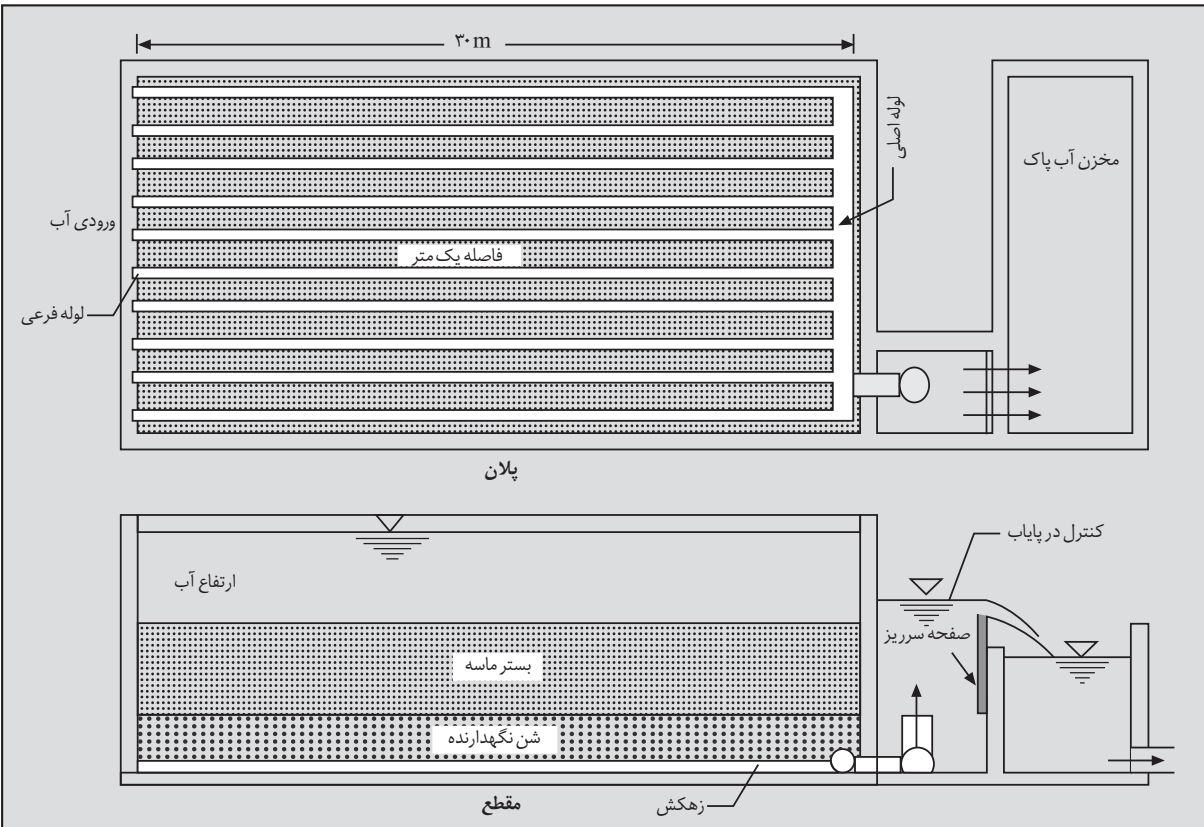
۵-۴-۱- شبکه زهکشی

تاسیسات جمع‌آوری آب فیلتر شده واقع در کف فیلتر، شبکه زهکشی نامیده و به صورت‌های مختلفی طرح و اجرا می‌شود. چنانکه از قطعات بتنی پیش ساخته تا لوله‌های روزنه‌دار و حتی لوله‌های پلیسه شده می‌توان استفاده نمود. در این فصل تنها به لوله‌های روزنه‌دار پرداخته می‌شود. شبکه از یک یا دو و حتی سه لوله اصلی و تعداد زیادی لوله‌های فرعی تشکیل می‌شود که بستگی به سطح و ابعاد فیلتر دارد، زیرا برای سرعت آب و افت فشار در آنها محدودیت وجود دارد.

فاصله بین لوله‌های فرعی بهتر است بین $۱ - ۲$ متر باشد و سرعت

آب در آنها حدود $۰/۵$ متر در ثانیه باشد، لذا قطر لوله باید بر مبنای سرعت مجاز و میزان آب فیلتر شده به آن محاسبه شود. قطر سوراخ‌ها و یا روزنه‌ها نباید از حدود یک سانتیمتر بیشتر شود و فاصله آنها از

شکل شماره ۵-۹- پلان و مقطع یک فیلتر ماسه‌ای کند



یکدیگر هم در حدود یک متر است. شکل شماره ۵-۹ پلان و مقطع یک فیلتر ماسه‌ای کند همراه با ابعاد آن را نشان می‌دهد و برای تعیین اقطار لوله‌های اصلی و فرعی و روزنه‌های آن مثالی آورده می‌شود.

مثال شماره ۵-۳:

برای تعیین قطر لوله‌های زهکش فیلتر نشان داده شده در شکل شماره ۵-۹ به شرح زیر عمل می‌شود:

با فرض بار هیدرولیکی $۰/۴$ متر در ساعت که حداکثر مجاز می‌باشد محاسبات انجام می‌گیرد که در صورت ضرورت تحمیل این بار سطحی، تاسیسات تولید آب با مشکل روبرو نشود. با فرض سطح فیلتر ۳۰۰ مترمربع میزان آب تولیدی و یا فیلتر شده عبارت است از:

$$Q = A \times V_s = \frac{۳۰۰ \times ۰/۴}{۳۶۰۰} = ۰/۰۳۳ \text{ m}^3/\text{s}$$

$$h = (۲ \times ۹/۸۱ \times h \times ۰/۷۷ \times ۰/۰۰۳۳)^{۱/۵}$$

فشار لازم پشت هر دریچه:

$$h = ۰/۰۰۰۳۶ \text{ متر} = ۰/۰۳۶ \text{ سانتیمتر}$$

حال افت فشار در لوله اصلی محاسبه می‌شود. در این نوع رژیم‌های هیدرولیکی که میزان جریان آب به‌طور یکنواخت کاهش پیدا می‌نماید، افت فشار در طول خط لوله معادل افت در یک سوم لوله و برای جریان حداکثر آب است. با توجه به طول جریان آب از هر طرف به طول ۴۰ متر می‌توان نوشت:

$$۱۴ = ۳ \div ۴۰$$

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^۲}{۲g}$$



لازم به توجه است که جریان $0/033$ مترمکعب در ثانیه در فاصله یک متری انتهای لوله رخ می دهد، در حالیکه در ابتدای لوله تنها $0/0033$ مترمکعب در ثانیه در آن جاری است. لذا افت فشار به مراتب کمتر از عدد محاسبه شده است که در جهت اطمینان به کار فیلتر مطلوب است.

لذا به طور چکیده نتایج محاسبات چنین نشان می دهد که:

- قطر لوله اصلی 45 سانتیمتر با افت فشار $0/054$ سانتیمتر؛
- قطر لوله فرعی 20 سانتیمتر با افت فشار $0/09$ سانتیمتر؛
- قطر روزنه ها 1 سانتیمتر و با تعداد 48 عدد روی هر لوله فرعی و با افت فشار 10 سانتیمتر.

حال با فرض این که در فیلتر مثال شماره $5-3$ به جای روزنه شکافهایی روی لوله های فرعی پیش بینی می شود محاسبات انجام می گیرد.

مثال شماره $5-4$:

در این فیلتر عرض شکاف ها یک میلیمتر و طول آنها $2/5$ سانتیمتر، طول لوله فرعی 30 متر و تعداد لوله های فرعی 10 عدد و روی هر لوله فرعی 860 ، 7 شکاف پیش بینی شده است.

تعداد شکاف ها در شبکه زهکشی عبارت است از:

$$N = 7,860 \times 10 = 78,600$$

و میزان عبور آب از هر شکاف

$$q = \frac{0/033}{78,600} = 0/4 \times 10^{-7} m^3/s$$

سطح مقطع هر شکاف

$$a = 0/001 \times 0/025 = 2/5 \times 10^{-5} m^2$$

و افت فشار در روزنه

$$q = 4 \times 10^{-7} = 0/62 \times 2/5 \times 10^{-5} (2 \times 9/81 \times \Delta h)^{1/5}$$

$$\Delta h = 0/00004 m = 0/004 cm$$

باید توجه داشت که اگر افت فشار در روزنه ها ناچیز باشد باید به افت

فشار در لوله فرعی توجه نمود زیرا اگر این افت زیاد شود آبدهی

با قبول عرض فیلتر 10 متر و قرار دادن 10 لوله فرعی با فاصله های یک متر از هم سرعت آب مورد زهکشی در هر لوله فرعی عبارت است از:

$$\frac{0/033}{10} = 0/0033 m/s$$

با فرض قطر لوله فرعی 20 سانتیمتر و سطح مقطع $0/314$ متر مربع سرعت آب در انتهای آن برابر است با $0/1$ متر در ثانیه و افت فشار در آن عبارت است از:

$$V = \frac{q}{A} = \frac{0/0033}{0/314} = 0/1 m/s$$

$$h_L = f \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g}$$

$$h_L = 0/012 \times \frac{30}{0/2} \times \frac{0/1^2}{2 \times 9/81} = 0/0009 m = 0/9 cm$$

حال با فرض قطر روزنه های روی لوله فرعی یک سانتیمتر و در نتیجه سطح مقطع $5-10 \times 7/85$ مترمربع و تعیین ضریب آبدهی آن طبق جدول شماره $5-6$ و برابر $0/62$ و حداکثر افت فشار 10 سانتیمتر میزان آبدهی روزنه ها به لوله فرعی محاسبه می شود.

$$q = C_d A (2gh)^{1/5} = 0/62 \times 7/85 \times 10^{-5} \times (2 \times 9/81 \times 0/1)^{1/5}$$

$$= 6/8 \times 10^{-5} m^3/s = 6/8 \times 10^{-2} \text{ لیتر در ثانیه}$$

و تعداد روزنه های لازم روی هر لوله فرعی عبارت است از:

$$N = \frac{Q}{q} = \frac{0/033}{6/8 \times 10^{-5}} = 48$$

در نتیجه تعداد کل روزنه های شبکه زهکش عبارت است از 480 روزنه.

برای تعیین قطر لوله اصلی که طبق شکل پیش گفته در عرض انتهایی فیلتر قرار دارد با فرض $D = 45$ سانتیمتر و سطح مقطع برابر $0/16$ مترمربع، سرعت آب در انتهای لوله عبارت است از:

$$V = \frac{0/033}{0/16} = 0/2 mm/s$$

و افت فشار در آن برای شرایط حداکثر جریان در انتهای لوله

$$h_L = 0/012 \times \frac{10}{0/45} \times \frac{0/2^2}{2 \times 9/81} = 5/4 \times 10^{-4} m$$



می نماید و بنابراین آب خام ورودی بیشتر از آب خروجی از شبکه زهکش شده، سطح آب در بستر بالا می آید. برای جلوگیری از جاری شدن آب از روی دیوارها و ایجاد تخریب، ضرورت دارد که سرریز مناسبی با ظرفیت لازم پیش بینی شود تا سطح آب تحت کنترل قرار گیرد و حتی می توان با پیش بینی دستگاه خاص شروع جریان سرریز اعلام گردد. در شکل شماره $5-10$ یک نوع آن نشان داده شده است.

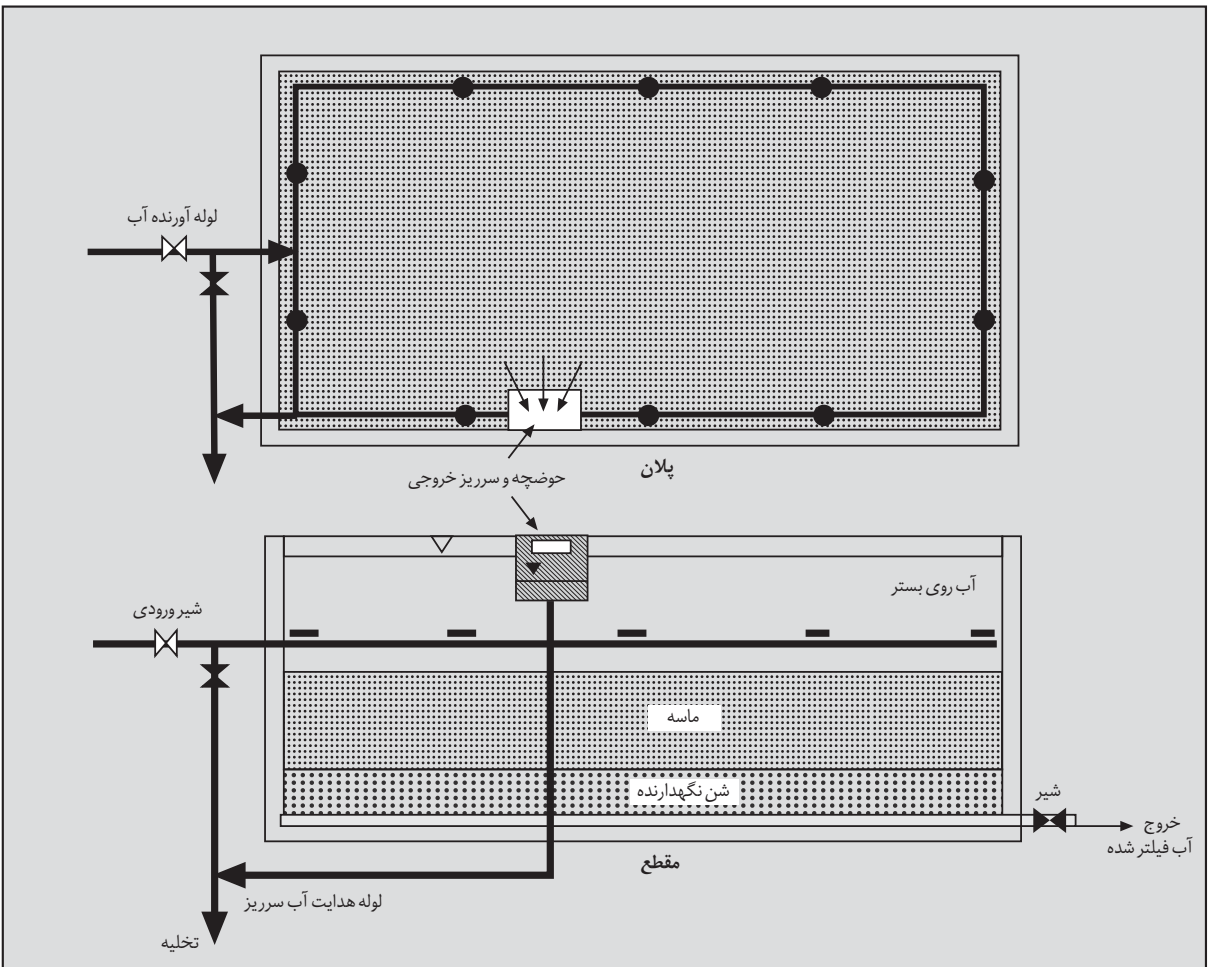
آب خام ورودی به تصفیه خانه باید بین فیلترهای تصفیه خانه به طور یکسان تقسیم شود. طبق شکل شماره $5-11$ قبل از فیلترها، می توان حوضچه تقسیم پیش بینی نمود که در خروجی آن سرریزهای لازم

روزنه ها یکسان نخواهد بود. در انجام محاسبات ساده مانند دو مسئله پیش گفته باید توجه نمود که فشار هیدرولیکی در فضای بین لوله های فرعی و در فضای بین لایه های شن نگهدارنده ماسه یکسان باشد. لذا هرچه لوله های فرعی به هم نزدیک تر باشند، اختلاف فشار کمتری بوجود می آید.

۵-۴-۲- کنترل میزان آب

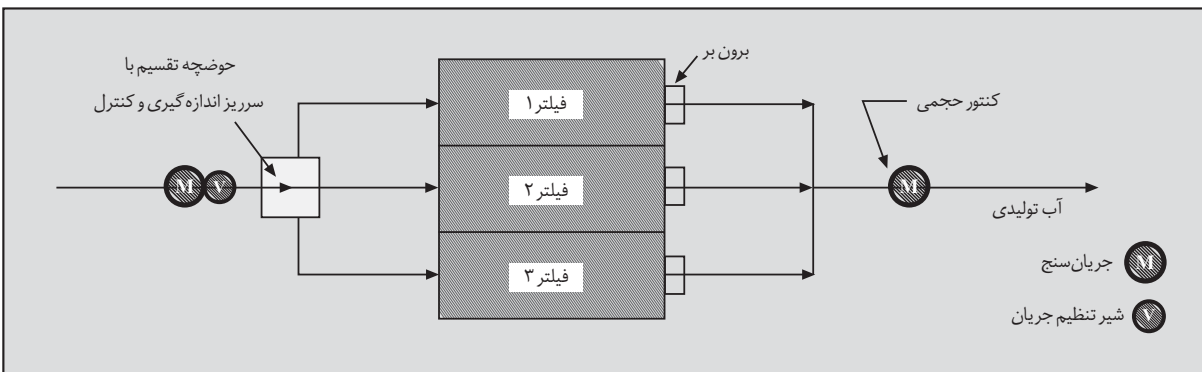
یادآوری گردید که با استمرار فیلتراسیون و تولید آب، لایه زنده به علت تجمع ذرات و میکروب ها دچار گرفتگی شده و عبور آب را محدود

شکل شماره $5-10$ - لوله درون آر، برون آر و سرریز در یک فیلتر ماسه ای کند





شکل شماره ۵-۱۱- جریان سنج و کنترل (میزان آب خام) ورودی به فیلتر (کنترل بالادست)



۵-۴-۳- اندازه‌گیری فشار آب

یادآوری گردید که در فیلترهای ماسه‌ای کند فشار آب که از آن برای عبور آب از فیلتر استفاده می‌شود عبارت است از مجموع ارتفاع آب روی بستر و ضخامت ماسه و شن روی شبکه زهکشی. باز نمودن شیر خروجی آب فیلتر شده و ایجاد جریان آب همراه است با افت فشار هیدرولیکی که توسط پیزومترهای نصب شده، طبق شکل شماره ۵-۳ قابل مشاهده است. یادآوری گردید که نصب پیزومتر در روی بستر و در زهکش ضرورت دارد تا افت فشار در فیلتر پایش و به موقع نسبت به توقف تولید آب و لایه برداری اقدام شود.

توصیه می‌شود که یک پیزومتر هم در زیر لایه زنده و در فاصله ۱۰ سانتیمتری نسبت به سطح ماسه نصب شود تا وضعیت افت فشار توسط لایه زنده مورد پایش قرار گیرد زیرا همانطور که در صفحات پیشین گفته شد بخش اعظم افت فشار این فیلترها ناشی از لایه زنده است، به طوری که ممکن است باعث بروز فشار منفی در فیلتر شود. اگر فشار منفی ایجاد گردد گازهای محلول در آب فیلتر به صورت حباب از فاز محلول خارج می‌شود. این فرایند به خصوص در مورد اکسیژن آب فیلتر محتمل تراست زیرا جلبک‌ها با فعالیت‌های فتوسنتز اکسیژن آب را افزایش می‌دهند.

طبق شکل شماره ۵-۷ در خروجی این فیلترها سرریزی پیش‌بینی می‌شود که لبه آن معادل رقوم سطح ماسه است تا اگر در

لایه برداری تاخیر شود، قبل از آنکه فشار منفی ایجاد شود، خروج آب متوقف و سطح آب بالا آمده تا به سرریز خروجی آب خام می‌رسد. به هرحال با توجه به مطالب پیش گفته در طراحی این فیلترها نکات زیر باید مورد توجه قرار گیرد:

- پیش‌بینی حوضچه‌های ورودی و خروجی طبق توصیه مرکز تحقیقات بین‌المللی آب شرب؛
- مسقف نمودن فیلتر برای جلوگیری از نور خورشید و رشد جلبک‌ها، یخ زدن، باد و غیره؛
- پیش‌بینی تاسیسات شستشوی ماسه در محوطه تصفیه‌خانه.

۵-۴-۴- ماسه بستر فیلتر

تهیه ماسه مناسب برای فیلترهای ماسه‌ای کند یکی از اقلام پر هزینه این گونه طرح‌ها می‌باشد و چون به طور مستمر هر یک ماه و طولانی‌تر از فیلتر لایه‌برداری می‌شود باید آنها را جزو مواد زاید جامد تصفیه‌خانه قرار داد که یا در محوطه دفن زباله‌های شهر تخلیه و یا پس از جمع‌آوری و شستشو در محل مناسبی ذخیره می‌گردد تا دوباره مورد استفاده قرار گیرد. تصمیم بین دو گزینه پیش گفته بستگی به آنالیزهای اقتصادی دارد. در مواردی از ماسه بادی اطراف تصفیه‌خانه و یا ماسه کنار دریا استفاده می‌شود که هزینه تهیه آن کمتر از شستشو و انبار کردن خواهد بود. اما انتخاب ضخامت اولیه ماسه نیاز به توجهاتی دارد. ضخامت

ماسه فیلتر براساس معادله زیر تعیین می‌شود:

$$Y = \frac{D_1 - D_2}{R \times F}$$

که در آن D_1 و D_2 به ترتیب عبارتند از ضخامت بستر ماسه در ابتدای شروع بهره‌برداری و حداقل ضخامت لازم قبل از جایگزینی دوباره ماسه و R و F نیز به ترتیب عبارتند از ضخامت لازم هر لایه برداری و دفعات لایه برداری در سال و Y عبارت است از سال‌هایی که فیلتر می‌تواند بدون جایگزینی ماسه مورد بهره‌برداری قرار گیرد. ضخامت لایه برداری در عملیات آزمایشی و یا در مرحله بهره‌برداری باید تعیین شود.



عملکرد فیلتر ماسه‌ای کند در زدایش میکروب‌ها و کدورت، بیشتر تحت تاثیر بلوغ بیولوژیکی فیلتر است تا ضخامت ماسه بستر. مطالعات حاصل از عملکرد فیلتر آزمایشی نشان می‌دهد که درصد زدایش کلیفرم‌ها در بستر با ضخامت یک متر و بستر با ضخامت نیم متر به ترتیب ۹۷ و ۹۵ درصد می‌باشند که نشان می‌دهد ضخامت بستر دارای اهمیت بسیار کمی است. چنانکه تحقیقات نشان می‌دهد که بیشترین زدایش باکتری‌ها توسط چند سانتیمتر لایه‌های بالای فیلتر انجام می‌گیرد که بیشترین فعالیت‌های بیولوژیکی در آن جریان دارد و حداقل ضخامت توصیه شده هم ۵/۰-۸/۰ متر است. اما ضخامت بستر روی طول مدت بهره‌برداری و افت فشار هیدرولیکی در فیلتر دخالت دارد، به طوریکه با افزایش آن، زمان رسیدن به حداقل ضخامت طولانی‌تر می‌شود.

مثال شماره ۵-۵:

طبق معیارهای امریکای شمالی اگر ضخامت حداقل ماسه ۰/۳ متر و ضخامت اولیه ۱/۳ متر انتخاب بشود و ضخامت لایه برداری ۰/۰۰۵ متر و دفعات لایه برداری ۱۲ بار در سال باشد، تعداد سال‌هایی که از این فیلتر بدون ماسه ریزی می‌توان بهره‌برداری نمود عبارت است از:

$$N = \frac{1/3 - 0/3}{0/005 \times 12} = 16$$

و اگر ضخامت لایه برداری همان ۰/۰۰۵ متر اما حداقل ضخامت ۱ متر فرض شود، این مدت به پنج سال تقلیل می‌یابد.

$$N = \frac{1/3 - 1}{0/005 \times 12} = 5$$

مرکز تحقیقات بین‌المللی حداکثر و حداقل ضخامت ماسه را به ترتیب ۰/۹ و ۰/۶ متر توصیه می‌نماید و در صورتیکه ضخامت لایه برداری ۰/۰۱ متر باشد در این صورت هر ۵/۲ سال ضخامت بستر به حداقل می‌رسد و لازم است بستر به حالت اولیه برگردد که برای ماسه‌ریزی در بخش بهره‌برداری صحبت می‌شود. بنابراین در مورد حداکثر ضخامت

پیش‌بینی شود که هم میزان عبور آب به هر فیلتر قابل کنترل و اندازه‌گیری است و هم می‌توان هر فیلتر را از مدار تولید خارج نمود. در صورتیکه لوله آورنده آب خام تحت فشار باشد می‌توان با پیش‌بینی دستگاه جریان سنج و شیر کنترل، آب خام مورد تصفیه را اندازه‌گیری و تنظیم نمود. در خروجی هر فیلتر هم حوضچه‌ای پیش‌بینی می‌شود که با توجه به نوع کنترل تاسیسات خاصی لازم دارد که در صفحات قبل یادآوری گردید. استفاده از روش اول توصیه می‌شود زیرا فشار هیدرولیکی به هر حال باید در صافی صفر بشود.

نصب کنترلر حجمی و یا تاسیسات اندازه‌گیری و ثبت جمع میزان آب تولیدی تصفیه‌خانه ضرورت دارد تا میزان تولید و مصرف مورد مقایسه قرار گرفته و فرار آب در شبکه و آب به حساب نیامده تعیین گردد. در صورتی که شرایط اجازه دهد می‌توان، طبق شکل شماره ۵-۷ اندازه‌گیری و کنترل بار سطحی و تولید آب هر فیلتر را در پایین دست یا پایاب انجام داد. لذا با توجه به شرایط هیدرولیکی باید بار سطحی تحت کنترل بوده و بتوان آن را کم و زیاد نمود. این مطلبی است که در بخش بهره‌برداری از فیلترهای کند بیشتر مورد گفتگو قرار می‌گیرد. محوطه سازی فیلترها، شامل لوله‌کشی آب، فاضلاب، سرریز و راه‌های دسترسی، روشنایی محوطه و عملیات بهره‌برداری در بخش‌های بعدی مورد بحث مختصر قرار می‌گیرد که در شکل‌های ۵-۱۲ تا ۵-۱۶ کلیات آن نشان داده شده است.



ماسه و ضخامت لایه برداری نیاز به انجام عملیات آزمایشی می باشد تا بتوان طرحی ارایه نمود که کمترین هزینه را با حفظ معیارهای طرح، در برداشته باشد. زیرا با افزایش ضخامت بستر و افزایش افت فشار هزینه هایی به طرح تحمیل می گردد.

مثال شماره ۵-۶:

اطلاعات زیر در دست است و قرار است ضخامت حداکثر ماسه انتخاب شود. بار سطحی ۴/۸ متر در روز و ضخامت بستر ۱/۳ متر.

$$K = ۱۰^{-۷} \times ۶/۶ \text{ نیوتن متر برای یک فیلتر فرضی؛}$$

$$T = \text{صفر درجه سلسیوس. لذا ویسکوزیته آب عبارت است از}$$

$$۱۰^{-۳} \times ۱/۸ \text{ نیوتن مترمربع بر ثانیه؛}$$

$$t = \text{فاصله زمانی بین دو لایه برداری که حدود ۳۰ روز فرض می شود؛}$$

$$h_L = \text{حداکثرافت فشار برابر ۱/۷ متر.}$$

لذا با در نظر گرفتن بار سطحی ۰/۲ متر بر ساعت می توان نوشت:

$$V' = \frac{k'}{\mu} \times \frac{h_L}{\Delta Z}$$

$$۰/۲ = \frac{۶/۶ \times ۱۰^{-۷}}{۱/۸ \times ۱۰^{-۳}} \times \frac{h_L}{۱/۳} \times \frac{۳۶۰۰}{۱}$$

$$h_L = ۰/۲ \text{ متر}$$

در محاسبه بالا ضخامت بستر ۱/۳ متر فرض شده است.

حال اگر ضخامت ماسه بستر به یک متر تقلیل یابد افت فشار به ۰/۱۵ متر کاهش می یابد و اگر ضخامت ماسه به ۱/۵ متر افزایش یابد افت فشار به ۰/۲۳ متر می رسد. یعنی برای افزایش ۰/۵ متر ضخامت ماسه افت فشار ۰/۰۸ متر بیشتر می شود.

بنابراین مدت بهره برداری بین دو لایه برداری از فیلترهای با ضخامت های مختلف ماسه با هم اختلاف چندانی ندارند و در نتیجه هزینه های ساختمانی و تهیه مصالح گزینه مناسب را تعریف می نماید. اما تعداد سال های بهره برداری تا رسیدن زمان تعویض بستر موضوع مهمی است که در مسئله شماره ۵-۵ مطرح گردید.

در مورد ضرورت استفاده دوباره از ماسه های لایه برداری شده و یا دفع آنها و استفاده از ماسه نو لازم است ضمن آنالیز هزینه ها مقایسه اقتصادی انجام گیرد. مثالی آورده می شود تا هزینه های مربوط به استفاده دوباره از ماسه شفاف تر شود.

مثال شماره ۵-۷:

با فرض لایه برداری از دو فیلتر به صورت یکبار در ماه و ضخامت لایه برداری ۰/۵ سانتیمتر و با فرض سطح هر فیلتر ۱۷۰ مترمربع محاسبات انجام می گیرد.

حجم ماسه جمع آوری شده در هر بار از هر فیلتر عبارت است از:

$$۱۷۰ \times ۰/۰۰۵ = ۰/۸۵ \text{ m}^۳$$

و حجم ماسه دو فیلتر در هر لایه برداری

$$۰/۸۵ \times ۲ = ۱/۷۰ \text{ m}^۳$$

حال اگر ضخامت ماسه فیلتر در ابتدای بهره برداری ۱/۲ متر و ضخامت حداقل ۰/۳ متر فرض شود حجم کل ماسه جمع آوری و شسته شده عبارت است از ۳۰۶ مترمکعب. این حجم برای یکسال لایه برداری ۲۰/۴ مترمکعب است. در نتیجه فضای لازم برای ذخیره ماسه شسته برابر است با ۲۸۶ = ۳۰۶ - ۲۰ مترمکعب. همچنین یک حوضچه به حجم ۰/۸۵ مترمکعب لازم است که برای شستشوی ماسه ها به کار رود.

۵-۴-۵- ابعاد فیلتر

موضوع ابعاد و تعداد فیلترهای یک تصفیه خانه در مثال شماره ۵-۱ مورد بحث و نتیجه گیری قرار گرفته است. به طور کلی تعداد فیلترهای یک تصفیه خانه تحت تاثیر هزینه های تهیه مصالح ساختمانی و دستمزدها می باشد زیرا با افزایش تعداد فیلترها طول دیوارسازی افزایش می یابد. شکل و نحوه استقرار آنها نیز روی مساحت زمین مورد نیاز تاثیر دارد. در شکل های شماره ۵-۱۲ تا ۵-۱۶ چند نوع استقرار فیلترهای ماسه ای کند پیشنهادی مرجع شماره ۱۳ ارایه گردیده



است. هزینه های کار شامل ردیف های اساسی زیر برای ساخت فیلترها است:

- خرید زمین؛
- عملیات گودبرداری؛
- پی سازی و دیوارسازی؛
- کف سازی؛
- تاسیسات الکترومکانیکال مانند لوله ها و شیرها؛
- تهیه ماسه و شن.

لازم به یادآوری است که شکل فیلترها و بار سطحی نقش اساسی روی طول دیوارهای لازم دارد. بنابراین باید گزینه های ممکن تعریف و طول های مربوط تعیین شود. باید توجه داشت که عملیات مربوط به لایه برداری از فیلتر که در بخش بهره برداری مورد بحث قرار گرفته است زمان زیادی لازم دارد و باید سعی نمود آن را کوتاه کرد. زیرا در این مدت فیلتر از مدار تولید آب خارج می شود و لازم است فیلترهای دیگر کاهش تولید را جبران بنمایند و همچنین اگر مدت زیادی فیلتر از مدار تولید خارج شود به علت خشک شدن سطح ماسه ها فعالیت های بیولوژیکی تصفیه آب بستر غیرفعال می شود و برای فعال سازی دوباره نیاز به زمان خواهد بود. به هر حال با فرضیات زیر مسئله پیگیری می شود:

- حداکثر زمانی که یک فیلتر می تواند از مدار تولید خارج شود حدود ۱۶ ساعت می باشد؛
- زمان لازم برای پایین بردن سطح آب روی ماسه حدود ۴ ساعت است؛
- زمان لازم برای پر کردن فیلتر و شروع تولید آب هم حدود ۴ ساعت است.

در نتیجه فقط ۸ ساعت فرصت برای لایه برداری باقی می ماند. از طرف دیگر هر کارگر در ساعت می تواند حدود ۲۰ مترمربع را لایه برداری نماید و اگر سه کارگر در دسترس باشد، سطحی را که در ۸ ساعت می توانند لایه برداری کنند عبارت است از:

مترمربع ۵۰۰ ~ ۴۸۰ = ۲۰ × ۳ × ۸ A
لذا محدودیتی هم برای انتخاب اندازه سطح فیلتر وجود دارد مگر آنکه تعداد کارگرهای در دسترس بیشتر فرض شود که حفظ آنها برای انجام کار دارای توجیه اقتصادی نیست و تهیه کارگر موقت هم به دلایلی مانند ضرورت آموزش و اطمینان از سلامت آنها توصیه نمی شود.

عمق حوضچه فیلتر

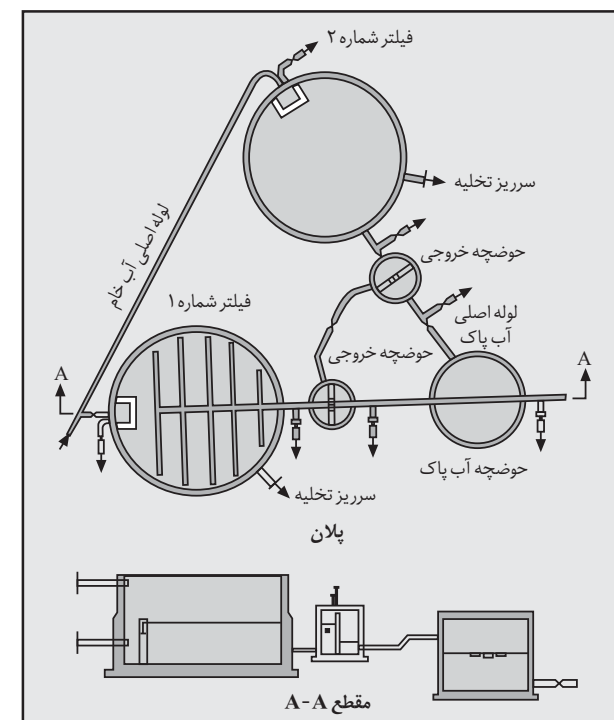
- عمق حوضچه فیلتر با توجه به نیازهای زیر محاسبه و تعیین می شود:
- ضخامت حداکثر ماسه حدود ۱-۱/۵ متر گرفته می شود.
- ضخامت شن نگهدارنده ماسه حدود ۰/۵-۰/۸ متر گرفته می شود.
- ضخامت تاسیسات زهکش که بستگی به جنس مصالح و یا قطر لوله اصلی و غیره دارد ۰/۲۵-۰/۳ متر فرض می شود.
- ضخامت و یا ارتفاع آب روی ماسه ۱/۵-۳ متر است.
- ارتفاع آزاد ۰/۲-۰/۳ متر پیش بینی می شود.
- و بالاخره ارتفاع سقف فیلتر نسبت به رقوم سطح ماسه در شروع بهره برداری که نباید از حدود ۱۸۵ سانتیمتر کمتر باشد تا کارگران بتوانند روی ماسه به راحتی لایه برداری و عملیات تسطیح را انجام دهند. در نتیجه ارتفاع کل فیلتر از کف تا سقف حدود ۵/۶-۳/۷ متر می باشد.

سازه فیلتر

گرچه توجهات مربوط به سازه فیلترمقوله خارج از موضوع فصل و کتاب است و کارشناس دیگری باید نگران آن باشد اما سخنی کلی با توجه به اثر آب آورده می شود. فشار هیدرولیکی آب داخل فیلتر و فشار خاک اطراف سازه و نوسانات آب زیرزمینی مؤثر به فیلتر باعث ایجاد نیروهایی می شوند که کارشناس سازه با آن سرو کار دارد البته باید به آن زلزله را نیز افزود و اگر کم توجهی بشود باعث ایجاد ترک و شکاف شده و فیلتر از آب بندی خارج و نمی تواند مورد استفاده قرار گیرد. نشست غیر یکنواخت هم برای این واحدهای سازه ای خطرناک است.



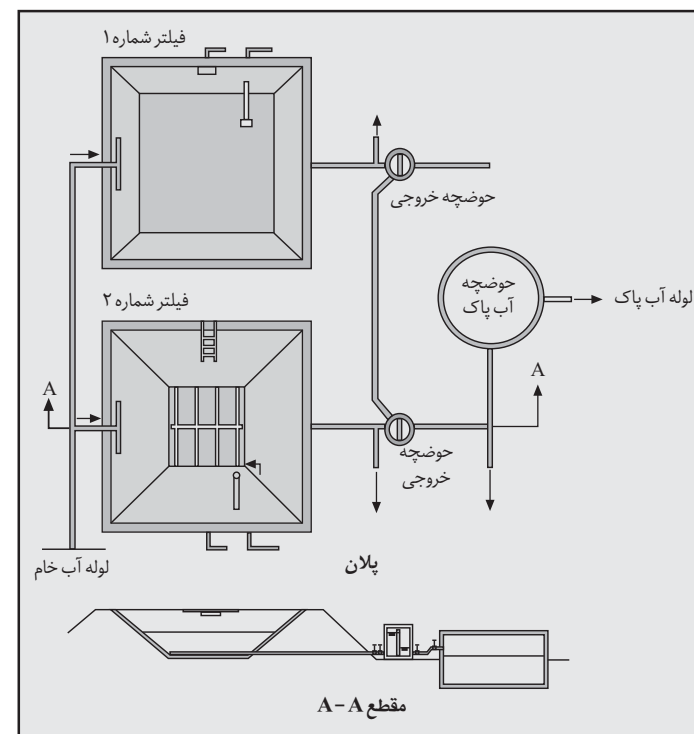
شکل شماره ۵-۱۲- نوعی استقرار فیلتر با مقطع دایره و مصالح مورد استفاده آجر و یا بلوک های سیمانی است.



کلیات:		مخزن آب پاک با مصالح آجر:	
سفره آب	۳ متر زیر سطح زمین	قطر	۳/۱۰ متر
خاک پی	خاکی پایدار	ارتفاع	۲ متر
فیلتر ماسه ای کند:		مقادیر مصالح هر واحد فیلتر:	
مصالح مورد استفاده	آجر	میلگرد	۱۲۰۰ کیلوگرم
ظرفیت طراحی	۴/۷۵ مترمکعب در ساعت	بتن ۱:۱/۵:۲/۵	۱۵ مترمکعب
بار طراحی	۰/۱ متر در ساعت	بتن نازک کاری ۱:۳:۵	۵ مترمکعب
تعداد واحدها	۲	ملات ۱:۲	۴ مترمکعب
قطر	۵/۶ متر	آجر بنایی	۳۰ مترمکعب
ارتفاع حوضچه	۲/۵ متر	ماسه فیلتر	۴۵ مترمکعب
ضخامت زهکشی	۰/۳ متر	شن فیلتر	۱۵ مترمکعب
ضخامت ماسه	۰/۹ متر	شیر دروازه ای	۹ عدد
حوضچه خروجی:		شیر پروانه ای	۳ عدد
مصالح مورد استفاده	آجر		
قطر	۱/۴ متر		
ارتفاع	۱/۵ متر		



شکل شماره ۵-۱۳- نوعی استقرار فیلتر با مقطع مربع و ساخت با مصالح فروسیمان



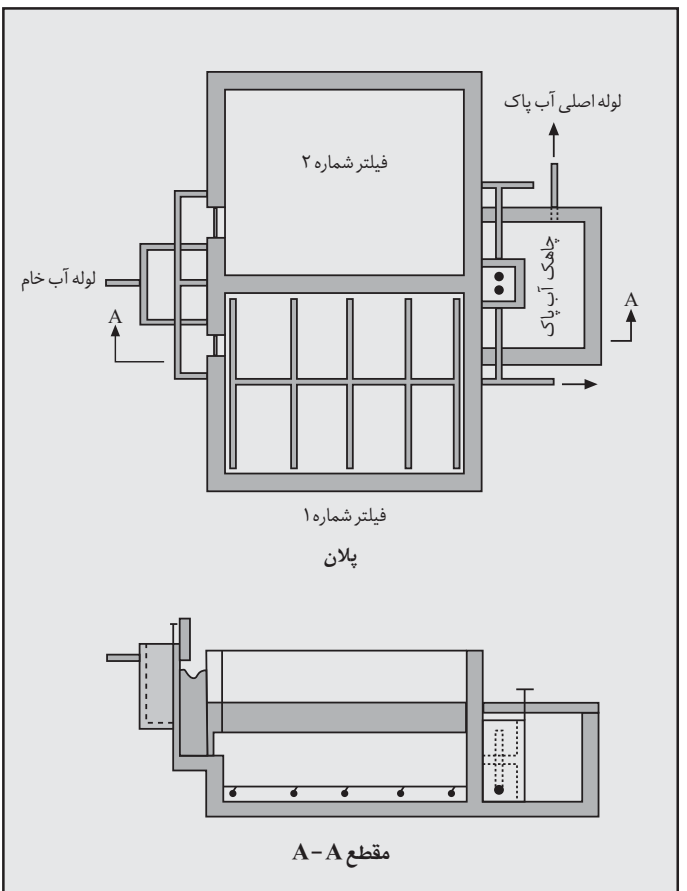
کلیات:		حوضچه خروجی:	
سفره آب	۲ متر زیر سطح زمین	مصالح	فروسیمان
خاک پی	خاک رسی پایدار	قطر	۱/۴ متر
		ارتفاع	۱/۵ متر
فیلتر ماسه ای کند:		مخزن آب پاک:	
مصالح	فروسیمان	قطر	۵ متر
شیب دیوارها	۴۰ درجه	ارتفاع	۲ متر
ظرفیت طراحی	۱۴/۱ مترمکعب در ساعت	مقادیر مصالح هر واحد فیلتر:	
بار طراحی	۰/۱۵ متر در ساعت	بتن ۱:۳:۵	۶ مترمکعب
تعداد واحدها	۲	ملات فروسیمان ۱:۲	۶ مترمکعب
سطح مقطع هر واحد فیلتر	۴۷ مترمربع	توری مرغی	۵۶۰ مترمربع
اندازه واحد	۷×۷ متر	ماسه فیلتر	۷۰ مترمکعب
ارتفاع حوضچه	۲/۶ متر	شن فیلتر	۱۸ مترمکعب
ارتفاع زهکشی	۰/۳ متر	شیرهای دروازه ای	۹ عدد
ضخامت ماسه	۰/۹ متر	شیر پروانه ای	۲ عدد

مخزن آب پاک:		کلیات:	
فروسیمان	مصالح	۰/۴ متر زیر سطح زمین	سفره آب
۴/۵ متر	قطر	خاک نسبتاً پایدار	خاک پی
۲/۰ متر	ارتفاع		
مقادیر کار فروسیمان برای فیلترها:		فیلتر ماسه‌ای کند:	
۵ متر	بتن ۱:۱/۵:۲/۵	فروسیمان	مصالح
۲ متر	بتن ۱:۳:۵	۳/۲ متر مکعب در ساعت	ظرفیت طراحی
۴۰۰ کیلوگرم	میلگرد	۰/۱ متر در ساعت	بار هیدرولیکی
۵ متر مکعب	مالات فروسیمان ۱:۲	۲	تعداد واحدها
۲۸۰ متر مربع	توری مرغی	۴/۵ متر	قطر
۲۹ متر مکعب	ماسه فیلتر	۲/۵ متر	ارتفاع حوضچه
۱۰ متر مکعب	شن فیلتر	۰/۳ متر	ارتفاع زهکشی
۹ عدد	شیر دروازه‌ای	۰/۹ متر	ضخامت ماسه
۲ عدد	شیر پروانه‌ای	حوضچه خروجی:	
		فروسیمان	مصالح
		۲ متر	قطر
		۱/۵ متر	ارتفاع

مخزن آب پاک:		کلیات:	
بتن مسلح	مصالح	۱ متر زیر سطح زمین	سفره آب
۴×۶ متر	اندازه	خاک پایدار	خاک پی
۲/۶ متر	ارتفاع		
پودر کلر	ماده کلرزنی		
مقادیر مصالح لازم:		فیلتر ماسه ای کند:	
۱۵۰ مترمکعب	بتن ۵/۲: ۵/۱: ۱	بتن مسلح	مصالح
۳۰ مترمکعب	بتن ۵: ۳: ۱	۴۰ مترمکعب در ساعت	ظرفیت طراحی
۸۰۰۰ کیلوگرم	میلگرد	۰/۱ متر در ساعت	بار هیدرولیکی
۳۶۰ مترمکعب	ماسه فیلتر	۴	تعداد واحدها
۱۲۰ مترمکعب	شن فیلتر	۵/۱۲×۸ متر	ابعاد واحد
۱۰ عدد	شیر دروازه ای	۲/۶ متر	ارتفاع حوضچه
۴ عدد	شیر پروانه ای	۰/۳ متر	ضخامت زهکشی
		۰/۹ متر	ضخامت ماسه
		حوضچه خروجی:	
		بتن مسلح	مصالح
		۲×۳ متر	اندازه
		۱/۵ متر	ارتفاع



شکل شماره ۵-۱۶- نوعی استقرار فیلتر با مقطع مربع مستطیل و مصالح بتن مسلح



کلیات		حوضچه خروجی:	
سفره آب	۲ متر زیر سطح زمین	مصالح	آجر
خاک پی	خاک پایدار	اندازه	۱/۵ × ۲ متر
		ارتفاع	۱/۵ متر
فیلتر ماسه ای کند با کنترل ورودی:		مقادیر مصالح لازم:	
مصالح	بتن مسلح	بتن ۱:۱/۵:۲/۵	۱۵ مترمکعب
ظرفیت طرح	۳/۶ مترمکعب در ساعت	بتن ۱:۳:۵	۲ مترمکعب
بار هیدرولیکی	۰/۱۵ متر در ساعت	میلگرد	۱۲۰۰ کیلوگرم
تعداد واحدها	۲	ماسه فیلتر	۲۰ مترمکعب
اندازه واحدها	۳×۴ متر	شن فیلتر	۵ مترمکعب
ارتفاع حوضچه	۲/۴ متر	شیر دروازه ای	۴ عدد
ضخامت ماسه	۰/۹ متر	شیر پروانه ای	۲ عدد



به هرحال فشار هیدرولیکی عبارت است از $P = \gamma \times h$ که γ و h به ترتیب عبارتند از فاصله کف تا سطح آب و وزن مخصوص آب که معادل ۹۹۹۰ نیوتن در مترمکعب می باشد. نیروی موثر روی دیوار عبارت است از $F = (\gamma \times \frac{h}{\gamma}) \times A$ که F و A به ترتیب عبارتند از نیرو بر حسب نیوتن و سطح دیوار بر حسب مترمربع.

باید توجه داشت که حوضچه یک فیلتر، سازه ای صلب است که می تواند به صورت مدفون، نیمه مدفون و نمایان اجرا شده و پایدار بماند. همانطور که در بحث های قبلی گفته شد مصالح مورد استفاده می تواند مصالح سنگی، فروسیمان، آجر و بتن مسلح باشد که انتخاب آن بستگی به هزینه ها و امکانات اجرا دارد که توسط کارشناس مربوط باید تصمیم گیری شود. طراحی ها باید برای نشست صفر انجام گیرد. در شرایطی با پیش بینی درز آب بند و مواد مناسب سازه را آب بند می نمایند. کیفیت آب و خاک از نظر خوردگی روی بتن پی ها و دیوارها نیاز به توجه دارد.

۵-۵- راهنمایی های کلی^۱

منظور از کاربرد کلمه راهنمایی های کلی ارایه کلیاتی کاربردی از مباحث گذشته است که طراح باید به آنها توجه بسیار زیادی داشته باشد. این کلیات ابتدا توسط هیزن در سال ۱۹۱۳ تدوین گردید و سپس ۶۰ سال بعد مورد تجدید نظر قرار گرفت و پس از آن حدود ۲۰ سال

پیش در کتاب راهنمای طراحی^۲ چاپ و منتشر گردید که در چهار محور مورد بحث قرار می گیرد.

۵-۵-۱- بار سطحی

هیزن و وود^۳ متوجه شدند که سه فیلتر کند با بار سطحی ۰/۱، ۰/۲۵ و ۰/۴۵ متر در ساعت آبی تولید می نمایند که از نظر کیفیت میکروبی با هم اختلاف آشکاری ندارند. این مشاهدات باعث گردید که اعلام نمایند بار سطحی روی عملکرد فیلتر اثر زیادی ندارد. اما تحقیقات بعدی نشان داد که میزان بار سطحی روی کیفیت آب تولیدی اثر دارد. تحقیقات بلی^۴ را می توان در جدول شماره ۵-۳ خلاصه نمود که نشان می دهد با کاهش بار سطحی درصد زدایش میکروبی افزایش پیدا می نماید.

همانطور که جدول پیش گفته نشان می دهد حضور آلاینده های مورد توجه در آب تولیدی با توجه به تغییر بار هیدرولیکی زیاد نیست و در یافت هیزن و وود در رابطه با بار هیدرولیکی و زدایش ذرات معلق زنده خیلی دور از واقعیت نبوده است.

۵-۵-۲- شبکه زهکشی

شبکه زهکشی کف باید طوری طراحی و اجرا شود که بار سطحی در تمام سطح فیلتر یکسان حفظ گردد. لذا لازم است در مورد قطر و تعداد

جدول شماره ۵-۳- اثر بار سطحی روی درصد زدایش کیست و کلیفرم (مطالعات موردی)

بار سطحی - متر در ساعت	درصد زدایش					تعداد در آب تولیدی
	کیست	کلیفرم	کدورت	کیست در لیتر	کلیفرم در ۱۰۰ میلی لیتر	
۰/۰۴	۹۹/۹۹۲	۹۹/۵	۳۹	۰/۰۸	۵	۶/۱
۰/۱۲	۹۹/۹۹۴	۹۸/۶	۳۲	۰/۰۶	۱۴	۶/۸
۰/۴	۹۹/۹۸۲	۹۵/۶	۲۷	۰/۱۸	۴۴	۷/۳

- Guidelines
- Manual Design for Slow Sand Filtration

- Hazen & Wood
- Belly



لوله‌های فرعی و ابعاد روزنه‌های روی آنها محاسبات دقیقی انجام گیرد و سعی بر این باشد که افت فشار در لوله‌های فرعی زهکش نسبت به افت فشار روزنه‌ها ناچیز باشد تا میزان عبور آب از روزنه‌ها به داخل لوله‌ها تقریباً یکسان حفظ گردد.

در شکل شماره ۵-۱۷ پروفیل فرضی هیدرولیکی بخش‌های مختلف شبکه زهکشی ترسیم شده است. بخش‌هایی که باعث ایجاد مقاومت هیدرولیکی و در نتیجه افت فشار آب می‌شوند عبارتند از لایه زنده، بستر ماسه، شن نگهدارنده، روزنه‌های روی لوله‌ها، لوله‌های فرعی و اصلی. گام اول حفظ یکسانی افت فشار در لایه‌های ماسه و شن است تا فشار موثر روی روزنه‌ها در تمام سطح زهکش بدون تغییر بماند. در این صورت تغییر فشار آب در لوله فرعی، به علت اصطکاک نیاز به توجه دارد تا کمترین حد گردد. با نگاهی به بخش ج شکل شماره ۵-۱۷ می‌توان مشاهده نمود که افت فشار در لوله فرعی باعث تغییر فشار کار در لوله می‌شود و در نتیجه افت فشار در روزنه A و در بالادست کمتر از افت فشار در روزنه B در پایین دست است. زیرا افت فشار در لوله با افزایش طول بیشتر می‌شود و معادله آن که قبلاً هم مورد توجه قرار گرفت عبارت است از:

$$h_L = f \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g}$$

مثال شماره ۵-۷:

اهمیت لوله زهکش در شکل شماره ۵-۱۷ وضعیت هیدرولیک تمام بخش‌های مختلف یک فیلتر، به خصوص بخش ج نشان داده شده است. میزان عبور آب از روزنه‌ها که در مثال‌های قبلی هم مشاهده شد عبارت است از:

$$q = C_d A \sqrt{2g\Delta h}$$

و می‌توان نوشت:

$$h_{LOA} = P_{OA} - P_{IA} \quad (I)$$

افت فشار در روزنه A عبارت است از اختلاف فشار در بیرون و درون لوله در نقطه A و افت فشار در روزنه B هم عبارت است از اختلاف فشار در بیرون و درون لوله در نقطه B:

$$h_{LOB} = P_{OB} - P_{IB} \quad (II)$$

و افت فشار در لوله زهکش عبارت است از:

$$h_{LP} = P_{IA} - P_{IB} \quad (III)$$

با جایگزینی سه معادله بالا می‌توان نوشت:

$$h_{LOB} = h_{LOA} + h_{LP}$$

بنابراین افت فشار در روزنه B مساوی است با افت فشار در روزنه A به علاوه افت فشار در لوله بین دو روزنه.

حال میزان آبدی دو روزنه مورد مقایسه قرار می‌گیرد:

$$q_{OA} = C_d A_O (2gh_{LOA})^{1/2}$$

$$q_{OB} = C_d A_O (2gh_{LOB})^{1/2}$$

$$q_{OB} = C_d A_O [2g(h_{LOA} + h_{LP})]^{1/2}$$

$$q_{OB} - q_{OA} = C_d A_O (2gh_{LOA} + 2gh_{LP})^{1/2} - C_d A_O (2gh_{LOA})^{1/2}$$

که چنین هم می‌توان نوشت:

$$q_{OB} - q_{OA} = C_d A_O (2gh_{LP})^{1/2}$$

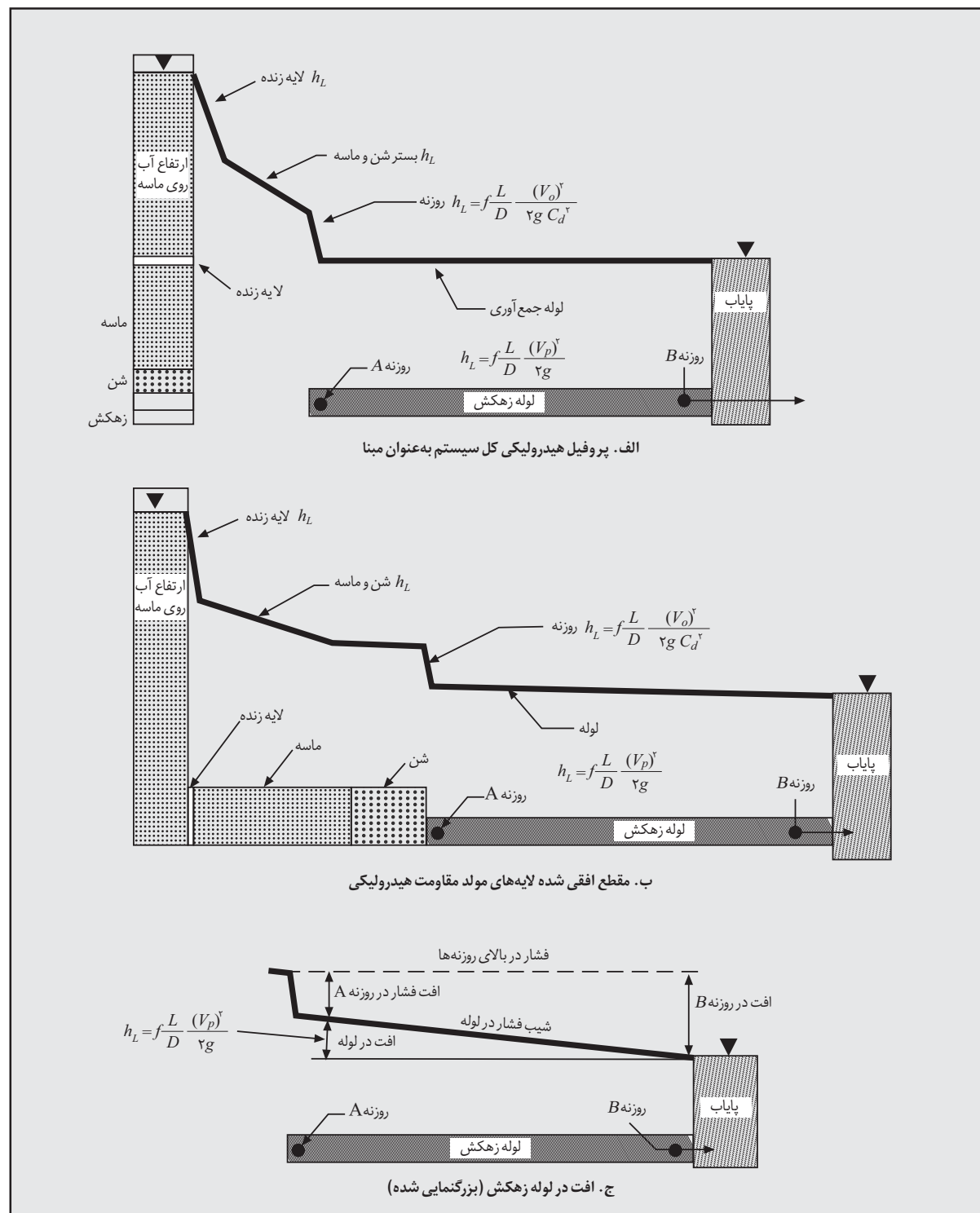
بنابراین مشاهده می‌شود که اختلاف میزان آبگذر در روزنه A و B عبارت است از افت فشار هیدرولیکی در فاصله بین دو نقطه A و B در لوله فرعی مربوطه. در نتیجه باید افت فشار هیدرولیکی در لوله‌های زهکش در کمترین مقدار حفظ گردد تا بار هیدرولیکی یکسان در بستر حفظ شود و به همین جهت طرح زهکش فیلتر دارای اهمیت می‌شود.

۵-۵-۳- طرح شبکه زهکش

شبکه زهکش فیلترها معمولاً یک شبکه از لوله است که می‌تواند به یک لوله و یا کانال اصلی اتصال پیدا نماید. روی لوله‌های فرعی روزنه‌ها، شکاف‌ها و یا نازل‌ها نصب می‌شوند که فاصله روزنه‌ها و تعداد آنها در بخش‌های قبلی مورد گفتگو قرار گرفت. از شکل شماره



شکل شماره ۵-۱۷- هیدرولیک در فرآیند فیلتراسیون





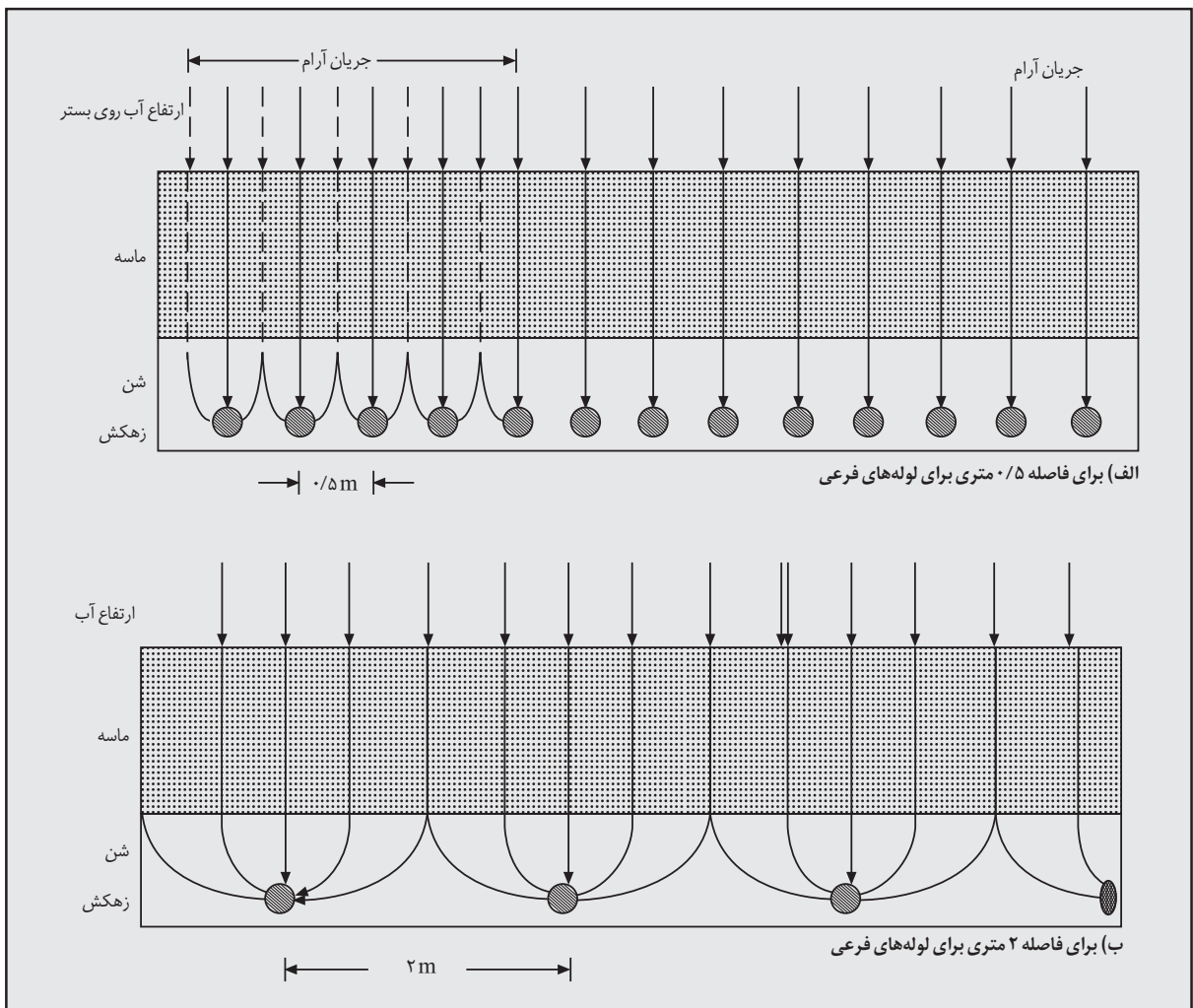
است. جنس لوله‌های شبکه زهکش باید تمایل به خورده شدن نداشته باشد مانند لوله‌های رسی، پلاستیک و پلی اتیلن.

رابطه قطر لوله‌های فرعی و سطح تحت پوشش زهکشی در فیلترهای کند به منظور حداقل نمودن افت فشار در آن و در نتیجه حفظ یکسانی بار هیدرولیکی در فیلتر که در مسئله شماره ۵-۷ مطرح گردید نیاز به انجام محاسبات دارد. در جدول شماره ۵-۴ ارقام مورد توصیه که حاصل توجهات پیش گفته است آورده شده که استفاده از آن با توجه به ابعاد فیلتر قابل استفاده می‌باشد.

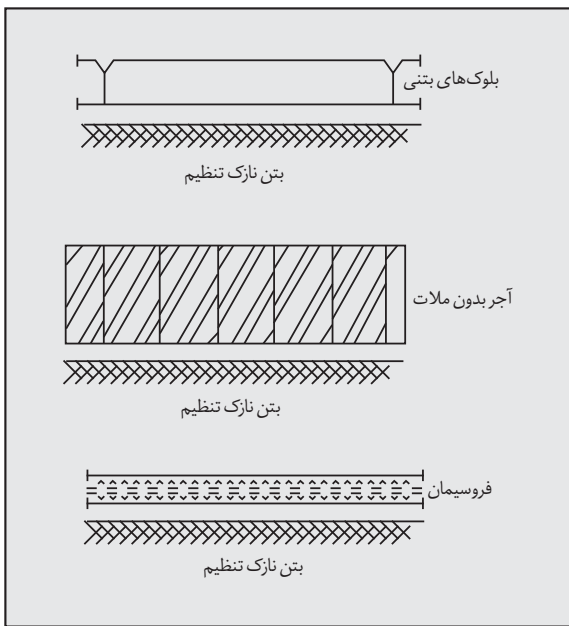
۵-۱۸ می‌توان اثر فاصله لوله‌های فرعی را روی جریان آب مشاهده نمود. اگر فاصله لوله‌های فرعی زیاد شود، افت فشار ناشی از افزایش فاصله طول مسیر حرکت آب باعث به هم خوردن بار هیدرولیکی خواهد شد زیرا هر چه فاصله مسیر عبور لایه‌های آب بیشتر شود، افت فشار هم بیشتر شده و لذا میزان عبور آب با بار هیدرولیکی، یکسان نخواهد ماند.

در شکل شماره ۵-۱۹ چند نوع زهکش کف فیلترهای ماسه‌ای کند مورد توصیه سازمان بین‌المللی تحقیقات آب شرب آورده شده

شکل شماره ۵-۱۸ - فاصله لوله‌های فرعی و جریان آرام آب



شکل شماره ۵-۱۹ - انواع زهکش فیلترهای ماسه‌ای کند



جدول شماره ۵-۴ - رابطه سطح تحت تاثیر لوله فرعی زهکش و قطر لوله‌ها

قطر لوله فرعی (سانتیمتر)	سطح مناسب زهکشی (مترمربع)
۱۰/۲ (اینچ ۴)	۲۶/۹
۱۵/۲ (اینچ ۶)	۶۹/۷
۲۰/۳ (اینچ ۸)	۱۴۲
۲۵/۴ (اینچ ۱۰)	۲۵۸
۳۰/۵ (اینچ ۱۲)	۴۰۹

۵-۵-۴ ویژگی ماسه و شن

مطالعات هیزن نشان داد که ویژگی‌های ماسه مورد استفاده در این فیلترها را می‌توان با ویژگی‌های $d_{۱۰}$ و $d_{۶۰}$ تعریف نمود که در فصل ششم مورد بحث قرار گرفته است. این دو عدد برای فیلترهای کند به ترتیب در محدوده‌های ۰/۲-۰/۴ میلیمتر قرار دارد. در جدول شماره

۵-۵ رابطه بین اندازه ماسه و درصد زدایش باکتری‌ها از آب نشان داده شده که برای تصمیم‌گیری راهنمای خوبی است.

جدول شماره ۵-۵ - اندازه موثر ماسه^۱ و درصد زدایش باکتری‌ها از آب تولیدی

اندازه $d_{۱۰}$ به میلیمتر	درصد باکتری‌ها در آب تولیدی
۰/۳۸	۰/۱۶
۰/۲۶	۰/۱۰
۰/۲	۰/۱-۰/۱۳
۰/۱۴	۰/۰۳-۰/۰۴

از جدول می‌توان نتیجه‌گیری نمود که هر چه اندازه موثر ماسه ریزتر شود درصد زدایش باکتری‌ها از آب افزایش می‌یابد که البته به بهای افزایش رشد افت فشار و در نتیجه کوتاه‌تر شدن فاصله زمانی بین دو لایه‌برداری است. توصیه این است که اندازه موثر ماسه برای فیلترهای کند ۰/۱۵-۰/۳۵ میلیمتر و با ضریب یکسانی حدود ۱/۵ باشد. گرچه ضریب یکسانی تا حدود ۲/۵ هم با توجه به هزینه تهیه ماسه، قابل قبول شناخته شده است.

هدف از قرار دادن شن در زیر ماسه و روی شبکه زهکشی، جلوگیری از نفوذ و جابجایی ماسه به داخل روزنه‌ها و لوله‌های شبکه زهکشی است. به علاوه توزیع یکنواخت آب بین روزنه‌ها هم بهتر انجام می‌گیرد و باید افت فشار هیدرولیکی در آن زیاد نباشد. برای انتخاب شن هیزن و وود معادلات زیر را توصیه نموده‌اند:

رابطه اندازه در هر لایه:

$$۱) \frac{d_{۹۰} \text{ (هر لایه)}}{d_{۱۰} \text{ (هر لایه)}} \leq ۱/۴$$

$$۲) \frac{d_{۱۰} \text{ (لایه زیرین)}}{d_{۱۰} \text{ (لایه بالایی)}} \leq ۴$$



۲- لایه دوم شن.

با استفاده از معادله شماره ۲:

$$d_{۱۰} \leq ۴ \times d_{۱۰}$$

$$\leq ۴ \times ۱$$

$$\leq ۴ \text{ mm}$$

و اندازه $d_{۹۰}$ این لایه با استفاده از معادله شماره ۱:

$$d_{۹۰} \leq ۱/۴ d_{۱۰}$$

$$\leq ۱/۴ \times ۱/۴$$

$$\leq ۵/۶$$

لذا ویژگی‌های لایه دوم شن عبارت است از $d_{۱۰} \leq ۴$ و $d_{۹۰} \leq ۵/۶$

میلیمتر. لایه سوم شن که با همین روش تعیین می‌شود عبارت است

از $d_{۱۰} \leq ۱۶$ و $d_{۹۰} \leq ۲۳$ میلیمتر.

ویژگی‌های سه لایه عبارت است از:

	$d_{۱۰} \text{ mm}$	$d_{۹۰} \text{ mm}$
لایه اول	۱	۱/۴
لایه دوم	۴	۵/۶
لایه سوم	۱۶	۲۳

۵-۵-۵- اندازه گیری میزان آب

اندازه‌گیری‌های زیر در بهره‌برداری از فیلترهای ماسه‌ای کند ضرورت دارد.

- میزان آب ورودی و خروجی هر فیلتر؛
- میزان آب تولیدی تمام فیلترهای در حال بهره‌برداری؛
- میزان آب خام ورودی به تصفیه‌خانه.

دستگاه مورد استفاده باید صحیح نزدیک به دقیق، قابل اعتماد و ارزان بوده و نیاز به کمترین تعمیر و نگهداری داشته باشد. به عنوان نمونه صفحه روزنه‌دار^۱ که باید در روی لوله‌ها نصب شود، سرریز برای آب

۱. Orifice Plate

$$۳) \frac{(لایه بالایی) d_{۱۰}}{(لایه ماسه بستر) d_{۱۵}} \geq ۴$$

$$۴) \frac{(لایه بالایی شن) d_{۱۰}}{(لایه ماسه بستر) d_{۸۵}} \leq ۴$$

$$۵) d_{۱۰} (لایه زیرین) \geq ۲ \times d$$

توجه شود که d عبارت است از قطر روزنه‌های لوله‌های فرعی

➤ مثال شماره ۵-۸:

با فرض ویژگی ماسه $d_{۱۵}=۰/۱۸$ و $d_{۸۵}=۰/۳$ میلیمتر ویژگی‌های شن

با روش پیشنهادی هیزن و وود تعیین می‌شود.

۱- لایه بالایی شن و در زیر ماسه.

با استفاده از معادله شماره ۳:

$$d_{۱۰} \geq ۴ \times d_{۱۵} \text{ (ماسه بستر)}$$

$$\geq ۴ \times ۰/۱۸$$

$$\geq ۰/۷ \text{ mm}$$

با استفاده از معادله شماره ۴:

$$d_{۱۰} \leq ۴ \times d_{۸۵} \text{ (ماسه بستر)}$$

$$\leq ۴ \times ۰/۳$$

$$\leq ۱/۲ \text{ mm}$$

بنابراین اندازه موثر لایه بالایی شن باید در محدوده ۰/۷-۱/۲ میلیمتر

قرار گیرد. لذا اندازه ۱ میلیمتر انتخاب می‌شود. حال برای تعیین $d_{۹۰}$

این لایه در رابطه با $d_{۱۰}$ لایه بالایی با استفاده از معادله شماره ۱:

$$d_{۹۰} \leq ۱/۴ \times d_{۱۰}$$

$$\leq ۱/۴ \times ۱$$

$$\leq ۱/۴$$

لذا $d_{۹۰}$ لایه شن بالا عبارت است از حداکثر ۱/۴ میلیمتر



➤ جدول شماره ۵-۶- ضریب C_d برای اندازه‌گیری میزان جریان

$\frac{d}{D}$	C_d
۰/۳ - ۰/۱	۰/۶
۰/۴	۰/۶۱۵
۰/۵	۰/۶۲۵
۰/۶	۰/۶۵
۰/۷	۰/۷
۰/۸	۰/۷۷

انتخاب می‌شود. لذا می‌توان نوشت:

$$Q = ۰/۶۲ \times A \sqrt{۲gh\Delta}$$

$$\text{متر } d = ۰/۱۴ \quad \frac{۳۰۰۰}{۸۶۴۰۰} = ۰/۶۲ \times ۰/۷۸۵ \times d^۲ \sqrt{۲ \times ۹/۸۱ \times ۰/۶}$$

حال ضریب انتخابی کنترل می‌شود. لذا:

$$\frac{d}{D} = \frac{۰/۱۴}{۰/۳} = ۰/۴۷ \longrightarrow C_d = ۰/۶۱۵ \approx ۰/۶۲$$

وافت فشار در شرایط حداقل میزان آبگذر دبی محاسبه می‌شود:

$$Q_{min} = ۱۸۹ \text{ m}^۳/d$$

$$\frac{۱۸۹}{۸۶۴۰۰} = ۰/۶۲ \times ۰/۷۸۵ \times ۰/۱۴^۲ \sqrt{۲gh}$$

$$۰/۰۰۲۲ = ۰/۰۰۹۵۴ \times ۴/۴۳ \times h^{-۱/۵}$$

$$۰/۰۵۲ = h^{-۱/۵}$$

$$h = ۰/۰۰۲۷ \text{ m}$$

در صورت نصب وانتوری متر افت فشار کمتری ایجاد می‌شود و فضای

بیشتری لازم دارد. با توجه به امکانات خرید و شرایط نصب می‌توان

تصمیم‌گیری نمود. معادله محاسبه افت فشار در وانتوری متر عبارت

است از:

خروجی فیلترهای متعارف که در شکل شماره ۵-۷ نشان داده شده

است و وانتوری متر که دارای دقت بیشتر و افت فشار کمتر بوده و قیمت

آن گران‌تر است.

نصب جریان سنج و شیر کنترل روی لوله ورودی به فیلترها هم

مورد توصیه است زیرا به کمک آن می‌توان بار سطحی را تنظیم نمود.

نصب هرگونه جریان سنج روی لوله نیاز به یک فاصله در بالادست

نسبت به هر نوع اتصال در این خصوص دارد. توصیه سازنده بهتر

است رعایت گردد. در شکل شماره ۵-۵ نصب جریان سنج و کنتور

نشان داده شده است که بستگی به شرایط هیدرولیکی تاسیسات دارد.

استفاده از تاسیسات الکترومغناطیس و اولتراسونیک هم می‌تواند مورد

مطالعه قرار گیرد.

➤ صفحه روزنه‌دار و وانتوری متر^۱

چون دستگاه روزنه ساده، ارزان و دارای دقت است بیشتر مورد استفاده

قرار می‌گیرد. میزان عبور آب از آن متناسب با ریشه دوم اختلاف فشار

بالادست و پایین دست روزنه است.

$$Q = C_d A \sqrt{۲gh\Delta}$$

که در آن Q عبارت است از میزان عبور آب از روزنه بر حسب

مترمکعب در ثانیه و A مساحت روزنه بر حسب مترمربع. C_d در جدول

شماره ۵-۶ نشان داده شد است. d قطر روزنه و D قطر لوله مربوطه

است و Δh اختلاف فشار دو طرف روزنه است.

➤ مثال شماره ۵-۹:

برای تعیین اندازه قطر روزنه دستگاه با فرض قطر لوله اصلی ۳۰

سانتیمتر و با فرض افت فشار مجاز در عبور آب از روزنه در حدود ۶۰

سانتیمتر به شرح زیر محاسبه انجام می‌گیرد^۲:

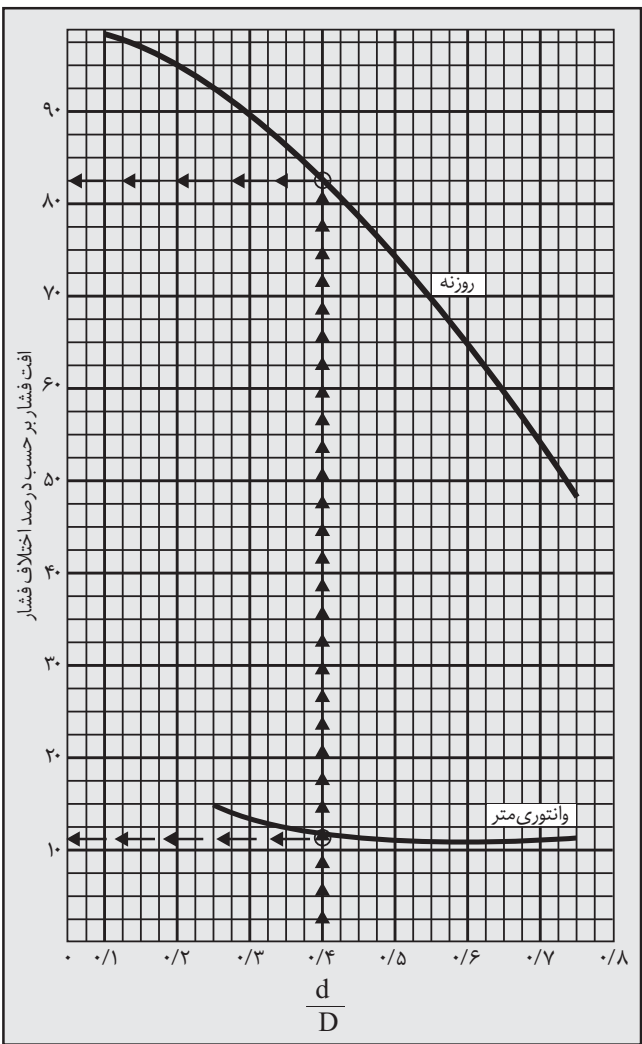
$$Q = ۳۰۰۰ \text{ m}^۳/d$$

حال از جدول شماره ۵-۶ ضریب C_d معادل ۰/۶۲ به طور فرضی

۱. به دلیل تبدیل واحدها از اینج به سانتیمتر ارقام از دقت لازم برخوردار نیست.



شکل شماره ۵-۲۰ - افت فشار در وانتوری متر و روزنه



عبارت است از:

$$C_w = 0.4 + 0.5 \frac{H}{P}$$

$$Q = C_w \sqrt{2g.b.H}^{1/5}$$

که در آن:

b = عرض تیغه سرریز بر حسب متر؛

H = ارتفاع آب روی تیغه سرریز قبل از تغییر پروفیل برای تخلیه؛

$$Q = C_v A_v \sqrt{2g\Delta h}$$

که در آن:

Q = میزان جریان به مترمکعب در ثانیه؛

C_v = ضریب آبدهی وانتوری متر که از جدول شماره ۵-۶

بدست می‌آید معادل $(C_v = f \frac{d}{D})$ که حدود ۰/۹۸ تا ۱ می‌باشد؛

A_t = سطح مقطع گلوی وانتوری متر بر حسب مترمربع؛

Δh = اختلاف فشار بین لوله بالادست و گلوی وانتوری متر؛

D و d = به ترتیب قطر لوله و قطر گلوی وانتوری متر.

به کمک شکل شماره ۵-۲۰ نیز می‌توان افت فشار را محاسبه نمود. به هر حال شرکت سازنده روزنه و وانتوری متر باید دیگرام روابط تناسب و میزان آبگذر و میزان اختلاف فشار در دستگاه خود را به صورت جدول و یا منحنی برای انتخاب تهیه نماید. توجه شود که اختلاف فشار در دو طرف روزنه خیلی بیشتر از وانتوری متر است و بنابراین افت فشار آن هم بیشتر است. خطوط نقطه چین در شکل پیش گفته برای قطر لوله اصلی ۱۰ اینچ و قطر روزنه و یا گلوی وانتوری متر ۴ اینچ و میزان گذر آب برابر ۱۵۸ مترمکعب در ساعت می‌باشد. بنابراین افت فشار در وانتوری متر و روزنه به ترتیب عبارتند از ۱۱ و ۸۲ درصد اختلاف فشار دستگاه. استفاده از اولتراسونیک و جریان سنج‌های مغناطیسی به دلایل زیادی امروزه طرفداران بیشتری دارد.

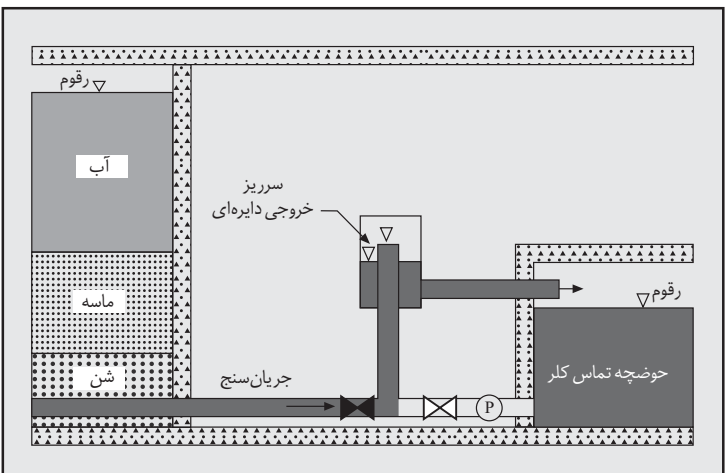
سرریز مستطیلی

از سرریز مستطیلی نیز می‌توان برای کنترل سطح آب و اندازه‌گیری میزان جریان بهره گرفت. همانطور که شکل ۵-۷ نشان می‌دهد به کمک سرریز هر دو کنترل انجام‌پذیر است و معادله محاسباتی آن

۱. سازنده وانتوری متر باید ضریب C_v را برای محصول خود تعریف کند.



شکل شماره ۵-۲۱ - پایاب با سرریز لوله یا مقطع دایره



P = فاصله تیغه سرریز نسبت به کف کانال در

بالادست؛

C_w = ضریب در معادله آبدهی.

مثال شماره ۵-۱۰:

با فرض ارتفاع آب روی تیغه سرریز ۱۰ سانتیمتر و

عمق کف نسبت به لبه سرریز P=۲ متر، عرض b

چه میزان باید باشد. در صورتیکه میزان آب عبوری

۳۰۰۰ مترمکعب در روز برابر ۰/۰۳۴ مترمکعب در ثانیه است.

$$Q = \frac{\lambda}{15} C_v \sqrt{2g} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) H^{2/5}$$

که در آن:

Q = میزان آبگذر بر حسب مترمکعب در ثانیه؛

C_v = ضریب سرریز؛

g = شتاب ثقل معادل ۹/۸۱ متر بر مجذور ثانیه؛

H = ارتفاع آب روی سرریز قبل از ایجاد پروفیل؛

θ = زاویه مثلث سرریز.

برای زاویه ۶۰ درجه و $C_v=0.58$ ، معادله به صورت $Q=0.79H^{2/5}$ در می‌آید.

مثال شماره ۵-۱۲:

با فرض میزان آبگذر معادل ۳۰۲۸ مترمکعب در روز برابر ۰/۰۳۵ مترمکعب در ثانیه

$$Q = 0.35 = 0.79 H^{2/5}$$

$$H = 0.29 \text{ m}$$

و برای میزان جریان ۱۹۰ مترمکعب در روز معادل ۰/۰۰۲۲ مترمکعب در ثانیه

$$0.34 = (0.4 + 0.5 \times \frac{1}{2}) \sqrt{2 \times 9.81} \times b \times 0.1^{1/5}$$

$$b = 0.06 \text{ m}$$

حال اگر دو فیلتر برای تولید این آب در نظر گرفته شود، طول سرریز هر کدام ۰/۳ متر خواهد بود.

مثال شماره ۵-۱۱:

با فرض اینکه میزان آبگذر ۰/۰۲۸ مترمکعب در ثانیه و P=۲ متر و سرریز به صورت دایره باشد، ارتفاع آب روی آن محاسبه می‌شود. با فرض قطر دایره سرریز ۰/۴ متر:

$$Q = C_w \sqrt{2g.b.H}^{1/5}$$

$$Q = 0.28 = (0.4 + 0.5 \times \frac{H}{2}) \sqrt{2 \times 9.81} \times 3/14 \times 0.4 \times H^{1/5}$$

$$H = 0.54 \text{ m}$$

در شکل شماره ۵-۲۱ انبیه و تاسیسات برون بر یک فیلتر ماسه‌ای کند با سرریز دایره نشان داده شده است.

از سرریز مثلثی نیز می‌توان برای کنترل میزان آبگذر استفاده

نمود به ویژه برای ظرفیت‌های کم که کاربرد بهتری دارد و معادله آن عبارت است از:



$$Q = 0.0022 = 0.079 H^{2/5}$$

$$H = 0.095 m$$

در خاتمه این بخش باید یادآوری شود که نصب کنتور اندازه‌گیری و ثبت میزان تولید آب در تصفیه‌خانه ضرورت دارد و از انواع کنتورهای پره‌ای، مغناطیسی، و انتوری متر متصل به دستگاه ثبت هم می‌توان بهره‌گرفت که مورد بحث قرار نمی‌گیرد.

۵-۶- بهره‌برداری و نگهداری

مسئول بهره‌برداری از تاسیسات فیلترهای ماسه‌ای کند باید دوره ویژه‌ای را طی نماید تا براساس دانش و کسب تجربه اطمینان حاصل شود که عملیات بهره‌برداری را به خوبی انجام می‌دهد. پایش کلیفرم

در آب تولیدی، به ویژه پس از لایه‌برداری از فیلتر ضرورت

دارد. ابزار مورد استفاده برای لایه‌برداری از فیلتر باید قبل از

استفاده میکروبخشی بشود و متصدیان باید به طور مرتب مورد

آزمایش پزشکی قرار گیرند تا حامل بیماری‌های روده‌ای

نباشند. تهیه دفترچه راهنمای بهره‌برداری و نگهداری از

فیلترهای ماسه‌ای کند ضرورت دارد، به عنوان نمونه جدول

شماره ۵-۷ عملیات بهره‌برداری از فیلتر ماسه‌ای کند را نشان

می‌دهد که زیر نظر بهره‌بردار باید انجام گیرد.

در شکل‌های شماره ۵-۲۲ و ۵-۲۳ شیرهای لازم برای

بهره‌برداری از یک واحد فیلتر ماسه‌ای کند نشان داده شده

است که مورد بحث قرار خواهد گرفت و در شکل شماره

۵-۲۴ ابزار اولیه مورد استفاده در بهره‌برداری و نگهداری یک

فیلتر ماسه‌ای کند نشان داده شده است.

۵-۶-۱- شروع کار یک فیلتر

در حالیکه تمام شیرها بسته می‌باشد شیر شماره ۳ شکل

شماره ۵-۲۳ باز می‌شود تا آب فیلتر شده واحد جنبی از طریق

شبکه زهکشی وارد آن شود. این آگیری تا زمانی که رقم

سطح آب به ۱/۲-۰/۲ متر روی ماسه برسد ادامه دارد. با این روش از

تجمع حباب‌های هوا در فضاها و تخلخل بستر فیلتر جلوگیری

می‌شود. باید سعی شود که سرعت بالا آمدن آب در فیلتر به آرامی

انجام گیرد. اگر در تاسیسات شیر شماره ۳ پیش‌بینی نشده است

می‌توان از طریق حوضچه سرریز و شیر شماره ۵ فیلتر را برای

بهره‌برداری آماده نمود.

فیلتر با کنترل خروجی

برای شروع بهره‌برداری لازم است تغذیه از طریق شبکه زهکش

متوقف و شیر شماره ۱ در شکل ۵-۲۳ به آرامی باز شود تا آب از طریق

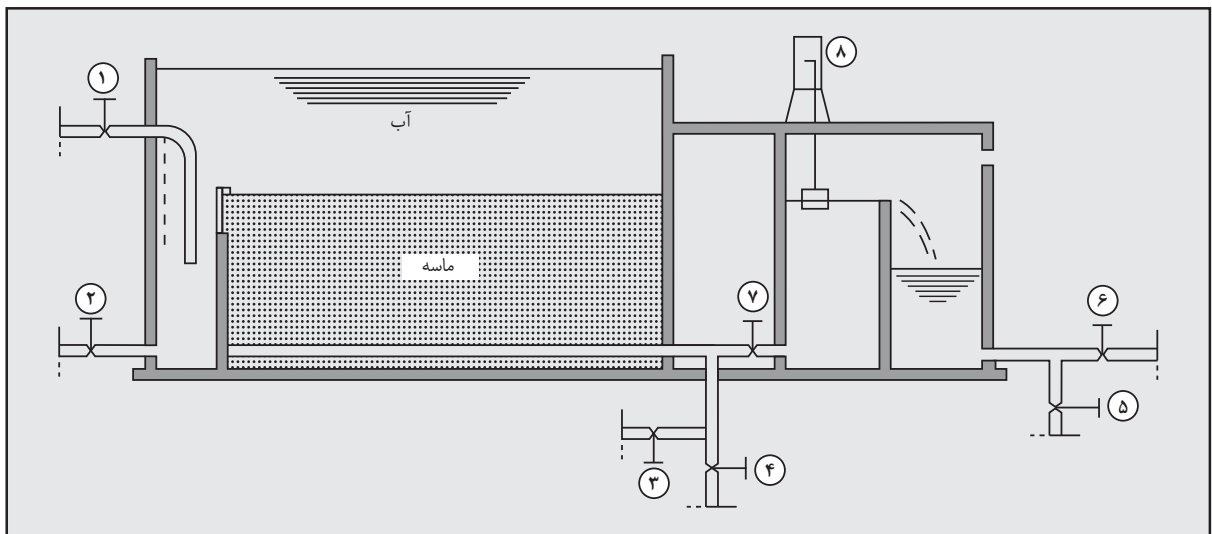
حوضچه ورودی وارد فیلتر گردد. توجه شود که در این کار جابجایی

جدول شماره ۵-۷- برنامه کاری متصدی فیلتر ماسه‌ای کند

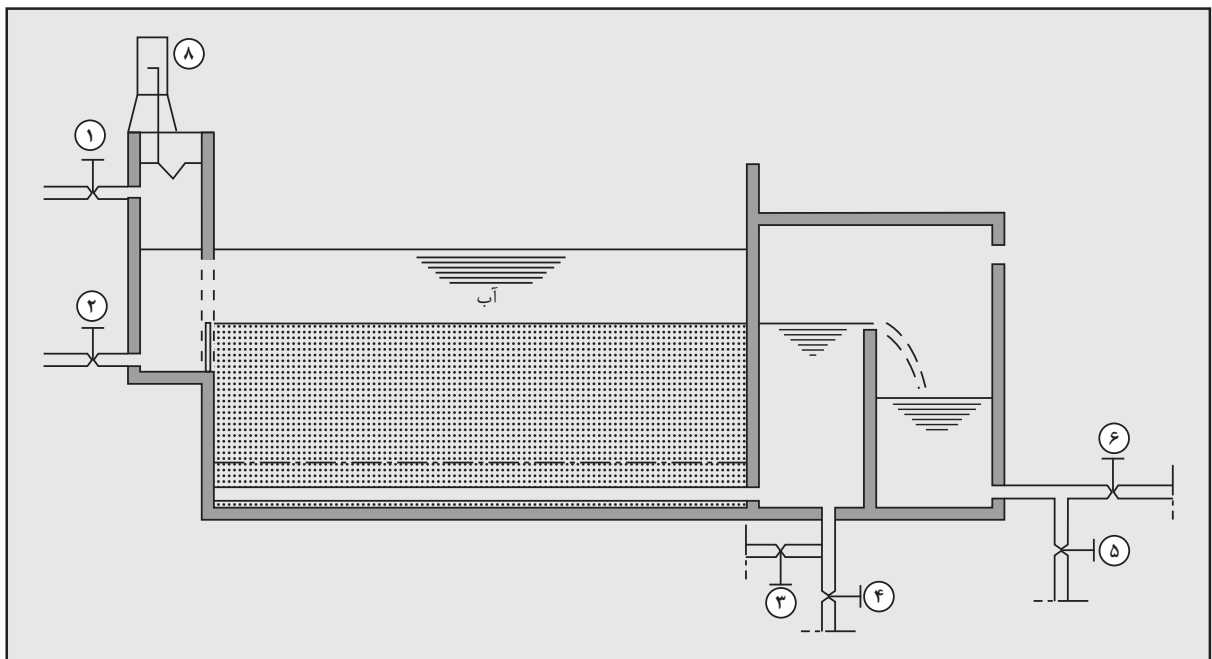
تواتر	موضوع کار
روزانه	- کنترل آب خام در آگیر - بازدید فیلترها - کنترل و تنظیم بار هیدرولیکی فیلترها - کنترل سطح آب فیلترها - کنترل سطح آب در مخزن آب پاک - نمونه‌برداری و تعیین کیفیت آب تولیدی - کنترل پمپ‌های آب پاک و آب محوطه - ثبت اطلاعات در دفتر کار تصفیه‌خانه
هفتگی	- کنترل و گریس‌کاری تمام پمپ‌ها و بخش‌های متحرک - کنترل انبار سوخت و درخواست آن در صورت لزوم - نظافت محوطه تصفیه‌خانه
ماهانه و یا کمتر بسته به شرایط	- جمع‌آوری ماسه لایه‌برداری شده - شستشوی ماسه‌ها و انبار کردن در محل مناسب
سالانه و یا کمتر	- نظافت مخزن آب پاک - کنترل آب‌بندی حوضچه فیلترها و مخزن آب پاک
دو سال یکبار و یا کمتر	ماسه‌ریزی دوباره فیلترها



شکل شماره ۵-۲۲- شیرهای لازم یک واحد فیلتر ماسه‌ای کند با کنترل خروجی



شکل شماره ۵-۲۳- شیرهای لازم یک واحد فیلتر ماسه‌ای کند با کنترل ورودی



تعاریف شکل‌های ۵-۲۲ و ۵-۲۳

شیر شماره ۱- شیر ورود آب خام به فیلتر

شیر شماره ۲- شیر تخلیه آب روی ماسه

شیر شماره ۳- تغذیه فیلتر از آب پاک فیلتر کناری و از طریق شبکه زهکش

شیر شماره ۴- شیر تخلیه آب اولیه فیلتر به فاضلاب و

شیر شماره ۵- شیر متصل به شبکه آب پاک محوطه

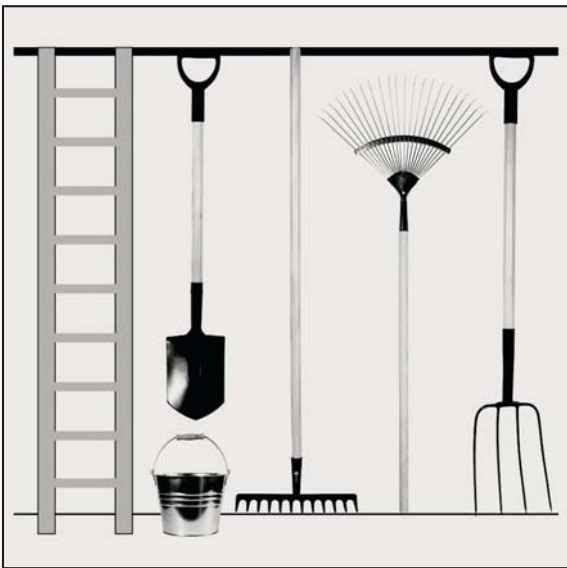
شیر شماره ۶- شیر خروجی آب فیلتر شده برای مصرف

شیر شماره ۷- شیر تنظیم بار هیدرولیکی

تاسیسات شماره ۸- اندازه‌گیری میزان جریان آب



شکل شماره ۵-۲۴ - ابزار کاردستی در بهره‌برداری



ماسه انجام نگیرد. پس از آنکه ارتفاع آب در حد بهره‌برداری رسید شیر شماره ۱ کاملاً باز خواهد شد تا میزان آب ورودی معادل بار سطحی فیلتر گردد. در صورتی که در نظر است از ابتدای بهره‌برداری آب تولیدی مورد مصرف قرار گیرد شیر شماره ۵ باید باز شود. در بعضی از شکل‌های این فصل حوضچه مربوط به شیر شماره ۵ دیده نمی‌شود. هر دو نوع طرح طرفدارانی دارد و لذا تصمیم طراح روی پیش‌بینی شیرها دخالت دارد.

همانطور که یادآوری گردید شیر شماره ۷ و تاسیسات شماره ۸ برای کنترل بار سطحی فیلتر می‌باشد و باز کردن کامل آن به آرامی و در طی ۱۰-۲۰ ساعت کم کم باید انجام گیرد. اگر تولید آب در ابتدای بهره‌برداری و قبل از بلوغ فیلتر کم باشد، نشان از بروز گرفتگی فیلتر دارد که حاکی از نفوذ تک سلولی‌ها مانند جلبک‌ها به لایه‌های زیرین فیلتر است.

زمان لازم برای رسیدن بلوغ فیلتر طبق تجارب موجود ۱-۳ هفته در مناطق گرم و کمی طولانی‌تر در مناطق سرد است و یادآوری گردید که کیفیت آب خام هم روی زمان بلوغ فیلتر دخالت دارد. با تجمع ذرات ریز آب و تجمع و تکثیر تک سلولی‌ها در روی بستر، فیلتر

به بلوغ نزدیک‌تر می‌شود و طبعاً به دلیل افزایش مقاومت هیدرولیکی این لایه، افت فشار هیدرولیکی هم افزایش می‌یابد. تعیین کدورت و کیفیت باکتریولوژیکی آب هر فیلتر باید به طور مرتب انجام گیرد تا مرحله بلوغ فرا رسد و آن زمانی است که در آب اثری از باکتری‌ها دیده نشود. کلرزنی آب تولیدی باید طبق مقررات حاکم در مورد میکروبیکشی آب شرب همگانی انجام گیرد. چنانکه حفظ کلر باقی‌مانده حدود ۰/۲ میلی‌گرم در لیتر پس از ۳۰ دقیقه تماس الزامی است.

فیلتر با کنترل ورودی

مراحل عملیات آن شبیه نوع کنترل خروجی است اما پس از بستن شیر تغذیه آب از فیلتر کناری، شیر ورود آب خام و خروجی آب تصفیه شده به آرامی و در طی چند ساعت باید کاملاً باز شود. توصیه شده است که آب تولیدی این مرحله به مخزن آب پاک هدایت نشود مگر همراه با کلرزنی و پایش باشد. زمانی که بار سطحی در حد طراحی برسد طبعاً خیلی زود فیلتر به مرحله بلوغ هم خواهد رسید.

در هر دو نوع فیلتر لازم است به کمک تاسیسات ابزار دقیق و با مانور مرتب شیرهای مربوط بار سطحی را در حد طراحی حفظ نمود. فیلترها باید به طور مستمر تولید آب نمایند. از تغییر ناگهانی بار سطحی باید اجتناب گردد و در صورتی که لازم است میزان تولید کاهش پیدا نماید، این کاهش باید به آرامی انجام گیرد.

از مهمترین عملیات بهره‌برداری روزانه عبارتند از:

- حفظ ارتفاع آب در روی ماسه بستر از طریق شیرهای مربوط؛
- جمع‌آوری مواد شناور روی آب بستر با روشهایی که قبلاً یادآوری گردیده است؛
- کنترل بار سطحی با استفاده از جریان سنج و شیر کنترل عبور آب و تنظیم سطح آب روی بستر؛
- توجه به افت فشار توسط پیرومترها و تعیین زمان لایه‌برداری.

در یک فیلتر با کنترل ورودی ارتفاع آب روی ماسه در ابتدا کم است



زیرا مقاومت هیدرولیکی بستر زیاد نیست و می‌توان با کنترل شیر خروجی مانع عبور آب بیشتر از فیلتر گردید. به هر حال با افزایش مقاومت هیدرولیکی ارتفاع آب روی ماسه افزایش می‌یابد. زمانی که ارتفاع آب به سطح سرریز می‌رسد زمان لایه‌برداری از ماسه خواهد بود.

۵-۶-۲- لایه برداری

زمانی که افت فشار در فیلتر به حداکثر مجاز می‌رسد لازم است ابتدا شیر خروج آب فیلتر شده بسته شود تا سطح آب به ارتفاع سرریز آن برسد و با استمرار ورود آب خام، آب از سرریز تخلیه شود که همراه خود مواد شناور را باید از فیلتر خارج نماید. کمک به این تخلیه اجسام شناور روی آب ضرورت دارد.

وقتی که آب روی بستر فیلتر از اجسام شناور پاک گردید شیر ورودی بسته و شیر خروجی باز می‌شود تا با ادامه فیلتراسیون سطح آب در فیلتر کاهش پیدا نماید. اگر به دلیل گرفتگی سرعت پایین رفتن سطح آب خیلی کم است می‌توان با مانور شیر شماره ۲ به پایین رفتن سطح آب سرعت بخشید. زمانی که رقوم آب به ۰/۱-۰/۲ متر به زیر ماسه می‌رسد شیرهای خروجی باید بسته شوند.

زمانی که یک فیلتر از مدار تولید خارج می‌شود باید کمبود تولید آب را فیلترهای دیگر جبران بنمایند لذا مانور شیرهای ورودی و خروجی فیلترهای دیگر ضرورت پیدا می‌نماید. طبعاً در محاسبات حداکثر بار هیدرولیکی باید تعریف و کنترل شود. حال زمانی که سطح بستر فیلتر در حد کافی خشک گردید لایه‌برداری به ضخامت ۰/۵-۲ سانتیمتر با توجه به شرایط ویژه فیلتر باید انجام گیرد. کار این لایه‌برداری باید هر چه سریع‌تر و زودتر انجام گیرد تا به فعالیت‌های حیاتی لایه‌های زیرین فیلتر آسیبی نرسد. روش انجام لایه‌برداری در بخش‌های قبلی ارایه گردیده است. وسایل لازم برای لایه‌برداری نیز در شکل شماره ۵-۲۴ نشان داده شده است. در این کار باید سعی شود که روی ماسه پا گذارده نشود و روی الوارهای پیش‌بینی شده حرکت نمود. عملیات لایه‌برداری از ماسه به طور چکیده به قرار زیر است:

- ۱- نظافت ابزار کار شامل پوتین و یا پاهای کارگران
- ۲- اجتناب از لگدکوب شدن بستر، بدین ترتیب که سطح کوچکی از بستر لایه‌برداری شده، تخته مناسب روی آن قرار داده می‌شود و وسایل کار هم روی تخته گذارده می‌شود.
- ۳- با توجه به ابعاد تخته، سطحی در حد ۳×۳ متر باید لایه‌برداری شود.
- ۴- تخلیه ماسه‌های جمع‌آوری شده باید به کمک ابزاری چون فرقون و با حرکت روی تخته‌ها انجام گیرد.
- ۵- تخلیه وسایل کار و تسطیح سطح ماسه ضرورت دارد.
- ۶- تنظیم سرریز حوضچه ورودی با توجه به ضخامت ماسه باقی‌مانده
- ۷- انجام عملیات شروع کار فیلتر طبق بحث‌های گذشته
- ۸- توجه به زمان بلوغ بستر و هدایت آب به مخزن ذخیره و کلرزنی قبل و بعد
- ۹- تنظیم بار سطحی فیلترهای دیگر

۵-۶-۳- شستشوی ماسه

ماسه‌های جمع‌آوری شده و در مواردی ماسه جدید تهیه شده باید قبل از ریختن در بستر فیلتر شسته شود. معمولاً شستشوی ماسه جمع‌آوری شده و انبار کردن و استفاده دوباره ارزان‌تر از خرید ماسه نو می‌باشد. ماسه جمع‌آوری شده پس از لایه‌برداری باید هر چه زودتر شسته شوند زیرا ممکن است شرایط بی‌هوایی در آن ایجاد گردد. پیش‌بینی حوضچه‌ای بتنی با ابعاد ۳/۵×۱/۵ و با شیب کف ۵ درصد و دارای زهکش و دیواره‌های ۳۰-۵۰ سانتیمتر برای شستشوی ماسه‌ها ضرورت دارد. ماسه‌ها پس از خشک شدن باید در فضای سرپوشیده انبار شوند. مقدار آب لازم برای شستشوی ماسه ۵-۱۰ برابر حجم ماسه جمع‌آوری شده است. از دست دادن ماسه در جریان شستشو محتمل است اما باید سعی نمود که میزان از دست رفتن زیاد نباشد. یک روش ساده تشخیص پاکیزگی ماسه عبارت است از در دست گرفتن مشتی از آن و مالیدن به هم و مشاهده دست برای بقایای مواد آلی روی پوست و یا



ریختن مقداری از آن در یک ظرف استوانه‌ای شیشه‌ای همراه با آب و تکان دادن و قرار دادن ظرف روی میز تا ماسه‌ها به ته ظرف رسوب نمایند. تشکیل یک لایه مواد روی ماسه دلیل وجود مواد آلی است که نشان از تمیز نشدن ماسه دارد. ماسه انبار شده باید در هنگام لایه‌ریزی دوباره شسته شوند.

۵-۶-۴- ماسه‌ریزی دوباره

جایگزینی ماسه‌های برداشته شده وقتی ضرورت پیدا می‌نماید که ضخامت ماسه باقیمانده در فیلتر برای تولید آب کمتر از ۵۰-۶۰ سانتیمتر شود. در یک طرح موفق این عملیات معمولاً یکبار در هر دو سال باید انجام گیرد و برای اجرای آن هم برنامه‌ریزی لازم است و زمانی در نظر گرفته شود که نیاز به آب شبکه توزیع در کمترین میزان باشد. جایگزینی ماسه با دو روش قابل انجام است. در تصفیه‌خانه‌های کوچک ماسه‌های جمع‌آوری شده همراه با ماسه‌های نو جبرانی پس از پایین بردن سطح آب فیلتر در حد شن فیلتر، روی ماسه‌های موجود قرار داده می‌شود. در این شرایط فیلتر در مدت کوتاهی به بلوغ می‌رسد. در روش دوم که برای فیلترهای بزرگ کاربرد دارد بدین ترتیب است که ماسه‌های نو ابتدا روی فیلتر پخش می‌شود و ماسه‌های قدیمی روی آنها قرار می‌گیرد. انجام این کار به صورت نوارهایی در بستر فیلتر انجام می‌شود که در شکل شماره ۵-۲۵ نشان داده شده است. در صورتی که تشخیص داده شود که سیلت و ذراتی در همین اندازه به لایه‌های زیر نفوذ نموده در این صورت تمام ماسه بستر باید جمع‌آوری و پس از شستن، دوباره در فیلتر قرار داده شود. در مواردی هم به علت ترسیب کربنات کلسیم روی ماسه‌های فیلتر، لازم است ماسه‌های بستر جمع‌آوری شود.

۵-۶-۵- پایش کیفیت آب تولیدی

برای بهره‌برداری مناسب از تصفیه‌خانه مجهز به فیلتر ماسه‌ای کند حداقل آزمایش‌های آب برای دانستن کیفیت آن به قرار زیر است:

- پایش کدورت آب خام و در صورتی که میزان آن از ۲۰ ان‌تی‌یو بیشتر شود، توقف آبیگری و یا استفاده از واحدهای پیش تصفیه موجود در تصفیه‌خانه؛
- اندازه‌گیری کدورت آب روی فیلتر و آب خروجی از آن؛
- اندازه‌گیری کلر باقیمانده پس از زمان تماس؛
- آزمایش‌های تعیین کلیفرم آب تولیدی طبق شرایط و امکانات محلی.

باید در نظر داشت که هر چه جمعیت تحت پوشش بیشتر باشد دفعات نمونه‌برداری و تعیین کیفیت آب تولیدی بیشتر باید باشد که در استاندارد ۱۰۱۱ پیش‌بینی شده است. در خاتمه این بخش یادآوری می‌شود که در بخش‌های طراحی فیلترها بنابر ضرورت سخنی در مورد بهره‌برداری هم آورده شده است که مکمل این بخش است.

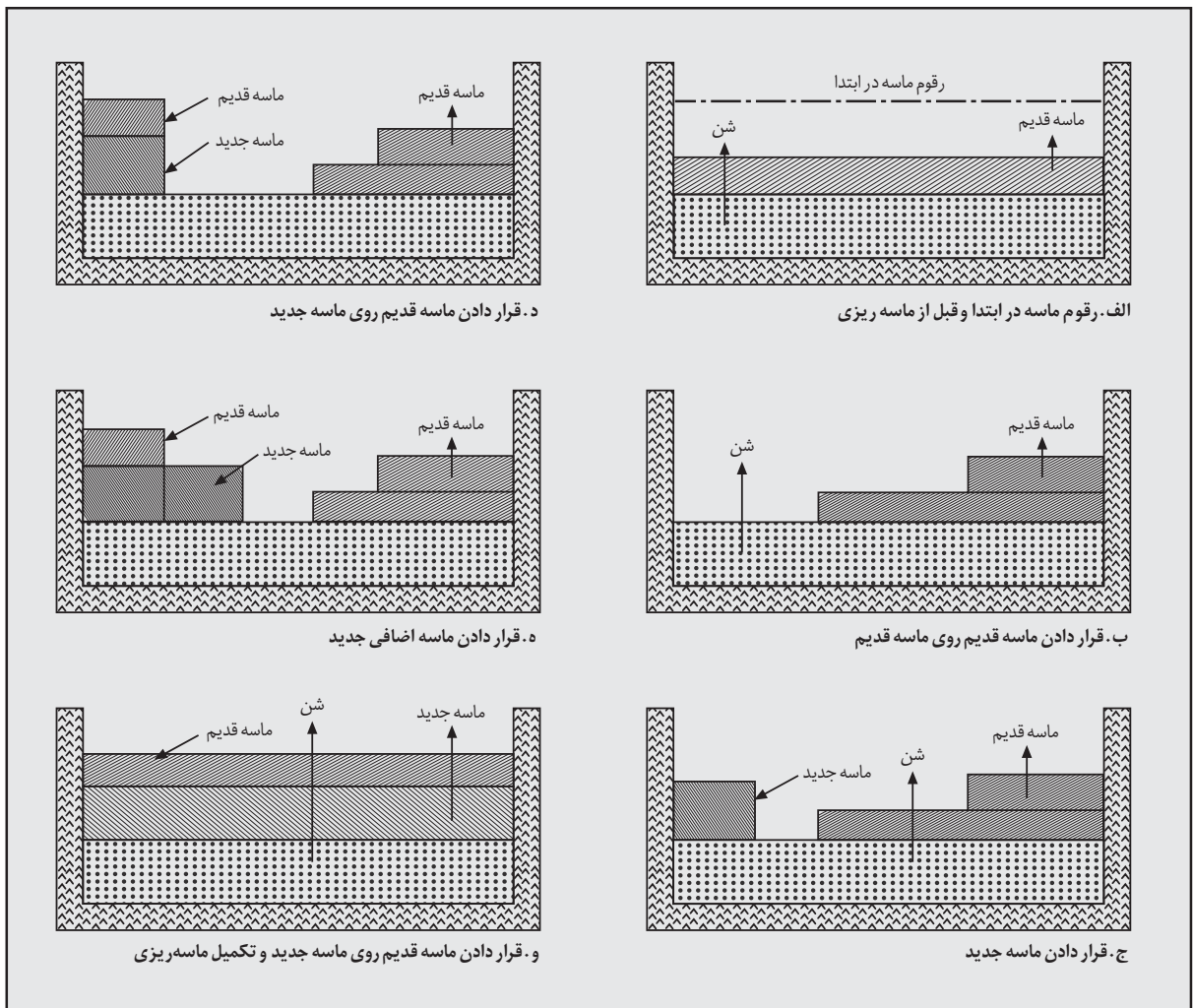
۵-۷- نوآوری‌های فیلترهای کند

برای افزایش عملکرد فیلترهای ماسه‌ای کند طراحان و بهره‌برداران تغییراتی را ابداع نموده‌اند که به طور چکیده مورد بحث قرار می‌گیرد. هدف‌های این نوآوری‌ها عبارتند از:

- کاربرد این نوع فیلتر برای آب‌های با کیفیت نامطلوب‌تر مانند افزایش کدورت بیشتر از ۲۰ ان‌تی‌یو؛
 - افزایش عملکرد فیلتر در زدایش مواد آلی آب خام؛
 - ساده و ارزان‌تر نمودن عملیات ماسه‌برداری؛
 - افزایش طول مدت بهره‌برداری.
- برای رسیدن به هدف‌های بالا عملیات را می‌توان در سه بخش گروه‌بندی نمود که عبارتند از:
- افزودن فرایندهایی برای تصفیه آب خام قبل از فیلتر مانند فیلتر درشت‌دانه و پیش‌ازن‌زنی؛
 - تغییر مصالح فیلتر مانند قرار دادن لایه گرانول کربن فعال و یا قرار دادن روکش ماسه؛
 - روش‌های جدید لایه‌برداری مانند شیار زدن لایه زنده.



شکل شماره ۵-۲۵- مراحل ماسه‌ریزی دوباره در فیلتر



۵-۷-۱- فیلتر درشت‌دانه^۱

از فرایندهای متعددی می‌توان بهره‌گرفت تا کدورت آب خام در حدی کاهش یابد که بتوان آن را به فیلتر ماسه‌ای کند هدایت نمود. برای ظرفیت‌های کم، فیلترهای درشت‌دانه که می‌توان آن را زلال‌ساز تماسی هم نامید جایگاه قابل قبولی دارند زیرا برای شرایطی که فیلترهای ماسه‌ای کند مناسب است این روش زلال‌سازی هم قابل قبول

- می‌باشد. قسمت‌های یک فیلتر درشت‌دانه عبارتند از:
- حوضچه فیلتر که به صورت سری به دو و یا سه بخش تقسیم می‌شود.
- مصالح فیلتری که دانه‌های حوضچه بالادست درشت‌تر از دانه‌های حوضچه پایین دست است.
- تاسیسات درون آر، برون بر و اتصالات بین سه حوضچه و تاسیسات

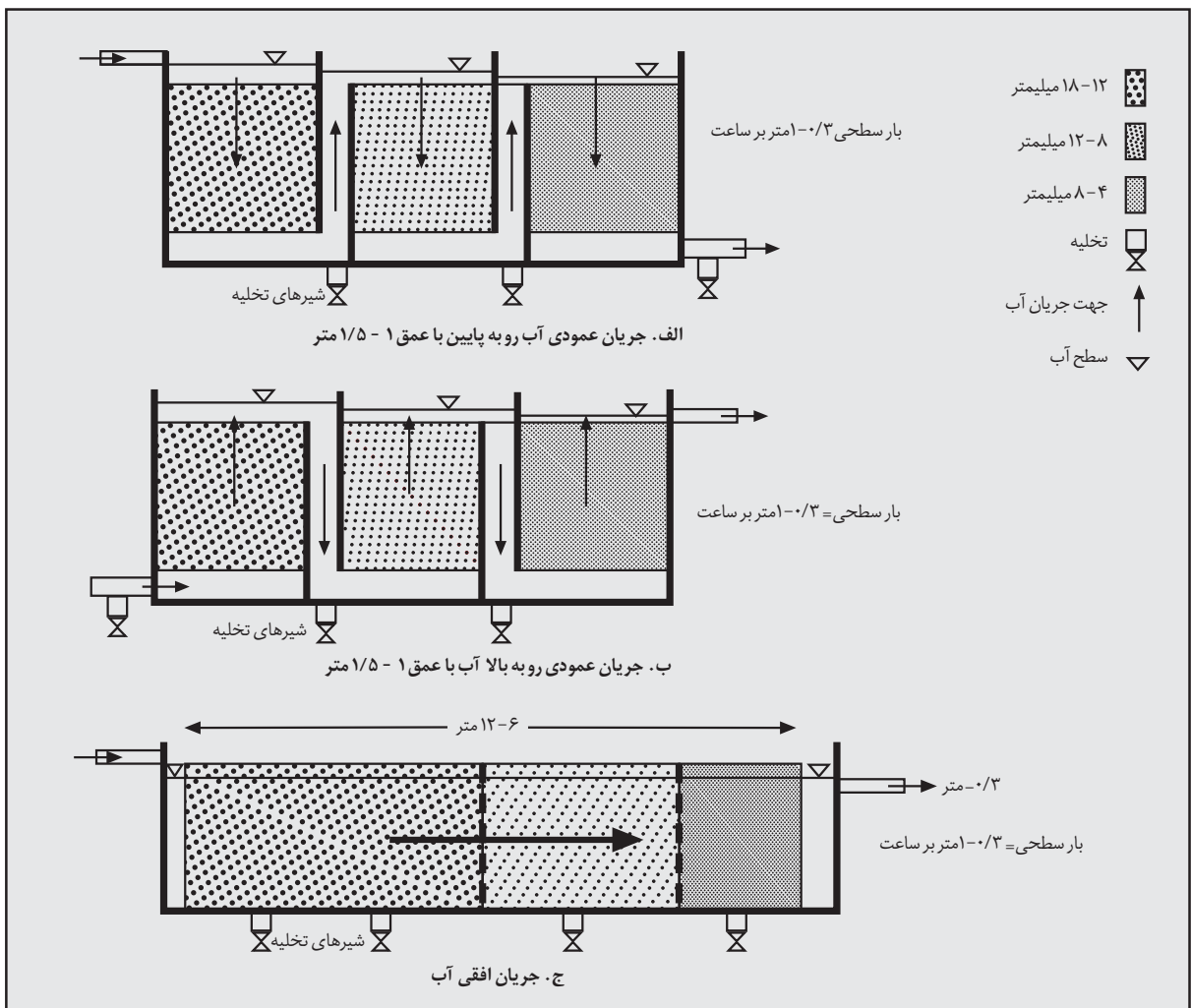


حوضچه سوم ۴-۸ میلیمتر توصیه شده است. طول کلی مسیر عبور آب از بستر دانه‌ها ۶-۱۲ متر و ارتفاع حوضچه در حدود ۵/۱ متر است. اما عرض حوضچه بستگی به ظرفیت و یا میزان آب مورد تصفیه دارد. این عرض در حدود ۲-۵ متر انتخاب می‌شود و با توجه به سرعت مجاز افقی ۳/۰-۵/۱ متر در ساعت عرض آن محاسبه می‌شود. لذا ظرفیت آن در محدوده بسیار بزرگی قرار دارد که عملیات آزمایشی محدوده مناسب را تعیین می‌نماید. در جدول شماره ۵-۸ چکیده دستاوردهای تجربی این فیلترها نشان داده شده است.

کنترل میزان جریان. همانطور که شکل شماره ۵-۲۶ نشان می‌دهد جهت جریان آب در حوضچه‌های این فیلترها می‌تواند افقی و یا عمودی نسبت به کف حوضچه‌ها باشد به نظر می‌رسد که حوضچه‌های با جریان افقی چه از نظر گنجایش ذخیره رسوبات و چه از نظر نیاز هیدرولیکی برای شستشو شرایط مناسبتری دارند.

معیارهای اساسی در طراحی‌ها عبارتند از اندازه گرانول‌ها، طول مسیر عبور آب از بین مصالح بستر و سرعت جریان آب، چنانکه اندازه شن در حوضچه اول در محدود ۱۲-۱۸، در حوضچه دوم ۸-۱۲ و در

شکل شماره ۵-۲۶ - فیلتر درشت دانه برای پیش تصفیه با سه گزینه جریان آب



جدول شماره ۵-۸ - معیارهای طراحی و عملکرد فیلترهای درشت دانه

ویژگی‌های فیلتر	جریان روبه پایین	جریان روبه بالا	جریان افقی
معیار طراحی:	۲۵-۴۰:۶۰	۱۸:۲۰	۲۵-۵۰:۲۷۰
ضخامت شن: دانه‌بندی آن (سانتیمتر = میلیمتر)	۱۲-۲۵:۶۰	۱۲:۱۲	۱۵-۲۰:۸۵
بار سطحی (متر در ساعت)	۰/۳	۰/۷۴	۰/۳
عملکرد			
کدورت ورودی (ان تی یو)	۵۰-۲۰۰	۱۰-۱۵۰	۴۰-۵۰۰
کدورت خروجی	۱۴-۴۰	۵-۱۵	۵-۵۰
کلیفرم گوارشی ورودی (کلنی در ۱۰۰ میلی لیتر)	۷۰۰	۱۶,۰۰۰	بیشتر از ۳۰۰
کلیفرم گوارشی خروجی (کلنی در ۱۰۰ میلی لیتر)	۱۶۰	۱۶۸۰	کمتر از ۲۵

مرجع شماره ۱۲

همانطور که جدول پیش گفته نشان می‌دهد این فیلترها دارای عملکرد بسیار خوبی در زدایش کدورت، کلیفرم، رنگ و جلبک‌ها از آب هستند. چنانکه کاهش کدورت در آنها در حدود ۶۰-۹۰ درصد است، در نتیجه هر چه کدورت آب خام بیشتر باشد درصد زدایش هم افزایش می‌یابد. رشد بلوغ بستر فیلتر هم روی عملکرد آن تاثیر دارد. کاهش رنگ ظاهری هم تا حدود ۸۰ درصد گزارش شده است.

در انگلستان برای کاهش بار جلبکی به فیلترهای ماسه‌ای کند از میکرواسکرین^۱ ریز و فیلتر درشت دانه استفاده شده و زدایش جلبک‌ها و ذرات و مواد آلی در حدود ۵۰ درصد گزارش شده است. با افزایش ضخامت ماسه زیرین به ۷/۰-۹/۰ متر و افزایش بار هیدرولیکی به ۱۰ متر در ساعت، درصد زدایش به حدود ۶۵ هم رسیده است.

نگرانی اصلی در مورد این فیلترها، نتایج عملیات شستشو و تخلیه رسوبات و احیای آن است. زیرا مصالح فیلتر درشت است و با بکواش نمی‌توان انبساط بستر را بدست آورد اما در شرایط امروز با باز

و بسته کردن شیرهای ورودی و خروجی و ایجاد ضربه آب، کار تخلیه رسوبات انجام می‌گیرد.

با پیش بینی یک شبکه زهکشی در کف فیلتر با ظرفیت مناسب و ایجاد سرعت تخلیه و پیش بینی تعداد بیشتری شیرهای تخلیه رسوبات، عملکرد تخلیه بهتر انجام می‌گیرد که هنوز به عنوان یک روش استاندارد معرفی نشده است.

با اینکه چنین طرح‌هایی در ایران به اجرا در آمده و در مرحله بهره‌برداری است اما متأسفانه گزارش مستندی در مورد عملکرد آنها در دسترس نویسندگان قرار نگرفت.

۵-۷-۲ - روکش ماسه^۲

هدف از قرار دادن روکش مناسب روی ماسه فیلتر عبارت است از:

- افزایش طول زمان بین دو لایه‌برداری زیرا لایه زنده با سرعت کمتری روی ماسه ایجاد می‌شود.

- ساده‌تر و سریع‌تر نمودن عملیات لایه‌برداری

ویژگی روکش مناسب در جدول شماره ۵-۹ ارایه شده است.

به طور کلی ضخامت روکش نباید ۲-۳ سانتیمتر بیشتر شود تا عملیات جمع کردن، شستن و دوباره قرار دادن روی بستر با سهولت انجام گیرد.

جدول شماره ۵-۹ - ویژگی‌های روکش مناسب

ویژگی	حداقل	حداکثر
ضخامت (میلیمتر)	۰/۳۶	۲۰
دانسیته حجمی (گرم در میلی لیتر)	۰/۰۲	۰/۴
متوسط قطر الیاف (میکرومتر)	۲۷	۴۸
تخلخل	۰/۵۶	۰/۹۹
سطح ویژه (مترمربع در مترمکعب مواد)	۱۱۰۰	۳۶,۳۰۰



که ازن زنی ترکیب‌های پیش‌ساز تری‌هالومتان‌ها را نیز می‌شکند. به هر حال چون در ایران فیلترهای ماسه‌ای کند برای تصفیه آب شرب اجتماعات روستایی به کار می‌رود، در صورتیکه جمعیت کل تحت پوشش تصفیه‌خانه قابل ملاحظه باشد و در صورتیکه در آب مواد آلی زیاد بوده و عملیات آزمایشی نشان دهد که فیلتر کند در زدایش آن عملکرد مطلوبی ندارد، اندیشه ازن زنی همراه با عملیات آزمایشی مورد توصیه است زیرا تحقیقات مفصل انجام شده مزایای کاربرد آن را نشان داده است.

۵-۷-۴- اصلاحات سطح فیلتر

تغییر لایه‌هایی از ماسه به آنتراسیت، کربن فعال و اکسید آلومینیوم در سطح آزمایشی انجام گرفته و دستاوردهایی هم داشته است. به ویژه قرار دادن لایه‌ای از گرانول کربن فعال در زدایش پیش‌سازهای تری‌هالومتان‌ها دارای عملکردهای مطلوبی هم بوده اما هنوز معیارهای طراحی آنها تدوین نیافته است. لذا با توجه به کیفیت آب خام و عملیات آزمایشی می‌توان طراحی‌ها را پیش برد. با توجه به افزایش میزان تی‌اوسی در آب‌های خام منابع آب شرب و ضرورت استفاده از فیلترهای ماسه‌ای کند استفاده از گرانول کربن فعال باید مورد توجه طراحان قرار گیرد. به ویژه در صورتی که هدف تصفیه‌خانه، تولید آب شرب همگانی باشد این گزینه دارای جاذبه‌هایی می‌باشد.

۵-۷-۵- شیار زدن

در تصفیه‌خانه آب شرب شهر هار تفورد^۱ انگلستان در عملیات بهره‌برداری از فیلتر ماسه‌ای کند لایه زنده از بستر جمع‌آوری نمی‌شود بلکه با روشی شبیه شیار^۲ زدن لایه را در آب شناور نموده و از طریق لوله پیش‌بینی شده در سطح ماسه همراه با آب روی فیلتر از حوضچه تخلیه می‌نمایند.

1. Hartford

بدین ترتیب که زمانی که افت فشار در فیلتر به حدود ۱/۸ متر می‌رسد به کمک شیر تخلیه آب روی ماسه سطح آب را به حدود ۰/۳ متر روی ماسه رسانده و شروع به ایجاد شیار در سطح ماسه می‌نمایند. با ادامه شیار زدن و شناور شدن ذرات لایه زنده و باز گذاردن شیر تخلیه پیش‌گفته، آب همراه با ذرات معلق از فیلتر تخلیه می‌شود.

وقتی که ضخامت آب روی ماسه به حدود ۱۰ سانتیمتر می‌رسد عملیات متوقف شده و از طریق شبکه زهکش کف، آب پاک به فیلتر هدایت شده تا دوباره به ارتفاع ۳۰ سانتیمتری روی ماسه برسد و دوباره عملیات تکرار می‌شود تا تمام سطح ماسه شیارزنی شود. مدت استفاده از فیلتر در فاصله بین دو شیارزنی به حدود ۴-۸ هفته می‌رسد و معمولا هر ۸-۱۰ سال یکبار تمام ماسه فیلتر از حوضچه خارج و مورد شستشو قرار می‌گیرد.

از مزایای این روش تمیز کردن، کاهش نفر – ساعت مورد نیاز برای لایه برداری می‌باشد. زیرا رس، کلوییدها و دیگر ذرات ریز از بستر فیلتر همراه با آب تخلیه می‌شود و فیلتر با سرعت به حالت اول خود برمی‌گردد.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که با افزایش حجم باکتری‌ها میزان زدایش تری‌هالومتان‌ها افزایش می‌یابد و میزان زدایش این ترکیب خطرناک توسط فیلتری که با شیار زدن تمیز شده بود بیشتر از فیلترهای مشابه بوده است. پس به طور اجمال می‌توان گفت استفاده از فیلتر ماسه‌ای کند برای تصفیه آب‌های با کدورت کم دارای توجیه اقتصادی می‌باشد اما برای زدایش جلبک‌ها و کدورت‌های بیشتر باید فرایندهای پیش‌تصفیه آن ارتقا یابد. برای رفع نگرانی از حضور ترکیب تری‌هالومتان‌ها، لازم است ترتیبی داد که فیلتر مواد آلی بیشتری را از آب زدایش نماید. لذا استفاده از فیلترهای درشت دانه، روکش فیلتر، پیش‌ازن زنی و شیارزنی باید مورد توجه قرار گیرد.

۵-۸- مطالعات آزمایشی^۱

هدف از انجام مطالعات آزمایشی عبارت است از ساخت دستگاهی کوچک ولی شبیه به تاسیسات صنعتی که بتوان عملکرد فرایندهای کار را مورد مطالعه قرار داد. در مبحث عملیات آزمایشی شفاف نمودن ابهامات زیر هدف است:

- تصفیه پذیری آب خام مورد نظر که آیا فرایندهای پیش تصفیه ضرورت دارد؛
- تدوین معیارهای طراحی از نظر بار سطحی، مدت بهره‌برداری بین دو لایه برداری، افت فشار و غیره؛
- هزینه اجرای کار و هزینه‌های بهره‌برداری؛

لازم به یادآوری است که رفتار آب‌ها در فرایندهای تصفیه یکسان نیست و لذا بدون عملیات آزمایشی برای آب مورد نظر و آنالیز دستاوردهای آن نمی‌توان پاسخ‌های لازم را پیدا نمود. ضرورت عملیات آزمایشی در فصل‌های قبل هم مورد تذکر قرار گرفته است. انجام عملیات آزمایشی برای فیلترهای کند اجتناب‌ناپذیر است زیرا پس از اجرای طرح در محدوده کوچکی از بهره‌برداری می‌توان طرح را مورد تجدید نظر قرار داد و یادآوری گردید که شرایط محیط‌زیستی فیلتر روی عملکرد آن دخالت دارد.

🌿 تصفیه‌پذیری آب

همانطور که جدول شماره ۵-۲ نشان می‌دهد، در فیلتر ماسه‌ای کند بالغ شده^۲، زدایش کلیفرم‌ها تا ۹۹/۹۰ درصد قابل پیش‌بینی است. اما در مورد زدایش کدورت جدول پیش‌گفته ۹۰ درصد را نشان می‌دهد. جامدات معلق کوچکتر از ۱ میکرومتر که در محدوده کلوییدها قرار دارند از فیلترهای ماسه‌ای کند عبور می‌کنند و در این عبور بخشی هم در فضاهای تخلخل به تله می‌افتند. توجه شود که اندازه کلیفرم‌ها و جلبک‌ها در محدوده ۵-۱۰ میکرومتر قرار دارند.

1. Pilot

2. Biological matured



بلوغ بستر

یکی از شاخص‌های مورد مطالعه فیلتر آزمایشی زدایش کلیفرم در فرایند فیلتراسیون است و در صورتیکه بتوان رابطه بین کدورت و کلیفرم در آب خروجی را تدوین نمود، چون اندازه‌گیری کدورت ارزان‌تر و ساده‌تر است، شاخص مناسبی برای تعیین عملکرد فیلتر می‌تواند باشد.

طرح مطالعات

با توجه به اینکه فرایندهای تصفیه آب در فیلترهای ماسه‌ای کند بیشتر بیولوژیکی است و در عملیات بهره‌برداری روی عملکرد آن برخلاف فیلترهای تند و فیلترهای ممبرانی نمی‌توان دخالت زیادی نمود. بنابراین انجام تحقیقات آزمایشی برای تصمیم‌گیری ضرورت دارد. در نتیجه اصول طراحی تاسیسات آزمایشی تحقیقاتی به‌طور چکیده ارایه می‌گردد. در تهیه طرح تحقیقاتی آزمایشی فیلتر ماسه‌ای کند لازم است توجه نمود که متغیرهای مورد مطالعه عبارتند از:

- کیفیت آب خام از نظر کدورت، کلیفرم، رنگ، سیلت، مواد آلی و جلبک‌ها؛
- معیارهای مورد مطالعه مانند بار سطحی، بلوغ بستر، ضخامت ماسه، ضخامت لایه‌برداری، افت فشار.

بنابراین با ساخت تاسیسات آزمایشی و راه‌اندازی آن باید عملکرد فیلتر را در مورد زدایش آلاینده‌های مورد نظر ارزیابی نمود. در انجام این مهم تجهیز امکانات آزمایشگاهی و نیروی انسانی دارای اهمیت زیاد است و هدف نهایی این است که ابعاد و تاسیسات لازم برای استفاده از فیلتر ماسه‌ای کند تعریف شده و هزینه‌های آن برآورد گردد تا بتوان این فیلتر را مورد مقایسه اجرایی و اقتصادی با فیلترهای تند ماسه‌ای و فیلترهای ممبرانی قرار داد.

۱. با توجه به افزایش غلظت نیترات‌ها، هورمون‌ها و آنتی‌بیوتیک‌ها در منابع آب خام مورد استفاده برای شرب، انجام تحقیقات در زمینه عملکرد فیلترهای کند در زدایش آنها توصیه می‌گردد.

افت فشار

ثبت افت فشار باید با دقت انجام بگیرد زیرا تجزیه و تحلیل آن فاصله زمانی بین دو لایه‌برداری از فیلتر را تعریف می‌نماید که از مهمترین عملیات بهره‌برداری تصفیه‌خانه است. این مدت باید در حدود ۳۰ روز باشد و اگر دفعات لایه‌برداری فیلتر آزمایشی بیشتر بوده و از ۲ بار در ماه تجاوز نماید، استفاده از این فیلتر توصیه نمی‌شود مگر آنکه با کاربرد فرایندهای پیش تصفیه توسط فیلترهای درشت دانه بتوان به یکبار در ماه رسانید. استفاده از فیلتر درشت دانه هم باید به کمک عملیات آزمایشگاهی تصمیم‌گیری شود. برای تعیین افت فشار نیز از پیزومترهای نصب شده باید بهره‌گرفت که در بخش‌های قبلی در مورد آنها گفتگو شده است. مطالب افت فشار در بخش‌های قبلی مورد بحث قرار گرفته است.

۵-۸-۱- ساخت تاسیسات آزمایشی

فیلتر آزمایشی در واقع می‌تواند یک قطعه استوانه‌ای مانند لوله بوده که ارتفاع آن برای قرار دادن شن، ماسه و آب روی بستر کافی باشد. تاسیسات لازم برای هدایت مستمر یک میزان ثابت آب خام و کنترل ارتفاع پایاب و ارتفاع آب روی بستر پیش‌بینی می‌شود که برای انجام آن تعدادی شیر، پیزومتر و ابزار اندازه‌گیری یا جریان سنج مورد نیاز است.

ارتفاع استوانه باید حدود ۴ متر باشد تا ضخامت‌های شن، ماسه و ارتفاع آب مراعات شود. قطر استوانه دارای اهمیت زیادی نیست اما نباید از ۳۰ سانتیمتر کمتر باشد. جنس بدنه هم طوری انتخاب بشود که سوراخ نمودن و نصب پیزومترها و اتصالات دیگر به راحتی انجام پذیر باشد.

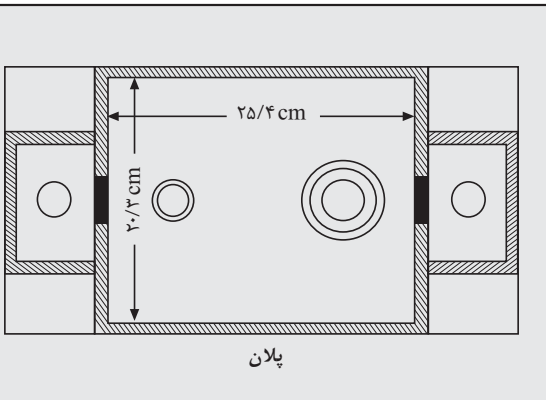
در صورتیکه ارتفاع آزمایشگاه اجازه ندهد می‌توان فیلتر را تحت فشار قرار داد. پایاب فیلتر باید به نحوی ساخته شود که رقوم سرریز خروجی ثابت باشد، همانطور که در شکل شماره ۵-۲۷ نشان داده شده است کف فیلتر باید از یک صفحه ساخته شده از پلاستیک مقاوم و یا فولاد ضد زنگ باشد. تاسیسات درون‌آر یا سراب هم باید بتواند میزان آب ورودی را ثابت حفظ نماید. استفاده از طرحی مانند شکل شماره ۵-۲۸ توصیه شده است.

چون سطح آب در حوضچه درون‌آر به کمک سرریز ثابت می‌ماند و جریان به طرف فیلتر ثقلی است لذا بار هیدرولیکی فیلتر ثابت حفظ می‌شود. خروجی حوضچه هم از طریق روزنه انجام می‌گیرد. قطر روزنه ۲۲/۰ سانتیمتر است و پس از انجام محاسبات هیدرولیکی و اندازه‌گیری آبدهی واقعی با پیچاندن استوانه سرریز و تنظیم ارتفاع H_I بار هیدرولیکی حفظ می‌گردد.

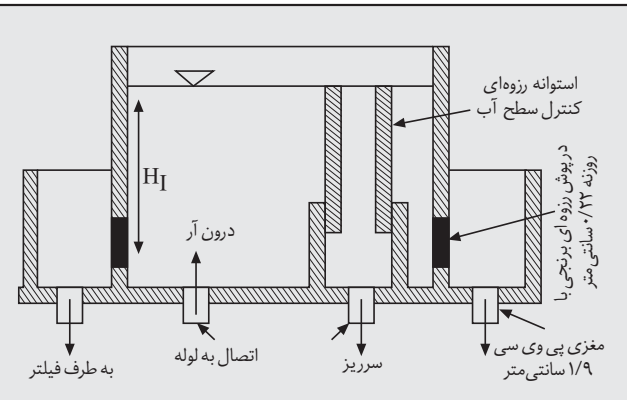
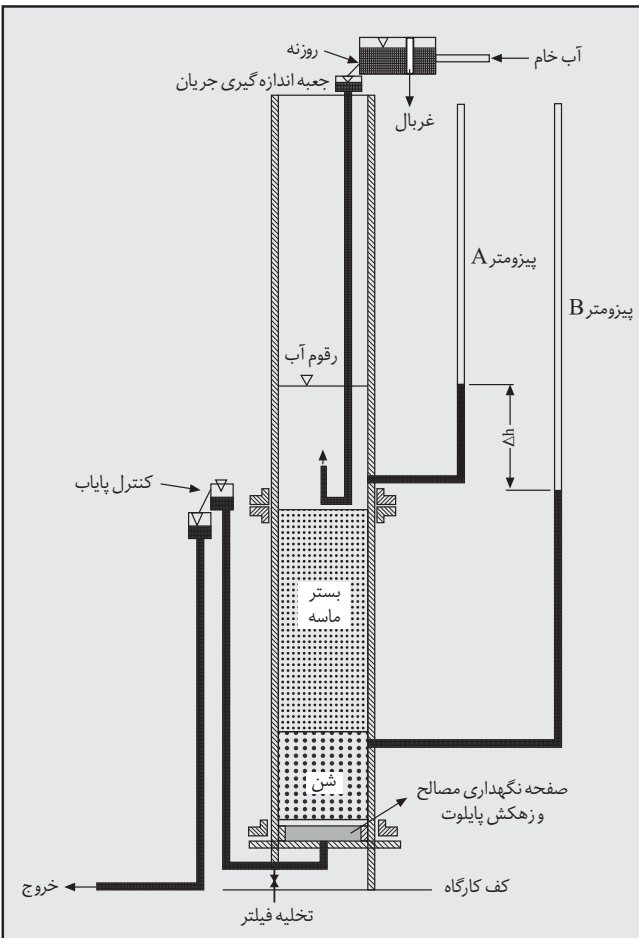
سرریز برون‌بر

سرریز حوضچه خروجی را بهتر است هم‌سطح رقوم روی

شکل شماره ۵-۲۸ - ویژگی‌های یک فیلتر پایلوت



شکل شماره ۵-۲۷ - ویژگی‌های درون‌آر و برون‌بر یک فیلتر آزمایشی



توجه: با حفظ ارتفاع ۸/۷ سانتیمتر روی روزنه ۲۲/۰ سانتیمتری میزان آبدهی ۲۵۵ میلی‌متر در دقیقه می‌باشد و بار سطحی برای استوانه با قطر داخلی ۲۹/۲ سانتیمتر عبارت است از ۰/۲۱ متر در ساعت.





ماسه قرار داد. لذا با دانستن دو رقم سراب و پایاب محاسبات هیدرولیکی انجام و با کمک پیزومترها پایش ها پیگیری می شود. در مورد شیرها، لوله ها و جزییات دیگر لازم است با توجه به ویژگی های مورد اندازه گیری، ابزار مناسب در تاسیسات آزمایشی پیش بینی گردد. به طور چکیده یادآوری می گردد که انجام مطالعات مربوط به کیفیت آب خام و انتخاب فرایندهای تصفیه آن کاری است حرفه ای و در مرحله اول مطالعات لازم است فیلترهای کند، تند و ممبرانی مورد طراحی و مقایسه اقتصادی قرار گیرند و در مورد فیلتر ماسه ای کند طرح و ساخت آزمایشی آن ضرورت دارد. توجه شود که این فیلترها در زدایش رنگ و کلوئیدها عملکرد مطلوبی ندارند و نیاز به استفاده از فرایندهای بالا دست فیلتر دارند.

پس از طرح و ساخت فیلتر آزمایشی با توجه به متغیرهای آن مانند ویژگی های ماسه، بار هیدرولیکی، بلوغ فیلتر و سرعت افزایش افت فشار، زمان لایه برداری، عملکرد آن در زدایش جامدات معلق با شاخص کدورت و کلیفرم باید مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد. بنابراین جدول مناسبی باید تهیه شود و اطلاعات به دست آمده یعنی متغیرهای

آب که وابسته به عملکرد فیلتر می باشد در آن ثبت گردد. این متغیرها عبارتند از:

- دمای آب و محیط که مستقل از عملکرد فیلتر است؛
- تغییرات پیزومتر؛
- کدورت آب فیلتر شده؛
- جلبک ها و باکتری های آب فیلتر شده؛
- فاصله زمانی بین دو لایه برداری؛
- و بالاخره متغیرهای دیگر مربوط به عملکرد فیلتر.

این اطلاعات باید خیلی شفاف و روشن در جدول های مناسب ثبت شوند تا بتوان به کمک نرم افزار مناسب نتیجه گیری های لازم را به دست آورد. بنابراین متغیرها باید به صورت کدهایی تنظیم بشوند. حضور و تایید یک گروه متخصص و مستقل از مجریان فیلتر آزمایشی ضرورت دارد زیرا اگر نتیجه گیری ها در مسیر صحیح انجام نگرفته باشد در مرحله بهره برداری از فیلتر ماسه ای کند مشکلاتی بروز خواهد نمود.



فیلترهای تند دانه ای^۱



۶-۱- نگاه کلی

با افزایش کدورت آب های جاری رودخانه ها، افزایش جمعیت شهرها و مصرف سرانه، تولید فیلترهای کند ماسه ای جوابگوی نیازها نبود و با کاربرد دلمه سازها و درشت تر کردن اندازه ماسه فیلترها، انواع تند آن مورد استفاده قرار گرفت. سرعت آب در بستر فیلترهای تند ۱۰-۳۰ برابر سرعت آب در فیلترهای ماسه ای کند است و اندازه موثر ماسه آن نیز در حدود ۲ برابر انواع کند می باشد. این فیلترها دارای عملکرد مطلوبی در تصفیه آب های بسیار آلوده بوده و تغییرات کیفیت آب خام را نیز بهتر تحمل می کنند. فرایند دلمه سازی و در موارد زیادی ذره سازی پیش نیاز کاربرد این فیلترها می باشد.

برای ساختن فیلترهای تند که حوضچه آن به شکل مربع مستطیل و یا دایره است از بتن، فولاد و مصالح ساختمانی دیگر استفاده می شود. در کف حوضچه یک شبکه لوله سوراخ دار نصب شده و روی آن شن و ماسه قرار می گیرد. آب خام با کدورت ۱۰-۱۵ ان تی یو^۲ به روی ماسه هدایت می شود و از طریق شبکه لوله های پیش گفته که

شبکه زهکش نام دارد جمع آوری شده و به خارج از حوضچه هدایت می شود. در جریان عبور آب از فضاهای خالی بستر ماسه ای که تخلخل^۳ نام دارد ذرات معلق زنده و مرده آب به تله افتاده و از آب زدایش می شود. سرعت عبور آب از فضاهای پر پیچ و خم بستر ماسه به طرف پایین و شبکه جمع آوری زیرین باید در محدوده تعریف شده ای بوده و از تغییرات ناگهانی آن هم پیشگیری شود و به همین جهت در مسیر لوله خروجی فیلتر شیر تنظیم میزان عبور آب پیش بینی می شود. باید توجه داشت که در آب خروجی از یک فیلتر تند و با عملکرد مطلوب، پس از کلرزنی و گذشت زمان لازم تماس یا سی تی^۴ مناسب، انتظار وجود باکتری و یا ویروس بیماریزا نمی رود گرچه هنوز در آن موجودات ریز غیر بیماریزا وجود دارد.

به طور کلی از نقطه نظر متخصصین صنعت تصفیه آب هیچ منبع آب سطحی بدون فرایندهای فیلتراسیون و میکروبوکشی، نمی تواند مناسب شرب باشد. حتی بسیاری از آب های زیرزمینی که

1. Granular Rapid Filters

2. N.T.U

3. Porosity

4. Contact Time (CT)

از طریق چاه و پمپ به‌دست می‌آید به دلیل وجود آهن، منگنز، سختی بی کربناتی و حتی مواد آلی باید پس از طی مراحلی از تصفیه که در فصل‌های اول تا چهارم مورد گفتگو قرار گرفت از فیلتر عبور داده شود تا مناسب شرب شود. اندازه ذرات معلق مورد نظر در آب در جدول شماره ۴–۱ فصل چهارم نشان داده شده است و آلاینده‌های جامد معلق هم که در فرایندهای ذره سازی تولید می‌شوند در صورتی‌که فیلترپذیر^۱ باشند تا سقف ۱۰۰ درصد قابل زدایش هستند که در فصل اول مورد گفتگو قرار گرفته است.

فیلتر پذیری ذرات معلق تابع اندازه، غلظت، ویژگی‌های الکترواستاتیک و‌دمای آب از یک طرف و‌دانه‌بندی، ضخامت مصالح بسترو بار هیدرولیکی فیلتر از طرف دیگر می‌باشد. تشخیص و‌ارزیابی فیلترپذیری مواد معلق آب تنها از طریق عملیات آزمایشی انجام پذیر است چنانکه از حدود ۵۰ سال پیش تصفیه‌خانه‌های متعددی در جهان از فیلتر آزمایشی نصب شده در آزمایشگاه تصفیه‌خانه در حال بهره‌برداری استفاده می‌نمایند. بدین ترتیب که جریان کوچکی از آب خروجی از واحد اختلاط سریع به فیلتر آزمایشگاهی هدایت می‌شود و‌خروجی فیلتر با تعیین شاخص‌های لازم مورد تجزیه و‌تحلیل قرار می‌گیرد تا روی میزان تزریق دلمه ساز، اصلاح پی‌اچ و‌انرژی به کار رفته در بخش تولید ذره اصلاحاتی انجام گیرد تا فیلتر پذیری ذرات افزایش یابد.

زمان لازم برای عملیات مورد بحث و‌تصمیم گیری کمتر از ۱۵ دقیقه است، در حالیکه زمان لازم برای ارزیابی کیفیت آب تولیدی تصفیه‌خانه حدود ۳ ساعت است که برای عبور آب از واحدهای ذره سازی، زلالسازی و‌فیلتراسیون مورد نیاز است و‌بدین ترتیب همیشه حدود ۳ ساعت زودتر می‌توان نسبت به اصلاح عملیات بهره‌برداری تصمیم‌گیری و‌اعمال نظر نمود. فیلترهای آزمایشی در بخش ۶–۱۲ به‌طور مفصل مورد گفتگو قرار گرفته است.



به‌طور کلی هر چه دانه‌بندی مصالح بستر ریزتر و‌ضخامت آن بیشتر باشد عملکرد فیلتر در زدایش مواد معلق آب بهتر خواهد بود، البته به بهای کوتاه‌تر شدن فاصله زمانی بین دو بک‌واش. در صورتیکه عملکرد فرایندهای تصفیه قبل از فیلتر در حد مطلوب باشد فیلتراسیون می‌تواند آبی با کدورت حدود ۰/۲ان تی یو تولید نماید و‌در این صورت جلبک‌ها، نماتدها، دیاتومه‌ها و‌بسیاری دیگر از میکروب‌ها در آب تولیدی مشاهده نخواهد شد.

۶-۲- عملکرد فیلترها

یاد آوری گردید که پیش نیاز کسب عملکرد مطلوب فیلترها ضرورت افزایش کارایی زلالسازی است زیرا اگر کلوییدهای آب به کمک دلمه ساز بزرگ نشده باشد نه در زلالساز ته‌نشین شده و‌نه در فیلتر از آب زدایش می‌شود. همان‌طور که در فصل چهارم در مورد زدایش مواد جامد معلق گفته شد تحقیقات انجام گرفته در امریکا نشان می‌دهد که فیلترهای ماسه‌ای تند متعارف می‌توانند در شرایط مطلوب دارای عملکردهای زیر باشد و‌کارایی فرایندهای ذره‌سازی و‌زالسازی قبل از آن نیز روی این عملکرد بی‌تاثیر نیست.

- زدایش ذرات مولد کدورت تا سقف ۱۰۰ درصد؛
- زدایش میکروب‌ها تا سقف ۹۹ و‌برای ویروس‌ها ۹۹/۹ درصد؛
- زدایش فلزات سنگین تا سقف ۱۰۰ درصد؛
- زدایش مواد آلی انسان ساخت تا سقف ۶۰ درصد؛
- زدایش تری هالومتان‌ها تا سقف ۲۰ درصد.

با توجه به‌درصدهای زدایش ۶۰ و‌۲۰ مواد آلی و‌جدول شماره ۴ استاندارد شماره ۱۰۵۳، زدایش مواد آلی باید در درجه اول اهمیت قرار گیرد و‌امکانات انجام آزمایش‌های لازم برای تشخیص حضور و‌غلظت آنها در آب خروجی تصفیه‌خانه در آزمایشگاه کنترل کیفیت وجود داشته باشد.

جدول شماره ۶–۱- کلیفرم آب خام و فرایندهای زدایش آنها برای تولید آبی با یک کلیفرم در ۱۰۰ میلی لیتر

کلیفرم آب خام در ۱۰۰ میلی‌لیتر بر حسب ام پی ان ^۱	فرایندهای تصفیه
۸۰	اختلاط سریع، ذره سازی، ته‌نشینی و فیلتراسیون
۳۵۰۰	پیش کلرزنی، اختلاط سریع، ذره سازی، ته‌نشینی و فیلتراسیون
۶۰۰۰	اختلاط سریع، ذره سازی، ته‌نشینی، فیلتراسیون، کلرزنی بعد از تصفیه
۲۰،۰۰۰	پیش کلرزنی، اختلاط سریع، ذره سازی، ته‌نشینی، فیلتراسیون، کلرزنی بعد از تصفیه
۶۰،۰۰۰	اختلاط سریع، ذره سازی، ته‌نشینی، فیلتراسیون در دو مرحله و کلرزنی بعد از تصفیه

نتایج تحقیقات انجام شده در امریکا در مورد زدایش کلیفرم‌ها که به عنوان شاخص آلودگی میکروبی آب توسط فرایندهای متعارف تصفیه و کلرزنی می‌باشد، نشان می‌دهد که می‌توان آبی با ام‌پی‌ان یک در ۱۰۰ میلی لیتر تولید نمود. این نتایج در جدول شماره ۶–۱ نشان داده شده است. در صورتی‌که طرح و بهره‌برداری از فرایندهای تصفیه متعارف آب همراه با کلرزنی پس از آن در حدی انجام گیرد که کلر آزاد باقیمانده قابل تشخیص باشد کلیفرم آب خام می‌تواند همانند ردیف ۳ جدول پیش گفته باشد. توجه شود که وقتی کلیفرم‌های آب زیاد می‌شود معمولا با افزایش مواد آلی آب همراه است و در این شرایط پیش کلرزنی توصیه نمی‌شود.

بر مبنای جدول ۶–۱ می‌توان نتیجه گیری نمود که برای آب خام

با ۲۰ هزار عدد کلیفرم در ۱۰۰ میلی لیتر علاوه بر تصفیه متعارف، لازم است پیش میکروبوکشی مانند کلر زنی انجام گیرد و برای ام‌پی‌ان بیشتر، دو مرحله فیلتراسیون می‌تواند آب مناسب شرب تولید نماید. لازم به یاد آوری است که جدول از دیدگاه کاهش کلیفرم آب تدوین



گردیده و برای ردیف‌های ۴ و ۵ که احتمال وجود مواد آلی دارد شاخص‌های دیگری برای تعریف کیفیت مطلوب باید در نظر گرفته شود. بر اساس گزارش منجر به تدوین جدول پیش گفته رابطه بین باکتری‌های آب خام و آب تصفیه شده را می‌توان به صورت معادله

$$Y= CX''$$

نوشت که در آن X و Y به ترتیب تعداد باکتری‌های موجود در آب خام و آب تصفیه شده است و C و n هم ضرایبی هستند که برای هر شرایط باید تعیین شوند. لذا با افزایش کلیفرم‌های آب خام درصد حذف آنها هم در تصفیه‌خانه افزایش می‌یابد اما هرگز به رقم ۱۰۰ در صد نمی‌رسد و به همین جهت کلرزنی بعد از تصفیه با توجه به ملاحظات بهداشتی ضرورت دارد. در شکل شماره ۶–۱ ویژگی‌های یک فیلتر تند ثقلی نشان داده شده است.

۶-۳- میکروب‌ها

در آب‌های جاری رودخانه‌ها و دریاچه‌های پشت سدها و دریاچه‌های طبیعی انواع موجودات زنده جانوری و گیاهی ریز وجود دارد که از فیلتر برای زدایش آنها استفاده می‌شود لذا به اختصار درباره آنها صحبت می‌شود. در جدول شماره ۴–۱ فصل چهارم حدود اندازه گروهی از این موجودات زنده گیاهی و جانوری نشان داده شده است که برای بحث فعلی توجه به آن ضرورت دارد و در فصل هفتم نیز که عملکرد فیلترهای ممبرانی مطرح شده است در مورد طیف اندازه آلاینده‌های زنده و مرده به تفصیل گفتگو شده است.

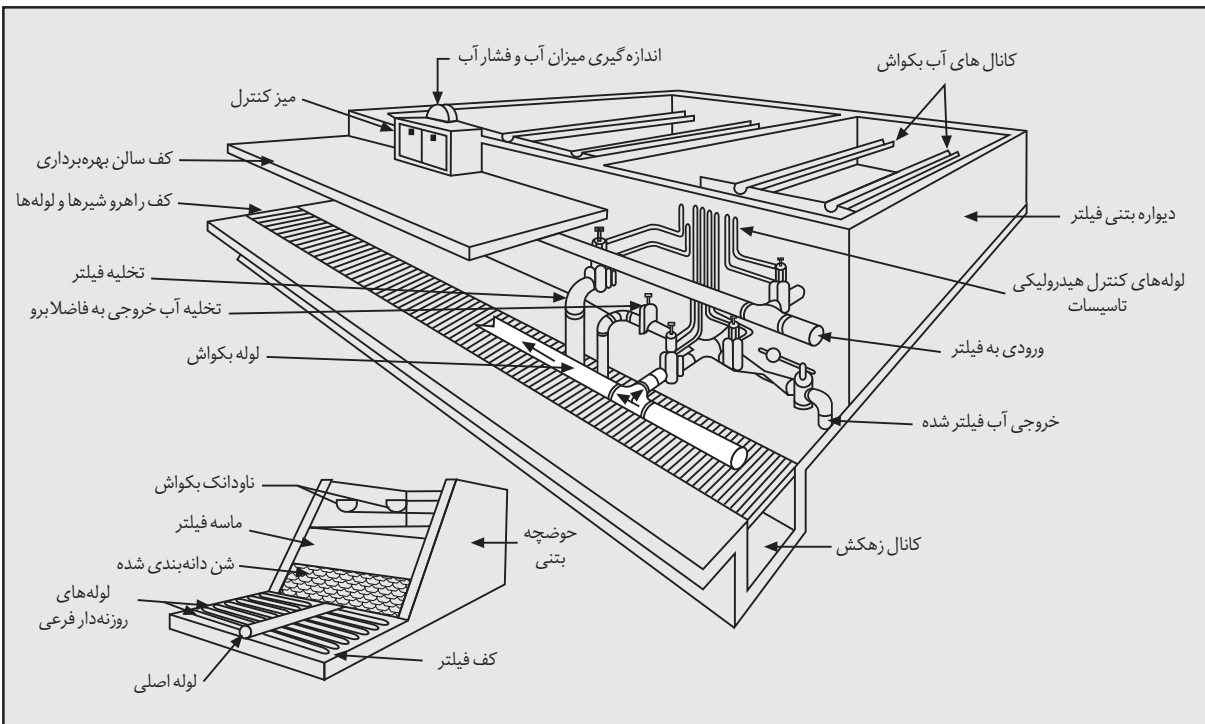
باکتری‌ها

بسیاری از باکتری‌های موجود در آب‌های جاری بیماریزا نیستند. باکتری‌های بیماریزا از نظر نوع محدود هستند که در جدول شماره ۴–۲ یادآوری گردیده است. در منابع آب زیرزمینی کمتر باکتری

^[1] MPN



شکل شماره ۶-۱- ساختمان فیلترتند ثقلی و جزییات شبکه زهکشی آن



است. آلودگی از دهانه چاه و یا تاسیسات آن و یا از طریق نفوذ آب آلوده از چند متر اول دیواره چاه از علل اصلی است.

اگر لایه های زمین دارای درز، ترک و شکاف باشد آب سطحی حاوی آلاینده معلق بدون فرایند فیلتراسیون طبیعی به چاه می رسد. از نمونه های آن چشمه و یا چاه موجود در زمین های متشکل از کربنات کلسیم است که به علت حل شدن کربنات کلسیم درز و شکاف هایی ایجاد می گردد.

گروهی از باکتری ها در آب زیرزمینی مشاهده می شوند که آهن محلول را تبدیل به اکسید غیرمحلول و رنگین می نمایند و گهگاه در شبکه های توزیع آب شهر هم مشاهده می شوند. گروهی دیگر منگنز را تبدیل به رسوب سیاه و یا قهوه ای رنگ می نمایند.

باکتری ای کلای^۱ که در روده انسان و حیوانات خون گرم فعال

1. Eshcherichia Coli (E.Coli)

است و بیماریزا هم نیست به عنوان شاخص آلودگی میکروبی و احتمال وجود بیماریزاها در آب انتخاب شده است. وجود آن نشانه آلودگی آب است زیرا نشان می دهد که:

- آب مورد آزمایش در زمانی با خاک و گیاه در تماس بوده است.
- فاضلاب انسانی به آن تخلیه شده و چون هنوز باکتری در آن وجود دارد، زمان زیادی از آلودگی نگذشته و لذا می تواند حامل بیماریزاها باشد.
- اگر آب مورد تصفیه قرار گرفته شده باشد نشان می دهد که عملکرد تصفیه خانه مطلوب و کافی نبوده و یا پس از تصفیه دوباره آلوده شده است.

کلیفرم ها در آب تکثیر نمی یابند و با نرخ لگاریتمی می میرند و تعداد کمی از آنها هفته ها و ماه ها در آب های طبیعی تشخیص داده می شوند. در آب های شور نرخ مرگ و میر آنها بیشتر است. دلیل انتخاب آن به عنوان شاخص آلودگی سهولت عملیات آزمایشگاهی برای تشخیص وجود آنها در آب است و حتی می توان تعداد تقریبی آنها را در آب تخمین زد. لذا ضرورتی ندارد که به دنبال تشخیص عامل بیماریزا بود زیرا پر هزینه بوده و نیاز به وقت زیاد دارد.

تعداد کلیفرم ها در فاضلاب شهری حدود ۲۵۰-۵۰۰ هزار در میلی لیتر است که با مرور زمان کاهش پیدا می نماید. نور خورشید، دمای محیط و وجود باکتری های دیگر باعث مرگ و میر آنها می شود. از مشخصه های دیگر کلیفرم ها عبارت است از:

- هوازی، غیرهوازی و اختیاری هستند؛
- در رنگ سنجی آزمایشگاهی منفی هستند؛
- توانایی تولید هاگ یا اسپور^۱ را ندارند؛
- لاکتوز را در دمای ۳۵ درجه سلسیوس و در مدت ۴۸ ساعت تخمیر کرده و گاز تولید می کنند.

شاخص شمارش کلی^۲ در تعیین عملکرد زدایش باکتری ها در



تصفیه خانه آب کاربرد دارد. گرچه به عنوان استاندارد شناخته نمی شود اما کیفیت بیولوژیکی آب را از نظر کلی نشان می دهد.

ویروس ها

ویروس های فلج اطفال، عفونت کبدی، التهابات روده ای و کوکساکسی در فاضلاب شهری تشخیص داده شده است که در فرایندهای تصفیه متعارف آب همراه با کلرزی پس از آن غیر فعال می شوند. اما غلظت کلر و زمان تماس بیشتری نسبت به باکتری ها برای نابودی آنها مورد نیاز است. چنانچه به عنوان مثال برای غیرفعال سازی ویروس مولد عفونت کبد کلر آزاد باقی مانده پس از ۳۰ دقیقه تماس باید ۰/۴ میلیگرم در لیتر باشد. حفظ کلر باقیمانده در آب در تمام مراحل تصفیه متعارف خطر ویروس ها را از بین می برد.

طبق نظر گیرلیس و کلی^۳ در صورتی که یک تصفیه خانه از نظر شاخص کلیفرم دارای عملکرد مطلوب باشد می توان انتظار داشت که عملکرد آن در زدایش ویروس ها هم مطلوب است.

جلبک ها

این گروه از گیاهان تک سلولی و در مواردی چند سلولی دارای کلروفیل بوده و به شکل و اندازه های مختلف تا ۱۰ میکرون در آب ها به خصوص آب دریاچه ها حضور دارند. با افزایش آلودگی های ازته و فسفره و با وجود نور و دمای مناسب تکثیر یافته و می توانند مشکلات متعددی در تصفیه خانه آب ایجاد نماید. ایجاد گرفتگی زودرس فیلترها و فرار آنها از فیلتر و بالاخره مرگ و میر و ایجاد طعم، بو و رنگ نامطبوع در آب شبکه توزیع از پیامدهای حضور آنها در آب هاست. به علاوه با کلرزی آب چه قبل از تصفیه خانه و چه بعد از تصفیه دو پدیده دیگر بروز می نماید. اول تولید تری هالومتان ها و دوم آزاد سازی سم توکسین ناشی از متلاشی شدن سلول گروهی از آنها است.

مشاهده می شود زیرا عوامل و شرایط زیر باعث زدایش و مرگ و میر آنها می شود:

- ♦ فیلتراسیون: بدین شرح که آب در مسیر جریان در فضاهای خالی که همان تخلخل خاک است مواد جامد معلق خود را از دست می دهد و باکتری ها هم در این گروه قرار دارند. در حقیقت اندیشه طرح فیلترهای انسان ساخت شاید ناشی از مشاهده همین پدیده طبیعی است.
- ♦ شرایط نامساعد: دمای کم آب در زیر زمین، وجود شرایط فیزیکی مانند پی اچ و بالاخره گذشت زمان روی مرگ و میر آنها دخالت دارد.

در آب چاه های کم عمق ممکن است آلودگی میکروبی مشاهده شود که آن هم به علت مراعات نشدن اصول حفاظت آب چاه از آلودگی

1. Spore

2. Total Count

3. Gilereas and Kelly



رودخانه‌ها می‌باشند که از طریق جریان آب خام به تصفیه‌خانه‌های آب شرب منتقل می‌شوند. بیماری‌زایی آنها ثابت نشده است اما احتمال عبور آنها از بستر فیلترها همراه با آب تصفیه شده محتمل است. در تابستان‌ها بالغ آنها در آب‌های متعارف و دارای سرعت جریان کم مشاهده می‌شوند و در جریان تجزیه بیولوژیکی مواد آلی گیاهی و جانوری دخالت دارند.

اصولا مشکلات اندازه‌گیری غلظت بعضی از آلاینده‌ها و در نتیجه نبود اطلاعات در مورد اثرات دراز مدت آنها در مصرف کننده آب، ما را وادار می‌نماید که بر مبنای مجهولات با نام ضریب اطمینان سیاست‌گذاری‌هایی را تدوین نماییم. برای مثال هنوز نمی‌دانیم که ریشه گوجه فرنگی، کاهو، برنج و یا گیاهان دیگر در مقابل نفوذ هورمون‌ها، آنتی بیوتیک‌ها و پلیمرهای موجود در آب غیرمتعارف به داخل بافت گیاه چه میزان مقاومت دارند. لذا شرط احتیاط این است که در آبیاری محصولات غذایی از آنها استفاده ننماییم.

همین اصل در مورد تامین آب شرب مطرح است. با روند رو به افزایش حضور انواع آلاینده‌ها در فاضلاب‌ها که در نهایت به منابع آب می‌رسند و عملکرد فرایندهای متعارف تصفیه آب هم که قادر به زدایش ۱۰۰ درصد آنها نیست، به نظر می‌رسد جدا کردن آب شرب از آب مصارف بهداشتی یک ضرورت است. در صورتی که این جدا نمودن صلاح نیست، افزودن فرایندهای جدید زدایش آلاینده‌ها به فرایندهای متعارف تصفیه آب ضرورت دارد و بالاخره با توجه به محدودیت منابع آب با کیفیت مناسب و ضرورت صرف هزینه‌های تصفیه آنها برای شرب، مصرف آن برای رختشویی، حمام و مانند آنها صلاح نبوده و دارای توجیه اقتصادی نیست.

در بسیاری از کشورها سال‌ها است که به مقوله جدا کردن آب شرب از مصارف بهداشتی پرداخته‌اند. گرچه کیفیت آب مصارف بهداشتی هم با کیفیت آب شرب دارای اختلاف چندانی نیست. در

پروتوزوآ

این گروه تک‌و یا چندسلولی‌ها در گروه جانوران بدون مهره قرار دارند و رفتار آنها در فیلترها شبیه جلبک‌ها می‌باشد. در این گروه روتیفرها^۱ و سخت پوستان قرار دارند که در محیط آب رودخانه‌ها و دریاچه‌ها رشد پیدا می‌نمایند. از مهمترین آنها آمیب اسهال خونی^۲ در انسان است. این آمیب در روده انسان تولید کیست می‌نماید و از طریق فاضلاب به محیط تخلیه می‌شود. فیلتراسیون آن را از آب زدایش می‌نماید اما در برابر اثر کلر مقاومت نشان می‌دهد.

قارچ‌ها

این گروه از گیاهان دارای کلروفیل نیستند و در محیط بدون نور رشد می‌نمایند و لذا در لوله‌های انتقال و توزیع آب تولید بیوفیلم می‌نمایند و با مرگ و میر خود طعم و بوی نامطلوب به آب می‌دهند. فیلتراسیون آنها را مانند جلبک‌ها و پروتوزوآها از آب زدایش می‌نماید.

کرم‌ها

گروهی از حشرات تحت نام مگس‌ها که لارو آنها در کف زلالسازها رشد پیدا می‌کنند ممکن است در زمانی که به صورت تخم هستند از فیلتر تصفیه‌خانه عبور نموده و در لوله‌های شبکه توزیع به کرم تبدیل شوند و از شیر آب مصرف کننده خارج و در نتیجه اعتماد مصرف کنندگان آب به تاسیسات تصفیه دچار کاستی شود. لازم به یادآوری دوباره است که زدایش ذرات معلق مانند باکتری‌ها در فیلترها هیچگاه به ۱۰۰ درصد نمی‌رسد و به همین جهت کلرزنی بعد از تصفیه پیش‌بینی می‌شود و برای جلوگیری از رشد آنها و فعالیت‌های بیولوژیکی دیگر در روی سطوح داخلی لوله‌ها با نام بیوفیلم حفظ کلر باقی مانده در آب شبکه مراعات می‌شود.

نماتدها در گروه کرم‌ها قرار دارند و از شاخص آلودگی آب



آب شرب فلسفه خالص سازی مطرح و در آب مصرف بهداشتی تصفیه مورد نظر است.

امروزه در شهرهایی شبکه توزیع آب غیر متعارف هم به تاسیسات شهری اضافه شده است که برای فضای سبز، شستشوی گذرگاه‌ها، سیفون توالت‌های عمومی، آتش نشانی و غیره مورد استفاده است. به طور چکیده می‌توان گفت که تولید آب با کیفیت مورد نظر استاندارد ۱۰۵۳ از منابع آب خام در معرض آلودگی و مصرف آن برای کارهای بهداشتی دارای توجیه اقتصادی نمی‌باشد.

۴-۶- استقرار واحد فیلتر

گرچه تاسیسات هیدرولیکی – مکانیکی فیلترها بخش اصلی تصفیه‌خانه‌های متعارف آب را تشکیل می‌دهد و در مورد آن با توجه به سازه‌های مربوط و تاسیسات دیگر باید سخن گفت اما توجهات اساسی زیر باید ابتدا مطرح گردد:

- طرح استقرار فیلترها با توجه به هیدرولیک تصفیه‌خانه و پایداری سازه و توجهات اقتصادی؛
- نیازهای آینده طرح برای توسعه آنها و به هنگام نمودن تاسیسات در این استقرار؛
- توجه در انتخاب محل استقرار فیلترها به دلیل ضرورت نظارت بر عملکرد آنها و عملیات بهره‌برداری و نگهداری.
- سعی در کوتاه شدن فاصله زمانی بین تولید آب فیلتر شده و مصرف آن، زیرا در صفحات قبل گفته شد که آب تصفیه شده آب استریل نیست و با گذشت زمان کیفیت آن به طرف نامطلوب شدن تغییر می‌نماید؛
- اجتناب از عملیات کلرزنی دوباره^۱، گر چه در شرایطی انجام آن ضرورت دارد؛
- انتخاب تاسیسات فیلتراسیون نزدیک شبکه توزیع. زیرا در صورت

ضرورت انتقال آب از منابع دیگر، کار توسعه تاسیسات فیلتراسیون راحت‌تر انجام می‌گیرد.

- سهولت استفاده از کارشناسان خبره بخش‌های دیگر شهر در صورت نزدیکی تاسیسات تصفیه آب به ویژه فیلترها به شهر. در واقع رفت و آمد نیروی انسانی بهره‌بردار و مدیریت‌ها با صرف وقت کمتری انجام می‌گیرد و گروه‌هایی که مایلند از تصفیه‌خانه آب شهر بازدید نمایند راحت‌تر به محل تصفیه‌خانه دسترسی پیدا می‌نمایند.

در طرح‌های با لوله‌های انتقال طولانی بهتر است آب زلال منتقل شود و هر اجتماع با توجه به شرایط و نیازهای خود تاسیسات فیلتراسیون و کلرزنی بعد از تصفیه را طرح و اجرا نماید. گزینه ایجاد تصفیه‌خانه متمرکز در ابتدای لوله انتقال طولانی دارای امتیازات اقتصادی است و به نظر می‌رسد که سرمایه‌گذاری کمتری نیاز دارد اما این استنتاج می‌تواند اصل تولید آب سالم را نقض نماید که در فصل دهم به آن پرداخته شده است.

معماری ساختمان فیلترها باید با محیط اطراف هماهنگی داشته و در بازدیدکنندگان حس اعتماد ایجاد نماید. باید توجه داشت که بازدیدکنندگان غیر متخصص در صنعت تصفیه آب تنها به زیبایی و پاکیزگی محیط فیلترها توجه دارند و از فرایندهای تصفیه آب بی‌اطلاع و بی‌توجه هستند و لذا مشکل بتوان جامعه‌ای را قانع نمود که از یک تصفیه‌خانه به ظاهر نامرتب و بدمنظر می‌توان آب سالمی تولید نمود. ساختمان فیلترها که در حقیقت باید نوعی طرح ویژه باشد یک فضای صنعتی است و با توجه به تجارب طراح و سازنده تاسیسات، فضاهای مورد نیاز برای بهره‌برداری و نگهداری پیش‌بینی می‌شود. در بیشتر موارد فیلترها در فضای سقف‌دار قرار دارند تا آب روی فیلتر از نور خورشید و یا گرد و غبار محافظت بشود. لذا فضای بالای فیلتر در صورت کم توجهی و کم تجربگی کم نور و مرطوب بوده و ممکن



است دارای تهویه کافی نباشد که عملیات بهره‌برداری و نگهداری را با مشکل روبرو می‌سازد.

در طراحی بعضی از ساختمان فیلترها، پنجره‌های سقفی پیش‌بینی می‌شود که از نور روز بهره‌گیری شود. برای جلوگیری از تقطیر آب روی سطوح سقف سالن فیلترها باید تمهیداتی در نظر گرفته شود زیرا رطوبت فضای بالایی فیلترها به طور نسبی بیشتر از فضاهای دیگر تصفیه‌خانه است. در عین حال باید سعی شود که جریان باد بر روی آب فیلترها ایجاد نشود تا مولکول‌های کمتری به علت تبخیر از آب وارد فضای بالایی فیلترها شود.

باید از نصب تاسیسات گرمایش مانند رادیاتور در سالن فیلترها اجتناب گردد زیرا باعث بروز تولید قطرات آب شده و کم‌کم با زنگ – زدگی‌ها از زیبایی محیط می‌کاهد. راهرو شیرها و لوله‌های ورود و خروج آب نیاز به تهویه مناسب دارد تا از بروز تقطیر آب و زنگ زدگی جلوگیری شود و در غیر این صورت پیش‌بینی عایق مناسب توصیه می‌شود. پس از ایجاد عایق، پوشش با رنگ‌های با پایه آلومینیوم توصیه می‌شود. ضرورت دارد که دمای هوای فضای سالن فیلترها و سالن تاسیسات در حدود ۱۵ درجه سلسیوس حفظ گردد. یکی از فضاهای اصلی ساختمان فیلترها، اتاق ابزار دقیق برای کنترل و بهره‌برداری فیلترهاست. تابلوی کنترل عملیات در این اتاق قرار دارد و به کمک آن می‌توان وضعیت تصفیه‌خانه را از نظر تصفیه و تولید آب نظارت نمود. اطلاعات زیر از این تابلو باید به دست آید:

- میزان آب ورودی و خروجی تصفیه‌خانه؛
- دمای آب ورودی؛
- کدورت آب ورودی و خروجی؛
- سطح آب در فیلترها همراه با افت فشار در آنها؛
- و اطلاعات لازم دیگر مانند میزان تزریق ترکیب‌های دلمه ساز و کلر.

در صورتی که تابلو کنترل به صورت مرکزی نباشد، هر یک از فیلترها

دارای تابلو کنترل ویژه هستند که مورد استفاده بهره‌بردار قرار می‌گیرد. توصیه می‌شود که در آب فیلتر شده خروجی به طرف مخزن آب پاک، پنجره نمایش پیش‌بینی شود تا بازدیدکنندگان بتوانند کیفیت آب تصفیه شده را مشاهده نمایند. این فضا ضروری است ضمن حفظ آب از آلودگی دوباره، روشن و دارای تهویه مناسب بوده و در کف مجرا از کاشی سفید پوشیده شده باشد.

۶-۵- مصالح بستر

با توجه به اینکه مصالح بستر فیلتر، کار اصلی زدایش ذرات معلق آب را انجام می‌دهد و بر مبنای روابط ریاضی فیزیک طراحی‌ها انجام می‌گیرد، اما رفتار آب‌ها با روابط ریاضی همیشه همخوانی ندارد و لذا استفاده از عملیات فیلتر آزمایشی و تجارب گذشته و مراجع معتبر دارای اهمیت بیشتری است.

در بیشتر کشورها مصالح مورد استفاده برای بستر فیلترهای دانه‌ای، ماسه سیلیسی، آنتراسیت، گارنت، ایلمنیت^۱ و گرانول کربن فعال می‌باشد و اندازه دانه‌بندی مصالح که تخلخل بستر را تعریف می‌نماید تابعی است از اندازه موثر^۲ و ضریب یکسانی که به تعریف آنها پرداخته می‌شود.

اندازه موثر یک توده ماسه که برحسب میلیمتر بیان می‌شود عبارت است از اندازه‌ای که کوچک‌تر از ۹۰ درصد و یا بزرگ‌تر از ده درصد وزنی توده ماسه است و چنین فرض می‌شود که توده ماسه‌های مختلف با اندازه موثر یکسان دارای مقاومت هیدرولیکی برابر هستند. در این تعریف شرط محدود بودن ضریب یکسانی وجود دارد. اندازه موثر توده ماسه در آزمایشگاه مکانیک خاک به کمک الک‌های استاندارد و رسم منحنی تعیین می‌شود.

اندازه موثر ماسه فیلترهای تند ۰/۴-۰/۶ میلیمتر و فیلترهای ماسه‌ای کند ۰/۲-۰/۴ میلیمتر است گرچه تمایل به استفاده از

دانه‌های درشت‌تر و ضخامت بیشتر بخصوص در اروپا مشاهده می‌شود. ویژگی اندازه موثر یک بستر ماسه‌ای اطلاعات دیگری در مورد اندازه‌های بزرگ‌تر بستر معرفی نمی‌نماید و به ویژه برای مقایسه توده ماسه‌ها کافی نیست و به همین جهت با تعیین اندازه‌ای که از ۶۰ درصد ذرات بزرگ‌تر است و تقسیم آن به اندازه موثر ضریب یکسانی^۱ تعریف می‌شود. به علاوه شکل دانه‌ها یعنی کروی بودن و یا دارا بودن لبه‌های تیز و یا درصد کاهش وزن آن در اسید از ویژگی‌های دیگر است که در استاندارد^۲ آن تعریف شده است و در تهیه ماسه باید رعایت شود.

مصالح مورد استفاده برای تشکیل بستر فیلتر باید دارای تخلخل کافی باشد تا آب بتواند از آن عبور نموده و ذرات معلق را در فضاهای خالی به جای بگذارد. در ضمن باید بتوان در عملیات بکواش ذرات باقیمانده در فضاهای بستر را همراه با آب از آن خارج نمود تا فیلتر دوباره آماده بهره‌برداری شود.

هر چه دانه‌بندی مصالح فیلتر بزرگ‌تر باشد فاصله بین دو بکواش طولانی‌تر می‌شود و در نتیجه آب کمتری هم به مصرف می‌رسد و تشکیل گلوله‌های گل که در بخش بهره‌برداری مورد توجه قرار می‌گیرد هم کمتر می‌شود. اما در مقابل احتمال عبور ذرات مولد کدورت مانند باکتری‌ها از بستر فیلتر بیشتر می‌شود و برای جبران این عیب لازم است ضخامت مصالح افزایش یابد. بنابراین استفاده از دیاکرام‌ها و جدول‌های تهیه شده مورد توصیه می‌باشد.

فیلترهای تند از نظر دانه‌بندی به چهار دسته تقسیم می‌شوند:

۱. فیلترهای تند متعارف که در آنها جنس مصالح فیلتر از یک نوع است و در زیر آن شن درشت دانه قرار می‌گیرد. این فیلترها به نام فیلترهای تک جنسی شناخته می‌شود و مصالح می‌تواند ماسه، آنتراسیت و غیره باشد. در طرح‌هایی مانند طرح‌های ویژه، شن زیربستر در نظر گرفته نشده و کف کاذب و نازل‌ها پیش‌بینی می‌شود.

۲. فیلترهای تند با استفاده از دو نوع مصالح آنتراسیت و ماسه به نام فیلترهای دو جنسی^۳ معروف به دو لایه.

۳. فیلترهای تند با استفاده از سه نوع مصالح آنتراسیت، ماسه و گارنت که به نام فیلترهای مخلوط^۴ هم نامیده می‌شود.

۴. فیلترهای با دانه‌بندی درشت‌تر و ضخامت بیشتر مصالح بستر معروف به فیلترهای عمیق.

فیلترهای نوع اول

فیلترهای تند متعارف از یک نوع گرانول تشکیل گردیده و برای شروع بحث فرض می‌شود که گرانول ماسه انتخاب شده است و چون مصالح بستر دارای اندازه موثر و ضریب یکسانی است پس دارای دانه‌بندی یک اندازه نیست و لذا پس از عملیات بکواش که باید با انبساط بستر و کاهش میزان تدریجی آب بکواش همراه باشد، دانه‌های درشت ماسه به دلیل وزن بیشتر خود زودتر در حوضچه فیلتر ته‌نشین می‌شوند و دانه‌های ریزتر دیرتر، در نتیجه پس از پایان عملیات بکواش درشت دانه‌ها در زیر و ریزدانه‌ها در بالا قرار می‌گیرند که فیلتر با لایه‌بندی هم شناخته می‌شود.

با شروع عملیات فیلتراسیون، ذرات معلق آب، تخلخل لایه‌های بالایی بستر را که کوچک‌تر از اندازه تخلخل لایه‌های زیرین هستند زودتر پر می‌نماید و راه عبور آب را تنگ‌تر نموده و در نتیجه عبور آب با مقاومت هیدرولیکی بستر روبرو شده و افت فشار آب افزایش می‌یابد و در حالیکه هنوز تخلخل لایه‌های زیرین پر نشده افت فشار بستر به حداکثر مجاز می‌رسد و ادامه فیلتراسیون باعث تولید فشار منفی در لایه‌های زیرین می‌شود که پیامدهای نامطلوبی دارد. در صفحات دیگر مطلب فشار منفی مورد بحث و محاسبه قرار می‌گیرد. به هر حال این فیلترها به همین دلیل مورد بازنگری قرار گرفتند و فیلترهای دسته دوم، سوم و چهارم توسعه یافتند.





فیلترهای نوع دوم

در این نوع فیلترها از دو نوع گرانول مانند ماسه و آنتراسیت استفاده می‌شود. با توجه به اینکه دانسیته نسبی ماسه و آنتراسیت به ترتیب حدود ۲/۶ و ۱/۶ است. روابط قطر و سرعت ته‌نشینی دو نوع گرانول در معادله زیر نشان داده شده است:

$$\frac{d_1}{d_2} = \left(\frac{\rho_2 - \rho_w}{\rho_1 - \rho_w} \right)^{1/647}$$

که در آن:

d_1 و d_2 = اندازه موثر دو نوع گرانول؛

ρ_1 و ρ_2 = دانسیته دو نوع گرانول؛

ρ_w = دانسیته آب و معادل یک گرفته می‌شود.

بدین ترتیب که اگر اندازه موثر ماسه ۰/۵ میلیمتر انتخاب شود اندازه موثر آنتراسیت حدود ۱/۳ میلیمتر خواهد بود. اندازه موثر و ضریب یکسانی ماسه و آنتراسیت برای فیلترهای دو جنسی در جدول شماره ۶-۲ ارائه شده است.

در این شرایط پس از انجام بکواش، دوباره آنتراسیت در لایه‌های بالا و ماسه در لایه‌های زیر قرار می‌گیرد. با توجه به بار مجاز هیدرولیکی حدود دو برابر فیلترهای متعارف، تاسیسات زهکشی باید متناسب آن طراحی بشود. لذا محاسبات گذر آب از روزنه‌ها باید با دقت انجام گیرد تا در عبور آب افت فشار غیر ضروری ایجاد نشده و بار هیدرولیکی مطلوب حفظ شود.

جدول شماره ۶-۲ - حدود دانه‌بندی فیلترهای دو لایه (به میلیمتر)

ویژگی‌ها	ماسه	آنتراسیت
اندازه موثر	۰/۴۵	۰/۹
ضریب یکسانی	۱/۵	۱/۵
ضخامت بستر	۲۵۴	۶۱۰

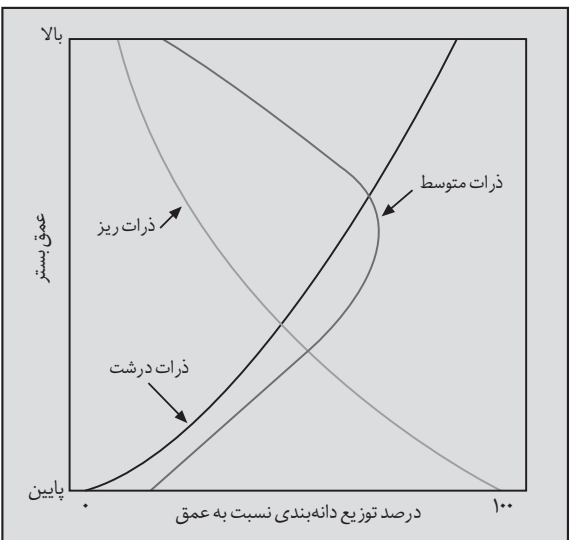


فیلترهای نوع سوم

این فیلترها که گرانول بستر آن از آنتراسیت، ماسه و گارنت^۱ تشکیل می‌شود به نام فیلترهای مخلوط معروف است. دانسیته آنتراسیت، ماسه و گارنت به ترتیب عبارتند از ۱/۶-۱/۷۵ و ۲/۵۵-۲/۶۵ و ۴/۵-۴/۵ و چون اندازه ذرات دارای یک طیف بزرگ است گارنت ریزدانه ممکن است سرعت ته‌نشینی کمتری نسبت به آنتراسیت درشت دانه داشته باشد. در نتیجه گرچه گارنت در لایه‌های زیرین، ماسه در لایه‌های میانی و آنتراسیت در لایه‌های بالا ته‌نشین می‌شوند اما فرم واقعی لایه بندی شبیه شکل شماره ۶-۲ خواهد بود و به همین جهت این فیلترها را مخلوط نام گذاری می‌نمایند زیرا نوعی اختلاط سه جنس اتفاق می‌افتد. وضعیت دانه‌بندی مصالح فیلترهای سه جنسی در جدول شماره ۶-۳ نشان داده شده است.

به طور کلی اندازه موثر آنتراسیت در این نوع فیلترها ۱-۱/۵ میلیمتر و اندازه موثر ماسه ۰/۵-۰/۵۵ میلیمتر و اندازه موثر گارنت ۰/۲۵-۰/۲۸ میلیمتر است و ضخامت آنها نیز به ترتیب ۵۰، ۳۰ و ۸

شکل شماره ۶-۲ - توزیع دانه‌بندی سه جنس گرانول در فیلتر مخلوط



جدول شماره ۶-۳ - حدود دانه‌بندی مصالح فیلتر مخلوط (به میلیمتر)

ویژگی‌ها	ماسه	آنتراسیت	گارنت
اندازه موثر	۰/۳-۰/۵	۱/۲-۰/۸	۰/۱۵-۰/۲۵
ضریب یکسانی	≈۱/۵	≈۱/۵	≈۱/۵
ضخامت بستر	۱۵۰-۳۰۰	۵۰۰-۶۰۰	۵۰-۱۰۰
دانسیته	۲/۵۵-۲/۶۵	۱/۶-۱/۷۵	۴-۴/۵

سانتیمتر است اما در طرح‌هایی ممکن است روابط بالا حفظ نشود. به هرحال پس از انجام عملیات آزمایشی می‌توان اندازه‌ها را انتخاب نمود و به این جهت استفاده از فیلترهای دارای امتیاز ویژه^۲ مورد توصیه است که ویژگی‌های مصالح بستر آنها دارای طیف تعریف شده می‌باشد.

اما اگر به علت محاسبات غلط، اندازه و دانه‌بندی مناسب انتخاب نشود اختلاط در حد زیاد انجام می‌گیرد و فیلتر نه دو لایه و نه مخلوط خواهد بود زیرا ذرات ریز تخلخل لایه‌های درشت دانه را پر می‌کند. در نتیجه مقاومت هیدرولیکی زیادی در همان ابتدای بهره‌برداری بوجود می‌آید.

تجربه نشان می‌دهد که در فضا‌های بین دو لایه خطر تجمع ذرات معلق بیشتر است. انجام محاسبات در مورد سرعت ته‌نشینی اندازه‌های ۱۰ درصدی و ۶۰ درصدی دو یا سه نوع گرانول در دماهای قابل انتظار و میزان آب بکواش در شرایط مختلف مورد توصیه است که به عنوان نمونه در صفحات بعد آورده شده است. به هر حال باید ویژگی‌های پیشنهاد شده مراجع را مراعات نمود.

فیلترهای نوع چهارم

در امریکا تمایل به کاربرد فیلترهای تند با ضخامت بیشتر مصالح و گرانول‌های درشت‌تر بستر وجود دارد که می‌تواند تک لایه و یا دو



افزایش سرعت آب در فیلتر است باعث می‌شود که ذرات معلق آب ورودی به فیلتر به لایه‌های زیرین ماسه حمل شود و لذا احتمال فرار^۳ آنها از فیلتر افزایش می‌یابد و نیاز به توجه بهره‌بردار ماهر دارد. مطالعات نشان می‌دهد که بار هیدرولیکی فیلترهای دو لایه و مخلوط می‌تواند تا سقف حدود ۲۰ متر در ساعت برسد در حالیکه کیفیت آب تولیدی هم مطلوب خواهد ماند. به‌علاوه فیلترهای درشت دانه و با بار هیدرولیکی ۲۰ متر در ساعت، مشاهده شده است که کدورت آب ورودی حدود ۶۰ ان تی یورا تحمل نموده و آبی طبق استاندارد تولید می‌نمایند.

طی چند دهه اخیر بهره‌برداری از فیلترهای با نرخ کاهشی نیز مورد توجه قرار گرفته و مشاهده گردید که کیفیت آب آنها در حدود مطلوب است و تنها ابزار لازم روی لوله خروجی فیلتر نوعی کنترل‌کننده میزان حداکثر جریان است و توجه گردید که بسیاری از فیلترهای متعارف به دلیل کالیبره نشدن و یا خراب شدن ابزار کنترل جریان، در عمل با نرخ کاهشی بهره‌برداری می‌شوند.

نکته اصلی در فیلترهای نرخ کاهشی^۴ جلوگیری از افزایش و یا کاهش ناگهانی بار هیدرولیکی فیلتر است زیرا افزایش ناگهانی بار هیدرولیکی می‌تواند باعث فرار کدورت از فیلتر بشود و کاهش ناگهانی آن هم باعث می‌شود که حباب‌های محبوس جابجا شده و به وضعیت بستر آسیب برساند. حفظ میزان عبور آب از فیلتر که همان بار هیدرولیکی است باید یا ثابت باشد و یا تغییرات آن ناگهانی نباشد. مکانیسم‌های حفظ آن و ثابت نگهداشتن سطح آب فیلتر تحت نام روش‌های کنترل کار فیلتر عبارتند از:

- کنترل میزان آب ورودی به فیلتر؛
- کنترل میزان آب خروجی از فیلتر؛
- ترکیب هر دو روش.

در اکثر تصفیه‌خانه‌های آب دنیا که از فیلتر تند بهره‌برداری می‌کنند سعی بر حفظ بار هیدرولیکی فیلتر دارند. استفاده از تجهیزات خودکار

لایه انتخاب بشود. زیرا می‌توان بار هیدرولیکی آنها را افزایش داد و به همین دلیل به فیلترهای با بار زیاد^۱ معروف هستند. این فیلترها بیشتر در شرایطی که فیلتراسیون مستقیم در نظر است کاربرد دارند. ضخامت مصالح ۱-۳ متر و اندازه موثر گرانول آنتراسیت ۱/۲-۱/۵ میلیمتر می‌باشد. در مواردی در زیر آنتراسیت، ماسه با اندازه موثر ۰/۶-۱ میلیمتر و به ضخامت ۰/۱۵-۰/۳ متر قرار داده می‌شود. این فیلترها می‌توانند با بار هیدرولیکی حدود ۳۰ متر در ساعت مورد بهره‌برداری قرار گیرند. دلیل اصلی عمق زیاد بستر، افزایش زمان تماس می‌باشد و برای فیلترهای با گرانول کربن فعال بیشتر رعایت می‌شود.

طرح‌های زیادی با این ویژگی‌ها در امریکا مورد بهره‌برداری است. این فیلترها در ایران زیاد مورد توجه قرار ندارد و تحقیقاتی هم در این زمینه انجام نگرفته و بنابراین در صورت لزوم باید از پاتنت‌های موجود استفاده شود. در ایران در تصفیه آب گرفته شده از دریاچه‌های پشت سدها که نیازی به زللسازی ندارد، از فرایند فیلتراسیون مستقیم، یا از دو مرحله فیلتراسیون و یا از فیلترهای دانه درشت و عمیق می‌توان استفاده نمود.

۶-۶- بار هیدرولیکی^۲

تا حدود ۶۰ سال پیش بهره‌برداری از فیلترهای تند متعارف به نحوی بود که سرعت آب در بستر فیلتر در حدود ۴-۵ متر در ساعت بود که آن را بار هیدرولیکی نامند. با انتخاب اندازه موثر ماسه بزرگ‌تر و کاهش ضخامت آن به حدود ۶۵ سانتیمتر، بار هیدرولیکی به حدود ۸ متر در ساعت رسید. زیرا معلوم گردیده که تنها حفظ بار هیدرولیکی کم متضمن تولید آب بهتر نیست بلکه پیش نیاز تولید آب خوب توسط فیلتر، عملکرد مطلوب فرایندهای تصفیه قبل از آن مانند اختلاط دلمه‌ساز و زللسازی است. افزایش بار هیدرولیکی که در حقیقت



بیشتر معمول است لذا روی لوله ورودی و یا خروجی تاسیساتی پیش‌بینی می‌شود که طبق برنامه از پیش تعیین شده سطح آب در فیلتر و میزان عبور آب و یا هر دو را تحت کنترل قرار می‌دهد. در بعضی تصفیه‌خانه‌های آب میزان آب ورودی بدون توجه به تغییرات ارتفاع آن روی بستر تحت کنترل قرار می‌گیرد.

۶-۶-۱- کنترل دستی میزان بار هیدرولیکی

در تصفیه‌خانه‌های کوچک و دور از مراکز صنعتی و دسترسی به نیروی انسانی ماهر از این روش استفاده می‌شود. بدین ترتیب که شیر روی لوله ورودی آب به فیلتر نصب و با کنترل درجه بازشدگی آن میزان آب ورودی به فیلتر ثابت حفظ می‌شود. در این صورت در ابتدای بهره‌برداری از فیلتر، شیر روی لوله خروجی باید در حدی بسته نگهداشته شود که آب روی بستر ماسه بالا آمده و فشار هیدرولیکی ایجاد شود.

با ادامه فیلتراسیون آب و افزایش گرفتگی در فیلتر و در نتیجه افزایش مقاومت هیدرولیکی، ارتفاع آب روی ماسه افزایش می‌یابد و در این وضعیت بهره‌بردار شیر روی لوله خروجی را در حدی باز می‌نماید که ارتفاع آب به حالت اول بر گردد. باز کردن تدریجی این شیر ادامه پیدا می‌نماید تا به حداکثر بازشدگی خود می‌رسد و حال به مرور زمان دوباره سطح آب روی بستر بیشتر می‌شود که وقتی به یک حداکثر از پیش تعیین شده می‌رسد، زمان بکواش^۱ فیلتر خواهد بود. در صورتیکه رقوم ارتفاعی لوله خروجی که ادامه همان لوله اصلی شبکه زهکش فیلتر است در رقومی هم سطح رقوم روی ماسه بالا آورده شود، کنترل میزان آب ورودی به طور خودکار انجام می‌گیرد و دیگر نیازی به کنترل شیر پیش گفته نیست و نرخ فیلتراسیون ثابت نخواهد بود که در بحث فیلترهای با نرخ کاهشی مورد مطالعه بیشتر قرار خواهد گرفت. برای توزیع یکسان آب در چند واحد فیلتر می‌توان

از حوضچه‌های تقسیم‌دارای شیرهای سرریزی^۲ نیز استفاده نمود.

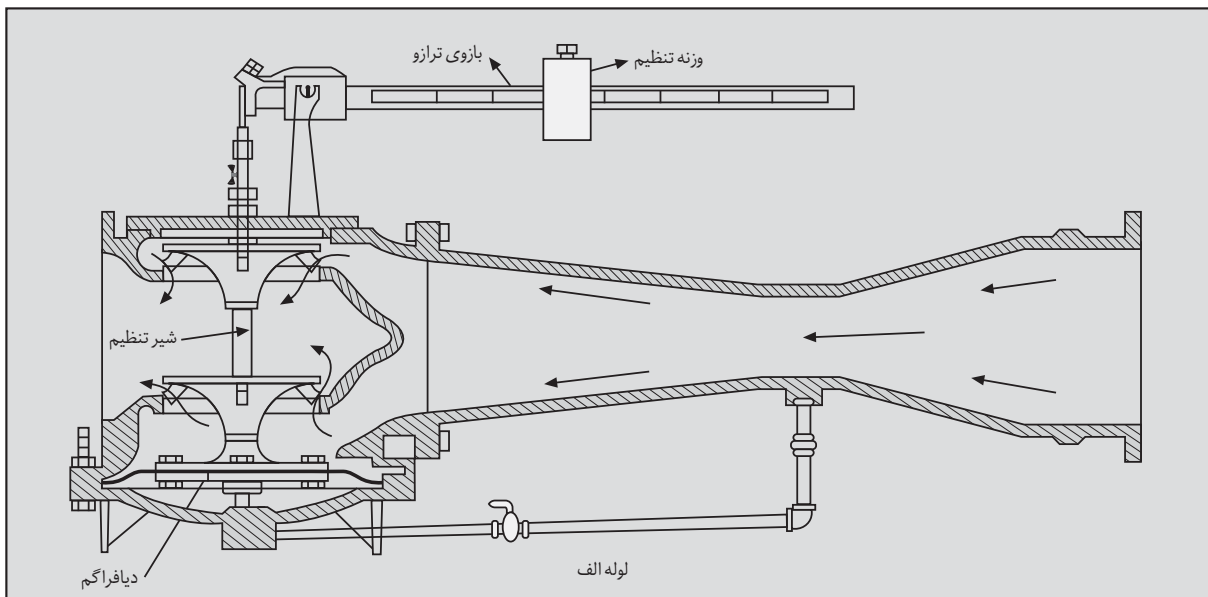
۶-۶-۲- کنترل خودکار

روش کنترل خودکار فیلترهای تند ثقلی بر اساس اندازه‌گیری میزان عبور آب و ارسال اطلاعات به کنترل‌کننده است و سپس کنترل‌کننده با ارسال فرمان، شیر عبور آب از فیلتر را تنظیم می‌نماید. سازندگان مختلف تاسیسات ویژه خود را دارا هستند که نمونه آن در شکل شماره ۶-۳ نشان داده شده است.

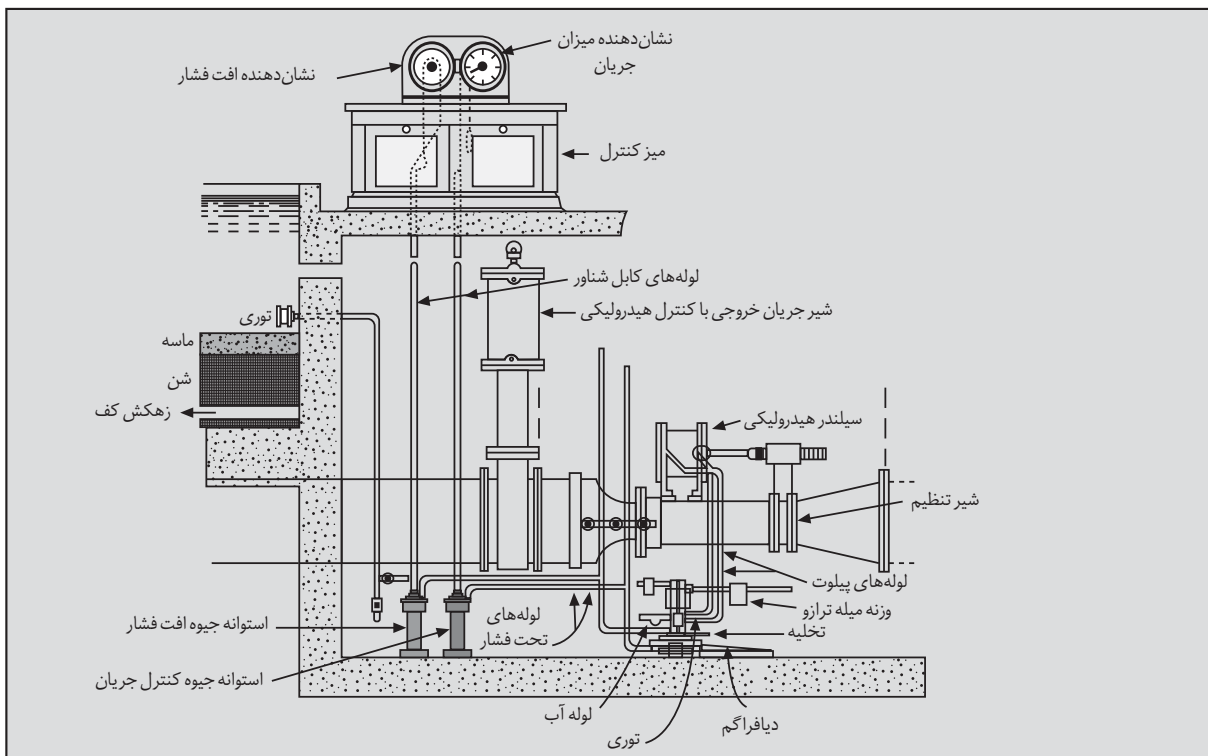
مکانیسم کار در این تجهیزات چنین است که اگر میزان جریان آب در وانتری متر افزایش یابد، افزایش سرعت باعث کاهش فشار هیدرولیکی در گلوئی آن شده و از طریق لوله نازک الف به صفحه زیرین شیر منتقل می‌شود و چون فشار روی صفحه بالایی توسط اهرم از پیش تعیین گردیده باعث می‌شود که برای جبران اختلاف فشار صفحه را به پایین حرکت داده و باعث افزایش افت فشار و کاهش میزان عبور آب گردد. لذا می‌توان میزان عبور آب از شیر را بر اساس بار هیدرولیکی فیلتر از پیش تعیین و شیر را تنظیم نمود. علاوه بر ابزار کنترل میزان عبور آب، تمهیدات لازم برای تعیین افت فشار هیدرولیکی و میزان کدورت آب خروجی نیز پیش‌بینی می‌شود که مورد بحث قرار می‌گیرد. در بیشتر فیلترهای تند دارای امتیاز ویژه، در سالن بهره‌برداری واقع در بالای راهرو شیرها، میز کنترل قرار دارد که در روی آن صفحه نمایش افت فشار و میزان عبور آب پیش‌بینی شده و کنترل شیرهای مختلف فیلتر توسط دکمه‌ها و یا اهرم‌هایی انجام می‌گیرد. در شکل شماره ۶-۴ نمونه‌ای از تاسیسات کنترل و رابطه آن با میز کنترل نشان داده شده است.

دستگاه اندازه‌گیری افت فشار هیدرولیکی در فیلتر طبق شکل پیش‌گفته یک استوانه حاوی جیوه است که توسط دو لوله باریک به فیلتر متصل است. لوله اول در رقوم سطح ماسه فیلتر به آب متصل

شکل شماره ۶-۳- کنترل کننده تحت فشار (شرکت سیمپلکس)



شکل شماره ۶-۴- تاسیسات کنترل کار فیلتر تند ثقلی (شرکت بیلدر^۱)



1. Builder Providence



است و فشار آب روی فیلتر را نشان می‌دهد و لوله دوم به لوله خروجی آب فیلتر شده متصل است که فشار هیدرولیکی باقی مانده را نشان می‌دهد. در نتیجه ستون جیوه تحت تاثیر اختلاف دو فشار قرار می‌گیرد که شناور روی آن توسط کابلی به صفحه نمایش میز کار متصل است.

دستگاه اندازه‌گیری میزان عبور آب فیلتر شده نیز توسط یک وان‌توری متر اندازه‌گیری می‌شود. یک استوانه دیگر حاوی جیوه نیز همراه با شناور بر اساس همان مکانیسم اطلاعات را به صفحه نمایش روی میز کنترل منتقل می‌نماید. چنین تاسیساتی نیز باید روی لوله آب بکواش فیلتر هم نصب گردد که در بخش بکواش مورد گفتگو قرار می‌گیرد. امروزه تجهیزات متنوع جدیدی به بازار آمده است که کار تشخیص متغیرها و تنظیم آنها را به طور خودکار انجام می‌دهد.

در ابتدای بهره‌برداری از فیلتر پس از هر بار بکواش خوب، به دلیل تخلیه فضاهای خالی یا تخلخل از مواد معلق و کاهش قابل ملاحظه مقاومت هیدرولیکی بستر در مقابل عبور آب ممکن است میزان عبور آب از فیلتر افزایش یابد و به دلیل افزایش سرعت جریان، کدورت و باکتری‌ها در آب خروجی مشاهده شود لذا تاسیسات کنترل مورد بحث باید مانع بروز آن شود. برای اطمینان از کیفیت آب تولیدی، تخلیه آب فیلتر شده در ابتدای بهره‌برداری به شبکه فاضلاب محوطه متداول است و تمهیدات لازم هم پیش‌بینی می‌شود که در جای خود به آن پرداخته خواهد شد^۱.

با افزایش ساعات کارکرد فیلتر و در نتیجه تجمع ذرات معلق در فضاهای بین ذرات ماسه و یا آنتراسیت دوباره بستر در مقابل جریان آب مقاومت هیدرولیکی نشان می‌دهد که افزایش افت فشار باعث کاهش میزان عبور آب از فیلتر می‌شود. تاسیسات اندازه‌گیری میزان جریان، کاهش عبور آب را تشخیص داده و از طریق کنترل کننده، شیر خروجی دستگاه بیشتر باز می‌شود تا میزان عبور آب افزایش یابد. لذا فلسفه کار چنین است که برای حفظ میزان ثابت تولید آب، افت

فشار هیدرولیکی در فیلتر و تاسیسات آن هم باید ثابت بماند. در ابتدای فیلتراسیون که بستر تمیز است و افت فشار حداقل است تاسیسات فیلتر افت فشار ایجاد می‌کند و به مرور که افت فشار بستر افزایش می‌یابد افت فشار توسط تاسیسات کاهش پیدا می‌نماید. بدین ترتیب با ثابت ماندن افت فشار هیدرولیکی میزان عبور آب از فیلتر و بار هیدرولیکی ثابت حفظ می‌گردد.

در تصفیه‌خانه‌های با ظرفیت زیاد یک کنترل کننده مرکزی پیش‌بینی می‌شود که وضعیت ارتفاع آب در مخزن جمع‌آوری آب فیلتر شده و کار فیلترها را تنظیم می‌نماید. در بعضی دیگر بین ارتفاع آب در مخزن آب پاک تصفیه‌خانه و رقوم سطح آب در حوضچه ورودی آب خام و یا تاسیسات قبل از آن ابزار دقیق نصب می‌شود که سطح آب را پایش می‌نماید و در نتیجه میزان آب خام ورودی را تحت کنترل قرار می‌دهد. به طور کلی فیلترهای ثقلی یک تصفیه‌خانه آب باروش‌های زیر طراحی و مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرند که هر کدام دارای مزایا و محدودیت‌هایی است و برای شرایط خاص مناسب‌ترین است:

الف- نرخ ثابت تولید آب

- در این نوع فیلترها شرایط زیر باید پیش‌بینی شده و کنترل می‌شود.
- با حفظ رقوم آب یکسان در تمام فیلترها، فشار هیدرولیکی روی ماسه‌ها یکسان خواهد بود؛
- رقوم آب در کانال آب خروجی فیلترها ثابت حفظ می‌شود؛
- با پیش‌بینی تاسیساتی مانند تاسیسات مشابه شکل شماره ۶-۴ میزان آب خروجی و در نتیجه میزان آب ورودی به فیلترها یکسان حفظ می‌شود؛
- با تغییر میزان آب زلال و یا خام ورودی به کانال توزیع آب بین فیلترها و یا به دلیل گرفتگی در فیلترها و یا کاهش میزان تولید آب و یا در زمان انجام بکواش هر فیلتر و یا زمانی که فیلتری برای تعمیرات از مدار تولید خارج می‌شود، رقوم آب در کانال پیش‌گفته

۱. این فرایند با نام Filter to Waste یا Filter to Drain شناخته می‌شود.



- عبور آب از لوله خروجی توسط سرریزی که هم ارتفاع رقوم ماسه است کنترل می شود و در نتیجه هیچگاه بستر فیلتر از آب خالی نمی شود؛
- با افزایش مدت بهره برداری و فیلتراسیون و بروز گرفتگی و در نتیجه افزایش افت فشار، ارتفاع آب روی بستر فیلتر افزایش می یابد. باید برای این افزایش ارتفاع دیوارهای حوضچه بلندتر پیش بینی شود که حدود $1/5 - 1/9$ متر است لذا میزان تولید آب فیلتر شده تابعی از میزان آب ورودی و ارتفاع آب روی بستر است. در یچه های ورودی آب طوری تنظیم می شود که آب خام کانال توزیع فیلترها به طور یکسان بین فیلترها تقسیم شود؛
- با افزایش مقاومت هیدرولیکی و افزایش ارتفاع آب روی بستر برای حفظ میزان آب تولیدی، زمانی می رسد که باید فیلتر از مدار تولید خارج و بکواش شود. در این نوع فیلترها سنجش میزان گذر آب و کدورت انجام می گیرد و سنجش فشار هیدرولیکی ضرورت ندارد.

❁ د- فیلتر با نرخ کاهشی تولید آب

در این نوع فیلترها روی لوله خروج آب از فیلتر هیچ تاسیسات کنترلی نصب نمی گردد بلکه لوله خروجی به سرریزی خاتمه می یابد که رقوم آن، هم ارتفاع سطح مصالح فیلتر است لذا فیلتر نه از آب خشک شده و نه گرفتار فشار منفی می شود. توزیع آب بین فیلترها بستگی به میزان گذر آب از هر فیلتر دارد.

با فرض یکسانی افت فشار هیدرولیکی در ورودی فیلترها، طبیعی است که رقوم سطح آب در تمام فیلترهای متصل به یک کانال توزیع عمومی یکسان خواهد بود. با ادامه عبور آب و بروز گرفتگی، سطح آب در آنها تغییر پیدا می نماید. شرح کار در این فیلتر بدین قرار است که روی لوله خروجی هر فیلتر یک ابزار کنترل حداکثر میزان عبور آب قرار دارد تا بار هیدرولیکی در آنها از حداکثر مجاز تجاوز

نماید. این ابزار کنترل یک صفحه روزنه^۱ است که باید مورد طراحی و انتخاب قرار گیرد و چون در ابتدای کار پس از بکواش احتمال عبور ذرات معلق از فیلتر وجود دارد لذا پیش بینی تخلیه آب به شبکه زهکشی ضرورت دارد. مطالعات نشان داده است که این فیلترها می توانند آبی با کیفیت مطلوب تولید نمایند و به علاوه فاصله زمانی بین دو بکواش هم طولانی تر باشد. تاسیسات اصلی روی لوله خروجی عبارت از جریان سنج و فشار سنج می باشد. در شکل شماره ۶-۸ یک فیلتر با نرخ کاهشی نشان داده شده است.

❁ ه- فیلترهای خود بکواش^۲

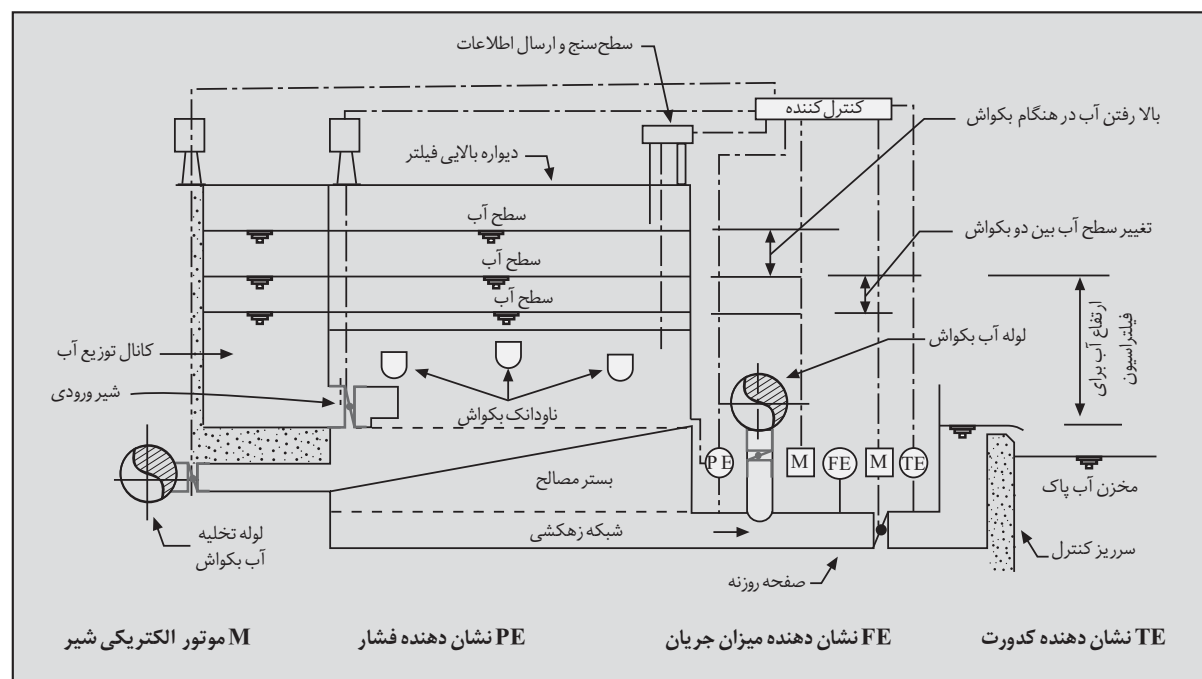
گرچه می توان ویژگی های این فیلترها را در بخش بکواش مطرح نمود اما از طرف دیگر در رابطه با نحوه کنترل کار فیلتراسیون، این فیلتر می تواند در این بخش قرار بگیرد. در این فیلترها حداقل ۴ فیلتر باید به یک کانال عمومی آب پاک متصل باشند تا در هنگامی که یک فیلتر برای بکواش آماده می شود آب فیلتر شده سه واحد دیگر به آن هدایت شود تا سرعت کافی برای بکواش ایجاد گردد. (شکل شماره ۶-۹) ارتفاع سرریز کنترل در رقومی باید قرار گیرد که ارتفاع آب روی ماسه کار فیلتراسیون را انجام دهد و همچنین با باز کردن شیر مخصوص بکواش هر یک از چهار فیلتر، آب فیلتر شده سه واحد دیگر به آن هدایت شود.

با توجه به نبود نیاز به تاسیسات کنترل، شیرهای دیگر، پمپ بکواش و غیره استفاده از این نوع فیلترها در طرح های کوچک تصفیه آب باید مورد توجه قرار گیرد. گرچه در طرح های بزرگ هم این استفاده دیده می شود.

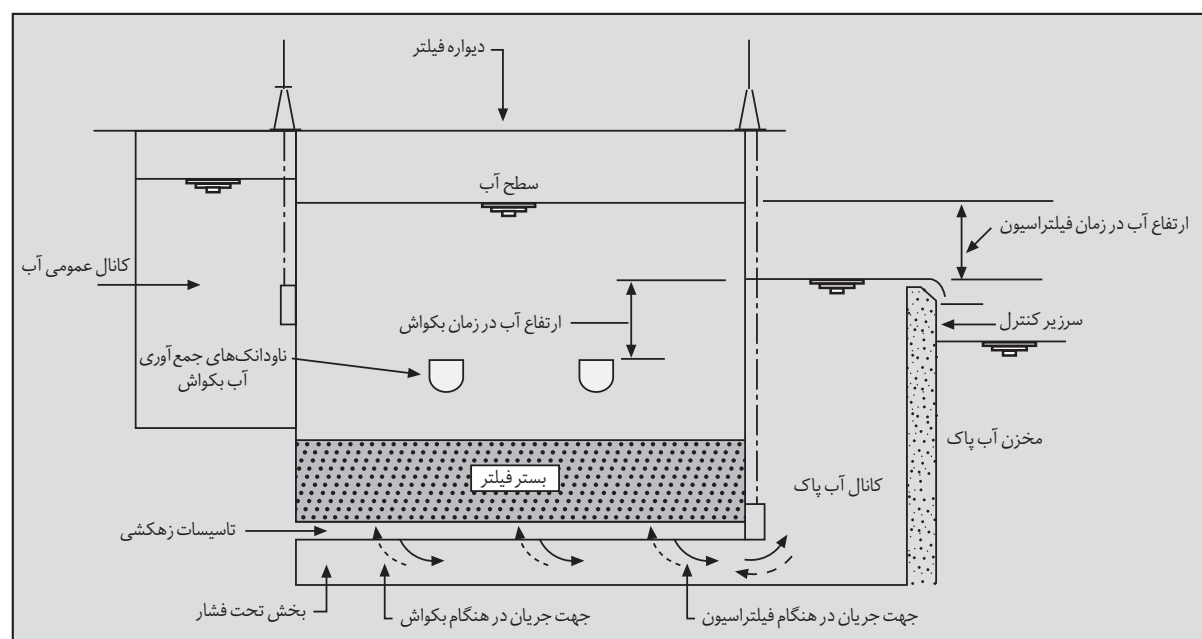
در شکل شماره ۶-۱۰ یک مجموعه شامل شش فیلتر سبز و یک کانال عمومی آب فیلتر شده نشان داده شده است که در مطالعات فاز اول مهندسین مشاور پارس جویاب آورده شده است.

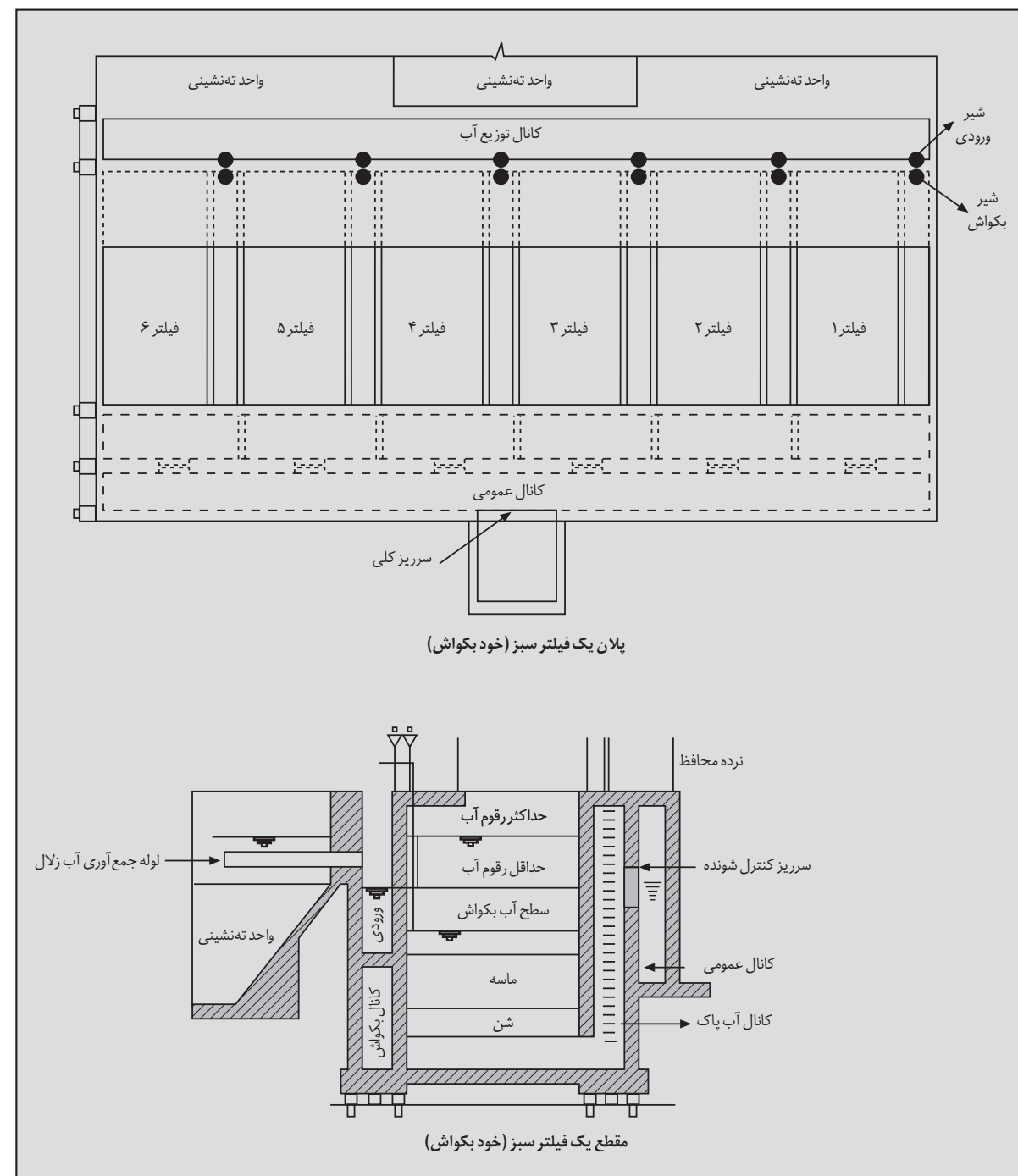


شکل شماره ۶-۸- مقطع یک فیلتر با نرخ کاهشی



شکل شماره ۶-۹- مقطع یک فیلتر خود بکواش



شکل شماره ۱۰-۶- کلیات پلان و مقطع یک مجموعه فیلتر سبز (خود بکواش)^۱

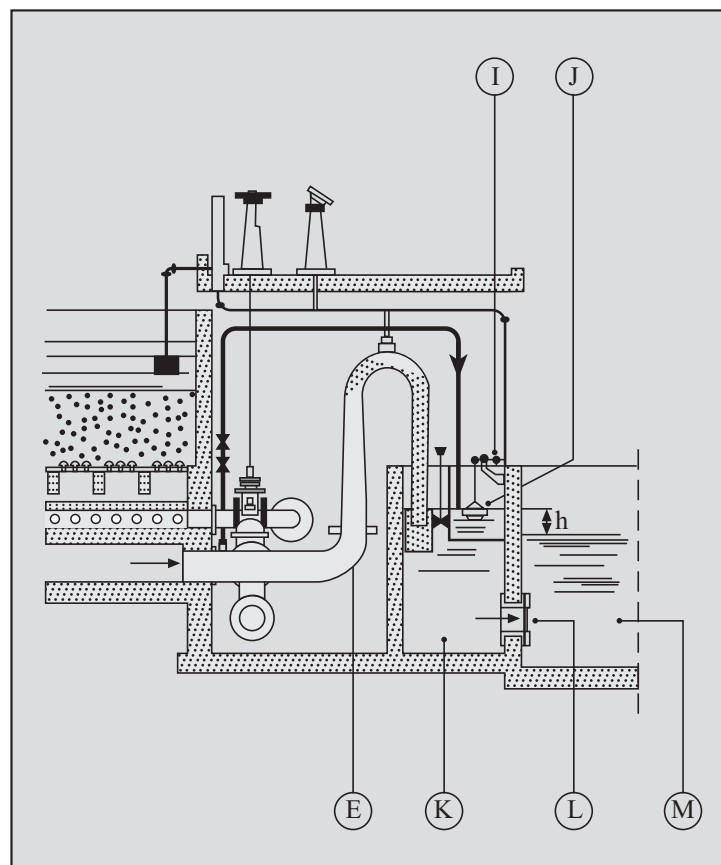
۱. برگرفته از گزارشات مهندسین مشاور پارس جویاب



و- کنترل با سیفون

در ایران فیلترهای ماسه‌ای تند ثقلی فراوانی توسط تاسیسات سیفون کنترل می‌شوند که کلیات آن در تضاد با بحث‌های قبلی نیست. سیفون پایین دست فیلتر می‌تواند به صورتی عمل نماید که سطح آب روی فیلتر متغیر و یا ثابت باشد.

در صورتیکه شناور روی فیلتر در بالایی بستر نصب گردد شناور با بالا رفتن و پایین آمدن، کنترل کننده سیفون را وادار به عمل می‌نماید. کنترل کننده با هدایت میزان متغیر هوا به گلولی سیفون میزان عبور آب را تنظیم می‌نماید و لذا سطح آب در بالا دست فیلتر ثابت حفظ می‌گردد و به همین جهت این نوع تاسیسات را کنترل بالادست نامند. در صورتیکه شناور روی حوضچه پایین دست هر فیلتر

شکل شماره ۱۱-۶- دیاگرام سیفون نیرپیک دگرمون^۱ با کنترل پایین دست

نصب گردد با حرکت خود شیر کنترل کار سیفون را تنظیم می‌نماید، در این صورت کنترل پایین دست نامیده می‌شود. لذا سیفون کارش حفظ نرخ فیلتراسیون است.

در شکل شماره ۶-۱۱ سیفون با کنترل پایین دست نشان داده شده است. آب فیلتر شده از طریق سیفون E وارد حوضچه K می‌شود. این حوضچه ویژه هر فیلتر توسط روزنه L به کانال عمومی M آب پاک متصل است. میزان عبور آب از لوله سیفون E توسط شیر کنترل با هدایت هوا به داخل سیفون تنظیم می‌گردد. شناور J با حفظ سطح آب در مخزن K ورود هوا به سیفون را تنظیم می‌نماید. میزان تولید آب توسط هر فیلتر تحت تاثیر اختلاف ارتفاع h می‌باشد که برای تمام فیلترها یکسان است لذا تولید آب فیلترها برابر می‌باشد.

۶-۷- فیلترهای تند تحت فشار

در بسیاری از مراجع جدید صنعت تصفیه آب برای مصارف شرب نامی از فیلترهای تند تحت فشار دیده نمی‌شود و در بعضی دیگر عملکرد آنها را از نظر اعتماد به کیفیت آب تولیدی سوال برانگیز می‌دانند. با عنایت به اینکه این نوع فیلترها در صنعت آب کشور ما فراوان دیده می‌شود مورد گفتگو قرار می‌گیرد. فیلترهای ماسه‌ای تند تحت فشار شامل استوانه‌ای فولادی و یا مصالح دیگر است که در آن ماسه‌ای شبیه با ویژگی‌های ماسه فیلترهای تند ثقلی قرار داده می‌شود. در بسیاری موارد آب با فشاری بیشتر از افت فشار در فیلتر و تاسیسات مربوط به فیلتر توسط پمپ به آن هدایت شده و آب فیلتر شده تحت فشار از شبکه زهکش کف و لوله انتهایی خارج می‌شود.

1. Siphon Degremont Neyrpic



میزان بکواش از مهمترین تجهیزات لازم برای بهره‌برداری از آن است. برای عملکرد مطلوب فیلتر تحت فشار واحدهای اختلاط سریع، ذره‌سازی و زلال‌سازی ضرورت دارد و لذا با حفظ معیارهای کیفیت آب تولیدی در حد استاندارد ۱۰۵۳، طراحی و ساخت این نوع تاسیسات ارزان‌تر از نوع ثقلی آن نخواهد شد زیرا هزینه‌های مصرف برق و کنترل خوردگی باعث افزایش قیمت تولید آب می‌شود.

گفته می‌شود در شرایطی که فشار هیدرولیکی آب خام بالادست فیلتر برای جبران افت فشار وجود دارد استفاده از آن یک گزینه است زیرا بدین ترتیب می‌توان انرژی کمتری به کار برد و در صورت لزوم از فشار باقی‌مانده برای انتقال و توزیع آب تولیدی هم بهره‌گیری نمود. اما انجام عملیات ذره‌سازی و زلال‌سازی تحت فشار دارای ابهامات زیادی است و حتی اگر فیلتراسیون مستقیم مد نظر باشد یعنی زلال‌سازی مورد نیاز نباشد شکسته شدن دوباره ذرات تشکیل شده محتمل است. لذا باید توجه داشت که عملکرد آن در حد انواع ثقلی، مطلوب نیست. در نتیجه آب خام باید از نظر میکروبی در کلاس آب‌های بسیار آلوده نباشد و مهمتر اینکه آلودگی آن دستخوش تغییرات ناگهانی نشود. اندیشه فیلتراسیون در خط یعنی انجام ذره‌سازی و فیلتراسیون درون فیلتر هم سوال برانگیز است زیرا لازم است که کیفیت آب خام از نظر کدورت از حدود ۲۰ ان تی یو بیشتر نشود و دوم اینکه با توجه به ضرورت زمان لازم حدود ۱۵ دقیقه برای ذره‌سازی و عمق لازم برای فیلتراسیون موثر، فرایند کار نمی‌تواند نیازمندی‌های پیش‌گفته را تامین نماید مگر برای شرایط ویژه طراحی و ساخته شود. لذا کاربرد آن برای تصفیه آب از نظر زدایش میکروبی و بیماری‌زایی نمی‌تواند مورد اعتماد باشد



شکل شماره ۶-۱۲- نمای یک واحد فیلتر تند تحت فشار



مگر آن که معیارهای طراحی بسیار سختگیرانه انتخاب شود که مجدداً مسئله اقتصادی مطرح می‌شود. مهم‌تر اینکه در صورت بروز نقص در تاسیسات زهکش فیلتر و توزیع نشدن یکسان آب بکواش در سطح فیلتر و در نتیجه بروز اشکال در توزیع یکسان بار هیدرولیکی در سطح فیلتر مشکلات عدیده‌ای بوجود می‌آید. با انجام بازدیدهای مرتب از سطح مصالح فیلتر در استوانه می‌توان پیامد خرابی شبکه زهکش را مشاهده نمود. ضرورت بازدیدهای مستمر همراه با احتمال تغییر بار آلودگی آب خام محدودیت کاربرد آن را نشان می‌دهد.

بهره‌برداران در مواردی عملکرد نامطلوب این نوع فیلترها را با کاربرد میکروبخش پس از تصفیه جبران می‌نمایند که می‌تواند پیامدهای نامطلوب دیگری داشته باشد زیرا کلرزنی پس از عملکرد مطلوب واحدهای تصفیه آب مورد نظر است و نه به عنوان فرایندی از فرایندهای تصفیه. به هر حال کاربرد این نوع فیلترها در تصفیه آب‌های زیرزمینی که دارای آهن و منگنز و یا هیدروژن سولفور است و از نظر میکروبی خطری برای مصرف‌کننده ندارد قابل توجه است. این فیلترها می‌توانند برای شرایط عمودی و یا افقی طراحی شوند که ظرفیت تولید در تصمیم‌گیری دخالت دارد (شکل شماره ۶-۱۳ و ۶-۱۴). در جدول شماره ۶-۴ و ۶-۵ ویژگی‌های عمومی فیلترهای تحت فشار ارائه شده است که در امریکای شمالی رعایت می‌شود و لذا برای شرایط ایران باید میزان بار سطحی خیلی کمتر انتخاب بشود.

جدول شماره ۶-۴- ویژگی‌های فیلترهای ایستاده یا عمودی

قطر داخلی استوانه (متر)	سطح استوانه (مترمربع)	میزان آب بکواش (مترمکعب در ساعت)	میزان تولید آب* (مترمکعب در ساعت)
۰/۷۶	۰/۴۵	۱۰/۸	۳/۲۴
۰/۹۵	۰/۷۰	۱۷/۰	۵/۱
۱/۰۶	۰/۸۸	۲۱/۰	۶/۳
۱/۲۲	۱/۱۷	۲۸/۰	۸/۴
۱/۳۷	۱/۴۷	۳۵	۱۰/۶

* بار سطحی حدود ۷/۲ متر در ساعت و میزان بکواش ۲۴ متر در ساعت

متاسفانه برای کشور ما در این زمینه معیار و استاندارد دی تهیه نشده است و حتی نقشه‌ای با گزارش ارزیابی عملکرد آن در دسترس نیست. البته نشریه ۳-۱۲۱ نیز کاربرد آن را با شرایطی مقبول می‌داند و بار سطحی آن را نیز ۷ متر در ساعت توصیه نموده است که نزدیک به استاندارد امریکاست. در این فیلترها آب خام از بالای استوانه و از طریق پخش‌کننده به روی ماسه ریخته و از شن نگهدارنده عبور کرده و توسط شبکه زهکش جمع‌آوری و پس از عبور از تاسیسات کنترل به خارج از فیلتر هدایت می‌شود. به جای ماسه از آنتراسیت با دانه‌بندی مناسب هم می‌توان استفاده نمود. ویژگی‌های مصالح بستر این فیلترها طبق معیارهای امریکا به قرار زیر است:

- حدود ۳۰ سانتیمتر ماسه با اندازه موثر ۰/۴۵-۰/۵ میلیمتر؛
- حدود ۲۵ سانتیمتر ماسه درشت با اندازه موثر ۰/۸-۱/۲ میلیمتر؛
- حدود ۱۰ سانتیمتر شن با اندازه موثر ۰/۳۲-۰/۶۴ میلیمتر؛
- حدود ۱۰ سانتیمتر شن با اندازه موثر ۰/۶۴-۱/۲۷ میلیمتر؛
- حدود ۲۰ سانتیمتر شن با اندازه موثر ۱/۲۷-۲/۵۴ میلیمتر؛
- حدود ۱۰ سانتیمتر شن با اندازه موثر ۲/۵-۴ میلیمتر.

و در صورتیکه از آنتراسیت استفاده شود ویژگی‌های دانه‌بندی آن عبارت است از:

- ۴۵ سانتیمتر آنتراسیت با اندازه موثر ۰/۷-۰/۸ میلیمتر؛
- ۲۲ سانتیمتر آنتراسیت با اندازه موثر ۰/۲۴-۰/۵ میلیمتر؛

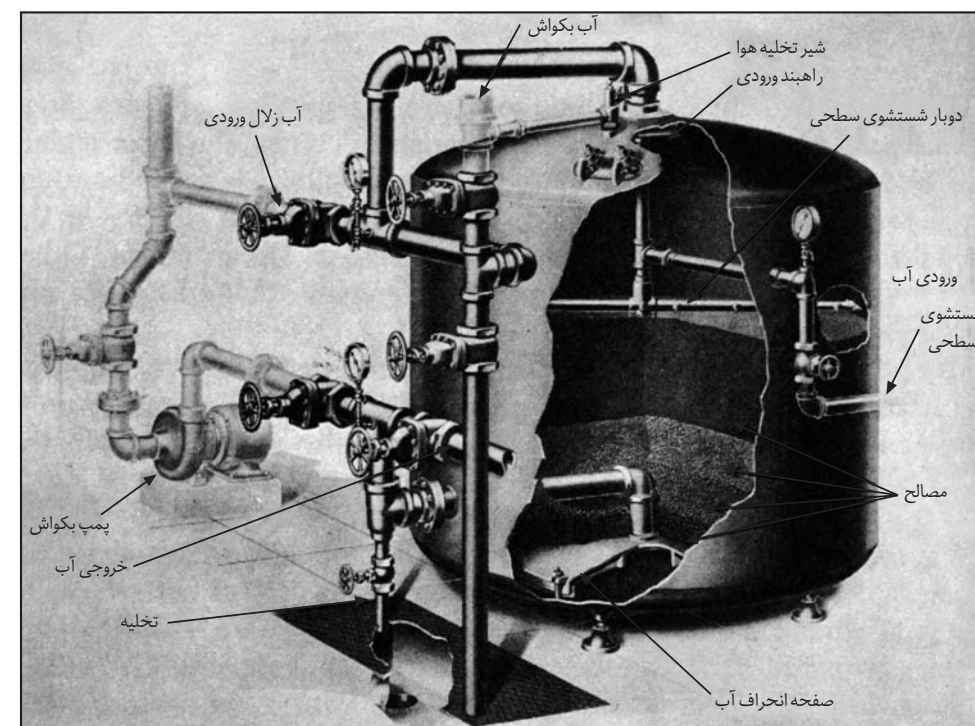
جدول شماره ۶-۵- ویژگی‌های فیلترهای افقی با قطر ۲/۴۴ متر

طول استوانه (متر)	سطح استوانه (مترمربع)	میزان آب بکواش (مترمکعب در ساعت)	میزان تولید آب* (مترمکعب در ساعت)
۳/۲	۶/۲۲	۱۵۰	۴۵/۰
۳/۷	۷/۳۴	۱۷۶	۵۲/۸
۴/۴	۸/۸	۲۱۱	۶۳/۳
۵	۱۰/۰	۲۴۰	۷۷/۰
۵/۵۶	۱۱/۵۲	۲۷۶	۸۳/۰

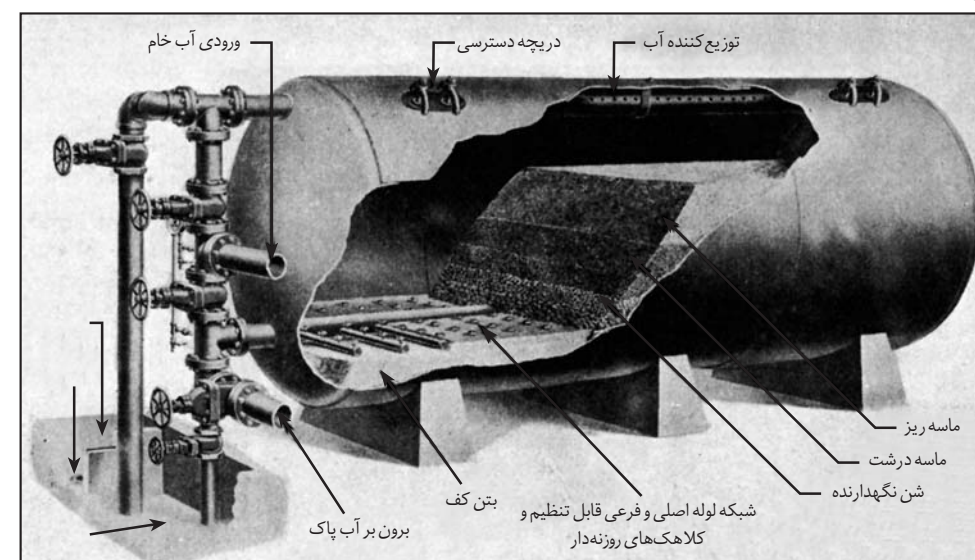
* بار سطحی حدود ۷/۲ متر در ساعت و میزان بکواش ۲۴ متر در ساعت



شکل شماره ۶-۱۳- مقطع یک فیلتر عمودی تحت فشار



شکل شماره ۶-۱۴- مقطع یک فیلتر تحت فشار خوابیده (افقی)



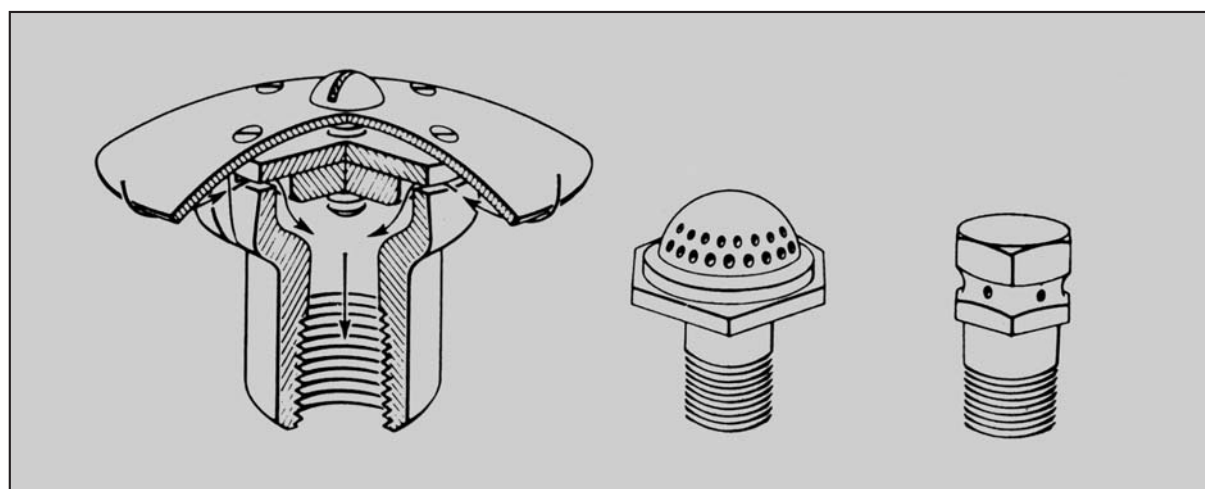
- ۲۲ سانتیمتر آنتراسیت با اندازه موثر ۸/۰-۴/۱ میلیمتر؛
- ۱۰ سانتیمتر آنتراسیت با اندازه موثر ۲-۴ میلیمتر.

۶-۷-۱- تاسیسات زهکش فیلترهای تند تحت فشار

توجه شود که شبکه زهکشی باید چه در مرحله فیلتراسیون و چه در مرحله بکواش آب را به طور یکسان در سطح فیلتر تقسیم و یا جمع آوری نماید. بدین منظور از کلاهای روزنه دار^۱ استفاده می شود که باید نسبت به خوردگی مقاوم باشد و بنابراین از برنز، برنج و فولاد ضد زنگ ساخته می شود. امروزه این کلاهای از انواع پلیمرهای سخت هم ساخته می شود که رعایت استاندارد کیفیت مواد اولیه و فرایند ساخت ضرورت دارد. در شکل شماره ۶-۱۵ چند نوع کلاهای روزنه دار نشان داده شده است.

در طراحی لوله اصلی و شبکه لوله های فرعی توجه به ضرورت فشار در پای کلاهای ضرورت دارد تا توزیع آب یکسان انجام گیرد. به طور کلی سطح مقطع لوله اصلی باید دو برابر جمع سطح مقطع لوله های فرعی متصل به آن و سطح مقطع لوله فرعی باید حدود ۴

شکل شماره ۶-۱۵- چند نوع کلاهای روزنه دار شبکه زهکش



1. Strainer



برابر مجموع سطوح روزنه های متصل به آن باشد و طول هر لوله فرعی نباید از ۶۰ برابر قطرش بیشتر شود. در محل ورود آب خام به استوانه پیش بینی تاسیساتی که آب را به طور یکسان در سطح فیلتر توزیع نماید ضرورت دارد. لازم به یاد آوری است که بر اساس عملیات آزمایشی کار آیی آن باید ثابت شده باشد و یا از تاسیسات دارای امتیاز ویژه استفاده شود.

در شکل های شماره ۶-۱۳ و ۶-۱۴ تاسیسات کنترل میزان آب بکواش هم نشان داده شده است. طبق شکل یک شیر پروانه ای مجهز به شناور، فشار آب لازم برای بکواش را کنترل می نماید و می توان ترتیبی داد که برای یک تعداد فیلتر در حال کار به صورت موازی یک واحد کنترل کننده پیش بینی شود و توجه شود که در هر زمان فقط یک فیلتر باید مورد شستشو قرار گیرد. حتی می توان آن را طوری نصب نمود که برای کنترل میزان آب بکواش و میزان آب فیلتر شده به کار رود که البته نیاز به دو تنظیم دارد که در تاسیسات موجود در کشور این استفاده دیده نمی شود.

لازم است فشار آب لوله درون آر و برون بر هر فیلتر توسط دو



۶-۸- هیدرولیک فیلترها

مشاهده گردید که محیط دانه‌ای بستر فیلتر دارای تخلخل بوده و آب از آن می‌تواند عبور نماید اما هر چه دانه‌بندی ریزتر باشد عبور آب با مقاومت هیدرولیکی بیشتری روبرو می‌شود و افت فشار به عوامل زیر بستگی دارد:

$$H_l = \alpha \cdot f(e, l, d, v, \mu, \rho, g)$$

که در آن:

e = تخلخل بستر که در حقیقت لوله‌های باریک عبور آب است؛

l = ضخامت بستر ماسه (گرانول)؛

d = اندازه موثر و ضریب یکسانی؛

v = سرعت عبور آب از بستر فیلتر؛

μ = ویسکوزیته دینامیک آب؛

ρ = دانسیته آب؛

g = شتاب ثقل؛

H_l = افت فشار در بستر با ضخامت l .

افت فشار در بستر فیلتر تمیز همیشه کمتر از ۰/۷ متر و حداکثر مجاز آن حدود ۲/۸ متر است که ملاک طراحی‌ها قرار می‌گیرد و برای ایمنی ۳ متر لحاظ می‌گردد تا آب با نیروی ثقل از فیلتر خارج شود. در انجام محاسبات تعیین افت فشار از دو معادله به نام کارمن^۱ و دیگری رز^۲ بیشتر استفاده می‌شود، گرچه معادلات دیگری هم مانند هیزن^۳ و فیر^۴ وجود دارد.

۶-۸-۱- معادله کارمن

مبنای معادله کارمن معادله داریسی - ویسباخ است که می‌گوید:

$$h_l = f \frac{l}{D} \frac{v^2}{2g}$$

که در آن:

فشارسنج اندازه‌گیری شود و زمانی که افت فشار ناشی از انسداد تخلخل بستر به حداکثر مجاز برسد عملیات بکواش شروع شود. در بعضی استقرارها می‌توان ترتیبی داد که یک فشارسنج که می‌تواند به کمک اهرمی به لوله آب خام و آب فیلتر شده متصل شود اختلاف فشار باقی مانده را نشان دهد.

در خروجی هر فیلتر لازم است دستگاهی شبیه شکل شماره ۶-۳ و یا ۶-۴ نصب شود تا میزان آب تولیدی هر فیلتر که حاصلضرب سطح آن و بار هیدرولیکی است با دقت ± 5 درصد حفظ گردد.

نصب دستگاه شستشوی سطحی که در بخش ۶-۹-۲ مورد بحث قرار خواهد گرفت برای جلوگیری از تولید گلوله‌های گل ضرورت دارد. گرچه در بسیاری از موارد از نصب آن خودداری می‌شود زیرا مشاهده و تنظیم کار آنها در این نوع فیلترها به راحتی امکان پذیر نیست مگر آن که تمهیداتی پیش‌بینی شود.

۶-۷-۲- بهره‌برداری

در ابتدای شروع بهره‌برداری لازم است چند دقیقه آب فیلتر شده به مخزن آب پاک و یا شبکه توزیع هدایت نشود زیرا هنوز بستر فشردگی لازم را بدست نیاورده و فیلتر به اصطلاح به مرحله بلوغ نرسیده و توصیه شده است که بار هیدرولیکی از حدود ۵ متر در ساعت بیشتر نشود که کمتر از ارقام جدول‌های مربوط است. میزان آب بکواش که در جدول پیش گفته هم نشان داده شده است حدود ۲۴ متر در ساعت است اگر میزان آب بکواش در حدود ۲۰ متر در ساعت باشد لازم است فیلتر دو بار مورد شستشو قرار گیرد، چون آب در این فیلترها تحت فشار است و ایجاد کیسه‌های هوا در آن محتمل است. به هر حال چون ویژگی‌های دانه‌بندی مصالح فیلتر، میزان آب بکواش و میزان فیلتراسیون از نظر اصول ریاضی و هیدرولیک برای صافی تند ثقلی و تحت فشار فرقی ندارد لذا در بخش‌های زیر مورد گفتگو قرار می‌گیرد.



h_l = افت فشار ناشی از اصطکاک؛

f = ضریب بدون واحد اصطکاک؛

l = طول لوله؛

D = قطر لوله؛

v = سرعت متوسط آب در مقطع لوله؛

g = شتاب ثقل.

اما چون عبور آب از فضاهای خالی بستر فیلتر که شبیه لوله‌های نامنظم بوده و دارای سطح مقطع یکسان و مرتب نیستند به جای D ویژگی R قرار داده می‌شود که R شعاع هیدرولیکی مقطع جریان آب است. لذا معادله به صورت زیر در می‌آید.

$$h_l = f \frac{l}{4R} \frac{v^2}{2g}$$

از طرف دیگر تخلخل بستر همان حجم لوله‌های فرضی می‌باشد. لذا اگر N تعداد گرانول‌ها در واحد حجم و v_p حجم گرانول‌های آن باشد حجم کل بستر عبارت است از:

$$C_c = \frac{N \cdot v_p}{1 - e}$$

و بنابراین حجم فضاهای کانال‌ها عبارت است از:

$$\frac{e}{1 - e} N v_p$$

که e همان تخلخل بستر است. حال اگر سطح مقطع خیس شده، در شعاع هیدرولیکی، همان سطح تمام گرانول‌ها فرض شود می‌توان نوشت سطح کل خیس شده عبارت است از NA_p که A_p سطح خیس شده هر گرانول است. از دو معادله بالا می‌توان نتیجه گرفت:

$$R = \frac{e}{1 - e} \times \frac{v_p}{A_p}$$

و برای گرانول‌های کروی با قطر d می‌توان نوشت:

$$v_p = \frac{\pi d^3}{6}$$

$$A = \pi d^2$$

و در نتیجه اگر گرانول‌ها کروی نباشد:

$$\frac{v_p}{A_p} = \phi \frac{d}{6}$$

ضریب شکل ϕ برای ذرات کروی برابر یک و برای اشکال دیگر کوچک‌تر از یک می‌باشد. توجه شود که بار هیدرولیکی سرعت پایین رفتن آب را از بالای بستر نشان می‌دهد که سرعت رو به بستر^۱ هم نامیده می‌شود و سرعت آن در فضاهای خالی بستر که همان تخلخل می‌باشد عبارت است از:

$$V_s = e \cdot v$$

که V_s سرعت در جهت عمود به بستر و V سرعت در داخل بستر و e تخلخل بستر است.

حال معادله افت فشار در فیلتر به صورت زیر در می‌آید که به نام معادله کارمن شناخته می‌شود.

$$h_l = f \left(\frac{L}{\phi d} \right) \left(\frac{1 - e}{e^3} \right) \left(\frac{V_s^2}{g} \right) \quad (ک)$$

ضریب f و یا ضریب اصطکاک و عدد رینولدز عبارتند از:

$$f_1 = 150 \frac{1 - e}{Re} + 1/75$$

$$Re = \phi \frac{\rho V_s d}{\mu}$$

با انجام یک سری جابجایی‌های علامیم ویژگی‌های معادله به صورت زیر در می‌آید:

$$h_l = f_1 \frac{L}{\phi} \times \frac{1 - e}{e^3} \times \frac{V_s^2}{g} \times \frac{A}{V}$$

اما برای بستر گرانول با اندازه d و با فرض فشردگی بستر می‌توان نوشت:

$$\left(\frac{A}{V} \right)_{Ave} = \frac{\phi}{\phi} \int_{x=0}^{x=1} \frac{dx}{d}$$

$$\left(\frac{A}{V} \right)_{Ave} = \frac{\phi}{\phi} \sum \frac{x}{d}$$



که در آن x نشان دهنده وزن نسبی ذرات بین دو الک و d عبارت است از متوسط اندازه روزنه های الک می باشد. با قرار دادن ارزش عددی $(\frac{A}{V})_{ave}$ در معادله (ک) می توان افت فشار را در توده هم جنس و محاسبه هماندازه نمود، زیرا ضریب f_i برای تمام بستر کاربرد دارد. اما در مورد بستر لایه بندی شده توجه دیگری لازم است. در این صورت f_i که همان ضریب اصطکاک است برای لایه ها یکسان نیست و با عملیات ریاضی می توان دریافت که:

$$h_l = KL \int_{x=0}^{x=1} f_i \frac{dx}{d}$$

و یا:

$$h_l = KL \sum \frac{f_i x}{d} \quad (ل)$$

$$K = \frac{1}{\phi} \times \frac{1-e}{e^3} \times \frac{V_s^2}{g}$$

بنابراین می توان از معادله (ل) افت فشار را در بستر لایه بندی شده مانند فیلترهای تند محاسبه نمود.

۶-۸-۲- معادله رز

معادله رز عبارت است از:

$$h_l = \frac{1/0.67}{\phi} \times \frac{C_D}{g} L \times \frac{V_s^2}{e^3} \times \frac{1}{d}$$

که C_D ضریب دراگ است که قبلا معرفی شده است و بقیه علایم هم در بالا نشان داده شده اند. در شکل ۴-۱۱ فصل چهارم رابطه C_D و عدد رینولدز برای سهولت عملیات ریاضی آورده شده است که از تکرار آن اجتناب می گردد.

البته توسط معادله زیر هم C_D قابل محاسبه است:

$$C_D = \frac{24}{Re} + \frac{3}{\sqrt{Re}} + 0.34$$

که برای Re تا 10^4 کاربرد دارد.

برای بستر تک جنسی مخلوط (بدون لایه بندی) مانند فیلترهای کند معادله به صورت زیر در می آید.

$$h_l = \frac{1/0.67}{\phi} \times \frac{C_D}{g} L \frac{V_s^2}{e^3} \sum \frac{x}{d} \quad (ر-۱)$$

و برای بستر تک جنسی لایه بندی شده مانند فیلترهای تند معادله عبارت است از:

$$h_l = \frac{1/0.67}{\phi} \times \frac{L}{e^3} \times \frac{V_s^2}{g} \sum \frac{C_D x}{d} \quad (ر-۲)$$

در هر دو معادله بالا با استفاده از آنالیز دانه بندی مصالح توسط الک های استاندارد باید جمع متغیرها را بدست آورد.

مثال شماره ۶-۱:

در یک فیلتر تند ماسه ای با ضخامت ۲۴ اینچ و تخلخل ۰/۴ افت فشار محاسبه می شود. دمای آب ۵۰ درجه فارنهایت و بار سطحی ۲/۵ گالن در دقیقه در فوت مربع (۵/۶ متر در ساعت) آنالیز دانه بندی در جدول شماره ۶-۶ و در سه ستون اول داده شده است و ضریب شکل ماسه $\phi = 0.95$ فرض می شود.

حل: ارقام ستون های ۱ و ۲ و ۳ حاصل آنالیز دانه بندی ماسه توسط الک های استاندارد است که در گزارش آزمایشگاه وجود دارد. ارقام ستون ۴ عدد رینولدز را نشان می دهد که عبارت است از:

$$Re = \frac{\rho V_s d}{\mu}$$

که در آن:

$$\mu = 8/78 \times 10^{-4} \text{ پوند فوت در ثانیه؛}$$

$$V_s = \text{میزان سرعت آب رویه بستر فیلتر که همان بار هیدرولیکی است؛}$$

$$\rho = \text{دانشیته نسبی آب معادل ۶۲/۴ پوند در فوت مکعب؛}$$

$$d = \text{متوسط هندسی دانه های ماسه که در ستون سه نشان داده شده است.}$$

مقدار C_D برای عدد رینولدز کمتر از ۱/۹ عبارت است از:



جدول شماره ۶-۶- آنالیز دانه بندی و نتایج محاسبات (مثال شماره ۶-۱)

(۱)	(۲)	(۳)	(۴)	(۵)	(۶)
شماره الک	درصد ماسه باقیمانده در روی الک × ۱۰۰	متوسط اندازه هندسی $d \times 10^{-3} ft$	عدد رینولدز $\frac{\rho V_s d}{\mu}$	C_D	$C_D \frac{x}{d}$
۱۴-۲۰	۱/۱	۳/۲۸	۱/۳	۱۸/۵	۶۲
۲۰-۲۸	۶/۶	۲/۲۹	۰/۹۱	۲۶/۴	۷۶۱
۲۸-۳۲	۱۵/۹۴	۱/۷۷	۰/۷	۳۴/۳	۳۰۹۰
۳۲-۳۵	۱۸/۶	۱/۵۱	۰/۶	۴۰	۴۹۳۰
۳۵-۴۲	۱۹/۱	۱/۲۵	۰/۴۹	۴۹	۷۴۸۰
۴۲-۴۸	۱۷/۶	۱/۰۵	۰/۴۲	۵۷/۲	۹۶۰۰
۴۸-۶۰	۱۴/۳	۰/۸۸	۰/۳۵	۶۸/۶	۱۱۱۵۰
۶۰-۶۵	۵/۱	۰/۷۵	۰/۳	۸۰	۵۴۵۰
۶۵-۱۰۰	۱/۶۶	۰/۵۹	۰/۲۳	۱۰۴/۴	۲۹۴۰
جمع	۱۰۰				$\sum \frac{C_D x}{d} = ۴۵۴۶۳$

میلیمتر و ۱۲ اینچ ماسه با متوسط اندازه ۰/۵ میلیمتر برای آب با دمای ۲۰ درجه سلسیوس و با بار هیدرولیکی ۴ گالن در فوت مربع در دقیقه افت فشار هیدرولیکی در آن محاسبه می شود. با فرض ϕ برابر ۰/۷۳ و ۰/۸۲ به ترتیب برای آنتراسیت و ماسه و تخلخل ۰/۴ داریم:

تعیین عدد رینولدز:

$$Re = \frac{\phi V_s d}{\mu}$$

$$d_s = 0.5 \text{ mm} = 1/64 \times 10^{-3} ft$$

$$d_A = 1/6 \text{ mm} = 5/25 \times 10^{-3} ft$$

$$V_s = \frac{4 \left(\frac{g}{ft^3 \cdot min} \right)}{7/49 \left(\frac{g}{ft^3} \right)} = 0.534 \left(\frac{ft}{min} \right)$$

ویسکوزیته آب برای دمای ۲۰ درجه سلسیوس 1.01×10^{-5} فوت مربع در ثانیه می باشد.

$$\frac{24}{Re}$$

$$\phi = 0.95 \quad \text{و} \quad L = 2 ft \quad \text{و} \quad e = 0.4$$

لذا افت فشار عبارت است از:

$$h_l = \frac{1/0.67}{\phi} \times \frac{L}{g} \times \frac{V_s^2}{e^3} \sum \frac{C_D x}{d} =$$

$$\frac{1/0.67}{0.95} \times \frac{2}{32/2} \times \frac{(5/57 \times 10^{-3})^2}{0.4^3} \times 45463 = 3/84 ft = 1/17 m$$

بنابراین افت فشار در ابتدای کار فیلتر عبارت است از ۱/۱۷ متر و اگر حداکثر مجاز آن ۲/۵ متر انتخاب شود ۱/۳۳ متر افت برای حداکثر انسداد پیش بینی شده است و نباید بیشتر از آن بشود.

مثال شماره ۶-۲:

برای یک فیلتر دو لایه با ۱۲ اینچ آنتراسیت و با اندازه متوسط ۱/۶

جدول مربوط به مثال شماره ۶-۲

ویژگی‌ها	آنتراسیت	ماسه
ϕ	۰/۷۳	۰/۸۲
C_D	۹/۷۳	۲۵/۰۲
ρ	۰/۰۲۵۶	۰/۰۲۵۶
L	۱ ft	۱ ft
d	$۵/۲۵ \times ۱۰^{-۳}$ ft	$۱/۶۴ \times ۱۰^{-۲}$ ft
V	$۸/۹ \times ۱۰^{-۲}$ ft/sec	$۸/۹ \times ۱۰^{-۲}$ ft/sec
g	$۳۲/۲$ ft/sec ^۲	$۳۲/۲$ ft/sec ^۲

عدد رینولدز برای آنتراسیت:

$$Re = \frac{(۰/۷۳)(۵/۲۵ \times ۱۰^{-۳})(۰/۵۳۴ \div ۶۰)}{(۱/۰۹۱ \times ۱۰^{-۵})} = ۳/۱۲$$

و عدد رینولدز برای ماسه:

$$Re = \frac{(۰/۸۲)(۱/۶۴ \times ۱۰^{-۲})(۰/۵۳۴ \div ۶۰)}{(۱/۰۹۱ \times ۱۰^{-۵})} = ۱/۱۰$$

حال ضریب C_D باید محاسبه شود:

$$C_D = \frac{۲۴}{Re} + \frac{۳}{\sqrt{Re}} + ۰/۳۴$$

برای آنتراسیت ۹/۷۳ و برای ماسه ۲۵/۰۲ محاسبه می‌شود.

وافت فشار عبارت است از:

$$h_l = \frac{۱/۰۶۷}{\phi} \times C_D \times \frac{L}{e^{\frac{۳}{\sqrt{Re}}}} \times \frac{V_s^{\frac{۲}{g}}}{d} \times \frac{۱}{d}$$

$$h_{lA} = \frac{۱/۰۶۷}{۰/۷۳} \times (۹/۷۳) \times \left(\frac{۱}{۰/۰۲۵۶} \right) \left(\frac{۱}{۵/۲۵ \times ۱۰^{-۳}} \right) \times \frac{(۸/۹ \times ۱۰^{-۲})^2}{۳۲/۲} = ۰/۲۶ ft$$

لذا مجموع افت فشار عبارت است از:

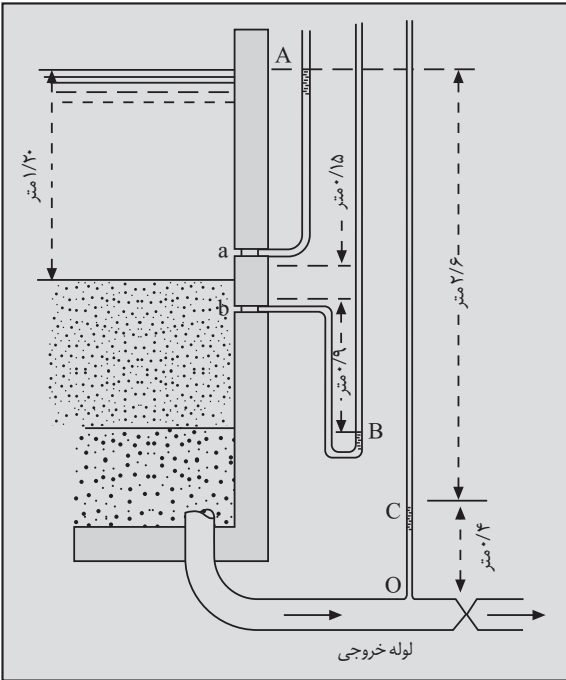
$$h_{IT} = ۰/۲۶ + ۱/۹۱ = ۲/۱ ft = ۰/۶۵ m$$

۶-۸-۳- فشار منفی در فیلترها

به طور کلی افت فشار هیدرولیکی در فیلترها در ابتدای بهره‌برداری، یعنی پس از هر بکواش کمتر از ۵۰ سانتیمتر است و با ادامه فیلتراسیون آب و تجمع ذرات معلق در فضاهای خالی و کوچک شدن فضاهای عبور آب، فیلتراسیون با مقاومت هیدرولیکی و افزایش افت فشار روبرو می‌شود. در فیلترهای ماسه‌ای متعارف افت فشار بیشتر در لایه‌های بالایی فیلتر رخ می‌دهد و اگر این افت در لایه‌ای بیشتر از فشار ایستایی قبل از لایه بشود فشار منفی ایجاد می‌گردد. در این شرایط هوای محلول در آب (اکسیژن و نیتروژن) به صورت حباب ظاهر شده و کیسه‌های هوا تولید می‌شود که باعث جابجایی ماسه بستر خواهد شد و در نتیجه راه جریان آب بدون فرایند فیلتراسیون باز می‌شود و در شروع عملیات بکواش فرار این حباب‌های جمع شده باعث به هم خوردن وضعیت توزیع آب بکواش می‌شود.

هر چه ارتفاع آب روی بستر مصالح فیلتر بیشتر گردد جریان آب در فیلتر یکنواخت‌تر می‌شود و لایه‌ای که ممکن است در آن فشار منفی رخ دهد در عمق بیشتری ایجاد می‌شود. طبق شکل شماره ۶-۱۶ با فرض اینکه ارتفاع نقطه O در حدود ۳ متر پایین‌تر از تراز آب روی فیلتر باشد می‌توان مشاهده نمود که افت فشار ۲/۶ متر است زیرا فشار باقیمانده در نقطه O عبارت است از ۰/۴ متر. با توجه به رقوم آب در سه پیزومتر A، B، C که فشار را در سطح ماسه و در نقطه b، (۰/۱۵ متر زیر بستر ماسه) و C (لوله خروجی) نشان می‌دهد، می‌توان گفت که افت فشار اصلی در همان ۰/۱۵ متر اول ماسه رخ داده و مقدار آن ۲/۲۵ متر می‌باشد. حال با کاربرد معادله برنولی بین دو نقطه A و b و با فرض رقوم مبنا خط O می‌توان انرژی‌های فشار را نوشت:

شکل شماره ۶-۱۶- فشار منفی در فیلتر تند ثقلی



متر $H_A = ۳$

$$H_b = \frac{P_o}{w} + (۳ - ۱/۳۵) = \frac{P_o}{w} + ۱/۶۵$$

متر $H_l = ۲/۲۵$

$$H_A = H_b + H_l$$

$$۳ = \frac{P_o}{w} + ۱/۶۵ + ۲/۲۵$$

$$\frac{P_o}{w} = -۰/۹ \text{ m}$$

که پیزومتر b هم فشار منفی ۰/۹- را نشان می‌دهد. بروز این فشار منفی همان طور که گفته شد باعث آزاد شدن گازهای محلول آب می‌شود و مشکلاتی در بهره‌برداری ایجاد می‌نماید.

۶-۹- بکواش

در بخش فیلتراسیون توضیح داده شد که پس از گذشت مدتی در حدود ۲۴-۲۸ ساعت از بهره‌برداری از فیلتر و در نتیجه تجمع ذرات

معلق در فضاهای خالی بستر و ایجاد مقاومت هیدرولیکی، موقع شستشوی فیلتر می‌رسد که چون جریان آب از بخش شبکه زهکش به داخل بستر هدایت می‌شود و جریان آب شستشو عکس جریان آب فیلتراسیون است، کلمه بکواش به آن گفته می‌شود. اگر فیلتر به موقع مورد بکواش قرار نگیرد در خطر بروز فشار منفی و عبور کدورت قرار می‌گیرد. تامین آب و فشار لازم برای انجام بکواش با روش‌های زیر ممکن است.

وجود آب تحت فشار

در صورتیکه در نزدیکی استقرار فیلترها آب پاک تحت فشار مانند لوله انتقال آب پاک از تصفیه‌خانه به طرف تاسیسات ذخیره و توزیع شهر وجود دارد برای استفاده از آن دو گزینه قابل مطالعه است:

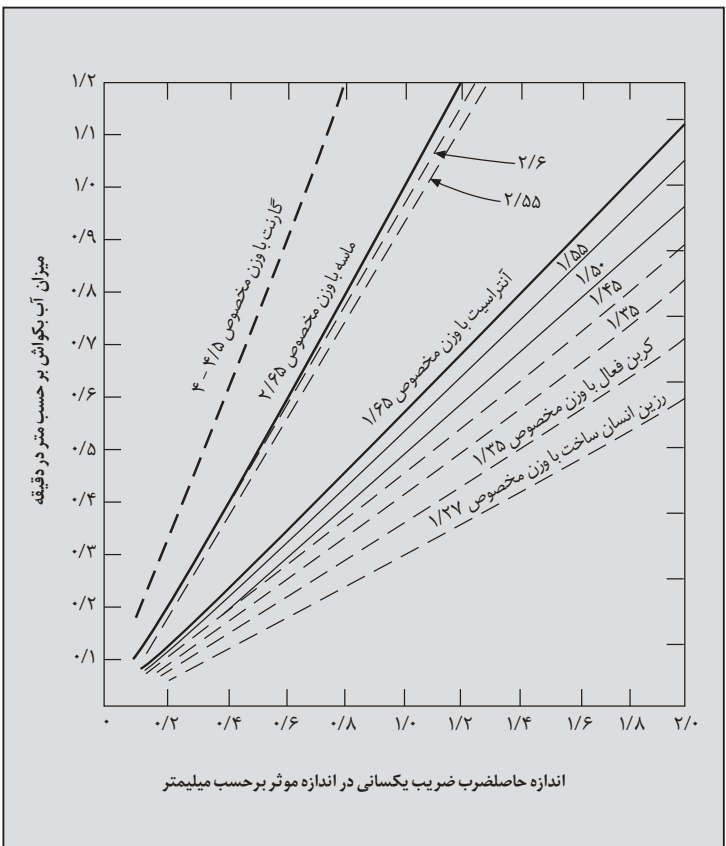
الف) در صورتی که ظرفیت مورد نیاز بکواش روی هیدرولیک لوله انتقال اثر قابل ملاحظه‌ای ندارد با پیش‌بینی ایستگاه شیرهای تنظیم فشار و تنظیم میزان آب مورد نیاز بکواش هر فیلتر، آب لازم را می‌توان مستقیماً از لوله آب پاک گرفت.

ب) در صورتی که آگیری مستقیم روی هیدرولیک و جریان آب لوله انتقال اثر قابل توجهی دارد پیش‌بینی یک مخزن هوایی و یا زمینی در ارتفاع لازم و یا استفاده از مخزن موجود مناسب و آگیری با میزان کم و پرکردن مخزن و استفاده از آن برای بکواش فیلترها گزینه قابل مطالعه است.

در صورتیکه در محوطه تصفیه‌خانه مخزن هوایی و یا مخزن زمینی در رقوم ارتفاعی حدود ۱۵ متر بالاتر از فیلتر وجود داشته و یا بتوان ساخت، یک گزینه پر کردن آرام آن و آگیری برای بکواش فیلتر است که باید مورد مطالعه و مقایسه اقتصادی قرار گیرد زیرا تنظیم و استفاده از آن راحت‌تر است. پیش‌بینی مخزن ذخیره آب لازم برای بکواش دو فیلتر و تاسیسات الکتروپمپ‌ها، دمنده هوا و ابزار دقیق، یک گزینه متعارف است که نسبت به گزینه‌های دیگر محدودیت‌هایی دارد و در کشور ما به دلایلی دارای طرفداران بیشتری است.



شکل شماره ۶-۱۷- روابط دانه‌بندی، دانسیته نسبی و میزان آب بکواش در ۲۰ درجه سلسیوس



استفاده از هوا و آب

هدف از دمیدن هوا به فیلتر، کاهش مصرف آب برای بکواش می‌باشد زیرا با دمیدن هوا دانه‌های ماسه با هم سایش نموده و در نتیجه ذرات معلق از آنها جدا می‌شود. اما خطر ته‌نشین شدن ذرات جدا شده وجود دارد و بنابراین معمولاً همراه است با پمپاژ آب به میزان کم به داخل فیلتر که اگر بی دقتی شود انتقال ماسه همراه با آب از فیلتر رخ می‌دهد.

به علاوه به هم ریختگی شن نگهدارنده هم محتمل است و به همین دلیل در فیلترهای دو لایه پس از توقف دمیدن هوا باید بستر ماسه با کمک آب بکواش منبسط شود تا پس از توقف آرام آب، دوباره لایه بندی دو جنس انجام گیرد و به علاوه استفاده از هوا باعث می‌شود

۶-۹-۱- روش‌های انجام بکواش

عملیات بکواش فیلترهای تند با استفاده از آب و هوای تحت فشار و ابزار مکانیکی ایجاد سایش و آشفته‌گی در ماسه شناور، با چندین روش در دنیا انجام می‌گیرد. باید یادآوری شود که نوع مصالح بستر، اندازه موثر و ضریب یکسانی آن، دو جنسی و سه جنسی بودن مصالح، روی روش انجام بکواش دخالت دارد و عبارتند از:

استفاده از آب

در صورتیکه میزان مواد معلق موجود در آب ورودی به فیلتر زیاد نبوده و چسبندگی آنها با مصالح بستر زیاد نباشد بکواش با آب به تنهایی دانه‌های ماسه و یا آنتراسیت را تمیز می‌نماید. البته بدون عملیات با فیلتر آزمایشی نمی‌توان چنین تصمیمی را گرفت. اگر میزان آب بکواش در حدی باشد که باعث ایجاد انبساط بستر در حدود ۸۰ درصد بشود در این صورت نیروهای برشی ایجاد شده، مواد معلق را از مصالح فیلتری کنده و با خود به بیرون از فیلتر حمل می‌نماید.

در بسیاری از شرایط، بکواش فیلتر با هدف انبساط مصالح بستر

در حد ۲۰-۵۰ درصد برای تمیز کردن مصالح آن کافی است. در فیلترهای ماسه‌ای با اندازه موثر حدود ۰/۵ میلیمتر برای ایجاد انبساط بستر در حدود ۵۰ درصد سرعت آب بکواش باید به حدود ۳۷-۴۰ متر در ساعت برسد و به طور آرام کاهش پیدا نماید و در نتیجه پس از توقف جریان آب بکواش ماسه‌های تمیز و شسته به نحوی ته‌نشین می‌شوند که لایه بندی ایجاد می‌شود یعنی دانه‌های درشت‌تر در زیر و دانه‌های ریزتر در بالا قرار می‌گیرند که مشکل اساسی فیلترهای تک جنسی همین لایه‌بندی است. در شکل شماره ۶-۱۷ روابط دانه‌بندی، دانسیته نسبی و میزان آب بکواش نشان داده شده است.



جدول شماره ۶-۷- معیارهای طراحی تاسیسات بکواش فیلترهای دانه‌ای- با توجه به شکل شماره ۶-۱۷

متغیرهای بکواش	آب با میزان زیاد	هوا و پس از آن آب با میزان کم	هم زمان آب کم و هوا	هوا و پس از آن آب با میزان بالا	هوا و آب کم هم زمان و سپس آب با میزان بالا	آب همراه با شستشوی سطحی
آب (متر در ساعت)	بیشتر از ۳۷/۵	بیشتر از ۱۸	۱۸-۱۵	بیشتر از ۱۸	-	۱۵-۱۸
هوا (متر در ساعت)	-	۵۵-۳۵	۲۷-۱۸	۲۷	۴۶-۳۶	-
انبساط بستر (درصد)	۸۰-۱۰۰	کم	کم	زیاد	زیاد	-
مدت بکواش (دقیقه)	۶-۳	۶-۳	۳-۲	۴-۳	۳-۲	-
عملکرد بکواش	پایین	متوسط	خوب	خوب	خوب	خیلی خوب
نوع فیلتر	متعارف و دو جنسی	متعارف	متعارف	متعارف و دو جنسی	متعارف و دو جنسی	متعارف

که گلوله‌های گلی^۱ در تخلخل بستر فیلتر تشکیل نگردد زیرا شرایط زیر باعث تشکیل آنها می‌شود:

- ناکافی بودن میزان آب بکواش؛
- هماهنگی ناموزون بین هوا و آب بکواش؛
- فاصله زیاد از حد لبه ناودانک جمع آوری آب بکواش نسبت به سطح بستر فیلتر.

در جدول شماره ۶-۷ روابط آب و هوا، نوع فیلتر و زمان‌ها به طور چکیده آورده شده است که برای تعیین مناسب‌ترین آن برای هر فیلتر به کارگیری عملیات آزمایشی و آزمون و خطا ضرورت دارد. به هر حال میزان آب لازم بستگی به دمای آب، اندازه مصالح فیلتر و روش بکواش دارد.

توضیحات در مورد جدول:

- ۱- منظور از فیلتر متعارف، تند ثقلی دارای مصالح تک جنسی است.
- ۲- در فیلترهای دو جنسی هدف مخلوط نشدن مصالح ماسه و آنتراسیت است. لذا تناسب اندازه‌ها باید با محاسبه انجام و تعیین گردد.

۳- چون استفاده از هوا باعث به هم خوردن دو جنس مصالح بستر می‌شود، لازم است میزان آب بکواش به حدی برسد که انبساط کامل حاصل شود و به آرامی کاهش پیدا نماید تا لایه بندی ذرات با توجه به سرعت ته‌نشینی آنها انجام گیرد.

۴- تجارب دیگر مدت زمان بکواش را تا ۱۵ دقیقه هم نشان می‌دهد.

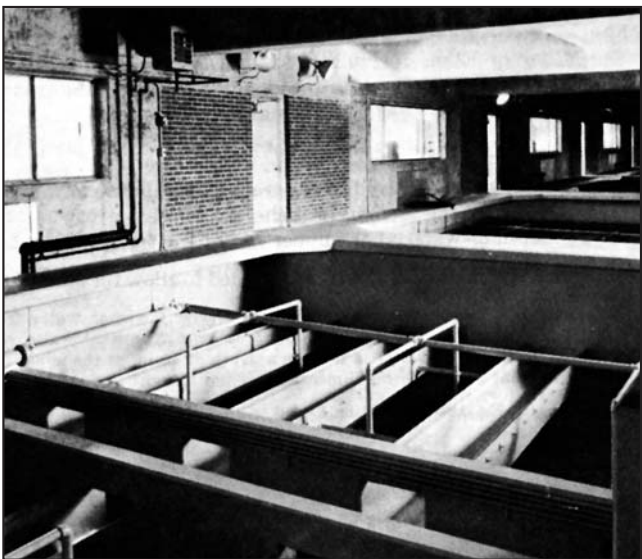
۵- هرچه دانه‌بندی مصالح بستر درشت‌تر شود باید میزان آب بکواش و هوای بیشتر به بستر تزریق گردد. چنانچه اگر اندازه موثر ماسه به ۲ میلیمتر و آنتراسیت به ۱/۵ میلیمتر برسد میزان آب و هوای لازم و با هم به ترتیب عبارت است از ۲۵-۳۰ و ۲۵-۳۰ متر در ساعت و آب بدون هوا و پس از مرحله قبل به ترتیب ۲۵-۶۰ و ۲۰-۵۰ متر در ساعت می‌باشد.

۶-۹-۲- شستشوی سطحی

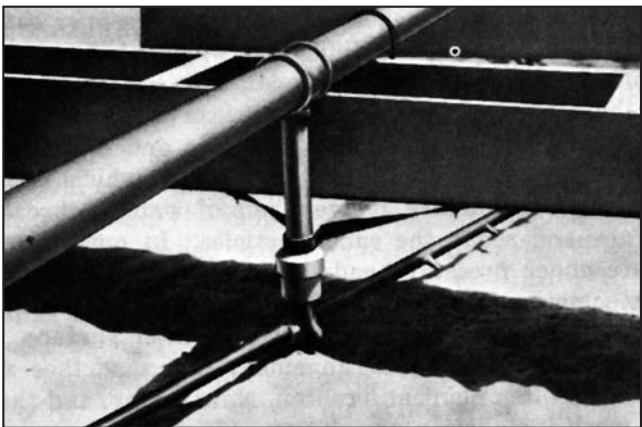
سالهاست که استفاده از تاسیسات شستشوی سطحی فیلتر در عملیات بکواش در دنیا مورد استفاده است. استفاده از این روش باعث ایجاد اغتشاش و در نتیجه سایش زیاد دانه‌های بستر فیلتر می‌شود و اولین نتیجه آن کاهش بروز تشکیل گلوله‌های گل است.



شکل شماره ۶-۱۸- تاسیسات شستشوی سطحی پالمر



شکل شماره ۶-۱۹- تاسیسات نصب شده شستشوی سطحی



می‌گیرد. در شکل شماره ۶-۱۹ تاسیسات نصب شده شستشوی

سطحی نشان داده شده است. لازم است توجه شود که میزان آب بکواش و هوای برای ایجاد انبساط بستگی به متوسط اندازه و دانسیته نسبی گرانول‌های بستر دارد که گام‌های اساسی انجام محاسبات به قرار زیر است:

1. Palmer Filter Bed Agitator

این تاسیسات معمولاً به صورت ثابت پیش بینی می‌شوند و آب با سرعت زیاد و نزدیک به حدود ۱۰ متر در ساعت از روزنه‌های آن به داخل بستر منبسط شده پاشیده می‌شود. عملیات شستشوی سطحی قبل از شروع عملیات بکواش شروع و قبل از خاتمه بکواش باید پایان یابد. شکل شماره ۶-۱۸ تاسیسات شستشوی سطحی ساخت شرکت پالمر^۱ را در فیلترها نشان می‌دهد.

نوع گردان آن دارای عملکرد بهتری است و بیشتر مورد استفاده است. از مشکلات این دستگاه‌ها بروز گرفتگی روزنه‌ها و توقف چرخش و گردش و در مواردی سایش دیواره‌های بتنی فیلتر است. رقوم نصب بازوها در حدود ۵ سانتیمتر بالای سطح بستر در فرایند فیلتراسیون است. از تاسیسات شستشوی سطحی برای فیلترهای دوجنسی هم می‌توان بهره گرفت اما نصب بازوهای گردان و پرتاب آب در رقوم تماس دوجنس گرانول خواهد بود تا از تجمع ذرات معلق در این فضا جلوگیری شود. میزان آب برای نازل‌های ثابت و بازوهای گردان به ترتیب ۷-۱۰ و ۲-۱/۸ متر در ساعت می‌باشد و فشار آب در نقطه خروج به ترتیب ۵/۰-۸/۰ و ۵-۷ اتمسفر و مدت شستشو ۴-۸ دقیقه است. میزان آب بکواش در هر دو سیستم تقریباً یکسان است. در صورت استفاده از هوا فشار لازم ۳/۰-۵/۰ اتمسفر و میزان آن ۳۶-۷۲ مترمکعب در مترمربع در ساعت است که به هر حال سازنده

دارای امتیاز باید ویژگی‌های لازم را تعریف نماید.

از مزایای استفاده از تاسیسات شستشوی سطحی کاهش میزان آب لازم برای بکواش بوده و عملکرد کار مطلوب‌تر است. آب مورد استفاده برای شستشوی سطحی می‌تواند آب فیلتر شده نباشد. چنانکه در بعضی از فیلترها آب خام ورودی به فیلتر مورد استفاده قرار



۱- برای انتخاب اندازه مصالح فیلترهای دوجنسی از معادله:

$$\frac{d_1}{d_2} = \left(\frac{\rho_2 - 1}{\rho_1 - 1} \right)^{1/667}$$

باید استفاده شود. که اندازه d_1 برای ماسه در محدوده ۵/۰-۵۵/۰ میلیمتر قرار دارد.

۲- تعیین سرعت ته‌نشینی گرانول‌های فیلتر برای دمای حداقل و حداکثر با کمک معادله:

$$v_s = \left(\frac{4}{3} \times \frac{g \times d}{C_D} \times \frac{\rho_s \times \rho}{\rho} \right)^{1/5}$$

انجام گیرد که همراه است با روش آزمون و خطا تا میزان آب لازم برای انبساط دوجنس فیلتر تعیین شود.

۳- سرعت آب بکواش به طور متعارف معادل ۱۰ درصد سرعت ته‌نشینی گرانول کوچک‌تر از ۴۰ درصد منحنی ماسه بستر انتخاب می‌شود.

۴- تعیین میزان تخلخل بستر انبساط یافته به کمک معادله:

$$e_e = \left(\frac{V_s}{v_s} \right)^{1/22}$$

که در آن:

$$V_s = \text{سرعت آب بکواش؛}$$

$$v_s = \text{سرعت ته‌نشینی گرانول.}$$

۵- حال عمق بستر منبسط شده باید محاسبه شود که عبارت است از:

$$L_e = \frac{(1-e)L_o}{1-e_e}$$

که e میزان تخلخل بستر در فرایند فیلتراسیون است و در نهایت حداکثر ارتفاعی که ذرات شناور می‌شوند محاسبه می‌شود که در صفحات بعد مورد توجه قرار می‌گیرد.

لذا میزان آب بکواش با درصد انبساط ارتباط داشته که انتخاب

آن بستگی به تصمیم بهره‌بردار دارد. برای مثال اگر اندازه گرانول یک میلیمتر در نظر گرفته شود و جنس آن به ترتیب گارنت، ماسه و آنتراسیت با وزن مخصوص ۱۵/۴، ۶۵/۲ و ۷/۱ باشد به ترتیب با سرعت در حدود ۸۰، ۴۰ و ۳۰ متر در ساعت ته‌نشین می‌شوند. لذا باید اندازه

دو یا سه جنس مصالح بستر را طوری انتخاب نمود که با یک میزان آب بکواش هر سه نوع گرانول انبساط پیدا نموده و پس از قطع تدریجی آب بکواش دو و یا سه جنس گرانول‌ها به طور مطلوب ته‌نشین شده و سه لایه مورد نظر را تشکیل دهند. موضوع انبساط بستر در بخش‌های بعدی به طور مفصل مورد توجه قرار گرفته است.

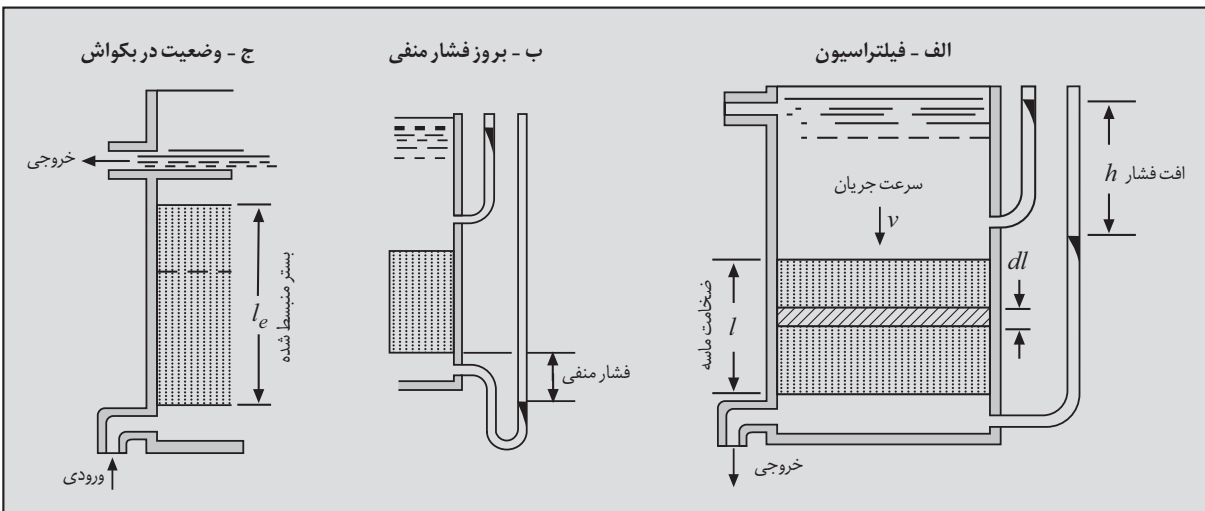
از حدود سال‌های ۱۹۶۰ در زمینه بهره‌برداری از فیلترهای تند برای تولید آبی بهتر همراه با استفاده مطلوب‌تر از فیلترها سه تغییر ایجاد گردید که عبارتند از یک) افزودن پلیمر به میزان ۰/۰۱-۰/۰۵ میلی‌گرم در لیتر به عنوان کمک فیلتر به آب ورودی به فیلتر تا کلوییدهای باقیمانده در آب خروجی از زلال‌سازها تشکیل ذرات ریزتر را داده و در فضای خالی لایه‌های زیرین فیلتر به تله افتند تا افت فشار حداکثر دیرتر بروز نموده و فاصله بین دو بکواش طولانی‌تر شود. به علاوه با افزایش مقاومت آنها به نیروهای برشی ناشی از افزایش سرعت جریان آب به دلیل کوچک‌تر شدن فضاهای تخلخل مدت بهره‌برداری از فیلتر تا رسیدن به گرفتگی و ضرورت بکواش طولانی‌تر می‌شود. دو) نصب تاسیسات پایش کدورت آب خروجی و سه) استفاده از فیلترهای آزمایشی در آزمایشگاه که در بخش بهره‌برداری مورد بحث قرار می‌گیرد.

۶-۹-۳- هیدرولیک بکواش

گرچه در صفحات قبل یادآوری گردید که طراحی فیلترها بر اساس تجارب و عملیات آزمایشی انجام می‌گیرد و از معادلات ریاضی تنها برای شروع طراحی و دانستن حدود کارها استفاده می‌شود لیکن عملیات بکواش و تنظیم میزان آب و هوا با توجه به ویژگی‌های فیلتر که قبلاً گفته شد و ابعاد فیلتر و فاصله کانال‌های جمع‌آوری آب بکواش با سطح ماسه نیاز به انجام محاسبات مفصل دارد و استفاده از ارقام جدول‌ها و منحنی‌های موجود در مراجع و این فصل مورد توصیه است. با توجه به شکل شماره ۶-۲۰ که بستر فیلتر را در حالت فیلتراسیون و بکواش و بروز فشار منفی نشان می‌دهد، باید توجه



شکل شماره ۶-۲۰- بستر فیلتر در سه حالت فیلتراسیون، فشار منفی و بکواش



داشت که عملیات منجر به انبساط بستر و ایجاد سایش گرانول‌ها با هم طوری انجام گیرد که ذرات معلق به تله افتاده از مصالح فیلتر جدا شده و با آب بکواش خارج شوند و مصالح بستر دوباره به حالت اول خود باز گردد. در فیلتر دارای آب و در حالت فیلتراسیون، عامل حفظ ذرات، وزن ذره در آب است و زمانی که آب از زیروارد بستر می‌شود طبق نظریه دارسی سرعت جریان آب بکواش باید به حدی برسد که افت فشار ناشی از عبور آب از بستر را جبران نماید و پس از رسیدن سرعت به بیشتر از آن بستر منبسط می‌شود که همان شناور شدن گرانول‌های بستر است.

هیدرولیک انبساط برای دو حالت مورد بحث قرار می‌گیرد.

الف- مصالح هم اندازه

وقتی مصالح بستر فیلتر از نظر اندازه یکسان باشد و در معرض آب بکواش قرار گیرد، دانه‌ها با توجه به وزن خود تحت تاثیر نیروی آب یا دراگ قرار می‌گیرند و هر چه سرعت آب بیشتر شود ماسه‌ها از هم بیشتر فاصله می‌گیرند و در نتیجه ذرات به تله افتاده با آب از فیلتر

خارج می‌شود. طبق شکل شماره ۶-۲۱ بستر در شرایط فیلتراسیون دارای ضخامت L است. زمانی که سرعت آب بکواش به حد V_e می‌رسد یک تعادل بین مقاومت هیدرولیکی مصالح بستر و افت فشار در بستر ایجاد می‌گردد و می‌توان نوشت:

$$h_l \rho_s g = (\rho_s - \rho) g (1 - e_e) L_e$$

که در آن:

h_l = افت فشار در بستر انبساط یافته؛

L_e = ضخامت بستر منبسط شده؛

e_e = تخلخل در این شرایط؛

ρ_s و ρ = دانسیته نسبی ماسه و آب.

در این حالت:

$$h_l = L_e \frac{\rho_s - \rho}{\rho} (1 - e_e)$$

یعنی افت فشار با وزن ماسه منبسط شده در حالت تعادل است. در معادله بالا با دانستن e_e می‌توان افت فشار را محاسبه نمود.

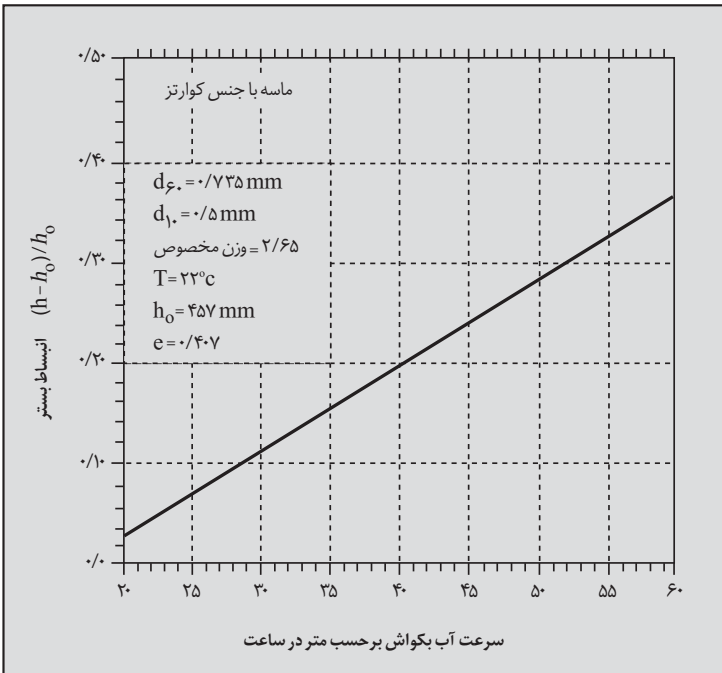
فیر و گایر^۱ برای بستر با دانه‌بندی یکسان پیشنهاد نموده‌اند که

1. Fair & Geyer



شکل شماره ۶-۲۱- ارتباط بین سرعت آب بکواش و انبساط بستر برای یک ماسه با ویژگی‌های

نشان داده شده



لذا میزان آب لازم برای هر درصد انبساط به اندازه ماسه و دمای آب بستگی دارد. در حقیقت منطق بالا برای فیلترهای تند کاربرد ندارد و برای فیلترهای کند هم مورد استفاده قرار نمی‌گیرد اما برای بحث بهتر بسترهای لایه بندی شده مفید است که در زیر ارائه می‌گردد.

ب- فیلتر لایه‌بندی شده

در بستر لایه بندی شده به دلیل ناهمسان بودن اندازه‌های ماسه و یا هر گرانول دیگر انبساط لایه‌ها هر کدام مانند نظریه بالا به طور مستقل انجام می‌گیرد. لذا لایه‌های بالایی که ریزتر هستند زودتر به حالت شناور و انبساط در می‌آیند و زمانی که معادله

$$V_s = v_s e_e^{4/5}$$

برای بزرگ‌ترین دانه‌های ماسه کاربرد پیدا نماید تمام بستر به حالت شناور در می‌آید. لذا انبساط نسبی بستر را می‌توان با معادله زیر تعیین نمود.

$$L_e = L(1 - e) \sum \frac{x}{1 - e_e}$$

که x عبارت است از درصد باقیمانده وزنی روی الک از ماسه با تخلخل e_e . مقدار عددی e_e هم همان طور که گفته شد با معادله زیر تعیین می‌شود.

$$e_e = \left(\frac{V_s}{v_s} \right)^{5/4}$$

مثال شماره ۶-۳:

با استفاده از ارقام مثال شماره ۶-۱ سه مجهول زیر باید محاسبه شود.

- میزان آب بکواش برای ایجاد انبساط بستر؛
- افت فشار هیدرولیکی؛
- ضخامت بستر منبسط شده.



با فرض $T = 50^{\circ}F$ $L = 24\ inch$ $e = 0/4$ ابتدا جدول شماره ۶-۸ تدوین می‌گردد.

حل: ارقام سه ستون اول حاصل آنالیز کار با الک‌های استاندارد است که آزمایشگاه باید تهیه نماید. توجه شود که در ایران این روش مرسوم نیست و در پایان بخش، روش متعارف یادآوری می‌شود. حال برای تعیین میزان آب بکواش لازم است سرعت ته‌نشینی بزرگ‌ترین دانه‌های ماسه را تعیین نمود که از معادله زیر استفاده می‌شود:

$$v_s = \left(\frac{4}{3} \times \frac{g}{C_D} \times (S_s - 1) \times d \right)^{1/5}$$

و رابطه بین C_D و Re که معمولاً در محدودهٔ بین ۱۹-۵۰۰ متغیر است، برای چنین شرایطی عبارت است از:

$$C_D = \frac{18/5}{Re^{1/6}}$$

و با توجه به معادله:

$$\frac{\rho_s \times \rho}{\rho} = (S_s - 1)$$

جدول شماره ۶-۸- آنالیز دانه‌بندی ماسه و ویژگی‌های لازم – مثال شماره ۶-۳

(۱)	(۲)	(۳)	(۴)	(۵)	(۶)
شماره الک	درصد باقیمانده ماسه در روی الک × ۱۰۰	متوسط اندازه هندسی d × ۱۰ ^{-۲} (ft)	سرعت ته‌نشینی ذره v_s $\frac{ft}{s} \times 100$	تخلخل بستر انبساط یافته e	$\frac{x}{1 - e_e}$
۱۴-۲۰	۱/۱	۳/۲۸	۴۶/۳	۰/۳۷۸	۰/۱۷۷
۲۰-۲۸	۶/۶	۲/۲۹	۳۰/۶	۰/۴۱۴	۰/۱۱۲۵
۲۸-۳۲	۱۵/۹۴	۱/۷۷	۲۲/۷	۰/۴۴۳	۰/۲۸۷
۳۲-۳۵	۱۸/۶	۱/۵۱	۱۸/۹	۰/۴۶۰	۰/۳۴۴
۳۵-۴۲	۱۹/۱	۱/۲۵	۱۵/۳	۰/۴۸۳	۰/۳۷۰
۴۲-۴۸	۱۷/۶	۱/۰۵	۱۲/۸	۰/۵۰۲	۰/۳۵۳
۴۸-۶۰	۱۴/۳	۰/۸۸	۱۰/۳	۰/۵۲۱	۰/۲۹۹
۶۰-۶۵	۵/۱	۰/۷۵	۸/۱	۰/۵۵۵	۰/۱۱۴۵
۶۵-۱۰۰	۱/۶۶	۰/۵۹	۶/۴	۰/۵۸۵	۰/۰۴۰
	$\Sigma = 100$				$\Sigma \frac{x}{1 - e_e} = 1/9377$

که S_g وزن مخصوص ماسه است. حال با جابجایی آن در معادله ته‌نشینی پیش گفته معادله زیر بدست می‌آید که مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$v_s = 313 d^{1/4}$$

حال برای بزرگ‌ترین اندازه ماسه که در ردیف اول جدول قرار دارد، سرعت ته‌نشینی عبارت است از:

$$v_s = 313 \times (3/28 \times 10^{-3})^{1/4}$$

و

$$v_s = 46/3 \times 10^{-2} (ft/sec)$$

$$= 14 (cm/sec)$$

و اکنون سرعت آب بکواش محاسبه می‌شود.

$$V_s = v_s \times e_e^{4/5} = 0/463 \times 0/4^{4/5}$$

$$= 0/00742 (ft/sec) = 0/227 (cm/sec)$$

که برای بزرگ‌ترین ماسه فیلتر مورد بحث می‌باشد. اما افت فشار با

استفاده از معادله:

$$h_l = L (S_s - 1)(1 - e)$$

به دست می‌آید که لازم است تغییراتی در معادله داده شود که در نهایت عبارت است از:

$$h_l = L (S_s - 1)(1 - e) = 2 (2/65 - 1)(1 - 0/4)$$

$$= 1/98 \ ft = 0/6 \ m$$

ارقام ستون ۴ حاصل کاربرد معادله:

$$v_s = 313 d^{1/4}$$

ارقام ستون ۵ حاصل:

$$e_e = \left(\frac{V_s}{v_s} \right)^{0.22}$$

که V_s رقم $10^{-4} \times 74/2$ فوت بر ثانیه است. ارقام ستون ۶ از روابط ستون ۲ و ۵ بدست می‌آید. ضخامت بستر منبسط شده هم از معادله زیر بدست می‌آید:

$$L_e = L(1 - e) \sum \frac{x}{1 - e_e} = 2(1 - 0/4) \times 1/9377$$

$$= 2/32 \ ft = 0/7 \ m$$

در عمل با توجه به اندازه گرانول‌های ۶۰ درصدی منحنی دانه‌بندی و سرعت ته‌نشینی آن میزان آب بکواش محاسبه می‌شود که خود به درصد انبساط مورد نیاز مصالح بستر بستگی دارد. لذا سرعت ته‌نشینی مبنای کار است که خود تابع اندازه و وزن مخصوص مصالح بستر است. برای مثال اگر ماسه بستر دارای اندازه موثر ۰/۵ میلیمتر و ضریب یکسانی ۱/۵ باشد، اندازه ذرات d_{۶۰} عبارت است از حدود ۰/۷۵ میلی‌متر و سرعت ته‌نشینی آن در آب ۱۰ درجه فارنهایت در حدود ۱۰ سانتیمتر در ثانیه و یا ۳۶۰ متر در ساعت است و لذا میزان آب بکواش باید ۳۶ متر در ساعت باشد. یعنی اگر سطح فیلتر ۵۰ مترمربع باشد میزان آب لازم بکواش ۱۸۰۰ مترمکعب در ساعت است.



۶-۹-۴- سودمندی فیلتر

مقدار آب تولیدی بین دو بکواش و در نظرگرفتن مقدار مصرف آب برای هر بکواش، سودمندی کمّی تولید آب فیلتر را نشان می‌دهد. چنانچه اگر بار هیدرولیکی فیلتری ۱۰ متر در ساعت باشد و هر ۴۸ ساعت یکبار و با میزان ۴۰ متر در ساعت و به مدت ۱۰ دقیقه بکواش شود محاسبات زیر برای تعیین سودمندی ضرورت دارد.

- میزان آب تولیدی $10 \times 48 = 480 \ m^3 / m^3$

- میزان آب بکواش $\frac{40}{60} \times 10 = 6/6 \ m^3 / m^3$

- میزان تولید آب در ساعت در مترمربع $\frac{480 - 6/6}{48} = 9/86 \ m^3$

- و سودمندی فیلتر – درصد $\frac{9/86}{10} \times 100 = 98/5$

لذا مصرف آب برای بکواش ۱/۵ درصد است.

۶-۹-۵- فیلترهای خود بکواش

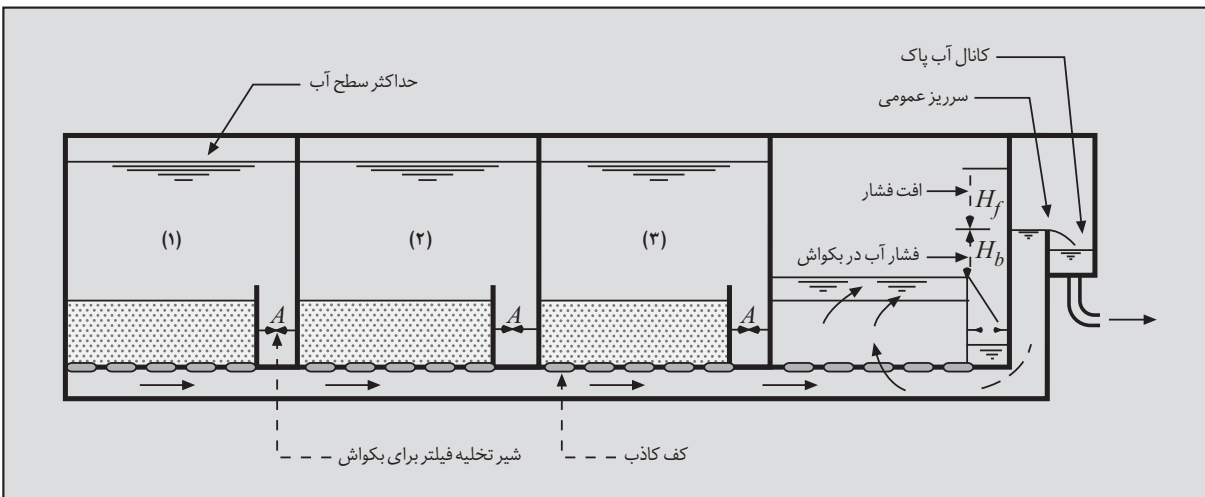
در صفحات قبل مطرح گردید که معمولاً حداقل ۴ واحد فیلتر طوری ساخته می‌شوند که تاسیسات زهکش آنها از طریق یک کانال اصلی آب پاک طبق شکل شماره ۶-۲۲ با یکدیگر ارتباط هیدرولیکی دارند. لبه سرریز تخلیه آب مجموعه چهار فیلتر باید در رقومی پیش بینی شود که در صورت باز کردن شیر تخلیه یکی از فیلترها، فشار آب در حدی باشد که آب تولیدی سه فیلتر دیگر از طریق شبکه زهکش فیلتر چهارم کار بکواش را انجام دهد. موقعیت کانال تخلیه و شیر مربوط با علامت A نشان داده شده است و لذا فشار ایستایی H_b برای انجام بکواش مورد استفاده قرار می‌گیرد. شولز و اوکن^۱ معیارهای طراحی این فیلتر را به شرح زیر بیان می‌کنند.

H_b عبارت است از اختلاف ارتفاع سرریز خروجی آب فیلتر شده چهار فیلتر تا لبه سرریز کانال‌های بکواش فیلترها. بنابراین ارتفاع آب روی بستر این فیلترها نسبت به انواع متعارف باید بیشتر باشد چنانکه در چنین تاسیساتی عمق حوضچه فیلتر حدود ۶ متر است که دوبرابر عمق

1. Schulz and Okun



شکل شماره ۶-۲۲ - بکواش یک فیلتر توسط آب تولیدی سه فیلتر دیگر



فیلترهای متعارف است. به علاوه تاسیسات زهکش فیلترها باید برای

حداقل افت فشار هیدرولیکی طراحی بشوند. این تاسیسات عبارتند از:

- ماسه بستر؛
- شن زیر بستر ماسه؛
- روزنه‌های روی لوله‌های فرعی؛
- لوله‌های فرعی؛
- لوله اصلی جمع آوری آب پاک که در این شرایط لوله تقسیم کننده آب بین لوله‌های فرعی است.

اندازه روزنه‌ها و فاصله آنها از یکدیگر نقش اصلی در ایجاد افت فشار دارند و باید سعی شود که افت فشار در هنگام بکواش به حدود ۰/۳

متر محدود شود که در فیلترهای متعارف ۱-۱/۴ متر است. در طراحی

این فیلترها دو نکته زیر باید مورد توجه قرار گیرد:

- ۱- با فرض چهار واحد فیلتر در یک مجموعه در صورتیکه یک واحد از مدار تولید خارج شود، باید میزان آب برای بکواش فیلتر سوم توسط دو فیلتر دیگر تامین شود که میزان آن کافی نیست و به همین دلیل در طرح پیشنهادی شرکت پارس جویاب ۶ فیلتر توصیه شده است که آب تولیدی چهار فیلتر برای بکواش فیلتر پنجم به کار می‌رود.

۲- با توجه به مصرف آب تولیدی سه فیلتر و ایجاد انبساط لازم، ارتفاع

لبه سرریز کانال بکواش تعیین می‌گردد و در این صورت در ایامی که یک واحد از مدار تولید خارج است میزان انبساط کمتر خواهد بود. نوع فیلتر می‌تواند ماسه‌ای متعارف و یا دوجنسی و یا سه جنسی باشد. مزایای این طرح عبارت است از **الف**) طرح و اجرای آن ساده‌تر از نوع متعارف است و برای بهره‌برداری تنها به دو شیر نیاز است. چنانچه نصب بسیاری از تاسیسات کنترل فیلترهای متعارف مانند ابزار اندازه‌گیری افت فشار و کنترل میزان عبور آب ضرورت ندارد. به علاوه تاسیسات مربوط به بکواش مانند الکتروپمپ‌ها و دمنده‌ها و کارهای برقی مورد نیاز نیست در نتیجه هزینه‌های سرمایه گذاری و بهره‌برداری بسیار کمتر از نوع متعارف است. **ب**) همان طور که در بالا یادآوری گردید برای جبران افت فشار در بکواش باید ارتفاع آب روی فیلتر بیشتر شود که هزینه‌های ساختمانی را افزایش می‌دهد.

از این نوع فیلترها در امریکا و استرالیا سال‌هاست که استفاده می‌شود و هیچ مشکلی در بهره‌برداری گزارش نشده است. در شهرهای بزرگی چون شهر مکزیکو با ظرفیت ۲۴ مترمکعب در ثانیه و بسیاری شهرهای دیگر از این نوع فیلترها استفاده می‌شود. این در حالی است که در

کشور ما حتی در تصفیه‌خانه‌های با ظرفیت حدود ۲۰۰ لیتر در ثانیه این گزینه مورد توجه مهندسان مشاور برای مقایسه اقتصادی قرار نگرفته و حتی در سطح تحقیقات دانشگاهی هم مورد توجه نبوده است. امید است این فیلترها که می‌توان با نام سبز آنها را شناخت مورد توجه قرار بگیرد زیرا در طرح‌های کوچک دارای جاذبه‌هایی می‌باشد.

۶-۱۰- طراحی فیلترها

هر واحد فیلتر ثقلی تند دارای لوله‌های ورودی، خروجی، تخلیه و بکواش است که در روی آن چند شیر باید نصب گردد که در بخش بکواش مورد توجه قرار گرفت. همه این لوله‌ها و شیرها در یک طرف فیلتر پیش‌بینی می‌شود تا بهره‌برداری از آن آسان، فضای مورد نیاز کم و هزینه‌های اجرا نیز در کمترین حد گردد. بنابراین فیلترها در یک ردیف و یا در دو ردیف مقابل هم ساخته می‌شوند و تاسیسات پیشگفته در یک راهرو به نام راهرو فیلترها^۱ قرار می‌گیرند. در بالای این راهرو نیز سالن بهره‌برداری قرار دارد که در آن میز کنترل کار فیلترها پیش‌بینی می‌شود و بهره‌برداری و نظارت بر عملکرد کارها مانند بکواش در آنجا انجام می‌گیرد که در شکل شماره ۶-۱ نشان داده شده است.

در طراحی فیلترها لازم است امکانات توسعه آینده در نظر گرفته شود لذا از یک و یا دو طرف فضای توسعه پیش‌بینی می‌شود. با توجه به رقوم هیدرولیکی فیلترها که در رابطه با تاسیسات زلاسازی بالادست و تاسیسات کلرزنی و ذخیره آب پاک پایین دست انتخاب می‌شود پایداری سازه، زیبایی معماری و روشنایی طبیعی باید مدنظر قرار گیرد.

سالن فیلترها باید طوری طراحی بشود که فضا برای عملیات نصب، تعویض و بهره‌برداری از تاسیسات وجود داشته باشد. سالن باید مسقف باشد تا فیلترها از سرما، نزولات و یخ‌زدگی، آلودگی هوا، گرد

و غبار و پرندگان و غیره حفاظت شود. این ساختمان یک فضای صنعتی است و لازم است از نقشه‌های دارای امتیاز ویژه استفاده شود و به همین جهت در تهیه اسناد مناقصه این اصل مد نظر قرار می‌گیرد.

در صورتیکه فضای فیلترها سرپوشیده نیست و خطر یخ‌زدن وجود دارد پیش‌بینی یک شبکه لوله سوراخدار ضد زنگ در محیط داخلی هر فیلتر و کنار دیوارها و در رقوم کمی بالاتر از ماسه پیش‌بینی می‌شود که در ایام یخبندان هوا به داخل لوله‌ها دمیده شده و از روزنه‌ها به آب حوضچه تخلیه شود تا با ایجاد جریان و حرکت آب مانع یخ‌زدگی آن شود. با توجه به پیچیدگی فرایندهای تاثیرگذار روی عملکرد فیلتر و رابطه آن با اندازه ذرات دلمه‌شده و مشکلات استفاده از عملیات آزمایشی، شرکت‌های بین‌المللی متخصص در چند دهه اخیر نظریه‌های مختلفی در مورد ضخامت مصالح دانه‌بندی فیلترها و بار هیدرولیکی آنها انتشار داده‌اند. به عنوان مثال تمایل به استفاده از مصالح درشت دانه و افزایش عمق بستر طرفدارانی پیدا کرده است.

باید توجه داشت که عمق نفوذ ذرات معلق در آب ورودی به فیلتر به چند عامل بستگی دارد که عبارتند از بار هیدرولیکی، اندازه مصالح، لایه‌بندی مصالح، تخلخل بستر، دمای آب و تغییرات فشار هیدرولیکی. بنابراین جز با عملیات آزمایشی نمی‌توان عملکرد فیلتر را در مقابل ذرات معلق ورودی پیش‌بینی نمود. چنانکه همان طور که یادآوری گردید امروزه از فیلترهای آزمایشگاهی در تصفیه‌خانه‌ها استفاده می‌شود تا به طور مستمر رفتار و یا عملکرد آن مورد ارزیابی قرار گیرد و در نتیجه بتوان عملیات بهره‌برداری را به موقع مورد تجدید نظر قرار داد. قبل از پرداختن به طراحی فیلترها مقدمه‌ای در مورد رفتار ذرات دلمه‌شده آهن به عنوان نمونه جامدات معلق آب خام در فیلتر آزمایشی آورده می‌شود.

در یک فیلتر با بستر متعارف دانه‌ای و با ضریب یکسانی کوچک، آب خام همراه با ذرات آهن اکسید شده به آن هدایت گردید و مشاهده





l = عمق نفوذ ذرات آهن اکسید شده برحسب اینچ؛

d = اندازه ذرات ماسه بستر فیلتر برحسب سانتیمتر؛

Q = میزان بار هیدرولیکی برحسب گالن در دقیقه در فوت مربع.

این معادله عبارت است از:

$$l = Kd^{2/46} Q^{1/56}$$

که در آن K ضریب و مقدار آن ۱۸۵۰ می باشد.

طبق گزارش انجمن کارهای آب امریکا برای حداکثر افت فشار هیدرولیکی ۸ فوت (۲/۴۴ متر) و کدورت آب تولیدی توسط فیلتر معادل ۰/۲ میلی گرم در لیتر و میزان بارگذاری هیدرولیکی ۲ گالن در دقیقه در فوت مربع (۴/۵ متر در ساعت) ، ضخامت ماسه مورد نیاز از رابطه زیر به دست می آید:

$$l = Kd^{1/66} \frac{v_t}{v_{10}} = Kd^{1/66} \frac{60}{T + 10}$$

که v_t و v_{10} به ترتیب ویسکوزیته سینماتیک آب t و آب ۱۰ درجه فارنهایت می باشد و K برای ذرات حاصل از دلمه سازی آلومینیوم ۵۸۲ می باشد. این ضریب برای آب تقریباً زلال ۷۹۶ انتخاب می شود. که در مثال شماره ۶-۴ مورد استفاده قرار می گیرد.

بنابراین چون در این شرایط دانه ها هم اندازه هستند و یا چون لایه بندی در بستر رخ نداده، ریزترها فضای خالی درشت ترها را اشغال می نمایند و برای انجام محاسبات در نظر گرفتن اندازه موثر ضرورت دارد. چون این شرایط با فیلترهای مورد استفاده در صنعت آب اختلاف زیادی دارد از ادامه بحث در باره آن خودداری می شود.

☞ ب- فیلترهای تند با اندازه غیر یکسان مصالح^۳

در این فیلترها پس از انجام بکواش همراه با انبساط بستر، گرانول ها

شد که عمق نفوذ ذرات آهن تابعی است از میزان بار هیدرولیکی به طوری که می توان برای آن شاخص تعریف نمود. این شاخص تناسب بار سطحی ذرات و عمق نفوذ آنها می باشد. به طوری که می توان از آزمایش نتایج زیر را بدست آورد:

- هر چه بار ذرات بیشتر و اندازه مصالح بزرگ تر شود عمق نفوذ و یا تناسب بالا بزرگ تر می شود؛
- این تناسب با افزایش میزان کلرورسدیم، سولفات سدیم و سولفات منیزیم در آب خام بزرگ تر می شود که در طراحی فیلترهای پیش تصفیه تاسیسات نمک زدایی باید مورد توجه قرار گیرد^۱؛
- این تناسب با بزرگ تر شدن اندازه ذرات تشکیل شده و عمر آنها کوچک تر می شود؛
- این تناسب با تغییر پی اچ تغییر می نماید و در پی اچ هفت به حداقل می رسد؛
- این تناسب با افزایش تخلخل بستر فیلتر افزایش می یابد.

به هر حال زمانی که افت فشار هیدرولیکی در فیلتر به حداکثر مجاز می رسد نشان دهنده حداکثر انسداد بستر فیلتر می باشد و بدین معنی است که تخلخل بستر از مواد معلق پر شده و اگر فیلتراسیون ادامه یابد فشار منفی بروز می نماید و فرار ذرات به تله افتاده از فیلتر محتمل می شود. بنابراین بارگذاری مواد معلق و عمق نفوذ آنها در فیلتر مطرح می شود که در دو حالت مورد بحث قرار می گیرد:

☞ الف- فیلتر تند با ماسه های یک اندازه

در تحقیق و یافته های استانی^۲ برای شرایط زیر معادله نفوذ ذرات معلق آب تدوین شده است.

T = دمای آب ۲۵ درجه سلسیوس؛

h_f = حداکثر افت فشار هیدرولیکی ۲/۴۴ متر در فیلتر مورد آزمایش؛

۱. بار سطحی فیلترهای دانه ای پیش تصفیه آب دریا باید خیلی کمتر از فیلترهای تصفیه آب متعارف انتخاب شود.

۲. منظور این است که دارای اندازه موثر و ضریب یکسانی می باشند.



به صورت لایه بندی روی هم قرار می گیرند. هر لایه خود دارای تغییرات اندازه می باشد. هر لایه از ماسه به نسبت ضخامت خود کار فیلتراسیون را انجام می دهد، بدین معنی که فرض می شود تخلخل بستر در تمام لایه ها یکسان است؛ به طوری که اگر تمام ضخامت مانند ضخامت دانه بندی لایه مورد نظر بشود عملکرد تغییر ننماید.

حال اگر l_0 مجموع عمق موثر بستر ماسه و l ضخامت لایه با اندازه های یکسان فرض شود، در این صورت dp یعنی تناسب این ماسه به عنوان یک بخش از ماسه موثر که دارای ۱۰۰ درصد سودمندی زدایش است می توان نوشت.

$$\int_{p=0}^{p=1} \frac{l_0 dp}{l} = 1$$

$$\int_{p=0}^{p=1} \frac{dp}{l} = \frac{1}{l_0}$$

و در این صورت با قراردادن معادل l از معادله

$$l = Kd^{1/66} \frac{v_t}{v_{10}}$$

و انجام عملیات ریاضی معادله به صورت زیر در می آید.

$$\frac{1}{l_0} = \frac{v_{10}}{Kv_t} \int_{p=0}^{p=1} \frac{dp}{d^{1/66}}$$

در مواردی بین اندازه موثر مصالح بستر فیلتر و ضخامت لازم مصالح به منظور جلوگیری از فرار جامدات معلق رابطه ای تدوین گردیده که به شکل منحنی هم در آمده است. به عنوان مثال فیلتر ماسه ای برای تصفیه آب متعارف و مصارف شرب، اندازه موثر ۰/۵ میلیمتر و ضخامت بستر ۶۰ تا ۷۰ سانتیمتر را نشان می دهد و اگر اندازه موثر به ۰/۸ میلیمتر افزایش یابد ضخامت بستر به بیشتر از ۸۰ سانتیمتر می رسد. کاوامورا بین ضخامت بستر مصالح فیلتر و اندازه مصالح نیز رابطه ای تدوین نموده است. در جدول شماره ۶-۹ اندازه مصالح فیلتر و ضخامت بستر برای کاربردهای مختلف آورده شده است.

۶-۱۰-۱- شن بستر

همان طور که در بخش مصالح گفته شد لایه های شن به توزیع یکسان آب در مراحل فیلتراسیون و بکواش کمک می نمایند. لذا انتخاب دانه بندی هر لایه باید با دقت انجام گیرد. ضخامت لایه در حدود ۴۵ سانتیمتر باید باشد و طبق نظریه فیر^۱ باید از رابطه زیر تعریف شود:

$$l = k (\log d + 1/4)$$

در این معادله d اندازه شن و k معادل ۱۲ می باشد. در بسیاری از فیلترهای دارای امتیاز ویژه جزییات این لایه ارایه شده است.

☞ مثال شماره ۶-۴:

برای انتخاب مصالح دانه ای یک فیلتر ماسه ای تند ثقلی برای تصفیه آب دریاچه ای با کدورت کم و با دمای ۴۰ درجه فارنهایت معادل ۵ درجه سلسیوس عملیات زیر انجام می گیرد.

الف : ضخامت لازم ماسه بستر به شرح زیر محاسبه می شود. آنالیز دانه بندی ماسه با کمک الک های استاندارد در سه ستون جدول شماره ۶-۹ نشان داده شده است.

با فرض اینکه مصالح مربوط به الک شماره ۱۲ و بزرگ تر در فیلتراسیون دخالت ندارد ارقام آنها نادیده گرفته می شود. ارقام ستون های اول، دوم و سوم از گزارش آنالیز دانه بندی توسط الک های استاندارد به دست می آید. از ردیف های الک های ۱۲ و ۸ می توان دریافت که معادل ۱۱/۸۵ درصد (۵/۵۹+۶/۲۶) از ماسه بزرگ تر از الک شماره ۱۲ می باشد. ارقام ستون شماره ۴ متوسط هندسی اندازه ذرات بین دو الک را نشان می دهد یعنی:

$$(5 \times 5/9)^{1/5} = 5/4$$

و یا

$$(7/1 \times 5/9)^{1/5} = 6/5$$



جدول شماره ۶-۹- اندازه گرانول ها و ضخامت بستر

توصیه صنعت آب امریکا	اندازه موثر گرانول ها (میلیمتر)	مجموع ضخامت بستر (متر)
الف) به طور متعارف پس از دلمه سازی و ذره سازی:		
۱. بستر با گرانول ماسه	۰/۴۵ - ۰/۵۵	۰/۶ - ۰/۷
۲. بستر دو لایه: • آنتراسیت ۰/۳-۰/۶ متر • ماسه ۰/۱۵-۰/۳ متر	۰/۹ - ۱/۱	۰/۶ - ۰/۹
۳. بستر مخلوط • مانند نوع ۲ و گارنت ۰/۱ متر	۰/۲ - ۰/۳	۰/۷ - ۱
۴. گرانول کربن فعال به جای آنتراسیت در فیلتر دولایه	۰/۹ - ۱/۱	۰/۷ - ۱/۰
۵. برای فیلتراسیون مستقیم	۰/۹ - ۱/۱	۰/۶ - ۰/۹
ب) فیلتر با دانه بندی درشت و شستشوی همزمان با آب و هوا:		
۱. برای آبی که ذره سازی و زلال سازی را طی نموده	۰/۹ - ۱/۱	۰/۹ - ۱/۲
۲. برای فیلتراسیون مستقیم که ممکن است ۰/۳-۰/۵ متر ماسه در زیر قرار گیرد.	۱/۴ - ۱/۶	۱ - ۲
ج) به طور متعارف برای زدایش آهن و منگنز:		
۱. بستر دو لایه	۰/۹ - ۱/۱	۰/۶ - ۰/۹
۲. بستر تک لایه استاندارد	کوچکتر از ۰/۸	۰/۶ - ۰/۹
۳. تک لایه درشت دانه	۱ - ۲	۱/۵ - ۳

که در ستون شماره ۴ نشان داده شده است.

ارقام ستون ۵ تناسب وزنی اصلاح شده ماسه کوچکتر از الک شماره

۱۲ را نشان می دهد. چنانچه به عنوان مثال:

$$\frac{47 \times 100}{100 - 11/85} = 53/3$$

و یا

$$\frac{6/2 \times 100}{100 - 11/85} = 7/0.3$$

می باشد که در ستون ۵ آورده شده است.

ارقام ستون ۶ عبارت است از ارقام ستون ۵ تقسیم بر ارقام ستون ۴

به توان ۱/۶۶ چنانکه:

و با در نظر گرفتن ماسه درشت الک های شماره ۱۲ به بعد

$$\frac{11/6 \times 100}{100 - 11/85} = 13/2 \text{ in یا } 33/5 \text{ cm}$$



جدول شماره ۶-۱۰- ویژگی های ماسه مثال شماره ۶-۴

(۱)	(۲)	(۳)	(۴)	(۵)	(۶)
شماره الک	اندازه روزنه های الک (سانتیمتر) $d \times 10^{-2}$	تناسب وزنی ماسه روی الک (درصد) $p \times 10^{-2}$	متوسط هندسی اندازه ذرات بین دو الک (سانتیمتر) $d \times 10^{-2}$	تناسب وزنی اصلاح شده	
				$p \times 10^{-2}$	$\frac{P}{d^{1/66}}$
۳۵	۵	۶/۲۰	۵/۴	۷/۰۳	۹/۱۴
۳۰	۵/۹	۴۷	۶/۵	۵۳/۳	۵۰/۳
۲۵	۷/۱	۲۰/۲	۷/۷	۲۲/۹	۱۶/۸
۲۰	۸/۴	۶/۸۳	۱۰	۷/۷۵	۳/۶۷
۱۶	۱۱/۹	۷/۹۲	۱۴/۱	۸/۹۸	۲/۳۶
۱۲	۱۶/۸	۶/۲۶	۲۰	-	-
۸	۲۳/۸	۵/۵۹	۲۸/۳	-	-
۶	۳۳/۶	-	-	-	-
مجموع		۱۰۰		۱۰۰	۸۲/۳

که ۲۵ درصد هم برای ضریب اطمینان لحاظ می شود. لذا ضخامت

لازم بستر عبارت است از:

سانتیمتر ۴۱/۸ یا اینچ ۱۶/۵

ب : براساس بحث های قبل و با استفاده از معادله:

$$k=12$$

و

$$l=k(\log d + 1/4)$$

اندازه ضخامت شن زیر بستر ماسه محاسبه می گردد.

اندازه شن و ضخامت های لازم مثال شماره ۶-۴

اندازه شن (سانتیمتر)	۰/۲۳	۰/۴۸	۰/۹۵	۱/۹	۳/۶
ضخامت (سانتیمتر)	۱۱	۲۰	۳۰	۳۹	۴۸

لذا ضخامت کل شن زیر ماسه ۴۸ سانتیمتر معادل ۱۹ اینچ خواهد بود

که در پنج لایه حدود ۱۰ سانتیمتری قرار می گیرد. امروزه لازم است ارقام

با توجه به ویژگی های فیلترهای دارای امتیاز ویژه و یا دستاوردهای

عملیات فیلتر آزمایشی تدوین شوند.

۶-۱۰-۴- شبکه زهکش زیر بستر^۱

شبکه زهکش فیلتر باید بتواند دو نیاز هیدرولیکی فیلتر را در حد

مطلوب پاسخگو باشد و لذا طراحی آن براساس دو وضعیت باید انجام

گرفته و کنترل شود.

۱. هر بخش از شبکه زهکش باید بار هیدرولیکی هر واحد سطح فیلتر

مربوط به خود را با حداقل افت فشار هیدرولیکی جمع آوری نموده

و به لوله اصلی هدایت و لوله اصلی شبکه هم آن را به تاسیسات

کنترل میزان جریان برساند.



۲. در جریان انتقال و توزیع آب بکواش بدون آسیب رساندن به لایه‌های شن، آب را به طور یکسان در کف فیلتر توزیع نموده و در نتیجه سرعت بالا آمدن آب در تمام سطح فیلتر یکسان باشد. لازم به توجه است که در فرایند جمع‌آوری آب فیلتر شده فشار هیدرولیکی در محل‌های نازل‌ها در شرایط حداکثر کمتر از ۵ متر است و در هنگام بکواش فشار هیدرولیکی در ورود به شبکه زهکش حدود ۷-۱۰ متر است که روش انجام محاسبات آن در صفحات قبلی یادآوری گردید.

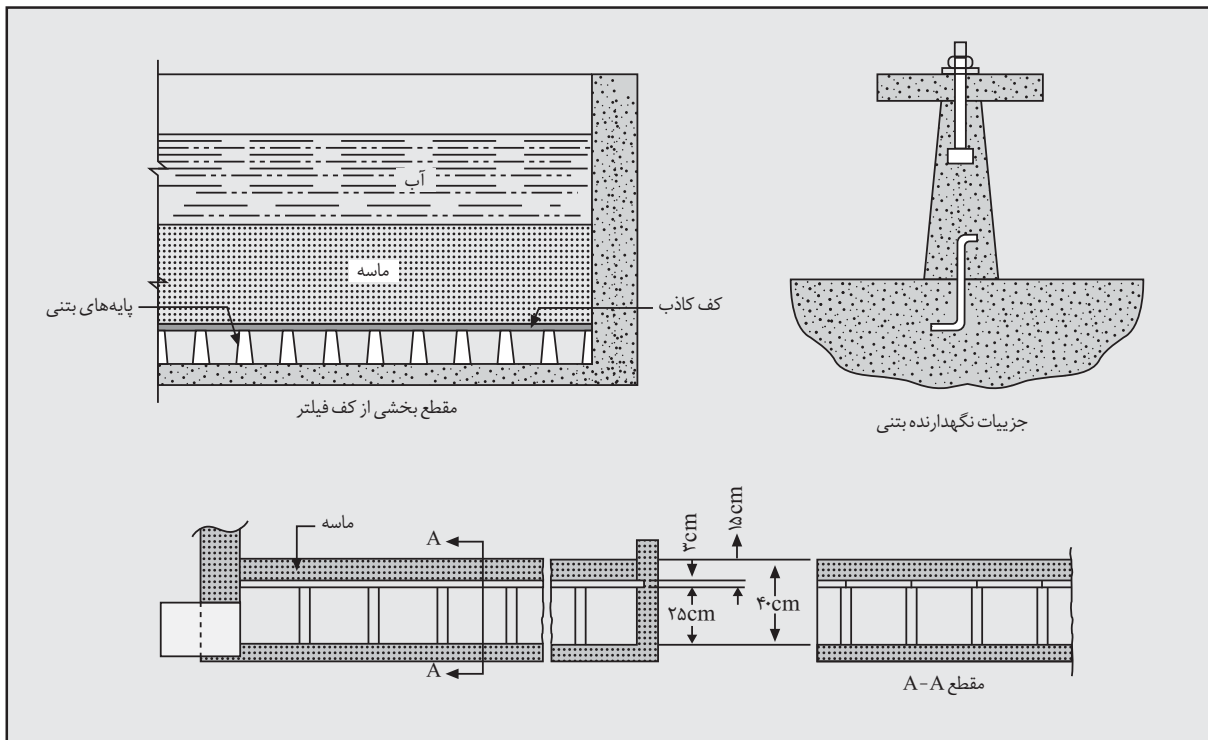
به هر حال افت فشار و سرعت جریان آب در این تاسیسات باید با دقت مورد محاسبه قرار گیرد و یا از طرح‌های دارای امتیاز ویژه^۱ و شناخته شده استفاده شود. در صورتی که چنین امکانی وجود ندارد معیارهای زیر در طراحی شبکه زهکش باید رعایت شود:

- تناسب سطح فیلتر به روزنه‌های آن ۱:۲۰۰ تا ۱:۵۰۰؛
- تناسب سطح مقطع لوله فرعی به سطوح روزنه‌های آن باید در حدود ۱:۲۰ تا ۴:۱ باشد؛
- تناسب سطح مقطع لوله اصلی به مجموع سطح مقطع لوله‌های فرعی مربوط به آن باید در حدود ۱:۵ تا ۱:۳ باشد؛
- قطر روزنه‌ها بزرگ‌تر از ۶ میلیمتر و کوچک‌تر از ۱۲ میلیمتر باشد؛
- فاصله روزنه‌ها روی لوله‌ها بیشتر از ۸ و کمتر از ۳۰ سانتیمتر باشد؛
- فاصله لوله‌های فرعی از هم کمتر از ۳۰ سانتیمتر باشد؛
- امکان تزریق آب و هوا به طور همزمان فراهم باشد؛
- نقاط کور یعنی بدون جریان هوا و آب در کف فیلتر وجود نداشته باشد.
- در صورت امکان نیازی به لایه‌های شن نباشد؛
- توزیع آب بکواش و توزیع آب فیلتراسیون در سطح فیلتر مطلوب باشد.

۳. در فصل پنجم (فیلترهای ماسه‌ای کند) مطلب در حد لازم مورد توجه قرار گرفته است.
۴. این کف به نام کف کاذب معروف است، زیرا پس از آن در فاصله حدود ۰/۳ متر کف واقعی سازه فیلتر قرار دارد.



شکل شماره ۶-۲۳ - کف روزنه دار فیلتر معروف به کف کاذب. جزئیات نگهدارنده کف کاذب هم نشان داده شده است.



۶-۱۰-۳- کانال جمع‌آوری آب بکواش^۱

در موضوع بکواش مشاهده گردید که آب از شبکه زهکش کف به داخل بستر مصالح فیلتری هدایت شده و به طرف روی فیلتر جریان می‌یابد و با خود ذرات به تله افتاده را به خارج از فیلتر حمل می‌نماید. کانال جمع‌آوری آب بکواش برای همین منظور ساخته می‌شود که در شکل‌های متعددی در این فصل مشاهده گردید.

شکل شماره ۶-۲۴ کانال بکواش و پروفیل هیدرولیکی آب را نشان می‌دهد. در طراحی این بخش از سازه فیلتر توجهات متعددی ضروری است. اول اینکه برای حفظ فشار یکسان در شبکه زهکش لازم است فاصله‌ای که آب بکواش به طور افقی طی می‌نماید تا به کانال برسد کوتاه باشد. همچنین هر چه این طول مسیر حرکت کوتاه‌تر

باشد احتمال ته‌نشینی دوباره ذرات معلق در آب بکواش روی فیلتر کمتر می‌شود. برای طراحی این کانال که در بحث‌های گذشته کتاب با نام ناودانک جمع‌آوری هم معرفی شده است چند فرض ضرورت دارد که عبارتند از:

۱. ریزش آب بکواش از لبه سرریز کانال به داخل آن به دلیل ناجیز بودن مقدار آن در واحد طول، روی سرعت آب در کانال تاثیری ندارد.
۲. لبه بالایی کانال به صورت کاملاً افقی طراحی و اجرا می‌شود و جریان آب با تولید پروفیل پارابولیک انجام می‌گیرد.
۳. تنها نیروهای موثر روی انرژی جنبشی آب طبق شکل شماره ۶-۲۴ فشار ایستایی P_1 ، P_2 ، P_3 می‌باشد و مقدار آنها عبارتند از:

1. Wash-water Gutter

مثال شماره ۵-۶:

$$p_r = -\frac{1}{r} w b h$$

که در آن:

$i, l, b =$ به ترتیب عرض، طول و شیب کانال؛

$$Q = \text{مقدار لحظه‌ای آب حاصل از بکواش فیلترها.}$$
$$h_o = h_c \sqrt{\gamma} = 1/\gamma^3 h_c$$

$$h_o = \left(\frac{Q}{2.49b} \right)^{.166} \quad , \quad Q = 2.49bh_o^{1.5}$$

هر کانال $3/5$ فوت از سطح هر طرف خود را تحت پوشش قرار

مقدار آب بکواش جمع آوری شده توسط هر کانال:

که معادل ۷۱۳ مترمکعب در ساعت و سرعت ۴۵ متر در ساعت در

از دیدگاه دیگر می‌توان توجه نمود که سرعت آب بکواش حدود

تعیین تعداد فیلترها و در نتیجه ابعاد هر یک از فیلترها نیاز به

به عنوان مثال اگر تولید آب تصفیه خانه ۳۶۰۰ مترمکعب در

اما از طرف دیگر با فرض اینکه یک فیلتر در حال تعمیر و یک

در بعضی از کشورها ۸۶،۴۰۰ به ۹۰ تقسیم شده و ظرفیت اسمی

۱. ضریب ۰/۱ در مراجع دیگر تا سقف ۲۴/۰ هم متغیر است و نحوه استفاده از آن بستگی به آنالیزهای لازم دارد.

تصفیه‌خانه را ۹۶،۰۰۰ متر مکعب در روز انتخاب می نمایند و در این صورت تعداد فیلترها عبارت است از ۳/۶ و یا ۷ که با رقم نهایی ۸ واحد اختلاف چندانی ندارد. حال در صورتیکه سطح هر فیلتر ۶۰ مترمربع انتخاب شود و اندازه موثر و ضریب یکسانی مصالح انتخاب شده است میزان آب بکواش و هوای لازم باید محاسبه و ظرفیت پمپ‌ها و دمنده‌ها تعیین گردد. با فرض دانه‌بندی فیلتر به شرح زیر کار محاسبات ادامه می‌یابد.

فیلتر دوجنسی معروف به دو لایه با ویژگی‌های زیر:

- اندازه موثر ماسه ۵/۰ و ضریب یکسانی ۵/۱ و اندازه ماسه بزرگ‌تر از ۶۰ درصد معادل ۷۵/۰ میلیمتر و با ضخامت ۳۰ سانتیمتر؛
- اندازه موثر آنتراسیت یک و ضریب یکسانی ۵/۱ و اندازه آنتراسیت بزرگ‌تر از ۶۰ درصد معادل ۵/۱ میلیمتر و با ضخامت ۶۰ سانتیمتر است.

حال باید سرعت ته‌نشینی ماسه با قطر ۷۵/۰ میلیمتر و آنتراسیت با قطر ۵/۱ میلیمتر برای آب با دمای ۱۰ درجه سلسیوس محاسبه شود که از معادله نیوتن استفاده می‌شود که می‌گوید:

$$v_s=\left[\frac{۴}{۳}\times \frac{g\times d}{C_D}\times (S_s-۱)\right]^{۱/۵}$$

$$C_D=\frac{۲۴}{Re}+\frac{۳}{\sqrt{Re}}+۰/۳۴$$

$$Re=\frac{\phi V_s\,d\rho}{\mu}$$

که با عملیات آزمون و خطا سرعت ته‌نشینی^۱ نزدیک به یکسان آنها حدود ۳۴۰–۳۵۰ متر در ساعت است که سرعت آب بکواش ۳۳ متر در ساعت انتخاب می‌شود. در نتیجه در زمان بکواش میزان آب لازم

عبارت است از:

$$Q=\frac{۶۰\times ۳۳}{۳۶۰۰}=۰/۵۵\,m^۳/_{sec}$$

و اگر فشار لازم حدود ۱۵ متر فرض شود، قدرت هر یک از دو الکتروپمپ پیش‌بینی شده عبارت است از حدود:

$$kw=\frac{۰/۵۵}{۲}\times ۱۵\times ۱۸^*=۷۵\,kwh$$

لذا ابعاد فیلترها روی قدرت الکتروپمپ‌ها دخالت مستقیم دارد.

معمولا سه الکتروپمپ در نظر گرفته می‌شود که یک واحد رزرو است و دو واحد باید بتواند حداکثر میزان آب بکواش برای درصد انبساط لازم را تامین نماید که هیچگاه هر دو با هم روشن و یا خاموش نمی‌شوند. دمنده‌های هوا هم با توجه به ظرفیت لازم (جدول شماره ۶–۷)، حدود ۴۵ مترمکعب در مترمربع در ساعت در نظر گرفته می‌شود که باید سه واحد پیش‌بینی شود که ظرفیت هر یک حدود ۱۳۵۰ مترمکعب در ساعت خواهد بود و تاسیسات تصفیه هوا و کنترل میزان هوا و آب هم باید پیش‌بینی گردد.

۶-۱۱- بهره‌برداری

چون سازنده و تامین کننده تجهیزات فیلترها دارای امتیاز ویژه بوده و لازم است حداقل سه واحد مشابه را قبلا در نقاطی نصب و مورد بهره‌برداری قرار داده باشد، لازم است کتابچه دستور بهره‌برداری فیلتر را تهیه و در اختیار بهره‌برداران قرار داده و به موازات آن آموزش عملی هم به متصدیان ارایه نماید.

برخی توجهات اساسی در بهره‌برداری از فیلترها عبارتند از:

- ثبت مستمر کیفیت آب ورودی به فیلتر از نظر کدورت، کلیفرم و جامدات معلق همراه با میزان بار هیدرولیکی؛

	
---------------	---------------

d=0.75mm=0.075cm×0.0328=0.00246ft
V_S = 313×0.00246^{1.۱4}=0.33ft/se=350m/h

۲. با توجه به راندمان پمپ و موتور این عدد بین ۱۵ تا ۲۰ می باشد و معادله عمومی آن عبارت است از

p
=

γ
QH
η

{\displaystyle p={\frac {\gamma QH}{\eta }}}

 که در سیستم SI مقدار γ عبارت است از ۱۰ کیلو نیوتن بر مترمکعب و P بر حسب کیلو وات می‌باشد. در این معادله H ارتفاع دینامیکی بر حسب متر و Q آبدهی پمپ بر حسب مترمکعب در ثانیه می‌باشد.

- ثبت مستمر کیفیت آب تولیدی از نظر شاخص‌های بالا؛
- آنالیز و تعیین عملکرد زدایش هر فیلتر و مجموعه فیلترها؛
- کنترل کار تاسیسات اندازه‌گیری میزان تولید آب و اطمینان به اینکه بار سطحی در محدوده مورد قبول قرار دارد؛

- ثبت زمان بین دو بکواش و میزان آب تولیدی و آب مورد مصرف برای بکواش؛

- توجه به سطح فیلتر در عملیات تزریق آب و هوا برای بکواش و اطمینان به اینکه توزیع آنها توسط شبکه زهکش به طور یکسان در سطح فیلتر است و در صورتیکه وضعیت چنین نیست توقف بهره‌برداری از آن و اصلاح فیلتر که در ادامه خواهد آمد؛

- ثبت میزان ماسه و آنتراسیت حمل شده از فیلتر توسط آب بکواش و وجود آنها در کانال‌های آب بکواش؛

- نمونه برداری از مصالح فیلتر به صورت لایه‌های عمودی^۱، جهت تعیین اندازه موثر و ضریب یکسانی، وجود گلوله‌های گلی و تعیین جنس ترکیب‌های شیمیایی روی ماسه و آنتراسیت؛

- توجه به سطح فیلتر از نظر وجود درز و ترک و برجستگی ماسه و یا حضور شن لایه‌های زیرین در روی بستر.

مدت بهره‌برداری بین دو بکواش با مجذور اندازه مصالح بستر و تخلخل آن به توان چهار تناسب مستقیم دارد و با میزان بار هیدرولیکی به توان ۱/۵ تناسب معکوس. افت فشار در فاصله بین ماسه و دیوارهای فیلتر کمتر از افت فشار در جان فیلتر است و در نتیجه باعث جابجایی مصالح شده و ماسه‌ها از کناره‌ها به داخل بستر تمایل به جابجایی پیدا می‌کنند و فرار آب فیلتر نشده همراه با مواد معلق از این فضاها فراهم می‌شود و به همین دلیل دیواره‌های فیلتر را باید ناصاف ساخت تا اصطکاک هیدرولیکی افزایش یابد. در صورتیکه آب بکواش به طور



یکسان در سطح فیلتر توزیع نشود هر جا که آب کمتری دریافت می‌نماید فرصت تجمع و ماندگاری ذرات معلق فراهم می‌شود و کم کم روی ماسه را پوشانیده و تخلخل آن را کاهش می‌دهد و در نتیجه مقاومت هیدرولیکی آن افزایش می‌یابد. بروز این وضعیت پیامدهای نامطلوبی دارد. این وضعیت در فیلترهای تند تحت فشار، بیشتر مشاهده می‌شود.

در عملیات بهره‌برداری باید به چند اصل توجه داشت که عبارتند از:

- هر چه ذرات معلق آب بزرگ‌تر باشد در فیلتر بهتر زدایش می‌شود، چنانکه تخم انگل‌های روده ای، کرم نوزاد آنها، کیست آمیب‌ها، جلبک‌ها و دیاتمه‌ها در فیلتر با عملکرد مطلوب زدایش می‌شود. اما عبور سرکار یاشیستوزوما^۲ از فیلترها تجربه شده است.

- افزایش کدورت، باکتری‌ها و جلبک‌های آب ورودی به فیلتر مدت زمان بین دو بکواش را کوتاه می‌نماید

- افزایش بار هیدرولیکی نیز مدت زمان بین دو بکواش را کاهش می‌دهد چنانکه در تحقیقی ثابت شده است که مدت پیش‌گفته برای بار هیدرولیکی ۴/۵ متر در ساعت ۲/۵ برابر مدت برای بار هیدرولیکی ۱۱متر در ساعت است و همچنین مدت زمان بهره‌برداری بین دو بکواش بستگی به حاصل ضرب افت فشار در فیلتر تمیز و ریشه دوم بار هیدرولیکی دارد.

در این رابطه می‌توان با نصب لوله پیزومتر روی لوله اصلی شبکه زهکشی و پایش افت فشار و بکواش به موقع فیلتر از بروز فشار منفی جلوگیری نمود. توصیه این است که تمام فیلترهای تصفیه‌خانه به طور مستمر در مدار تولید آب باشند و در صورت نیاز کمتر به آب، بار هیدرولیکی آنها را کاهش داد. در غیر این صورت بهتر است فیلتر به حالت خشک نگهداری شود.

1. Core

۲. Cercaria Schistosoma: بیماری شیستوزمیازیس یک بیماری ناشی از حضور کرم پارازیت در رگ‌هایی از بدن میزبان است. تخم انگل همراه با ادرار و یا مدفوع به محیط تخلیه می‌شود و در محیط آب تبدیل به لارو می‌شود و درداخل بدن میزبان، مانند نوعی حلزون به زندگی ادامه می‌دهد. حلزون نوعی لارو آن را که به نام سرکاریا شناخته می‌شود در آب آزاد می‌نماید و این لارو از طریق پوست انسان وارد بدن او می‌شود و در رگ‌های زیر شکم به زندگی ادامه می‌دهد. این بیماری به نام بیلهارزیازیس هم شناخته می‌شود.



اما اگر روی ماسه ها را کربنات کلسیم پوشانیده باشد توجه بیشتری ضرورت دارد و کاربرد دی اکسید گوگرد باعث تشکیل سولفات کلسیم می شود که چسبندگی بیشتری با ماسه پیدا می نماید. با نمونه برداری از لایه ها و شستن آن در یک ظرف دارای آب پاک به کمک یک شوینده می توان این وضعیت را مورد بررسی قرار داد. بنابراین قبل از هرگونه تصمیم گیری لازم است از گلوله های گل نمونه برداری شده و نمونه ها به آزمایشگاه ارسال شود و ترکیب شیمیایی لایه اطراف ماسه و گلوله های گلی تعیین شود.

روش های حذف گلوله های گل از فیلتر عبارت است از:

- جمع آوری گلوله های گل در زمانی که فیلتر با میزان کم آب در حال بکواش است؛
- ضربه زدن با ابزاری سخت تر از ماسه و شکستن چسبندگی و انجام بکواش با میزان مناسب آب؛
- استفاده از تاسیسات شستشوی سطحی که مورد بحث قرار گرفته است؛
- در آب نگهداشتن ماسه بستر همراه با افزودن یک ترکیب شیمیایی مناسب برای مدتی تا ۴۸ ساعت؛
- انتقال ماسه به خارج از فیلتر و شستن کامل و برگرداندن آن به فیلتر؛

انتخاب روش مناسب مبارزه با گلوله های گل نیاز به انجام آزمایشات و تصمیم گیری توسط متصدی بهره بردار دارد که امکانات و توجهات اقتصادی را باید در نظر گرفت. در جدول شماره ۶-۱۱ ترکیب های مورد استفاده در مبارزه با گلوله های گل نشان داده شده است.

۶-۱۱-۲- جایگزینی مصالح فیلتر

تمام فیلترهای دانه ای هر سال ۵-۷ درصد از مصالح خود را به دلایل زیر از دست می دهند:

- شکسته و ریز شدن گرانول ها؛
- فعالیت های کیسه های هوا؛

برای راه اندازی دوباره فیلتر دارای آب، بهتر است فیلتر ابتدا بکواش شود و آب تولیدی آن هم برای مدتی به فاضلابرو تخلیه شود. در مورد فیلترهای خشک لازم است آب پاک به آرامی از طریق شبکه زهکشی وارد فیلتر شده و به آرامی پر شود و پس از آن دوباره فیلتر به طور متعارف بکواش شود.

۶-۱۱-۱- گلوله های گل

گلوله های گل عبارت است از ذرات معلق به تله افتاده در فیلتر که به هم چسبیده و اندازه آنها درشت و درشت تر می شود و مواردی هم روی دانه های ماسه بستر را می پوشاند. در این صورت اندازه ماسه بزرگ تر شده و به حدود ۲-۵ سانتیمتر می رسد و چون دانسیته نسبی آن کمتر از ماسه خالص است با آب بکواش بالا آمده و روی فیلتر مشاهده و در شرایطی با آب بکواش از فیلتر خارج می شود و در شرایطی در عمق فیلتر باقی می ماند.

به نظر می رسد که علت اصلی تشکیل گلوله های گل ناکافی بودن عملیات بکواش فیلتر است و در نتیجه مواد ژلاتینی موجود در آب ماسه ها را به هم می چسباند. هر چه اندازه گرانول های فیلتر ریزتر باشد این چسبندگی بیشتر است. در این گلوله های گل حضور مواد آلی، میکروب ها، آهن و منگنز وضعیت را خیلی بدتر می نماید. لذا بررسی دقیق مواد تشکیل دهنده گلوله های گل برای انتخاب روش اصلاح ماسه و جلوگیری از تولید دوباره آن ضرورت دارد چنانکه:

- اگر مشکل اصلی ریشه در بیولوژی آب دارد حفظ کلر باقیمانده در آب ورودی به فیلتر نتیجه بخش است؛
- اگر مشکل به علت وجود جلبک های آب است استفاده از سولفات مس توصیه شده است؛
- اگر مشکل ناشی از ترکیب های دلمه ساز آلومینیوم و مواد آلی است کاربرد اسید کلریدر یک کار ساز است؛
- اگر آهن و منگنز روی ماسه ها را پوشانیده کاربرد اسید سولفوریک مفید فایده است.



جدول شماره ۶-۱۱- ترکیب های شیمیایی برای مبارزه با گلوله های گل فیلترها

ترکیب شیمیایی	میزان مصرف	زمان تماس (ساعت)
سود سوزآور	۳-۴ کیلو برای مترمربع	۲۲-۷۲
کربنات سدیم	محلول ۲ درصد	۲۴-۳۶
اسید سولفوریک	۴۰۰ گرم در مترمربع	۴
محلول کلر	با غلظت ۵۰ گرم در مترمکعب	۴۸
دی اکسید گوگرد	محلول ۲ درصد	۱۶

- سرعت زیاد از حد آب بکواش؛
- کم توجهی در مصرف هم زمان آب و هوا.

در اوقاتی که دمای آب کم است از دست دادن ماسه بیشتر است. از دلایل دیگر از دست دادن مصالح فیلتری، تناسب اشتباه مصالح فیلترهای دوجنسی و سه جنسی و یا پایین بودن لبه سرریز کانال جمع آوری آب بکواش است. در مواردی ماسه بستر از طریق شبکه زهکش هم از فیلتر خارج می شود. در صورتیکه از دست دادن مصالح بستر از ۲۰ درصد در سال بیشتر شود ایراد اساسی در عملیات بکواش فیلترهاست. جایگزین کردن مصالح از دست رفته باید با توجه به همان اصولی باشد که در بخش مصالح بستر گفته شد.

در صورتیکه تشخیص داده شد که ذرات لایه های بالایی بستر ریزتر از حد لازم است بهتر است آن را از روی بستر جمع آوری و با مصالح مناسب جایگزین نمود و چند درصد هم بیشتر قرار داد که در بکواش اصلاح شود. پس از اصلاح مصالح بستر و یا در شروع کار یک فیلتر نو لازم است بستر دوبار مورد بکواش قرار گیرد و انبساط بستر با توجه به فاصله های پیش بینی شده حداکثر ممکن گردد تا مصالح به صورت لایه بندی لازم در فیلتر قرار گیرند.

۴-۱۱-۳- بکواش فیلتر

گرچه در بخش طراحی فیلترهای تند مراحل و عملیات بکواش مورد بحث کافی قرار گرفته است اما با توجه به اهمیت آن، در بخش

بهره برداری هم با نگاهی دیگر به آن پرداخته می شود.

ابتدا باید یادآوری بشود که روابط بین اندازه دانه بندی، دانسیته نسبی و میزان آب بکواش به طور مفصل مورد بحث قرار گرفته است و اگر ویژگی های دانه بندی بستر نامعلوم باشد، عملیات بکواش می تواند یا نتیجه مطلوب ندهد و یا باعث از دست دادن گرانول های بستر گردد. گام های اساسی در بکواش عبارتند از:

- بستن شیر آب ورودی به فیلتر و ادامه فیلتراسیون تا رسیدن آب به رقوم سرریز کانال های آب بکواش. در این راستا توجه به توقف تزریق پلیمر به آب ورودی و یا تنظیم آن با توجه به کاهش تولید آب ضرورت دارد. در صورتیکه تاسیسات طوری است که آب خام ورودی به فیلتر در حال بکواش بین بقیه فیلترها تقسیم می شود، تغییر میزان تزریق پلیمر ضرورت ندارد.
- بستن شیر آب خروجی از فیلتر. در مواردی که با خارج کردن یک فیلتر از مدار تولید، میزان آب خام ورودی به تصفیه خانه تنظیم می گردد، مانند تصفیه خانه های کوچک و دارای تعداد محدود فیلتر، تزریق دلمه ساز هم باید مورد تنظیم دوباره قرار گیرد. اما در تصفیه خانه های بزرگ مانند تصفیه خانه ای که دارای ۱۰ فیلتر و بیشتر است، با خارج شدن یک فیلتر از مدار تولید، بار سطحی بقیه فیلترها در حدود ۱۰ درصد افزایش می یابد که باید در طراحی ها این وضعیت پیش بینی شده باشد و در صورتیکه تعداد فیلترها به حدود ۲۰ واحد برسد، این افزایش بار دارای اهمیت در بهره برداری نیست.
- باز نمودن شیر ورودی آب بکواش به فیلتر. با توجه به تاسیسات تامین میزان آب و فشار لازم، عملیات پیش گفته به یکی از روش های زیر برنامه ریزی می شود:

الف) اگر از آب پاک تحت فشار استفاده می شود باید به عملکرد تاسیسات کنترل میزان جریان و فشار آب اطمینان داشت و آب به آرامی طبق جدول شماره ۶-۷ به فیلتر تزریق گردد.

ب) اگر از الکتروپمپ ها بهره گیری می شود با توجه به تاسیسات



می‌رسد که دمیدن هوا و هدایت آب به صورت همزمان نتیجه بهتر می‌دهد. هوای لازم بین ۳۰-۴۵ مترمکعب در مترمربع در ساعت است که بستگی به نوع جنس مصالح فیلتر و سرعت آب بکواش دارد. برای فیلترهای ماسه‌ای متعارف و فیلترهای با ضخامت زیاد دمیدن بیشتر هوا مورد توصیه است. یک نمونه از برنامه‌های مورد اجرا در امریکا به قرار زیر است:

- باز کردن شیر تخلیه آب فیلتر و رساندن آن به رقوم معادل بستر فیلتر؛
- هدایت آب بکواش با میزان ۱۱۲ متر در ساعت به مدت حدود ۳ دقیقه تا اینکه سطح آب به حدود ۸-۱۶ سانتیمتری روی بستر فیلتر برسد؛

- حال هوا به میزان زیاد به فیلتر دمیده می‌شود و تزریق آب و هوا با هم ادامه می‌یابد تا سطح آب به حدود ۱۶ سانتیمتری لبه سرریز کانال جمع آوری آب بکواش برسد؛

- در این زمان دمیدن هوا باید متوقف و میزان تزریق آب کاهش یابد در حدی که انبساط بستر در حدود ۲۰ درصد حفظ گردد و تزریق آب به مدت ده دقیقه ادامه دارد؛

- پس از آن پمپاژ آب به آرامی قطع می‌شود تا بستر به حالت اول برگردد.

تمام ارقام به دمای آب، اندازه موثر و ضریب یکسانی ماسه بستگی دارد و با فرض دانسیته نسبی ۲/۶۵، تخلخل بستر ۰/۴ و تخلخل بستر انبساط یافته ۰/۴۸ خواهد بود.

۶-۱۲- فیلتر آزمایشی^۱ یا آزمایشگاهی

یادآوری گردید که از حدود ۵۰ سال پیش یکی از نوآوری‌ها در زمینه بهبود عملکرد فیلترها استفاده از فیلتر آزمایشی است. به طور متعارف بخش آزمایشگاه تصفیه‌خانه با نمونه‌برداری از آب خروجی از

کنترل میزان فشارهیدرولیکی ابتدا یک پمپ و سپس پمپ دوم باید کار انتقال آب بکواش را شروع نماید.

- عملیات دمیدن هوا هم طبق جدول شماره ۶-۷ باید شروع و ادامه یابد و توجه شود در صورتیکه میزان آب و در نتیجه سرعت آب بکواش در محدوده بالا قرار دارد، هوا به داخل فیلتر تزریق نشود.

- در صورتیکه از تاسیسات شستشوی سطحی استفاده می‌شود باید برنامه‌ریزی مناسب تهیه شود که قبلاً مورد بحث قرار گرفته است.

وضعیت شیرهای فیلتر در عملیات فیلتراسیون و بکواش در جدول شماره ۶-۱۲ نشان داده شده است.

جدول شماره ۶-۱۲- وضعیت شیرهای بهره‌برداری در عملیات مختلف

شیر	فیلتراسیون	بکواش	تخلیه آب تولیدی به فاضلابرو
شیر آب ورودی	باز	بسته	در ابتدا باز
شیر آب خروجی	باز	بسته	بسته
شیر تخلیه آب به فاضلابرو	بسته	بسته	باز
شیر تامین آب بکواش	بسته	باز	بسته
شیر تخلیه آب بکواش	بسته	باز	بسته
شیر شستشوی سطحی	بسته	باز	بسته

۶-۱۱-۴- سایش با هوا

دمیدن هوا از طریق شبکه زهکش فیلتر به داخل بستر باعث سایش گرانول‌های بستر به یکدیگر شده و کمک می‌نماید که ذرات چسبیده به ماسه و یا آنتراسیت از آن جدا شود و لذا نیاز به شبکه توزیع یکنواخت آن در کف صافی است. در برخی طرح‌ها هوا و آب به طور جداگانه و در برخی دیگر همزمان به داخل بستر هدایت می‌شود که هر دو روش در صورت انجام صحیح کار شستشو را انجام می‌دهند. گر چه به نظر



فیلترهای تصفیه‌خانه و بررسی کدورت و آنالیزهای دیگر در صورت داشتن امکانات نسبت به تغییر معیارهای بهره‌برداری اختلاط سریع، تولید ذره و زلالسازی دستور عمل بهنگام شده می‌دهد. با توجه به اینکه ورود آب به تصفیه‌خانه و خروج آن از فیلترها ۲-۳ ساعت وقت لازم دارد، اعمال اصلاحات به طور متعارف حداقل با سه ساعت تاخیر همراه است. برای اجتناب از این تاخیر در اصلاح عملیات بهره‌برداری، از فیلترهای آزمایشی استفاده می‌شود. فیلتر آزمایشی در آزمایشگاه نصب می‌شود و بخش کوچکی از آب خروجی از اختلاط سریع به روی این فیلتر هدایت می‌شود و عملکرد آن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و نتایج آن برای اعمال تغییر در معیارهای بهره‌برداری به متصدی اعلام می‌گردد. بدین ترتیب تاخیر چند ساعته به ۱۰-۱۵ دقیقه کاهش می‌یابد و نظارت بر عملیات بهره‌برداری به طور مستمر ادامه می‌یابد. مصالح بستر فیلتر آزمایشی معمولاً نوع دو جنسی است زیرا توانایی فیلتراسیون آب با کدورت بیشتر را دارد و نرخ رشد مقاومت هیدرولیکی در آن کمتر است. لذا به طور مستمر کدورت آب خروجی از آن پایش می‌شود. افزایش کدورت باید یا به علت میزان نامناسب دلمه‌ساز تزریق‌شده و یا فرار کدورت باشد و برای جلوگیری از فرار کدورت به آب ورودی فیلتر پلیمر تزریق می‌شود.

مدت زمان بین دو بکواش فیلتر آزمایشی ۱-۳ ساعت است تا فیلتر همیشه تقریباً تمیز باشد. معمولاً دو واحد فیلتر آزمایشی به طور موازی در آزمایشگاه نصب می‌شود تا همیشه یک واحد در حال بهره‌برداری باشد. گرچه مدت بکواش فیلتر آزمایشی در حدود ۱۰ دقیقه است اما حتی ۱۰ دقیقه هم پایش متوقف نمی‌شود.

در مواردی که آب خام با کدورت زیاد به تصفیه‌خانه هدایت می‌شود، قبل از فیلتر آزمایشی، زلالساز لوله‌ای آزمایشگاهی نصب می‌شود تا کار زلالسازی را انجام دهد^۱.

اولین فیلتر آزمایشی در سال ۱۳۳۸ یعنی حدود ۵۵ سال پیش در تصفیه‌خانه آب هیدن بریج^۲ نصب گردید و تا سال ۱۳۵۳ حدود ۵۲ تصفیه‌خانه در امریکا مجهز به این فیلترهای آزمایشی گردیده‌اند. طبق آخرین دستاوردها استفاده از فیلتر آزمایشی توسط مراجع معتبر این حرفه توصیه می‌گردد.

۶-۱۳- ارتقای عملکرد تصفیه‌خانه‌های موجود

در بهره‌برداری از تصفیه‌خانه‌های آب شرب بهره‌برداران به طور متعارف با مشکلات زیر روبرو هستند:

الف- نیاز به تصفیه و تولید آب بیشتر نسبت به ظرفیت تاسیسات موجود

با توجه به توسعه فناوری‌ها در زمینه زلالساز و فیلترهای دو جنسی، سه جنسی و فیلترهای گرانول کربن فعال می‌توان تصفیه‌خانه‌های موجود را که از فیلترهای متعارف تک جنسی ماسه‌ای بهره می‌برند تغیر داد تا هم میزان تولید آب بیشتر و هم کیفیت آب تولیدی بهتر شود. در مورد ارتقای واحدهای زلالساز به انواع لوله‌ای و ابر زلالساز و یا اکتیوفلو سخنی نمی‌رود زیرا در فصل چهارم در حد لازم مورد بحث قرار گرفته‌اند. اما در مورد فیلترهای تند متعارف با بار هیدرولیکی حدود ۵-۶ متر در ساعت، باید توجه نمود که شرکت‌هایی دارای امتیاز ویژه فیلترهایی هستند که تا ۱۵ متر در ساعت در مترمربع آب شرب تولید می‌نمایند. بدین ترتیب می‌توان با اصلاح تاسیسات موجود ظرفیت تولید آب تصفیه‌خانه را با حفظ سازه‌های مربوط ۲-۳ برابر نمود و مشکل کمبود آب تصفیه‌شده را کمرنگ‌تر نمود.

بررسی ادبیات این رشته تخصصی نشان می‌دهد که از حدود سال‌های ۱۳۴۰ تصفیه‌خانه‌های زیادی در امریکا دست به تغییر فیلترهای ماسه‌ای متعارف به فیلترهای سه جنسی و دو جنسی

۱. یکی از سازندگان تاسیسات فیلتر آزمایشی شرکت Neptune Microfloc می‌باشد و دیگری شرکت Turbitrol است.

2. Hayden Bridge



فرار کدورت و باکتری‌ها از آنها راحت‌تر بروز می‌نماید و در فضای تماس بین دو جنس تمرکز ذرات معلق به تله افتاده هم بیشتر است و بر اساس این تجربه فیلترهای سه جنسی و یا مخلوط توسعه پیدا کرد که در بخش‌های قبلی مورد بحث قرار گرفت.

- **گام سوم:** لازم به یادآوری است که اندازه موثر ماسه فیلترهای دو جنسی حدود ۵/۵ میلی‌متر است و اندازه موثر ماسه فیلترهای یک جنسی هم در همین حدود است. میزان آب لازم برای بکواش نباید تغییر نماید زیرا گرچه آنتراسیت دارای دانسیته نسبی کمتری نسبت به ماسه است اما چون قطر آن بزرگ‌تر است سرعت ته‌نشینی آنها مشابه ماسه فیلتر انتخاب می‌شود. اما در فیلترهای با طرح اروپایی که اندازه موثر ماسه بزرگ‌تر از ۵/۵ میلی‌متر است با دو لایه کردن آن می‌توان میزان آب کمتری برای بکواش به کار برد. بنابراین قدرت الکتروپمپ‌ها می‌تواند کمتر انتخاب شود و مصرف برق کاهش یابد. مطالعات مفصل برای مقایسه عملکرد دو فیلتر یک جنسی و دو جنسی نشان می‌دهد که:

- در بیشتر از ۸۰ درصد اوقات کدورت آب تولیدی فیلترهای متعارف ۱/۱ واحد جاکسون و کمتر بود؛
- در بیشتر از ۸۸ درصد اوقات کدورت آب تولیدی فیلترهای دو جنسی ۱/۱ واحد جاکسون و کمتر بود؛
- فیلترهای مخلوط یا سه جنسی با بار هیدرولیکی ۵/۴-۲۲ متر در ساعت در تمام اوقات آب با کدورت کمتری نسبت به فیلترهای متعارف تک جنسی و بار هیدرولیکی ۵/۴ متر در ساعت تولید نموده است؛
- فیلترهای مخلوط زمانی که با بار هیدرولیکی ۱۱-۱۳ متر در ساعت تولید آب می‌نمودند مقدار آب مورد مصرف برای بکواش ۵/۱ و برای فیلترهای متعارف ۵/۲ درصد آب تولیدی بوده است.
- فیلترهای مخلوط با بار هیدرولیکی ۳۵/۱۱ متر در ساعت، هر ۲۹ ساعت تولید نیاز به بکواش پیدا نمودند و زمانی که بار

نموده‌اند و ارزیابی نتایج نیز توجیه اقتصادی این اصلاحات را نشان می‌دهد. برای تبدیل فیلترهای متعارف به دو جنسی توجهات زیر ضرورت دارد:

- **گام اول:** تعیین ابعاد و ارتفاع کلی فیلتر از کف کاذب تا لبه سرریز کانال جمع‌آوری آب بکواش. زیرا با تبدیل ماسه به آنتراسیت - ماسه ضخامت لایه‌ها ممکن است تغییر نماید. در فیلترهای تک جنسی ضخامت ماسه بین ۶۰-۷۶ سانتیمتر متغیر است که اندازه موثر روی انتخاب ضخامت تاثیر دارد. برای فیلترهای دو جنسی ضخامت آنتراسیت ۳۰-۶۰ سانتیمتر و ضخامت ماسه ۲۰-۴۰ سانتیمتر انتخاب می‌شود. برای فیلترهای سه جنسی ضخامت کل بین ۷۵-۱۰۰ سانتیمتر متغیر است که بستگی به دانه‌بندی مصالح فیلتری و بار هیدرولیکی دارد.

- **گام دوم:** با توجه به اینکه بار سطحی فیلترهای دو جنسی و سه‌جنسی می‌تواند ۵/۱-۵/۲ برابر بار سطحی فیلترهای تک جنسی شود، و با عنایت به اینکه ارتفاع آب روی بستر تغییر زیادی نمی‌نماید، اگر تعداد روزنه‌ها و قطر آنها همراه با قطر لوله‌های فرعی و اصلی شبکه جمع‌آوری مورد تجدید نظر قرار نگیرد، عملاً افزایش تولید حاصل نمی‌شود.

در صورتیکه تاسیسات انتقال یعنی لوله کشی‌های بالا دست و پایین دست فیلتر دو جنسی شده، مورد تجدید نظر و اصلاح قرار نگیرد افزایش بار هیدرولیکی میسر نمی‌شود زیرا آب بیشتری را نمی‌توان به آنها هدایت نمود و یا آب فیلتر شده را به واحد پایین دست فرستاد. معمولاً ظرفیت تاسیسات ارتباطی بین واحدهای فرایند از نظر هیدرولیکی ۵/۱ برابر ظرفیت اسمی تصفیه‌خانه طراحی می‌شود. لذا بار سطحی فیلتر می‌تواند به ۱۰-۱۱ متر در ساعت برسد. مگر آنکه این معیار توسط طراح رعایت نشده باشد. گرچه فیلترهای دو جنسی مواد معلق بیشتری را از آب زدایش و در خود به تله می‌اندازند اما چون سطح کل ذرات بستر، به دلیل درشت‌تر شدن، کمتر از سطح کل فیلتر تک‌جنسی ماسه‌ای است،



هیدرولیکی آنها به حدود ۶/۱۳ متر در ساعت می‌رسد فاصله بین دو بکواش به ۲۰ ساعت تقلیل می‌یافت؛ با توجه به دست‌آوردهای پیش‌گفته که در بسیاری از مطالعات دیگر نتایجی مشابه به دست آمده است می‌توان چنین نتیجه‌گیری نمود که فیلترهای مخلوط با بار هیدرولیکی ۱۳ متر در ساعت آبی با کیفیت بهتر از فیلترهای متعارف با بار هیدرولیکی ۵/۴ متر در ساعت تولید می‌نماید که نشان از افزایش تولید ۸/۲ برابر دارد.

❖ ب- کاهش کیفیت آب خام به علت حضور ریز آلاینده‌ها به ویژه مواد آلی فاضلاب‌ها

با توجه به حضور آلاینده‌های متنوع به علت راه یافتن فاضلاب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی به منابع آب و هزینه‌های مرتبط با کاربرد فرایندهای دیگر برای تولید آب شرب در توسعه منابع آب گام‌های زیر باید برداشته شود:

- تصفیه فاضلاب‌های شهری و استفاده دوباره از آن و به ویژه توجه به بازچرخانی در شهرها و کاهش مشکلات کمبود آب و در نتیجه کاهش آلودگی منابع آب
- جدا کردن آب شرب از آب مصارف بهداشتی که نیاز به برنامه‌ریزی درازمدت دارد.
- استفاده از فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته، کربن فعال و ممبران‌های اسمز معکوس برای تولید آب شرب از آب مصارف بهداشتی.

❖ ج- افزایش آگاهی مصرف‌کنندگان به اهمیت بهداشتی آلاینده‌های موجود در آب

تجهیز آزمایشگاه‌های کنترل کیفیت آب و شفاف‌سازی در تهیه گزارشات کیفیت آب‌ها با توجه به نوع مصرف آنها ضرورت دارد تا مشترکین و مصرف‌کنندگان آب شبکه احساس اطمینان و امنیت نمایند.

❖ د- رشد سختگیرانه‌تر استانداردهای آب شرب

پاسخگویی به رشد سختگیرانه‌تر استانداردها که در انجام آن سه گام پیش‌گفته باید پیگیری شود. به طور کلی مقوله کیفیت آب شرب و مشکلات آن در فصل اول مورد توجه قرار گرفته است. کتاب از نظر فرایندهای تصفیه مطلب را مورد توجه قرار دارد ولی از نظر استراتژی دراز مدت باید نتیجه‌گیری نمود که جدا کردن آب شرب از آب مصارف بهداشتی یک ضرورت است اما امکان سنجی آن نیاز به انجام کار کارشناسی و تعریف گزینه‌های ممکن دارد. این اصل باید بیشتر مورد توجه قرار گیرد که با افزایش آلودگی منابع آب باید برای هر نوع مصرف کیفیتی تعریف شود و در همان حد هم آب مورد تصفیه قرار گیرد.

۶-۱۴- بازچرخانی آب در تصفیه‌خانه

اگر چه فصل نهم در مورد لجناب‌ها و فاضلاب‌های تصفیه‌خانه آب در حد لازم گفتگو شده است اما مقوله باز چرخانی آب بکواش فیلترها، سرریز تغلیظ‌کننده‌ها و شیرابه حاصل از آبگیری لجناب تغلیظ شده در این بخش مورد توجه قرار می‌گیرد. در این سه نوع آب آلاینده‌هایی مانند کیست کریپتوسپوریديوم، ژيارديا، نماتدها، جلبک‌ها، مواد محلول و ذرات دلمه‌شده وجود دارد و در صورتیکه باز چرخانی مطرح است توجه به این آلاینده‌ها نیز ضرورت دارد.

تجربه نشان می‌دهد که اگر در بهره‌برداری از تغلیظ‌کننده لجناب‌ها بی‌دقتی شود آلودگی‌های پیش‌گفته به ویژه باکتری‌ها با بازچرخانی به آب خام ورودی تصفیه‌خانه می‌رسند و در نتیجه بار آلودگی میکروبی تصفیه‌خانه افزایش می‌یابد.

با توجه به اینکه میزان لحظه‌ای تولید آب بکواش فیلترها در شرایطی قابل ملاحظه است اگر در تاسیسات تصفیه آن، واحد متعادل‌کننده پیش‌بینی نشود تاسیسات اصلی فرایندی را دچار اختلال می‌نماید. گرچه در تصفیه‌خانه‌های بزرگ و با تعداد زیاد فیلترها این وضعیت خیلی کمتر بروز می‌نماید.

مطالعات موردی نشان داده است که وجود ترکیباتی مانند تری -



ج) استفاده از هوا و میزان کم آب در تمام مدت بکواش و اصلاح سرریزهای بکواش فیلترها

د) استفاده از تاسیسات شستشوی سطحی که مورد بحث قرار گرفته است زیرا معمولاً استفاده از شستشوی سطحی باعث کاهش مصرف آب بکواش می‌شود.

ه) در مطالعاتی نشان داده شده است که کاهش مدت بکواش به ۸ دقیقه در مقایسه با ۱۰ دقیقه حدود ۲۰ درصد آب کمتری مورد مصرف قرار گرفته است. بنابراین کاهش مدت مصرف آب باید مورد توجه بهره‌برداران قرار گیرد.

و) افزایش مدت زمان بین دو بکواش همراه با پایش کیفیت آب خروجی از فیلتر و جلوگیری از خروج کدورت و بروز فشار منفی.

واحد متعادل سازی

به طور متعارف تصفیه‌خانه آب بر اساس یک ظرفیت اسمی طراحی، اجرا و مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. بنابراین اگر بازچرخانی آب در محاسبات لحاظ نشده باشد افزایش ۱/۵-۲ درصد تولید و با کیفیت پیش‌گفته می‌تواند در تصفیه‌خانه‌های با ظرفیت کم معیارهای بهره‌برداری را تغییر دهد و چون این تغییرات فیزیکی، شیمیایی و نیز بیولوژیکی روی آب خام است بنابراین توجه و پایش می‌طلبد و برای اجتناب از شوک‌های نامطلوب، پیش‌بینی واحد متعادل سازی ضرورت پیدا می‌نماید. در نظر گرفتن این افزایش ظرفیت در تعریف ظرفیت اسمی تصفیه‌خانه مورد توصیه است.

اگر سطح هر واحد فیلتر ۵۰ مترمربع فرض شود و با نرخ ۴۰ مترمکعب در ساعت در مترمربع مورد بکواش قرار گیرد، میزان آب بکواش ۲۰۰۰ مترمکعب در ساعت و در مدت ۸-۱۰ دقیقه می‌باشد و با پیش‌بینی حوضچه متعادل سازی و با فرض فاصله یک ساعته تا شروع بکواش فیلتر دوم، میزان آب بکواش ورودی به ابتدای تصفیه‌خانه

1. Equalizing Unit

تصفیه‌خانه حدود ۵/۵ مترمکعب در ساعت خواهد بود^۱.

بنابراین در صورت استفاده از مخزن متعادل کننده مشکلات پیش‌گفته در حد زیادی کاهش پیدا می‌نماید. تجربه نشان داده است که آب خروجی از واحد متعادل کننده کیفیت آب خام را کمتر تغییر می‌دهد زیرا شوک هیدرولیکی ایجاد نمی‌شود و ضرورت تغییر میزان افزایش دلمه ساز کمتر شده و واحدهای مورد نیاز تصفیه آب بکواش را هم کوچک‌تر می‌نماید. طبیعی است پیش‌بینی آن مستلزم هزینه است و به علاوه تاسیساتی دیگر نیز باید برای آن در نظر گرفت.

رسوبات حوضچه می‌تواند منشاء تولید طعم و بو در آب خروجی شده و به کیفیت آب تولیدی صدمه بزند. به علاوه اجرای آن نیاز به فضا در محوطه تصفیه‌خانه دارد. هر جا که مسئله آب بکواش فیلترها مطرح می‌شود چهار گزینه باید مورد توجه قرار گیرد که عبارتند از:

- تخلیه به شبکه جمع آوری فاضلاب شهر با توجه به محدودیت‌های شبکه از نظر ظرفیت؛
- تخلیه به کانال آب‌های سطحی محوطه با توجه به محدودیت‌های شبکه جمع آوری از نظر ظرفیت و کیفیت؛
- تخلیه به مخزن متعادل سازی برای استفاده در فضای سبز محوطه؛
- تخلیه به مخزن متعادل سازی برای باز چرخانی و فضای سبز.

کیفیت آب چهار گزینه پیش‌گفته یکسان نبوده و هر کدام فرایندهای تصفیه ویژه خود را لازم دارد که معیارها، نیازمندی‌ها، اولویت‌ها و مقایسه اقتصادی آنها گزینه برتر را تعریف می‌نماید.

- برای تصمیم‌گیری در مورد پیش‌بینی مخزن متعادل کننده مطالعات زیر ضرورت دارد:
- ارزیابی پیامد استفاده نکردن از حوضچه متعادل سازی روی تغییر کیفیت آب خام مورد تصفیه و اثرات آن روی کیفیت آب تولیدی با توجه به ظرفیت اسمی تصفیه‌خانه؛

$$۱. \frac{40 \times 50 \times 10}{60 \times 60} = 5/5 - 6 \text{ m}^3 / \text{min}$$



- ارزیابی افزایش بار سطحی واحدهای زلال‌ساز و فیلترها، این بار نباید از حداکثر معیارهای طراحی بیشتر شود مگر آنکه در طراحی‌ها مورد توجه قرار گرفته و ملحوظ شده باشد؛

- ارزیابی ضرورت تغییر در میزان مواد دلمه ساز در هنگام استفاده از پساب بکواش.

به هرحال استفاده از واحد متعادل سازی باعث می‌شود که میزان پساب بکواش که به ابتدای تصفیه‌خانه هدایت می‌شود با نرخی تقریباً یکنواخت و کنترل شده انجام گیرد. در این صورت فرایندهای لازم تصفیه این پساب برای مشابه سازی آن با آب خام ورودی باید مدنظر قرار گیرد.

تصفیه پساب‌ها

- مشاهده گردید که در پساب‌های پیش‌گفته آلاینده‌های زیادی وجود دارد و اگر بازچرخانی در تصفیه‌خانه مد نظر است باید مورد تصفیه قرار گیرد و در این تصفیه هدف‌های زیر باید مورد توجه قرار گیرد:
- زدایش آلاینده‌ها به ویژه کریپتوسپوریوم، تری‌هالومتان‌ها و ژیاردیا؛
- حفظ یکنواختی در عملیات تصفیه و در نتیجه صرفه جویی در هزینه و وقت؛

تصفیه‌خانه‌های آب در دنیا در مورد استفاده دوباره دارای نظرات کاملاً مشابه نیستند. در صورتیکه آب خام دارای مقادیر زیاد جلبک باشد و مشکل طعم و بو در آب تولیدی وجود دارد، بازچرخانی توصیه نشده است و یا در صورتیکه مشکل تری‌هالومتان‌ها در شبکه توزیع آب وجود دارد، گردش دوباره آب مورد توصیه نیست. به‌طور کلی تصفیه‌خانه‌هایی این بازچرخانی را صلاح می‌دانند که کدورت آب مورد بازچرخانی به زیر ۲ ان‌تی‌یو برسد و بیشتر از ۸۰-۹۰ درصد مواد معلق آن زدایش شود و میزان آن نسبت به تصفیه‌خانه از ۱۰ درصد آب خام

هالومتان‌ها و کدورت‌های زیاد در این پساب‌ها بازچرخانی آن را با مشکل روبرو می‌نماید. یک مطالعه موردی روی کیفیت آب بکواش نشان داده است که در ۱۴۸ نمونه آن در مقایسه با آب خام ورودی به تصفیه‌خانه تعداد کریپتوسپوریوم و ژیاردیا به ترتیب ۲۲۰ و ۱۶۲ درصد بیشتر بوده است و آب حاصل از بکواش فیلترها و سرریز تغلیظ کننده‌ها از نظر آلودگی به طور متعارف آلوده‌تر از آب خام ورودی به تصفیه‌خانه است. بنابراین در صورتیکه باز چرخانی موردنظر است تصفیه آن قبل از بازچرخانی ضرورت دارد.

آب حاصل از واحدهای آبیگری لجناب‌ها چه از نوع مکانیکی مانند سانتریفوژ و چه بسترهای ماسه‌ای را می‌توان مورد استفاده قرار داد اما این بازگرداندن به ابتدای تصفیه‌خانه توجهاتی لازم دارد که در هر شرایطی انجام مطالعات ویژه ضروری است زیرا:

- اگر هدایت سه نوع پساب پیش‌گفته به ابتدای تصفیه‌خانه و اختلاط آن با آب خام به صورت غیر مستمر بوده و از واحد متعادل – سازی^۱ استفاده نشود، هم زمان با هدایت این آب‌ها میزان تزیریق دلمه ساز هم باید افزایش یابد. بنابراین برنامه ریزی به کمک ابزار دقیق لازم است.
- در صورتی‌که در تصفیه‌خانه واحد پیش‌ته‌نشینی وجود دارد پساب‌ها به ابتدای آن هدایت شده و استفاده از پلیمر نیز در این مکان باید مورد توجه قرار گیرد.
- اجتناب از ایجاد شوک هیدرولیکی به تاسیسات اصلی تصفیه باید رعایت شود.

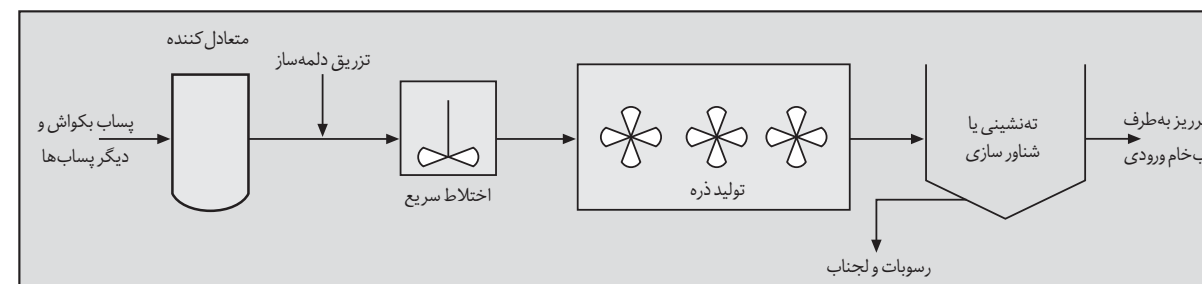
- سعی شود که میزان آب بکواش کاهش پیدا نماید و برای انجام آن گزینه‌های زیر باید مورد توجه قرار گیرد:

الف) استفاده از هوا که در جدول شماره ۶-۷ مقادیر آن نشان داده شده است و خود دارای گزینه‌هایی است.

ب) استفاده از هوا قبل از آب



شکل شماره ۶-۲۵ - دیاگرام فرایندهای تصفیه آب بکواش



بیشتر نشود. برای تصمیم گیری روی فرایندهای تصفیه پساب بکواش

فیلترها مطالعات زیر توصیه شده است:

- مقایسه کیفیت آب تولیدی با بازچرخانی و بدون بازچرخانی و شاخص های مورد مطالعه عبارتند از کریتوسپوریدیوم، ژیا ردیا، مجموع کربن آلی^۱، محصولات جانبی کلرزنی^۲. در صورتیکه مقادیر بیش گفته و معیارهای دیگر کیفی آب از حد مجاز فراتر رود بازچرخانی توصیه نمی شود؛
- توجه ویژه به اثرات شوک هیدرولیکی روی معیارهای طراحی، بهره برداری و کیفیت آب تولیدی.

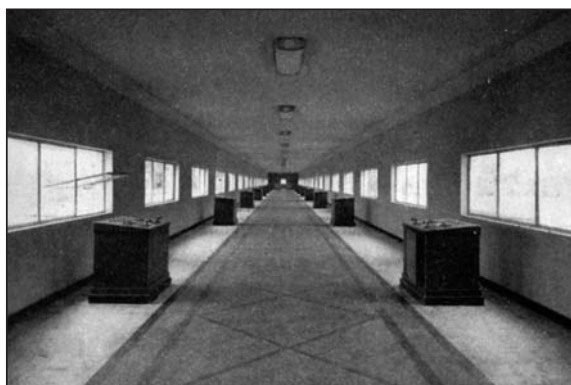
اصول مطالعه کیفیت پساب ها و انتخاب فرایندهای لازم کاملاً مشابه طراحی یک تصفیه خانه آب برای زدایش مواد معلق و میکروبیکی است. این فرایندها عبارتند از ته نشینی یا شناورسازی، فیلتراسیون توسط فیلترهای دانه ای و یا فیلتراسیون توسط ممبران ها و میکروبیکی. دیاگرام حداقل واحدهای لازم برای تصفیه پساب بکواش در شکل شماره ۶-۲۵ نشان داده شده است.

لاگون^۳

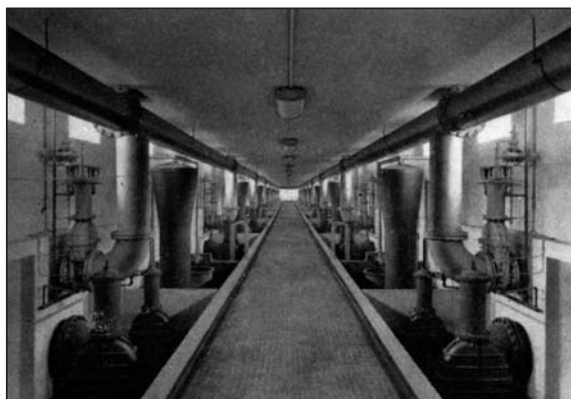
در صورت وجود زمین در محوطه تصفیه خانه استفاده از لاگون برای جمع آوری و تصفیه آب بکواش فیلترها و پساب های دیگر یک گزینه قابل مطالعه می باشد. لاگون دارای تاسیسات ورودی و خروجی بوده



شکل شماره ۷-۲۶ - تاسیسات کنترل فیلترها (دگرمون)



الف) سالن بهره برداری از فیلترها - تصفیه خانه آب لیما - پرو



ب) گالری شیرها و لوله ها با استفاده از سیفون - تصفیه خانه آب لیما - پرو

در ذره ساز بیش از ۴۰ سال است که در دنیا مورد توجه است و طرح هایی با نام های ذرات سنگین شده، ماسه سنگین شده، اکتی فلو شناخته می شوند.

اساس کار ته نشینی با کمک ماسه ریز این است که با افزایش ماسه بسیار نرم به فرایند اختلاط - دلمه سازی باعث تسریع در ته نشینی ذرات تشکیل شده می شود. این ماسه باز یابی شده و مورد استفاده چندباره قرار می گیرد.

بحث بازچرخانی آب در فصل نهم مورد توجه قرار گرفته است.

در شکل های شماره ۶-۲۶ و ۶-۲۷ تاسیسات مربوط به فیلترهای تند ماسه ای که توسط شرکت دگرمون طرح و اجرا شده، نشان داده است.

شکل شماره ۶-۲۶ - یک فیلتر ماسه ای تند در حال بکواش با استفاده از هوا (دگرمون^۱)



رسوبات کف لاگون دارای آلاینده هایی است که نیاز به توجه دارد و به طور کلی لاگون باید آب بند باشد تا منابع آب زیرزمینی را آلوده ننماید. گزینه دیگر اینکه در زیر کف لاگون تاسیسات جمع آوری نشت آب ها پیش بینی شود که کار آیی آن قابل اعتماد نیست. با عملیات جارتست ضرورت پیش بینی واحد تولید ذره مورد توجه قرار گیرد که در این صورت کاربرد دلمه ساز مانند دیاگرام شماره ۶-۲۵ ضرورت دارد.

ته نشینی با کمک ماسه ریز^۴

استفاده از ماسه بسیار نرم برای کمک به ته نشینی ذرات تشکیل شده



فیلترهای ممبرانی



۷-۱- نگاه کلی

بر می‌گردد. امتیازات قابل توجه فیلترهای ممبرانی را می‌توان به اجمال چنین بیان نمود:

- نیاز کمتر به فضا و کارهای سازه‌ای و نیروی انسانی ماهر؛
- سهولت بهره‌برداری و نگهداری و اعتماد به کیفیت آب تولیدی همراه با مصرف انرژی کمتر؛
- مناسب بودن برای تصفیه آب‌های با کدورت کم؛
- مستقل بودن کیفیت آب تولیدی نسبت به تغییرات کیفیت آب خام؛
- عملکرد بهتر در زدایش مواد آلی با استفاده از ترکیب‌های دلمه‌ساز و پودر کربن فعال؛
- در زدایش باکتری‌ها و ویروس‌ها بهتر عمل می‌کنند و نیاز کمتری به ترکیب‌های شیمیایی دارند.

در جدول‌های شماره ۷-۱ و ۷-۲ حدود اندازه‌آلاینده‌های مورد توجه در تصفیه آب برای مصرف‌های شرب و محدوده کاربرد ممبران‌ها نشان داده شده است. کلمه ممبران در این فصل معرف لایه نازکی از ترکیب‌های انسان ساخت معدنی و آلی است که آب تقریباً خالص از

در فصل‌های اول تا چهارم مشاهده گردید که آلاینده‌های آب در سه گروه گازی، ترکیب‌های معدنی و آلی محلول و ذرات معلق قرار دارند و برای زدایش ذرات معلق لازم است از فیلتر استفاده شود. با توجه به مطالب فصل‌های پنجم و ششم در مورد مشکلات و عملکرد فیلترهای دانه‌ای، صنعت ساخت و استفاده از فیلترهای ممبرانی با نام‌های میکروفیلتر، اولترافیلتر، نانوفیلتر و اسمز معکوس رو به گسترش نهاد. چنانکه در سال ۱۳۸۳، مجموع تولید آب توسط دو فیلتر اول در دنیا به حدود ۵ میلیون مترمکعب در روز رسید که حدود ۵۵ درصد آن در امریکای شمالی و ۳۳ درصد آن در اروپا قرار داشت. با شروع توسعه فیلترهای ممبرانی در دهه ۶۰ خورشیدی و توانایی در تولید آب شرب طبق استانداردهای موجود، استفاده از این فیلترها گزینه‌ای قابل مقایسه با روش‌های متعارف تصفیه آب گردیده است. از آنجا که در بهره‌برداری از میکرو و اولترا فیلترها عملیات بک‌واش و شستشو دارای عملکرد مطلوب است بنابراین جایگاه خود را در صنعت تولید آب شرب پیدا نموده است، به طوری که اولین تصفیه‌خانه‌های آب شرب با استفاده از فیلترهای ممبرانی به اواخر همان دهه



جدول شماره ۷-۱- آلاینده‌های آب شرب و اندازه تقریبی آنها

نوع آلاینده	نام آلاینده	حدود اندازه میکرومتر*	حدود یون	کلوئید و مولکول‌های بزرگ	ذرات ریز
بیولوژیکی	پروتوزآها	۱۵-۲۰			×
	تخم انگل‌ها	۱۰-۱۵			×
	جلبک‌ها	۱۰-۱۲			×
	باکتری‌ها	۵-۱۰		×	
	قارچ‌ها	۳-۵			×
	ویروس‌ها	۰/۰۲-۰/۰۳		×	
معدنی ^۱	فلزات	$۱۰^{-۳} \times ۵$	×		
	کلرورها	$۱۰^{-۳} \times ۱۰/۲۴$	×		
	نیتрат	$۱۰^{-۳} \times ۱۰/۲۶$	×		
	سیانور	$۱۰^{-۳} \times ۵/۵$	×		
مواد آلی	شوینده‌ها	۰/۰۱		×	
	مواد آلی طبیعی	۰/۰۱		×	
	تری‌هالومتان‌ها	۰/۰۰۱		×	
	آنتی‌بیوتیک‌ها	۰/۰۰۱		×	
سایر آلاینده‌ها	رنگ	$\approx ۰/۰۰۱$		×	
	کلوئیدها	$\approx ۱۰^{-۱} / ۰/۰۰۱$	×		
	کدورت	کمتر از ۰/۰۱			×
	نمک‌های محلول	کمتر از ۰/۰۰۱	×		

*. تمام اندازه‌های جدول تقریبی است چنانکه اندازه‌روژه‌های نانوفیلترها دارای طیف ۵/۱-۱ نانومتر می‌باشد.

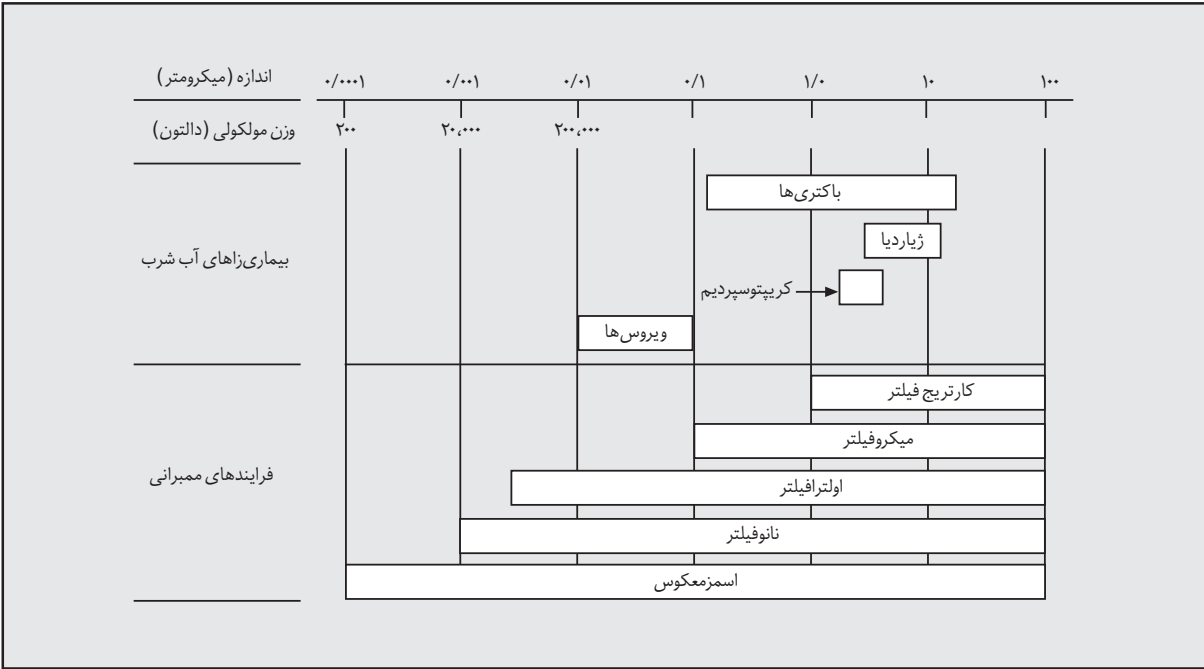
روزنه‌های آن عبور می‌نماید و با تنظیم شرایط ساخت می‌توان اندازه روزنه‌های آن را انتخاب نمود. در فصل‌های پنجم و ششم فیلترهای عمقی مورد بحث قرار گرفتند و در این فصل فیلترهای صفحه‌ای،

زیرا فرایند کار در این فیلترها در روی صفحه انجام می‌گیرد که نوعی غربال کردن است. بنابراین اندازه روزنه‌های صفحه و اندازه آلاینده‌ها باید مورد توجه قرار گیرند.

1. H = 0.053 nm, K = 0.25 nm, Na = 0.37 nm, Ca = 0.62 nm, Mg = 0.70 nm, HCO₃ = 0.42 nm, SO₄ = 0.46 nm, H₂O = 0.33 nm



شکل شماره ۷-۱- محدوده عمل فیلترهای ممبرانی^۱



از شکل شماره ۷-۱ و جدول شماره ۷-۱ می‌توان دریافت که اندازه آلاینده‌های آب برای مصرف‌های شرب در محدوده ۰/۰۰۱-۱۵ میکرومتر قرار دارند که نشانگر طیف بزرگی است. نمک‌های محلول، کلوئیدها و رنگ‌ها کوچکترین و پروتوزآها، تخم انگل‌ها و باکتری‌ها درشت‌ترین ذرات معلق هستند. از طرف دیگر آلاینده‌های گروه مواد آلی مانند شوینده‌ها، مواد آلی طبیعی، تری‌هالومتان‌ها در گروه ترکیب‌های با مولکول‌های درشت قرار دارند.

از جدول شماره ۷-۲ که ممبران‌ها را در پنج گروه تقسیم‌بندی نموده می‌توان دریافت که ممبران اسمز معکوس تقریباً تمام انواع آلاینده‌های آب را زدایش می‌نماید و میکروفیلترها از این جهت دارای محدودیت‌هایی می‌باشد.

ساخت فیلترهای ممبرانی از مواد پلیمری و با روزنه‌های ریزتر

از اندازه آلاینده‌ها، مراحل رشد و تکامل خود را در طی ۳۰ سال گذشته طی نموده و از میکروفیلترها، اولترافیلترها به نانوفیلتر و اسمز معکوس رسیده است که حدود عملکردشان در جدول شماره ۷-۲ آورده شده است.

همانطور که جدول پیش گفته نشان می‌دهد باکتری‌های گروه کلیفرم با نام عمومی میکروب‌ها از روزنه‌های میکروفیلتر عبور می‌کنند اما نانوفیلتر آنها را دفع می‌نماید. همچنین ترکیب‌های معدنی از روزنه‌های نانوفیلتر و اسمز معکوس نمی‌توانند عبور نمایند. جدول شماره ۷-۲ حدود عملکرد این چهار نوع ممبران را نشان می‌دهد ولی اندازه روزنه‌های آنها خود دارای طیف وسیعی است لذا با دانستن اندازه اسمی هر نوع آلاینده می‌توان روی زدایش آن توسط ممبران مورد نظر برنامه ریزی نمود.

۱. محدوده عمل یا کاربرد ممبران دو مقوله جدا از هم هستند. چنانچه محدوده عمل ممبران اسمز معکوس طبق شکل بسیار وسیع می‌باشد اما از این ممبران برای زدایش ذرات بزرگتر از ۲۰۰ هزار دالتون استفاده نمی‌شود. بسیاری از شرکت‌ها سعی در تولید ممبران با روزنه‌های کوچکتر دارند.

جدول شماره ۷-۲- توانایی نسبی^۱ زدایش آلاینده‌ها توسط ممبران‌ها

نوع ذره	نام ذره	اندازه ذره			میکرو فیلتر	اولترا فیلتر	نانوفیلتر	اسمز معکوس	الکترو دیالیز ریورسال (مشروط به باردار بودن ذره)
		یونی	کلویدی و مولکول‌های درشت	ریز					
بیولوژیکی	ویروس‌ها		✓		×	✓	+	+	-
	باکتری‌ها		✓		✓	✓	+	+	-
	تخم انگل‌ها			✓	✓	✓	+	+	-
	جلبک‌ها			✓	✓	✓	+	+	-
	پروتوزآ‌ها			✓	✓	✓	+	+	-
	کیست‌ها			✓	✓	✓	+	+	-
مواد آلی	قارچ‌ها		✓		✓	✓	+	+	-
	مواد آلی طبیعی		✓		×	×	✓	✓	-
	تری‌هالومتان‌ها		✓		×	×	✓	✓	-
	کدورت			✓	✓	✓	✓	✓	✓ (باردار)
	جامدات معلق			✓	✓	✓	+	+	✓ (باردار)
	رنگ		✓		×	×	✓	✓	✓ (باردار)
مواد معدنی	املاح محلول	✓			×	×	✓	✓	✓
	عناصر فلزی	✓			×	×	✓	✓	✓
	کلرور	✓			-	-	✓	✓	✓
	سولفات	✓			-	-	✓	✓	✓
	نیترات	✓			-	-	✓	✓	✓
	سیانور	✓			-	-	✓	✓	✓

✓ - خیلی موثر

+ - خیلی موثر ولی معمولاً به دلیل محدودیت گرفتگی استفاده نمی‌شود.

× - برای موثر بودن لازم است با فرایندهایی چون دلمه‌سازی - ذره‌سازی، ته‌نشینی، گرانول کربن فعال، اکسیداسیون و یا ترکیبی از آنها، تکمیل شود.

- = مورد استفاده نمی‌باشد.

۱. توانایی نسبی به معنی کاربرد آن نمی‌باشد.



چنانکه زدایش ویروس‌ها توسط میکرو فیلتر پس از تشکیل لایه معروف به کیک^۱ انجام می‌گیرد که از نظر کاربردی قابل اعتماد نیست و یا در مورد ترکیبات آلی انسان ساخت، با توجه به اندازه مولکول‌های آنها و اندازه روزنه‌های ممبران مورد نظر می‌توان عملکرد زدایش را پیش بینی نمود. سه نوع فیلترممبرانی سه ستون اول جدول شماره ۷-۲ با عمل غربال کردن آب را تصفیه می‌نمایند و لذا عملکرد آنها قابل پیش بینی است. اما چون فرایند کار در ممبران اسمزمعکوس را بیشتر فرایند انتشار می‌دانند به همین جهت در فصل سوم مورد بحث قرار گرفت. سه نوع فیلتر مورد بحث در صنایع شیر، مواد غذایی، دارویی، نساجی و غیره کاربرد دارند و در صنعت تصفیه آب هم به شرح زیر مورد استفاده می‌باشد:

تصفیه آب

با استفاده از میکرو فیلترهای مناسب بسیاری از آلاینده‌های آب شرب را می‌توان زدایش نمود. در زدایش باکتری‌ها، جامدات معلق دیگر و مواد آلی با وزن مولکولی بالا بدون نیاز به مصرف دلمه‌سازها می‌توانند عملکرد مطلوب داشته باشند. کیفیت آب تولیدی این نوع فیلترها کمتر تحت تاثیر تغییرات کیفیت آب خام قرار می‌گیرند اما در عوض کاهش فلاکس و افزایش افت فشار از پیامدهای کاهش کیفیت آب خام است.

اگر از میکروفیلترها برای عملیات پیش تصفیه آب مورد نیاز ممبران‌های اسمز معکوس استفاده شود کاربرد یک ترکیب شیمیایی مانند آهک برای زدایش سختی کربناتی ممکن است ضرورت پیدا نماید. میکروفیلترهای سرامیکی با کمک آهک می‌توانند، تا سقف ۹۰ درصد سیلیس را از آب زدایش کنند. در عملیات یون‌زدایی توسط مبادله‌کننده‌ها، آب توسط میکروفیلترها پیش تصفیه و در نتیجه عمر مفید مبادله‌کننده‌ها طولانی‌تر می‌شود. حتی کیفیت آب خروجی

از واحدهای مبادله یونی را می‌توان با عبور از میکروفیلترهای با اندازه اسمی روزنه‌های ۰/۲ میکرومتر بهبود بخشید. چون احتمال وجود تری‌هالومتان‌ها، تی‌او‌سی، باکتری‌ها و ویروس‌ها در آب خروجی از تصفیه‌خانه‌های متعارف کم نیست افزودن تاسیسات میکروفیلترها وولترافیلترها در پایین دست فیلترهای دانه‌ای این نگرانی‌ها را کمتر می‌نماید. چنان‌که اگر هدف زدایش ژیا ردیا در حد ۹۹/۹ و ویروس‌ها و کریپتوسپردیم در حد ۹۹/۹۹ درصد باشد کاربرد این دو نوع فیلتر ممبرانی مورد توصیه است، به ویژه چون این عوامل بیماری‌زا نسبت به اثرات کلرزنی نهایی مقاومت نشان می‌دهند. چندین تصفیه‌خانه آب شرب با استفاده از ممبران‌ها در کشور فرانسه در حال بهره‌برداری است و فشار هیدرولیکی مورد نیاز هم در حدود ۰/۵-۱/۵ اتمسفر می‌باشد و کیفیت آب تولیدی آنها از نظر میکروبی و کدورت بهتر از استانداردهای آب شرب اروپا می‌باشد.

در حدود سال‌های ۱۳۷۰ در ۲۴ تصفیه‌خانه آب شرب در ژاپن برای اثبات عملکرد آنها واحدهایی مورد استفاده قرار گرفت. حدود فلاکس آنها برای میکروفیلترها ۱۱-۸۰ و اولترافیلترها ۱۶-۷۵ لیتر در مترمربع در ساعت و با فشار ۱-۳ اتمسفر می‌باشد.

به طور کلی برای کاهش نگرانی از حضور ویروس‌ها در آب شرب کاربرد اولترافیلترها بهتر از میکروفیلترها می‌باشد. استفاده از دلمه‌ساز آلومینیومی و پودر کربن فعال در بالادست اولترافیلترها به زدایش بیشتر مواد آلی و حتی ویروس‌ها کمک می‌نماید. توجه شود که آب خام مورد تصفیه توسط این دو نوع فیلتر ممبرانی باید دارای ویژگی‌های زیر باشد:

کدورت تا سقف ۱۵ ان‌تی‌یو، رنگ تا سقف ۱۰۰۰ واحد رنگ، آهن تا سقف ۲/۵ میلی‌گرم در لیتر و منگنز ۱/۰ میلی‌گرم در لیتر و آب خروجی از آنها دارای کدورت ۰/۱ ان‌تی‌یو، رنگ ۵ واحد رنگ، آهن ۰/۳ میلی‌گرم در لیتر می‌تواند باشد.

1. Cake



میکروفیلترها و اولترافیلترها در صنایع مختلف کاربرد فراوان دارد که می‌توان از صنایع نساجی، کاغذ سازی، چرم و پوست، تصفیه شکر، تولید روغن های گیاهی، تولید عصاره، تولید پودر و غیره نام برد که خارج از موضوع آب شرب است. در شکل ۷-۲ دیاگرام تاسیسات استفاده از دو نوع ممبران نشان داده شده است.

تصفیه آب بکواش فیلترهای تند

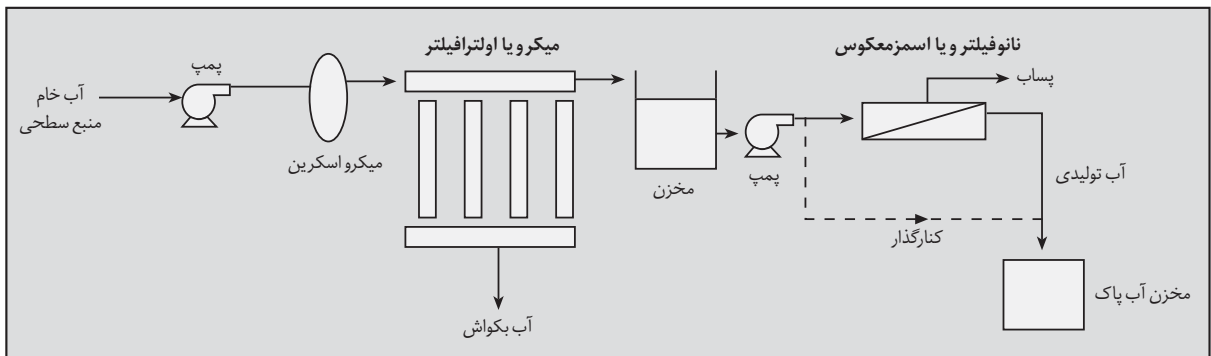
همانطور که در فصل نهم موضوع بازچرخانی آب حاصل از بکواش فیلترهای دانه‌ای بحث می‌شود برای تصفیه این آب و مناسب نمودن آن برای بازچرخانی می‌توان از میکروفیلترها و اولترافیلترها استفاده نمود. زیرا در آب بکواش جامدات معلق وجود دارد که این فیلترها در زدایش آنها می‌توانند عملکرد خوبی داشته باشند.

تصفیه پساب‌ها

در صورتیکه قرار است فاضلاب تصفیه شده شهری مورد استفاده دوباره قرار گیرد با توجه به نوع مصرف از میکرو یا اولترافیلتر می‌توان استفاده نمود. چنانکه در شرایطی می‌توان به کمک این فیلترها و فرایندهای دیگر پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری را برای تقویت منابع آب خام مصرف‌های شرب مناسب نمود.

برای کاربرد میکرو و اولترافیلتر، آب خام باید دارای شرایط فیزیکی مناسبی باشد و به همین جهت در بالادست آنها نصب

شکل شماره ۷-۲ - کاربرد دو نوع ممبران در تصفیه آب در یک ترین یا ردیف



میکرواسکرین و یا کارتریج فیلتر ضرورت دارد. در شکل شماره ۷-۳ چند دیاگرام فرایندی آورده شده است. زدایش روغن از فاضلاب‌های صنعتی توسط نوعی اولترافیلتر انجام می‌گیرد.

اندازه روزه‌های میکرواسکرین و یا کارتریج فیلتر و یا میکروفیلتر با توجه به آنالیز و تعیین طیف دانه بندی ذرات معلق آب خام و تعریف کیفیت آب تولیدی تعیین می‌شود.

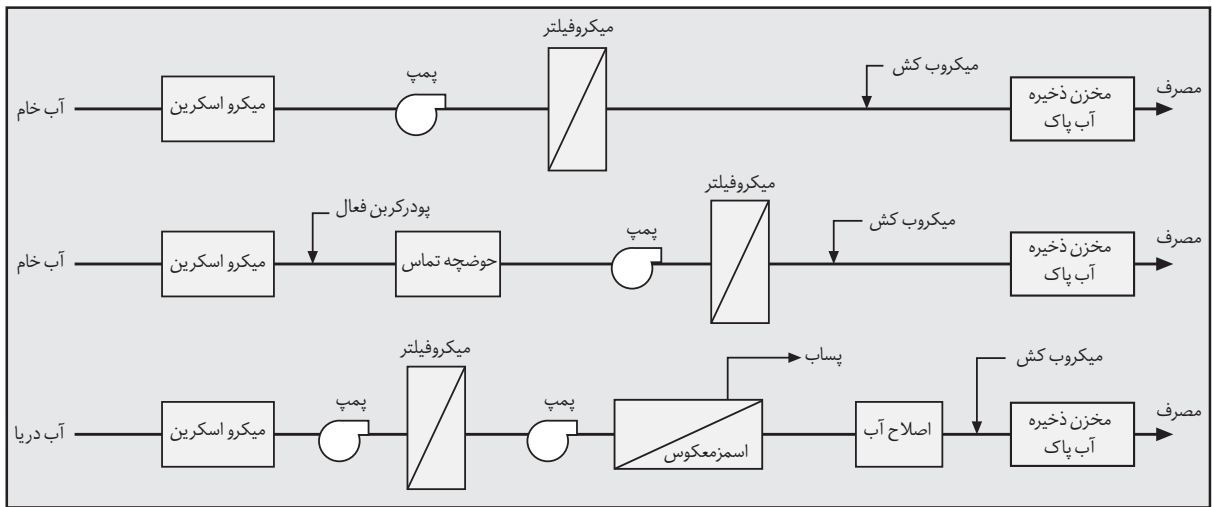
۷-۲- ممبران‌ها

شرکت‌های سازنده ممبران‌ها برای محصولات خود ویژگی‌هایی اعلام می‌دارند که در طراحی و انتخاب آنها باید مورد توجه دقیق قرار گیرند زیرا این ویژگی‌ها دارای طیفی وسیع هستند به طوریکه عملکرد آنها در شرایط یکسان ممکن است دارای دامنه تغییرات زیادی باشد. بعضی از آنها از پلی پروپیلن، پلی سولفون، پلی آمید، پلی اترسولفون و مانند آنها ساخته می‌شوند که دارای روزه‌های یکسانی نیستند.

میزان عبور آب از واحد سطح آنها فلاکس نامیده می‌شود که با اعمال فشار هیدرولیکی انجام می‌گیرد و به طور متعارف برحسب لیتر در مترمربع در ساعت بیان می‌شود. با کاهش دمای آب و افزایش ویسکوزیته آب میزان فلاکس کاهش می‌یابد و لذا برای حفظ فلاکس باید فشار هیدرولیکی را افزایش داد که با محدودیت‌هایی روبرو می‌شود. مواد مورد استفاده برای ساخت آنها معدنی و یا آلی می‌باشد و مواد آلی مورد استفاده می‌تواند آبدوست و یا آبگریز باشد. مواد معدنی



شکل شماره ۷-۳ - دیاگرام‌های مختلف فرایندی تصفیه آب با استفاده از میکروفیلترها

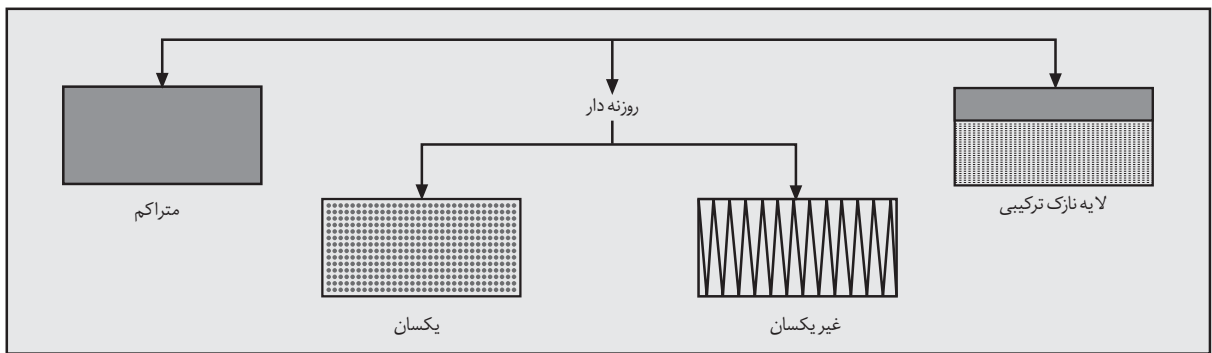


ممبران هم در محدوده ۲۰۰ میکرومتر است.

در انواع غیریکسان ممبران از دو بخش تشکیل گردیده که لایه رویی با ضخامت کم و در حدود ۵/۰ میکرومتر است و لایه زیرین که متخلخل است دارای ضخامت ۱۰۰-۱۵۰ میکرومتر است. بافت انواع ممبران‌ها در شکل شماره ۷-۴ نشان داده شده است. طبق شکل ممبران‌های روزه دار که دارای ویژگی تراوایی هستند به دو دسته یکسان و غیریکسان تقسیم می‌شوند. ممبران‌های نازک ترکیبی نیز از نظر شکل روزه‌ها در گروه غیریکسان قرار دارد.

مورد استفاده عبارتند از اکسیدهای آلومینیومی، تیتانیوم، سیلیس و فولاد ضد زنگ که به نام ممبران‌های سرامیکی شناخته می‌شوند. ممبران‌های سرامیکی نسبت به دما و پی‌اچ آب و اکسیدکننده‌های آب حساسیت کمتری دارند و لذا دارای جذابیت بیشتری می‌باشند، گرچه گران‌تر هستند و از نظر اندازه روزه‌ها هم دارای محدودیت‌هایی می‌باشند. ممبران‌های ساخته شده از پلیمرها از نظر شکل و اندازه روزه‌ها به دو دسته یکسان و غیر یکسان^۱ تقسیم بندی می‌شوند. در نوع یکسان روزه‌های ممبران تقریباً یک اندازه بوده و ضخامت

شکل شماره ۷-۴ - طبقه بندی ممبران‌ها از نظر بافت



1. Symmetric & Asymmetric



۷-۲-۱- شکل ممبران‌ها

ممبران‌ها به طور متعارف در چهار شکل کلی ساخته می‌شوند که عبارتند از:

فیبرهای توخالی^۱، المان‌های لوله ای^۲، المان‌های صفحه ای^۳ و المان‌های پیچیده^۴. در فصل سوم و در بخش نمک زدایی با روش اسمزمعکوس در مورد المان‌های پیچیده مطالبی آورده شده است. در صنعت نمک زدایی از آب‌های لب شور و شور برای تولید آب شرب از المان‌های فیبری و المان‌های پیچیده استفاده می‌شود و دو نوع دیگر در بخش صنعت بیشتر به کار می‌رود. ویژگی‌های شش نوع ممبران در جدول شماره ۷-۳ برای مقایسه آورده شده است. با توجه به ویژگی‌های آورده شده در جدول پیش گفته و ویژگی‌های زیر انتخاب نوع المان برای کاربرد ویژه انجام می‌گیرد:

جدول شماره ۷-۳- شکل و کاربرد شش نوع فیلتر ممبرانی

فیبرهای توخالی	مواد پلیمری به صورت فیبرها و یا الیاف توخالی تهیه می‌شود. قطر خارجی آنها ۵/۲۰۰ میلی‌متر است و قطر داخلی آن حدود یک سوم قطر خارجی است و ضریب سطح به حجم آن عبارت است از ۱۲۰۰-۱۷۰۰ مترمربع برای هر متر مکعب مواد.
صفحات پهن	مواد پلیمری به صورت صفحه تهیه می‌شود که در یک چار چوب به نام قاب قرار گرفته و کار فیلتراسیون را انجام می‌دهد و در صنعت کاربرد دارد.
صفحات لوله‌ای	این نوع مدول‌ها بیشتر از مواد معدنی ساخته شده که بنام فیلترهای سرامیکی شناخته می‌شوند. گرچه ضریب سطح به حجم آن کم است اما جریان آب با سرعت بیشتری از آن عبور می‌نماید. لذا آب‌های با مواد معلق زیاد به آن صدمه نمی‌زند و عملیات بکواش آن را تمیز می‌نماید. ضریب سطح به حجم ۱۴۰-۴۰۰ مترمربع در مترمکعب است.
صفحات پیچیده	با استفاده از صفحات پهن و قرار دادن لایه اسپیسر ^۵ و پیچیدن آن به دور لوله مرکزی جمع آوری آب، آن را صفحات پیچیده نامند. در ساخت مدول‌های نانوفیلتر و اسمزمعکوس با توجه به اندازه اسمی روزنه‌ها بیشترین کاربرد را دارد.
فیبرهای توخالی نازک	این فیبرها دارای قطر خارجی ۰/۰۸۵ میلی‌متر است که در نمک زدایی کاربرد دارد. ضریب سطح به حجم آن ۵۶۰۰-۷۴۰۰ مترمربع به مترمکعب است.
صفحات متخلخل	در صورتی که صفحات پهن به صورت فشرده تهیه شود و تحت تاثیر پرتو رادیواکتیو قرار گیرد، در آن شیارها و مجاری ایجاد می‌گردد که نوعی فیلتر ممبرانی است. این ممبران‌ها در داخل محلول خاصی قرار می‌گیرد تا در آن مجاری عبور آب ایجاد گردد.

1. Hollow Fiber	3. Flat Sheet	5. Spacer	7. Cross Flow
2. Tubular	4. Spiral Wound	6. Dead End	



- روش انجام بکواش و آب و هوای مورد استفاده؛
- سطح مفید هر واحد المان همراه با وزن آن. سازندگان در راه تولید المان‌های با سطح زیاد تلاش دارند زیرا باعث کاهش هزینه‌های دیگر می‌شود.

۷-۲-۲- ویژگی‌های ممبران‌ها

مشاهده شد که یکی از ویژگی‌های المان‌ها که نیاز به توجه دارد نوع پلیمر مورد استفاده برای ساخت آن است. پلیمرها از نظر ویژگی‌ها دارای تفاوت‌هایی هستند که عبارتند از:

- میزان دفع: هر چه اندازه روزنه‌های ممبران کوچکتر باشد، ذرات بیشتری دفع و بر روی سطح ممبران باقی می‌ماند و بنابراین در مقابل گذر آب ایجاد مقاومت می‌نمایند که گرفتگی نامیده می‌شود.
- آبدوستی و آبگریزی: ممبران‌های آبدوست با سرعت کمتری دچار گرفتگی می‌شوند و لذا فاصله زمانی بین دو بکواش آنها طولانی‌تر از انواع آبگریز است و بنابراین به طور کلی از این نظر مطلوب‌تر هستند.

- بار الکتریکی: گروهی از پلیمرهای مورد استفاده دارای بار الکترواستاتیک منفی هستند بنابراین ذرات معلق دارای بار منفی را دفع می‌نمایند و چون بیشتر ذرات معلق آب ماند رس، سیلت و مانند آنها دارای بار الکترواستاتیک منفی هستند، بنابراین دیرتر دچار گرفتگی ناشی از تجمع ذرات معلق باردار آب می‌شوند. به علاوه ذرات حتی ریزتر از اندازه روزنه‌های ممبران، اگر دارای بار منفی باشند نمی‌توانند از آن عبور نمایند. گروهی از ممبران‌ها که در ابتدا دارای بار الکتریکی نیستند در فرایند بهره‌برداری دارای بار منفی می‌شوند.

- ناصافی سطح ممبران: هر چه سطح ممبران صاف‌تر باشد دیرتر

گرفتار تجمع ذرات معلق آب و در نتیجه گرفتگی می‌شود و ممبران‌ها از این نظر دارای ویژگی‌های یکسانی نیستند.

- تخلخل: تناسب ضخامت لایه ممبران به وزن واحد سطح آن نشانگر فضاهای خالی و یا تخلخل المان است و هرچه کمتر باشد مقاومت هیدرولیکی آن نسبت به عبور آب بیشتر است.
- پایداری: ترکیب‌های شیمیایی، دمای آب و فشار هیدرولیکی روی بافت المان تاثیر گذار است، بعضی از آنها دارای عمر مفید بیشتر هستند و لذا پایدار تر شناخته می‌شوند. حمله باکتری‌ها و تجزیه ممبران توسط آنها نیز در ممبران‌ها متفاوت است. این ویژگی روی روش‌های بهره‌برداری آنها دخالت دارد.
- فشار هیدرولیکی: برای افزایش فلاکس ممبران، افزایش فشار هیدرولیکی لازم است. زیرا عامل اصلی عبور آب از روزنه‌های این ممبران‌ها فشار هیدرولیکی می‌باشد. بعضی از آنها در یک محدوده فشار تعریف شده کار می‌کنند و تحت اثر فشار، دچار فشردگی می‌شوند یعنی تخلخل آنها کاهش پیدا می‌نماید.

به عنوان نمونه شرکت داو^۱ نوعی میکروفیلتر فیبری ساخته که طبق کاتالوگ آن دارای ویژگی‌های زیر می‌باشد:

- اندازه اسمی روزنه‌ها ۰/۰۳ میکرومتر؛
- پلیمری است آبدوست؛
- قطر خارجی الیاف ۱/۳ و قطر داخلی ۰/۷ میلی‌متر است؛
- پلیمری است مقاوم به ترکیب‌های شیمیایی و آب با دمای تا سقف ۴۰ درجه سلسیوس را تحمل می‌نماید؛
- بکواش آن با هوا انجام می‌گیرد؛
- جریان آب عمودی و از بیرون به داخل فیبر می‌باشد و در نتیجه از سطح بیشتری از المان استفاده می‌شود.



کلرید آن آبدوست است. ترکیبی است مقاوم به کلر و طیف وسیع پی اچ ۲-۱۰ و آب با دمای ۷۵ درجه سلسیوس را تحمل می نماید. شرکت های سازنده این نوع فیلترها از پلیمرهای پیش گفته می توانند ممبران های ویژه تولید کنند چنانچه شرکت پال^۲ از پلی اکریل نیتریل و پلی وینیلیدین فلوراید، شرکت هیدرونتیک^۳ از پلی اترسولفون و شرکت یو اس فیلتر^۴ از پلی پروپیلن و پلی وینیلیدین فلوراید برای ساخت ممبران های خود استفاده می نمایند. کم نیستند شرکت هایی که برای شرایط خاص ممبران ویژه تولید می نمایند. باید توجه داشت که ممبران های اسمزمعکوس، نانوفیلتر و اولترافیلترها دارای طیف وسیعی از اندازه روزه ها هستند به طوری که خود به دو دسته فشرده و غیرفشرده تقسیم بندی می شوند که در طراحی و انتخاب آنها باید دقت به کار رود. اما میکروفیلترها به دلیل درشتی روزه ها از این دسته بندی خارج هستند. برای مثال ممبران اسمزمعکوس متعارف تا حدود ۹۹ درصد کلرور و سولفات سدیم را دفع می نماید و ممبران اسمزمعکوس غیرفشرده کمتر از ۹۵ درصد و بیشتر از ۷۰ درصد آنها را دفع می نماید. بنابراین توجه به کاتالوگ ویژه هر نوع فیلتر ممبرانی از نظر اندازه اسمی روزه ها اصل اول است. این ویژگی با اصطلاح ام دبلیو سی او^۵ بیان می شود که وزن مولکولی پروتئینی را نشان می دهد که ممبران حداقل ۹۰درصد آن را دفع می نماید و بنابراین مولکول های بزرگ تر از آن هم دفع می شوند. این ویژگی در صنایع کاربرد فراوان دارد. طبق مدارک موجود بیش از ۱۰۰ ماده برای ساخت فیلترهای ممبرانی استفاده شده است اما کمتر از ۲۰ نوع آن در صنعت کاربرد پیدا نموده و مورد تایید مقامات بهداشتی قرار گرفته است. مهم ترین پلیمرهای آلی مورد استفاده عبارتند از استات سلولز، پلی آمید، پلی وینیلیدین فلوراید، پلی سولفون، پلی تترافلوراتیلن، پلی پروپیلن. از مواد غیرآلی مانند فولاد ضدزنگ و اکسید تیتانیوم و مانند آن هم میکروفیلترهای سرامیکی ساخته می شود که طیف کاربرد آنها

۷-۲-۳- پلیمرهای مورد استفاده جهت ساخت

با توجه به مطالب پیش گفته چهار گروه اصلی از پلیمرهای مورد استفاده برای ساخت فیلترهای ممبرانی با ویژگی های مورد بحث عبارتند از:

- استات سلولز**: ممبران های ساخته شده از این پلیمر آبدوست بوده و دارای فلاکس بالایی است. پلیمری ارزان و اندازه روزه های آن دارای طیف وسیع تری است. پلیمری حساس به حمله باکتری هاست اما نسبت به کلر مقاوم است و لذا اثرات تخریبی باکتری ها را می توان تحت کنترل قرار داد. محدوده تحمل پی اچ آب در آن ۴-۸/۵ بوده و آب با دمای بیشتر از ۳۸ درجه سلسیوس به آن صدمه می زند.
- پلی سولفون و پلی اترسولفون**: به طور کلی این پلیمرها آبگریز بوده و به سرعت دچار گرفتگی می شوند. در مقابل نسبت به آثار مخرب باکتری ها و ترکیب های شیمیایی مانند کلر مقاوم تر هستند. آب با پی اچ ۲-۱۳ روی آنها تاثیر مخرب ندارد و آب با دمای بالا را تحمل می نمایند. بنابراین نتایج عملیات شستشو مطلوب تر است.

- پلی پروپیلن**: پلیمرهایی آبگریز بوده و در نتیجه به سرعت دچار گرفتگی می شوند. اما در مقابل ترکیب های شیمیایی بسیار مقاوم هستند و بنابراین شستشوی آنها با ترکیب های شیمیایی به سهولت انجام پذیر است. در آب با پی اچ ۲-۱۴ بدون مشکل عمل می نمایند اما نسبت به اکسیدکننده ها حساس می باشند به طوری که کلرآمین آب خام باید کمتر از ۵/۰ میلی گرم در لیتر باشد. مقاومت مکانیکی آن بالا و لذا فشار هیدرولیکی بیشتری را تحمل می نماید.

- پلی وینیلیدین فلوراید**^۱: ترکیبی آبگریز است اما نوع وینیلیدین

وسیع تر از انواع پلیمری است و قیمت آنها هم گران تر است.

ویژگی های مورد مطالعه برای انتخاب آنها عبارتند از:

- مقاومت در مقابل ترکیب های شیمیایی؛
- تحمل دما؛
- طیف بزرگ تر تحمل پی اچ؛
- طیف بزرگ تر تحمل فشار هیدرولیکی؛
- امکانات انجام بکواش؛
- عمر مفید و دوام بیشتر؛
- قیمت تهیه؛
- ویژگی های اندازه روزه ها و تعداد آنها در واحد سطح ممبران.

۱- ممبران های سرامیکی

استفاده از ممبران های غیرآلی معروف به سرامیکی از حدود ۳۰ سال پیش آغاز گردید. شکل غالب آنها لوله است و هر المان آن دارای چندین مجرای موازی است که در سازندگان مختلف یکسان نیست. قطر داخلی مجراها ۲-۶ میکرومتر می باشد که برای زدایش و یا دفع مولکول های دارای وزن ۱۵-۳۰۰ هزار دالتون مناسب است. شرکت یو اس فیلتر، ممبرانی از این دست ساخته است که مقطع آن چند ضلعی بوده و هر المان آن دارای ۳۷ مجرا با قطر ۳ میلیمتر و با طول المان ۱/۰۲ متر است. در تمام انواع المان های سرامیکی آب خام در داخل مجراها جاری شده و به علت فشار هیدرولیکی، آب خالص از داخل به خارج مجرا تراوش می نماید. بیشتر اولترافیلترهای فشرده و غیرفشرده در این گروه قرار دارند. این نوع ممبران ها در مقابل دما، پی اچ و ترکیب های شیمیایی مقاومت بیشتری دارند اما شکننده بوده و فشار هیدرولیکی زیاد را نمی توانند تحمل کنند و به همین جهت در ساخت میکرو و اولترافیلترها کاربرد دارند که فشار هیدرولیکی مورد نیاز برای بهره برداری زیاد نیست.

۷-۳- هیدرولیک فیلترهای ممبرانی

فیلترهای ممبرانی مورد بحث با فشار هیدرولیکی آب عمل می نمایند لذا به کمک پمپ مناسب آب به داخل استوانه و روی فیبرهای توخالی هدایت شده، آب خالص ازروزنه ها عبور می نماید و ذرات معلق را باقی می گذارد. جهت عبور آب به دو صورت عمودی و موازی انجام می گیرد. در روش عمودی که فیلتراسیون مستقیم هم نامیده می شود تمام آب خام، معادل میزان تولید به کمک پمپاژ از ممبران عبور می نماید که نشانگر باز یافت ۱۰۰ درصد است و در حدود ۱۰ درصد از آب تولیدی هم برای بکواش به کار می رود. سابقه استفاده از رژیم هیدرولیکی عمودی به حدود ۳۰ سال پیش بر می گردد. چون تقریبا تمام ذرات معلق آب خام روی ممبران باقی می ماند و باعث ایجاد گرفتگی زودتر می شد لذا بکواش آن به دفعات باید انجام می گرفت. امتیاز اصلی این رژیم هیدرولیکی نیاز کمتر به مصرف انرژی است. در روش موازی بخشی از آب خام در حال عبور از روی صفحات ممبران به علت فشار هیدرولیکی از ممبران عبور کرده و باقیمانده از دستگاه خارج می شود و لذا آب را باید به کمک پمپ همراه با آب خام جدید دوباره بر روی ممبران ها فرستاد که با نام گردش دوباره هم شناخته می شود. به دلیل وجود جریان و سرعت آب، ذرات معلق آن روی ممبران ها رسوب نمی کنند و لذا گرفتگی ممبران کمتر رخ می دهد که به بهای مصرف بیشتر انرژی الکتریکی خواهد بود. با توجه به امکانات مطلوب بکواش امروزه بیشتر تاسیسات این دو نوع فیلتر، بر اساس هیدرولیک عمودی بهره برداری می شوند. در شکل ۷-۵ دونوع رژیم هیدرولیکی به صورت دیاگرام نشان داده شده است.

استوانه های حاوی المان های میکروفیلتر و اولترافیلتر می تواند افقی یا عمودی قرار گیرد و انواعی از آنها را می توان در حوضچه آب خام قرار داد که با فشار هوا عمل می نماید^۱. نوع فیبری و یا الیاف توخالی در این رژیم هیدرولیکی کاربرد دارد و تناسب قطر داخلی به

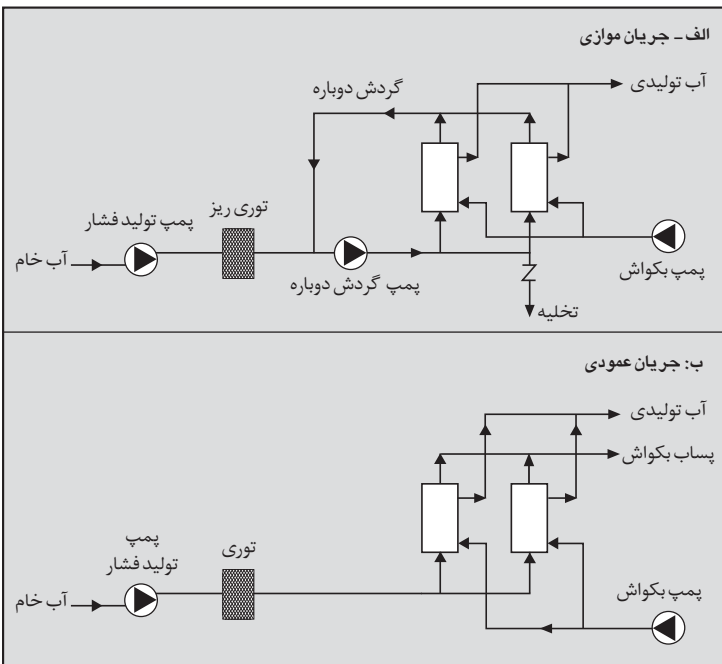
۱. با نام ممبران های مستغرق هم شناخته می شوند.

1. PVDF 2. Pall 3. Hydranautics 4. U.S. Filter ۵. وزن مولکولی (MW) کلرورسدیم، گلوکز و آلبومین به ترتیب عبارتند از ۵/۵۸، ۱۸۰ و ۶۷۰۰ دالتون و MWCO بیانگر قدرت دفع ممبران از نظر اندازه مولکولی است.



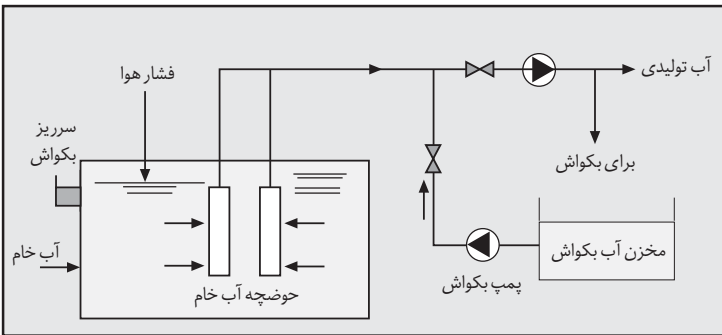


شکل شماره ۷-۵- رژیم‌های هیدرولیکی عمودی و موازی



قطر خارجی فیبرهای مورد استفاده باید در حدود ۰/۵-۰/۵۵ باشد. گرچه قطر خارجی آنها دارای طیف ۰/۸-۱/۶۷ میلی‌متر است لذا با بزرگ‌تر شدن قطر خارجی، قطر داخلی هم بزرگ‌تر می‌شود و نحوه عبور آب از آن می‌تواند از بیرون فیبر به داخل و یا بر عکس باشد. در انواعی از آنها روزنه‌های ممbran طوری ساخته می‌شود که با فشار هیدرولیکی خیلی کم دارای فلاکس قابل قبول باشد و در این صورت آنها را در حوضچه آب خام قرار

شکل شماره ۷-۶- میکروفیلتر در حوضچه آب خام (مستغرق)



می‌دهند و الکتروپمپ مناسب بر روی لوله مکش مشترک آنها قرار می‌گیرد و فشار جو باعث ایجاد جریان و در نتیجه فلاکس آب می‌شود که در شکل شماره ۷-۶ نشان داده شده است. بنابراین در این نوع تاسیسات رژیم هیدرولیکی همیشه عمودی است.

در نصب تاسیسات تحت فشار توصیه می‌شود که لوله کشی‌ها و شیرگذاری‌ها طوری انجام شود که در صورت ضرورت رژیم عمودی را بتوان به رژیم موازی تبدیل نمود. این در صورتی است که کیفیت آب در حد لازم تعریف نشده باشد و در شرایطی ضرورت پیدا می‌نماید که از رژیم موازی استفاده شود.

در جدول شماره ۷-۴ بعضی از ویژگی‌های چهار نوع ممbran نشان داده شده است. لیکن با توجه به طیف وسیع اندازه روزنه‌های آنها این ویژگی‌ها بسیار کلی می‌باشند و پس از دانستن و یا تعریف اندازه ذرات معلق مورد زدایش باید به کاتالوگ آنها مراجعه شود.

در نتیجه ویژگی‌های فیزیکی ذرات معلق موجود در آب خام هم باید مورد مطالعه قرار گیرد. لازم به توجه است که در هنگام عملیات آزمایشی^۱ و یا آزمایش در کارخانه، آب خالص و ذرات معلق ویژه مورد استفاده قرار می‌گیرد و به همین جهت زدایش ذرات بسیار ریز مانند ویروس‌ها توسط ممbran‌ها هنوز دارای ابهاماتی می‌باشد.

جدول شماره ۷-۴- بعضی از ویژگی‌های ممbran‌ها

نوع ممbran ^۱	اندازه اسمی روزنه‌ها (میکرون)	فشار هیدرولیکی (اتمسفر)	فلاکس متعارف (لیتر در مترمربع در ساعت)
کارتريج فیلتر	۱-۱۰۰	۲-۵	۱۰۰-۲۰۰
میکروفیلتر	۰/۱-۰/۵ نوع مستغرق	۲-۱۰ ۰/۴-۰/۵	۱۰۰-۲۰۰
اولترافیلتر	۰/۱-۱ نوع مستغرق	۲-۵ ۰/۴	۵۰-۱۰۰
نانوفیلتر	۰/۰۰۱-۰/۰۱	۱۰-۲۰	۳۰-۵۰
اسمز معکوس	۰/۰۰۰۱-۰/۰۰۱	۵۰-۶۰	۲۰-۴۰

به هر حال سازنده ممbran باید شرایط مناسب و اندازه ذره‌ای را اعلام نماید که ممbran قادر به زدایش حداقل ۹۰ درصد آن خواهد بود. ضمناً اندازه بزرگ‌ترین روزنه ممbran را نیز باید اعلام نماید.

جریان عبور آب از ممbran بر مبنای قانون دارسی انجام می‌گردد که معادله آن به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$v = \frac{k_l}{\mu} \times \frac{h_l}{\Delta Z}$$

که برای ممbran‌ها به صورت زیر در می‌آید:

$$v = k_p \frac{h_l}{t}$$

که در آن:

v = سرعت ظاهری عبور آب از فیلتر بر حسب متر در ثانیه که از معادله $\frac{Q}{A}$ بدست می‌آید؛

k_p = ضریب نفوذ پذیری ممbran بر حسب متر در ثانیه که بستگی به تخلخل، ضخامت و ویژگی‌های ممbran از جمله ناصافی سطوح مجاری ممbran دارد؛

h_l = افت فشار هیدرولیکی آب در عبور از ممbran بر حسب متر؛
 t = ضخامت ممbran بر حسب متر؛

Q = میزان عبور آب بر حسب مترمکعب در ثانیه؛

A = سطح ممbran؛

μ = ویسکوزیته آب.

در ادبیات فیلترهای ممبرانی معادله زیر مورد استفاده است:

$$J = \frac{\Delta P}{\mu R_m}$$

که در آن:

J = فلاکس ممbran که در جدول شماره ۷-۴ بر حسب لیتر در متر مربع در ساعت بیان شده است؛

ΔP = فشار هیدرولیکی؛

R_m = ضریب مقاومت هیدرولیکی ممbran.

ضریب مقاومت هیدرولیکی در آزمایشگاه و شرایط استاندارد تعیین می‌شود تا بتوان اثر دما و فشار هیدرولیکی را در رابطه با آن تعریف نمود. مقاومت هیدرولیکی ممbran از دو بخش تشکیل شده است که عبارتند از:

۱. مقاومت ویژه هیدرولیکی که بستگی به ویژگی‌های فیزیکی ممbran مانند اندازه، شکل، تعداد روزنه‌ها در واحد سطح، تخلخل و ناصافی آن دارد و برای ممbran‌های مختلف یکسان نیست و به همین جهت مقاومت هیدرولیکی ویژه نامیده می‌شود که باید در کاتالوگ سازنده اعلام شده باشد.

۲. مقاومت هیدرولیکی که به علت تجمع ذرات معلق آب بر روی ممbran بوده و به نام کیک شناخته و در مرحله بهره‌برداری ایجاد می‌شود. ذرات معلق ممکن است به داخل روزنه‌های ممbran هم نفوذ نمایند لذا می‌توان معادله بالا را به صورت زیر نوشت:

$$J = \frac{\Delta P}{\mu (R_1 + R_p)}$$

که R_1 و R_p به ترتیب مقاومت هیدرولیکی ویژه و مقاومت هیدرولیکی ایجاد شده نامیده می‌شود.

۱. هر پنج نوع ممbran به دو دسته ریز روزنه و درشت روزنه دسته‌بندی می‌شوند، چنانکه نانوفیلترهای فشرده دارای روزنه‌های نیم نانومتر هم می‌باشند.



اما مقاومت هیدرولیکی ایجاد شده با معادله زیر نمایش داده می شود:

$$R_1=\frac{۱۸۰\left(1-e\right)}{\rho d_s^{\tau}+e^{\tau}}$$
که در آن:

ε = تخلخل ممبران؛

ρ = دانسیته نسبی ذرات؛

d_s = متوسط اندازه ذرات تشکیل دهنده کیک که تابع ویژگی‌های ذرات معلق آب است. این مقاومت می‌تواند برگشت پذیر و یا برگشت‌ناپذیر باشد که مورد بحث بیشتر قرار خواهد گرفت.

مشاهده گردید که افزایش ضخامت کیک روی ممبران باعث افزایش مقاومت هیدرولیکی ممبران می‌شود و برای حفظ فلاکس باید فشار هیدرولیکی Δ*P* افزایش یابد. اما از طرف دیگر با افزایش ضخامت کیک روی ممبران عملکردزدایش ذرات ریز هم بهتر می‌شود.

لازم به یادآوری است که برای هر ممبران یک حداکثر فشار هیدرولیکی تعریف شده که نباید نادیده گرفته شود. در معادله پیش گفته میزان فلاکس با دمای آب نسبت مستقیم و با ویسکوزیته نسبت عکس دارد. لذا با گرم شدن آب و در نتیجه کاهش ویسکوزیته آب، با حفظ فشار هیدرولیکی، فلاکس ممبران افزایش می‌یابد و معادله آن عبارت است از:

$$J_t=\frac{J_{\tau_1}}{e^{-۰/۰۲۳۹\left(t-\tau_1\right)}}$$

که در آن:

J_t = فلاکس ممبران در دمای t؛

J_{τ_۱} = فلاکس ممبران در آب با دمای ۲۰ درجه سلسیوس.

لذا در طراحی و تعیین عناصر اصلی تاسیسات مانند تعداد المان‌ها و ویژگی‌های پمپ‌ها، دمای آب برای ماه‌های گرم سال انتخاب می‌شود و در نتیجه فلاکس حداکثر مجاز رعایت می‌شود. با شروع فصل سرد و کاهش دمای آب و کاهش میزان فلاکس طبعاً تولید آب



کاهش می‌یابد که همراه است با کاهش نیاز و مصرف آب. اما در مورد صنایع و شهرهای زیارتی و توریستی این برداشت ممکن است صحیح نباشد لذا تجزیه و تحلیل مصرف، دمای آب و انتخاب معیارهای طراحی نیاز به توجهات زیادی دارد.

حال در صورتیکه تاسیسات نصب و مورد بهره‌برداری قرار گرفته و به دلایلی مصرف کاهش یافته در این صورت برای خارج کردن المان‌ها از مدار تولید توجهات و تمهیداتی ضرورت دارد که در بخش بهره‌برداری مورد بحث قرار می‌گیرد.

مهمترین امتیاز میکروفیلترها و اولترافیلترهای ساخته شده از فیبرهای توخالی عملکرد نتیجه بخش بکواش آنهاست به طوریکه فرایندهای پیش تصفیه آب خام مورد نیاز آنها پیچیده و مفصل نیست. به علاوه رژیم هیدرولیکی آنها می‌تواند از خارج به داخل و یا برعکس انتخاب بشود و چون رژیم عمودی کمتر انرژی مصرف می‌نماید بیشتر طراحی‌ها بر این اساس انجام می‌گیرد. در جدول شماره ۷-۵ ویژگی‌های سه نوع ممبران فیبری که برای ساخت اولترافیلترها به کار می‌رود ارایه شده است.

میزان بازیافت^۱ در این نوع تاسیسات عبارت است از نسبت میزان تولید آب در یک دوره زمانی به میزان آب خام ورودی به تاسیسات که به صورت درصد نمایش داده می‌شود. در این محاسبه مقدار آب مورد مصرف برای بکواش باید لحاظ گردد. رقم بازیافت ۸۵-۹۵

جدول شماره ۷-۵- ویژگی‌های سه نوع ممبران فیبری مورد استفاده

نوع فیبر	A	B	C
قطر داخلی —————(میلیمتر) قطر خارجی	$\frac{۰/۴}{۰/۷۹}$	$\frac{۰/۷}{۱/۴}$	$\frac{۰/۹۳}{۱/۶۷}$
اندازه روزنه (میکرومتر)	۰/۲	۰/۱	۰/۰۲
نوع جریان	از خارج به داخل	از خارج به داخل	از داخل به خارج

1. Recovery



درصد در این صنعت اعلام می‌شود و اگر آب مورد مصرف بکواش هم وارد گردش دوباره شده و تصفیه شود رقم به ۹۸ درصد هم می‌رسد که بیشتر از تصفیه‌خانه‌های متعارف آب با فیلترهای دانه‌ای است. میزان دفع^۱ ممبران‌ها هم نیاز به توجه دارد.

برای مثال اگر مقدار مواد جامد قابل دفع در آب خام ورودی به تاسیسات *C_f* و مقدار آن در آب تولیدی *C_p* برحسب میلی‌گرم در لیتر بیان شود، میزان دفع ممبران عبارت است از:

$$R=۱-\frac{C_p}{C_f}$$

این ویژگی با معیار کدورت و یا شمارش ذرات معلق در آب نمایش داده می‌شود و اگر معیار، دفع میکروب‌ها باشد به دلیل بزرگی ارقام از لگاریتم اعداد استفاده می‌شود و لذا می‌توان نوشت:

$$R_{log}=log\frac{C_p}{C_f}$$

➤ مثال شماره ۷-۱:

در صورتیکه در عملیات آزمایشی تعداد باکتری‌های شاخص مانند کلیفرم‌ها در آب خام ورودی به دستگاه و آب تولیدی به ترتیب ۱۰^۷ و ۱۳ عدد در یک میلی لیتر باشد ضریب دفع دستگاه به صورت زیر بیان می‌شود:

$$R=۱-\frac{۱۳}{۱۰^۷}=۰/۹۹۹۹۹۸=۹۹/۹۹۹۸\%$$

و اگر دفع به صورت لگاریتمی بیان شود:

$$R_{log}=log\frac{۱۳}{۱۰^۷}=۵/۸۹$$

۷-۴- توجهات طراحی

هر المان این دو نوع فیلتر در داخل استوانه‌ای به نام استوانه فشار قرار می‌گیرد و آب خام با فشار هیدرولیکی لازم به روی آن هدایت می‌گردد

و در نتیجه فشار هیدرولیکی باعث می‌شود که آب از روزنه‌های ممبران عبور نماید. سازندگان مختلف ویژگی‌های ممبران‌های خود را از این نظر اعلام می‌دارند تا طراحان بر مبنای آنها طراحی خود را انجام دهند.

چون المان‌های فیبرهای توخالی ردیف اول جدول شماره ۷-۳ بیشترین کاربرد را در این صنعت دارد لذا در مورد آنها بیشتر صحبت می‌شود. قطر خارجی هر رشته از آنها کمتر از ۵ میلیمتر بوده و چندین هزار رشته در یک استوانه فشار قرار می‌گیرد که یک المان نامیده می‌شود. فلاکس تولیدی می‌تواند حاصل جریان آب از بیرون استوانه به داخل و یا برعکس باشد که در شکل شماره ۷-۷ نشان داده شده است. در نوع دیگر، المان در حوضچه آب خام قرار می‌گیرد و همان‌طور که گفته شد فشار هوا باعث ایجاد فلاکس آب می‌گردد. هر المان این فیلترها دارای ویژگی‌هایی است که در طراحی‌ها باید مورد توجه قرار گیرد که مهمترین آنها عبارت است از:

- سطح مفید هر المان، معادل سطح خارجی مفید مجموعه رشته بوده که در المان‌های مختلف حدود ۳۰-۱۰۰ مترمربع می‌باشد.
- طول کلی استوانه‌های فشار ۱/۸-۲/۵ متر است و قطر خارجی آنها نیز ۳۵-۵۰ سانتیمتر می‌باشد.
- هر استوانه دارای ۴-۶ دریچه مجهز به اتصالات و شیر مناسب است که برای بهره‌برداری باید مورد استفاده قرار گیرد که در شکل شماره ۷-۸ و جدول شماره ۷-۶ مربوط به یک سازنده معرفی شده است.

- فلاکس آنها در حدود ۵۰-۲۰۰ لیتر در مترمربع در ساعت برای المان‌های تحت فشار و در حدود ۳۰-۱۵۰ برای نوع مستغرق می‌باشد. البته چون فلاکس از ویژگی‌های المان بوده و رابطه بین آن و فشار هیدرولیکی باید تعریف شود لازم است به کاتالوگ ویژه سازنده مراجعه گردد.



۹. با توجه به روش بهره‌برداری از تاسیسات، عمر مفید المان‌ها ۵-۱۰ سال می‌باشد. لذا با دانستن میزان آب لازم، درصد بازیافت، ظرفیت دفع و توجهات دیگر طراحی‌ها انجام می‌گیرد.

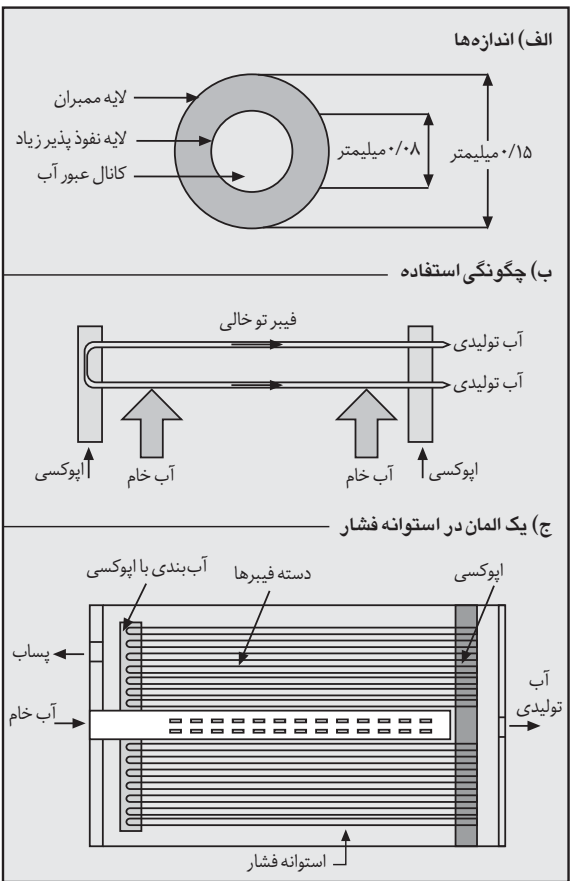
❧ ضریب دفع

از اولین تصمیمات در استفاده از میکروفیلتر و اولترافیلترها، توجه و مطالعه کیفیت آب خام و کیفیت آب تولیدی است که در واقع تعریف آلاینده‌هایی است که در آب خام وجود دارد و نباید در آب تولیدی حضور داشته باشد. برای مثال اگر در آب خام ویروس‌ها حضور دارند و در آب تولیدی نباید وجود داشته باشند کاربرد میکروفیلتر انتخاب مناسبی نیست، بلکه انواعی از اولترافیلترها دارای توانایی دفع ویروس‌ها هستند و یا اگر زدایش کیست‌زیار دیا از اهداف است بیشتر میکروفیلترها تا سقف ۹۹/۹ درصد آنها را دفع می‌نمایند. همان‌طور که جدول شماره ۷-۲ نشان می‌دهد این دو نوع فیلتر در زدایش ویروس‌ها و ترکیب‌های معدنی، عملکرد مطلوبی ندارند و در صورت استفاده برای تولید آب شرب میکروبوکشی پس از تصفیه برای غیرفعال‌سازی ویروس‌ها ضرورت دارد. این شرط کاملاً شبیه عملکرد تصفیه‌خانه‌های متعارف یعنی استفاده از فیلترهای ماسه‌ای تند است و مقوله کیست‌ها که به کلر هم مقاومت دارند بحث دیگری است که توجه می‌طلبند.

هر واحد این نوع تاسیسات که یک ردیف یا ترین نامیده می‌شود دارای تعداد زیادی استوانه فشار است که در هر استوانه فشار یک المان قرار دارد، در حالی که استوانه‌های فشار نانو فیلتر و اسمز معکوس حاوی ۷-۸ المان است، مجموعه‌ای از استوانه‌های فشار که به طور موازی عمل می‌نمایند یک مجموعه یا قفسه^۱ نامیده می‌شود. لذا یک الکتروپمپ کار انتقال آب با فشار لازم را به داخل استوانه‌های فشار انجام می‌دهد. البته در ظرفیت‌های زیاد تولید ممکن است چند قفسه

1. Rack or Skid

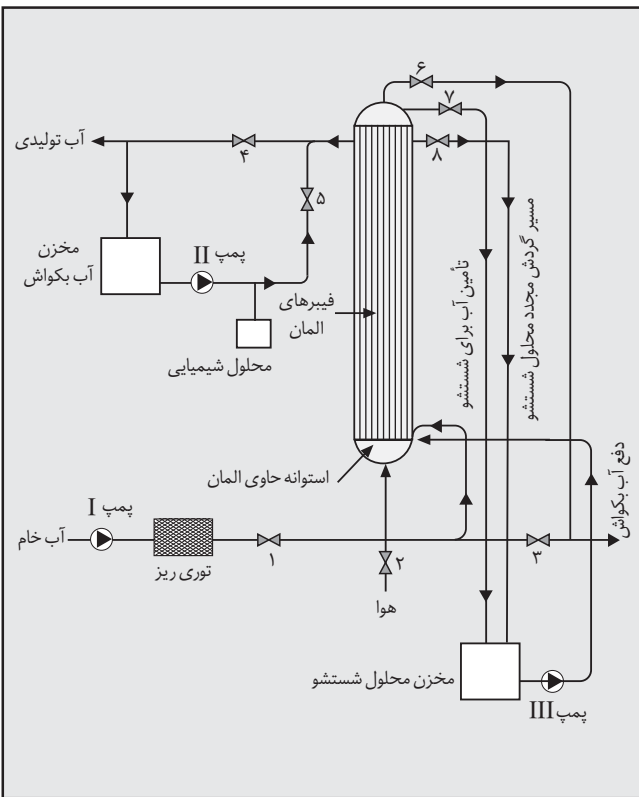
❧ شکل شماره ۷-۷- یک مدول فیبر توخالی



۵. فشار هیدرولیکی لازم طبق جدول شماره ۷-۴ دارای طیف وسیعی است که بستگی به ویژگی‌های ممبران ساخته شده دارد.
۶. میزان بازیافت در محدوده ۹۵ درصد قرار دارد.
۷. مدت زمان بهره‌برداری بین دو بکواش ۳۰-۹۰ دقیقه است که بستگی به کیفیت آب خام ورودی و اندازه روزه‌ها و نوع المان دارد و مدت بکواش هم ۱-۵ دقیقه می‌باشد.
۸. مدت زمان بین دو شستشوی شیمیایی لازم بین ۵-۱۸۰ روز می‌باشد که کیفیت آب خام آن را تعریف می‌نماید.



❧ شکل شماره ۷-۸- دیگرام تاسیسات اصلی یک استوانه فشار اولترافیلتر (شرکت داو)



با الکتروپمپ‌های مستقل مورد استفاده قرار گیرند. تعداد المان‌های یک قفسه می‌تواند به حدود ۳۰۰ نیز برسد که اگر سطح هر استوانه ۵۰ مترمربع و فلاکس مجاز هم ۵۰ لیتر در مترمربع در ساعت فرض شود هر قفسه می‌تواند $Q = \frac{50 \times 50 \times 24 \times 300}{1000} = 18000$ مترمکعب آب در روز تولید نماید که مدت زمان بکواش و میزان آب مورد مصرف بکواش باید از آن کسر گردد.

در شکل شماره ۷-۸ مقطع یک استوانه فشار دارای یک المان از نوع فیبرهای توخالی را نشان می‌دهد که با رژیم هیدرولیکی عمودی عمل می‌نماید. لازم به یادآوری است که از این دو نوع فیلتر برای عملیات پیش تصفیه تاسیسات نانو و اسمز معکوس هم استفاده می‌شود که در شکل شماره ۷-۳ نشان داده شده است.

روش بهره‌برداری شامل تولید آب و بکواش و شستشوی المان به صورت چکیده در جدول شماره ۷-۶ ارایه گردیده است.

❧ جدول شماره ۷-۶- وضعیت شیرهای* استوانه فشار در شرایط بهره‌برداری

ردیف	وضعیت بهره‌برداری	شیرهای باز	توضیحات
۱	تولید آب	۱ و ۴	پمپ شماره I در حال انتقال آب با فشار لازم است.
۲	بکواش با هوا	۲ و ۶	دمنده هوا با فیلترهای تصفیه هوا به کار می‌افتند.
۳	تخلیه ثقلی پس از هواشویی	۳ و ۶	
۴	بکواش بخش بالای المان	۵ و ۶	پمپ شماره II در حال کار است.
۵	بکواش بخش پایین المان	۵ و ۳	پمپ شماره II در حال کار است.
۶	شستشوی سریع	۱ و ۶	پمپ شماره I در حال کار است.
۷	بکواش شیمیایی قسمت بالا	۵ و ۶	پمپ شماره II در حال کار است همراه با تزریق ماده پاک‌کننده.
۸	بکواش شیمیایی قسمت پایین	۵ و ۳	پمپ شماره II در حال کار است همراه با تزریق ماده پاک‌کننده.
۹	شستشو در جا	۶ و ۷	پمپ شماره III در حال کار است.

*. شیر شماره ۸ برای تامین آب لازم برای تهیه محلول است.



که J_s و J_m به ترتیب عبارتند از فلاکس در دمای استاندارد ۲۰ درجه سلسیوس و فلاکس در دمای T_m .

فشار هیدرولیکی

در بعضی از مراجع سخن از نفوذ پذیری ممبران می شود که همان فلاکس ممبران است که با افزایش فشار هیدرولیکی افزایش می یابد. برای شرایط زیر نفوذ پذیری و یا فلاکس ویژه تعریف می شود:

- فشار هیدرولیکی یک اتمسفر؛
- هدایت الکتریکی آب معادل ۱۰ میکرو زیمنس بر سانتیمتر که در این صورت میزان املاح محلول برحسب کلرورسدیم حدود ۶ میلی گرم در لیتر است؛
- مجموع مواد آلی کربن دار آب کمتر از ۰/۲ میلی گرم در لیتر؛

لذا با دانستن فلاکس ویژه ممبران می توان با افزایش فشار هیدرولیکی، فلاکس ممبران را افزایش داد که به هر حال این فشار برای هر ممبران دارای محدودیتی است و رابطه کلی آن عبارت است از:

$$J_s = J_{sp} \times \Delta P$$

مثال شماره ۷-۳:

فلاکس یک ممبران با فشار هیدرولیکی ۰/۶۷ اتمسفر و آب با دمای ۷ درجه سلسیوس عبارت است از ۸۰ لیتر در مترمربع در ساعت. پس از ۴ ماه بهره برداری از ممبران، فلاکس ۸۵ لیتر در مترمربع در ساعت برای فشار ۰/۵۲ اتمسفر و دمای آب ۱۹ درجه سلسیوس را نشان می دهد. تغییرات فلاکس در این مدت مورد محاسبه قرار می گیرد. فلاکس ممبران در ابتدای مطالعه و برای دمای ۲۰ درجه سلسیوس عبارت است از:

$$J_s = J_m (1/0.3)^{T_s - T_m} = 80 (1/0.3)^{7-19} = 117 \frac{l}{m^2 \cdot hr}$$

و فلاکس ویژه آن عبارت است از:

$$J_{sp} = \frac{J_s}{\Delta P} = \frac{117}{0.67} = 175 \frac{l}{m^2 \cdot hr}$$

یادآوری می شود که فلاکس ویژه برای فشار یک اتمسفر محاسبه می شود.

فلاکس ممبران در دمای ۲۰ درجه سلسیوس و پس از ۴ ماه بهره برداری برابر است با:

$$J_s = J_m (1/0.3)^{T_s - T_m} = 85 (1/0.3)^{20-19} = 87/6 \frac{l}{m^2 \cdot hr}$$

و لذا فلاکس ویژه ممبران آن عبارت است از:

$$J_{sp} = \frac{J_s}{\Delta P} = \frac{87/6}{0.52} = 168 \frac{l}{m^2 \cdot hr}$$

لذا فلاکس ویژه در طی ۴ ماه بهره برداری از ۱۷۵ به ۱۶۸ کاهش پیدا نموده است و درصد کاهش عبارت است از:

$$\frac{175 - 168}{175} \times 100 = 4 \text{ درصد}$$

این همان کاهش فلاکس ممبران است که می تواند پس از ۵ سال و حداکثر ۱۰ سال، ادامه استفاده از ممبران دارای توجیه اقتصادی نباشد و عمر مفید المان نامیده می شود زیرا برای حفظ فلاکس باید فشار هیدرلیکی افزایش یافته که مستلزم مصرف انرژی است.

فیلتراسیون در رژیم موازی

همانطور که در شکل شماره ۷-۵ نشان داده شده است آب خام با فشار لازم و با سرعتی در حدود ۲-۴ متر در ثانیه از روی صفحه ممبران و داخل استوانه فشار عبور می نماید و فشار آن باعث می شود که بخشی از آب از روزنه های ممبران به طرف دیگر که دارای فشاری نیست جریان یابد. مقاومت هیدرولیکی روزنه و تخلخل باعث می شود که بخش کمتری از آب به بخش تولید منتقل شود.

سرعت پیش گفته برای جلوگیری از ته نشینی ذرات معلق و ایجاد گرفتگی است تا فلاکس کاهش پیدا ننماید. بدین ترتیب می توان



با مصرف بیشتر انرژی الکتریکی فاصله زمانی بین دو بکواش را طولانی تر نمود. این افزایش مصرف انرژی به تاسیسات نوعی محدودیت تحمیل می نماید به طوری که در طرح های با ظرفیت بیشتر از ۵۰ هزار مترمکعب تولید آب در روز رژیم موازی کمتر طرفدار دارد. زیرا برای این ظرفیت، باید آب خام با میزان حدود ۲۰۰-۲۵۰ هزار مترمکعب در روز وارد جریان گردش مجدد شود که مستلزم مصرف انرژی زیادی است.

همانطور که در شکل شماره ۷-۵ می توان مشاهده نمود آب در گردش، باید قبل از پمپ دوم با آب خام مخلوط شود و لذا با گذشت زمان غلظت مواد معلق آب افزایش می یابد که برای آن محدودیت وجود دارد و لازم است کاهش پیدا نماید که لوله و شیر تخلیه روی لوله گردش آب پیش بینی شده است و با ابزار دقیق اندازه گیری می توان مواد معلق و یا کدورت آب را تعیین و شیر تخلیه را باز نمود. در تاسیسات با رژیم عمودی هم لازم است تمهیدات رژیم موازی را پیش بینی نمود که در صورت لزوم از آن برای حفظ ممبران ها استفاده شود.

ممبران های مستغرق^۱

یادآوری گردید که گروهی از ممبران ها طوری ساخته می شوند که در داخل حوضچه آب خام قرار داده می شوند و فشار کمتر از اتمسفر باعث عبور آب از آنها می گردد لذا رژیم هیدرولیکی عمودی و از بیرون به داخل فیبرها می باشد. فشار هیدرولیکی لازم در حدود ۳-۵ متر است لذا لوله جمع آوری آب المان ها به لوله مکش یعنی پایین دست الکتروپمپ نصب می شود که در شکل ۷-۶ نشان داده شده است. در عملیات بکواش کیک جدا شده از ممبران به آب خام حوضچه تخلیه می شود و لذا غلظت ذرات معلق آب خام حوضچه افزایش پیدا می نماید که باید از حوضچه تخلیه شود. روش تخلیه آن به دو صورت انجام می گیرد که در ادامه مورد گفتگو قرار گرفته است.

شکل شماره ۷-۸ ساخت یکی از کارخانجات است و طبعاً ممکن است با محصولات دیگر سازندگان همسان نباشد. طبق شکل در این مدل حدود ۸ شیر پیش بینی شده است که به شرح جدول ۷-۶ مورد استفاده قرار می گیرد. همانطور که شکل نشان می دهد استوانه فشار به صورت عمودی قرار گرفته و دو حلقه آب بند در بالا و پایین و در داخل استوانه کار آب بندی را انجام می دهد و به کمک پمپ ها و شیرها بهره برداری انجام می گیرد.

مثال شماره ۷-۲:

در عملیات آزمایشی و آزمایشگاهی با استفاده از آب صاف و بدون یون نمک ها و دمای ۲۰ درجه سلسیوس یک ممبران مورد آزمایش قرار می گیرد. فشار هیدرولیکی اعمال شده ۰/۷ اتمسفر و فلاکس کنترل شده ۲۰۰۰ لیتر در ساعت می باشد. ضریب مقاومت هیدرولیکی ممبران چیست.

می دانیم که:

$$J = \frac{\Delta P}{\mu R_m}$$

ولذا:

$$R_m = \frac{\Delta P}{\mu J}$$

$$R_m = \frac{0.7 \times 10^5 \times 3600 \times 1000}{1 \times 10^{-3} \times 2000} = 1.26 \times 10^{11} m$$

توجه شود که ویسکوزیته آب در دمای ۲۰ درجه سلسیوس ۱۰^{-۳}× کیلوگرم متر بر ثانیه است و فشار یک اتمسفر معادل ۱×۱۰^۵ نیوتن در مترمربع فرض شده است.

رابطه بین دمای آب و فلاکس ممبران به صورت کلی زیر نوشته می شود:

$$\frac{J_s}{J_m} = \frac{\mu_m}{\mu_s}$$

بدین معنی که با افزایش دما به دلیل کاهش ویسکوزیته آب میزان فلاکس افزایش می یابد. معادله محاسباتی آن عبارت است از:

$$J_s = J_m (1/0.3)^{T_s - T_m}$$



الف- تخلیه مستمر

در این روش به طور مستمر بخشی از آب خام ورودی پس از اختلاط با آب حوضچه که دارای ذرات معلق آب بکواش است از سرریز حوضچه تخلیه می شود. لذا برای میزان آب خام ورودی و میزان آب تولیدی و میزان آب خام مورد تخلیه باید محاسبات نموده و تمهیداتی در نظر گرفته شود. معادله عمومی عبارت است از:

$$\frac{Q_F}{Q_w} = \frac{C_w}{C_F}$$

که در آن:

C_w = غلظت مواد جامد معلق در آب حوضچه بر حسب گرم در متر مکعب؛

C_F = غلظت مواد جامد معلق آب خام بر حسب گرم در مترمکعب؛

Q_F = میزان آب خام ورودی به حوضچه بر حسب متر مکعب در ثانیه؛

Q_w = میزان آب خروجی از لوله تخلیه بر حسب متر مکعب در ثانیه.

لذا می توان غلظت مواد جامد معلق در آب حوضچه را که آب خام مناسب ممبران می باشد تحت کنترل قرار داد. این غلظت توسط سازنده باید تعریف بشود.

ب- تخلیه غیر مستمر

در این روش طراحی ها طوری انجام می گیرد که سطح آب در حوضچه مکش، نزدیک به سرریز آن است. حال با شروع عملیات بکواش و هم زمان با ورود آب خام به حوضچه، آب از سرریز تخلیه شده و همراه با خود بخشی از کیک جدا شده از ممبران ها که در آب شناور است به خارج از حوضچه هدایت می نماید. استفاده از این روش دارای محدودیت هایی است.

یادآوری گردید که از المان های رشته ای یعنی فیبرهای توخالی در این تاسیسات بیشتر استفاده می شود و در مواردی انواع مستغرق که با فشار کمتر از فشار جو عمل می نمایند جایگزین زلال سازی و فیلتراسیون تاسیسات تصفیه متعارف شده است زیرا دارای مزایایی است که در صفحات قبل عنوان گردیده است.

با توجه به اینکه هنوز تاسیسات به صورت پکیج ساخته و نصب می شوند لازم است ظرفیت و کیفیت آب تولیدی و کیفیت آب خام را تدوین و سازنده بر اساس آن طراحی ها را انجام دهد. در صورتی که کار به صورت مناقصه انجام گیرد گزینه مناسب و مطلوب قابل تشخیص خواهد بود.

مثال شماره ۷-۴:

فرض بر این است که یک المان که دارای ۱۰ هزار رشته فیبر توخالی است مورد توجه است. طول فیبرها یک متر و قطر خارجی آن ۱/۹ میلیمتر و قطر داخلی ۰/۸ میلیمتر است و قرار است از این مدول ۲۰۰۰ لیتر در ساعت آب تولید شود. فلاکس لازم آن مورد محاسبه قرار می گیرد. سطح خارجی هر رشته فیبر عبارت است از:

$$a_1 = \pi d \times l = 3/14 \times \frac{1/9}{1000} \times 1 = 0/00597 m^2$$

و سطح کل مدول با ۱۰ هزار رشته فیبر و فلاکس آن عبارت است از:

$$A_1 = 0/00597 \times 10000 = 59/7 m^2$$

$$J = \frac{Q}{A} = \frac{2000}{59/7} = 33/51 \frac{l}{m^2.hr}$$

و حال اگر قرار باشد جریان آب خام از داخل به خارج رشته انجام گیرد:

$$a_2 = \pi d \times l = 3/14 \times \frac{0/8}{1000} \times 1 = 0/00251 m^2$$

و سطح کل مدول با ۱۰ هزار رشته فیبر عبارت است از:

$$A_2 = 0/00251 \times 10000 = 25/1 m^2$$

$$J = \frac{2000/l}{25/1} = 79/6 \frac{l}{m^2.hr}$$

لذا استفاده از رژیم جریان عمودی از خارج رشته به داخل فیبر باعث می شود که فلاکس کمتری به المان تحمیل شود و در نتیجه گرفتگی کمتر و دفعات بکواش محدودتر خواهد بود. آنالیزهای اقتصادی در مورد هزینه های بکواش شستشوی شیمیایی و توجهات دیگر گزینه مناسب را تعریف می نماید.

شکل شماره ۷-۹- تاسیسات اولترافیلتر

الف) تحت فشار



ب) مستغرق



۷-۵- گرفتگی^۱

مشاهده گردید که برای تولید آب شرب و صنعتی از میکروفیلترها و اولترافیلترها برای زدایش آلاینده های معلق ریز استفاده می شود و این ذرات عبارتند از:

- ذرات معلق و کلویدها؛
- باکتری ها؛
- ویروس ها (پس از تشکیل کیک روی ممبران که در عمل نباید این زدایش مبنای طراحی قرار گیرد).

نتیجه زدایش، تجمع آنها روی ممبران و تولید کیک و افزایش مقاومت هیدرولیکی



ممبران خواهد بود. با انجام بکواش باید ذرات جمع شده روی ممبران همراه با آب از استوانه فشار به خارج از سیستم انتقال یابد و فیلتر به حالت اول برگردد و تنها مقاومت هیدرولیکی باقیمانده همان مقاومت ویژه ممبران باشد. اگر به دلایلی این وضعیت پیش نیاید و مقاومت هیدرولیکی به حالت اول برنگردد لازم است ممبران مورد شستشو^۲ قرار گیرد.

علت های گرفتگی فیلترهای ممبرانی را در چهار گروه می توان دسته بندی نمود که عبارتند از:

۱. گرفتگی های ناشی از ذرات معلق و کلوییدی؛
۲. گرفتگی های ناشی از مواد آلی؛
۳. گرفتگی های ناشی از میکروب ها؛
۴. گرفتگی های ناشی از ترسیب ترکیبات شیمیایی.

گرفتگی دسته اول:

با توجه به پیش بینی فیلتر کارتریج که خود نوعی میکروفیلتر است و یا نوعی توری ریز ذرات معلق بزرگ تر از ۲۰۰ میکرون از آب ورودی به فیلتر حذف می گردد. اما در صورتی که ذرات معلق آب خام ریزتر از روزه های فیلتر باشد در ابتدای فیلتراسیون و قبل از تشکیل کیک، همراه با آب از فیلتر عبور می کند و در آب تولیدی حضور دارد و یا بخشی از آن در فضاهای روزه ها و یا تخلخل فیلتر باقی می ماند که معمولا عملیات بکواش قادر به تخلیه آنها از روزه ها نبوده و لذا گرفتگی برگشت ناپذیر



ایجاد می‌شود. با تشکیل کیک روی ممبران ذرات ریزتر از روزنه‌های فیلتر نیز از جریان آب جدا می‌شود، این تجمع در روی فیلتر مقاومت هیدرولیکی آن را افزایش می‌دهد و زمانی که به حداکثر مجاز برسد باید با عملیات بکواش آن را از سیستم خارج نمود. لذا این نوع گرفتگی قابل برگشت است.

➤ گرفتگی دسته دوم:

در بعضی از آب‌ها مانند آب دریاچه‌پشت سدها به علت وجود نور، حرارت و آلاینده‌های ازته و فسفر، جلبک‌های تک سلولی رشد و تکثیر می‌یابد. همراه با آنها جانداران تک سلولی و چند سلولی دیگر هم رشد و تکثیر می‌یابد که اهمیت آنها در فصل‌های دو تا چهار مورد گفتگو قرار گرفته است. لذا مواد آلی طبیعی آب افزایش می‌یابد و این گروه از مواد از مهمترین عوامل بروز گرفتگی ممبران‌ها است. ویژگی‌های این مواد دارای طیف وسیعی است. حدود ۹۰ درصد آنها دارای بار الکتریکی منفی هستند و وزن مولکولی آنها ۲۰۰-۵۰۰ دالتون بوده و از یون‌های املاح معدنی بزرگ‌تر هستند. ممبران‌های آبدوست و دارای بار الکتریکی منفی بیشتر این مواد را دفع می‌نمایند و کمتر دچار گرفتگی از این نوع می‌شوند. در زدایش جلبک‌ها از آب به مسئله آزاد شدن سموم درون سلولی آنها که به نام عمومی توکسین شناخته می‌شود باید توجه داشت که در فصل زدایش جامدات معلق مورد گفتگو قرار گرفته است.

➤ گرفتگی دسته سوم:

گرفتگی میکروبی را گرفتگی بیولوژیکی هم می‌نامند. در صورتی که در آب خام ورودی به استوانه فشار باکتری‌ها و مواد غذایی مورد نیاز آنها وجود داشته باشد و اگر همراه با آب نوعی ترکیب شیمیایی میکروبکش نباشد روی ممبران تکثیر یافته و تولید لایه‌ای می‌نمایند

که لایه زنده^۱ نامیده می‌شود. با رشد این لایه زنده در حالی که فرایند زدایش ذرات ریزتر از روزنه‌ها بهتر می‌شود، اما باعث افزایش مقاومت هیدرولیکی و کاهش فلاکس ممبران خواهد شد. عملیات بکواش به سادگی این لایه زنده را از سطوح ممبران جدا نمی‌کند. در صورتی که ممبران نسبت به اکسید کننده‌ها حساس بوده و نتوان آن را برای مبارزه این نوع گرفتگی به کار برد گرفتگی میکروبی مشکل ساز می‌شود. امروزه سعی بر این است که برای ساخت این ممبران‌ها از پلیمرهایی استفاده شود که نسبت به کلر و یا اکسیدکننده‌های دیگر حساسیت نداشته باشند تا بتوان از این راه با رشد بیوفیلم مبارزه نمود. ممبران‌های آبگریز تمایل به جذب مواد آلی محلول در آب خام را دارند و لذا رشد گرفتگی بیولوژیکی در آنها بیشتر است. از طرف دیگر بیشتر مواد آلی محلول دارای بار منفی هستند و ممبران‌ها هم در فرایند بهره‌برداری دارای بار منفی می‌شوند و لذا این مواد را دفع می‌نمایند. آن دسته از مواد آلی محلول با اندازه ۳-۲۰ نانومتر در ایجاد گرفتگی نقش دارند. وجود یون‌های کلسیم با بار مثبت، می‌تواند بار منفی مواد آلی فوق الذکر را خنثی نموده و در نتیجه احتمال جذب آنها را توسط ممبران افزایش دهد.

➤ گرفتگی دسته چهارم:

این نوع از گرفتگی‌ها که به نام گرفتگی غیرآلی هم نامیده می‌شود به علت ترسیب کربنات کلسیم، سولفات کلسیم و هیدروکسید فلزات بروز می‌نماید. در شرایطی این ترسیب رخ می‌دهد که غلظت مولکولی ترکیب شیمیایی در دما و پی اچ آب محیط فیلتر از حد اشباع بگذرد. لذا بروز آن در میکروفیلترها و اولترافیلترها تقریباً رخ نمی‌دهد اما برای نانوفیلترها و اسمز معکوس پدیده خطرناکی است که در فصل سوم مورد توجه قرار گرفته است.

۷-۵-۱- روش‌های مبارزه با گرفتگی

برای مبارزه با هر دسته از عوامل مولد گرفتگی روش و ترکیب شیمیایی ویژه‌ای باید مورد استفاده قرار گیرد. در جدول شماره ۷-۷ روش‌های مورد استفاده در مبارزه با انواع گرفتگی نشان داده شده است.

جدول شماره ۷-۷- روش‌های مبارزه با انواع گرفتگی و عملکرد قابل پیش بینی

روش مبارزه / نوع گرفتگی	هیدرولیکی	کلرزی	اسیدزنی	ترکیبات ویژه
ذرات معلق و کلوییدی	++	-	-	++
مواد آلی	-	+	-	++
میکروبی	+	++	++	++
شیمیایی	-	-	++	++

برای انتخاب ماده شیمیایی در مبارزه با گرفتگی باید با توجه به ویژگی‌های ممبران مورد استفاده و توصیه سازنده ممبران عمل نمود زیرا لازم است حساسیت‌های پلیمر مورد استفاده برای ساخت ممبران را دانست که در بخش ۷-۲ به تفصیل آورده شده است.

همانطور که از جدول ۷-۷ می‌توان مشاهده نمود با استفاده از ترکیب‌های ویژه می‌توان با هر چهار نوع گرفتگی مبارزه ثمربخش داشت اما مشکل اصلی در درجه اول هزینه تهیه و پیش بینی تاسیسات لازم مصرف آن است و همچنین لازم است توجه شود که پس از کاربرد، باید تاسیسات با آب پاک کاملاً مورد شستشو قرار گیرد تا اثری از ترکیب شیمیایی مورد مصرف در آب شرب تولیدی دیده نشود. در نهایت مشکلات تصفیه و دفع آن به محیط زیست نیز توجه می‌طلبد زیرا ممکن است در محیط زیست مشکل آفرین گردد. از طرف دیگر یادآوری گردید که گرفتگی‌های فیلترها به دو دسته قابل برگشت و غیرقابل برگشت هم تقسیم بندی می‌شود. در صورتی که با عملیات



جدول شماره ۷-۸- چند ترکیب مورد استفاده برای شستشو^۱

نوع گرفتگی	نوع تمیزکننده
چربی‌ها و روغن‌ها	محلول ۵٪ نرمال هیدروکسید سدیم با غلظت ۲۰۰ پی پی ام
پروتئین‌ها، پلی ساکاریدها و باکتری‌ها	کلر
نمک‌های معدنی، چربی‌ها و روغن‌ها	اسیدهای استیک، سیتریک، نیتریک با غلظت ۱/۱ - ۶/۶ مولار
پلیمرهای آلی	تریتون ۱/۱۰ درصد
باقیمانده سلولی	آنزیم‌ها

بکواش و عملیات شستشوی شیمیایی فلاکس ویژه ممبران حفظ گردد گرفتگی از نوع قابل برگشت است. در جدول شماره ۷-۸ چند ترکیب شیمیایی مورد استفاده برای شستشوی المان‌های میکروفیلترها نشان داده شده است. طبق جدول، کلریک ترکیب بسیار موثر است اما برای ممبران‌های پلی آمید استفاده نمی‌شود. گفته شد که گرفتگی روزنه‌ها و تخلخل آنها باعث ایجاد و افزایش مقاومت هیدرولیکی ممبران می‌شود که اگر فشار هیدرولیکی افزایش نیابد فلاکس آن کاهش پیدا می‌نماید. معادله فلاکس، فشار هیدرولیکی و مقاومت‌های هیدرولیکی از دیدگاه گرفتگی قابل برگشت و غیر قابل برگشت را می‌توان همانطور که در بخش ۷-۴ مربوط به طراحی ممبران‌ها گفته شد چنین نوشت:

$$J = \frac{\Delta P}{\mu (R_m + R_{fp} + R_p)}$$

که در آن:

$$\Delta P = \text{فشار هیدرولیکی؛}$$

$$R_m = \text{مقاومت ویژه ممبران بر حسب متر؛}$$

$$R_{fp} = \text{مقاومت ناشی از گرفتگی غیرقابل بازگشت بر حسب متر؛}$$

$$R_p = \text{مقاومت ناشی از گرفتگی قابل بازگشت بر حسب متر؛}$$

$$\mu = \text{ویسکوزیته مطلق آب.}$$

۱. غلظت لازم و مدت زمان شستشو را شرکت سازنده ترکیب، با توجه به توصیه‌های سازنده ممبران تعریف می‌نماید. در مورد ترکیبات ویژه به کتاب نمک‌زدایی از آب‌های شور و لب‌شور از انتشارات نارون آرا مراجعه شود.

با مثالی می‌توان روش تعیین آنها را تعریف نمود.

➤ مثال شماره ۷-۵:

میکروفیلتر مثال شماره ۷-۲ برای تولید آب مورد استفاده قرار می‌گیرد و فلاکس آن قبل از شستشو عبارت است از ۸۴ لیتر در مترمربع در ساعت در فشار یک اتمسفر و پس از شستشو، فلاکس آن برابر است با ۱۰۶ لیتر در مترمربع در ساعت در فشار ۰/۵۲ اتمسفر. دمای آب در شرایط بهره‌برداری ۲۰ درجه سلسیوس است. حال مجهولات زیر باید معلوم گردد.

۱. مقاومت هیدرولیکی ویژه ممبران؛

۲. مقاومت هیدرولیکی غیر قابل برگشت؛

۳. مقاومت هیدرولیکی قابل برگشت.

- در مثال شماره ۷-۲ مقاومت ویژه ممبران معادل ۱۰^{۱۱}×۱/۲۶ متر بدست آمد و چون هنوز مورد استفاده قرار نگرفته است مقاومت ایجاد شده در آن صفر فرض می‌گردد.

- محاسبه مقاومت هیدرولیکی غیرقابل بازگشت ممبران:

$$J = \frac{\Delta P}{\mu (R_m + R_{Ir})}$$

$$R_{Ir} = \frac{\Delta P}{\mu J} - R_m = \frac{۰/۵۲ \times ۱۰۵ \times ۳۶۰۰ \times ۱۰۰۰}{۱ \times ۱۰^{-۳} \times ۱۰۶} - ۱/۲۶ \times ۱۰^{۱۱} m = ۱/۶۴ \times ۱۰^{۱۲} m$$

- محاسبه مقاومت هیدرولیکی قابل بازگشت. لازم به توجه است که قبل از شستشوی ممبران هر سه مقاومت وجود دارند و بنابراین می‌توان نوشت:

$$R_r = \frac{\Delta P}{\mu J} - R_m - R_{Ir}$$

$$R_r = \frac{۱ \times ۱۰^۵ \times ۳۶۰۰ \times ۱۰۰۰}{۰/۰۰۱ \times ۸۴} - ۱/۲۶ \times ۱۰^{۱۱} m - ۱/۶۴ \times ۱۰^{۱۲} m = ۲/۵۴ \times ۱۰^{۱۲} m$$

لذا با اندازه گیری سه نوع مقاومت هیدرولیکی می‌توان برای حل مشکل گرفتگی ممبران برنامه ریزی نمود.

۷-۶- بکواش

یادآوری می‌شود که میکروفیلترها و اولترافیلترها را بر خلاف نانوفیلترها و ممبران اسمزمعکوس می‌توان با ایجاد جریان معکوس آب با نام بکواش مورد شستشو قرار داد. اما به هر حال با ادامه فیلتراسیون و تکرار عملیات بکواش مقاومت غیرقابل بازگشت به آرامی در ممبران بوجود می‌آید و فلاکس آن کاهش پیدا می‌نماید. علت آن هم ماندگاری ذرات و ترکیبات شیمیایی روی ممبران و داخل تخلخل آن می‌باشد و برای حفظ فلاکس لازم است فشار هیدرولیکی روی ممبران افزایش یابد. زمانی که فشار هیدرولیکی به یک حداکثر مجاز می‌رسد که تعریف شده است باید شستشوی شیمیایی ممبران انجام گیرد.

اما عملیات بکواش باید به طور خودکار و برنامه ریزی شده در فاصله‌های زمانی کمتر از ۱۰۰ دقیقه انجام گیرد و ملاک برنامه ریزی رشد مقاومت و افزایش فشار هیدرولیکی است که میزان افزایش در حدود ۰/۲ متر است. مدت زمان بکواش ۱-۵ دقیقه می‌باشد و تاسیسات لازم باید بتواند تمام مدول‌های یک قفسه را در یک زمان بکواش نماید.

بعضی از سازندگان فاصله زمانی بین دو بکواش را ۳۰ دقیقه توصیه می‌نمایند و همانطور که قبلاً گفته شده از آب و یا هوا می‌توان برای بکواش استفاده نمود و طبعاً فشار هیدرولیکی لازم بیشتر از فشار هیدرولیکی فیلتراسیون است. در بکواش اولترافیلترها و میکروفیلترها باید طبق توصیه‌های سازنده عمل شود.

در انواع ممبران‌های غیر مستغرق در حالیکه بکواش در حال اجراست با فرستادن آب از مسیر فیلتراسیون می‌توان عملیات را مانند شستشوی سطحی فیلترهای دانه‌ای ارتقا بخشید. در صورتیکه ممبران نسبت به کلر حساسیت نداشته باشد می‌توان هر روز چند بار به آب بکواش کلر اضافه نمود تا رشد بیوفیلم تحت کنترل قرار گیرد. در طراحی تاسیسات بکواش نیاز آبی مدول‌های یک قفسه باید با دقت تعیین شود.

۷-۶-۱- شستشوی شیمیایی ممبران

با توجه به اهمیت جلوگیری از رشد سریع گرفتگی به هر حال با ادامه فیلتراسیون و تکرار عملیات بکواش به دلیل باقی ماندن عوامل گرفتگی، افت فشار در تاسیسات افزایش می‌یابد. هدف از شستشوی ممبران جدا کردن این عوامل و تخلیه آنها است. عملیات شستشو که کاری پر هزینه است روی عمر مفید المان‌ها تأثیرمنفی دارد. این فرایند شامل شستشوی فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی می‌باشد. برای شستشوی ممبران از سه نوع انرژی به شرح زیر استفاده می‌شود:

- انرژی شیمیایی که عبارت است از ترکیب شوینده و تمیز کننده؛
- انرژی حرارتی که همان افزایش دمای محلول مورد استفاده است؛
- انرژی مکانیکی که به کمک پمپ باید سرعت جریان محلول را در حدی حفظ نمود.

و بالاخره توجه شود که برای عملکرد مطلوب باید عملیات در مدت‌زمانی استمرار یابد و یادآوری گردید که نوع گرفتگی نوع ترکیب شیمیایی لازم را تعریف می‌نماید.

➤ عوامل مورد توجه

عوامل مورد توجه در شستشوی ممبران‌ها عبارتند از:

- نوع مواد مورد استفاده برای ساخت ممبران که مقاومت ممبران را در مقابل ترکیب‌های شیمیایی تعریف می‌نماید؛
- فشار هیدرولیکی و ایجاد سرعت محلول شیمیایی که باید توسط سازنده تعریف شده باشد. از نظر هیدرولیکی عدد رینولدز باید ۳-۵ هزار باشد که سرعت ۱/۵-۲ متر در ثانیه را نشان می‌دهد؛
- اکثر ترکیب‌های شیمیایی در مدت زمان ۳۰-۶۰ دقیقه کارزدایش را انجام می‌دهند و ممکن است به علت فیلتراسیون، زمان شستشوی بیشتر از حد لازم باعث بروز گرفتگی شود. در صورت ضرورت استفاده از آنزیم که در جدول شماره ۷-۸ آمده است این مدت می‌تواند تا ۹۰ دقیقه افزایش یابد.



- کیفیت آب مورد استفاده باید به نحوی باشد که خود باعث ایجاد گرفتگی نشود چنانکه کدورت آن کمتر از یک ان‌تی‌یو و آهن آن کمتر از ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر باشد. از کاربرد آب دارای سختی باید اجتناب شود. سیلیس این آب باید کمتر از ۵ میلی‌گرم در لیتر باشد. دمای آب و محلول هم باید طبق نظر سازنده تعریف شودکه معمولاً ۳۰-۴۰ درجه سلسیوس است.
- پی اچ آب محلول شستشو و آبکشی تابع ویژگی ممبران و نوع گرفتگی ممبران است. محلول‌های شیمیایی قلیایی با پی اچ ۱۲ برای اکثر ممبران‌ها مناسب است. از طرف دیگر محلول‌های اسیدی با پی اچ ۱/۵-۲/۸ برای مبارزه با گرفتگی ناشی از ترسیب مواد معدنی به کار می‌رود.
- تاسیسات لازم مانند مخزن تهیه محلول، الکتروپمپ‌های مناسب کارتریج فیلترها برای حفاظت ممبران‌ها، شیرها و ابزار دقیق تاسیسات باید پیش بینی شود. به ویژه در مورد ظرفیت تاسیسات با توجه به تعداد المان‌ها که در یک مرحله و با هم مورد شستشو قرار می‌گیرند توجه لازم است.

مراحل عملیات شستشوی شیمیایی به قرار زیر است:

- انجام عملیات بکواش با آب تولیدی به مدت ۳۰ ثانیه؛
- انجام عملیات شستشو با محلول شیمیایی به مدت ۱۰-۱۵ دقیقه و بیشتر؛
- انجام عملیات آبکشی با آب تولیدی برای تخلیه کامل استوانه فشار از محلول شیمیایی.

متصدی بهره‌بردار لازم است با توجه به توصیه‌های کتابچه بهره‌برداری که توسط سازنده ممبران تهیه شده و با استفاده از آزمون و خطا و به کمک آزمایشگاه مراحل عملیات پیش گفته را بسیار محتاطانه بهینه نماید تا بدین ترتیب بتواند مناسب‌ترین مدت زمان عملیات و غلظت ماده شیمیایی مورد مصرف را تعریف نموده و عملیات را به کمک ابزار دقیق پایش نماید.

اهداف بهینه نمودن عبارتند از:

- افزایش فاصله زمانی بین دو بکواش و شستشوی شیمیایی؛
- کاهش زمان عملیات شستشو؛
- کاهش میزان آب و فشار هیدرولیکی آن در زمان بکواش.

لذا افزایش میزان باز یافت باید نتیجه نهایی باشد. برای کاهش مصرف آب در عملیات بکواش تقریبا مشابه فیلترهای دانه‌ای، استفاده از هوای تحت فشار توسط بیشتر سازندگان این دو نوع فیلتر پیشنهاد می‌شود.

آزمایش بی نقصی^۱

تاسیسات فیلترهای ممبرانی باید طوری نصب شوند که بر اساس نتایج آزمایش بی نقصی مورد تایید قرار گیرند. روش آزمایش عبارت است از خالی کردن استوانه فشار حاوی المان از آب و دمیدن هوای تحت فشار به داخل استوانه. در صورتیکه نرخ کاهش فشار هوا بیشتر از حد تعریف شده باشد المان دارای نقص است و در نتیجه فرار آب، بدون فیلتر شدن از آن محتمل است لذا مناسب استفاده نخواهد بود. در نوعی دیگر در حالی که در استوانه آب وجود دارد هوا دمیده می‌شود. به هر حال در هنگام خرید و تهیه ممبران، لازم است روش انجام آزمایش بی نقصی المان‌ها تعریف شده و سازنده مسئولیت تهیه دستور عمل و ابزار لازم را به عهده گیرد.

فلاکس خالص

چون به طور مرتب المان باید مورد شستشو قرار گیرد و آب مورد مصرف هم آب تولیدی است لذا بخشی از آب تولیدی باید به مصرف بکواش برسد لذا فلاکس خالص و فلاکس ناخالص مطرح می‌شود. در ابتدا معادله‌ای معرفی می‌شود که عبارت است از:

$$J_G = \frac{Q_p}{t_p A_m}$$

که در آن:

J_G = فلاکس ناخالص؛

Q_p = میزان آب تولیدی؛

t_p = مدت تولید آب؛

A_m = سطح مفید ممبران.

فلاکس خالص با معادله زیر محاسبه می‌شود.

$$J_n = \frac{Q_p - q_b - q_c}{(t_p + t_b + t_c) A_m}$$

که در آن:

q_b = حجم آب مورد مصرف بکواش؛

q_c = حجم آب مورد مصرف برای شستشوی شیمیایی؛

t_c, t_b = زمان‌هایی است که المان نه فقط در مدار تصفیه و تولید آب نبوده بلکه برای بکواش و شستشو آب مصرف می‌شود.

بنابراین این دو زمان هم باید جزو مدت بهره‌برداری لحاظ گردد. لذا آب مورد مصرف باید از کل آب تولیدی کسر و نتیجه به کل زمان تقسیم شود تا فلاکس خالص محاسبه شود. بنابراین پایش روند کاهش فلاکس ممبران‌ها باید یکی از برنامه‌های مستمر بهره‌برداری باشد و انجام آزمایش بی نقصی تاسیسات برای این کار ضرورت دارد. برای بیان بیشتر مطلب مثالی آورده می‌شود.

مثال شماره ۷-۶:

در یک تصفیه‌خانه آب که دارای فیلترهای ممبرانی برای تصفیه آب خام است شرایط زیر وجود دارد.

- متوسط مجموع باکتری‌ها معادل ۱۰^۶ عدد در لیتر؛
- متوسط کدورت آن ۱۰ ان تی یو.

با فرض بروز پارگی در سطح ۰/۰۱ درصد ممبران و در نتیجه عبور آب خام بدون تصفیه از آن و اختلاط با بقیه آب، قرار است عملکرد ممبران



محاسبه شود. حساسیت دستگاه‌های اندازه گیری در حدی است که اگر تعداد باکتری‌ها یک عدد در لیتر و کدورت ۰/۰۵ ان تی یو و کمتر باشد، دستگاه غیر قابل تشخیص اعلام می‌نماید. بنابراین:

$$R_{log} = \log\left(\frac{C_p}{C_f}\right) = \log\left(\frac{10^6}{1}\right) = 6$$

در نتیجه لاگ زدایش اگر ۶ باشد و تعداد باکتری یک عدد و کمتر، دستگاه، آب را پاک اعلام می‌نماید. اکنون با روش موازنه جرمی باکتری‌ها و کدورت، عملکرد فیلتر تعیین می‌شود. چون پارگی ۰/۰۱ درصد است پس ۰/۰۰۰۱ سطح ممبران آب خام را از خود عبور می‌دهد. بنابراین برای یک لیتر محاسبات انجام می‌گیرد.

تعداد باکتری‌ها در لیتر آب تولیدی:

$$C_b = \frac{1 \times 0/9999 + 10^6 \times 0/0001}{1} = 100/99 \approx 101$$

میزان کدورت در آب تولیدی:

$$C_t = \frac{0/05 \times 0/9999 + 10 \times 0/0001}{1} = 0/051$$

بدین ترتیب که هر لیتر آب تولیدی دارای ۰/۰۰۰۱ لیتر آب خام خواهد بود. در این شرایط لاگ زدایش میکروب‌ها توسط ممبران عبارت است از:

$$R_{log} = \log\left(\frac{10^6}{101}\right) = 4$$

لازم به توجه است که در این مثال کدورت در آب خروجی با پارگی ۰/۰۱ درصد ممبران و با کدورت ۰/۰۵ وضعیت بدون پارگی، قابل تشخیص نیست اما در مورد حضور میکروب‌ها وضعیت فرق می‌کند زیرا لاگ زدایش در وضعیت پارگی ۴ و در صورت نبود پارگی ۶ است. لذا پایش مستمر بر کیفیت آب خروجی ضرورت دارد تا در صورت بروز پارگی بتوان مدول را از مدار تولید خارج نمود و به همین جهت شیرهای قطع ارتباط آن با تاسیسات باید پیش بینی شود.

۷-۷- توجهات کلی

با توجه به بحث‌های گذشته این فصل اکنون به روند انجام مطالعات نگاهی می‌شود. گام‌های اساسی در طراحی میکروفیلترها و اولترافیلترها عبارتند از:

- بررسی کیفیت آب خام. گام اول تعریف و تشخیص ذرات معلق آب خام و ضرورت درصد زدایش آنهاست لذا تعریف تعداد هر کدام با ویژگی اندازه و درصد نسبی آنها برای تصمیم گیری ضرورت دارد.
- در مورد ترکیب‌های محلول و کلوییدی لازم است امکان استفاده از یک دلمه ساز و تبدیل آنها به ذرات بزرگ‌تر و یا جذب آنها توسط پودر کربن فعال و به تله انداختن ذرات کربن در ممبران به کمک عملیات آزمایشی مورد بررسی قرار گیرد.

- توجه خاص به ویژگی‌های آب از نظر بروز گرفتگی و شدت و نوع آن و روش‌های مبارزه با آن نیز از گام‌های اساسی مطالعه است. دمای حداکثر و حداقل نیز در محدوده ویژگی‌های آب قرار دارد.

- بررسی المان‌های موجود در بازار و انواع رژیم‌های هیدرولیکی و انجام محاسبات برای تعیین هزینه‌های لازم برای سرمایه گذاری از بخش‌های اساسی مطالعات است.

- تعریف کیفیت آب خام مناسب جهت هدایت به روی ممبران‌ها و فرایندهای لازم پیش تصفیه با توجه به دستاوردهای مطالعات پیش گفته نیز از کارهای ضروری است زیرا بخشی از سرمایه گذاری را به خود اختصاص می‌دهد.

- تهیه نقشه‌های مربوط به دیاگرام فرایندهای تصفیه و ابزار دقیق، تعداد ترین‌ها، استوانه‌های فشار، تاسیسات بکواش و شستشوی المان‌ها و دفع فاضلاب‌ها که در این فصل به صورت کلی ارایه گردیده است از کارهای اساسی است.
- تهیه جدول مقادیر اصلی کار شامل تعداد قفسه‌ها، الکتروپمپ‌های لازم بهره‌برداری، لوله کشی‌ها، ابزار دقیق لازم برای بهره‌برداری



آهن و منگنز، سیلیس و باکتری‌ها.

باید توجه نمود که مواد آلی همراه با باکتری‌ها، همانطورکه در

بخش گرفتگی‌هاگفته شد در تشکیل بیوفیلم نقش خطرناکی دارند

و یا اگر اندازه ذرات معلق آب بزرگ‌تر از اندازه‌ای باشد گرفتگی دسته

اول با سرعت رخ می‌دهد. البته این محدودیت‌ها برای اولترافیلترها

بیشتر است، چنانکه کدورت کمتر از ۵۰ ان تی یو، سی‌اودی کمتر از

۳۰ میلی‌گرم در لیتر، تی‌او‌سی کمتر از ۱۰ میلی‌گرم در لیتر و حداکثر

اندازه ذرات معلق کمتر از ۱۵۰ میکرون از جمله محدودیت‌های آب

خام ورودی به بعضی از اولترافیلترها است. لذا آزمایش دقیق آب خام

از نظر آلاینده‌های فوق ضرورت دارد تا فرایندهای لازم پیش تصفیه

تعیین شود و به همین دلیل وجود یک آزمایشگاه مجهز از پیشنیازهای

این گونه طرح‌ها می‌باشد.

یکی از فرایندهای لازم برای جلوگیری از گرفتگی‌ها استفاده

از یک ترکیب شیمیایی دلمه‌ساز با پایه آلومینیومی است که با ایجاد

دلمه ذرات ریز را به خود جذب نموده و تولید ذرات درشت‌تر می‌نماید

اما از طرف دیگر درشتی ذره‌ها هم باید تحت کنترل قرار گیرد. یکی

دیگر از ترکیبات مورد استفاده در پیش تصفیه پودر کربن فعال است.

کاربرد این دو ترکیب کارآیی فیلترهای ممبرانی را در حذف رنگ،

مواد آلی طبیعی، مواد آلی انسان ساخت، مواد مولد طعم و بو و

ویروس‌ها افزایش می‌دهد.

برای مثال میکرواسکرین‌ها در حدود ۱۰ درصد مواد آلی کربن‌دار

را زدایش می‌نمایند، اما با استفاده از دلمه‌ساز آلومینیومی و در پی اچ

حدود ۵، این درصد به حدود ۳۵ می‌رسد و یا زدایش ویروس‌ها با استفاده

از دلمه‌ساز در میکرواسکرین‌ها به حدود ۹۹/۹۹ درصد می‌رسد. اندازه

ذرات پودر کربن فعال باید در حدود ۰/۰۶ میلیمتر باشد. ذره‌های تشکیل

شده به دلیل کاربرد دلمه‌ساز در روی فیلتر ایجاد کیک متخلخل

می‌نماید و در حالی که اجازه عبور آب را می‌دهد مانع عبور ذرات حتی

ریزتر از اندازه نامی روزنه‌های ممبران می‌شود که در واقع یکی از

فرایندهای غالب فیلترهای دانه‌ای است.

از گام‌های اساسی است اما بدون انجام عملیات آزمایشی و استفاده

از ممبران‌های مورد نظر نباید به این مرحله از تصمیم‌گیری رسید

مگر آنکه سازنده المان‌ها بتواند با توجه به تجارب مشابه، عملکرد

مطلوب تاسیسات را ضمانت نماید.

● در تهیه ویژگی‌های فنی توجه شود که از عناصر استاندارد استفاده

شود تا در بهره‌برداری محدودیتی برای تهیه وسایل یدک پیش

نیاید. در طرح‌های با ظرفیت‌های زیاد ضرورت دارد که با

همکاری سازنده ممبران‌ها مطالعات را در سطح آزمایش به انجام

رسانید و بر اساس نتایج تصمیم‌گیری نمود. نحوه استفاده از

ممبران‌های آزمایشی مقوله‌ای خارج از محدوده کار کتاب است

زیرا در مواردی باید تاسیسات را از سازنده خریداری نمود و در

مواردی سازنده، تاسیسات را مشروط در اختیار تیم تحقیق قرار

می‌دهد و گزینه‌های دیگری هم وجود دارد.

۷-۸- فرایندهای پیش تصفیه

در استفاده از میکرو و اولترافیلترها به دلیل اینکه فرایند اصلی غربال

کردن ذرات معلق و یا صاف کردن است معمولاً نیازی به کاربرد ترکیبات

دلمه‌ساز نیست و این امر امتیاز اصلی این فناوری است. اما همانطور

که در شکل‌های شماره ۷-۲ و ۷-۴ نشان داده شده است آب خام

ورودی به این دو نوع فیلتر باید تا حدودی پیش تصفیه گردد. بنابراین

استفاده از نوعی میکرواسکرین به منظور پیش تصفیه آب ورودی به

این ممبران‌ها اجتناب‌ناپذیر است.

با توجه به انواع گرفتگی‌ها که در بخش ۷-۵ مطرح گردیده

است و با توجه به اندازه مولکولی گروهی از آلاینده‌ها که از روزنه‌های

آنها عبور می‌کنند بررسی کیفیت آب خام و انجام پیش تصفیه ضرورت

دارد. بعضی از سازندگان این دو نوع ممبران حداکثر مجاز گروهی از

آلاینده‌ها را در آب خام مناسب مدول اعلام می‌نمایند. این آلاینده‌ها

عبارتند از کدورت، تی‌او‌سی، اندازه ذرات معلق، روغن‌ها، پی‌اچ،

کلر، دمای آب، مجموع مواد جامد از نظر اندازه، قلیائیت، سختی،



برای تصمیم‌گیری در مورد استفاده از ماده دلمه‌ساز معیارهای زیر

باید مورد توجه قرار گیرد:

● کیفیت آب خام از جهت آلاینده‌های پیش گفته و ضرورت افزایش

عملکرد فیلتر مانند وجود مواد آلی کربن‌دار و تعیین ضرورت درصد

زدایش آن؛

● میزان موردنیاز دلمه‌ساز، اصلاح پی‌اچ، دمای آب و هزینه‌های

مربوط؛

● تاسیسات لازم تزریق برای انجام اختلاط سریع.

و برای تصمیم‌گیری در مورد کاربرد پودر کربن فعال برای حذف

عوامل مولد طعم و بو نکات زیر باید مورد توجه قرار گیرد.

● کیفیت آب خام از نظر طعم و بو و ضرورت زدایش آن؛

● تاسیسات لازم برای افزایش و حفظ مدت زمان تماس؛

● تغییرات در میزان تولید رسوبات؛

● توجهات اقتصادی و لذا بهینه‌سازی مصرف آن؛

● و بالاخره مشورت با سازنده ممبران.

پس از پایان مطالعات امکان‌سنجی و رسم دیاگرام‌های پیش تصفیه

و تصفیه توسط فیلترهای ممبرانی و پس از تدوین معیارهای طراحی

فرایندها، لازم است تصفیه‌خانه‌ای در اندازه آزمایشی طبق دیاگرام‌های

فرایندها و معیارهای طراحی و بهره‌برداری صنعتی ساخته شود و

بنابراین همکاری سازنده و یا سازندگان فیلترها ضرورت دارد. در غیر

این صورت در اسناد مناقصه اجرای طرح آزمایشی و ارزیابی نتایج برای

تصمیم‌گیری‌ها اجتناب‌ناپذیر است. چون فرایند اصلی، غربال شدن

آب است و با توجه به اینکه روزنه‌های ممبران‌های نصب شده قابل

تغییر نیستند هرگونه اشتباه و شتابزدگی در این مورد می‌تواند پروژه را

با شکست روبرو نماید. استفاده از ترکیب‌های شیمیایی مورد بحث در

تصفیه‌خانه‌های فیلترهای ممبرانی با نام بهره‌برداری هیبرید شناخته

می‌شود که کارآمدی آنها ثابت شده است.

۷-۹- بهره‌برداری

یادآوری گردید که بهره‌برداری از میکرو و اولترا فیلترها نیازمند همکاری

آزمایشگاه می‌باشد و باید به طور مرتب شاخص‌های آب تولیدی مورد

پایش قرار گیرند. باید توجه داشت که احتمال پاره شدن ممبران‌ها

وجود دارد و در مثال شماره ۷-۶ مشاهده گردید که پارگی در حد یک

ده هزارم سطح ممبران می‌تواند زدایش آلاینده‌ای مانند میکروب‌ها را

در حد قابل ملاحظه کاهش دهد. غیر از پارگی احتمال بروز نشت آب

خام به بخش آب تصفیه شده هم به علت بهره‌برداری اشتباه وجود

دارد. لذا پایش کیفیت آب تولیدی باید به طور مستمر انجام گیرد. این

پایش را می‌توان با تعیین شاخص‌های زیر پیگیری نمود:

● کدورت سنجی. آب تولیدی از ممبران‌ها نباید دارای کدورت

بیشتر از ۱/۰ ان تی یو باشد؛

● ذرات معلق هم از شاخص‌های کیفیت آب تولیدی است.

آزمایش با هوا طبق دستور عمل سازنده و آزمایش صدا و یا اکواز دیگر

روش‌های پایش عملکرد بهره‌برداری می‌باشد لذا پیش‌بینی تاسیسات

و تمهیدات لازم برای آزمایشات پیش گفته در اسناد مناقصه ضرورت

دارد تا بخش کنترل کیفیت آب تولیدی، از آنها استفاده نماید.

شرکت‌های سازنده و تامین‌کننده تاسیسات و تجهیزات میکرو و اولترا

فیلترها که در شرایط فعلی به صورت مجموعه^۱ ساخته و تحویل

می‌دهند باید دستور عمل جامعی در زمینه بهره‌برداری و نگهداری در

اختیار متصدیان قرار دهند و توجه داشت که:

۱. مدول‌هایی که هنوز نصب نشده و مورد بهره‌برداری قرار نگرفته‌اند

باید در محیطی خنک انبار و نگهداری شوند. مدول‌ها باید به

صورت افقی و بالاتر از کف انبار روی قفسه‌ای قرار گرفته و حداکثر

تعداد روی هم آنها ۳-۴ مدول است. مدول‌ها باید از اشعه مستقیم

نور خورشید محافظت شوند. در شرایط حفظ بسته‌بندی کارخانه

سازنده، حداکثر مدت انبار نمودن حدود یکسال است.



۲. پس از تست و شروع بهره‌برداری، فیلتر نباید خشک نگهداری شود زیرا با سرعت میزان فلاکس آن کاهش پیدا می‌نماید. در صورتی که در محل کارخانه نصب و تست شده است ابتدا باید با محلول بی‌سولفیت سدیم شستشو شده و پس از تخلیه محلول تمام شیرهای آن در حد هوابندی^۱ بسته شوند.

۳. این دو نوع فیلتر ممبرانی برای بهره‌برداری مستمر و بکواش ساخته شده‌اند و اگر قرار است مدتی از مدار تولید خارج شوند لازم است با هوا تمیز شده و سپس با آب فیلتر شده بکواش شوند تا باکتری‌ها روی آن رشد و تکثیر پیدا نکنند. آب مورد استفاده برای بکواش باید عاری از هرگونه ترکیب شیمیایی باشد تا اثری از ترکیب فوق روی ممبران باقی نماند. حال در صورتی که قرار است تاسیسات بیشتر از ۴۸ ساعت از مدار تولید آب خارج شود نکات بیشتر زیر باید مورد توجه قرار گیرد:

- مدول نباید خشک نگهدای شود؛
- برای جلوگیری از رشد باکتری‌ها روزانه ۳۰-۴۰ دقیقه مورد بهره‌برداری قرار گیرد؛
- استفاده از محلول‌های شیمیایی حفاظت کننده طبق توصیه سازنده ممبران ضرورت دارد.

۴. در بهره‌برداری متعارف در فواصل زمانی تعریف شده که همیشه کمتر از یک ساعت است میکروفیلتر و اولترافیلتر باید طبق دستور عمل سازنده بکواش شود. در بهره‌برداری و نگهداری این دو نوع فیلتر، آزمایشاتی برای اعتماد به عملکرد آن‌ها انجام می‌گیرد. این آزمایشات باید طبق دستور عمل بهره‌برداری سازنده باشد و عبارتند از:

- آزمایش حباب^۲؛
- آزمایش کاهش فشار هوا^۳؛
- آزمایش کاهش فشار خلا^۴؛

1. Air Tight 2. Buble Point Test 3. Pressure Decay Test 4. Vacuum Decay Test

- اکو؛

- شمارش ذرات معلق در آب تولیدی؛

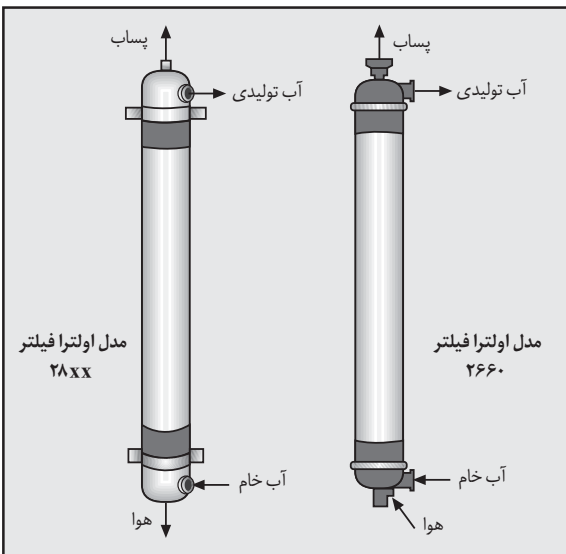
- پایش ذرات معلق آب خام و آب تولیدی؛

- پایش کدورت آب خام و آب تولیدی.

در شکل شماره ۷-۱۰ دو نمونه میکروفیلتر در استوانه فشار و در

جدول‌های شماره ۷-۹ و ۷-۱۰ ویژگی‌های چند نوع میکرو و اولترا فیلترهای شرکت کوچ و پی سی ای نشان داده شده است.

شکل شماره ۷-۱۰- دو مدول میکرو فیلتر در استوانه فشار



۷-۱۰- نانو فیلتر

اندازه روزنه‌های نانوفیلترها یک نانو متر و کمتر است که در جدول شماره ۷-۴ برای مقایسه ارایه گردیده است. از نظر فرایند کار بیشتر شبیه اسمز معکوس است تا فیلترهای ممبرانی و به همین دلیل در حالی که در گروه فیلترهای ممبرانی قرار دارد اما به طور جداگانه مورد بحث قرار می‌گیرد زیرا نمی‌توان آن‌ها را بکواش نمود. مهمترین کاربرد



جدول شماره ۷-۹- ویژگی‌های میکرو و اولترا فیلترهای لوله ای شرکت کوچ - ممبران‌ها و مدول‌ها

مدول		قطر مدول (سانتیمتر)	طول (متر)	سطح ممبران در هر مدول (مترمربع)
تک لوله ۲/۵ سانتیمتری		۲/۵	۱/۵	۰/۱۰
تک لوله ۲/۵ سانتیمتری		۲/۵	۳/۰	۰/۲۰
هفت لوله ۱/۲۷ سانتیمتری (ULTRA-COR)		۳/۸	۳/۰	۰/۶۸
نوزده لوله ۱/۲۷ سانتیمتری (ULTRA-COR)		۷/۶	۳/۰	۲/۲۰
ممبران	ام دیلیو سی او (نامی)	حداکثر دما در پی ایچ ۶ (سلسیوس)	پی ایچ مناسب در ۲۵ درجه سلسیوس	حد اکثر فشار مناسب (اتمسفر)
HFM-۱۰۰	۱۰ هزار	۹۰	۱۳ - ۱	۱۰/۵
HFM-۱۸۰	۱۸ هزار	۹۰	۱۳ - ۱	۱۰/۵
HFM-۱۸۳ ^b	۵۰ هزار	۹۰	۱۳ - ۱	۱۰/۵
MFM-۴۰۰ ^a	۱۰۰ هزار	۹۰	۱۳ - ۱	۱۰/۵
MFM-۱۸۱	۲۰۰ هزار	۹۰	۱۳ - ۱	۱۰/۵
MMP-۴۰۶ ^a	۰/۲ میکرون	۹۰	۱۳ - ۱	۱۰/۵
MFK-۶۱۵	۱/۲ میکرون	۹۰	۱۳ - ۱	۱۰/۵
MMP-۶۰۰	۱-۲ میکرون	۹۰	۱۳ - ۱	۳/۵

تمام ممبران‌های لوله‌ای کوچ از PVDF^۱ ساخته شده به جز MFK-۶۱۵ که از PES^۲ می‌باشد. a- ممبران آبدوست b- ممبران کاتیونیک

جدول شماره ۷-۱۰- ویژگی‌های میکرو و اولترا فیلترهای لوله ای شرکت پی سی آی^۳ - ممبران‌ها و مدول‌ها

مدول	قطر مدول (سانتیمتر)	طول (متر)	سطح ممبران در هر مدول (مترمربع)	حد اکثر فشار (اتمسفر)
مدل B۱ با دو ورودی و جریان موازی	۱۰	۱/۲	۰/۹	۱۶
	۱۰	۲/۴	۱/۷	۱۶
	۱۰	۳/۶	۲/۶	۱۶
مدل A۱۹ با جریان موازی	۸/۳	۱/۵	۱/۰	۷
	۸/۳	۳/۰۵	۱/۲	۷
	۸/۳	۳/۶۶	۲/۵	۷
ممبران	ام دیلیو سی او (نامی)	حداکثر دما در پی ایچ ۶ (سلسیوس)	پی ایچ مناسب در ۲۵ درجه سلسیوس	حد اکثر فشار مناسب (اتمسفر)
CA۲۰۲ (CA) ^a	۲ هزار	۳۰	۷-۲	۲۵
ES۴۰۴ (PES)	۴ هزار	۸۰	۱۲-۲	۳۰
PU۶۰۸ (PS)	۸ هزار	۸۰	۱۲-۲	۳۰
PU۱۲۰ (PS)	۲۰ هزار	۸۰	۱۲-۲	۱۵
AN۶۲۰ (PAN)	۲۵ هزار	۶۰	۱۰-۲	۱۰
FP۱۰۰ (PVDF)	۱۰۰ هزار	۸۰	۱۲-۲	۱۰
L۶۰۰۰ (FP) ^b	۲۰۰ هزار	۶۰	۲-۱۲	۱۰

سه ممبران ردیف‌های اول تا سوم دارای روزنه‌های کوچکتر از نانو می‌باشند. a- ممبران آبدوست b- فلورو پلیمر

1. Poly Vinylidene Flouride 2. Poly Ether Sulfone 3. PCI



نانوفیلترها در نمک زدایی، سختی زدایی و رنگ زدایی است و برای شروع بحث جدول شماره ۷-۱۱ برای مقایسه با اسمزمعکوس و اولترافیلترها آورده می شود.

با مطالعه جدول پیش گفته می توان دریافت که از نانوفیلتر و اولترا فیلترهای فشرده برای زدایش سختی، رنگ، حشره کش ها، فلزات سنگین چون آرسنیک، ویروس ها، مواد آلی طبیعی و کدورت می توان استفاده نمود. رژیم هیدرولیکی در آنها مانند اسمزمعکوس است یعنی جریان آب در سطح ممبران جاری می شود و فشار هیدرولیکی باعث عبور بخشی از آب از روزه ها می شود. بیشتر نانوفیلترها از پلیمر استات سلولز ساخته می شود که نسبت به کلر حساسیت ندارند و لذا گرفتگی بیولوژیکی آنها خیلی کمتر است. در زدایش رنگ از آب بسیار معروف هستند و در زدایش مواد آلی طبیعی که در فرم کلان با شاخص تی او سی اندازه گیری می شود بسیار خوب عمل می نماید.

جدول شماره ۷-۱۱- ممبران ها و زدایش آلاینده ها

نوع آب	آب شور	آب زیرزمینی	آب سطحی	آب دارای رنگ
فرآیند تصفیه	نمک زدایی	سختی زدایی	باکتری و ذره زدایی	رنگ زدایی (کم)
تاسیسات تصفیه:				
• فشار هیدرولیکی (اتمسفر)	۵۰-۶۰	۱۰-۲۰	۵/۲۰	۴-۸
• اندازه اسمی روزه ها (نانو متر)	کمتر از ۵/۰	۵/۱-۰	۵-۲۰۰	۱-۲
• نوع ممبران	اسمزمعکوس	اسمزمعکوس - نانوفیلتر	اولترافیلتر - میکروفیلتر	نانوفیلتر - اولترافیلتر
عملکرد (درصد زدایش):				
• رنگ - مواد آلی طبیعی	بیشتر از ۹۶	بیشتر از ۹۶	۱۰-۸۰	۹۰-۹۵
• ذرات معلق	۱۰۰	۱۰۰	۹۰-۱۰۰	۹۰-۱۰۰
• نمک ها	۱۰۰	۱۰۰	کمتر از ۵	کمتر از ۳۰
• باکتری ها	۱۰۰	*	۱۰۰	۱۰۰
• ویروس ها	۱۰۰	۱۰۰	۱۰-۱۰۰	۱۰۰

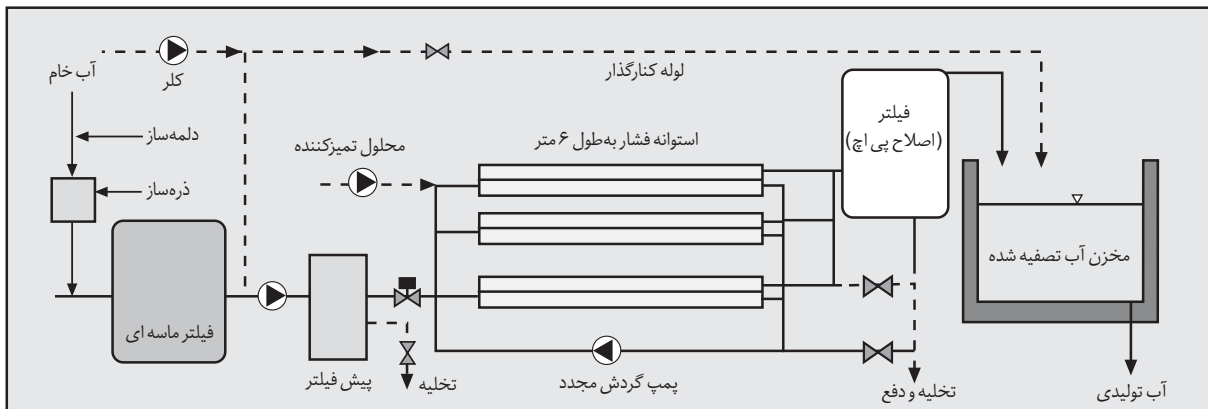
*. به جدول شماره ۷-۱۲ مراجعه شود.

در شکل شماره ۷-۱۱ دیاگرام فرایندهای زدایش رنگ از آب توسط نانوفیلتر نشان داده شده است. همانطور که دیاگرام نشان می دهد آب خام پس از عبور از واحدهای پیش تصفیه که فیلتردانه ای می باشد با فشار هیدرولیکی ایجاد شده توسط پمپ از فیلتر کارتریج که به نام پیش فیلتر معرفی شده است عبور کرده و به استوانه فشار حاوی المان های نانوفیلتر هدایت می شود. در جریان تصفیه آب توسط فیلتر دانه ای بر اساس آزمایشات جار تست میزان دلمه ساز آلومینیومی تعیین می گردد.

اندازه اسمی روزه های کارتریج فیلتر در محدوده ۵/۰ - ۵۰ میکرومتر است که رقم حدود ۵ میکرون بیشتر انتخاب می شود زیرا به عنوان یک گام حفاظتی از نانو فیلتر شناخته می شود. طول استوانه فشار در دیاگرام پیش گفته ۶ متر است و چون رژیم هیدرولیکی موازی است آب خام و آب گردش مجدد توسط دو پمپ مخلوط می شوند.



شکل شماره ۷-۱۱- دیاگرام فرایندهای زدایش رنگ از آب با فناوری نانو فیلتر



که در شکل نشان داده شده است. فلاکس این ممبران ها در حدود ۲۴ لیتر در مترمربع در ساعت بوده و سطح مفید هر واحد آن حدود ۱۲۰-۲۰۰ مترمربع است. تا سال ۲۰۰۶ حدود ۵۰ واحد آن برای تصفیه آب در اسکاتلند نصب گردیده بود که ظرفیت بعضی از آنها به حدود ۸۰۰ مترمکعب در روز می رسید.

از کاربردهای دیگر که یادآوری گردید سختی گیری است. چون این ممبران ها در دفع کاتیون های دو ظرفیتی دارای عملکرد مطلوبی

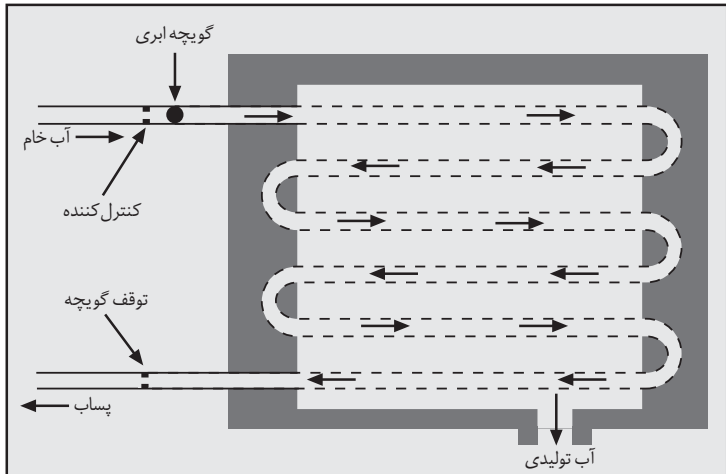
تاسیسات لازم برای کلر زنی آب خام قبل از نانوفیلترها و آب تولیدی هم پیش بینی شده است. به علاوه برای شستشوی شیمیایی المان ها تاسیسات لازم باید در نظر گرفته شود که پمپ آن در دیاگرام پیش گفته نشان داده شده است.

در صورتیکه کدورت آب خام زیاد باشد و فیلتراسیون مستقیم برای آن مناسب نباشد از زلال ساز هم می توان استفاده نمود. آب خروجی از استوانه های فشار باید به کمک مواد شیمیایی، دارای پی اچ و قلیابیت مناسب گردد. امکانات دفع آب

تولیدی در صورتیکه کیفیت مطلوب نباشد و همچنین پساب نیز در شکل پیش گفته پیش بینی شده است زیرا با افزایش غلظت بعضی از ترکیبات شیمیایی، خطر ترسیب محتمل می شود.

در نوع المان لوله ای^۱ طبق شکل شماره ۷-۱۲ آب خام با فشار پمپ به داخل لوله طولانی المان هدایت می شود و با حفظ رژیم هیدرولیکی موازی آب تولیدی و پساب در دو مسیر جدا از هم جریان می یابند. در انگلستان برای تمیز کردن سطوح داخلی لوله از نوعی گویچه ابری^۲ استفاده می شود

شکل شماره ۷-۱۲- نانو فیلتر لوله ای و تمیز کردن آن توسط گویچه ابری



1. Tubular

2. Foamball



سولفات سدیم، کلسیم و منیزیم بیشتر از ۹۰ درصد و در دفع کلرور سدیم عملکرد ضعیفی دارد. اختلاف کاربرد اولترافیلترها در این جدول مشهود است.

چون دفع مواد معلق حتی در اندازه‌های محلول و بدون بار الکترواستاتیکی بستگی زیادی به اندازه و شکل مولکول دارد از جدول می‌توان چنین نتیجه گیری نمود که نانوفیلترها در دفع ویروس‌ها، باکتری‌ها و بسیاری از پروتئین‌ها تا ۴ لاگ عمل می‌نماید. اما فراموش نشود که اندازه اسمی روزه‌های ممبران در اینجا نقش اساسی دارد که در جدول نشان داده نشده است. ممبران‌های نانو و اولترافیلترها هر کدام در دو کلاس ریز روزه^۲ و درشت روزه^۳ تقسیم بندی می‌شوند و هر گروه خود از نظر اندازه روزه دارای طیفی است که انتخاب آنها نیاز به توجه دارد. این تقسیم بندی در مورد ممبران اسمزمعکوس هم وجود دارد.

می‌توان در نظر گرفت که اکثر نانو فیلترها تا سقف ۹۰ درصد مواد آلی با وزن مولکولی ۲۵۰ دالتون را دفع می‌نمایند اما نانوفیلترهای فشرده دارای ام دبلیو سی او ۱۸۰ و نانوفیلترهای غیر فشرده دارای ام دبلیو سی او ۱۰۰۰ و بزرگ‌تر هستند و چون بیشتر مواد آلی طبیعی دارای وزن مولکولی حدود ۱۰۰۰ دالتون می‌باشند بنابراین نانوفیلترها در دفع و زدایش آنها از آب عملکرد مطلوبی دارند. این ممبران‌ها در صنایعی مانند شیرینی‌سازی کاربرد فراوان دارند.

۷-۱۰-۱- رسوب‌گذاری^۴ روی ممبران

تولید رسوب روی ممبران نانوفیلتر جای نگرانی دارد و لازم است به آن توجه کافی داشت. تولید رسوب ترکیب‌های مزاحم هنگامی رخ می‌دهد که ضریب یونی^۵ ترکیب در آب استوانه فشار بیشتر از ضریب انحلال^۶ آن گردد. در رسوبات مولد گرفتگی ممبران‌ها ترکیب‌های معدنی مانند کربنات، سولفات، فسفات، نمک یون‌های دو ظرفیتی،

۱. این ممبران‌ها به دو نوع درشت روزه و ریز روزه هم تقسیم بندی می‌شوند که عملکرد یکسان ندارند و جدول ۷-۱۲ طیف دفع را نشان می‌دهد.

2.Tight 3. Loose 4. Scaling 5. Ionic Product 6. Solubility Product

هستند و از طرفی در دفع کاتیون‌های یک ظرفیتی مانند سدیم مطلوب عمل نمی‌کنند بنابراین برای سختی‌گیری صنعت مناسبی است. فشار هیدرولیکی لازم در محدوده ۵-۳۰ اتمسفر قرار دارد که بستگی به ویژگی‌های المان مورد استفاده دارد.

در جدول شماره ۷-۱۲ مقایسه نسبی دفع آلاینده‌های آب توسط سه نوع ممبران ارایه گردیده است. این روش سختی‌گیری با روش تبادل یونی که در فصل سوم مطرح گردید این اختلاف را دارد که در تبادل یونی نمک سدیم جایگزین کلسیم و منیزیم زدایش شده می‌شود، بنابراین دارای محدودیت کاربرد است. اما در روش ممبرانی نانو، کلسیم و منیزیم و آهن از آب زدایش می‌شود. جدول پیش گفته راهنمای مناسبی برای انتخاب روش تصفیه آب به کمک فیلترهای ممبرانی است و همانطور که می‌توان مشاهده نمود نانوفیلتر در دفع

جدول شماره ۷-۱۲- مقایسه نسبی درصد دفع آلاینده‌ها

نوع ترکیب و آلاینده	ممبران اسمزمعکوس	ممبران نانوفیلتر	ممبران اولترافیلتر ^۱
کلرور سدیم	۹۹	۰-۷۰	۰
سولفات سدیم	۹۹	۹۹	۰
سولفات کلسیم	۹۹	۰-۹۰	۰
سولفات منیزیم	بیشتر از ۹۹	بیشتر از ۹۹	۰
اسید سولفوریک	۹۸	۰-۵	۰
فروکتوز	بیشتر از ۹۹	۲۰-۹۹	۰
اسید هیومیک	بیشتر از ۹۹	بیشتر از ۹۹	۳۰
ویروس‌ها	۹۹/۹۹	۹۹/۹۹	۹۹
پروتئین‌ها	۹۹/۹۹	۹۹/۹۹	۹۹
باکتری‌ها	۹۹/۹۹	۹۹/۹۹	۹۹



اکسیدهای فلزی و سیلیس مشاهده شده است. در این رسوبات بیشتر کربنات کلسیم، سولفات کلسیم و سیلیس وجود دارد. اما ترکیب‌های دیگری چون سولفات بارיום، سولفات استرانسیوم و فسفات کلسیم هم گهگاه دیده می‌شود. در سختی‌گیری از آب‌های لب شور رسوب کربنات کلسیم و گچ بیشتر مشاهده می‌شود. ترکیب سولفات کلسیم با دو مولکول آب تحت نام گچ بیشتر از انواع دیگر است.

حلالیت سولفات کلسیم در دمای ۳۰ درجه سلسیوس ۵۰ برابر حلالیت کربنات کلسیم است و اثر دما و تغییر پی اچ آب روی حلالیت آن در محدوده ۱۰-۴۰ درجه سلسیوس ناچیز است. یکی از علل افزایش یون سولفات، افزایش اسید سولفوریک به آب ورودی به استوانه فشار است که برای جلوگیری از ترکیب کربنات کلسیم می‌باشد. لذا افزودن اسید سولفوریک احتمال ترسیب آن را روی ممبران افزایش می‌دهد و به همین جهت کاربرد اسید کلریدریک توصیه شده است. باید یادآوری شود که در فرایند نمک زدایی به دلیل افزایش غلظت کلسیم خطر ترسیب آن وجود دارد. چون رسوب کربنات ترکیبی سنگین و چسبنده می‌باشد لذا از بروز آن باید جلوگیری شود. رسوب سیلیس هم یکی از مشکلات نانوفیلترهاست. حلالیت آن در دمای آزمایشگاه و در محدوده پی اچ ۵-۸ آب حدود ۱۲۰-۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر است و با افزایش پی اچ تا محدوده ۵/۹ حلالیت آن افزایش می‌یابد.

چون ایجاد رسوب باعث کاهش فلاکس و افزایش مصرف برق می‌شود و به علاوه ممکن است به ممبران صدمه بزند لذا پیشگیری از بروز آن منطقی و اقتصادی است. روش‌های کنترل ترسیب در نانوفیلترها عبارتند از:

- تغییر شرایط بهره‌برداری مانند کاهش درصد باز یافت، افزایش سرعت آب و تغییر دما ؛
- افزایش اسید و کاهش پی اچ آب؛
- افزودن بازدارنده‌های ترسیب.

هگزا متافسفات، اسیدها و چند ترکیب دیگر از بازدارنده‌های معروف هستند که تولید انواع آنها رو به افزایش است. میزان مصرف آنها

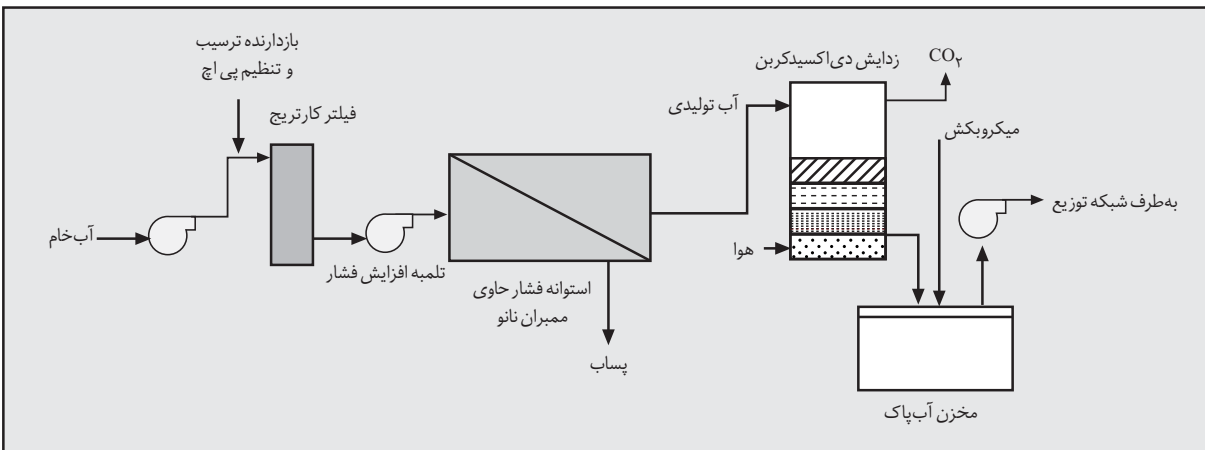
۲-۵ میلی‌گرم در لیتر است. این گروه از ترکیب‌ها به دلیل وزن بالای مولکولی و بار منفی آنها، توسط نانوفیلتر دفع می‌شوند. بازدارنده‌های نسل جدید پلی کربوکسیلیک‌ها و اسید پلی اکریلیک‌ها می‌باشند که مورد استفاده قرار می‌گیرند در مواردی همراه با بازدارنده، اسید هم به آب خام افزوده می‌شود تا پی اچ آن کاهش یابد. چنانکه در فلوریدا در پی اچ حدود ۶ سختی‌گیری انجام می‌گیرد. در ایالت فلوریدای امریکای شمالی که از آب‌های سخت زیر زمینی برای تولید آب شرب استفاده می‌شود نانوفیلترها جای خود را در این صنعت باز نموده‌اند و طبق گزارش‌های موجود در حدود سال‌های ۱۳۷۴ تعدادی تصفیه‌خانه با ظرفیت کل ۳۵۰ هزار مترمکعب آب در روز از این نوع تاسیسات استفاده می‌نمودند که دی‌اگرام فرایندهای تصفیه و ویژگی‌های مربوط به آن در شکل شماره ۷-۱۳ و جدول شماره ۷-۱۳ ارایه گردیده است. در این تصفیه‌خانه‌ها فشار هیدرولیکی لازم در محدوده ۶-۹ اتمسفر می‌باشد و بازدارنده ترسیب و اسید سولفوریک برای تغییر پی اچ و جلوگیری از ترسیب کلسیم به کار می‌رود. اندازه اسمی روزه‌های فیلتر کاتریج هم ۵ میکرومتر است و آب خروجی از استوانه فشار به واحد زدایش دی اکسید کربن از نوع استوانه آکنده فرستاده می‌شود.

جدول شماره ۷-۱۳- ویژگی‌های آب خام مربوط به دی‌اگرام فرایندهای تصفیه با نانوفیلتر شکل شماره ۷-۱۳

ویژگی	حدود تغییرات (میلی گرم در لیتر)
سختی برحسب کربنات کلسیم	۲۳۰-۳۱۵
قلیابیت برحسب کربنات کلسیم	۲۰۰-۲۸۵
کلرور	۵۰-۷۰
مجموع املاح محلول	۳۸۰-۴۸۰
آهن	۰/۲-۱/۷
رنگ	۴۰-۷۵
سولفید هیدروژن	کمتر از ۱/۵



شکل شماره ۷-۱۳- دیاگرام فرایندهای سختی‌گیری از آب زیرزمینی با نانوفیلتر (ایالت فلوریدای امریکای شمالی)



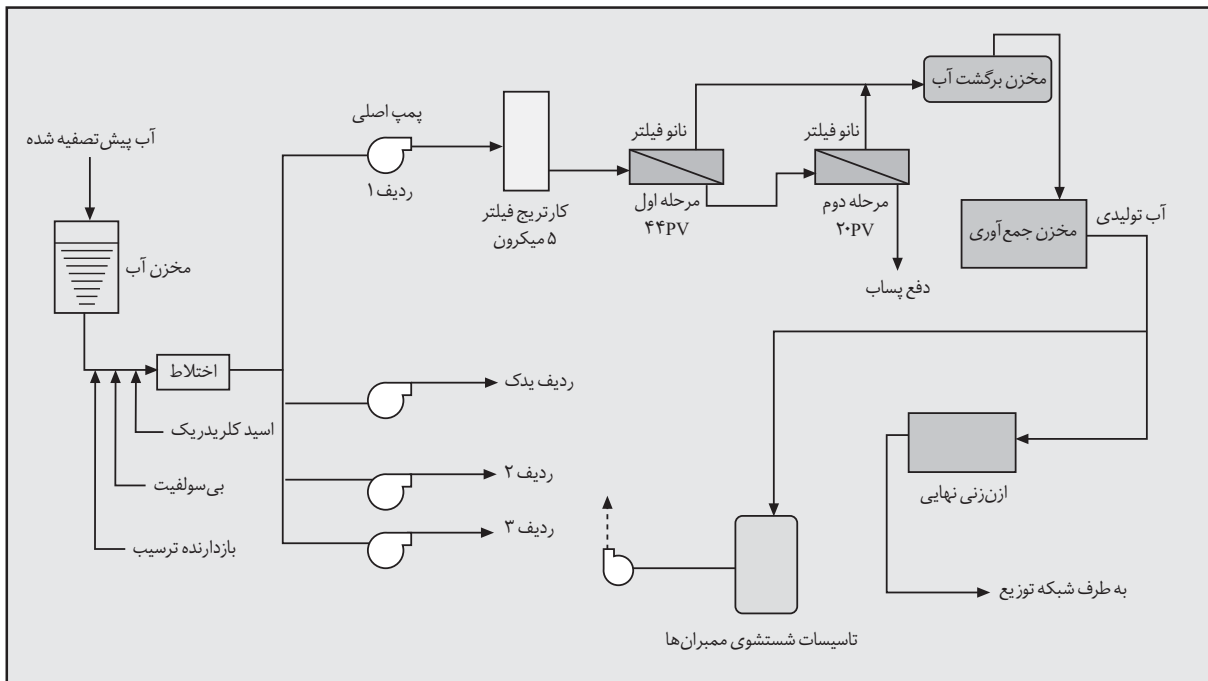
سختی‌گیری در دو مرحله انجام می‌گیرد زیرا برای حفظ سرعت آب روی المان عملکرد سختی زدایی در یک مرحله کافی نیست. با این روش بیشتر از ۹۰ درصد سختی آب زدایش می‌شود. به علاوه آب تولیدی دارای رنگ حدود ۵ واحد می‌باشد و زدایش کلرورها هم در حدود ۹۵ درصد است.

در مقایسه اقتصادی بین سختی‌گیری با آهک و سود و یا نانوفیلتر، هزینه روش اول کمتر از روش دوم در امریکا بوده است. اما با افزایش ظرفیت تولید واحدها هزینه‌ها کاهش پیدا می‌نماید. به هر حال در تاسیسات با ظرفیت تولید حدود ۵۰ هزار مترمکعب در روز هزینه بهره‌برداری و نگهداری سختی‌گیری با آهک و سود حدود ۱۵ درصد ارزان‌تر است ولی باید توجه داشت که کیفیت آب تولیدی نانوفیلترها بهتر است.

در طرحی دیگر در اسپانیا که منبع آب خام دریاچه پشت سد است و میزان سولفات‌ها، کلسیم، منیزیم و مجموع املاح آن بیشتر از حد استاندارد آب شرب می‌باشد تصفیه‌خانه‌ای با استفاده از نانوفیلتر و برای ظرفیت ۲۱ هزار مترمکعب در روز طراحی و اجرا گردیده است که آب خروجی نانو پس از اختلاط با آب پیش تصفیه، ظرفیت تولید



شکل شماره ۷-۱۴- دیاگرام فرایند سختی‌گیری با نانو فیلتر فشرده



جدول شماره ۷-۱۴- عملکرد تاسیسات نشان داده شده در شکل ۷-۱۴

ویژگی	آب خام (میلی‌گرم در لیتر)	آب تولیدی (میلی‌گرم در لیتر)	متوسط درصد زدایش
مجموع املاح محلول	۲۰۰۰-۲۲۰۰	۹۰-۱۲۸	۸۹
کلسیم	۲۷۸	۷/۴۵	۹۷
منیزیم	۱۱۱	۲/۴۹	۹۸
سدیم	۱۹۳	۳۶	۸۱
پتاسیم	۹/۴	۱/۹۹	۷۹
بی‌کربنات	۸۲/۹	۸/۷۴	۸۹
سولفات	۱۱۰۷	۲۱/۲	۹۸
کلرور	۲۵۲	۵۶/۵	۷۷
نیتрат	۴/۲	۲/۳	۴۵
سیلیس	۱/۷	۰/۸۱	۵۲

ترین، به فیلتر کارتریج و استوانه‌های فشار مرحله اول هدایت می‌شود و پساب مرحله اول وارد استوانه‌های فشار مرحله دوم می‌شود.

مطالعات امکان‌سنجی نشان داده بود که نانوفیلترها به دلیل نیاز کمتر به فشار هیدرولیکی و در نتیجه مصرف کمتر برق، آب مورد نظر را ارزان‌تر از ممبران‌های اسمز معکوس تولید می‌نمایند، زیرا آب در کلاس آب‌های لب‌شور بوده و فشار اسمزی کمتری نیاز دارد.

دمای آب در این طرح در حدود ۱۲ درجه سلسیوس و درصد بازیافت ۶۵-۷۰ و فشار هیدرولیکی در استوانه فشار ۸-۱۰ اتمسفر می‌باشد. کیفیت آب خام و آب تولیدی این تصفیه‌خانه در جدول شماره ۷-۱۴ نشان داده شده است.

در طرحی دیگر در انگلستان به دلیل وجود حشره‌کش‌ها و سختی در آب تصمیم گرفته شد که از نانوفیلتر شرکت داو استفاده شود. مطالعات اقتصادی بین نانوفیلتر و فرایندهای تبادل یونی به همراه کربن فعال نشان داد که سرمایه‌گذاری هر دو گزینه تقریباً یکسان



جدول شماره ۷-۱۵- عملکرد تاسیسات نشان داده شده برای شکل شماره ۷-۱۵

ویژگی	آب خام	آب تولیدی	درصد دفع
هدایت الکتریکی (میکروزیمنس در متر)	۶۲-۶۸	۴۰-۴۷	۳۰-۴۰
کلسیم برحسب کربنات کلسیم (میلی گرم در لیتر)	۲۹۰-۳۵۰	۱۵۰-۲۰۰	۴۰-۵۰
قلیائیت برحسب کربنات کلسیم (میلی گرم در لیتر)	۲۷۰-۳۳۰	۱۴۰-۱۹۰	۳۵-۵۰
پی اچ	۷-۷/۲	۶/۸-۷	

طرح از این دست به اختصار آورده می شود. ظرفیت تولید این تصفیه خانه در حدود ۱۴۰ هزار مترمکعب در روز می باشد که با آب تولیدی تصفیه خانه متعارف با ظرفیت حدود ۲۱۰ هزار مترمکعب در روز مخلوط می شود.

میزان تی او سی آب خام رودخانه در حدود ۱۰ میلی گرم در لیتر است و آب خروجی تصفیه خانه متعارف دارای تی او سی حدود ۱/۸ میلی گرم در لیتر است. برای از بین بردن این میزان مواد آلی نیاز به کاربرد کلر زیادی می باشد که پیامد آن تولید بو در آب خواهد بود و چون غلظت حشره کش ها در آب شرب باید خیلی کمتر از یک میلی گرم در لیتر باشد، استفاده از نانو فیلتر مورد مطالعه قرار گرفت. هدف از کاربرد

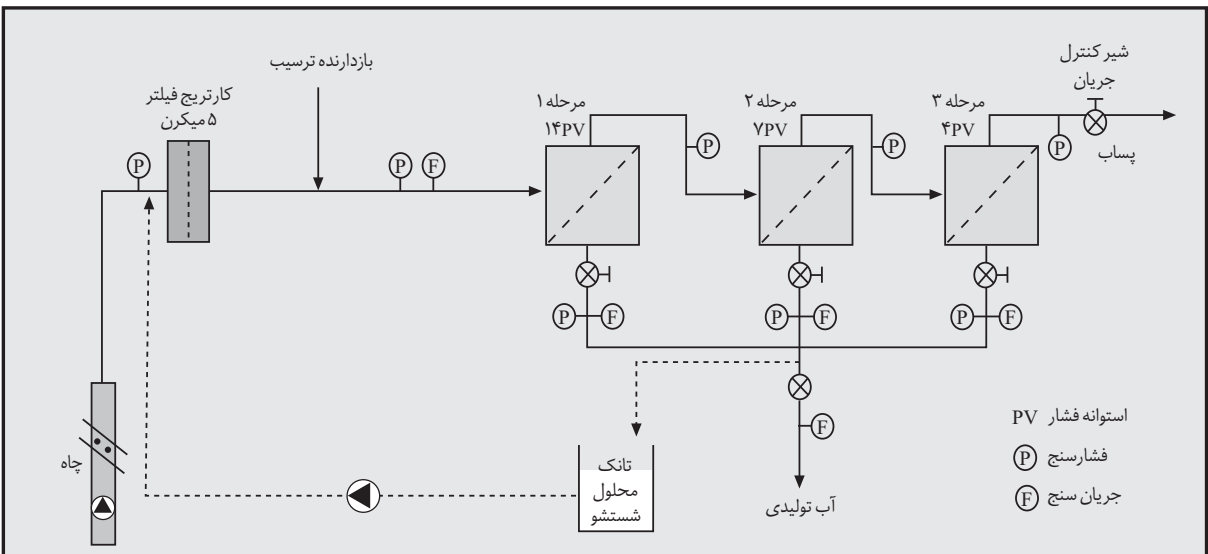
است اما هزینه های بهره برداری از تاسیسات نانو کمتر است به علاوه چون هدف زدایش کامل سختی نبود نانوفیلتر مطلوبتر عمل نموده و مناسب تر است.

میزان متوسط سختی برحسب کربنات کلسیم ۳۲۰

میلی گرم در لیتر و غلظت حشره کش ها هم کمتر از ۰/۳ میکروگرم در لیتر در آب خام است و اهداف تصفیه این است که سختی آب در محدوده ۱۵۰-۱۸۰ میلی گرم در

لیتر و غلظت حشره کش به ۰/۱ میکروگرم در لیتر کاهش پیدا نماید. همانطور که شکل شماره ۷-۱۵ نشان می دهد آب خام هیچ فرایند پیش تصفیه را نمی گذراند زیرا آب زیرزمینی است. تنها فرایند قبل از ردیف سه مرحله ای نانوفیلترها استفاده از فیلتر کارتریج ۵ میکرومتر است. تعداد استوانه های فشار در سه مرحله با ترتیب پساب ۱۴:۷:۴ با سطح کل المان های ۵۵۷۴ مترمربع بوده و درصد باز یافت هم ۸۵ است. متوسط فلاکس تاسیسات ۲۲/۴ لیتر در متر مربع در ساعت می باشد و نتایج کار هم در جدول شماره ۷-۱۵ نشان داده شده است. در کشور فرانسه برای زدایش مواد آلی و حشره کش ها برای تولید آب شرب از نانوفیلتر استفاده می شود. ویژگی های کلی یک

شکل شماره ۷-۱۵- دیاگرام فرایندهای کاربرد نانو فیلتر در انگلستان برای زدایش کلسیم و حشره کش



نانوفیلتر در این طرح زدایش سختی، مواد آلی و حشره کش ها می باشد که در جدول شماره ۷-۱۶ نشان داده شده است. تاسیسات نانوفیلتر در این تصفیه خانه شامل ۸ ردیف می باشد و در هر ردیف با جمع باز یافت ۸۵ درصد در سه مرحله انجام می گیرد. تعداد المان ها در این پروژه ۹۱۲۰ و فلاکس متوسط ۱۷/۲ لیتر در ساعت در مترمربع می باشد. تاسیسات پیش گفته بیشتر از ۵ سال بدون نیاز به تعویض ممبران ها کار تصفیه آب را انجام داده است. درصد زدایش حشره کش ها ۹۰ و هدایت الکتریکی آب تولیدی ۵۰ میکروزیمنس می باشد.

جدول شماره ۷-۱۶- ویژگی های تصفیه خانه مجهز به نانوفیلترها (فرانسه)

نام تصفیه خانه	مری سورویز ^۱
منبع آب	رودخانه اوز
ظرفیت (مترمکعب در روز)	۱۴۰،۰۰۰
فرایندهای پیش تصفیه	تصفیه متعارف ازن زنی و کارتریج فیلترها قبل از نانوفیلترها
ترکیب های شیمیایی	بازدارنده ترسیب - اسید
تعداد ردیف	۸
تعداد مراحل	۳
تعداد المان ها در هر استوانه فشار	۶
فلاکس متوسط (لیتر در مترمربع در ساعت)	۱۷/۲
آرایش	۱۰۸:۵۴:۲۸
فشار آب خام - اتمسفر	۱۰
باز یافت - درصد	۸۵
نوع المان	NF۲۰۰B - ۴۰۰
سختی آب خام میلی گرم در لیتر	۳۰۰
تی اوسی آب تولیدی (میلی گرم در لیتر)	۰/۶۷

۷-۱۰-۲- بهره برداری از نانوفیلترها

در بهره برداری از نانوفیلترها چند نکته باید مورد توجه قرار گیرد که عبارتند از:

- هر چه اندازه روزنه های کارتریج فیلتر واحدهای پیش تصفیه ریزتر باشد فاصله زمانی بین دو شستشوی ممبران بیشتر و نرخ تشکیل بیوفیلم کمتر خواهد بود و چون ذرات حدود ۰/۱ - ۲ میکرومتر در تولید بیوفیلم نقش دارند و از طرفی نانوفیلترها ذرات بزرگ تر از نانومتر را زدایش می نماید انتخاب کارتریج فیلتر نیاز به توجهات بیشتری دارد.
- استفاده از میکروفیلتر به عنوان واحد پیش تصفیه نانوفیلترها صرف نظر از هزینه های آن انتخاب خوبی است و لذا این گزینه باید در مرحله امکان سنجی مورد مطالعه قرار گیرد.
- انتخاب ممبران مقاوم به اکسید کننده ها و در نتیجه امکان حفظ کلر در آب ورودی به ممبران ها می تواند مانع تشکیل بیوفیلم گردد لذا این گزینه باید مورد مطالعه و مقایسه اقتصادی قرار گیرد. طبعاً در مقابل آن فشار هیدرولیکی لازم و هزینه مصرف انرژی مطرح است که باید در محاسبات لحاظ گردد.
- چون در استفاده از نانوفیلترها مانند ممبران های اسمز معکوس جریان آب همیشه به صورت موازی است گردش دوباره آب و استقرار بر مبنای آب تولیدی و یا بر مبنای پساب مانند تاسیسات اسمز معکوس است. بنابراین اگر استقرار بر مبنای پساب قرار گیرد (شکل شماره ۷-۱۵) با توجه به تغییر کیفیت آب به علت افزایش غلظت نمک های محلول، کاربرد بازدارنده ها نیاز به مطالعه دارد. در جدول شماره ۷-۱۷ چند ممبران نانو و عملکرد آنها نشان داده شده است.



جدول شماره ۷-۱۷ - عملکرد چند نوع ممبران یا ویژگی نانو فیلترها

ویژگی المان	Hydracore	ESNA-LF	SU620F	NF-90	NF-270
اندازه هر برگ* طول (متر)	۱	۱	۱	۱	۱
عرض (متر)	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲
سطح مفید ممبران (متر مربع)	۳۶/۸	۳۶/۸	۳۶/۸	۳۶/۸	۳۵
میزان تولید (متر مکعب در روز)	۳۱	۲۹/۵	۲۲	۳۸/۸	۴۷/۳
دفع نمک (درصد با شاخص سولفات سدیم)	۵۰	۸۰	۵۵	۹۷	۹۷
فشار هیدرولیکی آزمایش (اتمسفر)	۵/۲	۵/۲	۳/۴	۴/۸	۴/۸
املاح آب در آزمایش - کلور سدیم (میلی گرم در لیتر)	۵۰۰	۵۰۰	۵۰۰	۲۰۰۰ (سولفات سدیم)	۲۰۰۰ (سولفات سدیم)
باز یافت (درصد)	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵	۱۵
فلاکس در زمان عملیات (لیتر در متر مربع در ساعت)	۳۴/۹	۳۳/۲	۲۴/۷	۴۲/۵	۵۵/۹
فلاکس ویژه (لیتر در ساعت در متر مربع برای فشار یک اتمسفر)	۷/۶	۷/۳	۸/۶	۱۱/۹	۱۵/۸

*. تعدادی از آنها به دور یک لوله مشبک پیچیده می شوند که یک المان نامیده می شود و آب خالص پس از عبور از ممبران به لوله مشبک مرکزی هدایت می شود.

۷-۱۰-۳ - ساختار نانو فیلترها

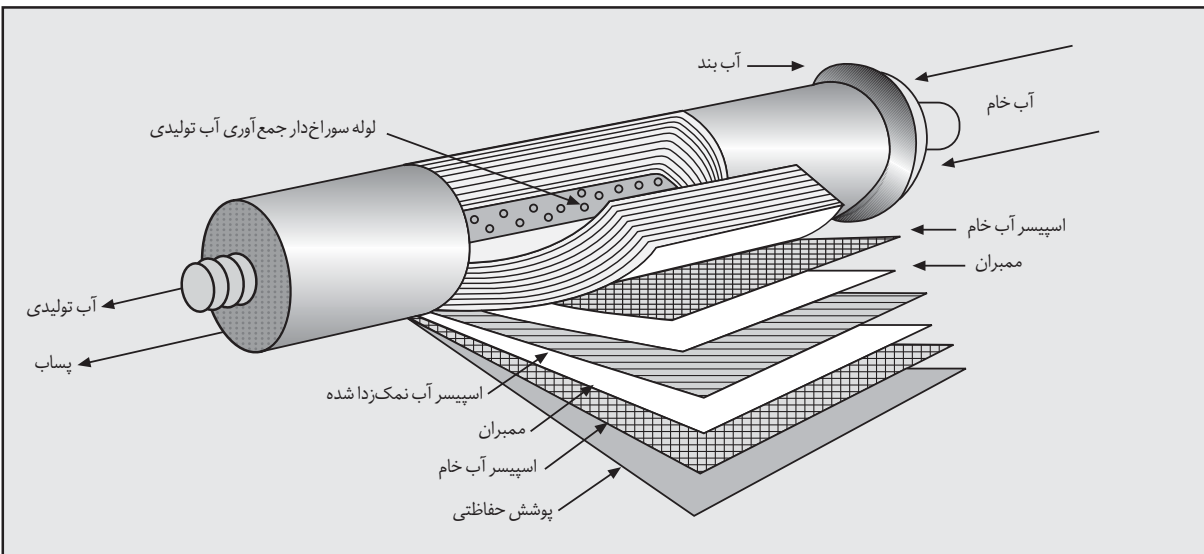
نانوفیلترها بیشتر به شکل صفحات پیچیده^۱ ساخته می شوند که می توانند دارای عملکرد مطلوبی باشند. هر المان آن شامل تعدادی برگ^۲ است که از نظر اندازه دارای تنوع زیادی است. مانند ممبران اسمز معکوس هر دو صفحه که در بین آنها یک اسپیسر قرار دارد روی هم منظم شده و از سه طرف با چسب مخصوص چسبانده می شود و طرف چهارم به لوله مشبک جمع آوری آب تولیدی متصل می شود. حال یک صفحه مشبک دیگر که اسپیسر آب خام نامیده می شود روی آن قرار گرفته و به دور لوله جمع آوری پیچیده می شود. آب با فشار پمپ مناسب از روی سطح خارجی و از طریق اسپیسر آب خام عبور کرده و فشار هیدرولیکی باعث عبور آب خالص از ممبران می شود. اسپیسر بین دو ممبران هم شرایط عبور آب نمک زدا شده را به طرف

لوله جمع آوری فراهم می آورد. برای افزایش تولید و بدون افزایش طول جریان آب، چندین برگ روی هم قرار می گیرند و در نتیجه سطح ممبران افزایش می یابد. هر مجموعه یک المان نامیده می شود و ۵-۸ عدد آن به صورت سری در یک استوانه فشار قرار می گیرند. در جدول شماره ۷-۱۷ و شکل شماره ۷-۱۶ این وضعیت نشان داده شده است.

در جدول پیش گفته نام و ویژگی های ممبران چند سازنده به عنوان نمونه آورده شده است و لذا تهیه آن توجهات زیادی می طلبد. فاصله بین المان ها و سطح داخلی دیواره استوانه فشار از عوامل مشکل آفرین بهره برداری است و در انواعی با انبساط المان، آب بند می شود. نوع جریان آب آشفته بوده و برای محاسبه و تعیین سرعت جریان آب لازم است سطح مقطع عبور آب محاسبه شود.



شکل شماره ۷-۱۶ - صفحات پیچیده ممبران های نانو و اسمز معکوس



ترکیبی^۲ می توان استفاده نمود. با توجه به ضخامت اسپیسر آب خام ممبران، باید فرایندهای پیش تصفیه طوری انتخاب شود که ذرات معلق آب خام هدایت شده به استوانه فشار کوچک تر از فضای عبور آب خام باشد.

به طور کلی اندازه ذرات باقیمانده باید ۱/۰ ضخامت کانال آب خام صفحات پیچیده که همان اسپیسر خارجی است باشد. در انواعی نصب اسپیسر ضرورت ندارد که ترجیح داده می شود. لذا برای آب های با کدورت کم مناسب است و یا پیش تصفیه مطلوب ضرورت پیدا می نماید.

برای اسپیسرهای ۳۰ میل^۳ که حدود ۰/۷۶ میلیتر است اندازه روزنه های پیش فیلتر باید ۰/۰۰۵-۰/۰۲۵ میلیتر باشد. برای اسپیسرهای ۴۵ میل یا ۱/۱ میلیتر، اندازه روزنه های پیش فیلتر ۰/۰۲۵-۰/۰۵ میلیتر (۲۵-۵۰ میکرون) است و برای اسپیسرهای ۱۲۰ میل یا ۳ میلیتر، اندازه روزنه های پیش فیلتر می تواند بزرگ تر

اگر طول و عرض کانال جریان آب $a \times b$ فرض شود a عبارت است از عرض برگ و b ضخامت اسپیسر بیرونی. سرعت جریان آب خام در محدوده ۱۰-۶۰ سانتیمتر در ثانیه می باشد و در نتیجه عدد رینولدز ۱۰۰-۱۳۰۰ خواهد بود که نوع جریان را آرام نشان می دهد اما اسپیسر باعث می شود که جریان آشفته شود.

با توجه به اینکه $\Delta P = Q^n$ می توان وضعیت جریان را تعریف نمود. n برای جریان آرام معادل یک و برای جریان آشفته ۱/۵ - ۱/۹ می باشد. افت فشار به دلیل وجود اسپیسر زیاد است و یکی از ویژگی های المان ها می باشد که سازنده باید اعلام نماید. فشار هیدرولیکی ممکن است باعث جابجایی المان ها شود که با ابزاری به نام بازدارنده لغزش^۱ مانع آن می شوند که در انواع مختلف ساخته شده است.

حضور جامدات معلق ۲۰۰ میکرون و بزرگ تر در آب خام اولین محدودیت کیفیت آب در انتخاب صفحات پیچیده است و با پیش بینی نوعی کارتریج فیلتر این محدودیت قابل حل است و از اصول فرایندهای



از ۵۰ میکرون باشد. این محدودیت‌ها باید در کاتالوگ سازنده ممبران آورده شده باشد.

شرکت‌های مختلفی انواع ممبران‌ها را با ویژگی‌های مختلف می‌سازند که در آن میان می‌توان به شرکت‌هایی مانند آمیکون، شرکت شیمیایی داو، دی اس آی، هوخست، هیدرونتیک، کوچ، میلی‌پور و اسمونیکر اشاره نمود.

محصول هریک از آنها با نام تجارتی ویژه‌ای شناخته می‌شود و نام پلیمر مورد استفاده برای ساخت، اندازه روزه‌ها بر حسب وزن مولکولی مورد دفع، فشار کار و دمای آب مناسب، اعلام شده است. بنابراین با مراجعه به کاتالوگ سازندگان مختلف و با توجه به ویژگی‌ها همراه با محدودیت‌ها، می‌توان انتخاب را انجام داد. در انتخاب ممبران، دانستن حساسیت پلیمر به اکسیدکننده‌هایی مانند کلر، سطح مفید هر المان و حداکثر مجاز فلاکس، آبدوستی و آبگریزی و اندازه اسمی ممبران از نظر روزه از اهم توجهات می‌باشد.

۷-۱۰-۴- دفع پساب

پساب تاسیسات استفاده از نانوفیلتر مانند اسمز معکوس حاوی نمک‌های دفع شده است که در صورت بی‌توجهی به محیط زیست آسیب می‌رساند. به علاوه در بهره‌برداری و نگهداری از تاسیسات، فاضلاب‌های دیگری تولید می‌شود که دفع آنها توجه می‌طلبد. هزینه‌های دفع پساب می‌تواند روی تصمیم‌گیری در خصوص طرح‌ها اثرات قابل توجهی داشته باشد، بنابراین بخش اجتناب ناپذیر مطالعات مرحله اول یا امکان‌سنجی است. اهمیت دفع پساب با معادله اولیه زیر نشان داده می‌شود:

$$C_f = \left(\frac{1}{1-y} \right)$$

که y میزان باز یافت به صورت اعشار در معادله قرار می‌گیرد.

چنانکه اگر درصد باز یافت ۸۵ انتخاب شود، غلظت هر آلاینده

دفع شده در پساب حدود ۶/۶ برابر آب خام می‌شود. هر چه ضریب باز یافت بیشتر شود در حالیکه حجم پساب کاهش پیدا می‌نماید غلظت املاح آن افزایش می‌یابد. روش‌های دفع پساب در گزینه‌های زیر خلاصه می‌شود:

- تخلیه به منابع آب‌های سطحی چون دریا، دریاچه، رودخانه به ویژه تخلیه به منابع آب شور موجود؛
- تخلیه به شبکه جمع‌آوری فاضلاب، در صورتیکه مسئولین شبکه جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب چنین مجوزی را صادر کنند؛
- تخلیه به لایه‌های زیر زمین و یا استفاده در کشاورزی با موافقت سازمان حفاظت محیط زیست منطقه؛
- گزینه‌های استفاده دوباره؛
- تخلیه به برکه‌های تبخیر در صورت وجود زمین کافی و توجهات محیط زیستی؛
- دفع خشک^۱.

آنچه مسلم است مشکلات تصفیه و دفع پساب تصفیه‌خانه‌های نانوفیلترها معمولاً به دلیل دور بودن از پذیرنده‌های بزرگ آب شور هنوز نیاز به بررسی و تحقیق دارد. در انتخاب روش دفع پساب‌ها با توجه به ویژگی‌های پساب، معیارهای اقتصادی که همان هزینه‌های تصفیه و دفع می‌باشد، همراه با نگرانی‌های محیط‌زیستی مانند اثر دما، شوری و بالاخره معیارهای قانونی باید انتخاب شود که به طور کلی در فصل چهارم مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به اهمیت مطلب، پتانسیل‌های استفاده از پساب را می‌توان به شرح زیر خلاصه نمود:

- استفاده در صنعت استخراج نفت؛
- تولید آب از طریق برکه‌های انرژی خورشیدی؛
- پرورش آبزیان؛
- توسعه و حفظ تالاب‌ها؛
- تولید هیپو کلریت؛



شکل شماره ۷-۱۷- استوانه‌های فشار در تاسیسات نانوفیلتر



- شستشوی هوای محیط‌های صنعتی؛
 - کنترل گرد و غبار؛
 - استخراج نمک‌های ویژه؛
 - تولید محصولات گیاهی مانند نوعی جلبک خوراکی و یا دامی.
- با توجه به رشد صنایع نمک‌زدایی از آب‌های شور و لب‌شور برای توسعه کشور استفاده از پساب‌ها هم باید مورد توجه قرار گیرد و نباید نگران دفع آنها بود، بلکه لازم است روش‌های استفاده از آن را مورد مطالعه قرار داد. در خاتمه

این فصل و در شکل شماره ۷-۱۷ استوانه‌های فشار در تاسیسات نانوفیلتر نشان داده شده است.

تاسیسات اصلی

بخش‌های اساسی تاسیسات نانوفیلترها به شرح زیر است:

- تاسیسات آبگیری؛
- واحدهای پیش تصفیه؛
- واحدهای تزریق اسید، بازدارنده ترسیب و خنثی نمودن کلر؛
- واحدهای نانو؛
- تاسیسات شستشو با اسید، قلیا و آب شویی؛
- واحد اصلاح آب تولیدی؛
- دفع پساب.

چون تاسیسات نانوفیلتر برای نمک‌زدایی از آب دریا کاربرد ندارد و معمولاً از منابع آب زیرزمینی لب‌شور و یا آب‌های دارای سختی، رنگ و مواد آلی استفاده می‌شود آبگیر برای این تاسیسات عبارت است از چاه‌های حفاری شده و یا آبگیری از رودخانه‌ها و دریاچه‌ها که به آنها پرداخته نمی‌شود.

با تعیین میزان آب مورد نیاز که آب تولیدی است و انتخاب درصد باز یافت، ظرفیت نانوفیلترها تعریف می‌گردد. البته لازم است مخاطرات افزایش نمک در آب استوانه‌های فشار و پساب نیز مد نظر قرار گیرد. سپس با مراجعه به کاتالوگ سازنده، فلاکس ممبران و سطح مفید هر المان مورد نظر انتخاب و در نتیجه سطح کل ممبران‌ها و تعداد آنها تعریف می‌شود. با انتخاب ۶ و یا ۷ المان در هر استوانه فشار تعداد استوانه‌های فشار تعریف می‌شود. پس از آن ظرفیت پمپاژ به استوانه‌های فشار و تعداد پمپ‌های موازی در کار تعریف می‌شود^۱. پس از رسم دیاگرام تاسیسات اصلی و پکیج‌های تزریق ترکیب‌های شیمیایی، لازم است ظرفیت‌های آنها و ابزار دقیق لازم و محل شیرهای نمونه‌برداری روی دیاگرام نشان داده شود. دماسنج، فشارسنج، کلرسنج و هدایت الکتریکی سنج از ابزار دقیق لازم می‌باشد و نتایج باید به پی‌ال‌سی منتقل شود تا مورد استفاده قرار گیرد.

بنابراین تاسیسات اصلی عبارتند از:

- تاسیسات پیش تصفیه که برای نانو و آب خام زیرزمینی خیلی ساده می‌باشد؛
- پمپ اولیه قبل از فیلتر گرانول کربن فعال؛

۱. برای اطلاعات بیشتر و طراحی‌ها به فصل ششم کتاب نمک‌زدایی از آب‌های شور و لب‌شور از انتشارات شرکت نارون آرا مراجعه شود.



- استوانه‌های فشار و قفسه‌های استقرار؛
- لوله‌کشی‌ها و شیر گذاری‌ها؛
- پکیج اسید زنی؛
- پکیج تزریق بازدارنده ترسیب؛
- پکیج شستشو با محلول‌های مشخص؛
- کارهای برقی؛
- کارهای ابزار دقیق؛
- پی‌ال‌سی.

برای هریک از ردیف‌های پیش گفته لازم است مقادیر کار، مشخصات فنی، استانداردهای ساخت و روش کنترل کار تعریف شود و کلیه این موارد از سازندگان و فروشندگانی که در لیست مجاز^۱ قرار دارند تهیه گردد. با توجه به وجود آب‌های سخت و ضرورت استفاده از آنها در صنایع و همچنین آلودگی منابع آب خام مصرف‌های شرب به مواد

آلی طبیعی، حشره‌کش‌ها و رنگ‌ها تردیدی نیست که در آینده از این ممبران‌ها برای تصفیه بیشتر استفاده خواهد شد و فصل هفتم در حد معرفی این سه نوع فیلتر ممبرانی تدوین گردیده است. در پایان فصل هفتم لازم به یادآوری است که شرکت‌های سازنده ممبران‌ها همیشه از گروه‌بندی نشان داده شده در شکل شماره ۷-۱ پیروی نمی‌کنند.

چنانکه جدول شماره ۷-۱۰ ویژگی‌های اولترافیلترهای شرکت پی‌سی‌آی را نشان می‌دهد که برخی از آنها دارای ام دیلیو سی او کمتر از ۲۰ هزار است بدین معنی که دارای روزه‌هایی کوچک‌تر از یک نانومی باشند. همین اصل در جدول شماره ۷-۹ هم قابل مشاهده است. بنابراین در مراجعه به کاتالوگ سازندگان تنها به نام عمومی فیلتر نباید توجه داشت بلکه ام دیلیو سی او و اندازه نامی روزه‌ها مهم‌تر می‌باشد که در متون فصل اشاره شده است.

۸-۱- نگاه کلی

در ابتدا باید یادآوری شود که در فصل هشتم بحث در بستر فرایند میکروبخشی و اکسیداسیون آب می‌باشد و از فناوری‌ها، صنایع و مقررات انواع ترکیب‌ها گفتگو نمی‌شود، زیرا در مواردی مانند استفاده از کلر و مشتقات آن چندین مجلد کتاب و آیین‌نامه تدوین گردیده که برای اطلاعات بیشتر باید به آنها مراجعه شود و در مورد ازن و پرتو فرابنفش هنوز مقررات و آیین‌نامه‌های لازم تدوین نگردیده است.

در صنعت تصفیه آب برای مصرف‌های شرب، آب خروجی از فرایندهای فیلتراسیون به کمک یک ترکیب شیمیایی و یا عامل فیزیکی برای از بین بردن بیماریزاهای احتمالی باقیمانده و حفظ اثر ابقایی آن در شبکه توزیع مورد میکروبخشی قرار می‌گیرد که به نام گندزدایی^۲ معروف است. به هر حال در حدود سال‌های ۱۸۴۵ میلادی دکتر جان اسنو^۳ در لندن ارتباط بین اپیدمی وبا و آلودگی آب چاه را نشان داد و در حدود ۲۰ سال بعد پاستور در پاریس آب را به عنوان ناقل



بیماریزاها مورد اشاره قرار داد. در حدود سال‌های ۱۹۳۰ لیست بیماری‌های عفونی منتقله بوسیله آب تدوین گردید که عبارتند از وبا، حصبه، شبه حصبه، هپاتیت، فلج اطفال، کوکساکسی، اسهال ویروسی، بیماری‌های ویروسی دستگاه گوارش و آمیب اسهال خونی که از عوامل انگل‌های روده‌ای می‌باشد. آلاینده‌های شیمیایی مولد بیماری در سیستم اعصاب، کبد، کلیه‌ها، طحال، گردش خون و غدد مترشحه داخلی بدن نیز امروز در لیست بیماری‌های مرتبط با آب قرار دارد که در استانداردهای آب شرب ملحوظ گردیده‌اند.

در صورتیکه فاضلاب‌های شهری، صنعتی و کشاورزی جمع‌آوری و تصفیه نشوند و به منابع آب برسند باعث آلودگی آنها به بیماریزاهای پیش گفته می‌شوند. برای تولید آب شرب از طریق تصفیه‌این آب‌ها موانع زیادی وجود دارد که مهمترین آن هزینه‌های تصفیه می‌باشد. به طوری که می‌توان گفت پیشگیری از آلودگی منابع

1. Disinfection

۲. کاربرد کلمه گندزدایی نه فقط مفهوم فرایند را نمی‌رساند بلکه اعلام حضور نوعی آلودگی نامطلوب را نشان می‌دهد. فرایند مورد نظر کشتن و غیر فعال سازی

3. John Snow

بیماریزاهای باقیمانده می‌باشد لذا کلمه میکروبخشی در این کتاب به کار می‌رود.



گر چه باید توجه داشت که در آب‌های با آلودگی میکروبی بیشتر، درصد زدایش باید افزایش یابد. زدایش فیزیکی بیماریزاها توسط فرایند فیلتراسیون در فصل‌های پنجم تا هفتم مورد بحث قرار گرفت و مشاهده گردید که در فرایند دلمه‌سازی، ذره‌سازی و زلال‌سازی با عملکرد مطلوب، درصد زدایش عوامل بیماریزا مانند ویروس‌ها از آب حداقل حدود ۹۹ می‌باشد و دمای آب در این عملکرد تاثیر قابل ملاحظه‌ای ندارد. در فرایند فیلتراسیون هم اگر همراه با ذره‌سازی توسط دلمه‌ساز باشد تا سقف ۹۸ درصد زدایش ویروس‌ها ممکن است. لذا در تصفیه متعارف با عملکرد مطلوب، زدایش ویروس‌ها تا سقف ۶ لاگ قابل انتظار است. چنانکه برای ویروس پولیو گونه یک^۴ با استفاده از فیلترهای دولایه و با بار هیدرولیکی تا سقف ۱۶ متر در ساعت و با افزودن دلمه‌ساز آلومینیوم در بالادست فیلتر، زدایش ۹۹ درصد به اثبات رسیده است. اما چون این زدایش هیچگاه به سقف ۱۰۰ درصد نمی‌رسد میکروبخشی آب فیلتر شده برای نابودی بیماریزاهای باقیمانده ضرورت دارد. هر چه مواد آلی آب بیشتر باشد عملکرد زدایش ویروس‌ها در این فرایند کمتر است. زدایش ویروس‌ها در پی‌اچ‌های بالای آب بهتر انجام می‌گیرد.

هر چه کدورت آب کمتر باشد عملکرد کلر مطلوب‌تر است. در مورد عملکرد فیلتر و رابطه بین کدورت و حضور بیماریزاها در فصل‌های پنجم، ششم و هفتم صحبت شده است. در صورتیکه در تصفیه‌خانه حوضچه‌تماس کلر پیش‌بینی شده باشد و در ورودی آب به آن کلر زده شود با اندازه‌گیری و تعیین کلر باقیمانده در خروجی و ضرب آن در زمان ماند آب در حوضچه بر حسب دقیقه ارزش عددی سی‌تی قابل محاسبه می‌باشد که در صورت وجود آیین نامه‌های مصوب می‌توان نتایج را ارزیابی نمود. در تاسیساتی که بیشتر از یک بار به آب کلر افزوده می‌شود نیز می‌توان ضریب سی‌تی را بین دفعات کلرزنی محاسبه نمود. در این مورد توصیه‌هایی هم وجود دارد. به هر

آب ارزان‌تر و منطقی‌تر از تصفیه آنها برای مصرف‌های مختلف است و به همین جهت تصفیه فاضلاب‌ها قبل از تخلیه به محیط باید طبق قانون الزامی گردد که در فصل اول به آن پرداخته شده است. همانطور که گفته شد هدف از کاربرد کلر و یا هر میکروبخش دیگر نابودی و غیر فعال سازی بیماریزاهای تک سلولی، پروتوزوآها و ویروس‌های باقیمانده در آب پس از اعمال فرایندهای تصفیه است و اصطلاح کلرزنی پس از تصفیه^۱ بکار می‌رود و چون باکتری‌های ای‌کلای^۲ در مقابل اثر کلر و عوامل محیط زیست مقاومت بیشتری دارند و در روده حیوانات خونگرم فراوان و تعیین تعداد تقریبی آن در آب با سرعت بیشتری قابل انجام است، به عنوان شاخص آلودگی آب شناخته شده است. عملکرد میکروبخش در نابودی و غیر فعال سازی بیماریزاها بستگی به عوامل زیر دارد:

- غلظت میکروبخش؛
- مدت تماس میکروبخش با میکروب؛
- دما و پی‌اچ آب؛
- کیفیت آب از نظر وجود کدورت و مواد آلی.

معیار اثر عملکرد میکروبخش با سی‌تی^۳ بیان می‌شود که عبارت است از حاصل ضرب غلظت باقیمانده میکروبخش در زمان تماس. زمان تماس نیز عبارت است از فاصله زمانی تزریق میکروبخش و لحظه اندازه‌گیری باقیمانده آن. غلظت میکروبخش بر حسب میلی‌گرم در لیتر و زمان تماس بر حسب دقیقه در معادله وارد می‌شود و در نتیجه سی‌تی بر حسب میلی‌گرم در لیتر در دقیقه بیان می‌شود. این ارقام بیانگر زدایش بیماریزاها در حد مطلوب می‌باشد. در فرایندهای تصفیه آب و فرایند میکروبخشی پس از آن، لازم است شرایط زیر به دست آید:

- ۹۹/۹۰ درصد زدایش و یا غیرفعال سازی کیست‌های ژیا‌ردیا؛
- ۹۹/۹۰ درصد زدایش و یا غیر فعال‌سازی ویروس‌ها.



حال در صورتیکه آب شبکه توزیع به بیماریزا آلوده شود، اپیدمی بروز می‌نماید که ویژگی‌های اپیدمی‌های منتقله بوسیله آب شبکه توزیع عبارتند از:

- پراکندگی موارد بروز بیماری با نحوه توزیع آب شبکه مشابهت دارد، یعنی هر جا که آب آلوده از طریق شبکه توزیع پخش گردیده بیماری حضور دارد؛
- در بین بیماران اختلاف جنسی، سنی و فرهنگی دیده نمی‌شود. هر کس که از آب استفاده نموده در معرض خطر بیماری قرار گرفته است؛
- معمولاً مشکلات عمومی دستگاه گوارش چند روز قبل از بروز بیماری که حدود دوره کمون آن است در بین مصرف کنندگان آب آلوده مشاهده شده است که اگر این پایش به موقع انجام گیرد می‌توان موارد بیماری را به طور چشمگیری کاهش داد.

مهندسان دست اندرکار توزیع آب شرب عموم باید نسبت به بیماری‌های منتقله بوسیله آب آگاهی و حساسیت داشته و بروز آنها را زیر نظر بگیرند و به کمک نقشه شبکه توزیع آب این موارد را روی نقشه نشان داده و مطالعات اپیدمیولوژیکی آن را پیگیری نمایند. در اینجا لازم به یاد آوری است که با روند نصب تاسیسات تصفیه آب در محل مصرف، مانند منازل و استفاده از آب‌های بسته بندی و استفاده نمودن مستقیم از آب شبکه برای مصارف شرب و مصارف مشابه دیگر، سیمای بروز اپیدمی‌های ناشی از آب در بسیاری از اجتماعات دچار تغییر می‌شود. مطلب دوم هم بیماری‌های مزمن ناشی از حضور آلاینده‌های شیمیایی است که به دلایلی روی آن گزارشی مستند تهیه نشده است.

لازم به یادآوری است که کاربرد هر ترکیب اکسید کننده به عنوان میکروبخش در آب باعث تولید محصولات جانبی هم می‌شود

که از مهمترین آنها به ویژه در استفاده از کلر، تری‌هالومتان‌ها هستند که طبق مقررات امریکا حداکثر غلظت آن در آب شرب نباید بیشتر از ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر باشد.

- در بعضی موارد صحبت فرایند اکسیداسیون^۱ می‌شود. استفاده از فرایند اکسیداسیون در تصفیه آب برای اهداف زیر می‌باشد:
- زدایش آهن و منگنز؛
- زدایش سولفید هیدروژن؛
- زدایش رنگ آب؛
- زدایش طعم و بوی آب؛
- زدایش ترکیب‌های آلی انسان ساخت مانند حشره‌کش‌ها.

در این فرایند الکترون‌ها بین ترکیب‌ها مبادله می‌شوند و لذا ترکیبی اکسید و ترکیبی احیا می‌شود. اکسیدکننده‌های مورد مصرف در صنعت تصفیه آب عبارتند از کلر، دی‌اکسید کلر، پرمنگنات، اکسیژن و ازن. انتخاب اکسید کننده مناسب بستگی به کاربرد و کیفیت آب، آلاینده مورد زدایش و هزینه‌های آن دارد. در مورد زدایش آهن، منگنز، طعم و بوی آب در فصل سوم به آن پرداخته شده است. لذا ابتدا مقوله کلر مورد بحث قرار می‌گیرد که در صنعت تصفیه آب و فاضلاب کاربرد فراوان دارد. گرچه در صنعت تصفیه فاضلاب پرتو فرابنفش و آب اکسیژنه کم‌کم مورد توجه قرار می‌گیرند. در جدول شماره ۸-۱ پتانسیل اکسیداسیون چند میکروبخش نشان داده شده است.

۸-۲- کلرزنی

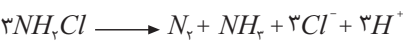
اگر میزانی کلر خالص به آب کاملاً خالص افزوده شود میزان کلر آزاد آب مساوی میزان کلر افزوده می‌باشد. اما اگر در آب آلاینده‌هایی وجود داشته باشد کلر با آنها ترکیب شیمیایی شده و با گذشت زمان میزان آن در آب کاهش می‌یابد. آلاینده‌های آب عبارتند از مواد آلی، میکروب‌ها و ترکیب‌های معدنی که می‌توانند اکسیده شوند.

جدول شماره ۸-۱- پتانسیل اکسیداسیون میکروبخش‌های مختلف

میکروبخش	واکنش شیمیایی	پتانسیل اکسیداسیون (EV)
رادیکال هیدروکسید	OH	۲/۸
ازن	$O_3 + 2H^+ + 2e^- \rightarrow O_2 + H_2O$	۲/۰۸
پرمنگنات	$MnO_4^- + 4H^+ + 3e^- \rightarrow MnO_2 + 2H_2O$	۱/۶۷
اسید هیپوکلرو	$HOCl + H^+ + 2e^- \rightarrow Cl^- + H_2O$	۱/۴۹
دی اکسید کلر	$ClO_2 + e^- \rightarrow ClO_2^-$	۱/۲۷
گاز کلر	$Cl_2 + 2e^- \rightarrow 2Cl^-$	۱/۳۶

کلر مورد مصرف توسط ترکیب‌های بالا به نام کلر مورد نیاز آب شناخته می‌شود. اما زمانی که کلر با آمونیاک ترکیب شود کلرو آمین‌ها را بوجود می‌آورد. کلرو آمین‌ها که به نام کلر مرکب باقیمانده شناخته می‌شوند نیز قدرت میکروبخشی دارند. واکنش‌های کلر و آمونیاک تحت تاثیر پی‌اچ، دما و نحوه اختلاط با آب قرار دارد. به علاوه تناسب کلر به آمونیاک هم روی واکنش دخالت دارد. اگر تناسب کلر به آمونیاک کمتر از ۴ باشد منوکلرو آمین^۱ بیشتر تولید می‌شود و هر چه بیشتر کلر افزوده شود دی کلرو آمین^۲ و تری کلرو آمین^۳ تشکیل می‌شود. توجه شود که باید تناسب کلر به آمونیاک بین ۴-۸ قرار نگیرد زیرا در این شرایط دی کلرو آمین تولید می‌شود که گر چه دارای قدرت گندزدایی است اما باعث تولید طعم و بو در آب می‌شود. در این محدوده گاز نیتروژن هم تولید می‌شود. نقطه حداقل در منحنی کلر باقیمانده در تناسب کلر به آمونیاک در شکل شماره ۸-۱ رقم ۸ را نشان می‌دهد و نقطه شکست نامیده می‌شود. با افزایش تناسب بالا کلر آزاد باقیمانده افزایش پیدا می‌نماید. برای رسیدن به نقطه شکست میزان کلر لازم حدود ۹-۱۰ میلی گرم برای هر گرم آمونیاک است که در صنعت تصفیه و تولید آب شرب همگانی کاربرد ندارد.

کلر مرکب در سال ۱۹۱۶ برای اولین بار در کانادا مورد استفاده قرار گرفت و توانست مشکل تولید طعم و بوی آب ناشی از کاربرد کلر آزاد را برطرف نماید و چون ثابت شد که کاربرد کلر مرکب باعث تشکیل محصولات جانبی کلرزنی هم نمی‌شود، استفاده از آن مورد توجه بیشتر قرار گرفت. به هر حال کاربرد کلر مرکب مشکلات خود را دارد زیرا اثر آن خیلی کمتر از کلر آزاد است و نیتروژن آزاد شده در فرایند، منبع غذایی گروهی از باکتری‌ها قرار می‌گیرد. به هر حال کاربرد کلر مرکب به عنوان میکروبخش با رعایت سی تی آن مجاز و مورد استفاده است. عملیات کلرزنی دوباره در لوله‌های طولانی انتقال و شبکه‌های توزیع آب روشی مقبول است و حداکثر غلظت مجاز آن هم ۳ میلی گرم در لیتر است. منوکلرو آمین دارای خاصیت ابقایی مطلوبی در شبکه توزیع آب است اما در حضور ترکیب‌هایی واکنش نشان داده و در نهایت از بین می‌رود و معادله کلی آن عبارت است از:

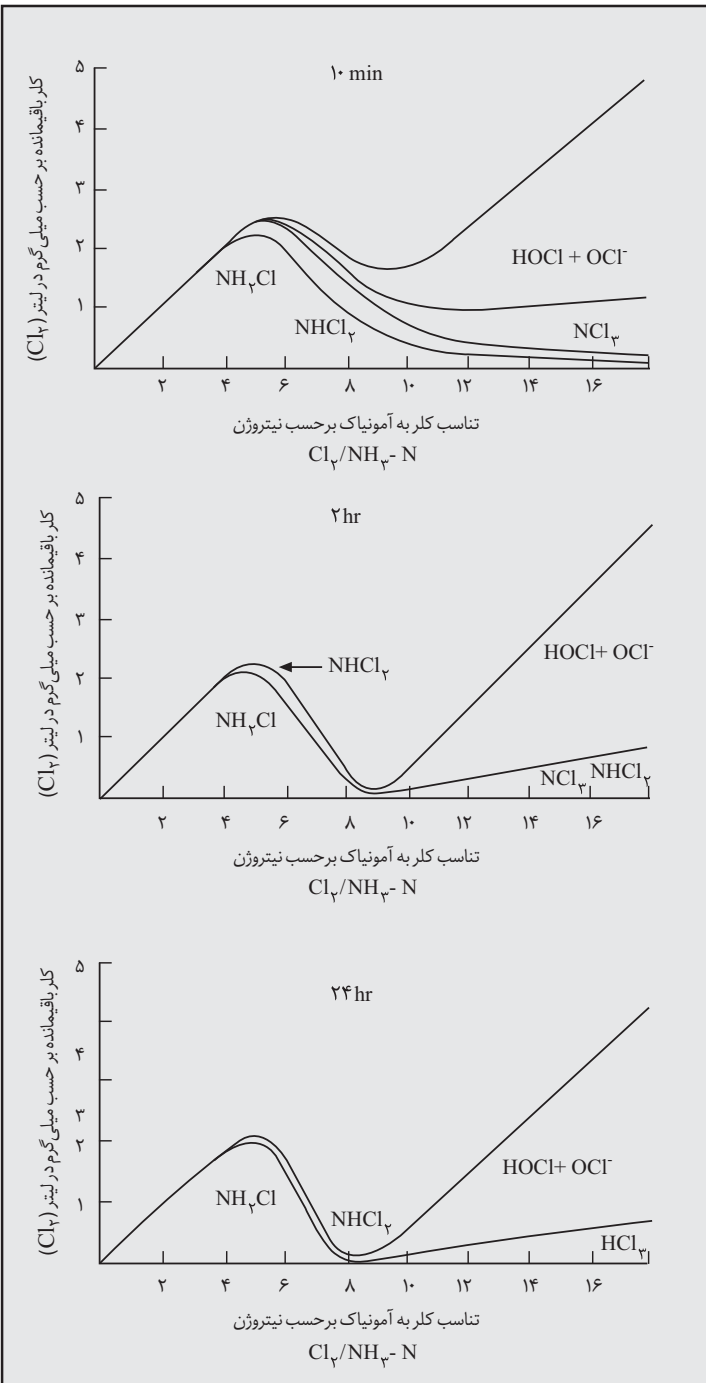


حضور برومیدها در آب و ترکیب آن با کلر آمین شفاف نیست اما به نظر می‌رسد که برومیدها با کلر یا آمونیاک ترکیب‌هایی تولید می‌نمایند که در استاندارد ۱۰۵۳ مورد توجه قرار گرفته است. در مورد کلرزن‌های گازی و هیپوکلریناتورها سخنی آورده نمی‌شود زیرا در کتب مربوط به صنعت تصفیه آب به طور مفصل آمده است و فقط از دیدگاه فرایندی به طور اجمال مورد بحث قرار می‌گیرد.

کلرزنی ساده

در بعضی شرایط به دلیل کیفیت مطلوب آب تنها فرایند تصفیه، میکروبخشی به کمک کلر است و میزان مصرف آن هم در حدود ۰/۵ میلی گرم در لیتر است. آب بعضی از چاه‌ها و چشمه‌سارها که در معرض

شکل شماره ۸-۱- منحنی مربوط به کلر باقیمانده و در حضور آمونیاک



آلودگی‌های ناشی از فاضلاب‌ها قرار ندارند از این گروه می‌باشند و یا اگر کلیفرم آن از حدود ۵۰ عدد در یکصد میلی لیتر تجاوز ننماید و کدورت آن در حد آب شرب باشد کلرزنی ساده، آب سالم تولید می‌نماید.

پیش کلرزنی

در گذشته که آلودگی منابع آب به فاضلاب‌ها قابل ملاحظه نبود و در نتیجه مواد آلی آب خام کمتر از ۳-۴ میلی گرم در لیتر بود برای کاهش بار میکروبی تصفیه‌خانه از فرایند پیش کلرزنی بهره گرفته می‌شد و با توجه به زمان ماند این کلرزنی قبل از واحد اختلاط سریع انجام می‌گرفت.

در صورتی که بی اودی آب از حدود ۴ میلی گرم در لیتر تجاوز نماید پیش کلرزنی مورد توصیه نیست زیرا همانطور که گفته شد کلر با مواد آلی به ویژه مواد آلی طبیعی^۱ ترکیب شده و ترکیب‌های جانبی مانند تری هالومتان‌ها را تولید می‌نماید. جایگزین کلر، پرمنگنات پتاسیم و یا ازن است که مورد گفتگو قرار می‌گیرد.

کلرزنی بعد از تصفیه

دلایل این کلرزنی در فصل ششم و در ابتدای این فصل مورد بحث قرار گرفت. به هر حال کلرزنی بعد از واحد فیلترها یک الزام است و میزان آن باید در حدی باشد که پس از ۳۰ دقیقه تماس کلر آزاد باقی مانده ۰/۲۵-۰/۵ میلی گرم در لیتر باشد لذا سی تی لازم عبارت است از ۷/۵-۱۵. حفظ کلر باقی مانده

1. NOM

1. NH₂Cl2. NHCl₂3. NCl₃

پس از گذشت زمان تماس، در آب شبکه توزیع مورد توصیه است زیرا:

- از فعالیت‌های بیولوژیکی میکروب‌ها و رشد بیوفیلم روی سطوح داخلی لوله‌ها جلوگیری می‌نماید؛
- در صورت بروز اتصال ناجور و ورود آلودگی میکروبی به آب شرب فرایند میکروبکشی عمل می‌نماید؛
- مانع رشد دیگر موجودات ریز احتمالی در آب تصفیه شده هم می‌شود؛
- با توجه به زدایش میکروب‌ها در تصفیه‌خانه متعارف که نمی‌تواند صد درصد فرض شود کار زدایش را تکمیل می‌نماید.

به علاوه به دلیل احتمال فرار تخم بعضی از کرم‌ها از فیلترها و تولید نوزاد کرم در شبکه توزیع آب، کلر باقیمانده مانع رشد آن‌ها می‌شود. در لوله‌های طولانی آبرسانی و در شبکه‌های بزرگ توزیع آب در صورتیکه کلر باقیمانده مورد مصرف احیاکننده‌های آب قرار گرفته و تمام شود لازم است به آب کلر تزریق نمود که کلرزنی دوباره^۱ نامیده می‌شود. در مورد کلرزنی تا نقطه شکست هم قبلاً گفتگو شد. در مورد حداکثر مجاز کلر باقیمانده در آب شرب، استاندارد ۱۰۵۳ محدودیتی برای آن قایل شده است که رعایت آن الزامی است. این رقم برای کلر ۵ و برای منوکلرآمین ^۳ میلی‌گرم در لیتر است. در صورتیکه ضرورت دارد کلر باقیمانده آب خنثی شود از روش های هوادهی، تزریق دی‌اکسید گوگرد و بی‌سولفیت سدیم می‌توان استفاده نمود.

کلرآمین‌ها

در مورد کلرآمین به طور مفصل در صفحات قبل گفتگو شد و باید توجه داشت که در آب با پی‌اچ حدود ۷، برای نابودی ۱۰۰ درصد باکتری ای‌کلای توسط کلرآمین و برای زمان تماس یکسان در مقایسه با کلر آزاد، نیاز به غلظت حدود ۴۰ برابر است. بدین معنی که شدت اثر کلرآمین ۴۰ برابر کمتر از کلر آزاد است. طبق مطالعات انجام شده



می‌توان گفت که برای زمان تماس ۵۰ دقیقه و ۹۹ درصد نابودی ای‌کلای، غلظت ترکیب میکروبکش‌ها عبارت است از:

- برای اسید هیپوکلرو^۲ نیاز به ۰/۰۰۲ میلی‌گرم در لیتر است (سی‌تی برابر ۰/۱).
- برای هیپوکلریدکلسیم^۳ نیاز به ۰/۳ میلی‌گرم در لیتر است (سی‌تی برابر ۱۵).
- برای منوکلروآمین^۴ نیاز به ۲ میلی‌گرم در لیتر است (سی‌تی برابر ۱۰۰).

بنابراین لازم است سی‌تی مناسب هر آب به کمک آزمایشات متعدد تعیین شود و یا استاندارد ی برای آن تهیه شده و در میکروبکشی مراعات گردد. توجه شود که با افزایش مدت تماس کلر با آب، غلظت کلر باقیمانده کمتر خواهد شد.

آزمایش ارتو تولیدین^۵

تعیین میزان کلر باقیمانده در آب با آزمایش ارتو تولیدین انجام می‌گیرد که مبنایش رنگ سنجی است. با افزایش پی‌اچ، آب به رنگ آبی در می‌آید و اگر ارتو تولیدین بیشتری به نمونه اضافه شود رنگ زرد حاصل می‌شود که مقدار کلر آزاد را نشان می‌دهد.

رنگ حاصل در پنج ثانیه اول پس از افزایش ارتو تولیدین میزان کلر آزاد و پس از گذشت حدود ۵ دقیقه میزان کلر مرکب را نشان می‌دهد. استفاده از آرسنیت سدیم برای تشخیص وجود دو نوع کلر در آب هم مرسوم است. به هر حال تعیین کلر باقیمانده و نوع آن در آب باید به طور مرتب در خروجی حوضچه تماس تصفیه‌خانه و نقاطی از شبکه توزیع انجام گیرد که در پیوست الف استاندارد ۱۰۵۳ آورده شده است.

گاز کلر و هیپوکلریت کلسیم و در مواردی هیپوکلریت سدیم گزینه‌های اصلی برای میکروبکشی آب شرب هستند. اما امروزه



تولید گاز کلر و یا دی‌اکسیدکلر در محل مصرف طرفدارانی دارد زیرا حمل و ذخیره کلر همراه با مخاطراتی است که برای آن آیین نامه‌ای هم نوشته شده است که باید رعایت شود. از محلول نمک طعام به کمک الکترولیز، گاز کلر تولید می‌شود که به صورت‌های مختلف مورد مصرف قرار می‌گیرد. یکی از محصولات دیگر آن می‌تواند هیپوکلریت سدیم باشد.

مقاومت بیمار یزاها

بیمار یزاها شامل باکتری‌ها، ویروس‌ها و کیست‌ها دارای حساسیت یکسانی نسبت به کلر نیستند. این مقاومت به ترتیب بیشتر می‌شود که در صفحات قبل مورد بحث قرار گرفت. توجه شود که دما و پی‌اچ آب در کار میکروبکشی به خصوص ویروس‌ها دخالت دارد. چنانچه در پی‌اچ ۶ قدرت میکروبکشی هیپوکلریت‌ها افزایش می‌یابد زیرا بیشتر به صورت اسید هیپوکلرو در آب حضور خواهند داشت.

مطالعات نشان می‌دهد که در عملیات پیش کلرزنی آب‌ها، در صورتیکه کلر آزاد باقیمانده پس از زمان تماس ۳۰ دقیقه در حدود یک میلی‌گرم در لیتر باشد ویروس‌های روده‌ای در آب نابود شده‌اند، مشروط به اینکه آب از نظر کدورت و مواد آلی دارای شرایط مطلوبی باشد. در مقایسه تقریبی سی‌تی میکروبکش‌ها می‌توان مشاهده نمود که:

- سی‌تی‌برای باکتری‌ها خیلی کمتر از سی‌تی برای ویروس‌ها می‌باشد و سی‌تی برای ویروس‌ها کمتر از سی‌تی برای پروتوزوآها می‌باشد؛
- سی‌تی دی‌اکسیدکلر بیشتر از سی‌تی کلر برای باکتری‌ها و کمتر برای ویروس‌هاست. حتی پروتوزوآها در مقابل دی‌اکسید کلر زودتر از کلر از بین می‌روند؛
- سی‌تی ازن کمتر از کلر و دی‌اکسید کلر برای هر سه گروه بیمار یزاها می‌باشد.

مقدار سی‌تی برای میکروبکش‌های مختلف و برای بیمار یزاهای مختلف و برای آب‌های با دماهای مختلف یکسان نیست و لازم است در استاندارد شماره ۱۰۵۳ آورده شود. همان طور که گفته شد جدول شماره ۸ استاندارد پیش گفته برای پی‌اچ ۸ و ۹ آب شرب رقم سی‌تی را به ترتیب ۱۵ و ۱۸ اعلام نموده است که دمای آب در آن لحاظ نشده است. در شرایط بروز بیماری‌های روده‌ای و بلایای طبیعی میزان حداکثر سی‌تی ^{۳۰} تعریف شده است.

به هر حال باید سی‌تی لازم با توجه به نوع میکروبکش، پی‌اچ و دمای آب از جدول‌های استاندارد استخراج و مورد استفاده قرار گیرد. سازمان جهانی بهداشت در این مورد پیشنهاداتی ارایه نموده است که توجه به آنها توصیه می‌شود. فرایند افزایش احتمالی مقاومت بیمار یزاها نسبت به کلر باید توسط موسسات تحقیقاتی مورد پایش مستمر قرار گیرد تا جامعه با شرایط نامطلوب و به طور غیرمنتظره روبرو نشود.

۸-۳- تاسیسات دی‌اکسید کلر

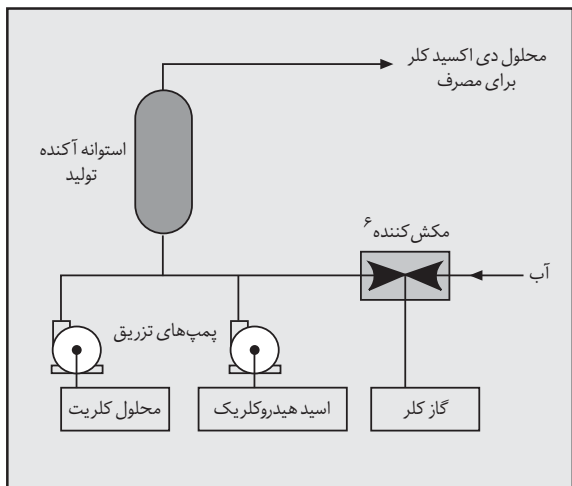
چون دی‌اکسید کلر در آب تری‌هالومتان‌های کمتری تولید می‌نماید و در زدایش ترکیب‌های فنل هم مطلوب‌تر عمل می‌نماید و پی‌اچ آب هم‌روی عملکرد آن تأثیر چندانی ندارد در شرایطی انتخاب آن به عنوان میکروبکش مناسب‌تر است چنان که در اروپای غربی کاربرد آن متداول گردیده است. ویژگی‌های آن که باید توجه داشت عبارتند از:

- در آب حدود ۱۱ درجه سلسیوس به صورت گاز است لذا با هوادهی از آب تخلیه می‌شود.؛
- مانند کلر، ابتدا با احیاکننده‌های شیمیایی و آلی آب ترکیب می‌شود؛
- در محدوده پی‌اچ آب شرب، ترکیبی است که تولید یون نمی‌نماید؛
- گر چه تری‌هالومتان و اسید هالو استیک^۱ تولید نمی‌نماید اما در

^[1] HAA

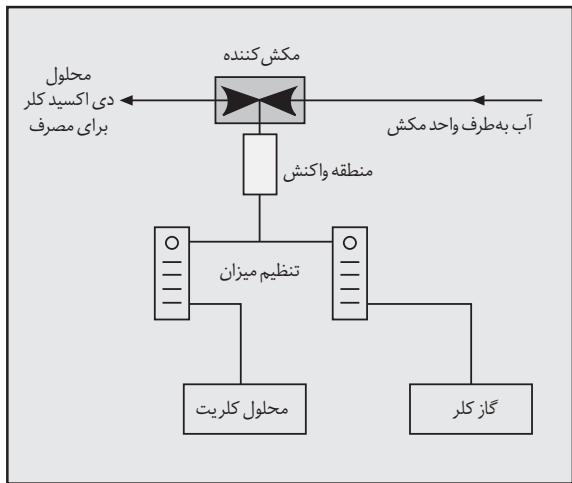


شکل شماره ۸-۲- دیاگرام تولید دی اکسید کلر با گاز کلر و محلول اسید هیدروکلریک



کلر به محلول کلریت سدیم که دی اکسید کلر با ۹۵ درصد خلوص تولید می‌شود که در محل تولید مصرف خواهد شد. در شکل شماره ۸-۳ دیاگرام تولید دی اکسید کلر با استفاده از گاز کلر نشان داده شده است.

شکل شماره ۸-۳- دیاگرام تولید دی اکسید کلر با استفاده از کلر و کلریت سدیم



1. Ketone

2. ClO₂

3. Cl⁻

4. ClO₃

5. Aqueous System

6. Ejector

مورد ترکیب‌های جنبی ناشی از کاربرد آن اطلاعاتی در دست نیست، لیکن واکنش‌های آن باعث تولید اسید کربوکسیلیک، آلدئیدها و کیتون^۱ می‌شود.

- ترکیب‌های یون کلریت^۲، یون کلرید^۳ و کلرات^۴ در آب تولید می‌شود که کلریت و کلرات در رابطه با بروز بیماری متوگلوبین بی‌ارتباط نیست و لذا کاربرد آن باید همراه با محدودیت‌هایی باشد.
- چون انبار و نگهداری دی اکسید کلر با مخاطراتی همراه است لذا تولید آن باید مستمر و در محل مصرف انجام گیرد. افزایش دما، فشار و در معرض نور قرار گرفتن گاز خالص آن منجر به انفجار می‌شود. ماده اصلی تولید آن از مخلوط گاز کلر و هیپوکلریت سدیم به دست می‌آید.

تولید فاز محلول^۵

در روش تقریباً قدیمی، محلول کلریت سدیم به محلول کلر اضافه شده و پس از مدت کوتاهی دی اکسید کلر تولید می‌شود. محلول آن، در این روش حاوی کلر هم می‌باشد. با توجه به اینکه کاربرد دی اکسید کلر، برخلاف کلر خالص، در آب دارای مواد آلی ترکیبات خطرناک تولید نمی‌کند، لذا محبوبیت بیشتری پیدا نموده است. برای تولید دی اکسید کلر خالص مطالعاتی انجام گرفته که در شکل شماره ۸-۲ نشان داده شده است.

برای تنظیم پی‌اچ ابتدا اسید هیدروکلریک به محلول کلر تزریق می‌شود و سپس محلول کلریت سدیم اضافه می‌گردد. باید دقت شود که پی‌اچ محلول دی اکسید کلر حدود ۲-۳ باشد که در این صورت محلول ۹۰ درصد دی اکسید کلر تولید می‌شود. در صورت ضرورت استفاده از تاسیسات تولید دی اکسید کلر سازنده دستگاه دستور عملی دارد که باید رعایت شود.

به هر حال روش تولید دی اکسید کلر عبارت است از تزریق گاز

تولید با روش الکتروکمیkal

از الکترولیز محلول کلریت سدیم می‌توان دی اکسید کلر تولید نمود و معادله شیمیایی آن عبارت است از:



طبق شکل ۸-۴ در روش الکترولیز، محلول کلریت سدیم به مخزن فرایند هدایت‌شده و به کمک الکترولیز گاز دی اکسید کلر تولید می‌نماید و در الکتروکاتد سود سوز آور و هیدروژن تولید می‌شود. سود سوز آور تولیدی که دارای غلظت کم است برای تنظیم پی‌اچ آب تصفیه‌خانه مورد استفاده قرار می‌گیرد و گاز هیدروژن هم به هوای محیط خارج از ساختمان تخلیه می‌شود. دی اکسید کلر از منطقه الکتروکاتد خارج می‌شود تا تبدیل به کلرات شود. در کارخانجات تولید کاغذ نیز این صنعت مورد استفاده می‌باشد. در جدول شماره ۸-۲ ضریب میکروبخشی ترکیب‌های مختلف کلر و ازن آورده شده است.

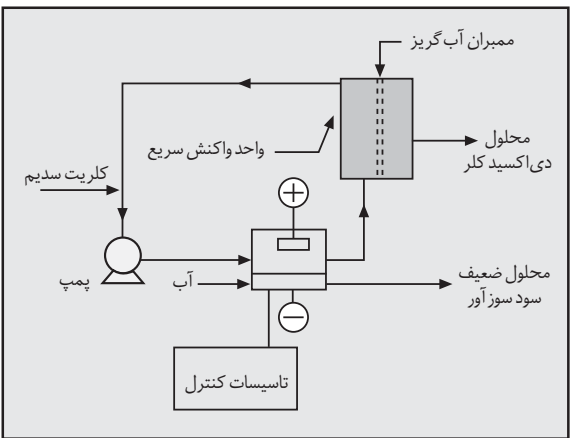
جدول شماره ۸-۲- ضریب نسبی میکروبخشی^۱ ازن و کلر

میکروبخش	باکتری‌های روده‌ای	کیست آمیب	ویروس‌ها	اسپورها
ازن (O _۳)	۵۰۰	۰/۵	۵	۲
اسید هیپو کلرو (HOCl) برحسب Cl _۲	۲۰	۰/۰۵	۱ تا	۰/۰۵
یون هیپو کلریت (OCl ⁻) برحسب Cl _۲	۰/۲	۰/۰۰۵	۰/۰۲	۰/۰۰۰۵
مونو کلرآمین برحسب Cl _۲	۰/۱	۰/۰۲	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱

جدول نشان می‌دهد که ازن در نابودی عوامل بیماری‌زا نسبت به کلر و کلرآمین بسیار بهتر عمل می‌نماید. به طور کلی می‌توان گفت که ازن در اکسید کردن آهن، منگنز و اکثر عناصر مسموم کننده^۲ دارای توان بالایی است و بر مبنای عملیات پایلوت و با کمک یک

آزمایشگاه مجهز می‌توان درصد‌دایش‌ها را تعیین نمود. این قدرت اکسیدکنندگی مشمول ترکیباتی مانند فنل، اتیل بنزن، کلروفرم و غیره هم می‌شود.

شکل شماره ۸-۴- تولید دی اکسید کلر با روش الکترولیز



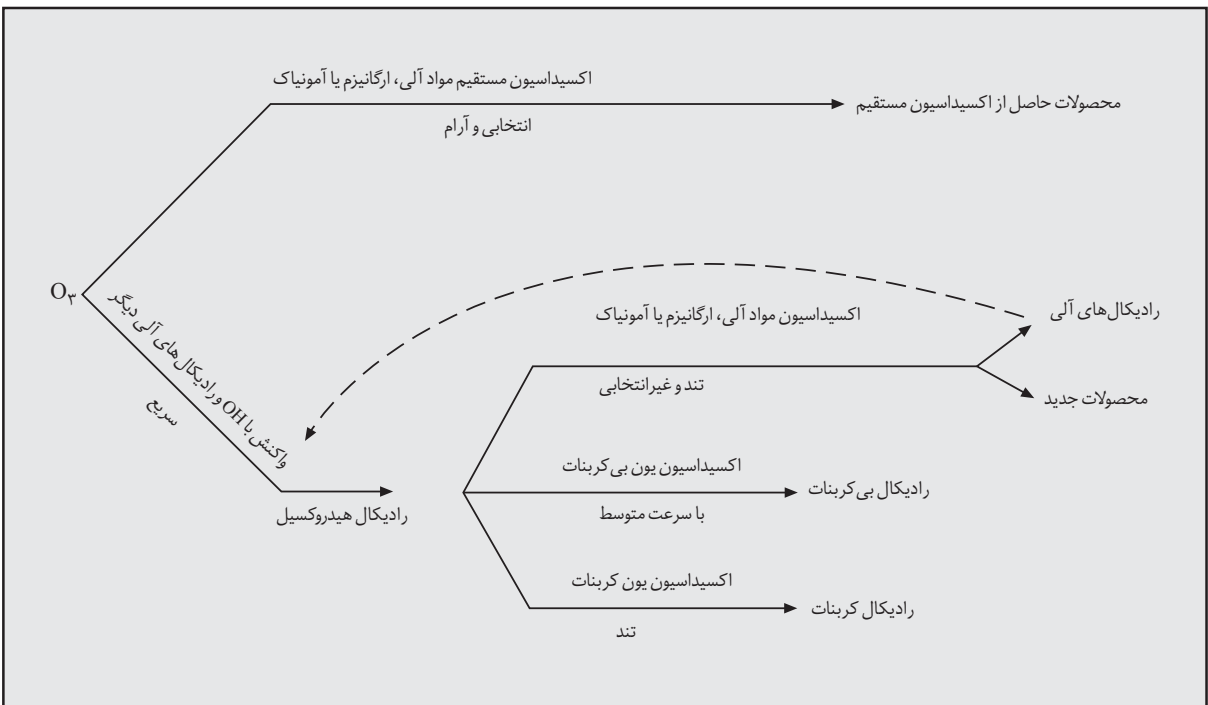
۸-۴-۱ ازن

ازن گازی است با بوی تند که با سرعت با احیا کننده‌ها واکنش نشان می‌دهد و در تخلیه الکتریکی و با حضور اکسیژن تولید می‌شود. برای استفاده از آن در تصفیه آب لازم است ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن را شناخت. فرمول آن O_۳ است و در واکنش‌های اکسیداسیون به حالت اولیه اکسیژن بر می‌گردد. حلالیت آن در آب بیشتر از اکسیژن است اما با افزایش دمای آب حلالیت آن کاهش می‌یابد. آن طور که در شکل شماره ۸-۵ می‌توان مشاهده نمود ازن پس از تزریق به آب از نظر واکنش‌ها دو مسیر جداگانه را طی می‌نماید. اکسیداسیون مستقیم که نرخ آرامی دارد و بسیار انتخابی عمل می‌نماید و با تجزیه خود به خود و ترکیب با هیدروکسیدهای آب و رادیکال‌های دیگر در محیط، سرعت واکنش‌های آن بیشتر می‌شود. رادیکال هیدروکسیل در اکسیداسیون مواد آلی بسیار فعال می‌باشد و هم زمان به کمک

1. Lethality

2. Organometallic

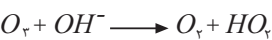
شکل شماره ۸-۵- واکنش‌های ازن در آب



یون‌های کربنات و بی‌کربنات آب، تولید رادیکال‌های کربنات و بی‌کربنات می‌نماید.

همان‌طور که شکل پیش گفته نشان می‌دهد به‌طور چکیده می‌توان گفت که رادیکال هیدروکسیل ترکیبات آلی را با سرعت اکسیده می‌نماید اما در ضمن یون‌های کربنات و بی‌کربنات‌های آب را به رادیکال‌های کربنات و بی‌کربنات تبدیل می‌نماید که توان واکنش با مواد آلی را ندارند.

چون رادیکال‌های هیدروکسیل و رادیکال‌های مواد آلی واکنش‌های تولید رادیکال را سرعت می‌بخشند، لذا در پی‌اچ کم اکسیداسیون توسط ازن انجام می‌گیرد و در پی‌اچ بالا و در حضور مواد آلی زیاد روند تجزیه خود به خود را طی می‌نماید و در محیط با غلظت زیاد بی‌کربنات و کربنات سرعت تبدیل به رادیکال هیدروکسیل کاهش می‌یابد. لذا در پی‌اچ کم، دوام ازن بیشتر است.



جدول شماره ۸-۳- حلالیت گاز ازن در آب

دمای آب (سلسیوس)	ضریب بوسن	ضریب قانون هنری ($H \times 10^{-4}$)
۱۰	۰/۳۷۵	۳
۲۰	۰/۱۸۵	۲/۲۹
۳۰	۰/۲	۱/۶۱

ضریب بوسن^۱ که با B نشان داده می‌شود عبارت است از:

$$B = \frac{\text{غلظت ازن در آب}}{\text{غلظت ازن در گاز تزریقی}}$$

غلظت ازن در گاز تزریقی در شرایط متعارف فشار و دما در معادله در نظر گرفته می‌شود. فرایند واکنش ازن با مواد آلی آب هنوز شفاف نیست اما مواد آلی موجود در آب توسط ازن اکسیده می‌شوند و معادله آن را می‌توان به صورت زیر چکیده نمود:

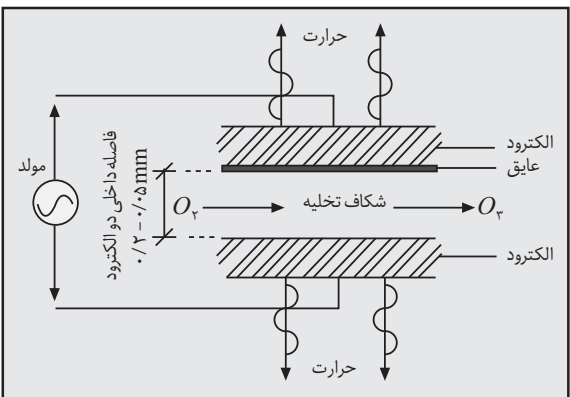


بنابراین دی‌اکسید کربن و اکسیژن محصولات واکنش اکسیداسیون این گاز است. به هر حال ازن در نابودی ویروس‌ها بهتر از کلر عمل می‌نماید و در زدایش مواد آلی تولید کننده طعم و بو عملکرد مطلوبی دارد و در اکسیداسیون آهن، منگنز و سولفیت‌ها خوب عمل می‌نماید و در کاربرد ازن میزان اکسیژن آب هم افزایش می‌یابد.

تاسیسات لازم

تاسیسات اصلی تولید ازن در شکل شماره ۸-۶ نشان داده شده است که عبارتند از مولد ازن، تاسیسات تهیه گاز و یا هوای مورد نیاز تولید ازن، تاسیسات تماس و تخلیه ازن تولیدی. کاربرد ازن برای میکروبی‌کشی در صنعت آب شرب زودتر از کلر آغاز گردیده است زیرا

شکل شماره ۸-۶- بخش‌های اساسی کوره تولید ازن



ترکیبی است با قدرت میکروبی‌کشی زیاد و بیماری‌ها نسبت به آن کمتر مقاومت نشان می‌دهند. چنانکه در بی‌اثر نمودن ویروس پولیو بهتر از کلر عمل می‌نماید.

بیشتر از ۳۰ سال است که شهر پاریس از ازن برای میکروبی‌کشی آب شرب استفاده می‌نماید و میزان مصرف آن طوری است که پس از ۱۵ دقیقه تماس میزان باقیمانده آن ۰/۴ میلی‌گرم در لیتر است. توجه شود که ترکیبی است که نمی‌توان آن را ذخیره نمود و لذا در صورتیکه نیاز به میکروبی‌کشی در تصفیه‌خانه متغیر و تولید آن ثابت باشد مشکل تامین آن در شرایط حداکثر نیاز مطرح می‌شود. در صورتیکه کیفیت آب دستخوش تغییر نگردد و نیاز به ازن متغیر نباشد، این محدودیت دارای اهمیت نیست.

بعضی از ترکیب‌های آلی مانند اتانول به سادگی با ازن اکسیده و تجزیه می‌شود و مشاهده شده است که مولکول‌های بزرگ آلی تحت تاثیر ازن شکسته شده و راحت‌تر مورد حمله باکتری‌ها برای تغذیه قرار می‌گیرند. چون حفظ ازن در شبکه توزیع ممکن نیست کاربرد کلر مورد توجه قرار گرفته است. لذا در ابتدا با ازن کار میکروبی‌کشی انجام می‌گیرد و با تزریق میزان کم کلر شرایط میکروبی‌کشی در آب شبکه توزیع حفظ می‌شود.



تولید ازن

همانطور که شکل شماره ۸-۶ نشان می‌دهد با ایجاد یک ولتاژ الکتریسیته بین دو الکترود، مشروط به اینکه سطح یکی از الکترودها دارای پوشش نازک عایق باشد و اکسیژن از فضای بین دو الکترود عبور داده شود گاز ازن و حرارت تولید می‌شود^۱.

میزان ولتاژ لازم برای تولید ازن حاصل ضرب فشار هوا در شکاف^۲ و عرض شکاف^۳ است که به صورت معادله زیر نشان داده می‌شود:

$$V = K_1 PG$$

که در آن:

V = ولتاژ لازم؛

P = فشار هوا در شکاف؛

G = عرض شکاف؛

K_۱ = ضریب ثابت.

به بیان دیگر تولید ازن رابطه مستقیمی با فرکانس الکتریسیته، ضریب عایق و مربع ولتاژ بکار رفته و تناسب معکوس با ضخامت لایه عایق دارد. بنابراین:

$$Y = \frac{K_1 (feV^2)}{d}$$

که در آن:

Y = تولید؛

f = فرکانس؛

V = ولتاژ؛

e = ضریب عایق؛

d = ضخامت عایق؛

K_۲ = ضریب ثابت.

طبق معادله پیش گفته باید به چند نکته توجه نمود که عبارتند از:

- صفحه عایق باید بسیار نازک باشد اما از طرف دیگر هر چه نازک‌تر شود ویژگی عایق بودنش کمتر می‌شود.
- چون میزان تولید ازن بستگی به مربع ولتاژ دارد لذا ولتاژ زیاد بهتر است اما از طرف دیگر با افزایش میزان ولتاژ عملکرد صفحه عایق کاهش می‌یابد.

امروزه تاسیساتی ساخته می‌شود که با فرکانس ۶۰، ۱۰۰۰ و حتی ۲۰۰۰ هرتز کار تولید ازن را انجام می‌دهد. تاسیسات تولید ازن در سه نوع ساخته می‌شوند که در شکل شماره ۸-۷ نشان داده شده است. چون معادله تولید ازن تابعی است از فناوری ساخت بخش‌های مختلف دستگاه از ادامه گفتگو اجتناب می‌شود.

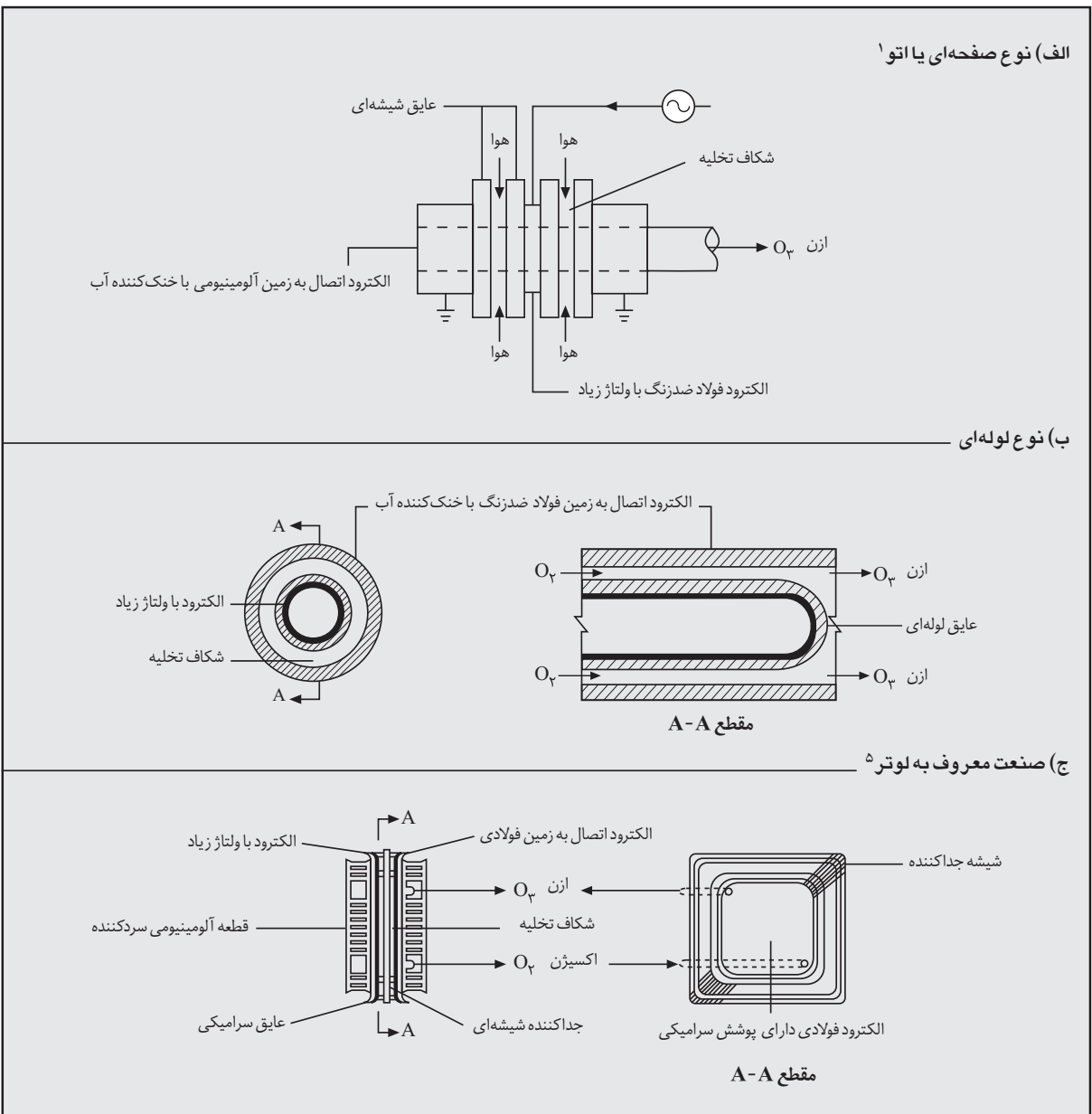
فناوری صفحه اتو در سال ۱۹۰۵ ساخته شد، گرچه سودمندی آن مطلوب نیست اما در اروپای غربی هنوز مورد استفاده است. محدودیت این صنعت فشار کم هوا است در حالی که فشار زیاد برای تولید حباب‌های ازن مناسب‌تر است. نوع لوله‌ای آن از چندین لوله فولاد ضد زنگ ساخته شده که در یک محفظه قرار می‌گیرد و اطراف آن آب برای خنک کردن دستگاه پیش‌بینی می‌شود. در درون لوله‌های فلزی لوله‌های شیشه‌ای به صورت هم‌مرکز قرار می‌گیرند که در سطوح داخلی دارای پوشش هادی می‌باشند. حال یک اختلاف پتانسیل بین پوشش هادی درون لوله شیشه‌ای و محیط خارج لوله فولادی ایجاد می‌گردد و همان‌طور که شکل نشان می‌دهد اکسیژن و یا هوای دارای اکسیژن از شکاف بین آنها عبور داده شده و ازن تولید می‌شود. براساس این اصل فناوری‌های زیادی ساخته شده است.

مدل صفحه‌ای لوثر نسل جدید تولیدکننده‌های ازن است و توسط هوا خنک می‌شود. در صورتیکه دو مدل قبلی باید با آب خنک شوند و تاسیسات خنک‌کننده آن از آلومینیوم ساخته شده است. مجموعه شامل یک الکترود فولاد با پوشش عایق سرامیکی و یک

۱. ابتدا اتصال دو اتم اکسیژن به کمک برخورد با الکترون‌ها شکسته می‌شود و اکسیژن نوزاد با مولکول اکسیژن ترکیب می‌شود.



شکل شماره ۸-۷ - سه صنعت تولید ازن



اسپیسر ساخته شده از سیلیکون - لاستیک و الکترود دوم هم فولادی دارای پوشش سرامیک است و درون آر هوا و برون بر نیز پیش‌بینی

شده است. اسپیسر سیلیکون - لاستیک برای تنظیم شکاف بکار می‌رود. با به هم چسباندن چند واحد آن و پیش‌بینی خروجی‌ها می‌توان

میزان تولید ازن را افزایش داد. در جدول شماره ۸–۴ مقایسه نسبی استفاده از سه نوع دستگاه تولید ازن نشان داده شده است.

جدول شماره ۸–۴ – مقایسه نسبی دستگاه‌های تولید ازن

ویژگی‌ها	نوع دستگاه		
	اوتو	لوله‌ای	لوتر
گاز مورد استفاده	هوا	هوا و اکسیژن	هوا و اکسیژن
نقطه شبنم هوا (فارنهایت)	۶۰–	۶۰–	۴۰–
خنک کننده	آب	آب	هوا
فشار (متر)	۰	۳– ۱۵	۱– ۱۲
شکاف عبور هوا (سانتیمتر)	۰/۳۲	۰/۲۵	۰/۱۳
ولتاژ (کیلووات)	۷/۵– ۲۰	۱۵– ۱۹	۸– ۱۰
تناوب (هرتز)	۵۰– ۵۰۰	۶۰	۲۰۰۰
ضخامت لایه عایق (سانتیمتر)	۰/۳– ۰/۴۸	۰/۲۵۴	۰/۰۵
قدرت لازم * برای استفاده از هوا	۱۰/۲	۷/۵– ۱۰	۶/۳– ۸/۸
قدرت لازم برای استفاده از اکسیژن	–	۷۵/۳– ۵	۵/۵– ۳/۵

* کیلووات ساعت برای هر ۴۵۴/۰ کیلوگرم ازن برای یک درصد غلظت

تامین هوا^۱

تاسیسات تامین هوای کوره مولد ازن باید بتواند هوا و یا اکسیژن کافی برای فرایند تولید ازن تهیه نماید. در تاسیسات جدید یا از سیلندرهای حاوی اکسیژن خالص استفاده می‌شود و یا در محل اکسیژن تولید می‌شود زیرا هر چه هوای مورد استفاده بیشتر اکسیژن داشته باشد سودمندی تولید ازن بیشتر است.

ویژگی‌های مورد توجه تاسیسات عبارتند از:

- غلظت اکسیژن و یا جرم اکسیژن فرستاده شده به کوره تولید ازن؛
- رطوبت موجود در آن؛

- آلاینده‌های مختلف و ذرات معلق موجود در هوا؛
- دمای هوا و یا دمای اکسیژن؛
- فشار هوا.

غلظت اکسیژن

هر چه میزان اکسیژن دمیده شده به دستگاه بیشتر شود میزان تولید ازن افزایش می‌یابد. در تاسیسات استفاده از هوا میزان اکسیژن در حدود ۲۲درصد است و می‌توان با تزریق اکسیژن غلظت آن را در هوای مورد استفاده افزایش داد. برای این کار روش‌های زیر وجود دارد:

- تامین اکسیژن از طریق خرید در استوانه‌های مناسب و نگهداری طبق آیین‌نامه‌های مربوطه؛
- تولید اکسیژن در محل مصرف از طریق جداسازی اکسیژن از هوای محیط.

رطوبت هوا

از مهمترین ویژگی‌های هوای مورد استفاده میزان رطوبت آن است که با مقیاس نقطه شبنم بیان می‌شود. نقطه شبنم دمایی است که بخار آب موجود در هوا تقطیر می‌شود. هوای مورد استفاده در کوره برای تولید ازن باید دارای دمای خیلی کم باشد. در صورتیکه میزان رطوبت هوا زیاد باشد ممکن است با اکسید ازت موجود در هوا ترکیب شده و تولید اسید نیتریک نماید که به کوره صدمه وارد می‌نماید. تاسیسات جدید با توجه به آلودگی هوای محیط به این آلاینده‌ها نقطه شبنم را ۶۰– درجه سلسیوس قرار می‌دهند.

ذرات معلق و آلاینده‌های دیگر

وجود ذرات معلق در هوای مورد مصرف مشکلات متعددی ایجاد می‌نماید که اولین آن ایجاد سایش در تاسیسات کمپرسور مورد استفاده

1. Feed Gas



است یعنی در تماس با سطوح، آنها را سایش می‌دهد لذا تصفیه هوای ورودی به دستگاه لازم است.

آلاینده‌هایی مانند هیدروکربن ها هم باعث انسداد روزنه‌های دستگاه می‌شود. ذرات معلق و هیدروکربن ها ممکن است روی صفحه عایق نشسته و عملکرد دستگاه را کاهش دهند و حتی ممکن است کار صفحه عایق را مختل نمایند. ذراتی مانند سیلت، ذرات آهکی، ماسه‌ای، خاک و گرد و غبار بنایی‌ها و ریزگردها و حتی قطرات ریز آب و گروه مواد آلی مانند گرده گیاهان^۱ و تخم‌ریز گل‌ها و علف‌های هرز از ذرات معلق مزاحم هستند. لذا پیش‌بینی تاسیسات فیلتراسیون هوا قبل از کمپرسور و حتی قبل و بعد از دستگاه خشک کننده هوا توصیه می‌شود. در صورتیکه از سیلندرهای اکسیژن استفاده می‌شود، چون مایع اکسیژن پس از خروج از استوانه به واحد تبخیر هدایت می‌شود فیلتر هوا باید در پایین‌دست تبخیرکننده قرار گیرد. به هر حال اندازه ذرات معلق موجود در هوای ورودی به کوره نباید از ۰/۳ میکرومتر بزرگ‌تر باشد. به علاوه چون هیدروکربن‌ها در هوای منطقه ممکن است حضور داشته باشد و یا در خود تاسیسات به دلیل تبخیر روغن‌های دستگاه‌ها تولید شود، باید توجه نمود که واحد جاذب آن در مسیر هوا به کوره نصب شود. به هرحال از نوعی فیلتر هم می‌توان برای زدایش این آلاینده‌های معلق در هوا استفاده نمود.

دمای هوا

با افزایش دمای هوا میزان تجزیه ازن زیادتر می‌شود و لذا هوای مورد استفاده باید تا حدودی خنک باشد. سعی می‌شود دمای هوا از ۳۳ درجه سلسیوس بیشتر نشود.

فشار و جرم هوا

سازنده تاسیسات کوره، حدود فشار هوای ورودی به کوره را تعریف



می‌نماید که در محدوده ۶–۱۲ متر متغیر است. بنابراین افت فشار هوا در تاسیسات بالادست باید محاسبه شود تا فشار هوای خروجی از کمپرسور تعیین شود. با توجه به ظرفیت ازن مورد نیاز در واحد زمان، جرم هوای مورد نیاز نیز محاسبه می‌شود که از وظایف سازنده تاسیسات اصلی تولید ازن است. بنابراین میزان نیاز تولید ازن باید برای سازنده تعریف شده و یا بر اساس ویژگی‌های دستگاه‌ها، انتخاب صورت گیرد.

اکسیژن خالص

تهیه اکسیژن نسبتاً خالص از موسسات دیگر و استفاده از آن دارای امتیازات قابل ملاحظه‌ای است. تاسیسات لازم عبارتند از سیلندرهای اکسیژن و تبخیر کننده. در مورد سیلندرهای ذخیره و حمل اکسیژن و مخزن ذخیره اکسیژن در محل مصرف گفتگو نمی‌شود زیرا در این زمینه آیین‌نامه‌هایی وجود دارد که باید رعایت شود. لازم به یادآوری است که در شرایطی که مایع اکسیژن تبخیر می‌شود باعث افزایش فشار درونی سیلندر خواهد شد که نیاز به تجهیزات کنترل فشار دارد که آن هم باید در مقررات استفاده از آن پیش‌بینی شده باشد. تولیدکننده اکسیژن و سازنده سیلندرها لازم است استانداردهای لازم را رعایت نمایند تا از بروز حوادث نامطلوب پیشگیری شود.

تبخیر کننده

اکسیژن مایع درون سیلندر باید در واحد تبخیر کننده تبدیل به گاز اکسیژن شده تا در کوره به ازن تبدیل شود. برای تبخیر کردن آن از آب گرم، برق، استیم^۲ و غیره می‌توان استفاده نمود که هر کدام ویژگی‌های خود را دارند.

تولید اکسیژن در محل

برای تولید اکسیژن در محل تاسیسات تولید ازن، از دو روش بهره‌گیری



می‌شود. در روش دوم می‌توان هوای حامل نیتروژن و اکسیژن را از محیط جاذب نیتروژن عبور داد تا اکسیژن نسبتاً خالص از آن عبور نماید. طبعاً پس از اینکه محیط جاذب اشباع گردد باید آن را دوباره احیا نمود. احیا هم یا با افزایش دما و یا کاهش فشار و آزاد شدن نیتروژن انجام می‌گیرد. روش‌های احیا هم باعث طبقه‌بندی روش‌های جداسازی می‌شود.

واحد تماس ازن

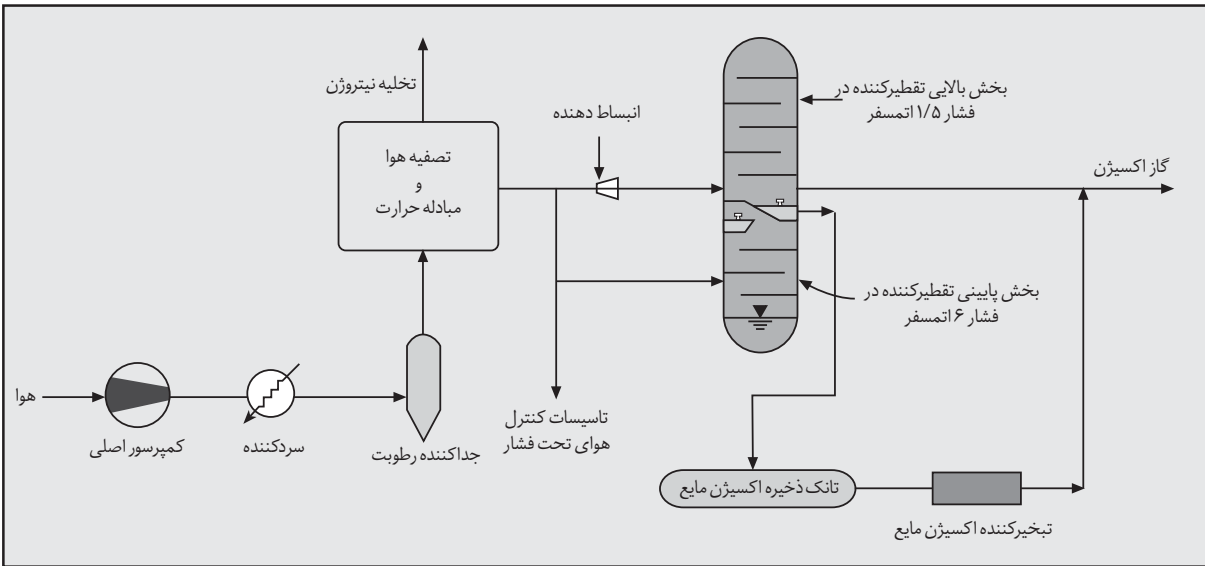
پیش‌بینی حوضچه تماس ازن با آب جهت انجام فرایند میکروبیکی ضرورت دارد. به هرحال گاز ازن باید از حالت گاز به صورت محلول در آب در آید تا فرایند اکسیداسیون انجام گیرد. انواع واحدهای تماس ازن و آب عبارتند از:

- حوضچه‌های مجهز به حباب ساز ازن؛
- واحدهای توربینی؛
- ستون‌های آکنده؛

می‌شود که عبارتند از جداسازی دمایی^۱ و جداسازی جذبی^۲.

در جداسازی دمایی که روشی است قدیمی و در تاسیسات تصفیه آب بکار می‌رود، دستگاه به صورت یک مجموعه تهیه می‌شود. اساس کار آن کاهش دما و تولید هوای مایع است و فرایند تبخیر مرحله‌ای هوا باعث جداسازی اکسیژن و نیتروژن می‌شود. بخش‌های مختلف هوا در دمای ۱۸۴- درجه سلسیوس و فشار یک اتمسفر تبدیل به مایع می‌شود. بدین ترتیب که هوای تحت فشار زیاد به سرعت کاهش فشار یافته و در نتیجه انبساط پیدا می‌نماید و دمای آن کاسته می‌شود و لذا هوا به حالت مایع در می‌آید و چون مخلوط اکسیژن و نیتروژن مایع دارای دمای بخار یکسانی نیستند می‌توان آنها را از هم جدا نمود. در فشار یک اتمسفر دمای جوشش نیتروژن ۱۹۶- درجه سلسیوس و دمای جوشش اکسیژن ۱۸۳- درجه سلسیوس می‌باشد. با حفظ دمای مایع در محدوده جوشش نیتروژن، در حالیکه نیتروژن تبدیل به گاز می‌شود اکسیژن به حالت مایع باقی می‌ماند. از گفتگو در مورد جزئیات جداسازی صحبتی نشده اما شکل شماره ۸-۸ معرفی

شکل شماره ۸-۸- تولید اکسیژن با کاهش سریع فشار هوا و افت دما



1. Cryogenic Separation Process



- تزریق کننده؛
- لوله یو شکل عمیق^۱.

شرایط محیط نصب، اهداف ازن‌زنی و توجیهات اقتصادی در انتخاب نوع واحد تماس ازن با آب دخالت دارند. روابط اهداف ازن‌زنی و نوع واحد تماس در جدول شماره ۸-۵ خلاصه شده است.

جدول شماره ۸-۵- معیارهای انتخاب واحد تماس ازن

هدف کاربرد ازن	نوع مناسب واحد تماس ازن
میکروبیکی اولیه	حوضچه‌های مجهز به حباب ساز ازن
اکسیداسیون آهن و منگنز	تزریق کننده حوضچه‌های چند مرحله‌ای مجهز به حباب ساز
زدایش رنگ	حوضچه‌های چند مرحله‌ای مجهز به حباب ساز. تزریق کننده لوله یو شکل توربین
زدایش طعم و بوی آب	حوضچه‌های مجهز به حباب ساز. لوله یو شکل عمیق
زدایش جلبک‌ها	توربین
اکسیداسیون	لوله یو شکل عمیق تزریق کننده. حوضچه‌های مجهز به حباب ساز

حوضچه‌های مجهز به حباب ساز عبارتند از چند حوضچه به صورت سری که در کف آنها شبکه حباب ساز ازن قرار دارد که جنس آن سرامیکی است. استفاده از این نوع حوضچه بیشتر متداول است زیرا دارای امتیازات زیر است:

- غیر متحرک بودن ابزار مکانیکی؛
- مناسب بودن برای واکنش‌های تند و یا کند ازن؛
- قابل استفاده برای افزایش سودمندی انتقال گاز؛
- تنظیم مدت تماس و در نتیجه بهبود عملکرد و حفظ سی‌تی لازم.

عوامل مؤثر در کار

انتقال گاز به فاز محلول در آب بستگی به عواملی دارد که اساس آن

نظریه دو لایه^۲ است و با توجه به پیچیدگی‌های محاسباتی، راه منطقی، انتخاب ارقام محافظه کارانه است. لذا آگاهی به عوامل مؤثر روی انتقال گاز به فرم محلول در آب ضرورت دارد. ارتفاع آب روی حباب ساز نقش اساسی در تولید حباب‌های ریز ازن دارد. فاکتور بعدی زمان تماس گاز ازن با آب، جهت حرکت و بالاخره مراحل تماس است. ویژگی‌های گاز ازن به میزان تزریق، غلظت آن و اندازه

حباب‌ها بستگی دارد. سودمندی انتقال از فاز گازی به محلول با افزایش اندازه حباب‌ها کاهش پیدا می‌نماید اما با افزایش غلظت ازن بیشتر می‌شود. رشد صنعت تولید ازن و افزایش غلظت ازن به بیشتر از ۱۰ درصد، باعث افزایش سودمندی انتقال آن شده است. با افزایش میزان مواد آلی، آهن و منگنز آب که مصرف کننده ازن هستند باعث می‌شود که سودمندی انتقال افزایش یابد. برای افزایش سودمندی انتقال ازن به آب، از افزایش عمق حوضچه استفاده می‌شود و امروزه

برای تولید حباب‌های ریز ارتفاع آب روی حباب ساز حدود ۶-۷ متر است البته افزایش ارتفاع آب بیشتر از ۷ متر سودمندی عملکرد را در حد ناچیزی افزایش می‌دهد. در شکل ۸-۹ حوضچه تماس مجهز به حباب‌ساز ازن نشان داده شده است که ازن خروجی از آب برای استفاده دوباره و یا تجزیه جمع‌آوری می‌شود.

توزیع گاز ازن از طریق شبکه تزریق نیاز به توجهاتی دارد به ویژه در صورتیکه هدف میکروبیکی باشد و چون به طور مستقیم نمی‌توان نتایج را ارزیابی نمود دفترچه‌های راهنمایی^۳ در این زمینه تهیه شده است که طراح را برای تصمیم‌گیری یاری می‌نماید. به عنوان مثال نکات زیر مطرح است:

- حفظ تناسب گاز به آب در حدود ۰/۵-۰/۲؛

1. Deep U-Tube

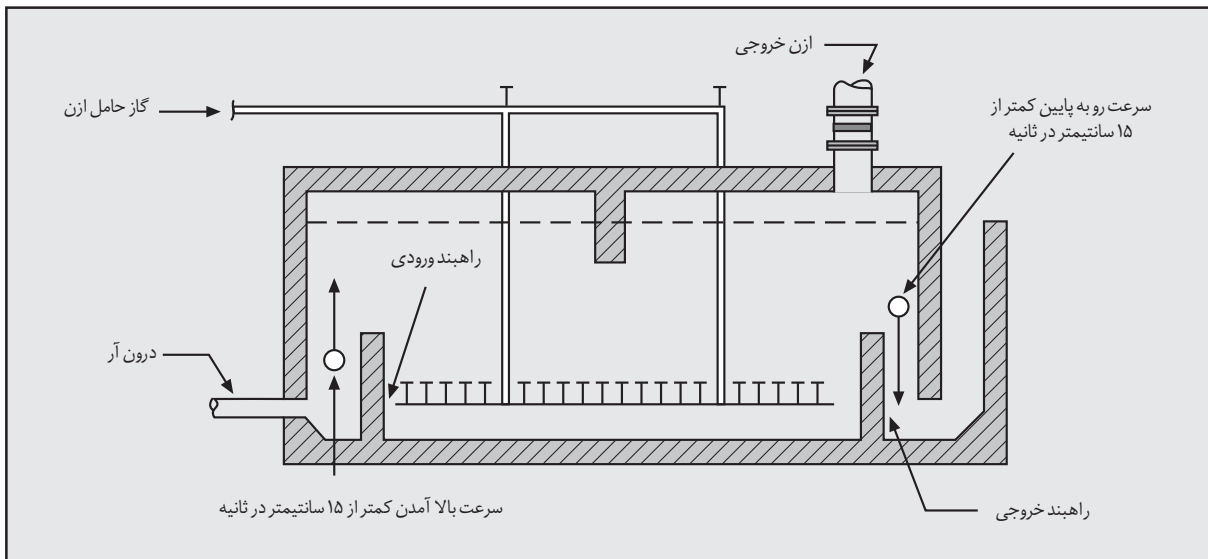
2. Two-Film Theory

3. Guidelines

2. Adsorptive Separation Process



شکل شماره ۸-۹ - حوضچه تماس مجهز به حباب‌ساز



- تزریق و توزیع گاز در حدود ۳۷ لیتر در مترمربع حوضچه در دقیقه؛
- شبکه باید به نحوی باشد که فاصله بین حباب سازها بیشتر از ۰/۹ متر نشود.

بنابراین رعایت راهنمایی‌های پیش گفته باعث می‌شود که توزیع گاز و سودمندی انتقال مطلوب‌تر انجام گیرد. در تولید ازن با استفاده از اکسیژن خالص در مواردی مانند تزریق ۱-۳ میلی‌گرم در لیتر ضرورت دارد که ازن تولید شده با هوا مخلوط گردد تا معیارهای بالا رعایت شود. به هر حال دستور عمل و مشخصات فنی سازنده دستگاه باید در بهره‌برداری مراعات گردد. برای حوضچه‌های با عمق حدود ۶ متر حداقل طول حوضچه هم باید در حدود ۱/۵ متر باشد و عملکرد ازن تحت تاثیر عرض حوضچه نیست. با توجه به اهمیت ضریب سی‌تی و تجزیه ازن، تعیین سی‌تی هر حوضچه و جمع آنها منطقی است. لذا می‌توان نوشت:

$$\frac{D}{L} = \frac{D \times N_s}{L_t}$$

که در آن:

D = عمق حوضچه؛

L = طول حوضچه؛

N_s = تعداد حوضچه‌های سری؛

L_t = جمع کل طول حوضچه‌ها با کسر ضخامت راهبندها.

بنابراین می‌توان زمان تماس و غلظت باقیمانده را در خروجی هر حوضچه محاسبه نمود.

در حوضچه اول ازن مورد نیاز آب مصرف می‌شود و اگر بیشتر از نیاز تزریق شده باشد باقیمانده‌ای خواهد داشت. بنابراین فرایند غیرفعال‌سازی بیماریزاها انجام گرفته است چنان که اگر ازن باقیمانده در خروجی ۰/۳ میلی‌گرم در لیتر باشد لگاریتم زدایش ژیا ردیا و یا ویروس‌ها به ترتیب عبارت است از نیم و یک. حال اگر زمان تماس اضافه شود میزان باقیمانده کمتر خواهد شد، اما ضریب سی‌تی باید ثابت بماند. برای شهر پاریس سی‌تی ازن عبارت است از ۶ که برای ۱۵ دقیقه تماس می‌باشد، بنابراین غلظت باقیمانده آن نباید از ۰/۴ میلی‌گرم در لیتر کمتر باشد.

تاسیسات واحدهای توربینی تماس که قبلاً اشاره گردید، در تمام دنیا مورد استفاده است. توربین با مکش خود ازن را وارد حوضچه تماس همراه با اختلاط می‌نماید که در آن اختلاط گاز ازن و آب خوب انجام می‌گیرد و مشکلات ناشی از ذرات معلق هوا و اکسیداسیون مواد



پیش‌بینی نمی‌شود. از محدودیت‌های آن مصرف انرژی و ظرفیت آن است. در پایین دست آن حوضچه حفظ زمان تماس ضرورت دارد. در مورد ستون‌های آکنده باید یادآوری شود که در استوانه‌هایی مصالح سرامیکی ریخته می‌شود و آب از بالا و ازن از زیر استوانه به داخل آن هدایت می‌شود که در مبحث هوادهی به طور مفصل آورده شده است لذا سخنی بیشتر آورده نمی‌شود. به دلایل زیر تزریق مستقیم ازن به آب با پیش‌بینی حوضچه تماس مورد توجه قرار گرفته است:

- برای ظرفیت‌های کم مناسب است؛
- برای تزریق ازن با غلظت‌های زیاد مناسب است؛
- چون این روش تزریق از اصل ونتوری متر استفاده می‌نماید دارای مزیت اختلاط خوبی است.

تخلیه ازن مازاد

بخش کمی از ازن تزریق شده از حوضچه‌های تماس به هوای محیط اطراف تخلیه می‌شود که می‌تواند مشکل آفرین شود. غلظت مجاز آن در هوای محیط کار ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر است. برای حل این مشکل چهار روش مورد توجه است:

- تزریق دوباره ازن خروجی از آب با نام بازچرخانی که ازن و هوا به تاسیسات تولید ازن منتقل می‌شود؛
- گرم کردن هوا و تجزیه خود به خود ازن؛
- ترکیب با احیاکننده‌ها برای از بین رفتن آن مانند اکسیدهای فلزی؛
- تخلیه به هوای محیط به کمک دودکش‌های بلند و استفاده از اختلاط و رقیق‌سازی در هوا.

شرایط محل کاربرد ازن و معماری ابنیه و توجهات اقتصادی، گزینه مناسب را تعریف می‌نماید.

ملاحظه گردید که در کاربرد اکسیدکننده‌ها و میکروبخش‌ها در صنعت تولید آب شرب ملاحظات وجود دارد و چون کلر به عنوان میکروبخش از مقبولیت زیادی برخوردار است جدول شماره ۸-۶ برای

جدول شماره ۸-۶ - پتانسیل اکسید کنندگی چند ترکیب نسبت به کلر

اکسیدکننده	پتانسیل اکسیدکنندگی (ولت)	پتانسیل نسبت به کلر
رادیکال هیدروکسیل	۲/۸	۲/۰۵
ازن	۲/۰۸	۱/۸۲
آب اکسیژنه	۱/۷۸	۱/۳
هیپوکلریت	۱/۴۹	۱/۱
کلر	۱/۳۶	۱
دی‌اکسید کلر	۱/۲۷	۰/۹۳

مقایسه توان اکسیدکنندگی چند میکروبخش آورده می‌شود و در جدول شماره ۸-۷ اثر بخشی نسبی گروهی از اکسیدکننده‌ها و میکروبخش‌ها نشان داده شده است. طبق استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست امریکا اگر پساب تصفیه ثانویه فاضلاب با میزان حدود ۶ میلی‌گرم در لیتر میکروبخشی شود و زمان تماس یک دقیقه باشد، تعداد کلیفرم‌های گوارشی فعال در پساب کمتر از ۲ در یکصد میلی‌لیتر خواهد بود و اگر میزان تزریق به ۱۰ میلی‌گرم در لیتر برسد پس از ۳ دقیقه تماس ۹۹ درصد کلیفرم‌های گوارشی غیرفعال خواهند شد. به‌طور کلی قدرت میکروبخشی ازن برای ویروس‌ها نسبت اسید هیپوکلرو و کلر ۵ به ۱ می‌باشد و این قدرت برای اسپورها ۴۰ به ۱ و برای کیست آمیب ۱۰ به ۱ می‌باشد و به همین دلیل در میکروبخشی آب‌های نامتعارف حاصل از تصفیه فاضلاب کاربرد پیدا نموده است.

۸-۵- پرمنگنات پتاسیم

پرمنگنات پتاسیم یک ترکیب اکسیدکننده است که برای کنترل طعم، بو و رنگ آب بکار می‌رود. در جلوگیری از رشد بیوفیلم روی مصالح بستر فیلترهای دانه‌ای و اکسیداسیون آهن و منگنز کاربرد فراوان دارد. در حدود سال‌های ۱۸۶۰ ابتدا در اروپا به عنوان یک میکروبخش بکار رفت. برای اجتناب از تولید تری‌هالومتان‌ها به جای کلر به عنوان پیش میکروبخش و پیش اکسیداسیون بکار می‌رود. تجارب موجود



جدول شماره ۸-۷- اثربخشی چند ترکیب

نام ترکیب	گاز کلر	هیپوکلریت (سدیم و یا پتاسیم)	کلرآمین	دی اکسید کلر	ازن	پرتو فرابنفش
باکتری ها و ویروس ها	بسیار خوب	بسیار خوب	خوب	بسیار خوب	عالی	خوب
کیست ها	بسیار خوب	خوب	خوب ضعیف	بسیار خوب	عالی	؟
تشکیل فرآورده های جانبی	زیاد	زیاد	متوسط	کم	زیاد	هیچ
قدرت اکسید کنندگی	بسیار خوب	بسیار خوب	خوب ضعیف	بسیار خوب	عالی	خوب ضعیف

نشان می دهد که کاربرد پرمنگنات پتاسیم دارای امتیازات زیر

می باشد:

- در زدایش طعم و بو عملکرد مطلوبی دارد؛
- در کاهش کلیفرم های آب خوب عمل می نماید؛
- تولید تری هالومتان نمی نماید؛
- برای جلوگیری از رشد بیوفیلم روی سطح دانه های فیلترها بکار می رود.
- برای میکروبیکی و مبارزه با تشکیل بیوفیلم روی سطوح داخلی لوله های شبکه آبرسانی و توزیع آب کاربرد دارد.

پرمنگنات پتاسیم پودری است با دانسیته ۲/۰۷ گرم در سانتیمتر مکعب و حلالیت آن در آب با دمای ۲۰-۳۰ درجه سلسیوس ۵-۲۸ گرم در لیتر بوده و میزان مصرف آن در حدود ۲-۵ میلی گرم در لیتر است. پودر خشک آن رطوبت هوا را جذب می نماید و تبدیل به کلوخه

می شود. ترکیبی خورنده و دارای قدرت اکسید کنندگی زیاد است. از نقطه نظر میکروبیکی لازم است مدت تماس، دمای آب، پی اچ و غلظت آن مورد محاسبه قرار گیرد. در پی اچ کمتر آب، قدرت میکروبیکی آن بیشتر است در حالیکه برای اکسیداسیون ترکیبات، پی اچ بالا لازم است لذا هدف از کاربرد آن باید تعریف شود.

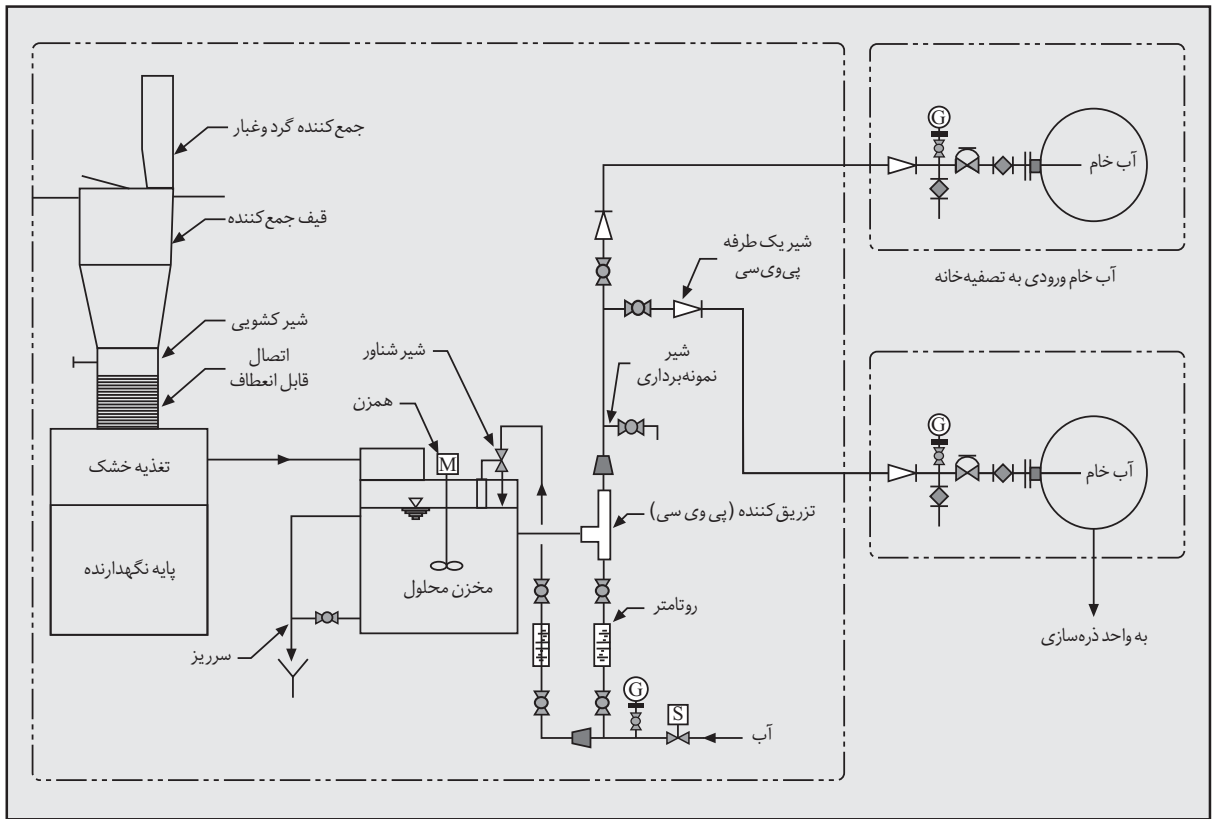
۸-۶- پرتو فرابنفش^۲

در چند سال اخیر توجه صنعت تصفیه آب به کاربرد پرتو فرابنفش برای میکروبیکی آب شرب بیشتر گشته است. در تحقیقات انجام شده قبل از قرن بیستم ثابت گردید که میکروبیکی این پرتو برای کیست های ژیا ردیا و کریپتوسپوریدیوم^۳ قابل ملاحظه بوده و به علاوه

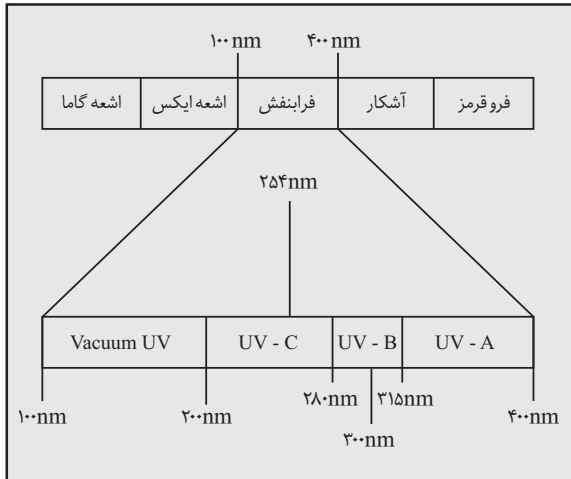
1. OH

۲. در خرید و نصب و تعمیر دستگاه پرتوتاب لازم است آخرین چاپ استاندارد ملی شماره ۱۰۹-۲-۱۵۶۲ رعایت شود.

3. Cryptosporidium

شکل شماره ۸-۱۰- دیاگرام تاسیسات لازم استفاده از پرمنگنات پتاسیم (شرکت ام دبلیو اچ^۱ امریکا)

شکل شماره ۸-۱۱- طیف پرتو ها



کاربرد آن در این صنعت دارای توجیهات اقتصادی نیز می باشد و مهم تر اینکه محصولات جانبی مزاحم از این طریق ایجاد نمی شود.

ویژگی های پرتو

از نقطه نظر فیزیک، پرتو فرابنفش بین پرتوهای آشکار و پرتو ایکس قرار دارد. لذا طول موج آن ۱۰۰-۴۰۰ نانومتر می باشد. همانطور که در شکل شماره ۸-۱۱ نشان داده شده است طیف آن شامل فرابنفش آ، فرابنفش بی، فرابنفش سی و فرابنفش خلاء می باشد. در چهار بخش پرتو فرابنفش بخش بی تا سی دارای توان میکروبیکی بالایی است. زمانیکه پرتو در آب انتشار می یابد بخشی از آن جذب و بخشی پخش

1. MWH American Inc.



می‌گردد. اندازه‌گیری قسمت جذب شده برای عبور پرتو در طولی برابر با یک سانتیمتر انجام می‌گیرد. مواد آلی محلول، کدورت و ذرات معلق آب باعث جذب بیشتر پرتو می‌شود. جذب پرتو فرابنفش در آب بستگی به طول موج آن داشته و هر چه طول موج بزرگ‌تر شود جذب آن کمتر است. به هر حال وجود ذرات معلق آب باعث جذب و پخش پرتو می‌شود.

روش دیگری که میزان جذب پرتو را توسط آب تعریف می‌نماید، انتقال پرتو در طول معینی از آب می‌باشد که با اندازه‌گیری شفافیت آب نشان داده می‌شود و عبارت است از درصدی از پرتو که در یک فاصله طولی از آب عبور می‌نماید. در معادله زیر درصد انتقال پرتو فرابنفش روشن تر بیان می‌شود.

$$UVT\% = 100 \times 10^{-A_{254}}$$

که در آن:

% UVT = عبور پرتو با طول موج تعریف شده (به عنوان مثال ۲۵۴

نانومتر) در یک سانتیمتر ضخامت آب؛

A_{254} = جذب پرتو مورد بحث در یک سانتیمتر طول عبور پرتو در آب.

یووی تی^۱ یک فاکتور اصلی در طراحی تاسیسات میکروبخشی توسط پرتو می‌باشد که در زیر مورد توجه قرار می‌گیرد.

واکنش میکروب‌ها نسبت به پرتو

پرتو فرابنفش زمانی که به میکروب تابیده می‌شود جذب آن شده و باعث غیرفعال شدن میکروب می‌شود. بعضی از میکروب‌ها در شرایطی قادرند که پیامدهای تخریبی پرتو را ترمیم نمایند. علت غیرفعال شدن میکروب صدمه‌ای است که به دی ان ای^۲ و آر ان ای^۳ سلول وارد می‌شود و سلول توانایی تولید مثل خود را از دست می‌دهد و لذا نمی‌تواند باعث بروز عفونت و بیماری شود.

توجه شود که با حفظ کلر و یا کلرو آمین به صورت باقیمانده در آب شبکه توزیع می‌توان مانع بازسازی سلول گردید.

محصولات جانبی پرتوافشانی

این محصولات یا حاصل عملیات فتوکمیکال^۴ پرتو و یا اثر پرتو با ترکیبات حاصل از فتوکمیکال است. مطالعات نشان می‌دهد که پرتو افشانی آب‌های زیرزمینی و آب سطحی تصفیه شده باعث تشکیل تری‌هالومتان‌ها و اسیدها لویک‌های خطرناک نمی‌شوند. در جدول شماره ۸-۸ مقایسه میکروبخش‌های شیمیایی با پرتو فرابنفش آورده شده است که با توجه به آن باید تصمیم‌گیری در مورد استفاده از آن انجام گیرد. میزان شدت پرتو برای غیرفعال سازی کریتوسپوریدیوم و ژیا ردیا کمتر از میزان لازم برای ویروس هاست. لذا هزینه‌های مربوط به زدایش ویروس‌ها بیشتر از ژیا ردیا می‌باشد و مطالعات در امریکا افزایشی در حدود ۵۰ درصد را نشان داده است. با توجه به آلودگی منابع آب به فاضلاب‌های حاوی ویروس‌ها، زدایش ویروس‌ها دارای اهمیت زیادتری می‌باشد و نباید تنها به شاخص غیرفعال سازی ای‌کلای رضایت داد بلکه غیر فعال شدن ویروس‌ها دارای اهمیت بیشتری است.

اکسیداسیون پیشرفته^۵

هدف از استفاده از اکسیداسیون پیشرفته تولید اکسید کننده ای مانند هیدروکسیل است که توانایی سریع اکسید کردن طیف وسیعی از مواد آلی را دارد. استفاده از پرتو فرابنفش برای تولید انرژی لازم برای ایجاد عوامل اکسیدکننده یکی از راه‌ها می‌باشد که به نام اکسیداسیون کاتالیزوری نوری^۶ شناخته می‌شود.

در این فناوری از یک نیمه هادی^۷ که دریافت کننده فوتون^۸

1. UVT	3. RNA	5. Advanced oxidation Processes (AOPs)	7. Semiconductor
2. DNA	4. Photochemical	6. Photo Catalytic Oxidiation	8. Photon

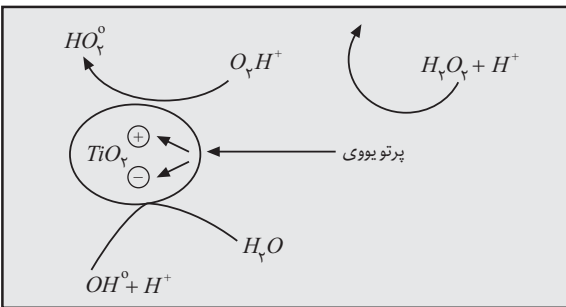


جدول شماره ۸-۸ - مقایسه میکروبخش‌های شیمیایی و پرتو فرابنفش

ویژگی	میکروبخش شیمیایی	پرتو فرابنفش
عمل میکروبخشی	تخریب دیواره سلول و توقف فعالیت آن	دی ان ای سلول صدمه می‌بیند و تولید مثل آن متوقف می‌شود.
تشکیل محصولات جانبی	احتمال تولید آنها زیاد است.	میزان احتمالی تولید قابل اندازه‌گیری نیست.
جریان آب و میکروبخش	آب حامل بیماریزا و میکروبخش در یک جهت حرکت می‌نمایند.	آب و بیماریزا از یک محدوده اثر پرتو عبور می‌نماید.
زمان ماند	طولانی، قابل اندازه‌گیری، همراه با مقررات	خیلی کوتاه بوده و مسیر عبور بیماریزا مهم است.
اثر باقیمانده	وجود دارد.	وجود ندارد لذا نیاز به کاربرد ترکیب شیمیایی دیگری است.
عوامل لازم به توجه	کیفیت آب غلظت باقیمانده زمان تماس دمای آب پی‌اچ آب نوع ترکیب شیمیایی	کیفیت آب (شفافیت) ویژگی پرتوتاب شدت اشعه و میزان توزیع ویژگی منبع انرژی عملکرد دستگاه

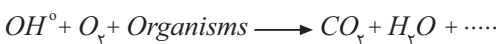
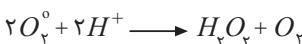
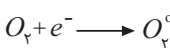
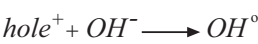
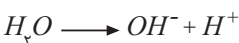
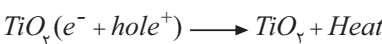
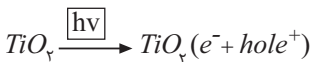
نوری است کار کاتالیزور را برای تولید رادیکال هیدروکسیل انجام می‌دهد، استفاده می‌شود. هیدروکسیل هم با سرعت مواد آلی را اکسید کرده و محصولات نهایی فرایند بنیان‌های معدنی است. بدین ترتیب که مواد آلی به دی اکسید کربن، آب و اسیدهای معدنی تبدیل می‌شوند. فرایند تولید هیدروکسیل در شکل شماره ۸-۱۲ نشان داده شده است.

شکل شماره ۸-۱۲ - فرایند اکسیداسیون واحیا در نیمه هادی در معرض پرتو فرابنفش



بدین ترتیب که وقتی یک نیمه‌هادی مانند اکسید تیتانیوم (TiO_2) در معرض اشعه با انرژی کافی قرار می‌گیرد تولید یک حفره و الکترون

می‌نماید. شکاف یا حفره یا منطقه بدون الکترون عامل اکسیدکنندگی و الکترون عامل احیاکنندگی می‌باشد. بدین ترتیب آب تجزیه شده و هیدروکسیل OH تولید می‌شود و الکترون هم اکسیژن تولید شده را احیا می‌نماید. لذا می‌توان نوشت:



با توجه به کلیات آورده شده در مورد اکسیداسیون می‌توان مشاهده نمود که کاربرد پرتو فرابنفش همراه با یک اکسیدکننده می‌تواند



در نابودی بعضی از ترکیب‌های خطرناک مانند تری‌هالومتان‌ها عملکرد مطلوبی داشته باشد و به همین دلیل در صنعت استفاده از آب غیرمتعارف حاصل از تصفیه فاضلاب‌های شهری کاربرد فراوان پیدا نموده است. در صورت حضور مواد آلی طبیعی بیش از حدود ۵-۱۰ میلی‌گرم در لیتر در آب خام و در صورت ضرورت تولید آب شرب از چنین آب‌هایی و یا تخلیه به منابع آب خام شرب گزینه کاربرد پرتو و یک اکسید کننده باید بیشتر مورد توجه و مطالعه قرار گیرد. برای نتیجه بخش بودن ویژگی تجزیه ترکیب شیمیایی توسط پرتو فرابنفش نیاز به کاربرد انرژی کافی پرتو می‌باشد. برای اکسیداسیون پیشرفته از ترکیب‌های زیر استفاده می‌شود:

- پرتو فرابنفش و ازن؛
- پرتو فرابنفش و آب اکسیژنه.

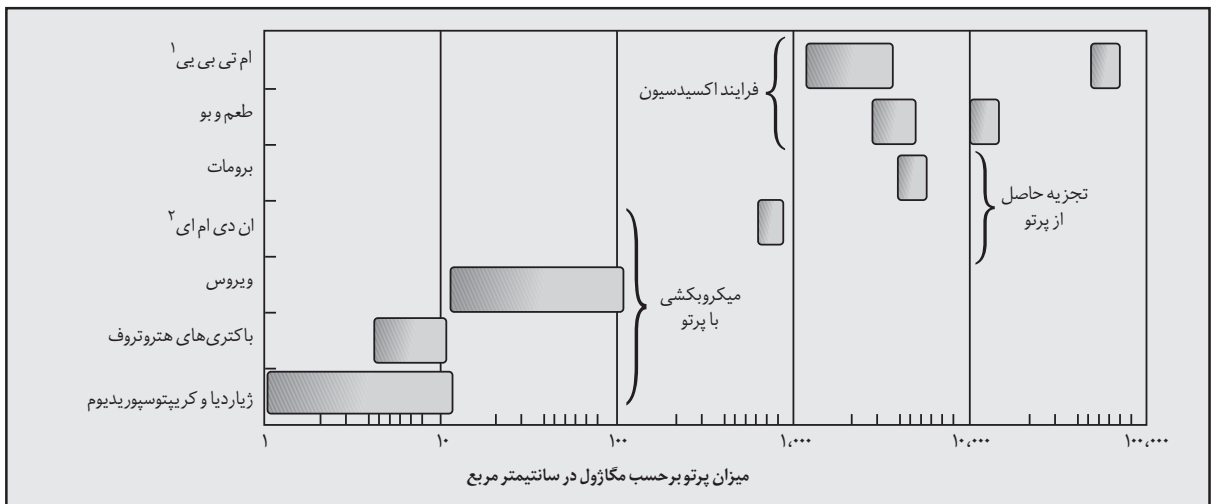
در ترکیب‌های پیش گفته به کمک اکسیدکننده بنیان هیدروکسیل تولید می‌شود که دارای قدرت اکسید کنندگی ۲/۸ ولت است که در جدول شماره ۸-۶ نشان داده شده است. انرژی حاصل از پرتو افشانی

فرابنفش بر حسب مگاژول در سانتیمترمربع برای غیر فعال سازی بیماریزاهای مختلف در شکل شماره ۸-۱۳ نشان داده شد.

تاسیسات لازم

همانطور که در شکل شماره ۸-۱۴ نشان داده شده است بخش‌های اساسی تاسیسات عبارتند از محفظه پرتوتابی، دستگاه سنجش شفافیت آب، تابلو کنترل فرایندها، محفظه پرتو شامل پوسته، لامپ‌های تولید پرتو، پوشش لامپ‌ها، دستگاه‌های اندازه‌گیری پرتو، تاسیسات نظافت لامپ‌ها و دستگاه اندازه‌گیری دمای آب. دستگاه اندازه‌گیری شدت، میزان عبور و یا نفوذ پرتو از قسمت‌های اساسی تاسیسات می‌باشد. محفظه پرتوتابی فضایی است که آب در معرض پرتو فرابنفش قرار می‌گیرد و فرایند میکروبی‌کشی رخ می‌دهد. محفظه طوری طراحی و ساخته می‌شود که تولید و مصرف پرتو و انرژی در حد بهینه باشد. از طرفی شدت پرتو فرابنفش بستگی به نحوه و ترکیب قرار گرفتن آنها، توان لامپ و شفافیت آب دارد. اثر میکروبی‌کشی پرتو

شکل شماره ۸-۱۳- میزان لازم پرتو فرابنفش برای غیر فعال سازی ۹۰-۹۹ درصد بیماریزها و ترکیب‌ها



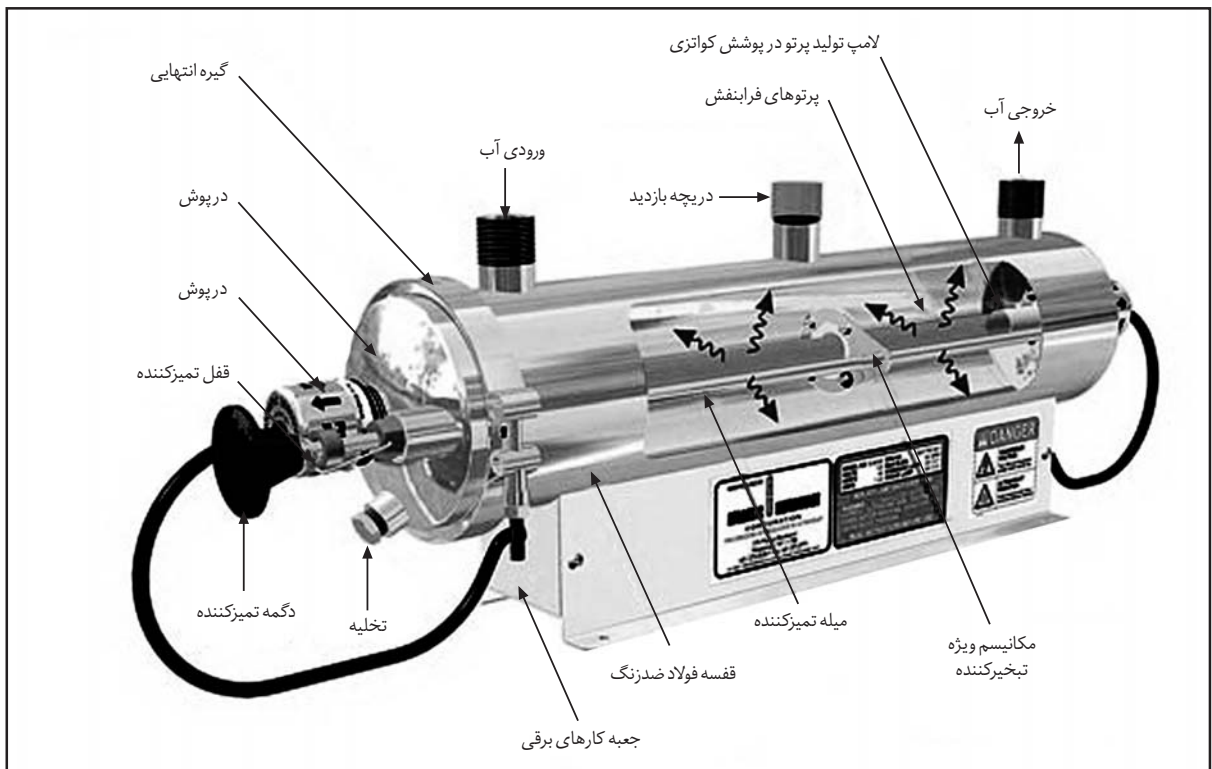
* هر مگا ژول معادل ۲۷۷۳/۰ کیلو وات ساعت است.

1. Methyl Tertiary - butyl ether

2. N-nitrosodimethylamin



شکل شماره ۸-۱۴- تاسیسات تولید و کاربرد پرتو فرابنفش



لامپ مورد بحث آورده شده در جدول شماره ۸-۹ بیشترین کاربرد را دارند و در امریکا نوع با فشار متوسط و فشار کم با بازده بالا معروف تر هستند. لازم به یادآوری است که طول موج پرتوهای تولیدی لامپ‌ها بستگی به غلظت اتم‌های جیوه در لامپ دارد که خود تابعی است از فشار بخار جیوه. در انواع با فشار کم جیوه (کمتر از ۳/۰ متر ارتفاع آب) و در دماهای متعارف، پرتو تولیدی تک‌رنگ و با طول موج ۲۵۳/۷ نانومتر می‌باشد. در جدول شماره ۸-۱۰ ویژگی‌های دو نوع لامپ مورد استفاده در صنعت میکروبی‌کشی آب شرب آورده شده است.

لامپ‌های با فشار متوسط بخار جیوه در حالیکه برای آب با دمای بیشتر مناسب است دارای توانایی تولید پرتو فرابنفش در یک طیف چند رنگی و با شدت بیشتر نیز می‌باشند. با افزایش مدت زمان استفاده از لامپ شدت نور فرابنفش آن کاهش می‌یابد. بنابراین در طراحی تعداد لامپ‌های محفظه میکروبی‌کشی این مسئله باید مورد

به ویژگی‌های هیدرولیکی محفظه مانند میزان جریان و عملکرد بخش ورودی و خروجی آب و لوله‌کشی‌ها نیز بستگی دارد که در سازندگان مختلف یکسان نیست. محفظه پرتوتابی می‌تواند کانال روباز و یا محفظه بسته باشد که معمولاً محفظه بسته و تحت فشار هیدرولیکی برای آب شرب است و برای میکروبی‌کشی آب‌های غیر متعارف از کانال استفاده می‌شود.

در ساخت و تولید لامپ‌های مولد پرتو فرابنفش از صنعت‌های مختلفی استفاده می‌شود که عبارتند از:

- لامپ‌های با فشار کم بخار جیوه؛
- لامپ‌های با فشار کم بخار جیوه و بازده بالا؛
- لامپ‌های با فشار متوسط بخار جیوه؛
- و انواع دیگر.

این لامپ‌ها انواع مختلف دارند ولی در صنعت آب شرب سه نوع



جدول شماره ۸-۹- ویژگی‌های لامپ‌های تولید پرتو فرابنفش

ویژگی‌ها	فشار کم	فشار کم با بازده بالا	فشار متوسط
پرتو میکروبخش	تقریبا تک رنگ	تقریبا تک رنگ	چند رنگ
	با طول موج ۲۵۴ نانومتر	با طول موج ۲۵۴ نانومتر	با طول موج ۲۰۰-۳۰۰ نانومتر
فشار بخار جیوه (پاسکال)	تقریبا ۰/۹۳	۱۰۱/۳	۴۰ هزار - ۴ میلیون
دمای بهره‌برداری (درجه سلسیوس)	تقریبا ۴۰	۱۳۰-۲۰۰	۶۰۰-۹۰۰
برق ورودی (وات بر سانتیمتر)	۰/۵	۱/۵-۱۰	۵۰-۲۵۰
قدرت میکروبخشی یا بازده (وات سانتیمتر)	۰/۲	۰/۵-۳/۵	۵-۳۰
طول قوس الکتریکی (سانتیمتر)	۱۰-۱۵	۱۰-۱۵۰	۵-۱۲۰
تناسب قدرت به میکروبخشی (درصد سودمندی)	۳۵-۳۸	۳۰-۴۰	۱۰-۲۰
تعداد لامپ‌های لازم برای یک میزان لازم	زیاد	متوسط	کم
عمر مفید (ساعت)	۸۰۰۰-۱۲۰۰۰	۸۰۰۰-۱۲۰۰۰	۳۰۰۰-۸۰۰۰

جدول شماره ۸-۱۰- مقایسه دو نوع لامپ مورد استفاده در صنعت آب شرب

ویژگی	لامپ‌های با فشار کم بخار جیوه و بازده زیاد (طول موج پرتو ۲۵۴ نانومتر)	لامپ‌های با فشار متوسط بخار جیوه
امتیازات نسبی	- سودمندی میکروبخشی بهتر است. - مصرف نیرو توسط هر لامپ کمتر است. - عمر مفید بیشتری است.	- بازده برق مصرفی بیشتر است. - تعداد کمتری لامپ مورد نیاز است. - فضای کمتری برای لامپ مورد نیاز است. - تمهیدات تمیز کردن پوشش لامپ‌ها فراهم است.
محدودیت‌های نسبی	- تعداد بیشتری لامپ مورد نیاز است. - برای آب‌های خیلی سرد سودمندی آن کاهش می‌یابد. - برای نظافت لامپ ماده شیمیایی دیگری ممکن است نیاز شود.	- با بالا رفتن دمای محیط خطر کثیف شدن لامپ بیشتر می‌شود. - عمر مفید لامپ کمتر است. - تناسب میکروبخشی به مصرف برق کمتر است. - در شروع کار سرد کردن آب ممکن است ضرورت پیدا نماید.

پایش پرتوافشانی

برای اطمینان به نتایج عملیات میکروبخشی انجام پایش عملکرد دستگاه‌ها ضرورت دارد. اما چون نمی‌توان به طور مستمر حضور بیماریزها را در آب پایش نمود و اندازه‌گیری میزان پرتو تولیدی هم به طور مستقیم و مستمر قابل اجرا نیست لذا روش‌های مختلفی برای

محاسبه قرار گیرد. اتصال لامپ پرتو فرابنفش نمی‌تواند مستقیما به کابل برق انجام گیرد و لازم است در سر راه آن یک تنظیم کننده پیش‌بینی شود. این دستگاه می‌تواند مغناطیسی و یا الکتریکی باشد. هر کدام مزایا و محدودیت‌هایی دارند که در جدول شماره ۸-۱۱ نشان داده شده است.



جدول شماره ۸-۱۱- مقایسه دو روش کنترل کار

کنترل مغناطیسی	کنترل الکتریکی
- روش ارزان‌تری است. - امکان تنظیم مستمر توان تولید انرژی با کمک ابزار مغناطیسی وجود دارد. - مقاومت بیشتر نسبت به تغییرات برق دارد. - صنعتی قابل اعتماد است. - فاصله بیشتر بین بخش تولید پرتو و صفحه کنترل وجود دارد.	- دارای انعطاف پذیری برای تنظیم توان مورد استفاده است. - سودمندی بیشتر در مصرف توان دارد. - وزن کمتر همراه با اندازه کوچکتر دارد. - طول عمر بیشتر و یا کاهش عملکرد کمتر دارد.

این کار تدوین شده است. توجه شود که اندازه‌گیری میزان پرتوافشانی در مرحله آزمایشات تاییدی انجام می‌گیرد و پس از آن باید در برنامه بهره‌برداری انجام آن پیش‌بینی شود. به طور کلی برای پایش عملکرد میکروبخشی دستگاه سه روش وجود دارد که عبارتند از:

۱. نقطه تنظیم: در این روش از نتیجه کار دستگاه به کمک اندازه‌گیری شدت پرتو که بخشی از تاسیسات است استفاده می‌شود. دستگاه اندازه‌گیری شدت پرتو در محلی نصب می‌شود که نسبت به تغییر شدت پرتو و شفافیت آب حساسیت نشان می‌دهد. لذا با دریافت اطلاعات از آن و با توجه به میزان آب در حال عبور از دستگاه می‌توان به طور غیر مستقیم فرایند میکروبخشی را پایش نمود.

۲. پایش دو متغیر: روش کار مشابه روش اول است به غیر از اینکه دستگاه اندازه‌گیری شدت پرتو در نزدیکی لامپ‌ها قرار می‌گیرد و نسبت به تغییر آنها حساسیت نشان می‌دهد. دستگاه اندازه‌گیری شفافیت آب نیز با توجه به میزان گذر آب کار خود را مستقلا انجام می‌دهد. لذا ترکیب اطلاعات دو دستگاه مجزا به انجام پایش کمک می‌نماید.

۳. روش محاسباتی: روش سوم مانند روش دوم است و از یک برنامه نرم‌افزاری برای تحلیل اطلاعات دریافتی از دو دستگاه نصب شده استفاده می‌شود. سازنده و تهیه کننده دستگاه باید برنامه را در اختیار بهره‌بردار قرار دهد. بنابراین باید در زمان انتخاب دستگاه

تولید پرتو، روش مطلوب پایش عملکرد هم تعریف شود. ویژگی‌هایی که روی میکروبخشی آب در این دستگاه دخالت

دارد عبارتند از:

- کیفیت آب تصفیه شده؛
 - کثیف شدن روکش لامپ‌ها؛
 - مدت کارکرد لامپ‌ها؛
 - کیفیت برق مانند نوسانات آن؛
 - میزان گذر آب؛
 - تاسیسات پرتو افشانی.
- در مورد کیفیت آب ویژگی‌های زیر مورد بحث قرار می‌گیرد:
- جاذب‌های پرتو و انتقال پرتو؛
 - ذرات معلق آب؛
 - کثیف شدن پوشش لامپ‌ها؛
 - اثرات ترکیب‌های شیمیایی باقیمانده از فرایندهای تصفیه در بالادست.

مهمترین ویژگی مربوط به کیفیت آب که روی عملکرد میکروبخشی دستگاه دخالت دارد وجود جاذب پرتوهای با طول موج ۲۵۴ نانومتر می‌باشد که در صفحات قبل به صورت معادله مطرح گردید. برای یک دستگاه هر چه درجه شفافیت آب کاهش یابد، شدت پرتو کاهش پیدا می‌کند و لذا میزان پرتو رسیده به میکروب‌ها کمتر می‌شود. برای تعیین شفافیت آب توصیه می‌شود که نمونه آب بدون عبور از فیلتر



شفافیت آب تولیدی بهتر شود.

- باقیمانده یون هیپوکلریت در آب روی شفافیت آب تاثیر چندانی ندارد. چنانکه میزان باقیمانده حدود ۳/۵ میلی گرم در لیتر آن ممکن است شفافیت آب را از ۹۱ به ۹۰ درصد در سانتیمتر تقلیل دهد. ولی به طور متعارف آب با این غلظت آلاینده، به واحد میکروبکشی فرابنفش هدایت نمی شود.
- گر چه پرمنگنات جاذب پرتو می باشد اما چون در بالادست واحدهای تصفیه متعارف به آب افزوده می شود در آب فیلتر شده نبایستی حضور داشته باشد.

- وجود ازن در آب ورودی به محفظه واحد پرتوتابی باعث کاهش شفافیت آب می شود لذا باید ازن را از آب زدایش نمود. کاربرد تیوسولفات سدیم^۲ و یا ترکیب دیگر برای حذف ازن در صورتی که در آب باقیمانده باشد می تواند خود جاذب پرتو گردد.

با توجه به اهمیت استفاده از پرتو فرابنفش و پیچیدگی های دانش پرتوتابی آب، تنها به اشاره در مورد طراحی و نصب آنها بسنده می شود زیرا لازم است آیین نامه و استاندارد مورد نیاز توسط کمیته ای تخصصی تدوین گردد که ضرورت آن ملموس است. از مهمترین شاخص های لازم در مورد آیین نامه استفاده از این میکروبکش می توان به شفافیت آب، جرم گرفتگی و ویژگی های برق مورد استفاده به شرح زیر اشاره نمود:

- **شفافیت آب:** در طراحی تاسیسات استفاده از پرتو فرابنفش برای میکروبکشی دانستن شفافیت^۳ آب لازم می باشد. زیرا در کار انتشار پرتو دخالت دارد و برای طراحی ویژگی های دستگاه، توجه به کیفیت آب نیز ضرورت دارد. لذا نمونه برداری از آب و تعیین شفافیت آن برای طراحی لازم می باشد.

- **جرم گرفتگی پوشش:** بررسی کیفیت آب از نظر امکان تولید

آزمایشگاهی مورد اندازه گیری قرار گیرد. طبق استاندارد^۱ نمونه بدون تنظیم پی اچ و عبور از فیلتر باید مورد اندازه گیری شفافیت قرار گیرد. توجه شود که وجود ذرات معلق در آب روی عملکرد میکروبکشی به وسیله پرتو دستگاه دخالت دارد. اگر چه به دلیل غلظت کم ذرات معلق در آب شرب در مقابل آب غیرمتعارف، اهمیت آن قابل ملاحظه نیست. وجود ترکیب هایی در آب ممکن است باعث جرم گرفتگی سطوح داخلی، مانند سطوح پوشش لامپ ها بشود. این جرم گرفتگی می تواند سطوح دستگاه های پایش را هم شامل شود و در نتیجه آن انتقال پرتو از لامپ به آب کاهش پیدا می نماید لذا از سودمندی دستگاه کاسته می شود.

میزان جرم گرفتگی و در نتیجه دفعات ضرورت نظافت سطوح برای حفظ قدرت میکروبکشی دستگاه بستگی به سختی، قلیابیت، دمای لامپ، پی اچ و گروهی از مواد معدنی مانند آهن و کلسیم آب دارد. به طور کلی جرم گرفتگی ناشی از ترسیب املاح در فصل سوم مورد بحث قرار گرفته است در حالیکه با توجه به شرایط ویژه هر آب باید برنامه نظافت دستگاه را تعیین نمود اما در مرحله طراحی و نصب با توجه به کیفیت آب، لازم است برنامه بهره برداری را تدوین و در مرحله بهره برداری به طور مستمر آن را بهنگام و مناسب نمود.

یادآوری گردید که عملکرد فرایندهای تصفیه آب در بالادست واحد پرتوتابی روی عملکرد دستگاه تاثیر دارد زیرا با حذف مواد آلی شفافیت آب تولیدی بیشتر می شود و در مواردی باقیمانده ترکیب های شیمیایی مصرف شده در تصفیه آب باعث افزایش مواد جاذب پرتوها در آب می شود و یا در جرم گرفتگی پوشش روی لامپ ها اثر نامطلوب دارد. با افزایش میزان دلمه ساز در بالادست و افزایش عملکرد فیلترها می توان شفافیت آب تولیدی را بهبود بخشید. به هر حال در بهره برداری از تاسیسات پرتو افشانی باید توجه داشت که:

- استفاده از ازن در بالادست میکروبکشی با پرتو باعث می شود که



رسوب و جرم گرفتگی ضرورت دارد لذا تخمین کاهش پرتوافشانی به علت جرم گرفتگی پوشش و زمان کارکرد دستگاه نیز نباید فراموش شود.

- **وضعیت جریان برق:** تاسیسات تولید پرتو فرابنفش نسبت به نوسانات و قطع برق حساسیت دارد. به عنوان مثال تغییرات ولتاژ برق در حدود ۱۰-۱۵ درصد و یا تغییر فرکانس ۲-۵ سیکل ممکن است باعث از بین رفتن قوس الکتریکی لامپ بشود و برای اینکه لامپ دوباره به حالت اول خود برگردد حدود ۱۰ دقیقه زمان مورد نیاز است لذا روی عملکرد میکروبکشی آب اثرات منفی دارد.

استفاده از اطلاعات حاصل از عملیات آزمایشگاهی و تعیین متغیرها مانند میزان پرتو برای غیرفعال سازی میکروب ها می تواند راهنمایی هایی در اختیار طراح قرار دهد.

در انتخاب روش میکروبکشی با پرتو فرابنفش باید توجه داشت که اولاً ترکیب های جانبی کلرزنی تولید نمی شود و ثانیاً می تواند روشی اقتصادی باشد و مهمتر اینکه اهداف میکروبکشی تعریف شود زیرا اگر هدف غیرفعال سازی و بیروس ها باشد میزان انرژی پرتو باید بیشتر از میزان لازم برای ژیاوردیا و کریپتوسپوریدیوم باشد که در بخش میزان پرتو مورد توجه قرار گرفته است. توجه شود که بیمار یزاهای مورد اشاره در مقابل کلر مقاومت نشان می دهند.

🌿 محل نصب تاسیسات پرتو افشانی

محل نصب باید در پایین دست واحدهای فیلتراسیون باشد اما با توجه به ظرفیت تصفیه خانه، ظرفیت فیلترها و امکانات تهیه تاسیسات تولید پرتو می توان روی خروجی هر فیلتر و یا روی لوله مشترک خروجی چند فیلتر و یا تمام فیلترها دستگاه پرتوافشانی را نصب نمود. بنابراین مزایا و محدودیت های آنها باید تعریف شود. به هر حال محل نصب تاسیسات باید قبل از مخزن آب پاک باشد. پس از آن باید کلر به آب افزوده شود تا میزانی میکروبکش در شبکه توزیع آب حفظ گردد. برای تصمیم گیری در مورد محل نصب تاسیسات پرتوافشانی توجهات

زیر ضرورت دارد:

- فضای لازم برای عملیات نصب، تعمیرات و بهره برداری موجود باشد. این محل می تواند در راهرو شیرآلات فیلترها بوده و در این صورت امکانات نصب از نظر کافی بودن فضا و طول لوله های حامل آب فیلتر شده باید مورد توجه قرار گیرد؛
- توجه به افت فشار هیدرولیکی دستگاه که باید به افت فشار تاسیسات پایین دست فیلتر اضافه شود، ضرورت دارد؛
- ویژگی های دستگاه قابل خرید از نظر اندازه، وزن و ظرفیت.

در نهایت برای انتخاب محل نصب تاسیسات پرتوافشانی گزینه های متعددی وجود دارد که نیاز به تعریف و تفسیر دارد.

🌿 معیارهای طراحی

مهمترین معیارهای طراحی تاسیسات پرتوافشانی فرابنفش برای میکروبکشی عبارتند از:

- **میزان آب:** مبنای تعریف ویژگی های تاسیسات، میزان توان میکروبکشی مناسب برای حداکثر لحظه ای جریان آب تصفیه خانه است. در کنار آن حداقل و متوسط جریان آب تولیدی باید تعریف شود. پیش بینی تجهیزات یدک برای هر واحد ضرورت دارد. به علاوه فضای لازم برای اضافه نمودن تاسیسات جدید در صورت افزایش میزان آب تولیدی هم پیش بینی شود.

- **شفافیت آب:** برای تعریف شفافیت آب تولیدی لازم است کیفیت آب خام و تغییرات آن و عملکرد فرایندهای تصفیه مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد. هر چه عملکرد تصفیه خانه در زدایش کدورت و مواد جاذب پرتو از آب بهتر عمل نماید شفافیت آب بیشتر است. درجه شفافیت بر حسب درصد عبور پرتو فرابنفش در ضخامت یک سانتیمتر آب نشان داده می شود.

- **جرم گرفتگی پوشش و کارکرد لامپ:** چون میزان انرژی پرتو فرابنفش تولیدی توسط لامپ با افزایش مدت استفاده کاهش



دارد. در اینجا لازم به یادآوری است که سازنده دستگاه مولد پرتو فرابنفش باید دارای گواهی تایید مراکز رسمی تخصصی باشد که نشان دهد دستگاه برای شرایط ویژه طرح مورد نظر عملکرد لازم را دارد. در امریکا برای آن آیین نامه ویژه‌ای تهیه شده است که در شرایط فعلی توجه به آن در فرایند انتخاب، خرید و نصب سودمند است. به هر حال باید مدارک و اسناد مناقصه تهیه شود و توصیه می‌شود که معماری محل نصب تاسیسات توسط سازنده و با ضمانت سهولت بهره‌برداری و نگهداری مورد تایید قرار گیرد. بخشی از اقلام اصلی اسناد مناقصه عبارتند از:

- تاسیسات اندازه‌گیری میزان جریان آب به هر واحد و یا جریان آب از هر واحد میکروبخشی؛
- تاسیسات تقسیم میزان آب بین واحدهای مختلف که می‌تواند حوضچه تقسیم، سرریز، دریچه و یا شیرهای تنظیم جریان آب باشد؛
- پیش‌بینی فضاهای لازم برای بهره‌برداری و نگهداری از تاسیسات که یا باید توسط سازنده تعریف بشود و یا مورد تایید سازنده قرار گیرد؛
- توجه به وزن دستگاه و نیروهای دینامیکی که ناشی از جریان آب و دیگر عوامل در محل نصب ایجاد می‌شود؛
- پیش‌بینی شیرهای نمونه‌برداری برای آزمایشات لازم روی کیفیت آب و شیرهای قطع و جدا کردن دستگاه از مدار تصفیه برای بازدید و تعمیرات؛
- تاسیسات زهکشی و تخلیه دستگاه برای بازرسی‌ها و تعمیرات؛
- پیش‌بینی امکانات هدایت آب نامناسب به شبکه زهکشی تصفیه‌خانه و یا بازچرخانی؛
- توجهات هیدرولیکی برای حفظ آب در محفظه طبق ویژگی‌های مورد توصیه سازنده؛

می‌یابد لذا باید میزان آن را تعیین و مبنای طراحی‌ها قرار داد. این رقم باید توسط سازنده لامپ ضمانت گردد و برنامه تعویض آنها هم توسط سازنده باید تعریف شود.

از طرف دیگر به علت ایجاد رسوب و بروز خراش در روی سطح پوشش کوارتزی^۱ آن، میزان عبور پرتو و رسیدن آن به آب کاهش پیدا می‌نماید. با پیش‌بینی تمهیدات پاک کردن آن به طور خودکار ممکن است نگرانی کمتر شود اما نتیجه ۱۰۰ درصد مطلوب نیست. لذا این عوامل هم باید در نظر گرفته شده و ضریب اطمینانی در محاسبات لحاظ شود که حدود طراحی ۴۰-۸۰ درصد است بدین معنی که ظرفیت تولید پرتو لامپ باید به ضریب کثیف شدن و کارکرد زمانی تقسیم شود. بنابراین اگر طراحی برای ۴۰ مگاژول در سانتیمتر مربع می‌باشد و اگر مجموع فاکتورهای پیش گفته ۰/۷ باشد، توان لامپ باید ۵۷ مگاژول در سانتیمتر مربع انتخاب شود.

انتخاب دستگاه

برای ارزیابی مقایسه‌ای تاسیسات، لازم است ویژگی‌های دستگاه‌های قابل تهیه مانند نوع محفظه، ابعاد آن، فضای لازم برای نصب و نگهداری، افت فشار، لوله‌کشی‌های قابل قبول سازنده و تاسیسات وابسته به آن تعریف و تعیین شود که یک مرحله از غربال کردن سازندگان تاسیسات است. بنابراین تهیه لیست سازندگان مورد قبول همراه با مشخصات دستگاه‌های آنها گام اول است. یکی از ویژگی‌های تاسیسات مختلف، چگونگی پایش عملکرد میکروبخشی است که در سه روش انجام می‌گیرد:

۱. تنظیم شدت پرتو در نقطه انتخابی؛
۲. نقطه انتخابی پرتو و شفافیت آب؛
۳. میزان پرتو براساس محاسبات انجام گرفته.

انتخاب هر یک از سه روش بستگی به نظر طراح و سازنده دستگاه



- توجه و پیش‌بینی تمهیدات لازم در مورد شکسته شدن لامپ و پوشش آن.
- توجه کامل به توالی عملیات ساختمانی و رابطه آن با نصب تاسیسات به خصوص بخش‌های داخل بتن.

گر چه اهداف ابزار دقیق توسط سازنده دستگاه باید تعریف شود اما لازم است طراح نقشه دیاگرام فرایندها، ابزار کنترل، شاخص‌های مورد اندازه‌گیری و کنترل، تمهیدات اعلام با صدا و نور توسط دستگاه و مدارک لازم برای تهیه و ساخت را در نظر بگیرد.

برق و کیفیت آن

یادآوری گردید که اگر ولتاژ برق تاسیسات تولید پرتو فرابنفش بیشتر از ۱۰-۱۵ درصد نوسان پیدا نماید قوس الکتریکی لامپ قطع می‌شود و برای ایجاد دوباره آن شرایطی لازم است که در جدول شماره ۸-۱۲ نشان داده شده است.

چون اثر دمای محیط روی اعداد جدول تاثیر دارد لازم است با سازنده دستگاه مشورت بشود. در شرایطی که احتمال بروز قطع برق و تغییر نوسانات ولتاژ آن زیاد است تهیه تمهیدات زیر باید مورد مطالعه قرار گیرد:

- تاسیسات تولید برق در محل که اگر مدت قطع برق طولانی شود تاسیسات بتوانند به کار خود ادامه دهند؛

جدول شماره ۸-۱۲- زمان لازم برای شروع و شروع دوباره^۱

نوع لامپ	شروع با دمای کم	شروع با دمای زیاد
لامپ با فشار کم بخار جیوه و بازده بالا ^۲	۲ دقیقه برای گرم شدن	۲ دقیقه برای گرم شدن
	۴-۵ دقیقه برای رسیدن به حداکثر قدرت	۲-۵ دقیقه برای رسیدن به حداکثر قدرت
لامپ با فشار متوسط بخار جیوه ^۳	زمان برای گرم شدن لازم نیست	۵ دقیقه برای سرد شدن
	۵ دقیقه برای رسیدن به حداکثر قدرت	۵ دقیقه برای رسیدن به حداکثر قدرت

- پیش‌بینی خط دوم دریافت نیرو که مستقل از مرکز تولید برق اول است؛
- تاسیسات تنظیم نوسانات برق و یا باطری‌های مناسب؛
- توقف خودکار تحویل آب و یا هدایت آب تولیدی به شبکه فاضلاب و یا بازچرخانی آب به واحدهای قبل از پرتوتابی.

هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری تاسیسات پرتو فرابنفش شامل مصرف برق، تعویض قطعات و نیروی انسانی است. مصرف برق آن بستگی به وضعیت دستگاه، میزان آب، شفافیت آب و برنامه کنترل کیفیت دارد. براساس برآوردهای سال ۲۰۰۲ هزینه بهره‌برداری و نگهداری سالیانه تاسیسات میکروبخشی با پرتو فرابنفش در جدول شماره ۸-۱۳ نشان داده شده است که با افزایش میزان تولید آب هزینه‌ها کاهش پیدا می‌نماید.

جدول شماره ۸-۱۳- برآورد هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری تاسیسات*

ظرفیت (مترمکعب در روز)	حدود ۴ هزار	۴۰ هزار	۴۰۰ هزار
هزینه سالیانه (دلار)	۹۰۰۰	۱۹۰۰۰	۸۶۰۰۰

*. رقم متوسط عبارت است از حدود ۰/۶-۰/۶ دلار بر مترمکعب

طبق ارقام جدول پیش‌گفته هزینه بهره‌برداری و نگهداری این روش میکروبخشی برای تولید ۴۰ هزار متر مکعب آب در روز عبارت است از ۴۷/۰ دلار برای هر متر مکعب.



بیماری‌ای هدف و میزان پرتو

در فرایند انتخاب تاسیسات تولید پرتو فرابنفش برای میکروبی‌کشی لازم است بیماری‌زای هدف و سطح غیرفعال سازی آن تعریف شود. در امریکا بیماری‌زای هدف کریپتوسپوری‌دیوم، ژیا‌ردیا و ویروس‌ها هستند که با آزمایشاتی مورد تصدیق قرار می‌گیرند. به طور چکیده باید یادآوری شود که تهیه دیاگرام تاسیسات هیدرولیکی و دیاگرام تاسیسات ابزار دقیق و حفظ استمرار فرایند میکروبی‌کشی در این واحد از مهمترین توجهات است.

میزان پرتو فرابنفش بر مبنای غیرفعال سازی کریپتوسپوری‌دیوم و ژیا‌ردیا با حدود ۹۹/۹ درصد و غیر فعال سازی ویروس‌ها ۹۹/۹۹ درصد تعریف می‌شود. این میزان پرتوتابی یا برای آبی است که فرایند فیلتراسیون را گذرانیده و یا آبی است که نیاز به فیلتراسیون ندارد. میزان پرتو بدون در نظر گرفتن ضریب اطمینان در جدول شماره ۸-۱۴ نشان داده شده است و لذا با توجه به ضریب اطمینان، دستگاه باید آزمایش و مورد تایید قرار گیرد.

باید یادآوری شود که ارقام جدول شماره ۸-۱۴ برای شرایط کنترل شده آزمایشگاهی است لذا نمی‌تواند در عمل مورد استفاده قرار گیرد. بنابراین ظرفیت تاسیسات تولید پرتو با توجه به ضریب اطمینان باید تعیین شود. در بسیاری از مراجع رقم ۱۰۰ مگاژول در سانتیمتر مربع برای میکروبی‌کشی آب خروجی از فیلترهای دانه‌ای و ۸۰ برای آب خروجی از فیلترهای ممبرانی و ۵۰ برای آب خروجی از تاسیسات اسمز معکوس آب‌های غیرمتعارف به منظور تقویت منابع آب خام شرب آورده شده است. با توجه به اهمیت کاربرد پرتو فرابنفش در

جدول شماره ۸-۱۴ - میزان پرتو فرابنفش لازم بر حسب مگاژول در سانتیمتر مربع برای غیرفعال سازی (بدون ضریب اطمینان)

بیماری‌زا	لگاریتم	۰/۵	۱	۱/۵	۲	۲/۵	۳	۳/۵	۴
ژیا‌ردیا	۱/۶	۲/۵	۳/۹	۵/۸	۸/۵	۱۲	-	-	-
کریپتوسپوری‌دیوم	۱/۵	۲/۱	۳	۵/۲	۷/۷	۱۱	-	-	-
ویروس‌ها	۳۹	۵۸	۷۹	۱۰۰	۱۲۱	۱۴۳	۱۶۳	۱۸۶	

صنعت آب شرب و آب‌های نامتعارف تهیه آیین‌نامه مربوط به ساخت، بهره‌برداری و کنترل دستگاه برای این صنعت یک ضرورت ملی است. در کشورهایی مانند امریکا و کانادا برای استفاده از دستگاه‌های پرتو افشان استانداردهایی تهیه شده است که توجه به آنها برای تهیه استاندارد ملی مفید خواهد بود.

بنابراین به طور چکیده می‌توان گفت هدف از کاربرد میکروبی‌کشی و یا اکسید کننده دو مقوله جدا از هم هستند. منشأ آب که سطحی و یا زیرزمینی است بر روی انتخاب میکروبی‌کشی و یا اکسید کننده دخالت دارد و از کلر، ازن، دی اکسید کلر، پرمنگنات و پرتو فرابنفش می‌توان استفاده نمود که از نظر فنی و اقتصادی باید مورد مقایسه قرار گیرند. در صورتیکه پیش‌گندزدایی و یا پیش اکسیداسیون هدف باشد، معیارهای انتخاب با توجه به کیفیت آب خام مقوله‌ای جدا از میکروبی‌کشی آب تصفیه شده است. در مورد میکروبی‌کشی پس از تصفیه توجه به امکان تولید فراورده‌های جانبی میکروبی‌کشی بسیار با اهمیت است و روش‌های کاهش ایجاد این ترکیب‌های جانبی باید در طراحی تاسیسات تصفیه‌خانه مورد توجه قرار گیرد. در نهایت از فرایندهای حذف آنها مانند گرانول کربن فعال، فیلترهای ممبرانی و اکسیداسیون باید بهره‌برد که در فصل‌های چهارم تا هفتم و این فصل مورد توجه قرار گرفته است.

آزمایش تایید

برای دریافت گواهی عملکرد مطلوب میکروبی‌کشی توسط پرتو فرابنفش باید تاسیسات آن مورد آزمایش قرار گرفته و اثبات شود که



توانایی تولید پرتو را در حد نیاز تاسیسات دارا می‌باشد و در غیرفعال - سازی بیماری‌زای هدف موفق عمل می‌نماید. در این آزمایش لازم است متغیرهای زیر در نظر گرفته شود:

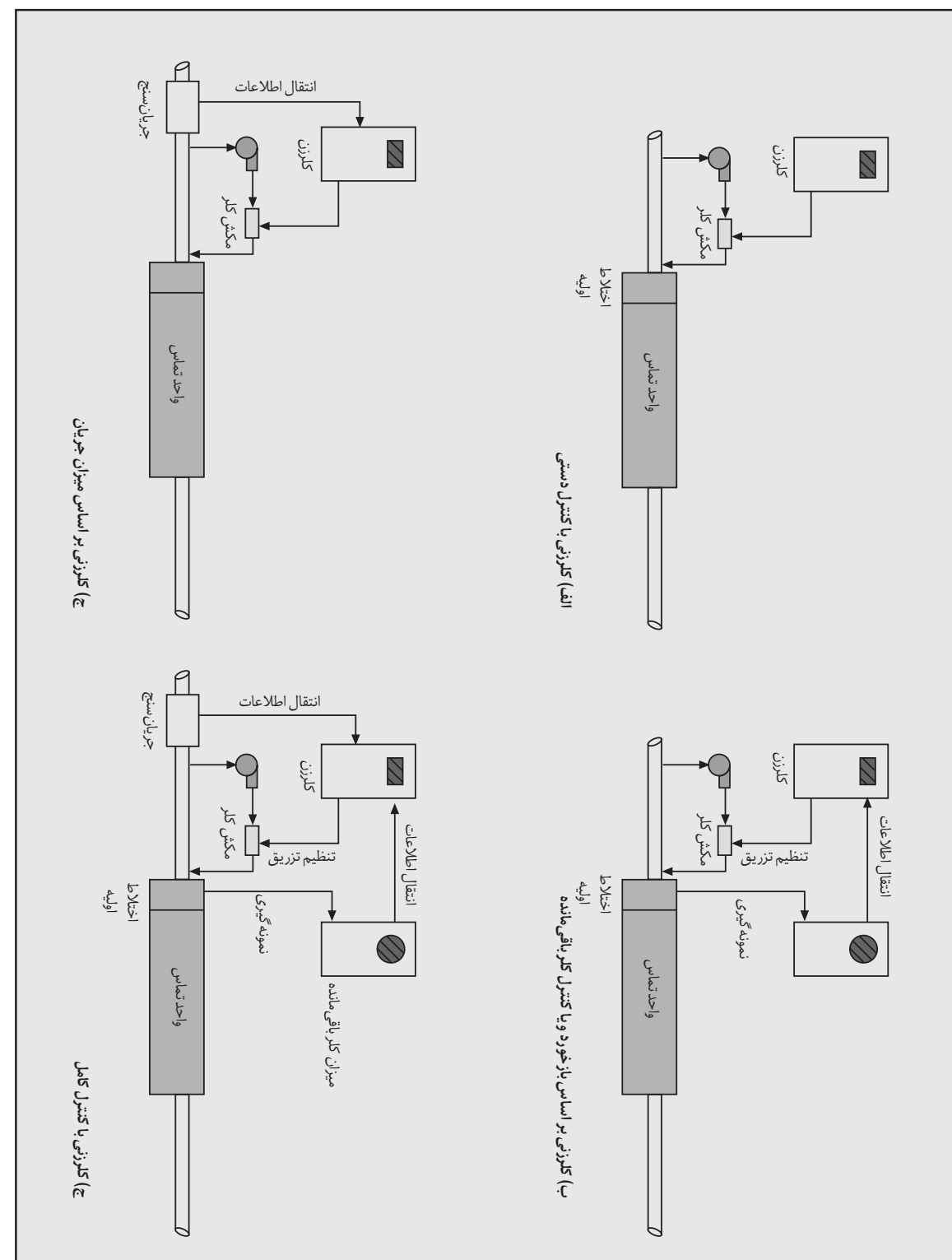
- کاهش تولید پرتو با افزایش مدت کارکرد؛
- جرم گرفتگی روکش لامپ‌ها؛
- تغییر شفافیت آب؛
- نحوه ورود و خروج آب در دستگاه؛
- تغییرات سرعت عبور آب از دستگاه؛
- عمل نکردن لامپ‌ها و تاسیسات دیگر؛
- مشکلات نبود اطمینان به تاسیسات هوشمند.

لازم است ویژگی‌هایی در بهره‌برداری تدوین گردد که قابل پایش باشد تا بتوان از عملکرد مطلوب تاسیسات اطمینان حاصل نمود. در دفترچه راهنمای استفاده از تاسیسات پرتو افشانی فرا بنفش، روش انجام آزمایش تایید توسط سازمان حفاظت محیط زیست امریکای شمالی آورده شده است و عملکرد نامطلوب تاسیسات را نیز در دو دسته گروه بندی نموده است. بنابراین تاسیسات باید به طور مرتب از نظر عملکردی مورد پایش قرار گیرد.

در شکل ۸-۱۵ تاسیسات استفاده از پرتو فرابنفش در میکروبی‌کشی آب برای استخر شنا را نشان می‌دهد. تعداد واحدهای پرتو تابی عبارتست از ۲۱ واحد.

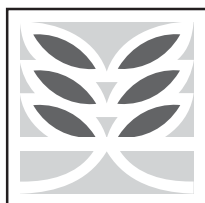
شکل شماره ۸-۱۵ - تاسیسات میکروبی‌کشی یا پرتو فرابنفش در ظرفیت‌های زیاد





فصل ۹

تصفیه لجناب ها در تصفیه خانه آب



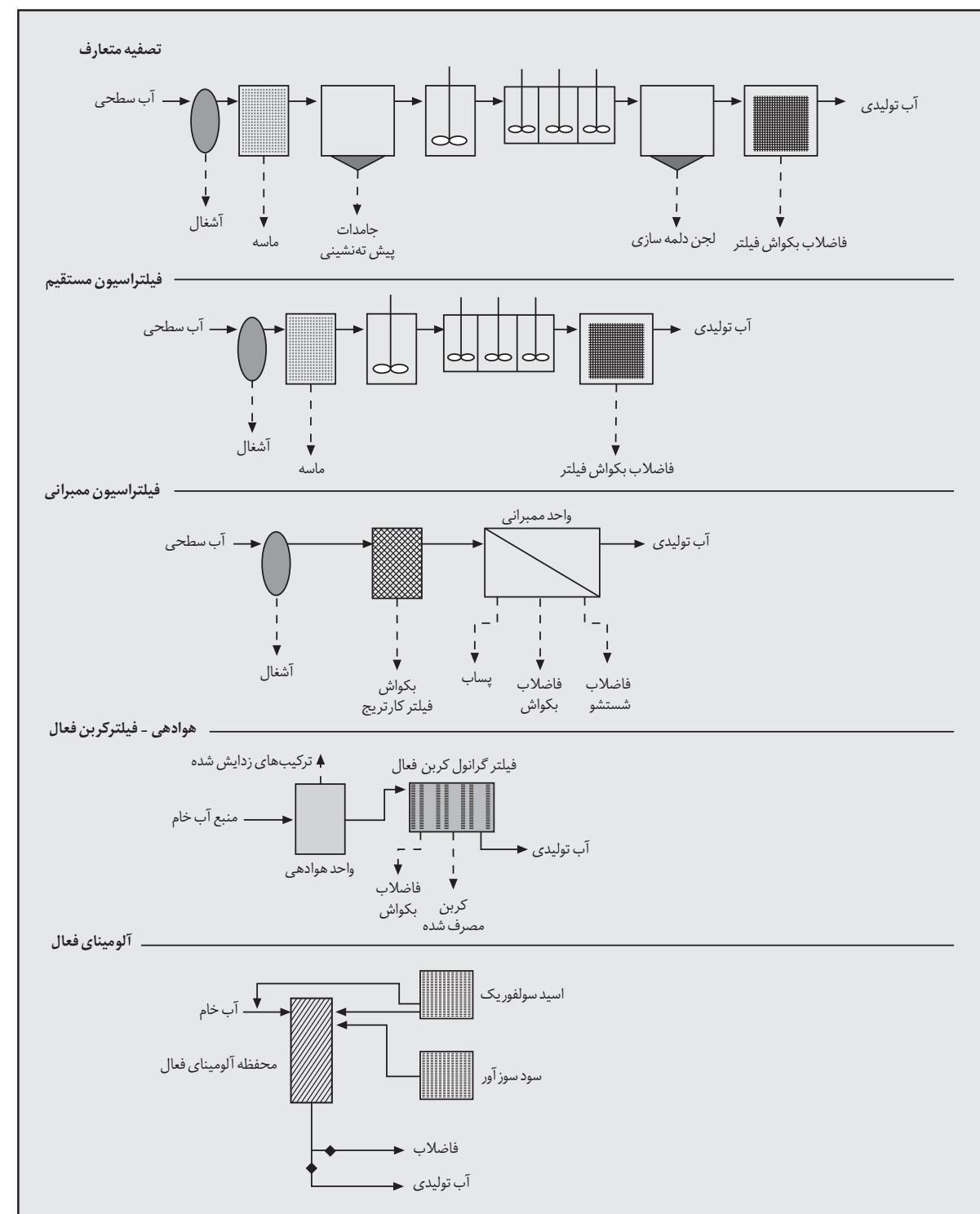
- تعریف و تعیین کیفیت و کمیت فاضلاب ها که در بالا به آنها اشاره گردید؛
 - تعریف گزینه های تصفیه، فرآوری و دفع نهایی و مقایسه اقتصادی آنها و انتخاب گزینه مطلوب؛
 - بررسی تغییر فرایندهای تصفیه آب به منظور کاهش فاضلاب ها و جامدات آنها مانند بازچرخانی آب در تصفیه خانه.
- در شکل شماره ۹-۱ انواع فاضلاب ها در انواع تصفیه خانه های آب به صورت دیاگرام نشان داده شده است که کمیت و کیفیت آنها بستگی به کمیت و کیفیت آب مورد تصفیه و ترکیبات شیمیایی مورد مصرف دارد.
- مجموع جامدات موجود در لجناب و آب بکواش فیلترها، حاصل جامدات آب خام و جامدات موجود در دلمه سازهای مورد استفاده است. لذا ترکیب های آهن و یا آلومینیوم موجود در دلمه ساز از مهمترین ویژگی های لجناب ها هستند. مقوله فاضلاب تولیدی از بکواش فیلترها به طور جداگانه در این فصل مورد توجه قرار می گیرد.

۹-۱- نگاه کلی

- در کاربرد فرایندهای تصفیه آب، در محوطه تصفیه خانه چندین نوع فاضلاب تولید می شود که عبارتند از:
- لجناب حاصل از واحدهای آشغال گیری، دانه گیری و زلال سازی؛
 - فاضلاب حاصل از بکواش فیلترها؛
 - فاضلاب آزمایشگاه ها و کارگاه ها؛
 - فاضلاب های بهداشتی و آب خاکستری^۱ رستوران ها.
- در لجناب ها و فاضلاب بکواش فیلترها، جامدات آب خام و جامدات دلمه ساز مورد استفاده با غلظت بیشتری وجود دارد که برای دفع آنها تمهیداتی باید پیش بینی شود. این تمهیدات شامل تغلیظ، تصفیه و آبگیری می باشد که در این بخش مورد بحث قرار می گیرد.
- لازم است با توجه به مقررات و آیین نامه های حاکم در کشور طرح دفع نهایی فاضلاب های تصفیه خانه آب تهیه شود و در صورت نبود آن باید از مقررات سازمان های بین المللی و کشورهای دیگر استفاده شود. در تمام این دسته از مقررات گام های اساسی زیر برداشته می شود:

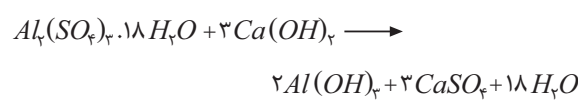
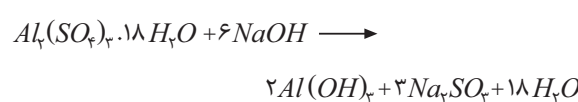
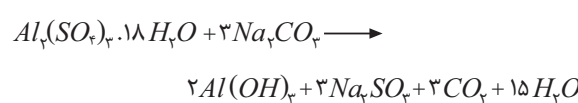
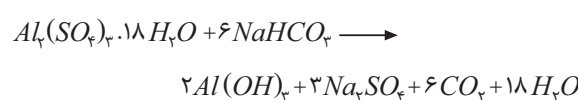
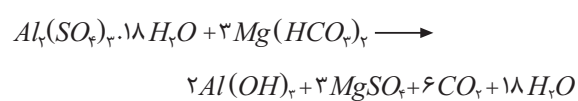
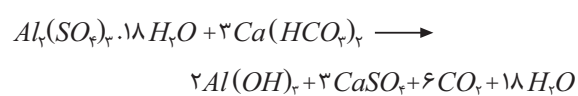
1. Gray Water

شکل شماره ۹-۱- فرایندهای تصفیه آب و فاضلاب‌های صنعتی تولید شده



۹-۲- لجناب زلال‌سازی

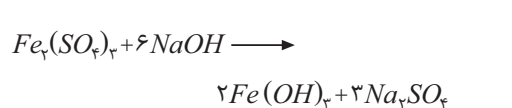
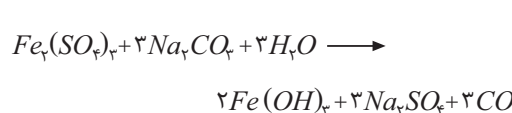
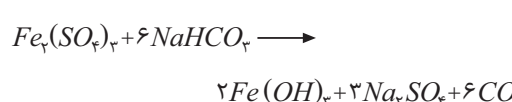
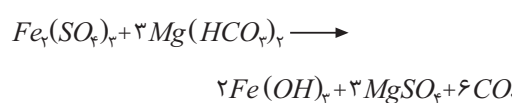
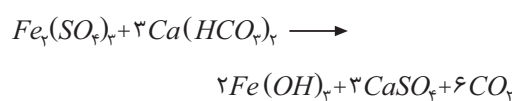
حاصل کاربرد دلمه‌ساز با پایه آهن و یا آلومینیوم، هیدروکسید دو فلز خواهد بود که رسوب نموده و همراه با آن‌ها سیلت، رس، مواد آلی و معدنی دیگر نیز ترسیب می‌شوند که در فصل‌های مختلف سال یکسان نبوده و دارای ویژگی‌های متغیری خواهد بود. به‌طور کلی غلظت جامدات در لجناب حاصل از دلمه‌ساز با پایه آهن بیشتر از نوع دلمه‌ساز با پایه آلومینیوم است و با افزودن آهک و یا پلیمر غلظت جامدات در هر دو نوع لجناب افزایش می‌یابد. با افزودن سولفات آلومینیوم به آب برای دلمه‌سازی واکنش‌های زیر رخ می‌دهد:



لجن حاصل از کاربرد آلومینیوم ژلاتینی بوده و به سادگی فشرده نمی‌شود و غلظت جامدات آن در لجناب واحد ته‌نشینی ۵/۰-۲ درصد

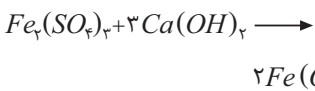
می‌باشد. برای هر میلی‌گرم دلمه‌ساز بکار رفته ۴۴/۰ میلی‌گرم هیدروکسید آلومینیوم تولید می‌شود، مشروط به اینکه غلظت آن در آب خروجی از تصفیه‌خانه صفر فرض شود. برای تعیین میزان دلمه‌ساز لازم نیاز به انجام عملیات جارتست^۱ می‌باشد که تحت تاثیر دما و پی‌اچ آب و کدورت آن قرار دارد.

تناسب جامدات آب خام و کدورت آب در محدوده ۱-۲ قرار دارد و چون اندازه‌گیری کدورت راحت‌تر و سریع‌تر است معمولاً کدورت اندازه‌گیری شده و بر حسب آن تی‌یو گزارش می‌شود. به هر حال محاسبه جامدات در لجناب با تعیین جامدات آب خام و جامدات دلمه‌ساز افزوده شده قابل محاسبه و پیش‌بینی است. لجن حاصل از کاربرد دلمه‌ساز آهن، صرف نظر از مصرف سولفات فریک و یا سولفات فرو همیشه هیدروکسید فریک نامحلول می‌باشد و معادلات شیمیایی آن به قرار زیر است:

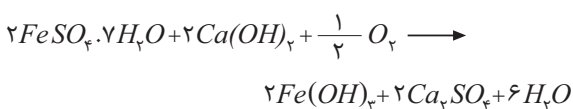
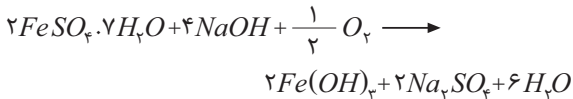
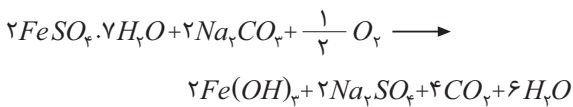
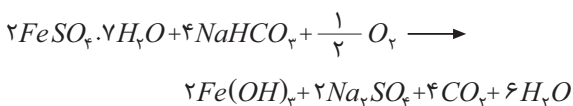
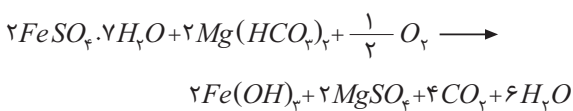
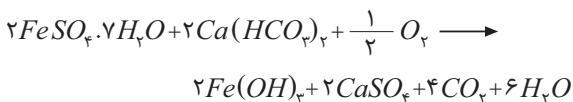




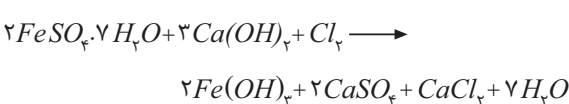
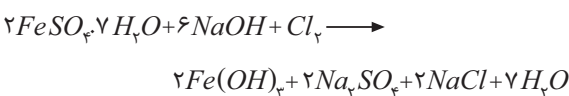
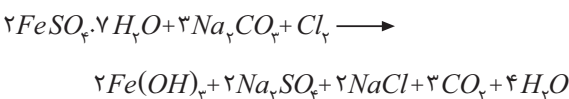
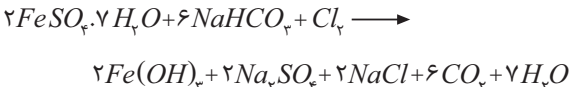
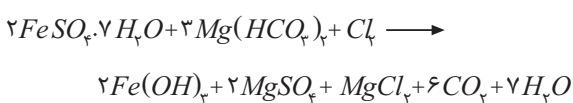
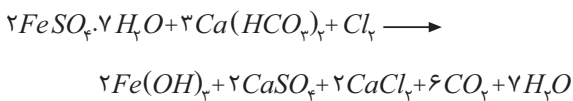
۱- سولفات فریک:



۲- سولفات فرو:



در بعضی موارد با کاربرد کلر، سولفات فرو تبدیل به سولفات فریک می‌شود و افزایش آن به آب مشابه معادلات بالا نخواهد بود و به شرح زیر می‌باشد:



برای هر میلی‌گرم در لیتر آهن افزوده شده حدود ۲/۹ میلی‌گرم در لیتر جامدات تولید می‌شود. چنانکه اگر کدورت آب خامی معادل ۱۰ ان تی یو و میزان دلمه‌ساز با پایه آهن (سولفات فریک) و بر حسب آهن مورد نیاز ۱۵ میلی‌گرم در لیتر باشد، میزان جامدات تولید شده عبارت است از:

$$(15 \times 2/9) + (10 \times 1/5) = 5.8/5 \text{ mg/l}$$

که فرض بر این است که برای هر ان تی یو ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر جامدات مولد کدورت در آب حضور دارد. در مورد ترسیب املاح محلول آهن، منگنز، کلسیم و منیزیم نیز در بخش‌های ویژه آنها گفتگو شده است. میزان نسبی لجناب در تصفیه‌خانه بستگی به نوع فرایندها دارد که در جدول شماره ۹-۱ آورده شده است.

در این فاضلاب، بیماریزاها، جامدات معلق، محصولات جانبی کلرزنی، مواد آلی طبیعی، تی‌اوسی و ترکیب‌های مولد طعم و بو وجود دارد که تخلیه آن به منابع آب باعث آلودگی آب می‌شود. بنابراین تصفیه و دفع آن توجهاتی می‌طلبد.

تشخیص کیفیت لجناب تصفیه‌خانه از اولین گام‌های مطالعه برای تصفیه و دفع آن می‌باشد. ویژگی‌های لجناب حاصل از کاربرد دلمه‌ساز با پایه آلومینیوم و یا آهن به دو دسته فیزیکی و شیمیایی تقسیم می‌شود. ویژگی‌های فیزیکی آن عبارت است از:

جدول شماره ۹-۱- میزان لجناب نسبت به میزان آب مورد تصفیه

فرایند	حدود (درصد)
با کاربرد دلمه‌سازها	۰/۳ - ۰/۰۳
آب بکواش فیلترها	۵ - ۲
آب بکواش میکروفیلترها	۸ - ۲
پساب اسمز معکوس	۵۰ - ۱۰
سختی‌گیری با آهک	۶ - ۰/۳
سختی‌گیری با تبادل یون	۱۰ - ۱/۵

• ویسکوزیته؛

• وزن مخصوص خشک؛

• سرعت ته‌نشینی جامدات؛

• ویژگی از دست دادن آب.

ویژگی‌های شیمیایی آن عبارت است از:

• پی‌اچ؛

• جامدات؛

• درصد سیلیس و جامدات بدون واکنش؛

• مواد آلی تبخیرپذیر.

ویژگی‌های پیش‌گفته در جدول شماره ۹-۲ آورده شده است.

جدول شماره ۹-۲- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی لجناب‌های تصفیه‌خانه متعارف آب

ویژگی	واحد	دلمه‌ساز آلومینیوم	دلمه‌ساز آهن
حجم	درصد نسبت به آب تصفیه شده	۰/۳ - ۰/۱	۰/۳ - ۰/۱
مجموع جامدات	درصد	۴ - ۰/۱	۳/۵ - ۰/۲۵
دانسیته خشک	کیلوگرم در مترمکعب	۱۲۰۰ - ۱۵۰۰	۱۸۰۰ - ۱۲۰۰
دانسیته تر	کیلوگرم در مترمکعب	۱۱۰۰ - ۱۰۲۵	۱۲۰۰ - ۱۰۵۰
چسبندگی ^۱ در ۲۰ درجه سلسیوس	نیوتن - ثانیه در متر مربع	۰/۰۰۴ - ۰/۰۰۲	۰/۰۰۴ - ۰/۰۰۲
سرعت ته‌نشینی اولیه	متر در ساعت	۵/۵ - ۲/۲	۵ - ۱
بی‌اودی	میلی‌گرم در لیتر	۳۰ - ۳۰۰	۳۰ - ۳۰۰
سی‌اودی	میلی‌گرم در لیتر	۳۰ - ۵۰۰۰	۳۰ - ۵۰۰۰
پی‌اچ	واحد پی‌اچ	۸ - ۶	۸ - ۶
اکسید آلومینیوم	درصد	۴۰ - ۱۵	-
آهن	درصد	-	۲۱ - ۴
سیلیس و جامدات مشابه	درصد	۷۰ - ۳۵	۷۰ - ۳۵
مواد آلی	درصد	۱۵ - ۵	۱۵ - ۵

1. Viscosity



جدول شماره ۹-۳- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی لجناب‌سختی‌گیری توسط آهک

ویژگی		واحد	دلمه‌ساز آلومینیوم
فیزیکی	حجم	درصد نسبت به آب تصفیه شده	۶-۰/۳
	مجموع جامدات	درصد	۱۵-۲
	دانسیته تر	کیلوگرم در مترمکعب	۱۱۰۰
	دانسیته خشک	کیلوگرم در مترمکعب	۱۹۲۰
	چسبندگی در ۲۰ درجه سلسیوس	نیوتن - ثانیه در متر مربع	۰/۰۰۷-۰/۰۰۵
شیمیایی	سرعت ته‌نشینی اولیه	متر در ساعت	۳/۶-۰/۴
	بی‌اودی	میلی‌گرم در لیتر	خیلی ناچیز
	سی‌اودی	میلی‌گرم در لیتر	خیلی ناچیز
	مجموع جامدات	میلی‌گرم در لیتر	۱۵-۲
	پی‌اچ	واحد پی‌اچ	۱۱/۵-۱۰/۵
جامدات	کربنات کلسیم	درصد	۸۰-۴۰
	سیلیس و جامدات مشابه	درصد	۱۲-۸
	مواد آلی	درصد	۸-۵

و در جدول ۹-۳ ویژگی‌های لجناب حاصل از سختی‌گیری توسط آهک آورده شده است. ویژگی‌های متعارف فیزیکی و شیمیایی آب بکواش فیلترهای دانه‌ای و فیلترهای ممبرانی در جدول شماره ۹-۴ نشان داده شده است.

۹-۳- روش‌های دفع لجناب‌ها

در دفع لجناب تصفیه‌خانه‌های آب شرب گزینه‌های زیر وجود دارد که در شرایط مختلف انتخاب یکی از آنها مناسب است:

- تخلیه به آب‌های جاری؛
- تخلیه به شبکه جمع‌آوری فاضلاب شهر؛
- تخلیه به برکه‌های ذخیره و تبخیر؛
- فرآوری و دفن در زمین؛

- استفاده دوباره با نام بازچرخانی.

تخلیه به آب‌های جاری

این روش دفع نهایی با معیارهای حفظ محیط زیست و جلوگیری از آلودگی منابع آب در تعارض است زیرا در لجناب آلاینده‌های شیمیایی و میکروبی وجود دارد که در جدول‌های پیش‌گفته نشان داده شد. اگر دلمه‌ساز مورد مصرف با پایه آلومینیوم باشد، تخلیه آلومینیوم، با حفظ آب‌ها از آلودگی مغایرت دارد. لذا با توجه به مقررات جلوگیری از آلودگی منابع آب، این روش دفع با محدودیت‌های زیادی روبروست. لجناب حاصل از واحدهای پیش‌ته‌نشینی و بدون مصرف مواد دلمه‌ساز دارای این حد مخاطرات نیست.



جدول شماره ۹-۴- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب بکواش فیلترها

ویژگی		واحد	فیلتر دانه‌ای	فیلتر ممبرانی
فیزیکی	حجم	درصد نسبت به آب تصفیه شده	۵-۱	۸-۲
	مجموع جامدات	میلی‌گرم در لیتر	۱۰۰۰-۱۰۰	۱۰۰۰-۱۰۰
	چگالی	نسبت به آب	۱/۲۵-۱	۱/۲۵-۱/۰
	چسبندگی در ۲۰ درجه سلسیوس	نیوتن - ثانیه در مترمربع	۷/۸-۷/۲	۰/۱۵-۰/۰۶
	سرعت ته‌نشینی اولیه	متر در ساعت	۰/۹۵-۰/۰۶	۱۰-۲
شیمیایی	بی‌اودی	میلی‌گرم در لیتر	۱۰-۲	۱۰-۲
	سی‌اودی	میلی‌گرم در لیتر	۲۰۰-۲۰	۲۰۰-۲۰
	پی‌اچ	واحد پی‌اچ	۷/۸-۷/۲	۷/۸-۷/۲
جامدات	اکسید آلومینیوم	درصد	۵۰-۲۰	۵۰-۲۰
	آهن ^۱	درصد	۵۰-۲۰	۵۰-۲۰
	سیلیس و جامدات مشابه	درصد	۴۰-۳۰	۴۰-۳۰
	مواد آلی	درصد	۲۲-۱۵	۲۲-۱۵

تخلیه به شبکه جمع‌آوری فاضلاب‌ها

در بیشتر شرایط روشی است که دارای توجیه اقتصادی است. زیرا وقتی لجناب تصفیه‌خانه که بیشتر حاوی جامدات معدنی است با فاضلاب شهری که بیشتر حاوی جامدات آلی است مخلوط گردد کار دفن و یا استفاده دوباره را آسان‌تر می‌نماید. در صورتیکه قرار است از جامدات تولیدی تصفیه‌خانه فاضلاب در کشاورزی استفاده شود، جامدات تولیدی دارای ویژگی‌های بهتری می‌شود. البته تصمیم‌گیری باید با توجه به مقررات و نظرات مسئولین بهره‌برداری از تاسیسات جمع‌آوری و تصفیه‌خانه فاضلاب منطقه انجام گیرد. زیرا کمیت و کیفیت و میزان تغییرات آن در زمان تخلیه نیاز به توجهات زیادی دارد و بار جامدات و سیالات تصفیه‌خانه در مواردی ممکن است دچار

تغییرات قابل ملاحظه‌ای گردد.

توجه شود که بخش اعظم جامدات تصفیه‌خانه آب تجزیه بیولوژیکی نمی‌شود و لذا کار بهره‌برداری از هاضم‌های تصفیه‌خانه فاضلاب را با اختلال روبرو می‌نمایند به علاوه ترسیب جامدات آن در لوله‌ها و پمپ‌ها هم ممکن است مشکل آفرین شود. گرچه محدودیت‌های بالا ممکن است وجود داشته باشد اما در واحد ته‌نشینی اولیه تصفیه فاضلاب، حضور لجناب تصفیه‌خانه آب به ته‌نشینی کمک می‌نماید. در مورد تخلیه لجناب فرایندهای سختی‌گیری باید توجه داشت که خطر ترسیب آنها در بخش‌های مختلف تاسیسات فاضلاب وجود دارد. انجام عملیات آزمایشی^۲ در تصمیم‌گیری مورد توصیه است.

1. Pilot

۲. در صورت کاربرد دلمه‌ساز با پایه آهن

تخلیه به برکه‌های ذخیره و تبخیر

در صورتیکه در اطراف محل استقرار تصفیه‌خانه آب، زمین کافی وجود دارد می‌توان با ایجاد برکه دائمی لجناب را به آن تخلیه نمود و با گذشت زمان جامدات آن به حدود ۶-۱۰ درصد می‌رسد لذا در حدود ۵/۰ لیتر حجم برای هر مترمکعب آب تولیدی ضرورت دارد. این حجم پیش‌بینی شده برای ۱۰ سال بهره‌برداری کافی است. البته پیش‌بینی سرریز نیز ضرورت دارد. می‌توان این حجم را در دو و یا سه برکه در نظر گرفت تا به نوبت نسبت به تخلیه جامدات آنها برنامه‌ریزی نمود.

فراوری و دفن در زمین

در صورتیکه گزینه دفن جامدات مورد توجه قرار می‌گیرد، لازم است لجناب با روش‌های مختلف آبیگری شده و به صورت جامد در آید که به کیک معروف است. در گزینه دفن می‌توان آن را همراه با مواد زاید جامد شهری دفن نمود. لذا توجه به مقررات دفن فضولات جامد شهر ضرورت دارد که خارج از موضوع کتاب است. پروژه‌های استفاده دوباره و تولید محصولات قابل استفاده باید کم‌کم جای روش دفن را بگیرد.

استفاده دوباره با نام باز چرخانی

به موازات توسعه دانش و فناوری استفاده دوباره از جامدات تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، استفاده دوباره از جامدات لجناب تصفیه‌خانه‌های آب هم مورد توجه قرار گرفته است. تقویت اراضی کشاورزی، مراتع و اراضی جنگلی از کاربردهای قابل توجه است. وجود عناصری مانند آهن خود یک ویژگی تقویت کننده زمین است. گفته می‌شود که افزودن جامدات تصفیه‌خانه‌های آب به زمین نقش جذب کننده فسفر کود را داشته و در زهاب‌ها کمتر حضور آن مشاهده می‌شود و لذا نوعی حفاظت از آلودگی منابع آب هم در نظر گرفته



می‌شود. کیک تصفیه‌خانه آب با کیک لجن تصفیه‌خانه‌های فاضلاب^۱ می‌توانند پس از اختلاط مورد استفاده در کشاورزی قرار گیرند. مدارک موجود نشان می‌دهد که تناسب یک به سه آنها ترکیب مطلوبی را بوجود می‌آورد.

در بعضی شرایط، جامدات کیک تصفیه‌خانه آب همراه با لجن تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و مواد آلی دیگر و پس از اختلاط با محصولات فرایند کامپوست مورد استفاده دوباره قرار گرفته است. جامدات تصفیه‌خانه آب از نظر رطوبت و پی‌اچ و ایجاد حجم در عملیات کامپوست نیز مفید است. جامدات حاصل از کاربرد دلمه‌سازها دارای سیلت و رس است که در تولید آجر ساختمانی کاربرد دارد. گرچه هنوز دارای توجیهات اقتصادی نیست اما بارها مورد استفاده آزمایشی قرار گرفته است. در موارد محدودی از آن برای تولید سیمان نیز استفاده شده است. به منظور کاهش جامدات لجناب اندیشه باز یافت آهک، آلومینیوم و آهن دلمه‌سازهای به کار رفته مورد توجه قرار گرفته است که هنوز در مراحل تحقیق بوده و در مواردی مورد استفاده قرار گرفته است که به آن پرداخته می‌شود.

به هر حال برای دفع هر نوع فاضلاب تصفیه‌خانه‌های آب مانند تاسیسات نمک‌زدایی، سختی‌گیری و تصفیه متعارف نیاز به تدوین آیین‌نامه‌هایی می‌باشد تا طراحان در مطالعات امکان‌سنجی بتوانند روش‌های مقبول را مورد مقایسه فنی – اقتصادی قرار دهند.

۹-۴- معیارها و توجهات اساسی

یکی از بخش‌های مطالعات امکان‌سنجی تصفیه‌خانه آب روش‌های دفع نهایی فاضلاب‌های تصفیه‌خانه می‌باشد که در بعضی از شرایط هزینه آن روی تصمیم‌گیری‌ها اثرات قابل ملاحظه‌ای دارد و لذا مورد بحث قرار می‌گیرد. بخش‌های اساسی مربوط به لجناب‌ها عبارت است از:



- جابجایی لجناب در محوطه تصفیه‌خانه و خارج از محوطه؛
- روش‌های آبیگری و کاهش حجم و تولید کیک لجن؛
- روش‌های دفع نهایی؛
- باز یافت و استفاده دوباره از مواد دلمه‌ساز؛

کاهش حجم لجناب

در مرحله انجام مطالعات مربوط به یک تصفیه‌خانه آب، تعریف گزینه دفع نهایی لجناب با کمترین هزینه باید یکی از اهداف باشد. دو خط فکری در اینجا وجود دارد، اول کاهش تولید لجناب و دوم باز یافت دلمه‌ساز و آهک بکار رفته است. به عنوان مثال یکی از راهکارها در فرایند کاهش تولید لجناب واحد ته‌نشینی، استفاده از پلیمر است که باعث می‌شود دلمه‌ساز کمتری بکار رود.

در مواردی میزان پلیمر لازم در حدود ۲ درصد دلمه‌ساز آلومینیوم است که باعث مصرف کمتر سولفات آلومینیوم و تولید لجن کمتر می‌شود. در مورد سختی‌گیری، در صورتیکه باید منیزیم آب نیز زدایش شود با دو بخش نمودن جریان با توجه به حداقل غلظت مجاز منیزیم، می‌توان آب کمتری را به واحد زدایش منیزیم هدایت نمود و در نتیجه آهک کمتری بکار برد و لجن کمتری تولید نمود. یا اگر دو منبع آب خام در دسترس است، بررسی لجناب حاصل از تصفیه دو آب باید مورد مطالعه قرار گیرد تا منبعی انتخاب شود که لجناب کمتری تولید می‌نماید.

توجهات هیدرولیکی

برای انتقال لجناب حاصل از زلالسازی تصفیه‌خانه آب به واحدهای پایین دست نیاز به لوله، شیر، پمپ و غیره می‌باشد و لذا انجام محاسبات هیدرولیکی ضروری است. از معادله معروف کاربردی هیزن ویلیامز می‌توان استفاده نمود و این در صورتی است که غلظت جامدات

در آن ۲-۳ درصد بوده و دمای آب هم در محدوده حداکثر حدود ۲۰ درجه سلسیوس باشد، و اگر غلظت مواد معلق آن بیشتر از حدود ۳ درصد شود افت فشار تابع میزان جریان نبوده و ضریب چسبندگی آن هم ثابت نیست و با افزایش میزان جامدات آب، افت فشار به صورت تصاعدی افزایش می‌یابد. در کاربرد معادله پیش گفته در این شرایط، ضریب C در محدوده ۸۰ انتخاب می‌شود. پمپ انتخابی هم باید از انواع ضد انسداد باشد. پمپ‌های سانتریفیوژ ارشمیدوسی^۱ مورد توصیه است که قابل دسترسی است. به طور کلی پمپ‌های جابجایی^۲ مثبت مانند دیافراگمی بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۹-۵- روش‌های تصفیه لجناب‌ها

به طور کلی سه فرایند در کار تصفیه لجناب‌ها مورد استفاده است که عبارتند از تغلیظ، آبیگری و خشک کردن که برای هر یک صنایع مختلفی وجود دارد و برای انتخاب آن امکانات محل و توجهات اقتصادی ضرورت دارد. درصد جامدات در محصول فرایند تغلیظ تا سقف ۸ درصد، در آبیگری تا سقف ۳۵ درصد و در خشک کردن به بیش از ۶۰ درصد می‌رسد. روش‌های تصفیه لجناب‌ها پس از مبحث آب‌بکواس فیلترها به تفصیل خواهد آمد.

آب‌بکواس فیلترها

به طور متعارف میزان آب‌بکواس فیلترهای دانه‌ای یک تصفیه‌خانه آب در حدود ۵/۱-۲ درصد آب تولیدی تصفیه‌خانه است که برای دفع آن گزینه‌های زیر وجود دارد.

- تخلیه به مسیل و یا رودخانه نزدیک تصفیه‌خانه: چون میزان جامدات (جدول شماره ۹-۴) در این فاضلاب‌ها زیاد نیست، معمولاً تخلیه آن به رودخانه و یا منابع آب‌های سطحی نزدیک مشکلی ایجاد نمی‌نماید اما با رشد انگیزه‌های حفظ محیط‌زیست

1. Screw-Centrifugal

2. Positive Displacemant

۱. مقوله استفاده از کیک تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مورد بحث نیست.



- پیش بینی شیب لازم در کف و به طرف حوضچه مکش پمپ ها؛
- پیش بینی پمپ های مناسب برای تخلیه رسوبات؛
- پیش بینی چند واحد به صورت موازی و با امکانات تخلیه رسوبات؛
- کاهش تناسب سطح به عمق برای کاهش فرایند ته نشینی.

ته نشینی و تغلیظ

در برنامه ریزی برای بازچرخانی آب بکواش فیلترها در تصفیه خانه دو نگرانی وجود دارد که عبارتند از افزایش غلظت کیست های آب خام و فرار کدورت از فیلترها. اما مطالعات نشان می دهد که اگر واحد متعادل کننده برای واحدهای تصفیه این آب در نظر گرفته شود و میزان بازچرخانی آن نسبت به ورودی آب خام تحت کنترل قرار گیرد این نگرانی کم اهمیت خواهد شد. به علاوه در پایین دست واحد متعادل سازی، واحد ته نشینی – تغلیظ قرار دارد که در مبحث ته نشینی به آن پرداخته شده است. بار سطحی این واحد برای آب بکواش فیلترها حدود ۲۰-۶۰ متر در روز است. در یک مطالعه آزمایشی در امریکا نشان داده شده است که با بار سطحی حدود ۴۰ متر در روز مجموع جامدات معلق از ۱۰۰ به ۵ میلی گرم در لیتر کاهش پیدا نموده است. لازم به یادآوری است که واحد تغلیظ نقش قابل ملاحظه ای در تصفیه این آب برای بازچرخانی دارد. در تحقیقات دیگری نشان داده شده است که ته نشینی با بار سطحی حدود ۶-۲۲ متر در روز در زدایش ذرات معلق ۲-۵ میکرون دارای عملکرد ۹۰ درصد است. در تحقیقات دیگر نشان داده شده است که با کاربرد کمک دلمه ساز مانند پلیمر آنیونیک قبل از واحد تغلیظ عملکرد ته نشینی مطلوب تر خواهد شد. باید یادآوری شود که میکروفیلترها و اولترافیلترها که در فصل هفتم مورد توجه قرار گرفتند در تصفیه آب بکواش فیلترها دارای جایگاه قابل توجهی شده اند. در زمینه بازچرخانی آب بکواش فیلترها سازمان حفاظت محیط زیست امریکای شمالی مقررات و دستورعمل هایی تدوین نموده است که

و جلوگیری از آلودگی منابع آب این روش کم کم با محدودیت هایی روبرو می شود. بنابراین تدوین مقررات برای این کار ضرورت دارد.

۲. تخلیه به شبکه جمع آوری فاضلاب: در صورتیکه واحد متعادل – کننده در بالادست تخلیه پیش بینی شود، این روش دفع یکی از گزینه های قابل مطالعه است. با توجه به مقررات حاکم بر مدیریت شبکه جمع آوری فاضلاب شهر این روش قابل اجراست.

۳. متعادل سازی و بازچرخانی: به منظور صرفه جویی در مصرف آب و با توجه به مقررات موجود، بازچرخانی این آب در تصفیه خانه های آب مورد توجه قرار گرفته و برای آن در امریکا مقرراتی تدوین گردیده است.

چون میزان لحظه ای آب حاصل از بکواش فیلتر زیاد است اولین واحد برای تصفیه و بازچرخانی واحد متعادل سازی است. واحد متعادل سازی می تواند به شکل مربع مستطیل و یا دایره ای باشد. اما فضای موجود در هر محل شکل آن را تعریف می نماید. برای طراحی واحد متعادل سازی اطلاعات زیر ضرورت دارد.

- حجم و میزان آب حاصل از بکواش هر فیلتر؛
- تعداد فیلترهایی که در هر ۲۴ ساعت مورد شستشو قرار می گیرند؛
- میزان خروجی از واحد متعادل ساز به واحدهای پایین دست برای تصفیه.

لذا ابعاد و تعداد فیلترهای یک تصفیه خانه و برنامه انجام بکواش آنها برای تعیین میزان و حجم آب حاصل از آن ضرورت دارد. برای تعیین حجم حوضچه متعادل کننده می توان منحنی تجمعی^۱ ورودی و خروجی آب را ترسیم و حجم لازم را تعیین نمود. چون جامدات معلق و به ویژه مصالح بستر فیلتر خارج شده با آب بکواش نیز در حوضچه ته نشین می شود لذا برای جلوگیری از تجمع آنها در حوضچه اقدامات زیر ضرورت پیدا می نماید.



شاخص زدایش کریپتوسپوریوم ملاک قضاوت قرار می گیرد. علاوه بر ته نشینی و فیلترهای ممبرانی استفاده از پرتو فرابنفش هم در این تصفیه جایگاه خود را یافته است.

پرتو فرابنفش

میکروبکشی توسط پرتو فرابنفش یک واکنش فیزیکی است که با توجه به رشد تکنولوژی این صنعت، استفاده از آن متعارف تر گردیده است. پرتو فرابنفش برای نابودی باکتری ها، ویروس ها، ژیا ردیا و کریپتوسپوریوم کاربرد دارد. البته برای عملکرد مطلوب نیاز به توجهات زیاد است که در فصل هشتم به آن پرداخته شده است. هر چه میزان جامدات معلق در آب بیشتر شود، عملکرد پرتو کاهش پیدا می نماید لذا کدورت آب باید همیشه کمتر از ۵/۰ ان تی یو باشد تا عملکرد پرتو بهینه شود. زلال سازی آب بکواش فیلترها گام پیش نیاز کاربرد پرتو می باشد.

با توجه به عملکرد زلال سازها که می تواند در زدایش کدورت به ۹۰ درصد برسد، در بیشتر شرایط کاربرد پرتو در پایین دست آن ضرورت ندارد مگر آنکه نگرانی به علت حضور کریپتوسپوریوم باشد. به هر حال عملیات آزمایشی برای این تصمیم گیری ضرورت دارد زیرا رفتار آب بکواش فیلترها در فرایندهای تصفیه برای بازچرخانی نمی تواند پیش بینی بشود.

روند توجه به کاربرد فیلترهای ممبرانی شبیه توجه به پرتو فرابنفش در این کار می باشد. چون این فیلترها دارای توانایی زدایش ذرات معلق و در نتیجه تولید آبی با کدورت ناچیز هستند و در تصفیه آب بکواش فیلترها کاربرد پیدا نموده است. در این گروه میکروفیلترها، اولترافیلترها قرار دارند که در فصل هفتم به آن پرداخته شده است.

ازن

سالهاست که از ازن برای نابودی بیماریزها برای تولید آب شرب

استفاده می شود. ازن در نابودی کریپتوسپوریوم هم عملکرد مطلوبی دارد. برای استفاده باید آن را در محل تصفیه خانه تولید نمود. کاربرد آن برای میکروبکشی آب حاصل از بکواش فیلترها دارای توجیهات فنی است. به علاوه ترکیبی اکسید کننده است و لذا روی ترکیب های شیمیایی هم اثر دارد. در نابودی قارچ ها، باکتری ها و ویروس ها با سرعت عمل می نماید. بدین ترتیب که دیواره سلول را پاره کرده و سلول توانایی ادامه حیات را از دست می دهد و از این جهت کارش شبیه کلر زنی نیست زیرا کلر باید به داخل سلول نفوذ نماید تا آن را نابود کند. در فصل هفتم به میکروبکش ها و اکسیدکننده ها پرداخته شده است.

۹-۵-۱- فرایندهای تغلیظ

گام اول در کاهش لجناب تصفیه خانه آب فرایند تغلیظ آن می باشد. آب حاصل از آن که دارای جامدات کمتری است می تواند برای بازچرخانی به ابتدای تصفیه خانه هدایت شود و لجناب تغلیظ شده برای تغلیظ بیشتر مورد آبیگری قرار گرفته و یا برای دفع نهایی برنامه ریزی شود. صنعت تغلیظ لجناب را در سه گروه می توان تقسیم نمود:

- ثقلی؛
- شناور سازی؛
- مکانیکی؛

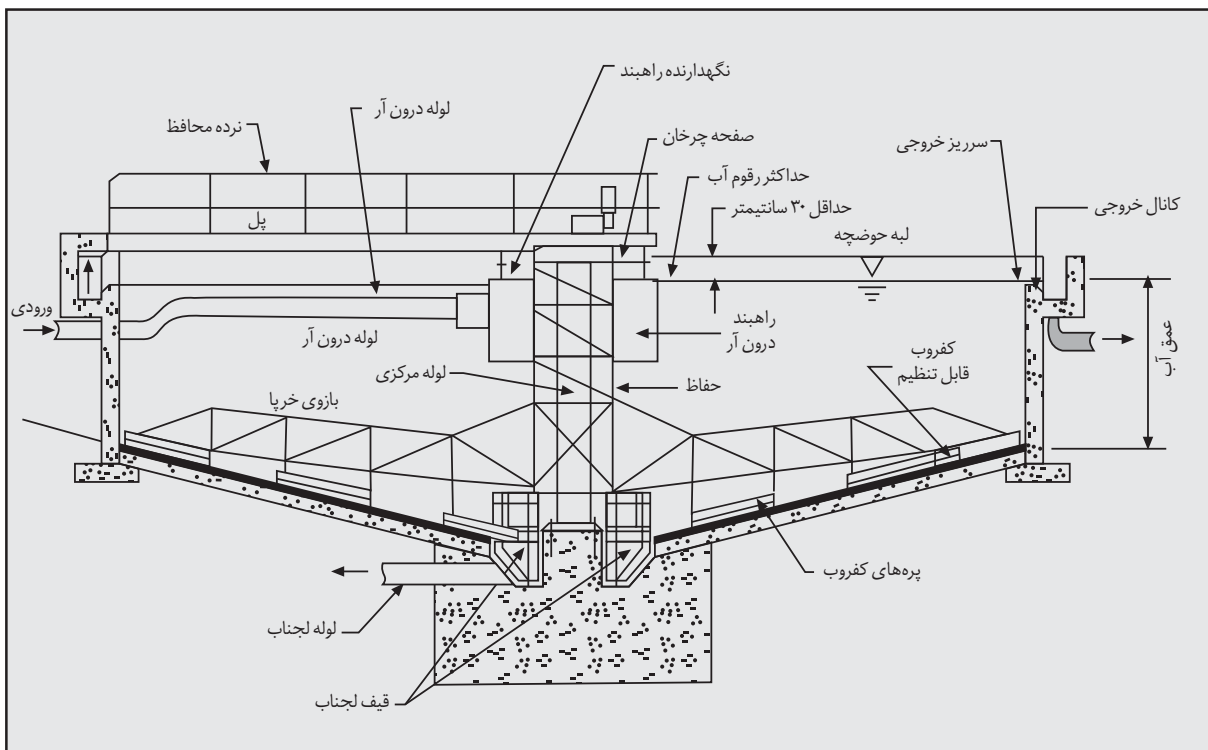
تغلیظ ثقلی

استفاده از تغلیظ کننده های ثقلی بیشترین کاربرد را در تصفیه خانه های آب دارند. بدین ترتیب حجم لجناب کاهش یافته و باقیمانده، کیفیت یکنواخت تری پیدا می نماید و لذا تاسیسات آبیگری مورد نیاز آن کوچک تر خواهد بود.

در شکل شماره ۹-۲ مقطع یک تغلیظ کننده ثقلی نشان داده شده است. لجناب تولیدی در واحد زلال سازی دارای جامدات در



شکل شماره ۹-۲ - مقطع یک تغلیظ کننده ثقلی



جدول شماره ۹-۵ - عملکرد و معیارهای طراحی تغلیظ کننده ثقلی

ویژگی‌ها	واحد	نوع لجناب
جامدات ورودی	درصد	۱-۴
جامدات لجن تغلیظ شده	درصد	۲-۳
باز یافت جامدات	درصد	۸۰-۹۰
بار جامدات به واحد	کیلوگرم در مترمربع در روز	۲۰-۸۰

از ژالاسازی نیز می‌توان از شناورسازی بهره برد و در فرایندهای پیش تصفیه تاسیسات نمک زدایی از آب دریا هم که دارای جلبک هستند کاربرد پیدا نموده است. در جدول شماره ۹-۶ عملکرد متعارف و معیارهای طراحی واحد فرایندی شناورسازی برای دو نوع لجناب آورده شده است.

تغلیظ با شناورسازی

کاربرد شناورسازی در تصفیه آب و فاضلاب مورد توجه بوده است و در بخش ژالاسازی به تفصیل مورد گفتگو قرار گرفته است. در تغلیظ هیدروکسیدهای فلزی حاصل



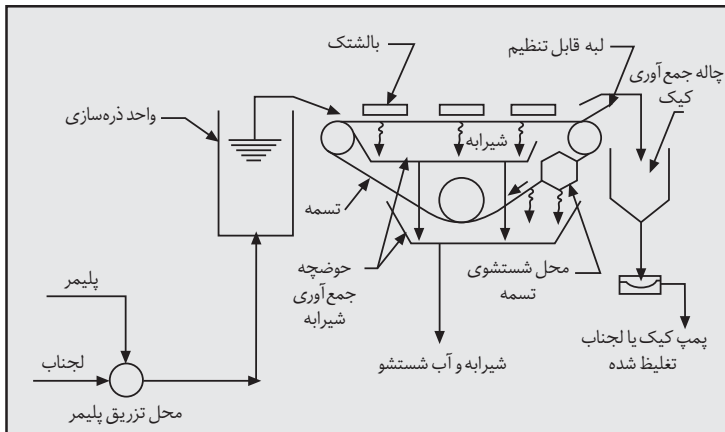
جدول شماره ۹-۶ - عملکرد متعارف و معیارهای طراحی واحد شناورسازی

ویژگی‌ها	واحد	نوع لجناب
جامدات ورودی	درصد	۵-۱
جامدات لجن تغلیظ شده	درصد	۳-۵
باز یافت جامدات	درصد	۸۰-۹۰
بار جامدات به واحد	کیلوگرم در مترمربع در روز	۴۸-۱۲۰
بار هیدرولیکی	مترمکعب در مترمربع در روز	۱۱۰-۱۵۰

تغلیظ مکانیکی

در بعضی از شرایط عملکرد تغلیظ کننده‌های ثقلی و شناور سازی مطلوب نبوده و لذا استفاده از تغلیظ کننده‌های مکانیکی مورد توجه قرار می‌گیرد. از مناسب‌ترین روش‌های تغلیظ مکانیکی، تاسیسات تسمه‌ای ثقلی^۱ است. در این صنعت در حالی که لجناب به روی تسمه روزنه‌دار هدایت می‌شود، بخشی از آب آن با نیروی ثقل از آن جدا می‌شود. آب خروجی از تسمه روزنه‌دار بنام شیرابه شناخته می‌شود. در شکل شماره ۹-۳ مقطع یک تغلیظ کننده تسمه‌ای ثقلی نشان داده شده است. معمولاً در حوضچه تغذیه‌کننده تسمه، به لجناب پلیمر افزوده شده و پس از اختلاط خوب به روی تسمه هدایت می‌شود.

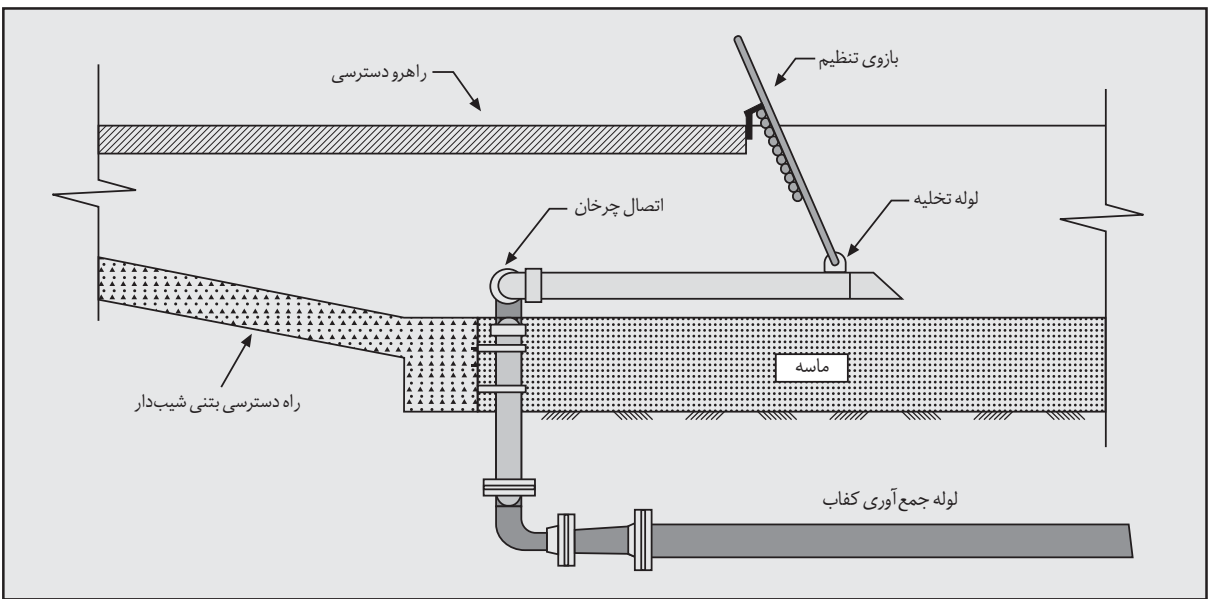
شکل شماره ۹-۳ - دیاگرام یک تغلیظ کننده تسمه‌ای ثقلی



همانطور که دیاگرام نشان می‌دهد لجناب ورودی پس از دریافت پلیمر به حوضچه تولید ذره هدایت می‌شود و از طریق آن به روی تسمه جریان می‌یابد و بالشتک‌ها آن را روی تسمه پخش می‌نمایند و آب آزاد آن از طریق روزنه‌های تسمه و با نیروی ثقل به داخل حوضچه زیرین ریخته می‌شود. در محلی که تسمه گردش خود را انجام می‌دهد کیک توسط تیغه‌ای از آن جدا شده و به داخل محفظه دیگر ریخته می‌شود.

در مسیر گردش، تسمه شسته شده تا برای دریافت دوباره لجن آماده شود. میزان دریافت جامدات توسط تسمه در دستگاه‌های مختلف یکسان نیست و عملیات آزمایشی ظرفیت آبیگری دستگاه را تعیین می‌نماید. غلظت جامدات کیک تولیدی در آن می‌تواند به حدود ۴/۵ درصد برسد. از مزایای دستگاه سادگی تاسیسات، هزینه‌های کم بهره‌برداری و نیاز کم به نظارت متصدی است.

از محدودیت‌های آن این است که دو نوع فاضلاب، علاوه بر کیک تولید می‌شود که اولی همان شیرابه و دومی آب حاصل از شستشوی تسمه‌هاست. عرض تسمه این تغلیظ کننده‌ها ۱-۳ متر است و مکانیسم حرکت آن هیدرولیکی و یا مکانیکی و با فشار هوا است. میزان آب لازم برای شستشوی تسمه ۳-۴ لیتر در ثانیه است و فشار لازم توسط سازنده تعریف می‌شود.

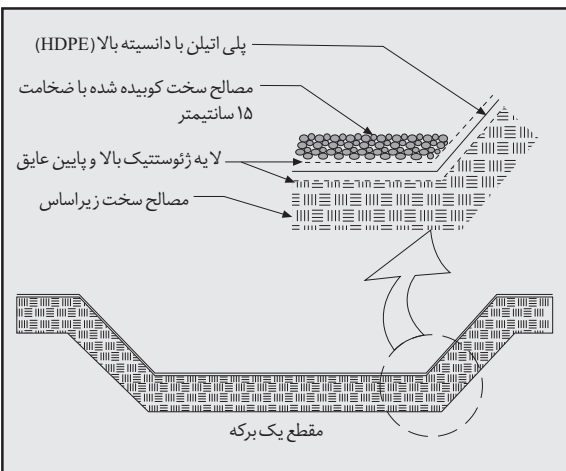
شکل شماره ۹-۷- تاسیسات کفاب‌گیری^۱ از برکه

برکه لجناب^۳

استفاده از برکه می‌تواند برای تغلیظ، آبگیری، ذخیره و یا دفع نهایی لجناب طراحی گردد. عمق مفید برکه ۱/۵-۶ متر و سطح آن می‌تواند ۵/۶-۶ هکتار انتخاب گردد. به طور متعارف برکه دارای کف نفوذپذیر است گرچه با سرعت این نفوذپذیری کاهش پیدا می‌نماید. می‌توان برکه را با شبکه زهکشی تجهیز نمود که کار آبگیری و خشک شدن تسریع گردد.

شرایط آب و هوا، امکان استفاده از زمین و مقررات محیط‌زیستی روی تصمیم‌گیری دخالت دارد. در مواردی لازم می‌شود که کف برکه به کمک موادی مانند پلی‌اتیلن و یا ترکیبات مشابه پوشیده شود تا آب زیرزمینی دچار آلودگی نشود و یا نشت از کف مشکلات دیگر در پایین دست بوجود نیاورد. هر چه سطح برکه بزرگ‌تر باشد تعداد ورودی و یا درون‌آرها باید بیشتر شود تا تقسیم بار جامدات به طور یکسان انجام گیرد. در شکل شماره ۹-۸ نوعی کفسازی برکه نشان داده شده است.

شکل شماره ۹-۸- ایجاد کفپوش در برکه



برای تعیین ابعاد واحدهای آبگیری طبیعی از لجناب، گام اول تعریف هدف از کاربرد آن است که در صفحات قبل مطرح گردید.

در مرحله بارگذاری که شامل تخلیه لجناب به برکه است، لجناب پس از تخلیه به برکه با فرایند ته‌نشینی جامدات خود را از دست می‌دهد. بنابراین می‌توان با پیش‌بینی تمهیداتی سطح آب را با تخلیه از برکه به طور آرام پایین برد که با نام کفاب‌گیری در این بخش آورده شده است. در مرحله نگهداری، لجناب شروع به از دست دادن آب خود به علت تبخیر می‌نماید. در مواردی هم نشت آب از کف برکه کمک به خشک شدن لجن می‌نماید. برای تعیین تعداد و ابعاد برکه باید معیارهای زیر تدوین گردد:

- میزان حداکثر لجناب تولیدی که باید به برکه هدایت شود؛
- بار سطحی برکه که بر حسب کیلوگرم در متر مربع در روز می‌باشد.

با توجه به میزان تبخیر آب در منطقه استقرار برکه و نشت از کف، برای تعیین ابعاد و اندازه و تعداد برکه‌های طرح، نیاز به آنالیزهای مفصل دارد. لذا در مورد بار جامدات در واحد سطح و بار هیدرولیکی باید تصمیم‌گیری نمود. بر مبنای جامدات خشک، معمولاً تسهیلات

ذخیره در برکه‌ها ۳-۵ سال پیش‌بینی می‌شود و بار هیدرولیکی لجناب هم ۳۰-۶۰ متر مکعب در متر مربع در سال معادل ۰/۰۸-۰/۱۶ متر مکعب در متر مربع در روز مراعات شده است. حداقل عمق برکه در حدود ۱/۴ متر است. برای یک تصفیه‌خانه آب با ظرفیت ۱ متر مکعب در ثانیه و با فرض ۲ درصد لجناب، سطح برکه مورد نیاز در حدود ۱ هکتار می‌باشد که به ۲-۳ واحد باید تقسیم شود.

۹-۶-۲- آبگیری مکانیکی

در بخش آبگیری از لجناب تغلیظ شده چندین صنعت وجود دارد که مورد بحث قرار می‌گیرد.

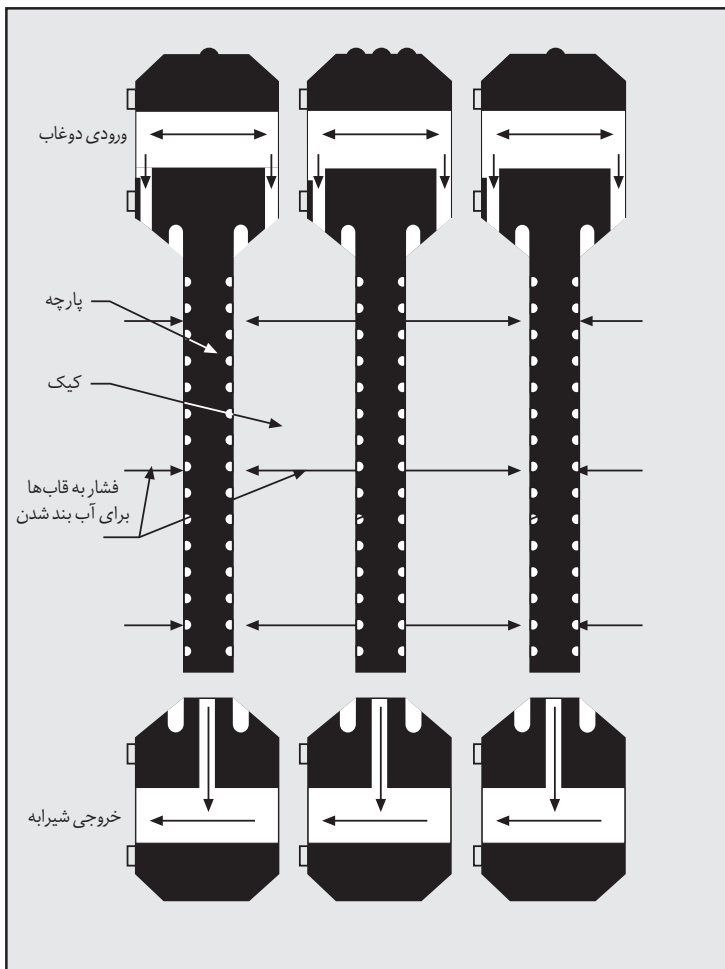
فیلترهای فشاری^۱

فیلترهای فشاری در دو نوع ساخته می‌شوند نوع اول قاب و صفحه و نوع دوم دیافراگمی می‌باشد. نوع قاب و صفحه شامل چارچوبی است که در آن پارچه مناسب روی آن کشیده شده است که کار فیلتراسیون را انجام می‌دهد. شکل قاب‌ها می‌تواند مستطیلی و یا دایره‌ای باشد. با فشار هیدرولیکی قاب‌ها به هم چسبیده و آب بند می‌شوند و لجناب به فضای بین پارچه‌ها هدایت می‌شود. فشار لازم ۶-۱۵ اتمسفر است که در تاسیسات سازندگان مختلف یکسان نیست. معمولاً دو پمپ مورد استفاده است اولی برای پمپاژ لجناب به داخل محفظه‌ها و دومی برای ایجاد و حفظ فشار هیدرولیکی است. پس از آبگیری قاب‌ها از هم دور می‌شوند تا یک باقیمانده روی پارچه‌ها به محفظه زیر آن تخلیه شود.

تاسیسات دیافراگمی از حدود ۳۰ سال پیش در تصفیه‌خانه‌های آب مورد استفاده قرار گرفت و کار آبگیری توسط آن دارای عملکرد بهتری نسبت به قاب و صفحه می‌باشد. زیرا پس از پر شدن محفظه‌ها،



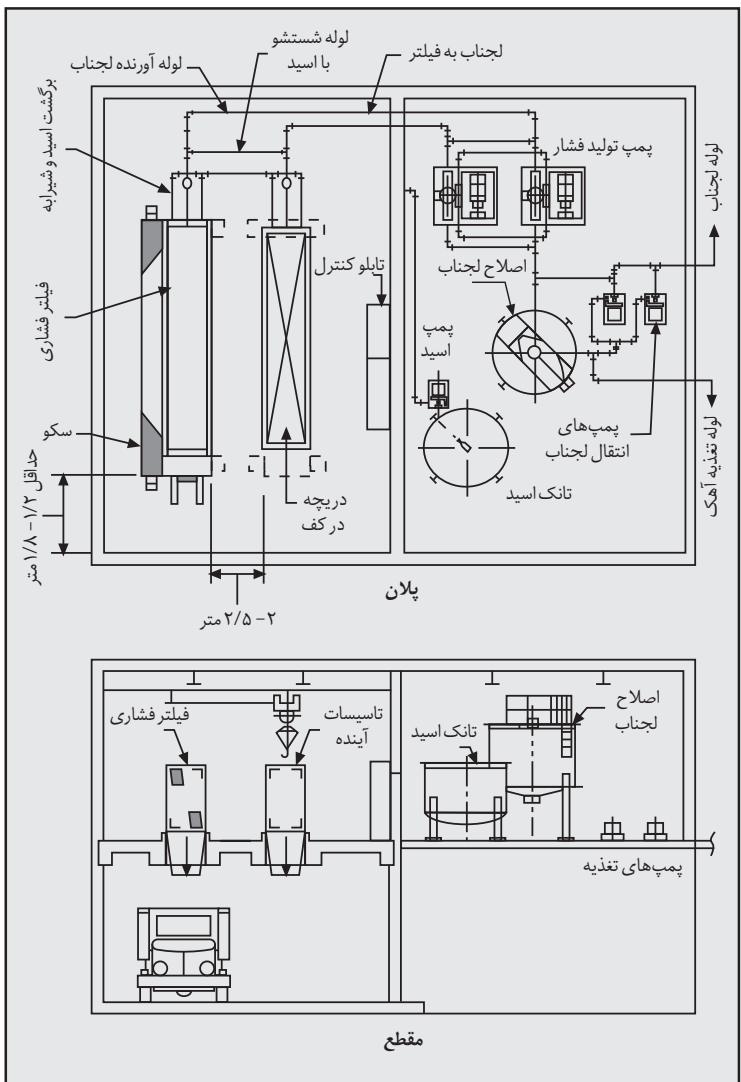
شکل شماره ۹-۹- فیلتر فشاری قاب و صفحه - از شرکت ایمکو^۲



عملکرد مطلوبی دارد و برای آبیگری لجناب حاصل از فرایندهای سختی گیری نیز تا حدودی به کار می رود. جامدات کیک حاصل ۲۰-۵۰ درصد است و زمان هر آبیگری هم ۳ ساعت و بیشتر می باشد که رقم متوسط ۸ ساعت است. عمر پارچه فیلتر هم ۱۲-۱۸ ماه می باشد. مواد مورد استفاده برای ساخت پارچه فیلتر بسیار متنوع است اما باید به صورت بافته بوده و هوا بند نباشد. برای انتخاب پارچه باید توجه داشت که دوام، جدا شدن آسان کیک از آن، مسدود نشدن



شکل شماره ۹-۱۰- استقرار نمونه فیلترهای فشاری



- تاسیسات از نظر بهره برداری در دسرساز نیستند؛
- برای انواع لجناب ها قابل بهره برداری می باشد.

از محدودیت های آن بالا بودن هزینه های سرمایه گذاری و بهره برداری است. ضمناً بعضی از لجناب ها روزه های آنها را زودتر مسدود می نماید لذا استفاده از عملیات آزمایشی توصیه می شود.

تسمه های فشاری^۱

صنعت تسمه های فشاری دارای گونه های مختلفی است اما در طراحی آن سه مرحله عملیات بهره برداری دیده می شود.

۱. منطقه اصلاح لجناب: در این مرحله به لجناب ترکیب شیمیایی افزوده می شود تا فرایند ذره سازی^۲ انجام گیرد.

۲. منطقه زهکشی ثقلی: در این مرحله لجناب به روی یک تسمه نقاله نفوذ پذیر هدایت می شود تا آب آزاد آن از جامدات جدا شده و از زیر تسمه خارج شود.

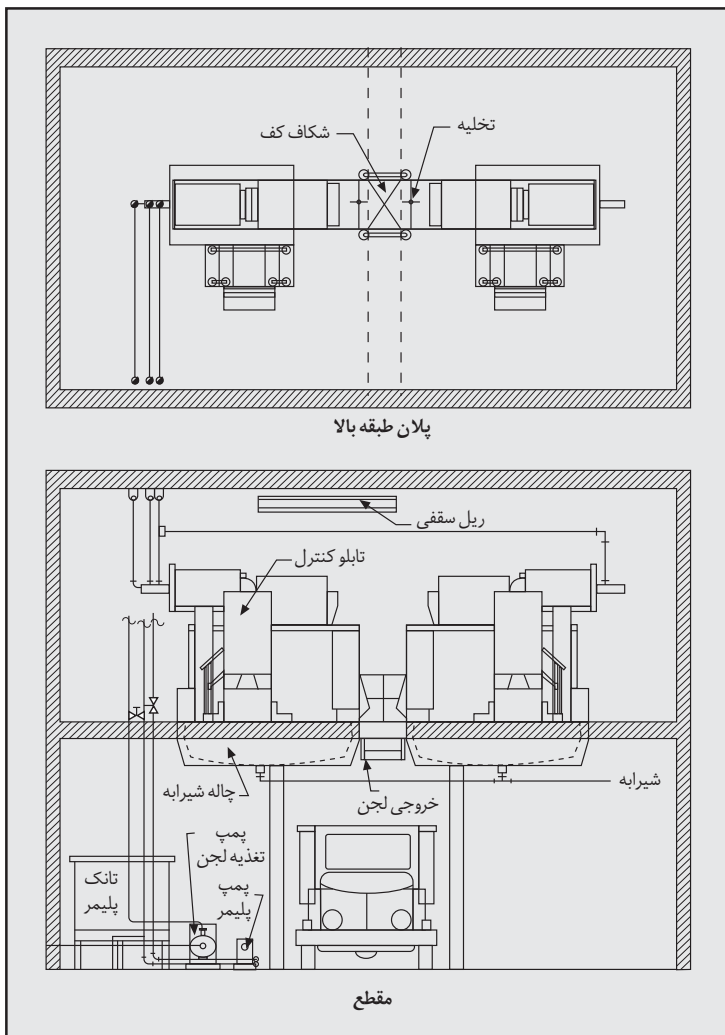
۳. منطقه اعمال فشار: در این مرحله لجناب بین دو تسمه تحت فشار قرار می گیرد تا آب باقیمانده آن از جامدات جدا شود.

در بعضی از تاسیسات، مرحله سوم به دو بخش کم فشار و فشار بالاتر تقسیم می شود. در بخش کم فشار به دلیل نزدیک شدن دو تسمه کیک به هم فشرده می شوند تا در مرحله افزایش فشار راحت تر آب خود را از دست بدهند. جامدات تولید شده روی تسمه با دوروش از آن جدا می شود. در نوعی

پارویک هایی کیک را از روی تسمه بر می دارد و در مدلی دیگر از فشار آب استفاده می شود. باید تسمه پس از جدا شدن کیک شسته شود. تسمه های فشاری که برای آبیگری لجناب حاصل از کاربرد دلمه سازها بکار می رود با کاربرد پلیمر نوعی کیک تولید می نماید که جامدات آن ۱۵ - ۲۰ درصد است.



شکل شماره ۹-۱۱- استقرار نمونه تسمه‌های فشاری



در جریان گردش تحت مکش قرار می‌گیرد. سطح خارجی استوانه با یک پارچه فیلتری پوشانده شده است. استوانه در زمانی که وارد لجناب می‌شود، آب از بستر فیلتر مکش شده و یک روی آن باقی می‌ماند. در زمانی که یک از روی استوانه تراشیده می‌شود هوادهی شده تا تولید یک یک سریع تر انجام گیرد. پس از تراشیده شدن یک از روی استوانه، سطح استوانه دوباره وارد حوضچه لجناب شده و عملیات تکرار می‌شود.

1. Vacuum Filtration

عملکرد مکش فیلترها تحت تاثیر مصالح مورد استفاده برای ساخت آن قرار دارد. مصالح مورد استفاده پارچه‌ای و یا ساخته شده از الیاف سیمی می‌باشد. استوانه در جریان گردش خود با شبکه سیم پیچ‌ها یک لایه از لجناب را با خود حرکت داده و در محلی از آن جدا شده و شبکه دوباره وارد حوضچه لجناب می‌شود که در ابتدا هم توضیح داده شد. شرکت‌های مختلفی این تاسیسات را می‌سازند.



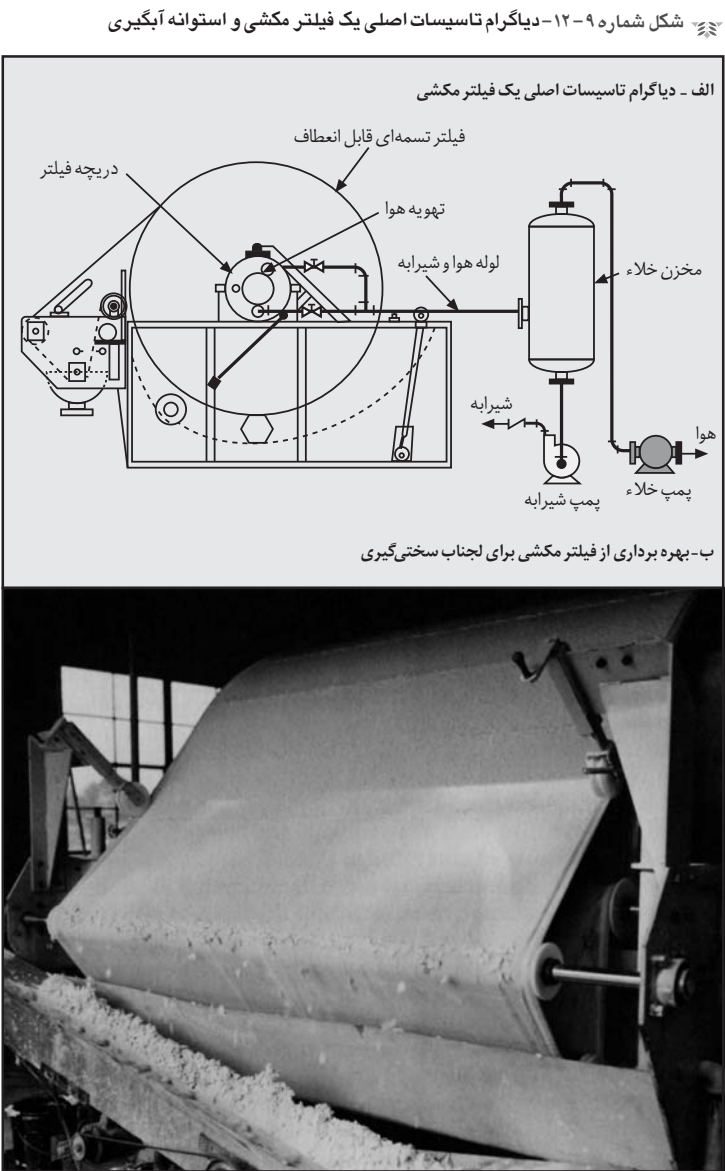
آبگیری توسط سانتریفیوژ^۱

استفاده از فرایند سانتریفیوژ بیشتر در آبگیری لجن حاصل از سختی‌گیری کاربرد دارد و در مورد آبگیری از لجناب حاصل از کاربرد آلومینیوم کمتر عملکرد مطلوب نشان داده است. این تاسیسات در

بخش‌های اساسی دستگاه عبارت است از پمپ تغذیه لجناب، دستگاه تزریق پلیمر، مخزن اصلاح لجناب، فیلتر مکش، پمپ ایجاد مکش و حوضچه دریافت کیک. البته پمپ پساب و تسمه نقاله کیک هم بخشی از تاسیسات است. در شکل شماره ۹-۱۲ دیاگرام تاسیسات و

استوانه مورد استفاده در آبگیری لجناب سختی - گیری نشان داده شده است. در بعضی شرایط اصلاح لجناب توسط دلمه سازها، آهک و یا پلیمر کار آبگیری را راحت‌تر می‌نماید که طبعاً باید تاسیسات آن پیش بینی شود. ظرفیت تاسیسات دارای طیف بزرگی است. این صنعت بیشتر در آبگیری لجناب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب کاربرد دارد اما در صنعت تصفیه آب هم می‌توان از آن بهره برد. در نوع استفاده از گرانول پیش پوشش عملکرد آن بهتر و جامدات کیک در حدود ۲۰ درصد است. در تاسیساتی برای آبگیری از لجناب سختی‌گیری نتایج مطلوبی بدست آمده است که در بخش ب شکل شماره ۹-۱۲ نشان داده شده است.

به طور کلی این فیلترها در آبگیری از لجناب تصفیه‌خانه‌های آب کاربرد فراوانی ندارند. به‌خصوص اگر در دلمه‌سازی از ترکیب‌های آلومینیومی استفاده بشود. کیک حاصل برای حمل و دفع در محل دفن زباله‌های شهر مناسب است و گفته می‌شود که کاربرد پلیمر اثر قابل ملاحظه‌ای در فرایند آبگیری ندارد. این فیلتر در آبگیری لجناب حاصل از سختی‌گیری عملکرد مطلوبی نشان داده است. در جدول شماره ۹-۷ نتایج چکیده یک مطالعه موردی آورده شده است.



1. Centrifuge



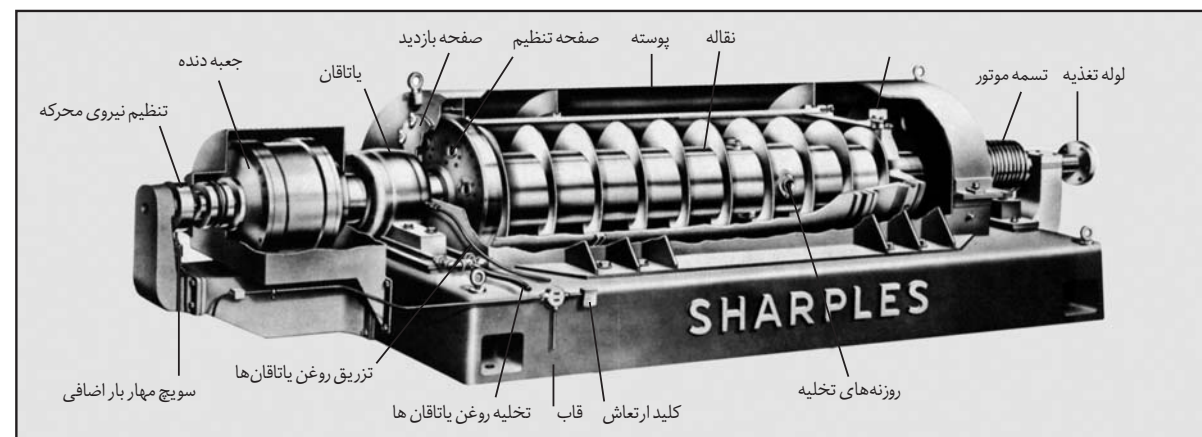
جدول شماره ۹-۷- دستاوردهای یک مطالعه موردی کاربرد فیلتر مکشی در یک تصفیه‌خانه

آب با ظرفیت ۳۸ هزار مترمکعب در روز

ویژگی	لجن حاصل از کاربرد دلمه‌ساز آلومینیوم	لجن حاصل از کاربرد آهک
میزان لجناب تولیدی از زلالسازها (مترمکعب)	۱۹۰	۹۰۸
درصد جامدات لجناب از زلالسازها	۱	۱
درصد جامدات لجناب از تغلیظ کننده‌ها	۲	۳۰
سطح فیلتر مورد نیاز (مترمربع)	۱۶۰	۱۰
بار سطحی (کیلوگرم در مترمربع در روز)	۴۳	۴۳۰۰
قطر تغلیظ کننده (متر)	۱۰	۱۴
بار دستگاه آبیگری مکشی (کیلوگرم در مترمربع در ساعت)	۲	۱۹۰
تعداد فیلترها	۳	۱
بار تغلیظ کننده (کیلوگرم در مترمربع در ساعت)	۰/۷	۲/۱

واقع نوعی ته‌نشینی محسوب می‌شوند و جدا شدن جامدات از آب توسط نیروی گریز از مرکز حاصل از گردش دورانی محفظه انجام می‌گیرد. بدین ترتیب که طبق شکل شماره ۹-۱۳ لجناب به داخل محفظه در گردش هدایت می‌شود و جامدات به سطح داخلی محفظه نزدیک می‌شود و یک جمع‌آوری کننده ارشمیدس مانند با چرخش خود جامدات را به خروجی محفظه هدایت می‌نماید. به طور کلی استفاده از تاسیسات سانتریفیوژ نیاز

شکل شماره ۹-۱۳- مقطع کامل یک دستگاه سانتریفیوژ (شرکت شارپلس^۱)



1. Sharples Co.

به کاربرد پلیمر برای اصلاح لجناب دارد و جامدات کیک آن می‌تواند ۱۵-۷۰ درصد باشد.

در شکل شماره ۹-۱۴ دیاگرام استقرار تاسیسات نمونه آن در پلان و مقطع نشان داده شده است. این ساختمان یک فضای صنعتی است و سازنده تاسیسات باید معماری کامل آن را تهیه نماید. مزایای استفاده از تاسیسات سانتریفیوژ برای آبیگری لجن تغلیظ و اصلاح شده توسط پلیمر عبارت است از:

- تاسیسات دارای کمترین حوادث کاری هستند؛
- عملیات آبیگری به طور مستمر می‌تواند ادامه یابد؛
- نسبت به روش‌های دیگر مورد بحث کمترین توجه متصدی را نیاز دارد؛
- کیک تولیدی دارای درصد جامدات زیادی است.
- عملیات تعمیر و نگهداری ساده‌تر از انواع دیگر آبیگری مکانیکی است.

در جدول شماره ۹-۸ عملکرد متعارف و معیارهای طراحی دستگاه سانتریفیوژ برای تغلیظ لجناب حاصل از کاربرد دلمه ساز و لجناب سختی‌گیری به کمک آهک آورده شده است.

۹-۶-۳- خشک کردن کیک با انرژی حرارتی

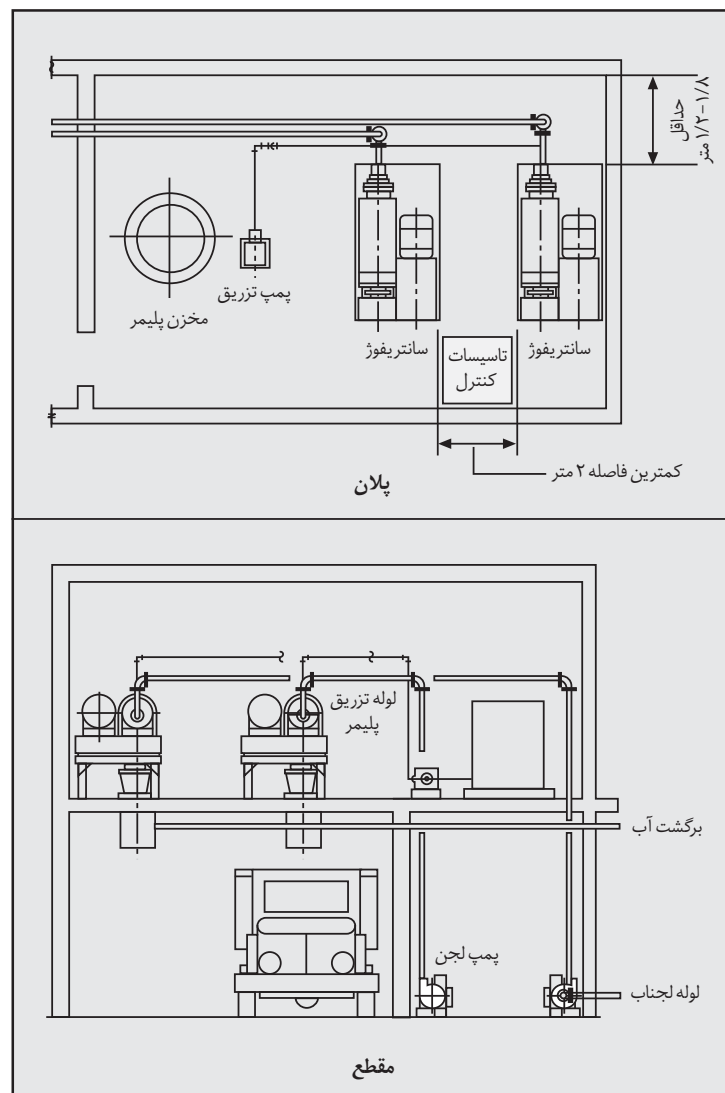
صرف نظر از هرگونه روش مورد استفاده برای خشک کردن لجناب، اصولی وجود دارد که توجه و رعایت آنها ضرورت دارد. چنانکه اگر خشک کردن به کمک حرارت باشد نکات زیر باید مورد توجه قرار گیرد:

- هر چه جامدات لجناب بیشتر باشد برای خشک کردن انرژی کمتری لازم است و به همین جهت استفاده از تغلیظ کننده‌ها و کاهش آب آن مورد توجه قرار می‌گیرد.
- در مورد تاسیسات خشک کردن، معمولاً از تاسیسات غیر مستمر استفاده می‌شود. لذا عملیات به صورت سیکل‌های تکراری انجام می‌گیرد.

- میزان مواد آلی در جامدات تصفیه‌خانه‌های آب زیاد نیست اما به هر حال در مرحله حرارت دادن مواد آلی شکسته شده و تبخیر می‌شود و لذا باعث انتشار بو در هوای اطراف می‌گردد. بنابراین تخلیه هوای حاوی بخار آب و گازهای تولیدی توجهاتی لازم دارد. در شکل شماره ۹-۱۵ دیاگرام فرایند خشک کردن کیک تولیدی توسط حرارت نشان داده شده است.
- توجه شود که تاسیسات استفاده از گرما مانند لوله‌ها و شیرها دارای دمای زیادی هستند، لذا



شکل شماره ۹-۱۴- استقرار تاسیسات نمونه در روش سانتریفیوژ



جدول شماره ۹-۸- عملکرد تغلیظ توسط سانتریفیوژ

ویژگی‌ها	واحد	دلمه‌سازی	سختی‌گیری با آهک
جامدات ورودی	درصد	۱-۶	۱۰-۲۵
جامدات لجن تغلیظ شده	درصد	۱۲-۱۵	۳۵-۵۰
باز یافت جامدات	درصد	۹۰-۹۶	۹۰-۹۷
میزان پلیمر	گرم برای هر کیلوگرم	۱-۲	-



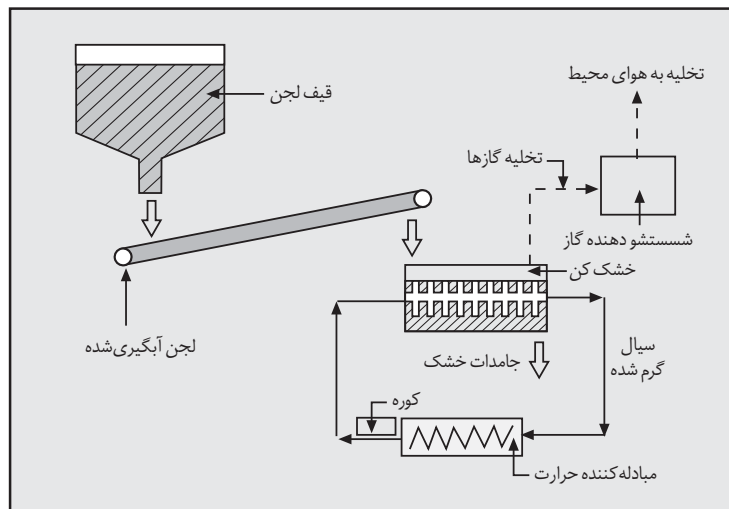
حفظ فاصله‌های لازم و تمهیدات محافظ برای کار و صدمه ندیدن متصدی در بهره‌برداری ضرورت دارد.

- در عمل کیک تولیدی می‌تواند دارای حدود ۱۰ درصد آب باشد و لذا جابجایی محصول با تولید گرد و غبار همراه است، هر چه لجن تولیدی برای خشک شدن غلیظ‌تر باشد ظرفیت تاسیسات کوچک‌تر و انرژی حرارتی مصرفی هم کمتر می‌شود.

۹-۶-۴- جابجایی لجناب

جابجایی و یا انتقال لجناب با توجه به غلظت جامدات آن نیاز به ابزارهای مختلف دارد. در صورتیکه غلظت جامدات در حدود ۴-۱۵ درصد باشد آن را لجناب رقیق گویند و بیشتر از آن را غلیظ نامند. در جابجایی لجناب رقیق می‌توان از نیروی ثقل و یا پمپ‌های سانتریفیوژ غیر قابل انسداد استفاده نمود و باید با توجه به پتانسیل فرایندهای خوردگی و سایش، تاسیسات مورد نیاز انتخاب شوند. سایش پره‌های پروانه پمپ مشکل متعارف است و به همین دلیل در بعضی از تصفیه‌خانه‌ها از تزریق کننده‌های مکشی استفاده می‌شود. برای این نوع لجناب‌ها از پمپ‌های جابجایی هم استفاده می‌شود.

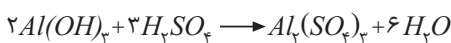
شکل شماره ۹-۱۵- فرایندهای خشک کردن کیک به کمک انرژی گرمایی



برای جابجایی لجناب غلیظ که به اصطلاح کیک نامیده می‌شود از کامیون که در زیر دستگاه قرار می‌گیرد و یا از تسمه نقاله استفاده می‌شود. لذا ویژگی‌های کامیون مورد استفاده، راه ورود و خروج و دور زدن و تاسیسات شستشوی آن نیاز به توجه دارد. در صورت ضرورت استفاده از چنین تاسیساتی لازم است از معماری صنعتی شرکت سازنده استفاده گردد.

۹-۶-۵- بازیافت دلمه‌ساز آلومینیوم

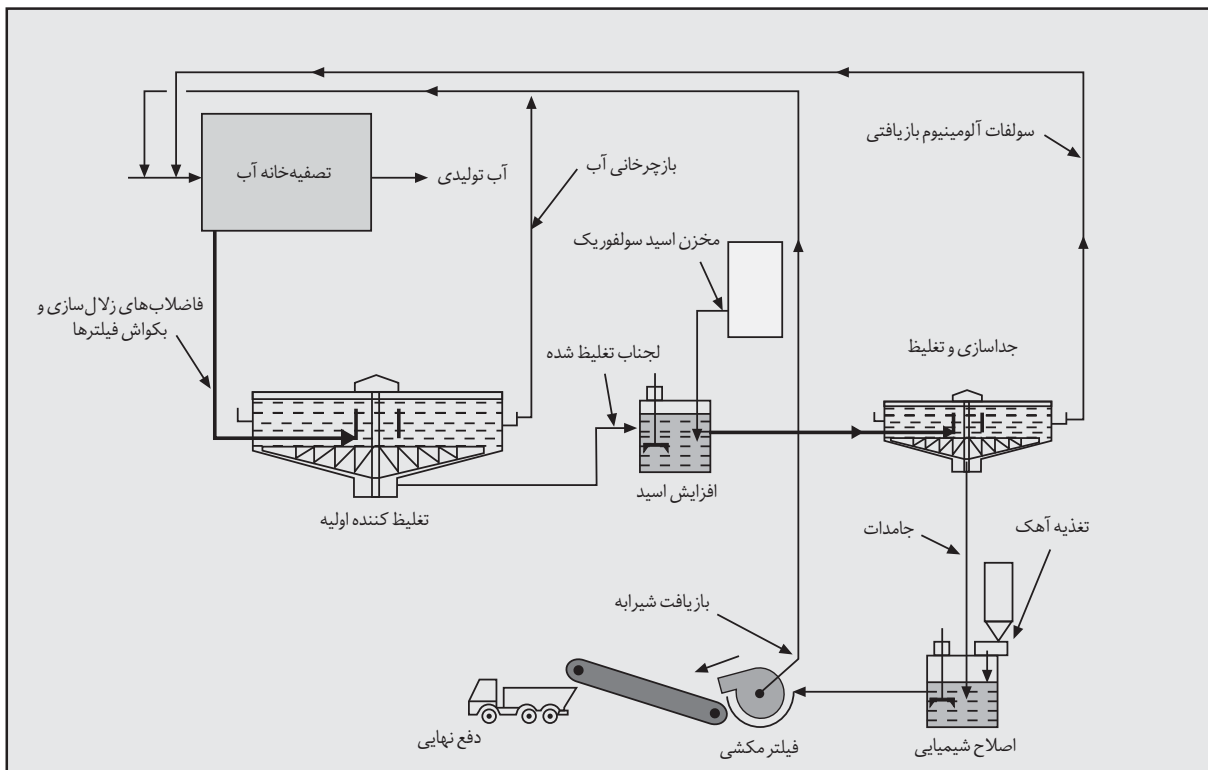
در بخش‌های قبلی مشاهده شد که با کاربرد سولفات آلومینیوم در واحد اختلاط سریع ذرات نامحلول هیدروکسید آلومینیوم بوجود می‌آید که در فرایند تولید ذره و ته‌نشینی، ذرات معلق دیگر را جذب نموده و ترسیب می‌شود. حال می‌توان طبق معادله زیر سولفات آلومینیوم را بازیافت نمود.



برای بازیافت سولفات تولیدی پی‌اچ لجناب باید به حدود ۲ برسد و طبق معادله پیش گفته برای بازیافت هر ۰/۹ کیلوگرم سولفات آلومینیوم حدود ۱/۴ کیلوگرم اسید لازم است. در شکل شماره ۹-۱۶ دیاگرام واحدهای فرایندی بازیافت آلومینیوم به صورت سولفات نشان داده شده است. بدین ترتیب که می‌توان پس از عبور لجناب از واحد تغلیظ به آن اسید تزریق نمود

و سپس در واحد جداسازی، محلول سولفات آلومینیوم را از لجن جدا نمود و پس از جمع‌آوری مورد استفاده دوباره قرار داد. سپس لجن حاصل در واحد جداسازی که حجمش کاسته شده است به واحد آگیری هدایت می‌شود. چنین طرح‌هایی در ژاپن در حال بهره‌برداری است. در فرایند اسیدزنی لجناب، از پلیمر هم می‌توان برای عملکرد بهتر استفاده نمود. پلیمر مورد استفاده باید کاتیونی و به میزان حدود ۲۰-۴۰ میلی‌گرم در لیتر

شکل شماره ۹-۱۶- دیاگرام فرایندهای بازیافت سولفات آلومینیوم



باشد. برای جداسازی از فیلتر فشاری استفاده شده و حاصل کار ۸۰-۹۳ درصد بازیافت آلومینیوم و کیک با جامدات ۴۰-۴۵ درصد می‌باشد. چنین تجربه‌ای در کالیفرنیا هم وجود دارد و محاسبات نشان داده که برای هر مترمکعب ۰/۳ سنت دلار صرفه‌جویی در هزینه داشته است.

مطالعات اخیر نشان می‌دهد که به دلیل افزایش قیمت اسید سولفوریک این سودآوری سوال برانگیز شده است. اما کاهش حجم جامدات لجناب و در نتیجه کاهش حجم کیک برای حمل و دفع قابل ملاحظه است.

۹-۶-۶- بازچرخانی هیدروکسید منیزیم

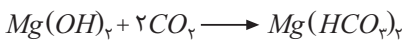
برای ساخت دلمه‌ساز مورد نیاز در تصفیه آب می‌توان از کربنات منیزیم و آهک بهره‌گرفت تا هیدروکسید منیزیم که دارای توان تولید



ذره‌است تشکیل گردد در نتیجه لجناب تولیدی شامل کربنات کلسیم و هیدروکسید منیزیم و جامدات آب خام می‌باشد. حال لجناب توسط تزریق دی‌اکسید کربن فرآوری شده و محلول بی‌کربنات منیزیم تولید می‌شود و پس از آن لجناب فیلتر شده و محلول بی‌کربنات منیزیم بازیافت می‌گردد که با انتقال آن به محل تزریق دلمه‌ساز به آب خام، مورد استفاده دوباره قرار می‌گیرد. در نتیجه کیک حاصل از آگیری لجناب باقیمانده، حاوی کربنات کلسیم و جامدات معلق آب خام است. در تصفیه‌خانه‌های بزرگ می‌توان کربنات کلسیم را از جامدات آب خام هم جدا نموده تا مورد استفاده دوباره قرار گیرد. لذا در تصفیه‌خانه‌های آب برای سختی‌گیری می‌توان کربنات منیزیم با سه مولکول آب تبلور را برای تصفیه‌خانه‌های دیگر تولید نمود و در نتیجه حجم لجناب و یا کیک جهت دفع نهایی کاهش قابل ملاحظه‌ای پیدا می‌نماید. چنین فرایندی از حدود ۵۰ سال پیش در اوهایو آمریکا



مورد استفاده است. بدین ترتیب است که با تزریق دی اکسید کربن به هیدروکسید منیزیم، بی کربنات منیزیم تولید می شود.



حال در واحد جداسازی پیش گفته مانند فیلتراسیون، بی کربنات منیزیم از لجناب جدا شده و در واحد مبادله حرارت تا حدود ۳۵-۴۵ درجه سلسیوس گرم می شود و محلول گرم توسط هوای تحت فشار هوادهی شده و در نتیجه کربنات منیزیم متبلور ترسیب می شود که پس از خشک شدن برای دلمه سازی به تصفیه خانه های دیگر آب فروخته می شود. استفاده از کربنات منیزیم به عنوان دلمه ساز می تواند کاربرد آلومینیوم را محدود نموده و مشکل دفع لجناب و کیک آلومینیومی را کم رنگ نماید. خلاصه عملیات شیمیایی در دو معادله زیر نمایش داده می شود:



طبق معادله دوم کربنات منیزیم همراه با آهک همانند سولفات آلومینیوم دارای توان تولید ذره در آب است و در زدایش رنگ و کدورت بسیاری از آب ها عملکرد مطلوبی دارد. ذرات تشکیل شده بزرگ بوده و با سرعت ته نشین می شوند در تصفیه آب های با سختی کم، آب حاصله دارای قلیابیت کافی بوده و خورنده نخواهد بود. آب های با سختی کربناتی را با این فناوری می توان سختی گیری نمود که در بخش سختی گیری مورد بحث قرار گرفته است.

افزودنی ها

یادآوری گردید که برای تغلیظ و آبگیری لجناب استفاده از افزودنی های شیمیایی مانند آهک و انواع پلیمرها مرسوم است. بنابراین انواع مختلف افزودنی ها تاسیسات ویژه خود را نیاز دارند. استفاده از عملیات آزمایشی برای تعیین بهترین افزودنی و میزان لازم آن همیشه

مورد توصیه است که در بخش تحقیقات کاربردی تصفیه خانه باید مورد توجه قرار گیرد. لازم به یادآوری است که در تصفیه خانه های آب، مصرف هر نوع ترکیب شیمیایی در فرایندهای تصفیه باید مورد تایید مقامات بهداشتی قرار گیرد بنابراین ناخالصی آن و باقیمانده آنها در آب تولیدی باید مورد پایش مستمر قرار گیرد.

یکی از ترکیب های مورد استفاده پلیمرها می باشند که می توانند به صورت خشک و یا محلول در آب به کار روند و امکانات تهیه و آنالیزهای اقتصادی روی تصمیم گیری انتخاب نهایی آن دخالت دارد. در مواردی نوع پلیمر و کاربرد خشک و یا محلول آن برای فرایند تغلیظ و آبگیری ممکن است متفاوت باشد. در بخش آبگیری و پژگی های زیر قابل ذکر است:

- اکثر تاسیسات تزریق پلیمر برای فرایند آبگیری طراحی و ساخته شده اند.
- ضرورت دارد که تاسیسات یدک پیش بینی گردد زیرا احتمال بروز مشکل بهره برداری در آنها زیاد است.
- لوله ها، شیرها و مخازن باید نسبت به خوردگی مقاوم بوده و معمولاً از جنس پی وی سی، پلاستیک فایبرگلاس و یا پلی اتیلن ساخته شود.
- در صورتیکه مخزن و تاسیسات تزریق در محفظه سر پوشیده قرار دارد باید در هنگام سفارش به آن اشاره شود زیرا احتمال انفجار و آتش سوزی وجود دارد. به طور کلی ابنیه محل نصب باید از مصالح بتنی ساخته شود. در شکل شماره ۹-۱۷ دیاگرام تاسیسات لازم برای کاربرد پلیمر نشان داده شده است.

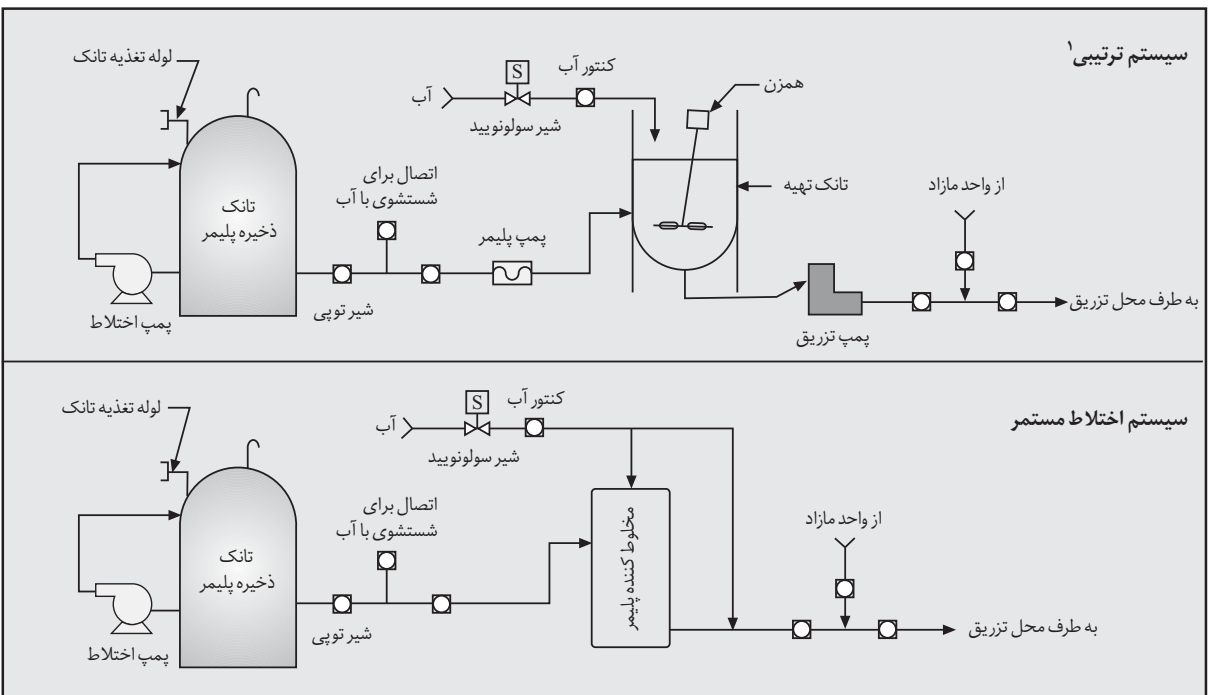
۹-۶-۷- کنترل بوی لجناب

سرچشمه تولید بو در تصفیه خانه های آب در چهار گروه تقسیم بندی می شوند که عبارتند از:

- بوی ناشی از کاربرد میکروبیکش ها به ویژه برای آب های شور؛
- بوی ناشی از تجزیه طبیعی جامدات تصفیه خانه؛



شکل شماره ۹-۱۷- دیاگرام تاسیسات اصلی کاربرد پلیمر



- تثبیت شیمیایی به کمک یک ترکیب مانند آهک.

منظور از تثبیت شیمیایی اکسیداسیون ترکیب مولد بو می باشد. معمولاً احساس بو ناشی از سولفید هیدروژن و ترکیب های گوگرددار دیگر است که در محیط آب با پی اچ بالا دارای حلالیت بیشتری بوده و لذا تبخیر نمی شوند. در واحدهای تغلیظ لجناب و یا واحدهای فرایندی پیش گفته امکان افزایش پی اچ باید مورد مطالعه قرار گیرد و بنابراین کاربرد آهک به صورت مایع و پودر از گزینه های قابل استفاده می باشد. افزودن متناوب محلول کلر به لجناب جاری به طرف تغلیظ کننده ها نیز از گزینه های قابل مطالعه است.

در صورتیکه در حوضچه های روباز رشد جلبک و مرگ و میر آنها و تولید بو مشکل آفرین است کاربرد پرمنگنات پتاسیم و یا سولفات مس می تواند عملکرد مطلوبی داشته باشد. با توجه به اینکه مس به

- بوی ناشی از ترکیب های شیمیایی در آب خام ورودی به تصفیه خانه مانند ژئوسمین^۲؛
- بوی ناشی از رشد، مرگ و میر و تجزیه بیولوژیکی جانوران و گیاهان موجود در آب خام مانند جلبک ها.

در فرایندهای تغلیظ و آبگیری از لجناب امکان تولید بو زیاد است و در بهره برداری باید مورد توجه قرار گیرد. کاهش زمان ماند لجناب در زلالسازها و تغلیظ کننده ها و کاربرد آهک در فرایندها، روش هایی از اقدامات کاهش بو می باشد. با توجه به نوع و منشأ تولید بو گزینه های زیر می تواند مورد مطالعه قرار گیرد:

- مسقف نمودن فضا و جمع آوری هوای روی حوضچه و تصفیه آن مانند جذب توسط جاذب ها و یا تثبیت شیمیایی و در صورتیکه مقررات اجازه دهد تخلیه به محیط از طریق دودکش بلند؛



۹-۶-۸- توجهات در مورد جامدات

در مطالعات مرحله اول تصفیه آب توجه به کیفیت و کمیت جامدات تولیدی در تصفیه خانه و روش مناسب دفع آن یک ضرورت است و همانطور که در صفحات پیش گفته شد گزینه های مختلفی برای انجام آن وجود دارد که شرایط و مقررات حاکم روی انتخاب آن بی تاثیر نیست و انجام آن نیازمند ابزار و تاسیساتی است که هزینه های اولیه و هزینه های بهره برداری و نگهداری خواهد داشت که در این مرحله باید برآورد گردد. عملکرد فرایندهای مختلف تغلیظ و آبگیری که بستگی دارد به کیفیت لجناب و افزودنی های مورد استفاده، شرایط آب و هوا و ویژگی های جامدات آب خام، باید مورد مطالعه و مقایسه قرار گیرند که در این بخش مورد بحث قرار می گیرد. جدول شماره ۹-۹ عملکرد انواع تغلیظ کننده ها را نشان می دهد.

جدول شماره ۹-۹- عملکرد فرایندهای مختلف تغلیظ لجناب

نوع فرایند	جامدات باقیمانده	درصد جامدات
ثقلی	کربنات ها	۱ - ۳۰
ثقلی	هیدروکسیدها	۱ - ۳
شناور سازی	هیدروکسیدها	۲/۰ - ۳/۰
تسمه ثقلی	هیدروکسیدها	۵/۲ - ۵/۴

و جدول شماره ۹-۱۰ حدود غلظت جامدات در کیک تولیدی حاصل از کاربرد فناوری های مختلف را نشان می دهد. به هر حال برای انتخاب ترکیب دو فرایند تغلیظ و آبگیری توجهات زیر ضرورت دارد:

- آیین نامه و مقررات حاکم بر دفع جامدات؛
- کیفیت و کمیت منابع مولد جامدات؛
- پتانسیل و محدودیت های باز یافت؛
- تعادل جرمی جامدات.



جدول شماره ۹-۱۰- حدود غلظت جامدات در کیک تولیدی در فناوری های آبگیری

نوع فرایند	درصد جامدات	
	لجن حاصل از سختی گیری	لجن حاصل از دلمه سازها
تغلیظ ثقلی	۱۵ - ۳۰	۳ - ۴
سانتریفیوژ	۵۵ - ۶۵	۱۰ - ۱۵
فیلتر فشاری تسمه ای ^۱	-	۱۰ - ۱۵
فیلتر خلاء (مکش)	۴۵ - ۶۵	-
فیلتر فشاری	۵۵ - ۷۰	۳۵ - ۴۵
بستر ماسه ای آبگیری	۵۰	۲۰ - ۲۵
برکه ذخیره لجناب	۵۰ - ۶۰	۷ - ۱۵

در کشورهای صنعتی مقررات مربوط به دفع جامدات فرایندهای لازم را دیکته می نماید. چنانکه درصد جامدات یکی از محدودیت های دفع نهایی است. گرچه برای گزینه دفن و یا کاربرد آن برای اصلاح خاک محدودیت های زیادی در نظر گرفته نمی شود اما ابزار و فرایندهای مورد استفاده دو گزینه دفع یکسان نیست و برای تصمیم گیری دو مرحله مطالعه مورد نیاز است:

- ♦ **مرحله اول:** توجه به مقررات حاکم در مورد درصد جامدات کیک ضرورت دارد زیرا برای دفن آن در محل دفن زباله های شهر^۲ و یا دفن در محل ویژه، تخلیه به شبکه جمع آوری فاضلاب و تخلیه به منابع آب باید محدودیت هایی وجود داشته باشد که توجه به آن ضرورت دارد. بنابراین انتخاب روش دفع روی فرایند و ابزار فرآوری لجناب دخالت دارد.

- ♦ **مرحله دوم:** برآورد هزینه های سرمایه گذاری و بهره برداری برای فرآوری لجناب و هر نوع دفع نهایی بخشی از مطالعات امکان - سنجی است لذا مطالعه و برآورد میزان لجناب و میزان جامدات

آن اولین گام برای انتخاب روش دفع آن می باشد. مشاهده گردید که فرایندهای مولد لجناب و جامدات عبارتند از:

- فرایند غربال نمودن اولیه آب خام؛
- واحد ماسه گیری؛
- حوضچه های پیش ته نشینی؛
- حوضچه های زلال سازی؛
- فاضلاب بکواش فیلترها؛
- آب خروجی اولیه از فیلترهای دانه ای و ممبرانی^۳.

حال لازم است با توجه به میزان آب خام ورودی به هر یک از واحدها با معیارهای حداکثر، حداقل و متوسط میزان فاضلاب و جامدات تولیدی آنها برآورد شود. بنابراین برای انجام این بخش از کار باید به فرایندهای مورد استفاده و برنامه بهره برداری آینده توجه نمود. از ویژگی های لازم مورد توجه می توان به موارد زیر اشاره نمود:

- دلمه ساز مورد استفاده؛
- پی اچ فاضلاب تولیدی؛
- مجموع جامدات هر نوع فاضلاب؛
- مجموع جامدات مواد آلی؛
- میزان تری هالومتان های آنها؛
- میزان فلزات سنگین آنها؛
- میزان شیرابه های حاصل از آنها.

انجام این بخش از مطالعات همانطور که به اشاره گفته شد باید در مطالعات امکان سنجی انجام گرفته تا در برآوردها برای مقایسه اقتصادی مورد استفاده قرار گیرد. گرچه اصول و فلسفه استفاده دوباره و یا بازچرخانی آب در یک کارخانه تصفیه و تولید آب هم باید مورد عنایت قرار گیرد اما لازم است توجه شود که آب حاصل از بکواش فیلترها و حتی آب خروجی اولیه از فیلترها دارای آلاینده های زنده و شیمیایی هستند که با بازچرخانی مستمر باعث افزایش آنها در آب



S_1 = جامدات تولید شده خشک بر حسب پوند^۱ در روز برای کاربرد آلومینیوم؛

S_2 = جامدات تولید شده خشک بر حسب پوند در روز برای کاربرد کلرور فریک؛

Q = میزان آب تولیدی بر حسب میلیون گالن در روز؛

SS = میزان جامدات معلق آب خام بر حسب میلی گرم در لیتر؛

Al = میزان آلومینیوم مورد مصرف محلول با غلظت ۱/۱۷ درصد بر حسب میلی گرم در لیتر.

Fe = میزان کلرور فریک مورد مصرف بر حسب میلی گرم در لیتر؛

P = میزان پلیمر مورد مصرف بر حسب میلی گرم در لیتر؛

$Mil.gal$ = میلیون گالن.

ضرایب ۰/۴۴ و ۲/۹ نیز در بخش های ۹-۱ و ۹-۲ مورد بحث قرار گرفته است که عبارتند از میزان جامدات تولیدی به ترتیب برای هر میلی گرم در لیتر دلمه ساز آلومینیوم و آهن. بنابراین محاسبات زیر ضرورت دارد:

● میزان متوسط تولید روزانه برای تعیین میزان تولید سالیانه به منظور تعیین زمین و فضای لازم دفن؛

● میزان حداکثر تولید روزانه برای تعیین ابعاد تغلیظ کننده ها، تاسیسات آبگیری و خشک کردن؛

● میزان اوج ساعتی تولید برای تعیین قطر لوله ها، پمپ ها و تاسیسات برقی.

حال اگر تاسیساتی مانند سانتریفوژ و یا فیلتر فشاری برای ظرفیت حداکثر روزانه جامدات طراحی و انتخاب شده است باید ظرفیت شرایط اوج و یا ظرفیت ساعتی را نیز جوابگو باشد. لازم به یادآوری است که اندازه گیری کدورت و آنالیز آن نمی تواند میزان واقعی جامدات معلق آب را بیان نماید مگر آنکه ضریب تبدیل مربوط تهیه شود که تنها با استمرار اندازه گیری هر دو متغیر و آنالیز آنها می توان تناسب را تعریف

خام شده و ممکن است فرایندهای تصفیه نتواند در حد لازم آنها را زدایش نماید. با توجه به افزایش روزافزون ارزش آب و مواد شیمیایی مورد مصرف اقدامات زیر باید در برنامه ها لحاظ گردد:

- برآورد و تخمین قیمت آب تولید شده؛
- تعیین انواع فاضلاب ها و ترکیبات قابل باز یافت؛
- تعیین بخش هایی که قابل باز یافت نیستند.

لذا انجام عملیات تعادل جرمی از اولین گام هاست که اصول آن عبارت است از:

◆ برآورد میزان حداکثر، حداقل و متوسط جامدات تولید شده در انواع فاضلاب های تصفیه خانه، بنابراین لازم است میزان و حجم فاضلاب ها ابتدا برآورد شده و در نهایت برای هر مترمکعب آب تولیدی جامدات آن تعیین شود تا وضعیت بهره برداری از تاسیسات مشخص شود.

◆ برآورد میزان گردش دوباره آب حاصل از تصفیه فاضلاب ها. این میزان نمی تواند بیشتر از ۵٪ آب تولیدی باشد و بنابراین با توجه به حداکثر کدورت مجاز در آب تولیدی می توان حداکثر جامدات آن را نیز تعریف نمود.

◆ برآورد و تعریف میزان جامدات و فاضلاب تولیدی که باید در واحدهای فرایندی مورد تصفیه قرار گرفته و باقیمانده آن ها به محیط مورد نظر تخلیه گردد. به کمک معادله زیر می توان جامدات تولیدی را تعیین نمود:

لجن حاصل از کاربرد دلمه ساز سولفات آلومینیوم:

$$S_1 = Q (0.44Al + SS + P) [8/34 lb/mil.gal/mg/l]$$

و لجن حاصل از کاربرد دلمه ساز کلرور فریک:

$$S_2 = Q (2/9 Fe + SS + P) [8/34 lb/mil.gal/mg/l]$$

که در آن:



نمود. میزان جامدات خشک تولیدی در تصفیه خانه های آب بستگی به منشا آب و جامدات آن دارد و رقم آن در حدود ۲۰۰ تا ۶۰۰ کیلوگرم برای هر یک هزار متر مکعب آب مورد تصفیه متغیر می باشد.

هیدرولیک لجناب ها

یکی از اولین گام ها در طراحی هیدرولیک تصفیه خانه توجه به هیدرولیک لجناب ها می باشد زیرا علاوه بر اینکه در بیشتر شرایط تاسیسات آن در زیر سطح زمین قرار می گیرند، به دلیل وجود جامدات معلق توجهات بیشتری لازم دارد.

لذا پس از تصمیم نهایی در مورد هیدرولیک واحدهای فرایندی تصفیه آب لازم است با توجه به هیدرولیک لجناب ها مورد تجدید نظر قرار گیرد و در نتیجه در صورت اجرای طرح های باز یافت مواد و بازچرخانی آب، مصرف کمتر انرژی ضرورت پیدا نماید. به علاوه ویژگی های مکانیک خاک هم روی رقوم استقرار واحدهای تصفیه لجناب ها بی تاثیر نیست.

در طراحی واحدهای مربوط به لجناب و جامدات حاصل از تصفیه و فرآوری، پیش بینی تاسیسات موازی و یا یدک باید مورد توجه قرار گیرد زیرا تولید مستمر آب با تولید مستمر لجناب همراه است. از آنجا که این تاسیسات آسیب پذیرتر هستند هزینه های سرمایه گذاری و بهره برداری از تاسیسات مربوط به جامدات در بسیاری از شرایط تعیین کننده گزینه برتر است.

۹-۷- پیامدهای محیط زیستی

استقرار یک کارخانه تصفیه و تولید آب مانند هر طرح عمرانی دیگر باید از نظر پیامدهای محیط زیستی مورد مطالعه قرار گیرد چه در مرحله اجرا و چه در مرحله بهره برداری. مهمترین معیارهای این مطالعه عبارتند از:

● معیارهای تخلیه و دفع لجناب، کیک و جامدات تصفیه خانه ها و رابطه آن با فناوری های انتخاب شده از نظر معیارهای ظرفیتی و عملکرد آنها و هزینه ها؛

● مخاطرات آلودگی آب زیرزمینی ناشی از نشت حوضچه ها و یا برکه ها؛

● مشکلات ناشی از آلودگی صوتی در بهره برداری از تاسیسات؛

● مشکلات ناشی از آلودگی هوا به علت انتشار گازهای نامطبوع؛

● پیامدهای مصرف انرژی و تولید گازهای گلخانه ای؛

● مشکلات جذب و تولید حشرات و جوندگان مزاحم؛

● پیامدهای مزاحمت برای ساکنین اطراف تاسیسات؛

● ایمنی تاسیسات برای کارگران و متصدیان؛

● مطالعات مربوط به پدافند غیرعامل و امکان توسعه برای تولید

بیشتر و در نتیجه نیاز به فضای بیشتر.

بنابراین انجام مطالعات پیامدهای محیط زیستی و در نظر گرفتن تمهیدات کاهش این اثرات باید در برنامه ریزی ها لحاظ گردد. در انتخاب فناوری های لازم برای تصفیه لجناب ها و بازچرخانی، استفاده از عملیات آزمایشی در سطح آزمایشگاه^۱ و صحرایی^۲ مورد توصیه اکید است که می توان از نیروی انسانی دانشگاه ها بهره برد.

مطالبی که به صورت چکیده در این فصل ارایه گردید نشان می دهد که بازچرخانی آب حاصل از تصفیه لجناب ها، آب بکواش فیلتر ها و باز یافت مواد مصرفی در فرایندهای تصفیه و دفع نهایی جامدات حاصل از تصفیه نیاز به توجهات جدی دارد و بخش بهره برداری از تصفیه خانه آب باید از طرح های تحقیقاتی – کاربردی حمایت نماید. البته توجه به دستاوردهای کشورهای دیگر نیز برای انجام تحقیقات ضرورت دارد.



۹-۸- نتیجه گیری

گرچه در فصل ششم به مقوله بازچرخانی آب در تصفیه لجناب تصفیه خانه های آب اشاره گردید ولی با توجه به اهمیت آلاینده های موجود در آب حاصل از تصفیه لجناب ها در این بخش نیز با نگاهی دیگر به آن پرداخته شد. انگل روده ای کریپتوسپوریدیم از گروه پروتوزوآها به عنوان شاخص در این بحث در نظر گرفته می شود زیرا اگرچه دارای اندازه حدود ۶ میکرون است اما از دیگر آلاینده ها مانند تری هالومتان ها، ژیا ردیا و ویروس ها بزرگ تر می باشد. بنابراین اگر از تاسیسات تصفیه متعارف عبور نماید، آلاینده های دیگر هم در آب تولیدی وجود خواهند داشت. این انگل نسبت به اکثر میکروبکش ها و کلر مقاومت نشان می دهد بنابراین عبور آن از تصفیه خانه مطلوب نیست.

در یک تحقیق روی ۲۵ منبع آب که توسط انجمن کارهای آبی امریکا انجام گرفته نشان می دهد که از ۱۴۶ نمونه مورد آزمایش به ترتیب ۳۰ و ۱۱ درصد آنها دارای انگل ژیا ردیا و کریپتوسپوریدیم با

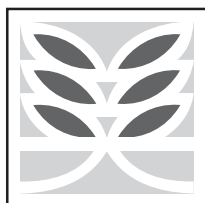
متوسط هندسی ۸۹ و ۱۰۸ عدد در یک صد لیتر بوده است. در تحقیقات انجام شده روی آب بکواش فیلترها نیز متوسط هندسی تعداد آنها به ترتیب ۲۰۳ و ۱۷۵ در یک صد لیتر را نشان می دهد. بنابراین در طرح های بازچرخانی در تصفیه خانه های آب باید نگران حضور این آلاینده ها در آب تولیدی بود و در طراحی تاسیسات تصفیه این آب ها، علاوه بر بهره برداری مناسب لازم است پایش آلاینده ها نیز به طور مستمر انجام گیرد. با توجه به اهمیت بهداشت و سلامت مصرف کنندگان آب شبکه های توزیع و میزان تامین آب اضافی از این روش که نمی تواند بیش از ۳-۴ درصد آب تولیدی تصفیه خانه باشد، عملیات باید با احتیاط زیاد انجام گیرد. گزینه های رسیدن به این هدف لازم است از نظر فنی و اقتصادی مورد مطالعه قرارگیرد و کیفیت در اینجا نمی تواند فدای کمیت و قیمت بشود، زیرا سلامتی جامعه اصل اول در هر برنامه توسعه و به ویژه طرح های تامین آب شرب است.

۱۰-۱- نگاه کلی

در فصل های گذشته کتاب مشاهده گردید که طبق استانداردهای شماره ۱۰۵۳ و ۱۰۱۱ آب شرب، باید نگران احتمال حضور حدود ۱۴۰ آلاینده در آب شرب بود که سرچشمه آنها به طور کلی فاضلاب های کشاورزی، شهری و صنعتی است. بنابراین برای انتخاب منبع آب خام مصرف های شرب باید به کمک آزمایشگاه مناسب کیفیت آن را مورد مطالعه قرار داد و در صورت وجود آلاینده ای بیشتر از حداکثر مجاز استانداردهای پیش گفته، فرایندهای مناسب برای زدایش آنها از آب را انتخاب نمود. با عنایت به مطالب نه فصل گذشته می توان گام های اساسی در طراحی یک تصفیه خانه آب را به شرح زیر مورد توجه قرار داد:

۱. کیفیت آب خام: اولین گام در طراحی یک تصفیه خانه آب دانستن کیفیت آب خام منبع مورد نظر است و لذا غلظت آلاینده ها در حد متوسط و حداکثر، همراه با طول مدت استمرار این غلظت ها در طی سال های گذشته باید تعریف شود. البته فرض بر این است که مطالعات مربوط به توسعه منابع آب های قابل استفاده و قابل

توجهات اساسی در طراحی



دسترسی انجام گرفته و نتیجه گیری شده است که منبع آب مورد نظراز نظر کمیت پاسخگوی نیازهای سال های آخر طرح می باشد. ظرفیت اسمی تصفیه خانه بر مبنای نیاز به آب در روزهای حداکثر هفته پر مصرف شهر می باشد که تعیین هفته پر مصرف مربوط به جمعیت شناسی، جامعه شناسی و هوا شناسی شهر مورد نظر است. توجه شود که طبق معیارهای مصوب، تاسیسات ذخیره و توزیع باید نوسانات نیازهای ساعتی آب شهر را پاسخگو باشد. در این زمینه ضریب حداکثر روزهای پرمصرف به صورت استاندارد در آمده است که رعایت آن الزامی است. در انجام مطالعه کیفیت آب خام منبع مورد نظر دو مطلب اساسی وجود دارد که نیاز به توجه دارد:

- الف- وضعیت توسعه کشاورزی، صنعتی و شهری در حوزه آبریز و اثر آن روی میزان تولید فاضلاب ها و ریسک های افزایش آلاینده ها در آب خام. انجام این مطالعه با نام مطالعات صحرایی-بهداشتی^۱ شناخته می شود که انجام آن ضرورت



تخلیه فاضلاب‌ها گام مهم حفظ محیط‌زیست از آلودگی و تخریب آن و یکی از محورهای توسعه منابع آب هم به شمار می‌رود.

در صورتیکه آلاینده‌های آب خام درحدی باشد که تصفیه آن برای مصارف شرب بسیار گران و پیچیده است جدا کردن آب شرب از آب مصارف بهداشتی باید مورد مطالعه قرار گیرد. در انجام این استراتژی کلی دو گزینه وجود دارد که عبارتند از:

- **الف- جدا کردن منبع آب خام شرب از منبع آب مصرف‌های بهداشتی** شامل انتخاب منبع آب خامی که در خطر دریافت آلاینده‌های مورد نظر نباشد و از نظر کمی پاسخگوی نیاز ۳-۵ لیتر سرانه مصرف آب شرب جامعه باشد. این بحث به معنی ضرورت ایجاد یک شبکه توزیع آب شرب نیست و تصمیم‌گیری در زمینه نحوه توزیع آب شرب نیاز به انجام مطالعات امکان-سنجی برای هر شهر به طور مستقل دارد.

- **ب- تولید آب شرب از آب خروجی تصفیه‌خانه تولید آب بهداشتی.** چون کیفیت آب شرب از نظر استاندارد بهتر از کیفیت آب مصرف‌های بهداشتی است می‌توان بخش کوچکی از آب خروجی تصفیه‌خانه آب را برای مصرف‌های شرب مورد تصفیه بیشتر قرار داد. نحوه توزیع آب شرب دارای گزینه‌های مختلفی است که به طور چکیده عبارتند از: تولید آب بسته‌بندی در محل تصفیه‌خانه به صورت متمرکز و توزیع آن در شهر و یا تولید آب شرب و بسته‌بندی در محله‌های مختلف شهر توسط بخش خصوصی و یا شرکت آب و فاضلاب شهر.

بنابراین برای دو گزینه پیش گفته باید شرح خدمات انجام مطالعات تدوین گردد. به علاوه ضوابط فنی بررسی و تصویب گزارشات نیز باید تهیه شود که در زمان تدوین این کتاب هنوز تهیه نشده است. اختلاف کیفیت آب مناسب مصرف‌های بهداشتی با استاندارد شماره ۱۰۵۳ نیاز به تدوین معیارها و استانداردهایی دارد که هنوز در کشور



انجام نگرفته است. اما در این تردیدی نیست که آب مناسب مصارف بهداشتی از نظر عوامل زنده بیماریزا یعنی استاندارد ۱۰۱۱ کاملاً مشابه آب شرب باید باشد. بنابراین انتخاب منبع آب خامی که در معرض آلاینده‌ها قرار نگرفته اولویت اول می‌باشد اما در مورد حداکثر غلظت مجاز آلاینده‌های شیمیایی نیاز به بررسی اثرات حضور آنها و مصارف غیر شرب دارد.

بحث تاسیسات و سازه‌های آبگیر و انتقال، هیدرولیک و معیارهای طراحی آن خارج از مقوله کیفیت و تصفیه آب است و بنابراین به آن پرداخته نمی‌شود اما توجه به محل آبگیری و کیفیت آب خام ضرورت دارد. در فصل‌های اول تا نهم کتاب مبانی کیفیت آب، نحوه انتخاب فرایندهای تصفیه آب، مبانی طراحی واحدهای فرایندی تصفیه آب با رویکرد ویژه به طراحی واحدهای فیلتراسیون ارایه گردید. در این فصل با هدف ارایه روش متعارف انجام مطالعات، گام‌های بنیادی طراحی تصفیه‌خانه آب در حد مطالعات مرحله امکان‌سنجی ارایه می‌گردد. با توجه به تعداد آلاینده‌های آب و فرایندهای تکوین یافته، به منظور کاهش غلظت و حذف این آلاینده‌ها، محدوده کاربرد هریک از فرایندهای تصفیه مورد بحث قرار می‌گیرد. لازم به توضیح است که کارهای طراحی یک تصفیه‌خانه آب، حرفه‌ای بین رشته‌ای و تکوینی است، به این معنی که در مراحل مختلف طراحی تصفیه‌خانه، لازم است تخصص‌های مختلف با یکدیگر همکاری داشته باشند و از سویی دیگر فرایند طراحی تصفیه‌خانه یک مسیر مستقیم نیست بلکه در هر گام از مطالعه گزینه‌های مختلفی وجود دارد که نیاز به مشورت با تخصص‌های دیگر دست‌اندرکار طراحی‌ها و بازنگری در کارها می‌باشد.

همان‌طور که یادآور گردید روند انجام مطالعات برای طراحی تصفیه‌خانه آب از بررسی اطلاعات پایه آغاز شده و پس از صحت‌سنجی و پردازش اطلاعات جمع‌آوری شده و انتخاب ضوابط طراحی،

گزینه‌های فرایندی انتخاب و طراحی‌ها انجام گردیده و مورد مقایسه قرار می‌گیرند.

در صورتی که مطالعات برای تهیه گزارش امکان‌سنجی باشد لازم است به آخرین تجدید نظر ضوابط فنی بررسی و تصویب، نشریه شماره ۳-۱۲۱ توجه شود. بنابراین انجام مطالعات منابع آب، فرایندهای تصفیه، فرایندهای فرآوری و دفع پساب تصفیه‌خانه، انتخاب محل تصفیه‌خانه، تهیه طرح اولیه ساختمان‌های فرایندی و جنبی، مطالعات مربوط به تاسیسات، برق، کنترل و ابزار دقیق، آلبوم نقشه‌های لازم و ارایه گزارش از بخش‌های اصلی مطالعات امکان‌سنجی طرح می‌باشد.

۱۰-۲- ظرفیت تصفیه‌خانه

یکی از مولفه‌های اصلی در تعیین گزینه برتر فرایندهای تصفیه آب تعریف ظرفیت نامی^۱ تصفیه‌خانه است. به عنوان نمونه در صورتی که ظرفیت مورد نیاز طرح بسیار کم باشد، ممکن است استفاده از مجموعه‌های پیش ساخته مزایای متعددی را نظیر افزایش سرعت اجرا و کاهش هزینه‌های طرح فراهم آورد. البته باید توجه داشت استفاده از مجموعه‌های پیش ساخته ممکن است محدودیت‌هایی نظیر افزایش هزینه‌های جاری طرح و وابستگی به شرکت سازنده آن در دوران بهره‌برداری را نیز به دنبال داشته باشد. به عنوان مثال در طراحی تصفیه‌خانه‌های آب با ظرفیت کم از فیلترهای تحت فشار هم با شروطی می‌توان استفاده نمود.

پس از تعیین دوره طرح می‌بایست نیاز آب در طول دوران طرح به صورت سالیانه و در صورت نیاز در فصل‌های سال به ویژه در ماه‌های پر مصرف و امکانات تامین آن برآورد گردد. بدین منظور بر اساس آمار و اطلاعات موجود، تعداد مصرف کنندگان آینده بر اساس مطالعات جمعیت‌شناسی و طرح‌های آمایش سرزمین (توسعه



بیولوژیکی آن در طی روزها، هفته‌ها و ماه‌ها در سال‌های گذشته، فرایندهای زدایش آلاینده‌ها باید انتخاب شود و لازم به یادآوری است که برای زدایش آلاینده‌های آب فرایندهایی با طیف عملکردهای مختلف وجود دارد که توجه به آنها ضرورت دارد و به همین جهت گزینه‌های مختلف فرایندی باید مورد مطالعه و مقایسه قرار گیرد. بر مبنای مطالب نه فصل گذشته می‌توان آلاینده‌های آب را در نه گروه و به شرح زیر مورد بحث قرار داد:

۱. کدورت: طبق جدول شماره ۱ استاندارد ۱۰۵۳ تجدید نظر پنجم حد مطلوب کدورت آب شرب کمتر از یک و حداکثر مجاز آن ۵ ان تی یو می‌باشد. طبق بخش‌های فصل چهارم کتاب هر نوع ذره معلق در آب موجب بروز کدورت آب می‌شود. سیلت، رس، جلبک‌ها، باکتری‌ها، کلوئیدها و حتی ویروس‌ها در گروه مواد مولد کدورت آب قرار دارند و فرایندهای زدایش آنها از آب در جدول شماره ۱۰-۱ نشان داده شده است. لازم به توجه است که میکروب‌ها به طور کلی در گروه ذرات معلق قرار دارند و زلالسازی و با کاربرد یک دلمه‌ساز و فیلتراسیون می‌تواند تا سقف ۹۹/۹۹۹ درصد آنها را از آب زدایش نماید. با افزایش میزان کدورت آب واحدهای پیش تصفیه، میکرواسکرین و فناوری‌های دیگر به تصفیه‌خانه متعارف آب افزوده می‌شود. لازم به یادآوری است که هدف از اندازه‌گیری کدورت تعیین میزان جامدات معلق آب است و لذا رابطه بین کدورت و جامدات معلق آب مورد نظر باید تعیین گردد که در فصل نهم به آن پرداخته شده است.

جدول شماره ۱۰-۱- فرایندهای زدایش کدورت از آب

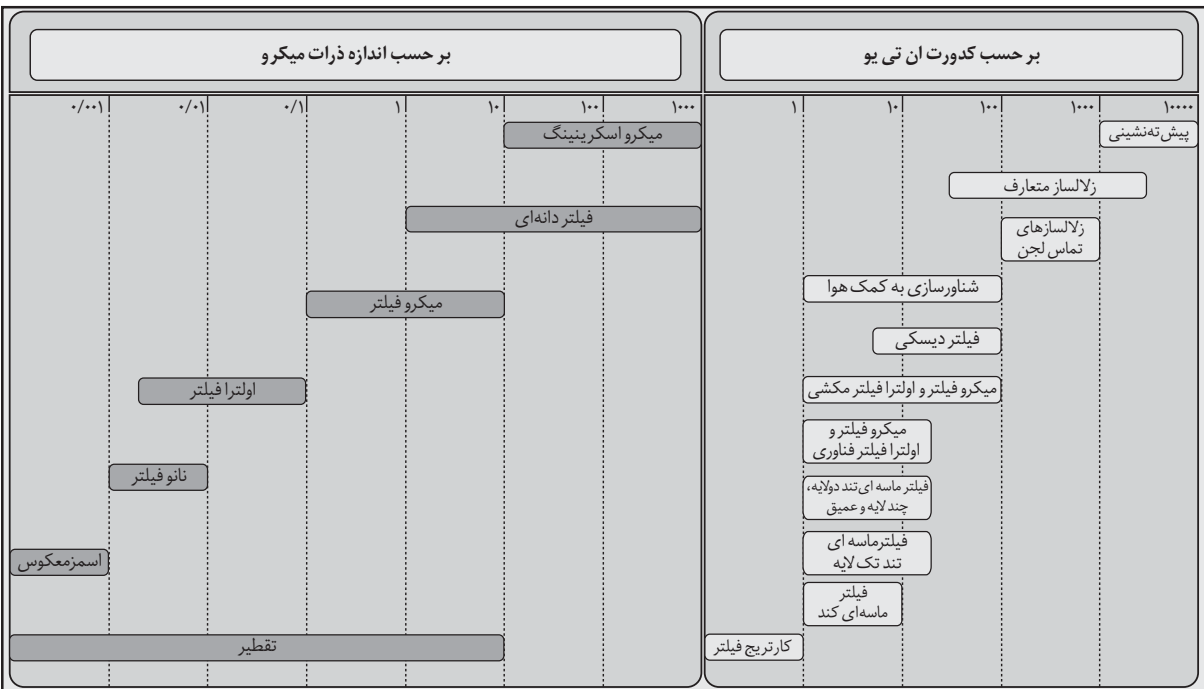
فرایند	حدود درصد زدایش
تصفیه متعارف*	۹۰ - ۱۰۰
سختی‌گیری	۶۰ - ۹۰
استفاده از ممبران‌ها	۹۵ - ۱۰۰

*تصفیه متعارف شامل دلمه سازی، زلالسازی و فیلتراسیون می‌باشد.



۲. آلاینده‌های معدنی: لازم به توجه است که آلاینده‌های معدنی و نمک‌ها هم که در گروه ترکیب‌های محلول قرار دارند به نوعی در آب معلق هستند اما به دلیل ریزی در عبور نور دخالت نداشته و در نتیجه به آب کدورت اضافه نمی‌کنند. اما توسط روزنه‌های نانوفیلتر و اسمز معکوس و حتی گروهی از اولترافیلترها قابل زدایش از آب هستند. آلاینده‌های معدنی شامل آرسنیک، کادمیوم، کروم، سرب، سیانید، فلوفور، ید، جیوه و نیکل می‌باشد که با کاربرد فرایندهای مختلف که در جدول شماره ۱۰-۲ نشان داده شده از آب زدایش می‌شوند. با توجه به تنوع آلاینده‌های شیمیایی و غلظت کم آنها لازم است امکانات آزمایشگاهی توسعه یابد و با کمک عملیات آزمایشی فرایندهای زدایش تعریف شود. می‌توان مشاهده نمود که فرایندهای تصفیه متعارف شامل اختلاط، دلمه‌سازی^۱،

شکل شماره ۱۰-۱- فرایندهای جداسازی ذرات موجود در آب با اندازه‌های مختلف (بر حسب میکرون)



1. Coagulation

2. Flocculation

فضاهای مسکونی، صنعتی، کشاورزی و فضای سبز) پیش بینی گردیده و سرانه مصارف هر بخش بر اساس وضعیت موجود و آینده برآورد گردد. به‌طور کلی در طرح‌ها به منظور افزایش قابلیت اطمینان به تولید آب، به ویژه در تصفیه‌خانه‌های بزرگ سعی می‌گردد تعداد مدول‌های هر واحد فرایندی بیش از ۲ تا ۴ عدد باشد. همچنین به دلایل اقتصادی و به منظور کاهش دوران راكد ماندن سرمایه در بخش سرمایه‌گذاری ساخت، سعی می‌گردد تصفیه‌خانه در دو یا چند مرحله اجرایی احداث گردد. در این خصوص باید توجه داشت که ظرفیت اولین مرحله اجرایی پروژه باید به میزانی انتخاب شود که قادر باشد نیاز آبی طرح را تا زمان به بهره‌برداری رسیدن دومین مدول تامین نماید. همچنین در این دوران با خارج شدن یک بخش از هر واحد فرایندی از خط تولید و به دلیل انجام بازدیدها و تعمیرات ادواری با افزایش تولید توسط مدول‌های دیگر کاهشی در جریان تولید آب و با کیفیت مطلوب ایجاد نگردد. از سویی افزایش تعداد مدول‌های تصفیه‌خانه باعث افزایش هزینه‌های سرمایه‌گذاری می‌شود که توجه آن نیز ضرورت دارد.

۱۰-۳- کیفیت و فرایندهای زدایش

به طور کلی آب‌های در دسترس حاوی طیفی از ناخالصی‌های آلی و معدنی هستند. هدف از تصفیه آب حذف ناخالصی‌های نامطلوب آب و دفع آن‌ها به شیوه بهداشتی و سازگار با محیط زیست و تولید آبی با کیفیت تعریف شده در استانداردهای مصوب و با قیمت مناسب برای مصرف کننده است. بدین منظور بسته به ویژگی‌های آب خام از فرایندهای مختلفی به منظور بهبود کیفیت آب استفاده می‌شود. در این رابطه باید تغییرات احتمالی کیفیت آب منابع موجود را نیز پیش‌بینی نمود، زیرا اساس و پایه انتخاب فرایندهای تصفیه، ویژگی‌های آلاینده‌های آب خام و کیفیت آب مورد نیاز می‌باشد. در شکل شماره ۱۰-۱ اندازه آلاینده‌ها و فرایندهای زدایش نشان داده شده است. با توجه به گزارش مفصل و قابل اطمینان در مورد کیفیت آب خام شامل منحنی‌های تغییر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و



جدول شماره ۱۰-۲ – آلاینده‌های معدنی و فرایندهای زدایش

آلاینده	فرایندهای زدایش	حدود درصد زدایش	آلاینده	فرایندهای زدایش	حدود درصد زدایش
آرسنیک ^{۳+}	دلمه‌سازی، ذره‌سازی، زلالسازی، فیلتراسیون، سختی‌گیری، تبادل یونی، ممبران‌ها، اسمز معکوس، کربن فعال	۲۰ – ۱۰۰	روی	سختی‌گیری با آهک، اسمز معکوس، الکترودیالیز	۲۰ – ۱۰۰
آرسنیک ^{۵+}	دلمه‌سازی، ذره‌سازی، زلالسازی، فیلتراسیون، سختی‌گیری، تبادل یونی، اسمز معکوس	۲۰ – ۱۰۰	آلومینیوم	دلمه‌سازی، ذره‌سازی، زلالسازی، فیلتراسیون، تبادل کاتیونی، اسمز معکوس، الکترودیالیز	۲۰ – ۱۰۰
آزبست	دلمه‌سازی، ذره‌سازی،، زلالسازی، فیلتراسیون	۲۰ – ۱۰۰	نقره	دلمه‌سازی، ذره‌سازی، ته‌نشینی، فیلتراسیون، گرانول کربن فعال، اکسیداسیون	۲۰ – ۱۰۰
کادمیوم	دلمه‌سازی، ذره‌سازی، زلالسازی، فیلتراسیون، سختی‌گیری، الکترودیالیز، کربن فعال	۲۰ – ۱۰۰	سرب	دلمه‌سازی، ذره‌سازی، ته‌نشینی، فیلتراسیون، سختی‌گیری با آهک، تبادل کاتیونی	۲۰ – ۱۰۰
کروم ^{۳+}	دلمه‌سازی، ذره‌سازی، زلالسازی، فیلتراسیون، سختی‌گیری، اسمز معکوس	۶۰ – ۱۰۰	مس	سختی‌گیری با آهک، تبادل یونی، گرانول کربن فعال	۶۰ – ۱۰۰
کروم ^{۶+}	تبادل یونی، اسمز معکوس، الکترودیالیز، کربن فعال	۶۰ – ۱۰۰	نیترات‌ها	اسمز معکوس و الکترودیالیز، دلمه‌سازی، ذره‌سازی، زلالسازی، فیلتراسیون، تبادل یونی، ممبران‌ها، تصفیه بیولوژیکی	۲۰ – ۹۰
سیانور	اسمز معکوس، الکترودیالیز، اکسیداسیون	۶۰ – ۱۰۰	نیکل	تبادل یونی، اسمز معکوس و الکترودیالیز	۹۰ – ۱۰۰
فلوراید	دلمه‌سازی، ذره‌سازی، زلالسازی، فیلتراسیون، سختی‌گیری، اسمز معکوس، الکترودیالیز، گرانول کربن فعال	۲۰ – ۹۰	اورانیوم	تبادل یونی، دلمه‌سازی، ذره‌سازی، آلومینای فعال	۲۰ – ۱۰۰
جیوه	دلمه‌سازی، ذره‌سازی، زلالسازی، فیلتراسیون، سختی‌گیری، تبادل یونی، اسمز معکوس، الکترودیالیز	۲۰ – ۹۰	سیانوتوکسین‌ها	کلرزنی، کربن فعال، ازن‌زنی، اکسیداسیون پیشرفته	۲۰ – ۱۰۰

جدول شماره ۱۰-۳ – فرایندهای زدایش مواد آلی انسان ساخت

فرایندها	درصد زدایش
هوادهی، یا هوازدایی و اکسیداسیون	۶۰ – ۱۰۰
اسمز معکوس، اولترافیلتر و نانوفیلتر	۲۰ – ۱۰۰
گرانول و پودر کربن فعال	۰ – ۹۰

۴. ترکیب‌های مولد طعم و بو: حضور مواد آلی و مواد حاصل از

فعالیت‌های بیولوژیکی در آب‌ها مانند آب دریاچه‌های پشت سدها



جدول شماره ۱۰-۴ – فرایندهای زدایش مواد مولد طعم و بو

فرایندها	درصد زدایش
هوادهی و یا هوازدایی	۲۰ – ۱۰۰
تصفیه متعارف، سختی‌گیری با آهک	۰ – ۶۰
گرانول و پودر کربن فعال	۶۰ – ۱۰۰
اکسیداسیون شیمیایی	تا سقف ۱۰۰

فقط از مقبولیت آن برای شرب می‌کاهد بلکه از نظر بروز

مسمومیت‌هایی باید مورد توجه قرار گیرد.

در استاندارد ۱۰۵۳ برای حد مطلوب آن عددی داده نشده و

حداکثر مجاز آن ۱۵ واحد رنگ^۱ است. روش‌های زدایش رنگ از

آب در جدول شماره ۱۰-۵ نشان داده شده است. تشخیص ماده شیمیایی مولد رنگ برای آب مورد مصارف شرب ضرورت دارد.

جدول شماره ۱۰-۵ – فرایندهای زدایش رنگ واقعی آب

فرایندها	درصد زدایش
تصفیه متعارف	۲۰ – ۹۰
سختی‌گیری با آهک	۲۰ – ۹۰
گرانول کربن فعال	۹۰ – ۱۰۰
پودر کربن فعال	۶۰ – ۱۰۰
اکسیداسیون شیمیایی	۲۰ – ۶۰
نانوفیلتر	۸۰ – ۹۰

۶. **تری‌هالومتان‌ها:** در جدول شماره ۷ استاندارد ۱۰۵۳ تری‌هالومتان‌ها عبارتند از برموفرم، دی برموکلرومتان، کلرومتان وکلروفرم و

حداکثر مجاز غلظت آنها به صورت جمعی ۰/۵۶ میلی‌گرم در لیتر

است اما این رقم در استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست امریکا

حدود ۰/۰۸ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. همچنین محصولات جانبی

میکروبیکشی با ازن عبارتند از برومات و بروموفرم و محصولات

جانبی کاربرد دی اکسید کلر هم عبارتند از کلرات و کلریت که حضور آنها در آب شرب مطلوب نیست.

بیماری‌های متعددی با این ترکیب‌ها گره خورده اند که برای

مثال می‌توان از سرطان‌ها و مسمومیت‌ها نام برد اما بحث کلی

به‌تری‌هالومتان‌ها محدود می‌شود. ارتباط بین آب آشامیدنی

کلرزنی شده و افزایش مرگ‌ومیر ناشی از سرطان در چند تحقیق

ثابت شده است اما به علت دخالت عوامل دیگر مانند رژیم غذایی،

آلودگی هوا، عادات فردی مانند مصرف سیگار و به‌طور کلی روش

زندگی، نتیجه‌گیری قطعی را ناممکن می‌نماید. با توجه به حداکثر

غلظت مجاز ترکیب‌های آمده در استاندارد روش‌های زدایش آنها

در جدول شماره ۱۰-۶ آورده شده است.

جدول شماره ۱۰-۶ – فرایندهای زدایش تری‌هالومتان‌ها

فرایندها	درصد زدایش
هوادهی و یا هوازدایی	۶۰ – ۱۰۰
تصفیه متعارف	۵ – ۲۰
اسمز معکوس، اولترافیلتر	۶۰ – ۹۰
گرانول کربن فعال	۶۰ – ۱۰۰
پودر کربن فعال	۲۰ – ۱۰۰

۷. **مواد آلی کربن دار^۲:** رشد تولید و مصرف انواع پلیمرهای صنعتی،

دارویی، بهداشتی، حشره‌کش‌ها، برومات، کلرات و محصولات

1. T.C.U (True Colour Unit)

۲. محصولات حاصل از تجزیه طبیعی مواد گیاهی به‌ویژه برگ درختان، علف‌ها و ریشه گیاهان است که به صورت مواد محلول، کلوییدی و جامدات معلق در می‌آیند و مرکب از اسید فولویک، اسید هیومیک، تانن‌ها و لیگنین می‌باشد. وزن مولکولی آن‌ها ۸۰ هزار تا ۲۰۰ دالتون است اما انواع با وزن مولکولی ۱۰ هزار دالتون بیشترین نوع می‌باشد.

جانبی حاصل از کاربرد کلر و کلروآمین به نحوی به فاضلاب‌ها تخلیه شده و در نهایت به منابع آب می‌رسند. همچنین همراه با ایجاد دریاچه‌های ذخیره آب در پشت سدها و شکوفایی جلبکی و دیگر موجودات ریز و در نتیجه افزایش مواد آلی طبیعی کربن‌دار در آب‌ها، فرایندهای مختلف و با عملکردهای متفاوت برای زدایش آنها لازم است.

با کاربرد کلر و یا ازن به عنوان میکروبوکش و یا اکسیدکننده، مشکل تولید محصولات جانبی دیگری پیش می‌آید که وجودشان در آب شرب برای سلامتی مصرف کننده مخاطره انگیز است. فرایندهای زدایش مواد آلی کربن‌دار بسیار متنوع بوده و استفاده از آنها بستگی به غلظت آلاینده در آب خام و غلظت مجاز آن در آب تولیدی دارد. این فرایندها در جدول شماره ۱۰–۷ نشان داده شده است.

در امریکا و بعضی از کشورهای اروپایی برای کاهش وزدایش این گروه از مواد به ویژه از آب غیرمتعارف از فرایند اکسیداسیون توسط آب اکسیژنه استفاده می‌شود. توجه به طیف تقریبا وسیع درصدزدایش این گروه از آلاینده‌های خطرناک توسط فرایندهای مختلف که در جدول پیش گفته نشان داده شده، لازم است ضمن انتخاب معیارهای محافظه کارانه در طراحی، از انجام عملیات آزمایشی هم بهره برد و در مرحله بهره‌برداری هم غلظت آنها به‌طور مستمر پایش شود.

جدول شماره ۱۰–۷- فرایندهای زدایش مواد آلی کربن دار

فرایندها	درصد زدایش
تصفیه متعارف	۰ - ۶۰
سختی‌گیری با آهک	۹۰ - ۱۰۰
اولترافیلتر و کربن فعال	۶۰ - ۱۰۰
اکسیداسیون شیمیایی	۶۰ - ۱۰۰
نانوفیلتر، اسمزمعکوس	۹۵ - ۱۰۰



از آنجا که فرایندهای تصفیه متعارف در زدایش بین ۰-۶۰درصد متغیر است لذا حتی در بهترین شرایط طراحی و بهره‌برداری اگر تی او سی آب خام ۱۰ میلی گرم در لیتر باشد حضور حدود ۴ میلی‌گرم در لیتر در آب خروجی تصفیه‌خانه متعارف محتمل است که با کلرزنی ممکن است حدود ۳۰درصد آن معادل ۱/۲ میلی گرم در لیتر تری‌هالومتان تولید شود که چندین برابر حداکثر مجاز آن در آب شرب است.

۸. **مواد رادیواکتیو**: گروهی از عناصر با نام رادیواکتیو شناخته می‌شوند. این عناصر دارای هسته ناپایدار بوده و دارای ویژگی انتشار ذرات حاوی انرژی و یا واحدهای انرژی هستند که تحت نام زوال رادیواکتیو شناخته می‌شود. این تشعشعات با نام ذرات آلفا، بتا و گاما معروف است که در یک محیط مغناطیسی قابل تشخیص می‌باشند.

میزان تشعشعات رادیواکتیو را با تعداد پرتاب‌ها در واحد زمان می‌سنجند و واحد آن کوری^۱ است که عبارت است از ۱۰^{۱۰}× ۳/۷ پرتاب و یا تشعشع در ثانیه. سرچشمه وجود آلاینده‌های رادیواکتیو در آب‌ها عبارت است از:

- منابع طبیعی رادیواکتیو؛
- عملیات آزمایشی سلاح‌های جنگی و ریزش مواد رادیواکتیو ناشی از آنها توسط نزولات؛
- فاضلاب صنایعی که از انرژی اتمی استفاده می‌کنند و یا استخراج اورانیوم از سنگ معدن آن؛
- فاضلاب صنایع پزشکی و تحقیقات مربوط به آن.

در صورتیکه نوع این آلودگی ذرات معلق باشد، تصفیه‌خانه‌های متعارف قادر به حذف بخش بسیار زیادی از آن می‌باشند و فرایندهای سختی‌گیری به کمک آهک و سود هم قادر به حذف همه آنها نخواهد بود. در صورت وجود مواد رادیواکتیو لازم است با

1. Curie

مرکز مطالعات انرژی اتمی تماس گرفته و پس از تعیین نوع آلودگی نسبت به طراحی فرایندهای زدایش و یا تعویض منشا آب و یا جلوگیری از آلودگی آن اقدام شود. از مهمترین آلاینده‌های این دسته می‌توان به رادیوم ۲۲۶ و استرانسیوم ۹۰ اشاره نمود. در این نوع تصفیه‌خانه‌های آب دفع لجناب‌ها نیز توجهات زیادی می‌طلبد.

۹. **عوامل زنده بیماریزا**: عوامل زنده بیماریزا شامل ویروس‌ها، باکتری‌ها، پروتوزوآها و تخم انگل‌ها و کیست‌ها می‌باشد که در فصل چهارم مورد توجه قرار گرفته است. از نظر اندازه در محدوده ۰/۱–۱۵ میکرومتر قرار دارند. در جدول شماره ۱۰–۸ فرایندهای زدایش آنها نشان داده شده است.

جدول شماره ۱۰–۸- فرایندهای زدایش ذرات معلق بیماریزا

فرایندها	درصد زدایش
تصفیه متعارف	۶۰ - ۱۰۰
سختی‌گیری با آهک	۶۰ - ۱۰۰
اولترافیلترهای ریز روزه	۹۰ - ۱۰۰
اکسیداسیون شیمیایی	۹۰ - ۱۰۰
اسمزمعکوس	۹۰ - ۱۰۰

همان طور که در جدول شماره ۱۰–۸ نشان داده شده است در فرایندهای تصفیه متعارف آب شامل زلالسازی و فیلتراسیون دانه‌ای درصدزدایش ذرات معلق در طیف ۶۰–۱۰۰ قرار دارد و کاربرد میکروبوکش پس از اطمینان به عملکرد مطلوب تصفیه‌خانه می‌باشد که در فصل‌های قبلی از دیدگاه‌های مختلف بررسی شده است. توجه به حساسیت و مقاومت بیماریزها با به ویژه ویروس‌ها، ژیا ردیا و کریپتوسپوریدیم نسبت به میکروبوکش مورد استفاده ضرورت دارد.

در یک نگاه کلی به متون کتاب می‌توان دریافت



که به طور نظری با کاربرد فناوری‌های مختلف تصفیه از هر آبی هر چند آلوده، می‌توان آبی با کیفیت مطلوب تولید نمود و بازچرخانی آب را در شهر به اجرا در آورد. بدین معنی که می‌توان فاضلاب تصفیه شده خروجی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب را با اعمال فرایندهای مختلف حتی در حد استاندارد ۱۰۵۳ تصفیه نمود.

جدول شماره ۱۰–۹ برای برنامه‌ریزی مطالعات امکان‌سنجی راهنمای خوبی است و چکیده رابطه بین آلاینده‌ها و فرایندهای زدایش آنها از آب را نشان می‌دهد که قبلا در جدول‌های شماره ۱۰–۱ تا ۱۰–۸ و شکل شماره ۱۰–۱ آورده شده است.

پتانسیل برنامه‌ریزی برای بازچرخانی آب با فلسفه استفاده چندباره از آب، نگرانی کمبود آب را کمرنگ‌تر از گذشته نموده است زیرا حداقل ۷۰ درصد آب مصرفی در منازل را می‌توان به آب غیرمتعارف مناسب هر گونه استفاده دوباره تبدیل نمود.

در این صورت می‌توان مشاهده نمود که ضرورت میزان آبیگری از منابع آب متعارف و انتقال از راه دور کاهش قابل ملاحظه‌ای پیدا می‌نماید. در حقیقت این سوال مطرح می‌شود که آیا بهتر نیست که فاضلاب جمع‌آوری شده شهر در حد لازم بخش‌های غیرمصارف بهداشتی تصفیه شود تا میزان آبیگری و انتقال آب از راه دور کمتر

جدول شماره ۱۰–۹- آلاینده‌ها و فرایندهای زدایش

فرایند زدایش	ذرات محلول یونیزه شده	گازهای محلول یونیزه شده	مواد آلی محلول	جامدات معلق	باکتری‌ها
تقطیر	عالی	ضعیف	خوب	عالی	عالی
تبادل یونی	عالی	عالی	ضعیف	ضعیف	ضعیف
اسمزمعکوس	خوب	ضعیف	خوب	عالی	عالی
جذب کربنی	ضعیف	ضعیف	خوب	ضعیف	ضعیف
فیلتراسیون دانه‌ای	ضعیف	ضعیف	ضعیف	عالی	عالی
اولترا فیلترها	ضعیف	ضعیف	خوب	عالی	عالی
پرتو فرابنفش	ضعیف	ضعیف	خوب	ضعیف	خوب



بستگی به معیارهای منتخب برای طراحی دارد و چنانچه لازم است عملکردزدایش بهتر باشد، معیار طراحی به همان نسبت باید محافظه کارانه‌تر انتخاب شود. برای مثال بار سطحی کمتر و زمان ماند بیشتر باعث می‌شود که تا حدودی درصد زدایش افزایش یابد. در شکل شماره ۱۰-۲ دیاکرام فرایندهای تصفیه‌خانه آب نشان داده شده است. توضیحات در مورد شکل شماره ۱۰-۲ به شرح زیر است:

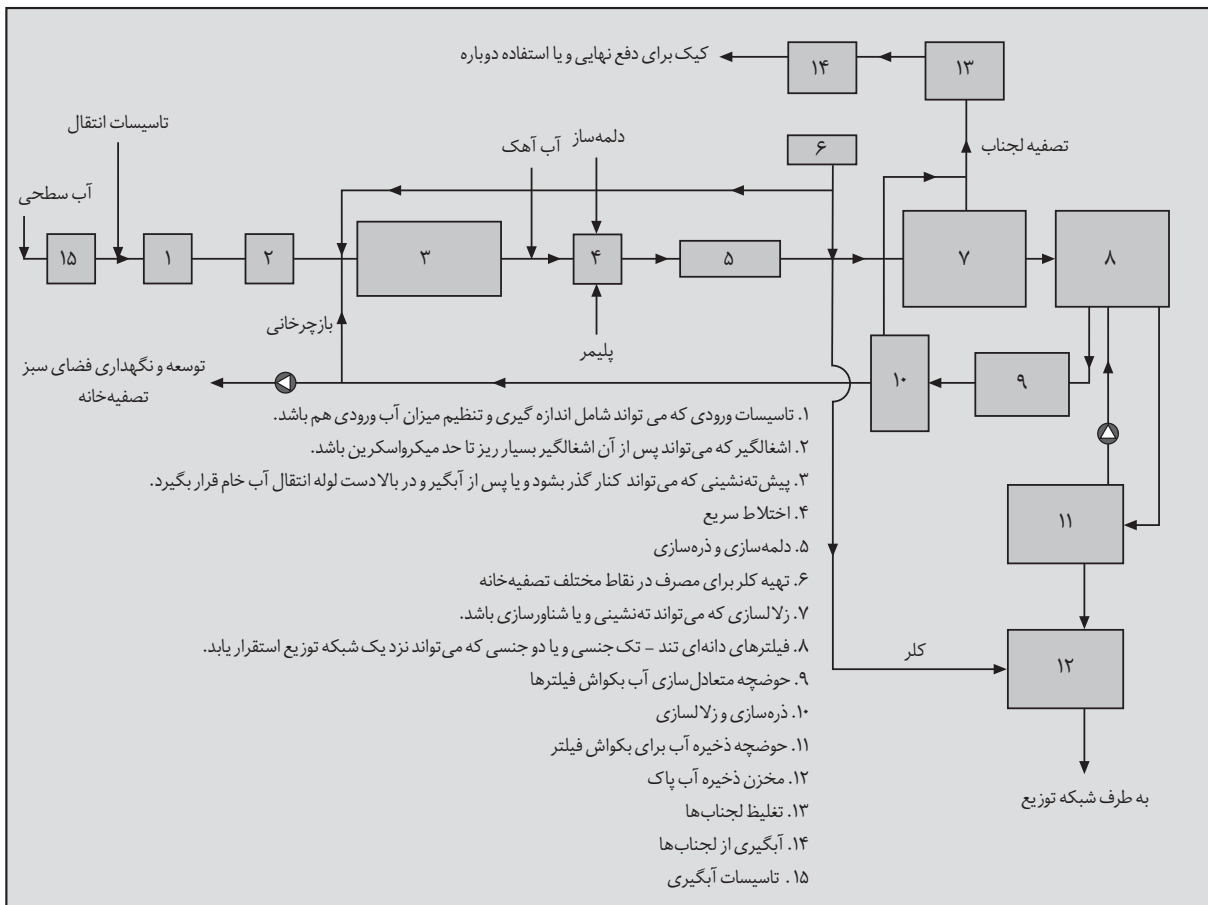
- زلالسازی می‌تواند با فرایند ته‌نشینی و یا شناورسازی انجام گیرد که در فصل چهارم مورد بحث قرار گرفته است.
- فیلتراسیون می‌تواند کند، تند و یا ممبرانی باشد که در فصل‌های پنج، شش و هفت مطرح گردیدند.

شود. این مقوله‌ای است که در بحث توسعه منابع آب و استفاده دوباره از آب باید مورد توجه قرار گیرد که از مهمترین معیارها در این دیدگاه، ضرورت، اقتصاد، پایداری و حفظ محیط‌زیست است.

۱۰-۴- دیاکرام فرایندهای تصفیه

در نگاه کلی پس از انتخاب فرایندهای لازم برای تصفیه آبی که ویژگی‌های آن طبق متون بخش‌های ۱۰-۱ تا ۱۰-۳ تعریف گردیده است باید دیاکرام فرایندهای تصفیه ترسیم گردد و چون چندین گزینه فرایندی ممکن است مورد توجه قرار گیرد بنابراین چندین دیاکرام فرایندی باید تهیه شود. عملکرد هر فرایند در زدایش هر آلاینده

شکل شماره ۱۰-۲- نمودار جریان فرایند در یک تصفیه‌خانه متعارف آب سطحی (رودخانه)



- در صورتیکه هوادهی آب خام زیرزمینی ضروری باشد پیش - ته‌نشینی مورد نیاز نخواهد بود زیرا آب زیرزمینی دارای جامدات معلق زیاد نیست.
- در صورت وجود طعم و بو از پودر کربن فعال می‌توان استفاده نمود که برای آن باید واحد تماس در نظر گرفته شود و در عین حال می‌توان از واحد زلالسازی هم برای حفظ زمان تماس استفاده نمود.
- به جای استفاده از کلر به عنوان میکروبوکش می‌توان از ازن و پرتو فرابنفش استفاده نمود. انتخاب اکسیدکننده و میکروبوکش در فصل هشتم مورد بحث قرار گرفته است.
- در مواردی قبل از هوادهی تزریق یک اکسیدکننده ضرورت پیدا می‌نماید و پس از آن واحد فیلتراسیون قرار دارد.
- در مورد آلودگی آب خام به مواد رادیواکتیو مانند اورانیوم، رادیوم و سزیوم لازم است با مسئولین سازمان حفاظت محیط‌زیست و انرژی اتمی گفتگو شود و در صورت امکان منبع آب خام تغییر نماید و یا با مشورت سازمان نسبت به طراحی فرایندهای زدایش آلاینده‌های پیش گفته اقدام شود.

در ترسیم دیاکرام فرایندهای تصفیه با توجه به معیارهای طراحی و برنامه‌ریزی برای بهره‌برداری خوب درصد زدایش هر آلاینده در هر فرایند و در نهایت در کل تصفیه‌خانه باید محاسبه شود. بدین ترتیب که اگر جامدات معلق آب خام ۱۰۰ میلی گرم در لیتر می‌باشد طبق جدول شماره ۱۰-۱ متوسط درصد زدایش عبارت است از ۹۵ درصد. بنابراین جامدات باقیمانده در آب تولیدی حدود ۵ میلی گرم در لیتر خواهد بود. در نتیجه لازم است عملکرد زدایش افزایش یابد که با کاهش بار سطحی واحد ته‌نشینی و یا بار سطحی فیلترها باید این افزایش عملکرد را به دست آورد.

برای مثال در طراحی فرایندهای تصفیه یک نمونه آب، چهار

گزینه تعریف گردیده که در مثال شماره ۱۰-۱ آورده شده است. برای هر فرایند لازم است معیارهای طراحی آن با در نظر گرفتن غلظت آلاینده و درصد زدایش آن انتخاب شود که با توجه به میزان لحظه‌ای آب مورد تصفیه و تعداد مدول‌ها و واحدها، ابعاد و احجام آنها محاسبه و تعریف می‌شود.

مثال شماره ۱۰-۱:

به عنوان نمونه در طراحی فرایندهای یک تصفیه‌خانه آب^۱ چهار گزینه به شرحی که در ادامه آورده می‌شود تعریف گردیده است. در این طرح آب رسانی منبع تامین آب، دریاچه سد بوده و جهت بررسی کیفیت آب خام، آمار موجود از نهادهای مختلف دریافت و همچنین با نمونه‌برداری از ابتدای دریاچه و خروجی آن سعی در تشخیص کیفیت آب گردید. پس از تعیین صحت نتایج آزمایشات آب براساس روش‌های مذکور در فصول قبل ویژگی‌های آب با مقادیر مجاز آن بر اساس استانداردهای ۱۰۵۳ و ۱۰۱۱ مورد مقایسه قرار گرفت که نتایج به طور چکیده به شرح زیر می‌باشد:

- میانگین و حداکثر کدورت آب در آزمایش‌های دریافتی در عمق ۱ متری ورودی سد به ترتیب ۱۲/۹۰ و ۲۸/۵۰ ان تی یو و در عمق ۱۰ متری سد ۹/۷۰ و ۱۸/۵۰ ان تی یو و در نمونه‌های خروجی سد ۵۶ و ۸۳ بوده است که مقادیر اعلام شده بالاتر از استاندارد آب شرب می‌باشد. با توجه به مشخصات سد و زمان ماند آب در شرایط پایین بودن رقوم سطح آب دریاچه و وقوع سیلاب‌هایی با دوره بازگشت بالا و همچنین برداشت آب از دریچه تحتانی سد احتمال وجود کدورت‌های زیاد در آب خام با مقادیری بالاتر از ۱۰۰ ان تی یو پیش‌بینی گردید.
- میزان متوسط فلوراید در آب برابر ۰/۲۹ میلی گرم در لیتر می‌باشد که با توجه به میانگین سالانه حداکثر دمای روزانه (۲۹/۹ سلسیوس)

۱. مهندسین مشاور پارس جویاب



● حداکثر میزان تی او سی اندازه‌گیری شده مربوط به خروجی سد در حدود ۲ میلی‌گرم در لیتر بوده است. از مواد شیمیایی آلی اندازه‌گیری شده میزان تترا کلریدکربن تنها در یک نمونه مربوط به خروجی سد ۰/۱۲۹ میلی‌گرم در لیتر گزارش شده که از میزان استاندارد (۰/۰۰۴ میلی‌گرم در لیتر) بالاتر بوده است. پارامتر بنزن نیز در عمق ۱۰ متری ۰/۰۴ میلی‌گرم در لیتر اندازه‌گیری شده که از حداکثر میزان مجاز بنزن در آب آشامیدنی (۰/۰۱ میلی‌گرم بر لیتر) بالاتر بوده است. غلظت آفت‌کش‌های سیانارین، کربو فوران، ۱ و ۲- دی برم ۳- کلرو پروپان، ایزو پروتورون، پندی متالین، آلدرین، دی آلدرین و پنتا کلرو فنل، کمتر از حداکثر مجاز می‌باشد.

● در فصل تابستان میزان مجموع فیتو پلانکتون‌ها و زئوپلانکتون‌ها اندازه‌گیری شده در ورودی سد ۰/۳۹، در عمق ۱ متری ۰/۳۳، در عمق ۱۰ متری ۰/۲۹ و در خروجی سد ۰/۰۲ میلی‌گرم در لیتر گزارش شده است.

● میزان حداکثر آهن و منگنز به ترتیب ۰/۷۶ و ۰/۳۱ میلی‌گرم در لیتر گزارش شده است که مربوط به عمیق‌ترین محل نمونه‌برداری می‌باشد. میزان آهن و منگنز در بقیه محل‌های نمونه‌برداری در محدوده مجاز آب آشامیدنی می‌باشد.

● بر اساس آزمایشات دریافتی حداکثر تعداد کلیفرم‌ها ۷۰ عدد در ۱۰۰ میلی لیتر تشخیص داده می‌شود که مربوط به محل خروجی سد بوده است.

با توجه به مطالب پیش گفته نتیجه‌گیری گردید حداکثر میزان ویژگی‌های پی‌اچ، کلیه مواد شیمیایی سمی به جز آرسنیک و جیوه، کلیه مواد شیمیایی معدنی غیرسمی به جز آهن و کلیه مواد آلی شیمیایی و آفت‌کش‌ها به جز بنزن و تترا کلرید کربن در کلیه نمونه‌ها

در ایستگاه هواشناسی منطقه و بر اساس استاندارد ۱۰۵۳ محدوده مجاز بین ۰/۵ - ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد. بنابراین میزان فلوراید آب حدود نصف میزان حداقل استاندارد می‌باشد. در این خصوص پیشنهاد می‌شود مسئولین امر بهداشت دندان منطقه ضمن بررسی میزان تامین فلوراید ساکنان منطقه توسط سایر منابع غذایی، توصیه‌های لازم را در خصوص تامین فلوراید مورد نیاز مصرف‌کنندگان به اطلاع مراجع ذیربط برسانند.

● حداکثر میزان نیتريت ۰/۰۶ و نترات ۸ میلی‌گرم در لیتر بوده است که در محدوده مجاز آب آشامیدنی قرار دارد.

● میزان حداکثر سولفید هیدروژن گزارش شده ۰/۰۲ میلی‌گرم در لیتر می‌باشد که مربوط به محل ورودی و عمق ۱۰ متری سد و در محدوده مجاز آب آشامیدنی بوده است.

● از فلزات سنگین میزان فلز جیوه در آمار دریافتی در ورودی سد، عمق ۱ متری حدود ۰/۰۲ میلی‌گرم در لیتر و خروجی سد ۰/۰۱ میلی‌گرم در لیتر اندازه‌گیری شده است که بیش از میزان آب آشامیدنی (۰/۰۰۶ میلی‌گرم بر لیتر) می‌باشد. میزان این فلز در عمق ۱۰ متری در محدوده مجاز آب آشامیدنی بوده است.

میزان فلز آرسنیک در آمار دریافتی مربوط به عمق‌های ۱ و ۱۰ متری و خروجی سد در محدوده مجاز آب آشامیدنی و در نمونه مربوط به ورودی سد کمی بیش از میزان مجاز بوده است. اندازه‌گیری‌ها در مورد فلزات سلسنیوم، آلومینیوم، کادمیوم و وانادیوم نشان می‌دهد که کمتر از غلظت مخاطره آمیز است و میزان عناصر فلزی دیگر در محدوده مجاز آب آشامیدنی قرار داشته است.

● آنالیزهای دریافتی از عمق‌های ۱ و ۱۰ متری آب سد، میزان متوسط رنگ را ۲۰/۵۰ و حداکثر ۲۹ تی‌سی‌یو^۱ نشان داده که بیش از حداکثر مجاز آب آشامیدنی بوده است.

1. TCU



در محدوده استاندارد آب آشامیدنی قرار دارند. میانگین و حداکثر میزان پارامترهای کدورت، رنگ، جلبک و مواد آلی کلیه نمونه‌ها بیش از حد مجاز آب آشامیدنی است. میانگین و حداکثر میزان پارامتر آهن و تترا کلرید کربن در نمونه مربوط به خروجی سد، بنزن در نمونه آب عمق ۱۰ متری سد، آرسنیک در عمق ۱ متری ورودی سد و جیوه در کلیه نمونه‌ها به جز عمق ۱۰ متری سد، بیش از میزان استاندارد آب آشامیدنی می‌باشد. در نهایت بر اساس اطلاعات موجود محدوده کیفیت آب خام جهت انتخاب واحدهای فرایندی به شرح جدول ۱۰-۱۰ قرار گرفت. بنابراین فرایندهای مورد نیاز در طرح تصفیه‌خانه به شرح زیر انتخاب گردید:

- جلبک‌گیری؛
- زدایش طعم و بوی آب؛
- زدایش مواد آلی؛
- زدایش کدورت؛
- زدایش رنگ؛
- زدایش آهن؛
- زدایش جیوه؛
- زدایش عوامل زنده بیماریزا؛
- زدایش سموم ناشی از مرگ و میر جلبک‌ها.

جدول شماره ۱۰-۱۰ - محدوده آلاینده‌ها در آب خام (مثال ۱۰-۱)

پارامتر	واحد	میزان آلاینده	توضیحات
کدورت	NTU	۲-۱۲۰	امکان دارد در زمان پایین بودن سطح آب دریاچه و در مواقع بروز سیلاب کدورت به بیش از ۱۰۰ NTU افزایش یابد.
رنگ	TCU	۱۵-۱۰۰	-
مواد آلی	mg/l	۵-۰/۲	-
جلبک	mg/l	۰/۱-۰/۶	در صورت وقوع شکوفایی جلبکی مقادیر بیش از این خواهد بود.
آهن	mg/l	۸-۰/۰۰۱	-
جیوه	mg/l	۸/۰۰۰-۰/۰۴	-
مجموع کلیفرم	MPN/100 ml	۴-۲۰۰	-

آلاینده‌های مورد بحث به شرح زیر و بر اساس جدول‌های بخش ۱۰-۳ مورد تفسیر قرار می‌گیرد.

۱. کدورت: میزان بازدهی فرایندهای اختلاط، دلمه‌سازی، ذره‌سازی، ته‌نشینی، فیلتراسیون و همچنین فرایندهای ممبرانی در کاهش کدورت در محدوده ۹۰-۱۰۰ درصد می‌باشد. لازم به توضیح است مطابق مراجع موجود اگر کدورت آب پایین‌تر از ۲۰ ان تی یو باشد می‌توان از فرایند اختلاط، دلمه‌سازی، ذره‌سازی و فیلتراسیون برای کاهش کدورت استفاده نمود که فیلتراسیون مستقیم نام دارد. چنانچه امکان برداشت آب از رقوم مختلف آب وجود داشته باشد و مطالعات مربوط به بروز سیلاب نشان دهد که افزایش کدورت در آب لایه‌های سطحی رخ نمی‌دهد فرایندهای تصفیه آب به منظور زدایش کدورت می‌تواند تنها شامل مراحل اختلاط و فیلتراسیون باشد.

۲. مواد آلی: عملکرد زدایش مواد آلی توسط هر فرایند بستگی به نوع ماده آلی دارد. به طور کلی فرایندهایی مانند هوادهی و جذب سطحی و اکسیداسیون عملکرد خوبی در حذف مواد آلی دارند. همچنین در حذف تتراکلرید کربن فرایندهای فیلتراسیون توسط کربن فعال، اسمز معکوس و هوادهی برجی دارای راندمان



فرایندهای تصفیه متعارف اختلاط، دلمه‌سازی، ذره‌سازی، ته‌نشینی و فیلتراسیون، با نرخ بالا و با بستر سیلیس – آنتراسیت و انواع دیگر فیلترها در زدایش جلبک‌ها عملکردهای مناسبی دارند. اما طبق شکل شماره ۴-۱ در صورتیکه میزان جلبک‌ها از حدی بیشتر شود شناورسازی عملکرد بهتری دارد.

۸. سموم آزاد شده ناشی از مرگ و میر جلبک‌ها: جدول‌های بخش ۱۰-۳ نشان می‌دهد فرایندهای موثر در حذف ترکیب‌های سمی محلول شامل فرایندهای جذب توسط کربن فعال و اکسیداسیون شیمیایی توسط ازن، کلر و پرمنگنات پتاسیم می‌باشد. در خصوص حذف سموم به روش اکسیداسیون شیمیایی باید توجه داشت که استفاده از اکسیدان‌ها در حضور سلول جلبک ممکن است باعث آزاد سازی بیشتر سموم شود. بنابراین فرایند پیش اکسیداسیون قبل از حذف سلول‌ها نیازمند توجهات ویژه‌ای بوده و دارای مخاطراتی می‌باشد.

۹. کلیفرم: فرایندهای اکسیداسیون شیمیایی، فرایندهای ممبرانی و پرتو فرابنفش دارای عملکرد زدایش ۹۰ - ۱۰۰ درصد میکرو - ارگانسیم‌ها می‌باشند. اکسیدکننده‌های شیمیایی موثر شامل ازن، کلر و مشتقات آن (کلر گازی، هیپو کلریت سدیم، هیپوکلریت کلسیم، دی اکسید کلر و کلرآمین‌ها) و پرمنگنات پتاسیم می‌باشد. لازم به توضیح است که فرایند غیر فعال سازی باکتری‌ها توسط پرمنگنات پتاسیم نیازمند به زمان ماند بسیار بالا در حدود ۲۴ ساعت می‌باشد. بنابراین عموماً از این ترکیب میکروبخش استفاده نمی‌شود.

در جدول شماره ۱۰-۱۱ آلاینده‌های موجود در آب مثال ۱۰-۱ و فرایندهای موثر در زدایش آنها آورده شده است.

در این مرحله با توجه به مطالب پیش گفته می‌توان چیدمان‌های مختلفی از فرایندهای تصفیه آب را در نظر گرفت. طبیعی است

۷۰ - ۱۰۰ درصد می‌باشد. در حذف بنزن فرایندهای گرانول کربن فعال، اسمز معکوس، هوادهی برجی و اکسیداسیون نیز راندمان ۷۰ - ۱۰۰ درصد دارند.

۳. طعم و بو: جلبک‌ها و سیانوباکتری‌ها از عوامل عمده تولید رنگ و بو در آب دریاچه‌ها هستند. همچنین مواد آلی و غیرآلی حاوی گوگرد در شرایط بی‌هوازی در اعماق دریاچه احیا شده و تولید گاز سولفید هیدروژن می‌نمایند که به آب بوی نامطبوع می‌افزاید و همچنین باعث ایجاد و تشدید خاصیت خوردگی آب می‌گردد. مطابق جدول ۱۰-۴ فرایندهای هوادهی، اکسیداسیون شیمیایی و جذب سطحی شامل کربن فعال از نوع گرانولی و پودری دارای عملکرد مناسب در زدایش طعم و بو می‌باشند.

۴. رنگ: روش‌های اصلی حذف رنگ شامل اکسیداسیون شیمیایی و تصفیه متعارف می‌باشد. فرایندهای آهک زنی، جذب سطحی و نانوفیلترها نیز در کاهش رنگ موثر می‌باشند.

۵. آهن و منگنز: آهن و منگنز موجود در رسوبات کف دریاچه سد تحت شرایط بی‌هوازی احیا شده و به ترکیب‌های محلول تبدیل می‌شوند که در شرایطی در لایه‌های بالایی آب دریاچه حضور پیدا می‌کنند.

۶. جیوه: راندمان حذف جیوه در فرایند تصفیه متعارف، استفاده از ممبران‌ها و کربن فعال گرانولی بین ۶۰ - ۹۰ درصد و کربن فعال پودری بین ۲۰ - ۶۰ درصد می‌باشد.

۷. جلبک‌ها، سیانوباکتری‌ها و گیاهان آبی: به طور کلی هرگونه فرایند حذف ذرات معلق باعث کاهش میزان جلبک‌ها در آب می‌شود لیکن نکته اساسی در این است که فرایند حذف جلبک‌ها باید به نحوی انجام گیرد که باعث مرگ و میر آنها و آزادسازی سیتوپلاسم سلولی این جانداران و سیانوتوکسین‌ها نگردد.



جدول شماره ۱۰-۱۱ - آلاینده‌ها و فرایندهای موثر در حذف آنها (مثال ۱۰-۱)

نوع آلاینده	فرایندهای موثر در حذف آلاینده
کدورت	زالاسازی (ته‌نشینی یا شناور سازی)، فیلتراسیون، فیلتراسیون ممبرانی
کلیفرم	پیش اکسیداسیون، میکروبخشی نهایی، فرایندهای ممبرانی
جلبک	شناورسازی به کمک هوا و میکرو اسکرین
رنگ	زالاسازی به همراه فیلتراسیون، اکسیداسیون شیمیایی، آهک زنی، اولترا و یا نانوفیلتر
سموم آزاد شده، ناشی از مرگ و میر جلبک‌ها	اکسیداسیون شیمیایی، جذب سطحی
مواد آلی از جمله بنزن و تتراکلرید کربن	هوادهی، اکسیداسیون شیمیایی، فرایندهای ممبرانی، جذب سطحی
آهن و منگنز	اکسیداسیون شیمیایی، آهک زنی، نانو فیلتر
طعم و بو	هوادهی، اکسیداسیون شیمیایی، جذب سطحی
جیوه	زالاسازی به همراه فیلتراسیون، فرایندهای ممبرانی جذب سطحی

عملکرد حذف آلاینده و محدوده کیفیت آب خام قابل تصفیه در چیدمان‌های مختلف فرایندی با یکدیگر متفاوت خواهد بود و این احتمال وجود دارد که هر چیدمان فرایندی دارای مزیت ویژه‌ای باشد. بدیهی است هزینه‌های اجرایی و بهره‌برداری گزینه‌ها نیز با یکدیگر متفاوت است. بنابراین انتخاب گزینه برتر طی امتیاز دهی پارامترهای فنی و اقتصادی تعیین خواهد گردید. اما کیفیت آب و استاندارد ۱۰۵۳ معیار اصلی خواهد بود.

گزینه‌های فرایندی

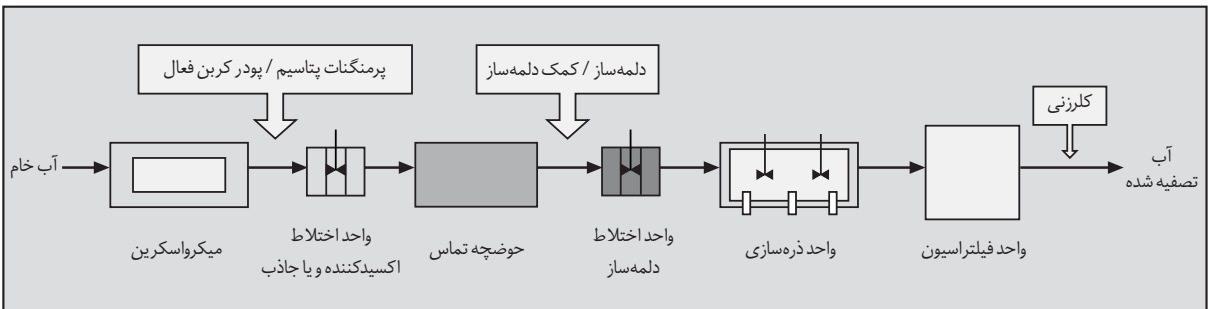
♦ **گزینه فرایندی اول:** در این گزینه فرایند میکرواسکرین به منظور حذف جلبک‌ها در نظر گرفته شده است و آب پس از عبور از فرایندهای اختلاط و ذره‌سازی به روی فیلترها هدایت می‌شود. شکل شماره ۱۰-۳ دیاگرام فرایندهای این گزینه را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیاگرام پیشگفته نشان می‌دهد آب ورودی به تصفیه‌خانه پس از عبور از واحد میکرواسکرین، جهت حذف طعم، بو، سموم ناشی از جلبک‌ها، آهن و منگنز به حوضچه‌های اختلاط

با اکسیدکننده و حوضچه تماس هدایت می‌گردد. آب خروجی از حوضچه تماس به حوضچه اختلاط سریع برای دلمه‌سازی هدایت می‌شود و پس از فرایند ذره‌سازی به روی فیلترها هدایت و در نهایت با کلر میکروبخشی می‌شود. در این گزینه فیلتراسیون مستقیم مورد نظر است و در صورت نبود نیاز به اکسیدکننده و یا جاذب می‌توان واحدهای آن را از مدار خارج نمود و بسته به کیفیت آب خام اکسیدکننده و یا جاذب به آب افزود. در شرایطی که کدورت آب خام از مرز ۲۰ ان تی یو تجاوز نماید فرایندهای این گزینه نمی‌تواند پاسخگوی نیاز طرح به صورت مستمر و با ظرفیت مورد نظر باشد. محدودیت دیگر این گزینه پایین بودن راندمان حذف جلبک‌ها در شرایطی است که کدورت آب پایین باشد، زیرا سقف راندمان حذف جلبک‌ها در واحد میکرواسکرین در محدوده ۷۰ درصد خواهد بود.

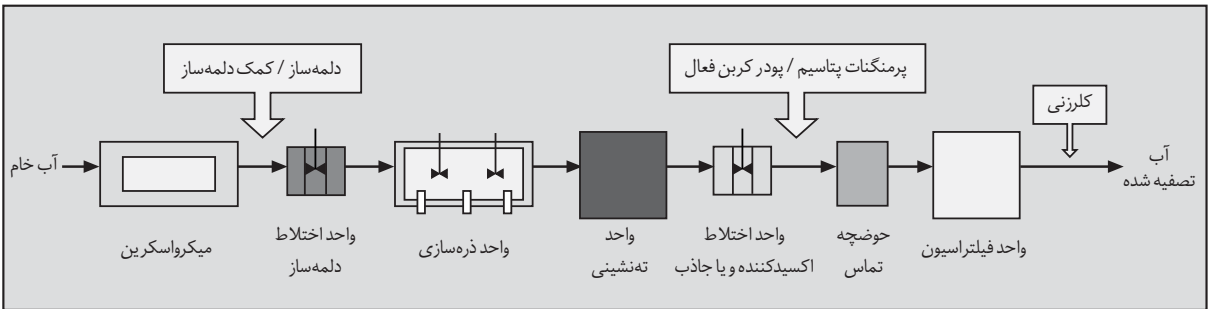
♦ **فرایندهای گزینه دوم:** این گزینه با هدف تصفیه آب خام با کدورت بیشتر از ۱۰۰ ان تی یو طراحی شده است. در این گزینه آب خروجی از فرایند دلمه‌سازی و ذره‌سازی به حوضچه‌های ته‌نشینی



شکل شماره ۱۰-۳- نمودار فرایندهای گزینه اول^۱ (مثال شماره ۱۰-۱)



شکل شماره ۱۰-۴- نمودار فرایندی گزینه دوم (مثال شماره ۱۰-۱)



هدایت و سپس به واحد فیلتراسیون جاری می‌گردد. شکل شماره

۱۰-۴ دیگرام فرایندهای گزینه دوم را نشان می‌دهد.

همانگونه که مشاهده می‌گردد آب ورودی به تصفیه‌خانه پس

از عبور از میکرواسکرین‌ها به منظور حذف جلبک‌ها به حوضچه

اختلاط سریع هدایت می‌گردد. در این حوضچه مواد دلمه‌ساز تزریق

شده و پس از ذره‌سازی در واحد ته‌نشینی از آب زدایش می‌شوند.

آب زلال‌شده به حوضچه اختلاط سریع اکسیدکننده هدایت

می‌شود. در این واحد پرمنگنات پتاسیم جهت حذف طعم، بو،

سموم ناشی از جلبک‌ها، آهن و منگنز به آب تزریق می‌گردد. آب

پس از طی زمان ماند لازم در حوضچه تماس، به روی فیلترها

هدایت شده و آب خروجی با کلر میکروبی‌کشی می‌گردد.

در این گزینه نصب تجهیزات لازم جهت تزریق پودر کربن

فعال برای زمانی که پرمنگنات پتاسیم قادر به حذف مطلوب جیوه،

طعم و بوی آب نباشد پیش بینی می‌شود که در این صورت پودر

کربن فعال به جای پرمنگنات تزریق خواهد گردید. مطابق

بحث‌های گذشته در زمان‌هایی که کدورت آب خام زیاد باشد

که معمولاً میزان جلبک‌ها کمتر خواهد بود با کنار گذر کردن

میکرواسکرین فرایند تصفیه متعارف بر پایه ته‌نشینی می‌تواند

۱. لازم به توضیح است در صورت تزریق پودر کربن فعال و پرمنگنات پتاسیم به صورت همزمان این مواد با یکدیگر واکنش خواهند داد که نیاز به مصرف آنها را افزایش و راندمان تاثیر آنها را به نحو چشمگیری کاهش می‌دهد. لیکن با توجه به کارایی و اثرات متمایز این دو نوع ماده و نبود قطعیت در پیش‌بینی کیفیت آب در طول دوره طرح در گزینه‌ها پیش‌بینی تاسیسات تزریق دو ترکیب پیشنهاد شده است تا در زمان بهره‌برداری بر اساس کیفیت آب خام منحصرأ یکی از این دو ترکیب به عنوان اکسیدکننده و یا جاذب به آب تزریق گردد.



راندمان مناسبی در حذف جلبک‌ها داشته باشد. لیکن در شرایطی

که کدورت آب خام پایین باشد سقف راندمان حذف جلبک‌ها در

واحد میکرواسکرین در محدوده ۷۰ درصد خواهد بود. لذا محدودیت

این گزینه مشابه گزینه قبل پایین بودن فرایند زدایش جلبک‌ها

در شرایطی است که کدورت آب خام پایین باشد.

♦ فرایندهای گزینه سوم: این گزینه با هدف حداکثر زدایش

جلبک‌ها و با فرض سقف کدورت قابل تحمل کمتر از حدود ۱۰۰

ان تی یو طرح گردیده است. در این گزینه از فرایند شناور سازی

به کمک هوا جهت حذف جلبک‌ها، کدورت و تا حدودی طعم، بو،

آهن، منگنز و بسیاری از آلاینده‌های دیگر در آب استفاده می‌گردد.

پرمنگنات پتاسیم جهت حذف مواد آلی، سموم ناشی از جلبک‌ها،

باقیمانده طعم، بو، آهن و منگنز در واحد اختلاط سریع تزریق

می‌گردد. در این گزینه نیز تمهیدات لازم جهت تزریق پودر کربن

فعال در مواقعی که میزان طعم و بوی آب زیاد باشد پیش‌بینی شده

است. آب خروجی از واحد اختلاط سریع به منظور حفظ زمان ماند

لازم به حوضچه تماس جاری گردیده و سپس در واحدهای بعدی

یعنی فیلترها ذرات تشکیل شده حذف خواهد شد.

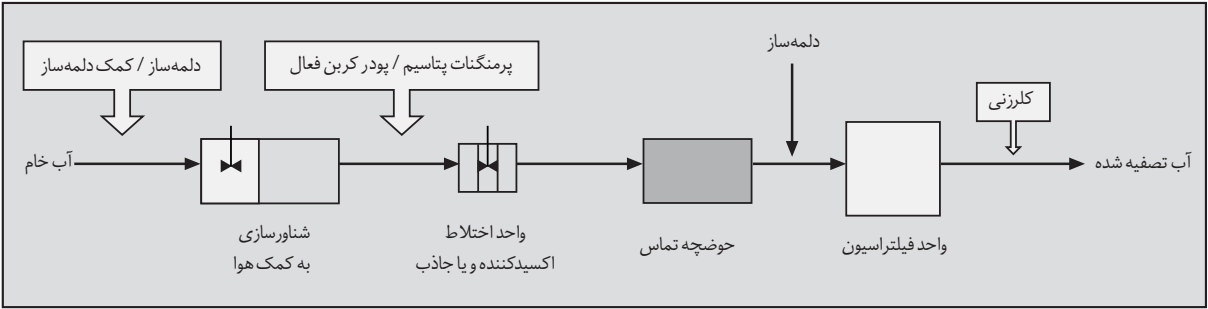
در آخر میکروبی‌کشی نهایی توسط تزریق کلر صورت می‌گیرد.

شکل شماره ۱۰-۵ دیگرام فرایندهای پیشنهادی گزینه سوم را

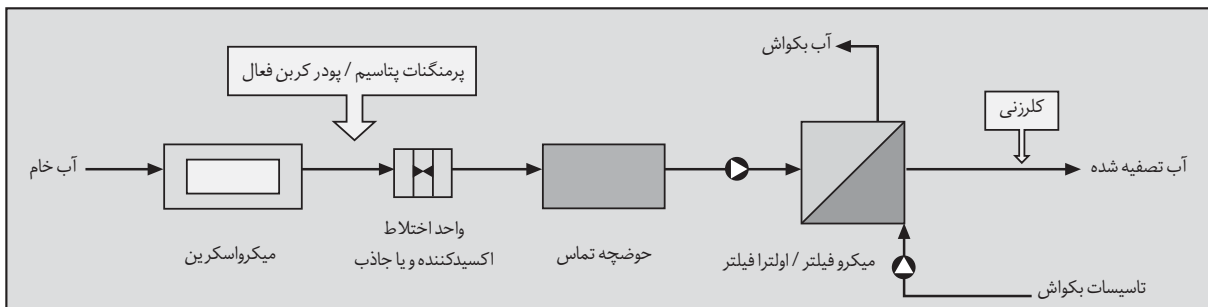
نشان می‌دهد. چنانچه به دلیل افزایش بو و طعم و یا وجود آهن و

منگنز در آب نیاز به تزریق ماده اکسیدکننده باشد، واحدهای

شکل شماره ۱۰-۵- نمودار فرایندی گزینه سوم (مثال شماره ۱۰-۱)



شکل شماره ۱۰-۶- نمودار فرایندی گزینه چهارم (مثال شماره ۱۰-۱)



نهایی در این گزینه توسط واحد میکرو فیلتر و یا اولترافیلتر مناسب^۱ صورت می‌گیرد و در نهایت آب خروجی توسط کلر میکروبیکشی می‌شود. هر چه واحد میکرواسکرین با ریزنه‌های ریزتر انتخاب گردد که بستگی به انواع جلبک‌ها دارد، عملکرد فیلتر ممبرانی بهتر خواهد بود. محدودیت این گزینه نبود سابقه استفاده از فیلترهای ممبرانی در طرح‌های آب شهری و روستایی در ایران می‌باشد. لیکن این فناوری در کشورهای اسکاندیناوی و آمریکای شمالی طرفداران زیادی دارد که در فصل هفتم به آن پرداخته شده است.

مقایسه فنی گزینه‌ها

در جدول شماره ۱۰-۱۱ آلاینده‌های مختلف آب (بر اساس جداول ۲ الی ۷ استاندارد ۱۰۵۳) و سودمندی حذف آنها (بر اساس جداول ۱۰-۳ تا ۱۰-۹ این فصل) در گزینه‌های پیشنهادی ارایه شده است.

در جدول پیش گفته به عملکرد فرایندهای حذف آلاینده امتیاز ۱-۴ به ترتیب معادل ضعیف، متوسط، خوب و عالی داده شده است. با توجه به بحث‌های ارایه شده در بخش ۱۰-۳ این فصل، امتیاز اکثر فرایندها ۴ در نظر گرفته شده است در حالی که:

در گزینه اول که فیلتراسیون مستقیم مورد نظر است وجود کدورت زیاد و همچنین محدودیت زدایش جلبک در محدوده ۴۰-۷۰

۱. به فصل هفتم مراجعه شود.

۲. تمام ارقام و اعداد مثال شماره ۱۰-۱ در حد مطالعات امکان‌سنجی می‌باشد.



جدول شماره ۱۰-۱۲- سودمندی حذف آلاینده‌های مختلف در گزینه‌های پیشنهادی^۱

گزینه‌ها	آلاینده‌های موجود								پارامتر
	آلودگی‌های میکروبی بر حسب ام پی ان (تعداد در ۱۰۰ میلی‌لیتر)	آهن (میلی‌گرم در لیتر)	جیوه (میلی‌گرم در لیتر)	کل مواد آلی (میلی‌گرم در لیتر)	سرموم ناشی از مرگ و میر جلبک‌ها	جلبک ^۳ (میلی‌گرم در لیتر)	رنگ (تی سی یو)	کدورت ^۲ (ان تی یو)	
گزینه‌ها	۲۰۰-۴	۱-۰/۰۰۸	۰/۴-۰/۰۰۸	۲-۰/۵	*	۰/۶-۰/۱	۱۲-۱۵	۱۰۰-۲	کیفیت آب خام مورد مطالعه
	۱۰۰۰	*	*	*	*	*	*	۲۰	حداکثر غلظت مجاز آلاینده در آب خام
	۱۰۰-۹۰	۱۰۰-۹۰	۱۰۰-۶۰	۱۰۰-۶۰	۱۰۰-۹۵	۷۰-۴۰	۱۰۰-۹۰	۱۰۰-۹۰	راندامان حذف (درصد)
	۴	۴	۴	۴	۴	۳	۴	۲	امتیاز
اول	۱۰۰(هزار)	>۱	*	*	*	۰/۲۵	*	۳۰۰۰	حداکثر غلظت مجاز آلاینده در آب خام
	۱۰۰-۹۰	۱۰۰-۹۰	۱۰۰-۶۰	۱۰۰-۶۰	۱۰۰-۹۵	۱۰۰-۹۰	۱۰۰-۹۰	۱۰۰-۹۰	راندامان حذف (درصد)
	۴	۴	۴	۴	۴	۳	۴	۴	امتیاز
	۱۰(هزار)	*	*	*	*	نامحدود	*	۱۰۰	حداکثر غلظت مجاز آلاینده در آب خام
دوم	۱۰۰-۹۰	۱۰۰-۹۰	۱۰۰-۶۰	۱۰۰-۶۰	۱۰۰-۹۵	۹۰-۷۰	۱۰۰-۹۰	۱۰۰-۹۰	راندامان حذف (درصد)
	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۳	امتیاز
	۱۰(هزار)	*	*	*	*	نامحدود	*	۱۰۰	حداکثر غلظت مجاز آلاینده در آب خام
	۱۰۰-۹۰	۱۰۰-۹۰	۱۰۰-۶۰	۱۰۰-۶۰	۱۰۰-۹۵	۹۰-۷۰	۱۰۰-۹۰	۱۰۰-۹۰	راندامان حذف (درصد)
سوم	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۳	امتیاز
	۱۰۰-۹۰	۱۰۰-۹۰	۱۰۰-۶۰	۱۰۰-۶۰	۱۰۰-۹۵	۹۰-۷۰	۱۰۰-۹۰	۱۰۰-۹۰	راندامان حذف (درصد)
	۱۰(هزار)	*	*	*	*	نامحدود	*	۱۰۰	حداکثر غلظت مجاز آلاینده در آب خام
	۱۰۰-۹۰	۱۰۰-۹۰	۱۰۰-۶۰	۱۰۰-۶۰	۱۰۰-۹۵	۹۰-۷۰	۱۰۰-۹۰	۱۰۰-۹۰	راندامان حذف (درصد)
چهارم	۴	۴	۳	۴	۴	۴	۴	۳	امتیاز
	۱۰۰-۹۰	۱۰۰-۹۰	۶۰-۲۰	۱۰۰-۶۰	۱۰۰-۹۵	۱۰۰-۹۰	۱۰۰-۹۰	۱۰۰-۹۰	راندامان حذف (درصد)
	۱۰(هزار)	*	*	*	-	*	*	۱۰۰	حداکثر غلظت مجاز آلاینده در آب خام
	۱۰۰-۹۰	۱۰۰-۹۰	۶۰-۲۰	۱۰۰-۶۰	۱۰۰-۹۵	۱۰۰-۹۰	۱۰۰-۹۰	۱۰۰-۹۰	راندامان حذف (درصد)

* در خصوص این پارامترها اطلاعات دقیقی در دست نمی‌باشد.

۱. امتیازات اعلام شده در جدول جهت مقایسه فنی گزینه‌ها به لحاظ سودمندی و قابلیت حذف آلاینده‌های موجود در آب می‌باشد.

۲. احتمال دارد در زمان پایین بودن سطح آب دریاچه و در مواقع بروز سیلاب میزان کدورت به بیش از ۱۰۰ ان تی یو افزایش یابد.

۳. انتظار می‌رود در زمان شکو فانی جلبکی تعداد آنها افزایش یابد.

۴. در صورت برداشت و انتقال نامناسب (ایجاد تنش برشی در آب) ممکن است سلول جلبک شکسته شده و سم آن آزاد شود.



جدول شماره ۱۰-۱۳- مشخصات واحد شناورسازی به کمک هوای محلول تحت فشار (مثال شماره ۱۰-۱)

شرح	پارامتر	مقدار
واحد دلمه‌سازی و ذره‌سازی	ظرفیت طرح	۷۵۶ لیتر در ثانیه
	تعداد واحد شناورسازی به کمک هوا	سه واحد
	تعداد مراحل ذره‌سازی	۲ مرحله
	گرادیان سرعت	۳۰-۱۲۰
	زمان ماند (مدتی که هر سه واحد در مدار باشد)	۱۹/۴ دقیقه
	زمان ماند (مدتی که دو واحد در مدار باشد)	۱۳ دقیقه
	حجم هر واحد	۲۹۴ متر مکعب
	طول کل واحد (دو برابر طول حوضچه هر مرحله)	۱۴ متر
واحد شناورسازی	عرض هر واحد	۷ متر
	ارتفاع مفید	۳ متر
	زمان ماند (مدتی که هر سه واحد در مدار باشد)	۱۴ دقیقه
	زمان ماند (مدتی که دو واحد در مدار باشد)	۱۰ دقیقه
	بار سطحی (مدتی که هر سه واحد در مدار باشد)	۱۳ متر در ساعت
	بار سطحی (مدتی که دو واحد در مدار باشد)	۱۹ متر در ساعت
	حجم هر واحد	۲۱۶ مترمکعب
برگشت جریان	طول	۹ متر
	عرض هر واحد	۸ متر
	ارتفاع	۳ متر
	میزان آب در گردش در هر مدول زمانی که دو واحد در مدار باشد.	۳۰ لیتر بر ثانیه
	میزان هوای مورد نیاز در هر مدول زمانی که دو واحد در مدار باشد.	۳ لیتر بر ثانیه

جدول شماره ۱۰-۱۴- مشخصات واحد تولید ذره و زلال سازی

(مثال شماره ۱۰-۱)

شرح	پارامتر	مقدار
واحد ذره‌سازی	ظرفیت طرح	۷۵۶ لیتر در ثانیه
	تعداد حوضچه	۳
	قطر حوضچه	۱۴ متر
	عمق آب	۲/۲ متر
	ارتفاع آزاد	۵/۰ متر
	ارتفاع کل	۷/۳ متر
	حجم حوضچه	۴۹۲ مترمکعب
	زمان ماند (مدتی که هر سه حوضچه در مدار باشند)	۳۳ دقیقه
	زمان ماند (مدتی که دو حوضچه در مدار باشد)	۲۲ دقیقه
	گرادیان سرعت	۵۰ بر ثانیه
واحد شناورسازی	نوع و جنس همزن	توربینی با شافت عمودی مقاوم در برابر خوردگی
	قدرت همزن	۱ کیلو وات
	قطر حوض	۳۰ متر
	عمق مایع	۳ متر
	حجم حوضچه	۱۶۳۲ مترمکعب
	بار سطحی (مدتی که هر سه حوضچه در مدار باشند)	۶۰ متر بر روز
	بار سطحی (مدتی که هر دو حوضچه در مدار باشند)	۴۰ متر بر روز
	زمان ماند	۱۰۸ دقیقه
	طول مورد نیاز سر ریز	۱۲۸ متر

جدول شماره ۱۰-۱۵- مشخصات واحد اختلاط سریع (مثال شماره ۱۰-۱)

پارامتر	مقدار
ظرفیت طرح	۷۵۶ لیتر در ثانیه
تعداد واحد اختلاط	سه واحد
زمان ماند (مدتی که هر سه واحد در مدار باشد)	۴۸ ثانیه
زمان ماند (مدتی که دو واحد در مدار باشد)	۳۱ ثانیه
طول	۲ متر
عرض	۲ متر
ارتفاع مفید	۳ متر
جی	۱۰۰۰ بر ثانیه
حداقل جی تی	۳۱۰۰۰
توان الکتروموتور لازم برای هر حوضچه	۲۳ کیلو وات
دور موتور همزن	۱۲۰ دور بر دقیقه
قطر پره‌های همزن	۱۰۰ سانتی متر
ارتفاع آزاد	۵۰ سانتی متر
تعداد پره‌ها	۴ عدد

جدول شماره ۱۰-۱۶- مشخصات فیلترهای دولایه (مثال شماره ۱۰-۱)

پارامتر	مقدار
ظرفیت طرح	۷۵۶ لیتر در ثانیه
تعداد	۱۰ صافی
عرض فیلتر	۴ متر
طول فیلتر	۷ متر
سطح هر فیلتر	۲۸ مترمربع
بار سطحی در حالت نرمال	۹/۸۲ متر در ساعت
بار سطحی در حالت بحرانی (دو واحد خارج از مدار)	۱۲/۱۵ متر در ساعت
عمق فیلتر	۴ متر

جدول شماره ۱۰-۱۷- مشخصات میکرو فیلتر (مثال شماره ۱۰-۱)

پارامتر	مقدار
ظرفیت طرح	۷۵۶ لیتر در ثانیه
نوع فیلتر	تحت مکش
تعداد حوضچه	۴ عدد
سطح هر ممبران	۶/۶ متر مربع
فلاکس عبوری	۰/۰۴۵ متر بر ساعت
تعداد ممبران	۴۶۰۸
اندازه روزنه	۰/۱ میکرومتر
ابعاد حوضچه	۵×۳ (متر)
توان مصرفی	۱۲۰ کیلووات

جدول شماره ۱۰-۱۸- مشخصات واحد تولید ذره (مثال شماره ۱۰-۱)

پارامتر	مقدار
ظرفیت طرح	۷۵۶ لیتر در ثانیه
تعداد حوضچه در هر مرحله	۳
تعداد مرحله	۳
جی در هر مرحله	۵۰ بر ثانیه
جی تی	۶۳۰۰۰
طول در هر مرحله	۶ متر
عرض	۶ متر
ارتفاع مفید	۳ متر
زمان ماند (مدتی که هر سه حوضچه در مدار باشند)	۲۱ دقیقه
زمان ماند (مدتی که دو حوضچه در مدار باشد)	۱۴ دقیقه
تعداد همزن	۶ عدد
توان هر همزن	۱ کیلووات





جدول شماره ۱۰-۲۱ - مشخصات واحد میکرواسکرین (مثال شماره ۱۰-۱)

پارامتر	مقدار
دبی طرح	۷۵۶ لیتر در ثانیه
تعداد واحد	ده واحد
ظرفیت هر واحد	۷۵ لیتربرثانیه
اندازه اسمی روزنه	۱۰ میکرون
قطر	۲/۱ متر
طول حوضچه	۵/۵ متر
ارتفاع حوضچه	۲/۵ متر
توان	۶کیلووات

مقایسه اقتصادی و فنی گزینه‌ها

جهت انتخاب گزینه برتر، ضروری است گزینه‌های معرفی شده مورد مقایسه فنی و اقتصادی قرار گیرند. مقایسه فنی گزینه‌ها با توجه به شرایط عملکرد فرایندهای هر گزینه در برابر کیفیت آب خام و تغییرات آن و همچنین سایر مسایل فنی مربوط به نگهداری و بهره‌برداری از تاسیسات در هر گزینه صورت می‌پذیرد. به منظور مقایسه اقتصادی ضروری است هزینه‌های سرمایه‌گذاری شامل هزینه‌های تامین کالا و تجهیزات و هزینه‌های عملیات اجرایی و راه‌اندازی و هزینه‌های انجام مطالعات و تامین سرمایه و هزینه‌های جاری شامل هزینه‌های تامین انرژی، مواد شیمیایی مصرفی، نیروی انسانی، تعمیرات و نگهداری، هزینه‌های بالاسری و سایر هزینه‌های عملیات بهره‌برداری و نگهداری طرح برآورد گردد. با در دست داشتن هزینه‌های اولیه و جاری، جهت مقایسه اقتصادی ضروری است با روشی تاثیر همزمان دو نوع هزینه‌ها در طرح مورد مقایسه قرار گیرد. در علم اقتصاد دو روش بدین منظور توسعه یافته است که در نشریه شماره ۱۷۶ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی (معاونت برنامه‌ریزی راهبردی رئیس جمهور) با عنوان راهنمای کاربرد اقتصاد مهندسی در پروژه‌های توسعه و

جدول شماره ۱۰-۱۹ - مشخصات واحد ته‌نشینی مستطیلی (مثال شماره ۱۰-۱)

پارامتر	مقدار
نوع جریان	افقی
تعداد حوضچه	۳ عدد
بار سطحی زمانی که هر سه حوضچه در مدار باشند	۴۴ متر بر روز
بار سطحی زمانی که هر دو حوضچه در مدار باشند	۶۶ متر بر روز
سطح مورد نیاز ته‌نشینی	۵۰۰ متر مربع
نسبت طول به عرض	۵
طول حوضچه	۵۰ متر
عرض حوضچه	۱۰ متر
عمق آب	۳ متر
ارتفاع آزاد	۰/۵ متر
ارتفاع کل	۳/۵ متر
حجم حوضچه	۱۵۰۰ مترمکعب
زمان ماند (مدتی که هر سه حوضچه در مدار باشند)	۱۰۰ دقیقه
زمان ماند (مدتی که هر دو حوضچه در مدار باشند)	۶۶ دقیقه
طول مورد نیاز سرریز	۸۷ متر

جدول شماره ۱۰-۲۰ - مشخصات حوضچه تماس (مثال شماره ۱۰-۱)

پارامتر	مقدار
ظرفیت طرح	۷۵۶ لیتر در ثانیه
تعداد حوضچه	دو واحد
زمان ماند	۳۰ دقیقه
طول	۲۰ متر
عرض	۱۲ متر
ارتفاع مفید	۳ متر



مدیریت منابع آب نیز مورد تاکید قرار گرفته است.

در روش نخست که به روش برآورد هزینه‌های نهایی طرح معروف است با استفاده از روابط ریاضی هزینه‌های جاری طرح در طول دوران بهره‌برداری به ارزش فعلی تبدیل شده و با هزینه‌های سرمایه‌گذاری جمع می‌گردد. مجموع حاصل بیانگر کل هزینه‌های طرح در دوران ساخت و بهره‌برداری خواهد بود. منطق تبدیل هزینه‌های جاری به ارزش فعلی آن است که به ازای هزینه‌های جاری هر سال طرح، بهای معادل آن در سال ابتدایی طرح در هزینه‌هایی منظور گردد. در نتیجه چنانچه رقمی معادل هزینه نهایی طرح در سال ابتدای طرح در بانک با بهره‌ای معادل با تنزیل سالیانه مفروض در به روز نمودن قیمت‌ها پس انداز گردد و کل هزینه‌های طرح از این حساب برداشت گردد، در انتهای دوران بهره‌برداری طرح، مانده این حساب صفر خواهد گردید.

روش دوم تبدیل هزینه‌های سرمایه‌گذاری به هزینه‌های جاری بر اساس رقم مفروض برای نرخ تنزیل می‌باشد. در این روش اساسا فرض می‌گردد، هزینه‌های سرمایه‌گذاری به صورت وام با نرخ بهره‌ای معادل تنزیل در نظر گرفته شده در محاسبات و با طول مدتی معادل طول دوره طرح تامین گردیده است. نرخ بازپرداخت اقساط این وام بر اساس وام با سود مرکب، به عنوان هزینه‌های سرمایه‌گذاری در سال‌های بهره‌برداری طرح در محاسبات لحاظ می‌گردد. خروجی این روش، هزینه‌های سالانه می‌باشد که با تقسیم آن به میزان تولید سالیانه آب، بهای تولید آب محاسبه می‌گردد^۱.

۱۰-۵ - بهره‌برداری و نگهداری

چه در طراحی یک تصفیه‌خانه جدید و چه در بازسازی یک تصفیه‌خانه موجود توجه به اصول ایمنی، سودمندی عملکردها و هزینه‌های مربوط به بهره‌برداری و نگهداری دارای اهمیت فراوانی است و به همین دلیل

راهنمایی‌های اصلی مربوط به بهره‌برداری و نگهداری در این بخش آورده شده است. در طراحی واحدهای سازه‌ای طراح باید با توجه به قوانین، آیین‌نامه‌ها و ضوابط فنی ساختمان، طراحی‌های خود را انجام دهد. در صورت استفاده از کلر، پرمنگنات پتاسیم، کربن فعال، ازن و دیگر ترکیبات شیمیایی لازم است دستور عمل تهیه، نگهداری و مصرف آن‌ها را در طراحی‌ها مراعات نماید در واقع معماری این نوع ابنیه باید به عنوان ساختمان‌های صنعتی لحاظ گردند و فروشنده و یا سازنده تاسیسات باید آن را فراهم نماید و یا از معیارها و استانداردهای ملی تهیه شده استفاده نماید.

۱۰-۵-۱ - توجهات برای ایمنی

حفظ ایمنی تصفیه‌خانه نسبت به خرابکاری‌ها باید مورد توجه طراحان قرار گیرد و اهم توجهات عبارتند از:

- برای جلوگیری از ورود اشخاص غیر مجاز به محوطه تصفیه‌خانه اقدامات ایمنی ضرورت دارد. نصب دستگاه اعلام حضور شخص غیر مجاز یکی از ابزارها است؛
- ورودی به تصفیه‌خانه باید دارای امکانات کنترل از داخل ساختمان و محصور باشد.
- تاسیسات اصلی باید محصور بوده و دسترسی به آنها از طریق کلید و یا کارت و مانند آن باشد.
- پیش‌بینی امکانات دوربین مدار بسته و ارتباط تلفنی ضرورت دارد.

۱۰-۵-۲ - قدرت و تاسیسات کنترل

نیروی کافی و قابل اعتماد الکتریسته و تاسیسات کنترل از ضروریات بهره‌برداری از یک تصفیه‌خانه مدرن آب است و اصول زیر در این مورد نیاز به توجه دارد:

۱. برای اطلاعات بیشتر به فصل هشتم مرجع شماره ۱ مراجعه شود.



تصفیه‌خانه که باشد از وضعیت تاسیسات خود با اطلاع باشد. در بهره‌برداری از تاسیسات سه روش قابل طراحی است که عبارتند از:

- ◆ **خودکار** : در این سیستم با فشار دادن دکمه استارت، تاسیسات تمام واحدها بدون دخالت بهره‌بردار کار خود را شروع، ادامه و در صورت ضرورت پایان می‌دهند.
- ◆ **نیمه خودکار** : در این سیستم بعضی از دستگاه‌ها به طور خودکار شروع و متوقف می‌شود و در بعضی بخش‌ها بهره‌بردار باید برای شروع و پایان دخالت نماید.
- ◆ **دستی** : در این سیستم تمام بخش‌های تصفیه‌خانه با دخالت مستقیم بهره‌برداران شروع به کار نموده و متوقف می‌شوند.

۱۰-۵-۴- مهندسی انسان

در بهره‌برداری و نگهداری تاسیسات یک تصفیه‌خانه آب از نیروی انسانی استفاده می‌شود و لازم است توانایی‌های فیزیکی و بیولوژیکی انسان در طراحی تاسیسات در نظر گرفته شود.

- راه‌های دسترسی از یک واحد به واحد دیگر باید تا حد امکان مستقیم بوده و امنیت و سهولت رفت و آمد در آن در نظر گرفته شده باشد؛
- در صورتیکه رقوم ارتفاعی تاسیسات مورد بهره‌برداری یکسان نیست امکانات دسترسی آسان به آنها هم باید در طراحی‌ها در نظر گرفته شود؛

- طراحی راه‌های دسترسی باید به نحوی باشد که متصدی بتواند واحدهای تحت نظارت خود را به طور مستقیم مشاهده نماید؛
- در اتاق کنترل باید از تاسیساتی استفاده شود تا از پژواک صدای متصدیان جلوگیری شود؛

- موتورها و تاسیسات کنترل کار آنها باید در فضاهایی با روشنایی کافی و امکانات راحت دسترسی برای بهره‌برداری و نگهداری نصب شوند.

- محل نصب آنها در خطر نشت و نفوذ آب باران و آب‌های دیگر قرار نگیرد و در صورت امکان بهتر است در ارتفاع مناسبی نسبت به کف اتاق و یا کارگاه نصب شود و پیش‌بینی کفشور برای تخلیه آب‌ها توصیه می‌شود.

- تاسیساتی مانند شیرها که لازم است برای بهره‌برداری به طور مرتب باز و بسته شوند بهتر است مجهز به تمهیدات خودکار باشند.
- ابنیه دارای تجهیزات آسیب‌پذیر نسبت به آب مانند انبار مواد شیمیایی باید دارای سیستم اعلام نفوذ آب به ابنیه باشد و در نزدیکی کف واحد قرار گیرد تا تجهیزات از صدمه دیدن محفوظ بمانند.

- در صورتیکه از تاسیسات پی‌ال‌سی^۱ استفاده می‌شود لازم است در صورت بروز نقص در آن بهره‌برداری با دست انجام پذیر باشد و تابلوهای کنترل دستی تاسیسات در نزدیکی آنها نصب شوند تا متصدی بتواند کار بهره‌برداری را انجام دهد.
- تمام شیرهای نصب شده روی تاسیسات باید شماره گذاری شوند تا عملیات بهره‌برداری از آنها ساده و بدون خطا انجام گیرد و این شماره گذاری‌ها نیز در دفترچه بهره‌برداری مشخص شده باشد.

۱۰-۵-۳- سطح خودکاری^۲

در طراحی تاسیسات، درجه خودکاری آنها تابع نظرات و امکانات سرمایه‌گذار است. در صورتیکه مشکل تامین نیروی بهره‌برداری وجود ندارد از سطح پایین‌تری از خودکاری باید استفاده بشود. استفاده از اعلام‌کننده همراه^۳ باعث می‌شود که متصدی در هر نقطه از



- فضای کافی برای عملیات بهره‌برداری، نگهداری و مدیریت‌ها باید پیش‌بینی بشود؛

- در طراحی فضاهای تاسیسات هر فرایند شرایط بهره‌برداری و نگهداری همراه با حداکثر ایمنی برای متصدی باید پیش‌بینی بشود و به همین دلیل از معماری نقشه‌های دارای امتیاز ویژه باید بهره‌گیری نمود. این واحدها شامل آبگیر، واحد تقسیم آب بین واحدها، اختلاط سریع، ذره‌سازها، واحدهای ته‌نشینی، فیلترها، ساختمان تهیه و تزریق ترکیبات شیمیایی مورد نیاز و سایر تاسیسات فرایندی بوده که در بخش‌های مربوط به آنها با اشاره به آیین‌نامه‌ها مورد توجه قرار گرفته است.

۱۰-۵-۵- توجهات در نگهداری از تاسیسات

روش کار بخش تعمیرات و نگهداری از تاسیسات روی عملکرد کار آنها و تولید آب سالم اثرات قابل ملاحظه‌ای دارد. چنانچه می‌توان گفت اگر تاسیسات در حد مطلوب تعمیر و نگهداری نشوند مشکلات زیادی در بهره‌برداری ایجاد می‌نماید به علاوه تعمیر و نگهداری خوب باعث طولانی‌تر شدن عمر مفید تاسیسات می‌شود. بنابراین سه اصل مهم آن به شرح زیر مورد توجه قرار می‌گیرد:

- فضای انجام تعمیرات باید پاکیزه، روشن و عاری از رطوبت باشد؛
- موتورهای الکتریکی باید به طور مرتب و منظم مورد استفاده قرار گیرد؛
- برنامه نگهداری تاسیسات باید مدون بوده و رعایت بشود؛

حفظ ابزار و قطعات یدک، حفظ محیط بهره‌برداری و نگهداری در حد مطلوب و پیش‌بینی ابزار و امکانات جابجایی راحت تاسیسات سنگین از ملزومات نگهداری مطلوب است و بنابراین همراه با سفارش دستگاه، ابزار تعمیر و جابجایی آن هم باید سفارش داده شود. در مورد فضاهای بهره‌برداری از فیلترها در فصل ششم مفصل گفتگو شده است که می‌تواند الگوی طراحی فضاهای دیگر تصفیه‌خانه قرار گیرد.

یکی از مهمترین بخش‌های تصفیه‌خانه، کارگاه تعمیرات و

انبار قطعات یدک است که توجه می‌طلبد. در انبار تعمیرگاه باید انواع ترکیب‌های شیمیایی، انواع روغن موتور و ابزار لازم نگهداری شود که نیاز به رعایت آیین‌نامه‌های مربوطه دارد. در این زمینه نشریه‌های تخصصی نیز وجود دارد که توجه و رعایت آنها ضروری است.

۱۰-۶- تعیین محل احداث تصفیه‌خانه

در طرح‌هایی که تعیین محل احداث تصفیه‌خانه جزئی از شرح خدمات مهندس مشاور می‌باشد، عموماً طراحی لوله انتقال آب خام و آب پاک یعنی توجهات هیدرولیکی بالادست و پایین دست تصفیه‌خانه نیز بخشی از کار خواهد بود. در این صورت ضرورت دارد که جانمایی محل احداث تصفیه‌خانه همزمان با انجام مطالعات بررسی کیفیت آب و تعیین فرایندهای لازم پس از تعیین نیاز آبی طرح صورت پذیرد.

انتخاب محل تصفیه‌خانه نیاز به همکاری تخصص‌های مختلف دارد، به گونه‌ای که گزینه‌های مختلف محل تصفیه‌خانه توسط گروهی متشکل از متخصصان فرایند تصفیه آب، هیدرولیک تصفیه‌خانه و لوله‌های انتقال، سازه و سیویل، معماری و تاسیسات، زمین‌شناسی و ژئوتکنیک و با همکاری صاحب کار صورت می‌پذیرد. در نهایت گزینه‌های مختلف محل تصفیه‌خانه تعریف شده و مورد مقایسه فنی و اقتصادی قرار می‌گیرد. کارفرما در مرحله بررسی و تصویب این گزارش امکان تملک و اخذ مجوز احداث بنا و همچنین احداث تاسیسات بالادست و پایین دست تصفیه‌خانه را بررسی نموده و سپس گزینه برتر را تصویب می‌نماید. در نهایت با طی مراحل قانونی و تملک زمین، برای انجام مطالعات میدانی مانند ژئوتکنیک و نقشه برداری محل تصفیه‌خانه اقدام می‌گردد.

به طور کلی هرچه محل تصفیه‌خانه آب به شبکه توزیع و مخازن سرویس شهر نزدیک‌تر باشد آب بهتری تحویل مصرف‌کنندگان می‌شود و راحت‌تر می‌توان از خدمات فنی بخش خصوصی استفاده نمود و متصدیان و کارمندان تصفیه‌خانه هم با سهولت بیشتری رفت و آمد خواهند داشت.



- همبستگی بین اجتماعات مختلف تحت پوشش تصفیه‌خانه بیشتر خواهد شد.

معایب و محدودیت‌های این گزینه عبارت است از:

- با تمرکز تصفیه‌خانه در نزدیکی منبع آب انعطاف‌پذیری تاسیسات در برابر تغییرات کمی و کیفی آب محدودتر می‌گردد و بنابراین با توجه به روند کاهش کمی و کیفی منابع آب، در صورت بروز تغییر نامطلوب در منبع آب خام، تامین آب از منابع دیگر برای تصفیه‌خانه با موانع زیادتری روبرو خواهد شد.
- هر گونه خطا در تولید آب پاک، سلامتی و بهداشت یک جامعه بسیار بزرگ‌تر را به مخاطره می‌اندازد و هر گونه عملیات خرابکاری در تاسیسات تصفیه‌خانه مشکلات بیشتری را در منطقه ایجاد می‌نماید.

- در بروز شکستگی‌ها و مشکلات ناشی از بهره‌برداری از شیرهای هوا و آب بندی اتصالات، آب تصفیه شده از دست می‌رود و در نتیجه هزینه بیشتری به طرح تحمیل خواهد شد.

- در صورت بروز شکستگی در خطوط انتقال و ضرورت تعمیر، انجام شستشو و میکروبخشی در لوله آبرسانی با مشکلات عملی روبرو می‌شود در نتیجه ممکن است آبی با کیفیت نامطلوب به مخازن سرویس اجتماعات پایین دست محل شکستگی هدایت شود.

- آب تصفیه شده، آبی استریل نیست و در آن عوامل زنده غیر – بیماریزا وجود دارد و فعالیت می‌نماید. لذا در سطوح داخلی لوله انتقال به ویژه در مسیرهای طولانی احتمال رشد، تولید مثل و مرگ و میر این عوامل زنده مانند قارچ‌ها، باکتری‌ها، جلبک‌ها و غیره وجود دارد. با توجه به نبود تاسیسات تصفیه در پایین دست، آب با این مشخصات به محل‌های مصرف هدایت خواهد شد و با انجام کلرزنی دوباره، ترکیبات نامطلوب تشکیل شده و کیفیت آب دچار تغییر می‌شود.

با توجه به مزایا و محدودیت‌های پیش گفته باید سعی نمود که محل

پیش از تعریف گزینه‌های محل احداث تصفیه‌خانه ضروری است کلیات انتخاب موقعیت تصفیه‌خانه مورد بررسی قرار گیرد. لازم به توضیح است که رویکردهای کلی زیر در خصوص انتخاب محل تصفیه‌خانه باید مورد توجه قرار گیرد.

الف – احداث تصفیه‌خانه متمرکز در نزدیکی منبع تامین آب و انتقال آب شرب

این رویکرد در شرایطی مورد توجه قرار می‌گیرد که اجتماعات پراکنده و مختلفی باید از لوله انتقال آب تصفیه شده استفاده نمایند و شامل بحث‌های تامین، تصفیه و انتقال آب فقط برای یک شهر نیست. امتیازات این رویکرد عبارتند از:

- با تمرکز واحدهای فرایندی، مدیریتی، رفاهی، آزمایشگاه و غیره هزینه‌های بهره‌برداری، نگهداری و نیروی انسانی کمتر شده و بنابراین آبی با قیمتی مناسب‌تر می‌توان تولید نمود.

- با تصفیه و میکروبخشی موثر آب (تصفیه ارتقا یافته) در ابتدای لوله انتقال آب می‌توان امکان رشد میکروبی و ایجاد طعم و بورا در لوله انتقال به حداقل رساند.

- داشتن یک تصفیه‌خانه متمرکز امکان جذب نیروهای متخصص را بهتر فراهم نموده و در نتیجه آبی با کیفیت مطلوب‌تر و با قیمت مناسب‌تر می‌توان تولید نمود.

- نظارت کلان مرکزی بر تصفیه‌خانه با سهولت و دقت بیشتری انجام پذیر است.

- با توجه به روند رو به رشد خصوصی‌سازی، در آینده می‌توان بهره‌برداری و نگهداری یک تصفیه‌خانه بزرگ را به بخش خصوصی آسان‌تر واگذار نمود.

- وجود یک تصفیه‌خانه متمرکز همراه با نیروی انسانی متخصص دارای پتانسیل بهتر در استفاده از تکنولوژی‌ها و دستاوردهای علمی روز خواهد بود. به علاوه در مدیریت و کنترل کیفیت هم می‌تواند بهتر عمل نماید.



تصفیه‌خانه متمرکز و مشترک هر چه بیشتر در محلی انتخاب گردد که طول لوله انتقال آب پاک کوتاه‌تر و طول لوله آب خام طولانی‌تر گردد. لذا محل استقرار تصفیه‌خانه متمرکز خود دارای گزینه‌های متعددی است.

ب – احداث تاسیسات زلالسازی متمرکز در نزدیکی منبع آب و انتقال آب زلال

در این روش لازم است واحدهای آشالگیری، زلالسازی و پیش اکسیداسیون در مجاورت محل آبگیری احداث و آب زلال شده به محل استقرار فیلترها که در کنار اجتماعات مختلف قرار دارد انتقال داده شود. محل استقرار فیلترها و میکروبخشی این طرح می‌تواند دارای گزینه‌هایی باشد. در حقیقت فیلتراسیون که بخش اصلی تصفیه‌خانه آب است به صورت متفرق در کنار اجتماعات پراکنده و شبکه‌های توزیع آب قرار می‌گیرد. مزایای این روش به قرار زیر است:

- طول لوله انتقال آب تصفیه شده تا نقاط مصرف حداقل ممکن بوده و احتمال آلودگی دوباره آب تصفیه شده کمتر است.

- امکان استفاده از انواع فیلترها در محل‌های مختلف وجود خواهد داشت. به طوری که برای اجتماعات شهری و با جمعیت زیاد فیلترهای ثقلی تند، برای اجتماعات روستایی کم جمعیت، فیلترهای ثقلی کند و یا فیلترهای تحت فشار می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در این گزینه مصرف کنندگان دیگر آب مانند صنایع که خود دارای تاسیسات تصفیه جداگانه‌ای هستند می‌توانند آب زلال را از لوله انتقال دریافت و به تناسب نیاز خود اقدام به اصلاح آن بنمایند. چنانکه ممکن است از نوعی فیلتر ممبرانی استفاده بشود. همچنین در این گزینه، اجتماعات روستایی می‌توانند در قالب مجتمع‌های روستایی آب مورد مصرف خود را از تاسیسات فیلتراسیون و میکروبخشی مشترک دریافت کنند.

- در صورت بروز مشکلات در لوله انتقال و ضرورت تعمیر، هر گونه آلودگی پس از رسیدن آب به واحدهای فیلتراسیون پایین دست

قابل تصفیه خواهد بود.

- رشد میکروارگانیسم‌ها در خطوط طولانی انتقال آب که همواره وجود دارد با عملیات فیلتراسیون در خط و سپس میکروبخشی با کلر، قابل کنترل است.

- در صورت ضرورت انجام کلرزنی دوباره جهت مبارزه با رشد میکروب‌ها در آب انتقالی، وجود فیلترها در پایین دست جهت اصلاح کیفیت آب، نگرانی‌ها را کمتر خواهد نمود.

- در این گزینه هر شرکت آب و فاضلاب شهری و یا روستایی مسئول کیفیت آب تحویلی به مشترکین مجتمع خود می‌باشد و ریسک توزیع آب نامطلوب به جمعیت زیاد، کمتر است.

معایب و محدودیت‌های این گزینه عبارت است از:

- هزینه اجرای تصفیه‌خانه متفرق در این گزینه نسبت به سایر گزینه‌ها بیشتر می‌باشد.

- در این گزینه علاوه بر وجود ساختمان مواد شیمیایی، آزمایشگاه، تعمیرگاه و انبار در واحد زلالسازی متمرکز، در واحدهای فیلتراسیون نیز به ساختمان‌های فوق نیاز می‌باشد که هزینه‌های سرمایه‌گذاری بالاتری نیز به طرح تحمیل می‌نماید.

- با توجه به پراکندگی واحدهای فیلتراسیون و میکروبخشی و نیاز به نیروی انسانی بیشتر، هزینه‌ها را در این گزینه افزایش می‌دهد.

- به دلیل پراکندگی واحدهای فیلتر برای اجتماعات مختلف، میزان مصرف مواد شیمیایی در این گزینه ممکن است بیشتر از گزینه متمرکز باشد.

- هزینه‌های تعمیر و نگهداری تاسیسات تصفیه در این گزینه به دلیل پراکندگی آنها بیشتر از تاسیسات تصفیه در گزینه متمرکز می‌باشد.

لازم به توجه است که اطمینان به تحویل آب با کیفیت مطلوب در این رویکرد به مراتب بهتر از گزینه الف می‌باشد. بنابراین گزینه ب آبی



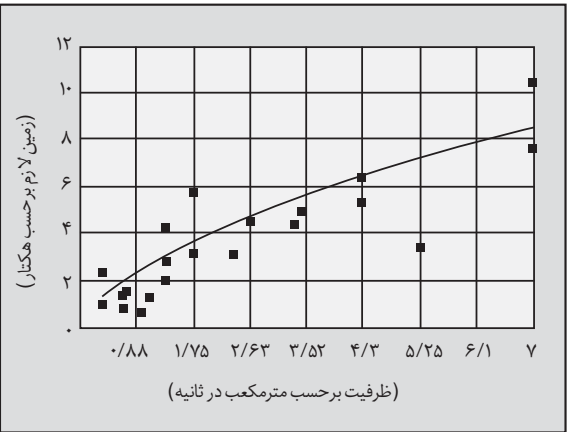
- دارا بودن حداقل مساحت زمین مورد نیاز و امکانات توسعه آینده همراه با شکل هندسی مناسب با توجه به نحوه استقرار واحدها؛
- مناسب بودن رقوم ارتفاعی جهت انتقال آب خام به تصفیه‌خانه و انتقال آب تصفیه شده به مخازن سرویس شهر به صورت ثقلی و یا با صرف کمترین میزان مصرف انرژی؛
- مناسب بودن شیب زمین به منظور احداث ابنیه، راه‌های دسترسی و انتقال ثقلی آب بین واحدهای تصفیه و نیاز به کمترین عملیات خاکی؛
- مناسب بودن فاصله از محل عبور مسیل‌ها برای دفع آب‌های سطحی و فاضلاب‌ها و نزدیکی به راه‌های اصلی؛
- مناسب بودن زمین به لحاظ ژئوتکنیک (لغزش و رانش، جنس بستر، عمق آب زیرزمینی، فاصله با گسل‌ها)؛
- مناسب بودن فاصله با منبع تامین آب و محدوده تحت پوشش شبکه توزیع؛
- نزدیکی به کابل انتقال الکتریسیته مناسب جهت اخذ انشعاب و نزدیکی به خطوط دیگر جهت تامین نیروی پشتیبانی؛
- سازگاری زمین منتخب تصفیه‌خانه با ساکنین مجاور (زیبایی شناختی، شرایط محیط‌زیستی، نور در شب، صدا، ترافیک، حمل و نقل مواد، کیفیت هوا، نشت مواد خطرناک، ایمنی)؛
- سازگاری زمین منتخب تصفیه‌خانه با محیط‌زیست پیرامون (کم بودن آسیب به محیط‌زیست در زمان اجرا و در زمان بهره‌برداری) و سیل گیر نبودن و هزینه کمتر حفاظت تاسیسات در برابر سیل؛
- نزدیکی به تاسیسات جمع‌آوری فاضلاب برای دفع فاضلاب و پساب بهداشتی تصفیه‌خانه؛
- مناسب بودن قیمت و وجود شرایط لازم به منظور تملک زمین؛
- نزدیکی به اجتماعات شهری برای استفاده از خدمات فنی

۱. نحوه استقرار واحدهای تصفیه بخش ۱۰-۹ روی ارقام منحنی اثرات قابل ملاحظه‌ای دارد.

مناسب‌تر و در نتیجه گران‌تر به مصرف‌کننده تحویل می‌دهد و انتخاب بستگی به معیارهای قضاوت طراحان و استاندارد کیفیت آب دارد.

۱۰-۶-۱- معیارهای انتخاب زمین محل احداث تصفیه‌خانه
در انتخاب محل استقرار تاسیسات تصفیه با توجه به دو گزینه الف و ب زیرگزینه‌های مختلف جانمایی تصفیه‌خانه باید تعریف گردد. اولین گام تعیین حدود مساحت زمین مورد نیاز می‌باشد. در شکل شماره ۱۰-۷ مقدار زمین مورد نیاز در رابطه با ظرفیت تولید تصفیه‌خانه نشان داده شده است. گرچه پس از تکمیل مطالعات مرحله اول و استقرار واحدهای فرایندی و خدماتی و توجهات دیگر مساحت لازم تعیین می‌شود.

شکل شماره ۱۰-۷- نمودار حداقل مساحت مورد نیاز بر حسب ظرفیت یک تصفیه‌خانه متعارف^۱



با در اختیار داشتن حدود مساحت مورد نیاز، مطالعات میدانی به منظور یافتن زمین مناسب جهت احداث تصفیه‌خانه آغاز می‌گردد. پارامترهای موثر در انتخاب زمین جهت احداث تصفیه‌خانه به شرح زیر می‌باشد:



متخصصین مورد نیاز موجود در شهر و سهولت رفت و آمد بازدیدکنندگان احتمالی آینده.

بنابراین با در اختیار داشتن حداقل مساحت مورد نیاز، محدوده‌های مناسب جهت برداشت آب، موقعیت نقاط مصرف، رقوم آب در منبع تامین و فشار مورد نیاز در نقاط مصرف، محدوده ارتفاعی مناسب جهت تصفیه‌خانه تعیین می‌شود. با این داده‌ها به کمک نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰ موجود گزینه‌های اولیه محل احداث تصفیه‌خانه انتخاب می‌گردد.

لازم است فاصله خطوط ارتفاعی و شیب طبیعی زمین در گزینه‌ها بررسی گردد. چنانچه شیب زمین بیش از ۱۰ و تا حدود ۲۰ درصد باشد، صرف نظر از اشکالاتی که ممکن است در پایداری ابنیه ایجاد نماید، باعث می‌گردد اختلاف رقوم زمین در طرفین واحدهای فرایندی با طول زیاد افزایش یافته و معماری و دسترسی به این واحد را دچار مشکل نماید. پس از انتخاب گزینه‌های جانمایی زمین تصفیه‌خانه، می‌توان با مراجعه به وب‌سایت‌های تصاویر هوایی زمین^۱ وضعیت موجود و شرایط تصویری محل‌های پیشنهاد شده را دقیق‌تر بررسی نموده و با بازدیدهای میدانی و بررسی نقشه‌های زمین‌شناسی و طرح‌های جامع و تفصیلی، برای هر یک از گزینه‌ها گزارشی تهیه و مقایسه‌های لازم را انجام داد.

۱۰-۷- تاسیسات جنبی

به منظور طراحی ساختمان‌های خدماتی مورد نیاز تصفیه‌خانه ضروری است که شرح فعالیت‌های خدماتی در تصفیه‌خانه مشخص گردد.

از جمله این خدمات می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

- تعمیرات تاسیسات مکانیکی تصفیه‌خانه؛
- تعمیرات تاسیسات برق، کنترل و ابزار دقیق تصفیه‌خانه؛
- خدمات مربوط به نگهداری سازه‌ها؛
- کنترل کیفیت آب خام و آب تولیدی در تصفیه‌خانه (پارامترهایی با دوره اندازه‌گیری ساعتی تا ماهیانه و بیشتر)؛
- مدیریت انبار مواد و تجهیزات مورد نیاز تصفیه‌خانه؛
- مدیریت مالی – اداری تصفیه‌خانه و تاسیسات بالادست و پایین دست؛
- خدمات رفاهی (ورزشی، فرهنگی، تفریحی)؛
- امکانات مسکونی برای بهره‌برداران؛
- نگهبانی، سرایداری، باغبانی و نظافت محوطه و ساختمان‌ها؛
- برج‌های دیدبانی و پناهگاه (بر اساس دیدگاه‌های پدافند غیر عامل)؛
- تامین برق اضطراری؛
- مخزن ذخیره آب پاک؛
- ایستگاه پمپاژ آب تصفیه شده.

بدیهی است که احداث تاسیسات بخش‌هایی از موارد پیش گفته ضروری بوده و بهره‌برداری از تاسیسات تصفیه آب پیش از راه‌اندازی این ابنیه امکان‌پذیر نمی‌باشد. لیکن تصمیم‌گیری در خصوص احداث اغلب اقلام پیش‌گفته بستگی به شرایط منطقه و سیاست‌گذاری‌های صاحب کار دارد. لذا پیشنهاد می‌گردد همزمان با جمع‌بندی در خصوص فرایندهای تصفیه آب ضرورت وجود تاسیسات مذکور همراه با گزارش بررسی کیفیت آب خام و فرایندهای مورد نظر و بررسی گزینه‌های فرایندی و انتخاب گزینه برتر جهت تصمیم‌گیری به صاحب کار ارایه گردد. از جمله خروجی‌هایی که در این گزارش لازم است ارایه گردد دیگرام تشکیلات نیروی انسانی پیشنهادی جهت ارایه خدمات مورد نیاز در تصفیه‌خانه، محل استقرار نیروها و برآورد مساحت تقریبی

1. Google Earth



ساختمان‌های مورد نیاز جهت استقرار پرسنل می‌باشد که نشریات حرفه‌ای هم در این زمینه تدوین و منتشر شده است.

۱۰-۸- پلان و مقاطع ساختمان‌های فرایندی و جنبی

پس از انتخاب محل احداث تصفیه‌خانه و تعیین مساحت‌های مورد نیاز جهت احداث واحدهای فرایندی، طراحی معماری واحدهای فرایندی میسر است. در این مرحله ضروری است به منظور طراحی صحیح ارتباطات هیدرولیکی و دسترسی به واحدها پیش از تهیه پلان و مقاطع واحدها، جانمایی اولیه این تاسیسات در محوطه صورت پذیرد. بدیهی است اولویت در جانمایی با واحدهای فرایندی است. زیرا تامین جریان ثقلی آب در بین واحدها و سهولت بهره‌برداری از واحدها جزو اولویت‌های اول تصفیه‌خانه‌های آب می‌باشد. بنابراین با داشتن رقوم زمین و هیدرولیک بالادست و پایین دست تصفیه‌خانه باید استقرار واحدهای فرایندی با توجه به پایداری سازه‌ها و حفظ جریان ثقلی آب بین آنها و نیازهای هیدرولیکی انجام گیرد. در مرحله دوم با توجه به ظرفیت لوله‌های ارتباطی که ۱/۵ برابر ظرفیت اسمی تصفیه‌خانه است، افت فشارها محاسبه و اقطار لوله‌های ارتباطی و یا کانال‌های مربوطه تعریف می‌شود. در نتیجه محدوده کلی استقرار واحدها در محوطه مشخص شده و با توجه به موقعیت زمین انتخاب شده و آب و هوای منطقه کلیات راه‌های دسترسی در محوطه بررسی می‌گردد.

با توجه به وضعیت راه‌های دسترسی و موقعیت خطوط انتقال الکتریسته موجود، جانمایی تاسیسات تبدیل و توزیع برق و تامین برق اضطراری، ساختمان نگهدانی، ساختمان‌های فرایندی، فرآوری پساب، ساختمان‌های مواد شیمیایی، اداری و سایر ساختمان‌های جنبی انجام می‌گیرد. در نهایت با توجه به شرایط توپوگرافی محوطه، محل مناسب جهت جمع‌آوری و دفع نهایی فاضلاب و رواناب سطحی تعیین شده و واحدهای تصفیه و هدایت پساب به خارج از محوطه انتخاب می‌گردند. در تعریف گزینه جانمایی واحدهای فرایندی و

واحدهای خدماتی توجهاتی از قبیل نیازهای بهره‌برداری و مدیریتی باید رعایت گردد. اهم توجهات عبارتند از:

۱. ملاحظات فونداسیون و پی‌سازی: در جانمایی واحدهای فرایندی

با ابنیه و تجهیزات سنگین باید از نتایج آزمایشات مکانیک خاک محوطه استفاده کرد. در این رابطه باید به ظرفیت برشی خاک، سطح تراز آب زیرزمینی و اثرات غوطه‌وری و دست‌خوردگی خاک و کیفیت آب زیرزمینی از نظر خوردگی توجه شود. ایجاد درزهای انقطاع و جدایی واحدها از یکدیگر برای اجتناب از انواع نشست‌ها لازم است. توجه شود که یک استقرار اولیه برای تهیه برنامه ژئوتکنیک و انجام حفاری‌های لازم مورد نیاز است تا حفاری‌ها صحیح‌تر انجام گرفته و نتایج مکانیک خاک بهتر مورد استفاده واقع شود.

۲. طول خطوط انتقال مواد شیمیایی: برای اجتناب از گرفتگی

لوله‌های انتقال مواد شیمیایی طول آنها بایستی حداقل گردد. بنابراین مخازن مواد شیمیایی و تاسیسات تزریق باید هر چه بیشتر به نقاط مصرف نزدیک‌تر باشد.

۳. راه‌های دسترسی بین واحدهای فرایندی و واحدهای خدماتی:

همان‌طور که گفته شد برای بهره‌برداری و نگهداری از واحدهای فرایندی و ابنیه خدماتی باید راه‌های دسترسی به ابنیه طراحی شود و میزان ترافیک مورد انتظار و فضای پارکینگ باید مورد توجه قرار گیرد. پارکینگ اتومبیل کارمندان تصفیه‌خانه بهتر است در پشت و پارکینگ اتومبیل بازدیدکنندگان و مراجعین در جلو ساختمان اداری تصفیه‌خانه در نظر گرفته شود. مسیر تردد کامیون‌های حمل و نقل با تردد اتومبیل‌های کارکنان و بازدیدکنندگان به جز در ورودی تصفیه‌خانه بهتر است مجزا باشد و علایمی برای پارکینگ بازدیدکنندگان نصب گردد. شعاع قوس راه‌های دسترسی در محوطه به خصوص برای کامیون‌های حامل مواد شیمیایی نیاز به توجه دارد.



۴. آلودگی‌های صوتی: برای حفظ سلامتی و آرامش پرسنل تصفیه - خانه و ساکنین اطراف آن لازم است صدای تزریق‌کننده‌ها، پمپ‌ها، دمنده‌ها، ژنراتورها و کمپرسورها کنترل شود که در این زمینه ایجاد فضای مناسب برای این گونه تاسیسات ضروری است.

۵. ساختمان‌ها: فضاهایی برای نیروی انسانی تصفیه‌خانه، تجهیزات فرایندی و بازدیدکنندگان از تصفیه‌خانه همواره مورد نیاز است. موارد زیر در مورد طراحی و جانمایی ساختمان‌ها بایستی رعایت گردد:

- دسترسی راحت به ساختمان‌ها با توجه به نیازهای بهره‌برداری؛
- شرایط آب و هوای محل بایستی در جانمایی و نحوه قرارگیری واحدها از نظر جهت شمالی جنوبی مد نظر قرار گیرد تا هزینه‌های گرمایش، سرمایش، روشنایی و تهویه مطبوع حداقل گردد. در مناطق سردسیر برای کاهش هزینه‌های ناشی از برف‌روبی و مسایل یخ‌زدگی نباید سایه ساختمان‌ها روی پارکینگ و جاده دسترسی قرار گیرد. در شرایط آب و هوای بسیار سرد برای اجتناب از خطرات یخ‌زدگی، باید ساختمان فیلترها و راه دسترسی به ابنیه هم مسقف باشد.

- ساختمان اداری و مدیریت باید در مسیر ورود بوده و به سهولت قابل تشخیص باشد. این ساختمان باید مجهز به دفاتر کار، آزمایشگاه، اتاق تجهیزات و کنترل، نمایشگرها، سرویس‌های بهداشتی، آبدارخانه و حمام باشد. همچنین فضای لازم جهت بازدید کنندگان مانند سالن کنفرانس در این ساختمان در نظر گرفته شود.

۶. خدمات جنبی: ساختمان‌های جنبی دیگر تصفیه‌خانه شامل تعمیرگاه‌ها به همراه تجهیزات و ادوات لازم، انبار قطعات یدکی، اتاق تجهیزات مکانیکی برای پمپ‌ها، کمپرسورها و اتاق تاسیسات تزریق مواد شیمیایی و ابزار کنترل می‌باشند. نزدیکی ساختمان بهره‌برداری و کنترل به واحدهای اصلی فرایندی یکی از معیارهای طرح استقرار واحدها می‌باشد.

۷. محوطه‌سازی و سازگاری با شرایط: محل ابنیه تصفیه‌خانه می‌بایست به منظور تامین حداقل الزامات پدافند غیرعامل محصور باشد. محوطه‌سازی باید با خصوصیت پیرامون محل تصفیه‌خانه همخوانی داشته باشد. طراحی‌ها باید براساس کنترل فرسایش در شیب، کنترل آب‌های سطحی و جاذبه‌های معماری انجام گیرد. تاسیسات تصفیه‌خانه شامل روشنایی، گاز، آب، فاضلاب، لوله‌های ورودی و خروجی انتقال آب خام و تصفیه شده، خطوط تلفن و سیستم‌های ارتباط جمعی که باید در پلان جانمایی نشان داده شود.

۸. بهداشت و ایمنی حرفه‌ای: در تصفیه‌خانه آب، خطرات مختلفی جان متصدیان و بازدیدکنندگان را تهدید می‌نماید از جمله مسمومیت با مواد شیمیایی، گازهای سمی، مخاطرات مقابله با آتش، انفجار، سوختگی، شوک‌های الکتریکی، حوادث جدا شدن قطعات مکانیکی تاسیسات و حوادث درگیر شدن شخص با این قطعات، سقوط و غرق شدن در حوضچه‌ها و مخازن می‌باشد و بنابراین رعایت استانداردهای ایمنی و پیش بینی تمهیدات کمک‌های اولیه ضرورت دارد.

۱۰-۹- استقرار واحدهای فرایندی

به طور کلی سه روش در نحوه استقرار واحدهای تصفیه‌خانه وجود دارد.

☞ الف - استقرار خطی (متوالی)

☞ ب - استقرار باز

☞ ج - استقرار فشرده (متراکم)

انواع استقرار واحدهای تصفیه‌خانه با روش‌های پیش گفته در شکل شماره ۱۰-۸ نشان داده شده است و چون نوع استقرار روی عملیات بهره‌برداری و نگهداری تصفیه‌خانه تاثیر گذار است کلیاتی از سه نوع استقرار مطرح می‌شود.



الف - استقرار خطی (متوالی)

استقرار خطی واحدهای تصفیه‌خانه سابقه بسیار طولانی دارد. در صورتیکه تهیه زمین با محدودیت روبرو نباشد این روش توصیه می‌شود. خصوصاً اگر توسعه تصفیه‌خانه در آینده مد نظر باشد. بزرگ‌ترین حسن این روش سادگی آن است. در این روش اولین واحد فرایندی در بلندترین نقطه محوطه واقع شده و بقیه واحدها به صورت متوالی بر اساس شیب زمین و شیب هیدرولیکی مورد نیاز استقرار می‌یابند. در این روش آب با انرژی اختلاف ارتفاع بین واحدها توزیع شده و طول لوله‌ها و کانال‌های ارتباطی کوتاه می‌باشد. مزیت دیگر این نوع استقرار امکان توسعه آینده واحدها به صورت موازی در کنار واحدهای موجود است که بدون آسیب به وضعیت موجود واحدها، ظرفیت کل تصفیه‌خانه قابل افزایش می‌باشد.

مهمترین عیب این نوع استقرار، نامناسب بودن موقعیت قرار گرفتن واحدهای تهیه و تزریق مواد شیمیایی و تجهیزات مکانیکی است. این نوع استقرار نیازمند توجهات بیشتر برای بهره‌برداری است. در تصفیه‌خانه‌های با استقرار خطی دو منطقه در بهره‌برداری مورد توجه قرار می‌گیرد. محل اول ابتدای تصفیه‌خانه یعنی ساختمان مواد شیمیایی می‌باشد که در آن عملیات تهیه محلول‌های لازم برای تزریق به واحد اختلاط سریع و حوضچه‌های ذره‌سازی و ته‌نشینی انجام می‌گیرد و محل دوم ساختمان فیلترها می‌باشد که برای بهره‌برداری نیاز به نظارت مستمر دارد.

در یک استقرار خطی با استفاده از حوضچه‌های ته‌نشینی با جریان افقی، حوضچه‌های اختلاط سریع و فیلترها به دلیل نوع استقرار دارای فاصله زیادی از هم می‌گردند. بنابراین مخازن مواد شیمیایی و تاسیسات تزریق باید در یک انتهای تصفیه‌خانه قرار گیرد و در نتیجه طول لوله‌های انتقال مواد شیمیایی به آنها طولانی‌تر خواهد بود مگر اینکه ساختمان‌های جداگانه‌ای جهت این فرایند در نظر گرفته شود. نظر به اینکه تاسیسات اصلی مکانیکی بیشتر در واحد اختلاط سریع، حوضچه‌های ذره‌سازی و ته‌نشینی قرار دارند بنابراین



بهترین روش برای کنترل تصفیه‌خانه این است که کنترل در دو نقطه صورت گیرد، کنترل تجهیزات مکانیکی بخش تهیه و تزریق مواد شیمیایی در ابتدای تصفیه‌خانه و کنترل بهره‌برداری از فیلترها، تجهیزات تزریق مواد شیمیایی به فیلترها، نظارت بر واحد کلرزنی و الکتروپمپ‌های مربوط به فیلترها و آب پاک خروجی در ساختمانی مجاور فیلترها اسقرار یابد.

ب - استقرار باز

استقرار باز که واحدهای تصفیه‌خانه دور از یکدیگر واقع شده و فضای باز بین آنها زیاد است. ساختمان‌ها و حوضچه‌ها از یکدیگر جدا بوده و هر یک با یک محوطه کاملاً باز احاطه شده است. اگر فاصله بین واحدها به دلیل شرایط سازه‌ای الزامی باشد (به عنوان مثال در مناطق زلزله‌خیز) استقرار باز بسیار مطلوب است.

مهمترین مزایای این نوع استقرار به شرح زیر است:

- کمتر بودن پیچیدگی سازه‌ای نسبت به روش متراکم؛
 - مقاومت بهتر در جابجایی ناشی از زلزله؛
 - هماهنگی بهتر در نشست‌های نامتقارن؛
 - امکانات بهتر دسترسی وسایل نقلیه؛
 - سهولت نسبی در تعمیرات لوله‌های انتقال و توسعه‌های آینده.
- مهمترین محدودیت‌های این نوع استقرار عبارتند از:
- پایین بودن شرایط دسترسی به واحدهای درون تصفیه‌خانه به دلیل طولانی بودن مسیرهای رفت و آمد بین واحدها؛
 - نیاز به مدفون بودن تاسیسات و لوله‌های انتقال مواد شیمیایی بین حوضچه‌ها؛
 - نیاز به تعداد بیشتر اتاق‌ها در تصفیه‌خانه و مصرف انرژی بیشتر جهت گرمایش، سرمایش و تاسیسات جنبی رفاهی؛
 - طول زیاد لوله‌کشی بین واحدها و در نتیجه افت فشار بیشتر؛
 - هزینه ساختمانی بیشتر به دلیل استفاده نشدن از دیوار مشترک در استقرار واحدها؛
 - هزینه نسبی بیشتر استملاک زمین.

ج - استقرار فشرده (متراکم)

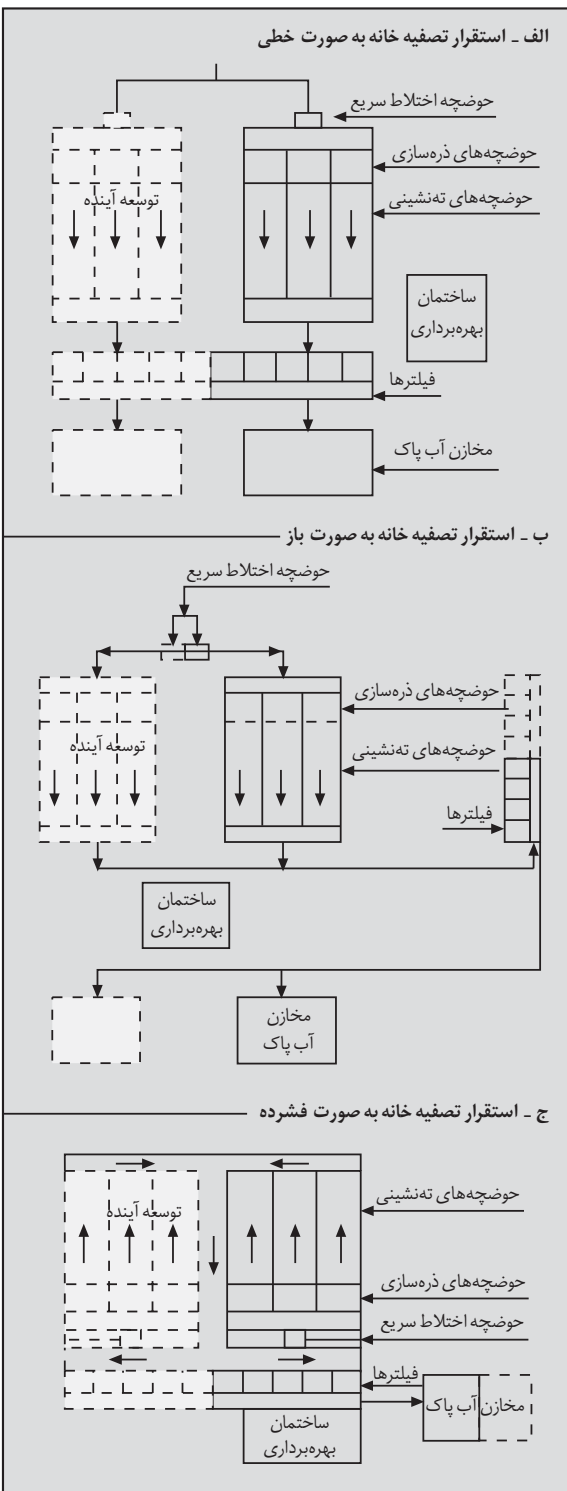
استقرار فشرده که استقرار متراکم و یا مجتمع هم نامیده می‌شود برای مناطق با محدودیت زمین مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این نوع استقرار، ساختمان تزریق مواد شیمیایی، فیلترها و حتی مخزن آب پاک نزدیک به یکدیگر ساخته می‌شوند. در این استقرار با جابجا نمودن فیلترها از نقطه خروجی حوضچه ته‌نشینی به مکانی نزدیک حوضچه اختلاط سریع و هدایت آب زلال شده به فیلترها بوسیله کانال یا لوله، بهره‌برداری را راحت‌تر ممکن می‌سازد. این نوع استقرار بیشتر در کشورهای اروپایی به دلیل محدودیت زمین طرفدار دارد. از دیگر مشخصات استقرار متراکم واحدهای تصفیه‌خانه، استفاده از دیوارهای مشترک بین حوضچه‌ها می‌باشد که در مجموع هزینه‌های ساختمانی را کاهش می‌دهد. در این روش حوضچه‌های اختلاط سریع، ذره‌سازی، ته‌نشینی، فیلتر، تاسیسات مواد شیمیایی، مخازن آب پاک، ساختمان بهره‌برداری و ساختمان مدیریت با تجمیع در کنار یکدیگر تشکیل یک مجموعه واحد را می‌دهند.

لازم به توضیح است که استفاده از استقرار متراکم مستلزم هماهنگی با شرکت‌های سازنده تجهیزات و تاسیسات تصفیه‌خانه می‌باشد. زیرا برخی از شرکت‌های سازنده طرح‌هایی ویژه برای استقرار متراکم دارند که نوعی امتیاز ویژه شناخته می‌شود. امروزه با افزایش قیمت زمین و عملیات ساختمانی شرکت‌های بین‌المللی طرح‌هایی را ارائه می‌دهند که واحدهای فرایندی بسیار نزدیک‌تر به هم می‌باشند و مراقبت و بهره‌برداری را ساده‌تر نموده‌اند. به هر حال در روند تعیین برنده سازنده تاسیسات، نوع استقرار متراکم تحت تأثیر معماری ویژه سازنده می‌باشد.

۱۰-۱۰- پلان استقرار واحدها و پروفیل هیدرولیکی

با توجه به هندسه استقرار واحدهای فرایندی انتخاب شده، لوله‌ها و کانال‌های ارتباطی بین واحدها به صورت مقدماتی طراحی می‌گردند. سپس مسیر کانال‌ها و لوله‌ها به لحاظ تقاطع با جاده‌های دسترسی،

شکل شماره ۱۰-۸- انواع استقرار واحدهای فرایندی تصفیه آب





جدول شماره ۱۰-۲۲ - محدوده حداکثر سرعت مجاز

نوع آب در لوله	حدود سرعت (متر بر ثانیه)
لوله اصلی آب خام	۱/۸
لوله انتقال آب دارای ذرات دلمه شده	۰/۴
لوله انتقال آب به فیلترها	۰/۹
لوله آب فیلتر شده	۱/۷
لوله آب بکواش فیلترها	۲/۷

توجه زیاد دارد برخی از روابط مورد نیاز در این بخش در ادامه ارایه گردیده است:

رابطه داری وایسباخ^۱:

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} = f \frac{L}{D} \frac{Q^2}{2gA^3}$$

متغیرهای به کار رفته در این رابطه به شرح ذیل می باشد.

h_f = افت فشار هیدرولیکی در لوله؛

f = ضریب اصطکاک که تابع عدد رینولدز و زبری نسبی لوله است؛

L = طول لوله بر حسب متر؛

V = سرعت متوسط جریان در لوله بر حسب متر بر ثانیه؛

D = قطر لوله بر حسب متر؛

g = شتاب جاذبه زمین؛

Q = میزان عبور آب از لوله بر حسب مترمکعب بر ثانیه؛

A = سطح مقطع لوله بر حسب متر مربع.

جهت تعیین f از دیاگرام مودی استفاده می گردد که در شکل شماره ۱۰-۹ نشان داده شده است.

در روابط پیش گفته e معرف زبری لوله و بر اساس مشخصات

و جنس لوله می باشد. در جدول شماره ۱۰-۲۳ زبری سطوح برای لوله های مختلف ارایه گردیده است.

کانال های جمع آوری رواناب های محوطه و سایر تاسیسات محوطه در پلان و پروفیل کنترل شده و بر این اساس پروفیل هیدرولیکی تصفیه خانه شامل رقوم آب در واحدهای فرایندی در حالت های حداقل و حداکثر میزان جریان و بر اساس شرایط مختلف بهره برداری ترسیم می گردد و هم زمان رقوم سرریز واحدهای فرایندی تعیین شده و در نقشه ها منعکس می گردد. البته در استقرار متراکم که نقشه های معماری آن را سازنده تجهیزات تهیه می نماید مسئولیت ابعاد واحدهای ارتباطی هم با سازنده تجهیزات مکانیکی برقی است. پس از استقرار واحدهای فرایندی طراحی لوله ها و کانال های ارتباطی بین آنها باید انجام گیرد.

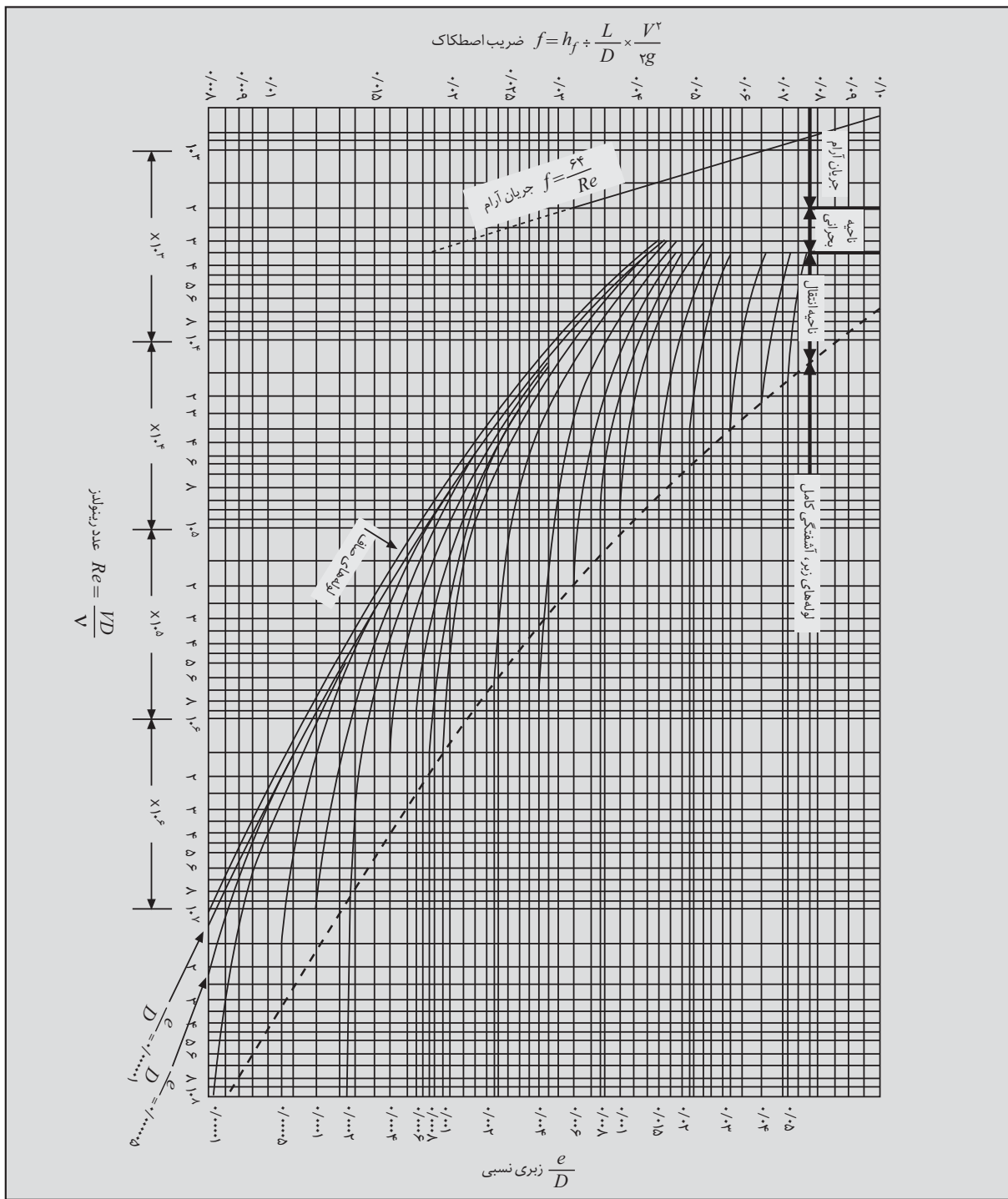
ظرفیت قابل پیش بینی عبوری از این مقاطع به طور کلی طی محاسبات موازنه جرم در حالت های مختلف بدست می آید، لیکن توصیه شده است به منظور کسب اطمینان، ظرفیت لحظه ای لوله ها و کانال های ارتباطی بین واحدهای فرایندی در حدود ۱/۵ برابر ظرفیت اسمی تصفیه خانه انتخاب شود.

گام دوم تعیین سرعت مجاز در مسیرهای آب و پساب ها می باشد. مشابه سایر اجزای هیدرولیکی کاهش سرعت در لوله ها و کانال ها منجر به گران تر شدن طرح و افزایش پتانسیل رسوب گذاری و انتخاب سرعت های بیشتر منجر به افزایش افت فشار، سایش و ایجاد صدا می گردد.

حداقل سرعت مجاز در مسیرهای جریان به منظور پیشگیری از رسوب گذاری حدود ۰/۶ متر بر ثانیه توصیه شده است و سرعت مجاز در مقاطع مختلف در مراجع تعریف گردیده است. در جدول شماره ۱۰-۲۱ محدوده حداکثر سرعت مجاز آب در لوله ها و کانال های انتقال آب در تصفیه خانه ارایه گردیده است.

استفاده از روابط ریاضی به منظور محاسبه افت فشار هیدرولیکی در لوله ها و کانال ها و تعیین رقوم آب در واحدهای فرایندی نیاز به

۱. این معادله در فصل پنجم، ششم و هفتم کتاب به دفعات مورد استفاده قرار گرفته است.

شکل شماره ۱۰-۹ - دیاگرام مودی^۱



P = محیط خیس شده؛

Q = میزان گذر آب بر حسب مترمکعب در ثانیه.

در لوله‌ها با جریان تحت فشار یعنی لوله پر، شعاع هیدرولیکی عبارت

است از:

$$R = \frac{\pi d^{\frac{5}{2}}}{4\pi d} = \frac{d}{4}$$

افت فشار در اتصالات و شیرها با استفاده از معادله زیر انجام می‌گیرد:

$$H_L = K \frac{V^2}{2g}$$

و یا معادل طول اتصال^۱ تعیین شده و به طول لوله مورد محاسبه افزوده

می شود که معادله آن عبارت است از:

$$L' = \frac{KD}{4f}$$

مقدار عددی K در جدول شماره ۱۰- ۲۵ آورده شده است.

به طور کلی از معادلات مختلف که نمونه آن معادله برنولی می‌باشد می‌توان ویژگی‌های لوله و یا کانال ارتباطی بین واحدهای فرایندی را محاسبه و تعیین نمود. زیرا انرژی پتانسیل واحد بالادست باید جهت انتقال آب، ایجاد سرعت و افت فشار توسط لوله و اتصالات مصرف شود و بنابراین پس از استقرار واحدهای فرایندی که در بخش ۱۰- ۸ مطرح گردید، لوله‌ها و کانال‌های ارتباطی بین آنها به صورت آزمون و خطا محاسبه و تعیین می‌شود.

برای اطمینان از نتایج لازم است پروفیل هیدرولیکی واحدهای فرایندی ترسیم شود. در رسم پروفیل هیدرولیکی رقوم نهایی زمین^۲ و زمین طبیعی^۳ باید مبنای کار قرار گیرد. در شکل شماره ۱۰- ۱۰ پروفیل هیدرولیکی یک تصفیه‌خانه آب ارایه شده است.

معادله مانینگ

در سال ۱۸۹۸ مانینگ معادله‌ای را ارایه کرد که بعدها به شکل زیر مورد استفاده قرار گرفت:

جدول شماره ۱۰- ۲۳ - ضریب زبری و عدد رینولدز در معادله داریسی وایسباخ

نوع جریان	معادله برای f	محدوده
آرام	$f = 64 / Re$	$Re < 2100$
لوله صاف	$1 / \sqrt{f} = 2 \log_{10} (Re \sqrt{f}) - 0.8$	$Re > 4000$ $e/D \rightarrow 0$
معادله کلبروک وایت	$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.14 - 2 \log_{10} \left(\frac{e}{D} + \frac{9.35}{Re \sqrt{f}} \right)$	$Re > 4000$
کاملاً ناصاف	$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.14 - 2 \log_{10} \left(\frac{e}{D} \right)$	$Re > 4000$

جدول شماره ۱۰- ۲۴ - زبری سطوح داخلی لوله‌ها برای جنس‌های مختلف

مصالح مورد ساخت	e (میلیمتر)
فولاد پرچی	۰/۹ - ۹/۰
بتنی	۰/۳ - ۳/۰
چدنی	۰/۲۶
آهن گالوانیزه	۰/۱۵
چدن با پوشش آسفالت و یا مواد مشابه	۰/۱۲
فولاد با اتصال جوشی	۰/۰۴۵
پی وی سی و مشابه	۰/۰۰۱۵

معادله هیزن ویلیامز

معادله هیزن ویلیامز به شکل زیر تعریف می‌گردد:

$$Q = 0.849 C A R^{\frac{7}{6}} S^{\frac{5}{2}}$$

C = ضریب زبری هیزن ویلیامز؛

S = شیب خط انرژی ($S = \frac{h_f}{L}$)؛

R = شعاع هیدرولیکی ($R = A/P$)؛

A = سطح مقطع جریان بر حسب مترمربع؛



جدول شماره ۱۰- ۲۵ - مقادیر K

نوع اتصال	مقدار عددی K
جمع شدگی در لوله کشی	۰/۵ - ۰/۱۵
بازشدگی در لوله‌کشی	۱ - ۰/۲
خروجی از مخزن	۰/۸ - ۰/۳
ورودی به مخزن	۱
صافی (به تنهایی)	۵/۵
خم: ۹۰ درجه	۰/۵ - ۰/۶
۴۵ درجه	۰/۷۵ - ۰/۴
۲۲/۵ درجه	۰/۵ - ۰/۲۵
سه راهی مسیر مستقیم مسیر خم	۰/۶ ۱/۸
اتصالات	۰/۰۵
شیر کروی کاملاً باز	۰/۰۵
شیر کشویی کاملاً باز	۰/۲
شیر پروانه ای کاملاً باز	۰/۴
شیر های کنترلی (جریان و فشار) کاملاً باز	۵ - ۱۰
شیر یک طرفه کاملاً باز	۲/۵
ونتوری متر	۰/۴
صفحه روزنه دار	۱/۵

$$V = \frac{1.49}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

V = میانگین سرعت بر حسب فوت در ثانیه؛

R = شعاع هیدرولیکی برحسب فوت؛

S = شیب خط انرژی؛

n = ضریب زبری (ضریب مانینگ).

در سیستم متریک ضریب $\frac{1.49}{n}$ به $\frac{1}{n}$ تغییر می‌یابد و فرمول

به صورت زیر تغییر می‌نماید:

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

از این معادله برای تعیین ابعاد، شیب و شکل کانال‌های ارتباطی بین فرایندهای هیدرولیکی می‌توان استفاده نمود و به کمک معادلات دیگر و یا منحنی‌های موجود برای لوله‌های پر و نیم پر نیز استفاده می‌شود.

۱۰-۱۱- تاسیسات برقی تصفیه‌خانه

در مطالعات مرحله امکان سنجی معروف به مطالعات مرحله اول ضروری است مشخصات کلی سیستم‌های اعلام و اطفای حریق، سیستم دریافت و توزیع نیرو، سیستم‌های مخابرات داخلی، سیستم‌های راه‌اندازی و کنترل تجهیزات و بانک خازن در تصفیه‌خانه بررسی و تعریف گردد. مهمترین اطلاعات این بخش مصرف انرژی در شرایط معمولی و اضطراری می‌باشد. میزان مصرف انرژی الکتریکی در برآورد ظرفیت مورد نیاز^۱ در تصفیه‌خانه و تعیین هزینه‌های مربوط به آن و همچنین برآورد هزینه‌های تامین انرژی تأثیرگذار می‌باشد و بیشینه مصرف انرژی در شرایط معمولی و اضطراری در تعیین مشخصات تاسیسات دریافت و توزیع نیرو و تاسیسات تامین انرژی الکتریکی اضطراری لازم است. بدین منظور می‌بایست در مطالعات مرحله اول بار مصرفی در هر یک از واحدهای تصفیه‌خانه برآورد گردد. انرژی الکتریکی مصرفی در تصفیه‌خانه را می‌توان در قالب دو بخش انرژی الکتریکی مصرفی توسط تجهیزات و انرژی مصرفی در روشنایی ابنیه و محوطه تقسیم‌بندی نمود.

انرژی الکتریکی مصرفی توسط تجهیزات بر اساس کاتالوگ تجهیزات پیشنهادی برآورد می‌گردد و یکی از معیارهای مهم در تعریف و مقایسه گزینه‌ها می‌باشد. پس از برآورد انرژی الکتریکی در بخش‌های مختلف مقادیر متوسط و حداکثر مصرف برای حالت‌های مختلف بهره‌برداری متعارف و اضطراری برآورد شده و با اعمال ضرایب

همزمانی ظرفیت و دیماند پست برق، دیماند ظرفیت ترانسفورماتور و همچنین ظرفیت دیزل ژنراتور محاسبه می‌گردد. سپس با برآوردها ظرفیت بانک‌های خازن تعیین می‌گردد. انجام این برآوردها برای تعیین قیمت تمام شده آب ضرورت دارد. این چکیده نشان می‌دهد که در مطالعات امکان‌سنجی و تهیه طرح نیاز به کارشناس برق و انرژی می‌باشد.

۱۰-۱۲- تاسیسات کنترل و ابزار دقیق تصفیه‌خانه

در مطالعات مقدماتی لازم است پس از بررسی و تعیین سطوح کنترل فرایندها برای پایش کیفیت آب تولیدی هر مرحله، مشخصات کلی سیستم و تجهیزات کنترل و ابزار دقیق بررسی و تعیین گردد. بدین منظور ضروری است فهرست ویژگی‌هایی که نیازمند به اندازه‌گیری خودکار می‌باشند مشخص شده و چنانچه ضرورت دارد داده‌های قرائت شده در فضایی ثبت یا نمایش داده شده و یا فرمانی را صادر نمایند تعیین گردد. این بخش از مطالعات محصول مشترک همکاری تیم فرایند، الکترومکانیک و کنترل و ابزار دقیق می‌باشد.

در گام نخست بخش طراحی فرایندها نیازمندی‌های فرایندی تاسیسات برای پایش و کنترل ویژگی‌ها را تعیین نموده، این فهرست با همکاری بخش الکترومکانیک و بر اساس نیازمندی‌های فنی و ایمنی تجهیزات مکانیکی مورد نیاز در طرح تکمیل می‌گردد. سپس با همکاری بخش کنترل و ابزار دقیق روش پایش و کنترل سیستم در گزارشی با عنوان شرح کنترل‌ها تدوین می‌گردد. بر اساس این سند گزینه‌های واحدهای لازم، تعداد اقلام و مشخصات فنی آنها تعریف تا در برآورد هزینه‌ها لحاظ گردد. در طراحی تاسیسات ابزار دقیق موارد زیر باید مورد توجه قرار گیرد:

- طراحی مجموعه کامل تجهیزات ابزاردقیق شامل اندازه‌گیری و کنترل ارتفاع و حجم مخازن، اندازه‌گیری و کنترل فشار، اندازه‌گیری میزان جریان‌ها، دمای آب و محلول‌های مورد مصرف در تصفیه‌خانه؛



- ارایه راه حل‌های بهینه در تعیین ابزار دقیق مناسب با هر واحد در تصفیه‌خانه‌های آب، ایستگاه‌های پمپاژ و سیستم‌های اندازه‌گیری از راه دور؛

- ارایه راه حل‌های مهندسی در انتخاب جریان سنج‌های مناسب یعنی اندازه و ظرفیت آنها؛
- اندازه‌گیری فشار و ارتفاع آب در مکان‌های مورد نیاز؛
- اندازه‌گیری و کنترل پارامترهای کیفیت آب مانند پی‌اچ، هدایت الکتریکی، کدورت، دما، کلر باقیمانده و ...

- ثبت و نگهداری تمامی پارامترهای اندازه‌گیری شده توسط تجهیزات ابزاردقیق با قابلیت تهیه آمارهای مختلف
- در نظر گرفتن تجهیزات با قابلیت عملکرد طولانی در محیط‌های با گرد و غبار زیاد و محیط‌های انفجاری و شاید مرطوب؛
- انتقال اطلاعات و پارامترهای اندازه‌گیری شده به مرکزی برای ثبت و تهیه گزارش‌های لازم؛
- پایش و کنترل تجهیزات با استفاده از خروجی‌های لازم.

با توجه به کلیات پیش گفته پس از تعیین دیagram فرایندهای تصفیه آب در گزینه مطلوب مانند شکل شماره ۱۰-۲ لازم است ویژگی‌های متغییر آب که روی عملیات بهره‌برداری دخالت دارد اندازه‌گیری شود. بنابراین باید هر یک از واحدهای فرایندی از نظر ویژگی‌های متغیر تعیین شده و نحوه اندازه‌گیری، روش کنترل و تنظیم آن برای بهره‌برداری مطلوب تعریف بشود. برای بهره‌برداری و کسب عملکرد مطلوب واحدهای فرایندی حداقل اندازه‌گیری‌های زیر ضرورت دارد:

واحد پایش ته نشینی

- تراز آب ؛
- میزان آب ورودی؛
- کدورت، پی‌اچ و دمای آب خام؛
- میزان تزریق دلمه ساز و پلیمر؛
- وضعیت حرکت لجن روب؛

- میزان تخلیه لنجاب حوضچه؛
- در صورت تزریق کلر به آب حوضچه میزان کلر در آب خروجی حوضچه.

واحد اختلاط سریع

- میزان تزریق دلمه ساز با توجه به میزان آب ورودی به واحد پیش ته نشینی؛
- میزان مصرفی انرژی الکتریکی توسط موتور همزن برای ایجاد شیب سرعت یا جی؛
- پی‌اچ آب در صورت ضرورت اصلاح آن.

واحد تولید ذره

- دور همزن‌ها و شیب سرعت ایجاد شده؛
- وضعیت ذره‌های تشکیل شده از نظر اندازه و دانسیته.

واحد زلالسازی

- پی‌اچ آب ورودی
- محاسبه بار سطحی و زمان ماند، با توجه به میزان آب ورودی که در ابتدای پیش‌ته‌نشینی اندازه‌گیری شده؛
- کدورت آب خروجی؛
- تاسیسات جمع‌آوری لجناب و میزان آن؛
- کلر آزاد باقیمانده در صورتیکه به دلایلی لازم است در حوضچه کلر وجود داشته باشد.

واحد فیلترها

- میزان آب ورودی به کانال مشترک فیلترها؛
- بار سطحی فیلترها؛



- فاصله زمانی بین دو بکواش؛
- کدورت آب خروجی از هر فیلتر و یا مجموعه فیلترها که بستگی به پالایش کدورت دارد؛
- میزان آب مصرفی و مدت زمان برای بکواش هر فیلتر؛
- شاخص ام‌پی‌ان در رابطه با کدورت؛
- افت فشار در هر فیلتر .

مخزن آب پاک

- تراز آب در مخزن؛
- کدورت آب خروجی از مخزن؛
- رنگ آب خروجی؛
- شمارش کلی باکتری‌ها؛
- کلر آزاد باقیمانده در آب خروجی؛
- کلر افزوده شده به آب ورودی؛
- تی‌اوسی‌آب.

به هر حال با توجه به دستور عمل نشریات حرفه‌ای^۱ و امکانات فنی و مالی تصفیه‌خانه باید مطمئن گردید که آب تولیدی طبق کیفیت تعریف شده در استاندارد ۱۰۵۳ بوده و میزان مصرف مواد شیمیایی و برق مصرفی در محدوده طراحی قرار دارد.

اگر در تاسیسات از فناوری‌های نمک‌زدایی استفاده می‌شود توجه به کیفیت آب خروجی از واحدهای پیش تصفیه و عملکرد واحدهای نمک‌زدایی خود مقوله‌های جداگانه است که فناوری‌های گرمایی و فناوری‌های ممبرانی با هم یکسان نیستند.

در آب خروجی از فرایندهای پیش تصفیه برای فناوری اسمز معکوس ویژگی‌های زیر را باید اندازه‌گیری نمود:

- کدورت؛
- شاخص سیلت؛

^[1] فهرست شماره ۱ پیوست



بخش خصوصی در کار دخالت دارد لازم است با توجه به سیاست گذاری دولت مدل مالی آن تدوین گردد. انجام برآورد مقادیر کار و هزینه‌های تامین و اجرا و بهره‌برداری با روش‌های مختلفی می‌تواند انجام گیرد و هر روش دارای محدودیت‌هایی است. این روش‌ها عبارتند از:

♦ **برآورد بودجه‌ای:** این روش برآورد برای برنامه ریزی کلان و تامین اعتبارات لازم انجام می‌گیرد و معمولاً از جداول و منحنی‌های موجود استفاده می‌شود و حدود صحت آن بستگی به مرجع مورد استفاده دارد و می‌تواند ۳۰ تا ۱۵- درصد نسبت به هزینه‌های واقعی تغییر نماید.

♦ **برآورد بر مبنای مفهوم طرح^۲:** این روش برآورد هزینه‌ها معمولاً در مرحله برنامه ریزی باید انجام گیرد و هدف آگاهی به حجم کلی ریالی طرح است و معمولاً در مطالعات شناخت و غربال کردن گزینه‌ها به کار می‌رود اما متأسفانه در مواردی برای مناقصه به کار رفته است. حدود صحت برآورد نسبت به واقعیت می‌تواند حتی به ۱۰۰ درصد برسد.

♦ **برآورد مقدماتی:** برای انجام برآورد مقدماتی لازم است اطلاعات زیر مربوط به طرح تهیه شود تا این برآورد انجام گیرد:

- کدورت آب خام و تغییرات آن؛
- کدورت آب تولیدی و یا نوع مصرف؛
- ضریب ظرفیت و یا ظرفیت نامی پروژه؛
- دیاگرام فرایندهای تصفیه آب و تصفیه پساب‌ها؛
- ویژگی‌های محل استقرار واحدهای تصفیه و انرژی لازم.

حدود صحت برآورد نسبت به واقعیت ۵۰+ تا ۳۰- درصد خواهد بود.

♦ **برآورد امکان‌سنجی:** در صورتیکه مطالعات مرحله امکان‌سنجی مطابق شرح خدمات تیپ قرارداد انجام بگیرد که در آن بخش‌های سازه‌ای، الکترومکانیکال، ابزار دقیق، مواد شیمیایی، برق مصرفی

• آهن دو ظرفیتی؛

• منگنز؛

• استرانسیوم؛

• باریوم؛

• سیلیس؛

• دما؛

• پی‌اچ؛

• تی‌اوسی؛

• شمارش کلی باکتری‌ها؛

• فشار پمپ اصلی؛

• دما و پی‌اچ؛

• میزان باز یافت؛

• هدایت الکتریکی آب تولیدی؛

• شاخص لانگلیرس پس از اصلاح آب.

مقوله فناوری نمک‌زدایی و اندازه‌گیری پارامترها و تنظیم عملیات آن مطالب جداگانه است که در این فصل نمی‌توان به آن پرداخت لیکن در فصل سوم کلیات آن مورد بحث قرار گرفته است^۱.

۱۰-۱۳- برآورد هزینه‌ها

برآورد نهایی هزینه‌های سرمایه‌گذاری، تعمیر، نگهداری و بهره‌برداری گزینه نهایی طرح بخشی از خدمات مطالعات مرحله امکان‌سنجی است که در گزارش مرحله اول باید آورده شود. به علاوه هزینه تمام‌شده تولید هر مترمکعب آب بر اساس مفروضات اقتصادی طرح باید محاسبه و در گزارش گنجانده شود.

در طرح‌هایی که سرمایه‌گذاری از محل بودجه عمرانی تامین می‌گردد، مفروضات اقتصادی مانند نرخ بهره و دوران تنزیل و بازگشت سرمایه توسط دولت اعلام می‌شود. اما در طرح‌هایی که مشارکت



و نیروی انسانی بهره‌برداری و نگهداری مورد مطالعه قرار گرفته و سیمای آنها ترسیم شده باشد حدود صحت آنها نسبت به واقعیت ۱۰ درصد است و به همین دلیل ۱۰ درصد هم برای بخش‌های پیش‌بینی نشده در نظر گرفته می‌شود.

۱۰-۱۴- تهیه اسناد مناقصه

پس از انجام مطالعات مرحله امکان‌سنجی یک تصفیه‌خانه آب و تعریف گزینه‌های فرایندی، هیدرولیکی، ابزار دقیق، استقرار واحدهای فرایندی، استقرار ابنیه خدماتی، تصفیه و استفاده دوباره از پساب‌ها و فاضلاب‌ها و حتی پتانسیل‌های توسعه تصفیه‌خانه و افزایش عملکرد واحدها در صورت نیاز و توسعه فیزیکی آن که از مهمترین بخش‌های مطالعات امکان‌سنجی است. سپس مقایسه فنی و اقتصادی و تعریف گزینه برتر از نظر مشاور طبق معیارهای صاحب کار صورت می‌گیرد. تهیه اسناد مناقصه بستگی به روش اجرایی کارها داشته و بنابراین ادامه مطالعات نیاز به توجهات زیر دارد.

باید دانست که سه نهاد مشاور، سازنده تجهیزات، پیمانکار و در مواردی سرمایه‌گذار باید با هم همکاری نمایند تا پروژه اجرا و به مرحله تولید آب مناسب برسد. نحوه همکاری این نهادها و صاحب کار دارای گزینه‌های متعددی است که هر کدام با توجه به اهداف و امکانات صاحب کار دارای مزایا و محدودیت‌هایی می‌باشد.

در اینجا لازم به یادآوری است که:

- صرف‌نظر از نحوه همکاری نهادهای پیش‌گفته لازم است مطالعات امکان‌سنجی و تعریف گزینه‌ها انجام گیرد تا گزینه مطلوب تعیین بشود. به طور متعارف این مرحله از مطالعات توسط مشاور طرح انجام می‌گیرد اما در مواردی ممکن است توسط گروه سرمایه‌گذار و یا مشارکت انجام گیرد.
- هیچ فرایندی نمی‌تواند طرح و اجرا شود مگر آنکه یا سازنده

تجهیزات دارای امتیاز فنی آن باشد و اطمینان دهد که عملکرد تصفیه آب در محدوده قابل قبول است و یا قرار است طرح بر اساس پایلوت و تایید نتایج توسط گروه مستقلی از تصمیم‌گیران به اجرا در آید. بنابراین کار جنبه تحقیقاتی نداشته و با سرمایه‌عموم نباید هیچ ریسکی متوجه عملکرد مطلوب تصفیه‌خانه شود.

نحوه تهیه اسناد مناقصه که در نهایت به تهیه اسناد پیمان خاتمه می‌یابد در فرایند مطالعات مرحله دوم انجام می‌گیرد که روش اجرا را تعریف می‌نماید که این روش‌ها به طور چکیده عبارتند از:

گزینه اول: روش متعارف

در این روش، مشاور^۱ پس از انجام مطالعات مراحل طراحی واحدهای فرایندی بر اساس گزینه مصوب فاز یک، اقدام به تهیه اسناد مناقصه تجهیزات الکترومکانیکال می‌نماید. بر این اساس مناقصه‌ای به منظور انتخاب پیمانکار سازنده و یا تامین‌کننده تجهیزات^۲ انجام می‌گیرد. سازندگان و تامین‌کنندگان تجهیزات پیشنهاد خود را بر اساس اصول کلی فرایند پیشنهادی مشاور و یا پیشنهاد جایگزین با حفظ معیارهای بهره‌برداری و طراحی ارایه می‌نمایند. سازنده انتخاب شده کلیه نقشه‌های معماری فرایندی و ابنیه صنعتی تأسیسات و تجهیزات را ارایه می‌دهد.

مهندس مشاور بر اساس معماری ارایه شده توسط سازنده و تامین‌کننده تجهیزات و اطلاعات حاصل از مطالعات ژئوتکنیک محل تصفیه‌خانه، نقشه‌های سازه و سیویل و جزییات معماری ساختمانی را تهیه می‌نماید و بر اساس برآورد مقادیر کار ساختمانی فرایندی و جنبی، مناقصه جداگانه‌ای برای کارهای سیویل برگزار شده و پیمانکار^۳ اجرای عملیات ساختمانی را آغاز می‌نماید. شرکت سازنده و تامین‌کننده تجهیزات در هنگام عملیات ساختمانی و در اجرای قطعات مکانیکی درگیر در بتن با دستگاه نظارت هماهنگ می‌باشد.



این روش اجرا هم دارای محدودیت‌ها و مزایایی است و لازم است که مشارکت از آخرین فناوری‌های تصفیه آب استفاده نماید که خود دارای گزینه‌های مختلفی مانند جدا کردن کارهای احتمالی فرایندی از کارهای ساختمانی خدماتی می‌باشد.

گزینه سوم: روش ای پی سی^۳

در سال‌های اخیر شرکت‌های آب و فاضلاب نسبت به طرح و اجرای تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب روش جدیدی را پیش گرفته اند که طرح، ساخت و اجرا نام دارد. در این روش که متأسفانه در موارد زیادی ناصحیح اجرا شده است مشاور کارفرما (مشاور مادر) طرح پایه را تهیه می‌نماید تا بر اساس آن جداول مقادیر کار و برآوردهای ریالی تدوین گردد. لذا مانند گزینه دوم اسناد کارهای سیویل در حد کلیات و نه جزییات آماده می‌شود. پس از برگزاری مناقصه و انتخاب مشارکت (مشاور – سازنده – پیمانکار)، نقشه‌های اجرایی، مدارک، مشخصات مورد نیاز کارهای سیویل، برق، مکانیک و ابزار دقیق بوسیله مشارکت تهیه شده و مطابق برنامه زمانبندی مورد نظر به اجرا در می‌آید. مشاور کارفرما نیز مسئولیت تایید و نظارت بر اجرا را بر عهده دارد. در این روش مشارکت برنده مناقصه، مسئول عملیات ساختمانی، تهیه و نصب تجهیزات و راه اندازی تصفیه‌خانه بوده و ضمانت تولید آب با کیفیت مطلوب استاندارد را به عهده دارد. این روش در صورتی می‌تواند منافع صاحب کار را تامین نماید که مطالعات مرحله امکان‌سنجی، پایه و اساس تدوین اسناد مناقصه قرار گرفته باشد و از آخرین فناوری‌های فرایندی تصفیه آب استفاده شود. در موارد زیادی این دو اصل در اجرای این گزینه مراعات نشده و باعث خسارت به طرح شده است. در این روش تامین‌کننده بودجه اجرایی صاحب کار می‌باشد. در صورتیکه مطالعات مرحله اول و تعریف گزینه برتر و تصویب آن توسط صاحب کار در حد کافی تعریف نشده باشد این روش کار دارای محدودیت‌های زیادی می‌باشد.

شرکت سازنده تجهیزات باید ملزم به استفاده از تاسیسات و تجهیزات شناخته شده و استاندارد بوده و دارای لیسانس و مجوز ساخت و نصب از شرکت‌های مورد تایید سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی باشد. در این روش از شرکت سازنده و تامین‌کننده تجهیزات ضمانت کارکرد صحیح تجهیزات و کیفیت مطلوب تولید آب تصفیه شده اخذ می‌گردد. روش فوق بر اساس استاندارد ۱۳۳ – الف صنعت آب کشور تحت عنوان راهنمای تهیه اسناد و مدارک مناقصه و پیمان برای طرح‌های تصفیه آب و فاضلاب شهری تدوین یافته است. اغلب تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب در سطح کشور به این روش اجرا گردیده‌اند.

گزینه دوم: روش پی سی^۱

در این روش مشاور پس از انجام مراحل طراحی فاز دوم واحدهای فرایندی بر اساس گزینه منتخب فاز یک مصوب کارفرما، اقدام به تهیه اسناد مناقصه تجهیزات الکترومکانیکال و کارهای ساختمانی واحدهای فرایندی و جنبی طرح نموده و یک مناقصه تحت عنوان تهیه، تامین، حمل و نصب و راه اندازی، آزمایش و تحویل موقت تجهیزات الکترومکانیکال تصفیه‌خانه و انجام عملیات ساختمانی واحدهای فرایندی و ساختمان‌های جنبی برگزار می‌شود که جزییات واحدهای فرایندی در ابهام خواهد بود.

تفاوت این روش با گزینه اول این است که شرکت سازنده و تامین‌کننده تجهیزات الکترومکانیکال به همراه یک شرکت پیمانکار تشکیل یک مشارکت داده و در مناقصه شرکت می‌نمایند.

مشارکت مانند گزینه اول لازم است از نقشه‌های تامین‌کننده تکنولوژی^۲ استفاده نماید. ضمانت عملکرد مطلوب تاسیسات و تولید آب با کیفیت تعریف شده در قرارداد به عهده مشارکت است و چون کارهای سازه‌ای در اجرا با برآورد کارهای سازه‌ای اسناد یکسان نیست پیش بینی روش کسر و افزایش مقادیر ضرورت دارد.



گزینه چهارم: روش‌های اجرایی با معرفی نهاد وام‌دهنده به سرمایه‌پذیر

در این روش اجرایی پروژه نیز وجود یک مشارکت طرح، ساخت و اجرای دارای صلاحیت، الزامی است. تفاوت این گزینه با گزینه سوم در این است که مشارکت همراه با پیشنهاد فنی و مالی خود یک نهاد وام‌دهنده را معرفی می‌نماید و پس از انتخاب مشارکت برنده، بودجه لازم از طریق صاحب کار از وام‌دهنده گرفته و صرف اجرای کارها می‌شود و صاحب کار مسئول بازپرداخت وام اخذ شده است. برای اجرای این روش هم آیین‌نامه‌ای تدوین گردیده است.

گزینه پنجم: روش‌های راهگشا^۱ (روش‌های اجرایی ساخت، بهره‌برداری و انتقال و یا احیا و بهره‌برداری و انتقال)^۲

در این روش‌ها مشارکتی متشکل از پیمانکار طرح و ساخت، پیمانکار بهره‌بردار و سرمایه‌گذاران اولیه که به اسم شرکت پروژه شناخته می‌شود، مسئولیت تامین مالی، مطالعات، تامین کالا، عملیات اجرایی، نگهداری و بهره‌برداری از تاسیسات طرح و بازپرداخت وام اخذ شده جهت انجام خدمات مذکور را در دوره زمانی مشخصی که به اصطلاح دوران بهره‌برداری تجاری نامیده می‌شود بر عهده می‌گیرند.

در دوران بهره‌برداری تجاری بازپرداخت اقساط وام و تامین سود مورد نظر شرکت و وام‌دهندگان و هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری از طریق فروش آب و یا از طریق فروش آب توام با جذب یارانه‌های مربوط صورت می‌پذیرد. با فرارسیدن پایان دوران بهره‌برداری تجاری، سرمایه‌گذار، پروژه را تحویل سرمایه‌پذیر می‌نماید.

در این روش سرمایه‌پذیر متعهد به آماده‌سازی تاسیسات بالا دست و پایین دست طرح و آمادگی جهت تحویل گرفتن آب تولیدی به میزان و بهای ذکر شده در اسناد پیمان می‌باشد. تامین مواد خام

نیز در مواردی در تعهد سرمایه‌پذیر می‌باشد. بطور کلی اسناد پیمان در این روش به گونه‌ای تنظیم می‌گردد که در زمان‌هایی که نیاز به آب وجود نداشته باشد سرمایه‌پذیر مبلغی بابت جبران هزینه‌های اولیه و نگهداری از طرح با عنوان بهای ظرفیت به شرکت پرداخت نماید. در این روش علاوه بر موارد مذکور ریسک‌های ناشی از حوادث قهری، سیاسی و تغییرات در قوانین و مقررات و تعدیل‌های ذکر شده در اسناد بر عهده سرمایه‌پذیر می‌باشد.

در این روش وام‌دهنده هیچگونه ریسکی را متقبل نمی‌شود و با تحت پوشش بردن بخش‌های مختلف پیمان ریسک‌های ناشی از حوادث مختلف را به شرکت بیمه طرف قرارداد منتقل می‌نماید و سایر ریسک‌های پروژه متوجه شرکت خواهد بود که بر اساس موافقتنامه مشارکت بین بخش‌های سرمایه‌گذار، پیمانکار طرح و ساخت و پیمانکار بهره‌بردار تقسیم خواهد گردید. این روش به ویژه در صورتی که فروش آب بدون یارانه باشد نگرانی‌های کارفرما در تامین مالی پروژه را به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد.

دوران بازگشت سرمایه معمولاً ۵ سال در محاسبات مدل مالی در نظر گرفته می‌شود که به آن ایرادات اساسی وارد است زیرا این دوران بهتر است حدود ۲۰ سال باشد تا نسل استفاده‌کننده از آب هزینه‌های آن را بپردازد که با محدودیت‌هایی روبروست. این روش دارای گزینه‌های متعددی هستند که مهمترین آنها عبارتند از خدمات خاص مدیریت، اجاره، واگذاری، بی‌اوتی، بی‌اواو گزینه‌های دیگر.

۱۰-۱۵- گزارش مطالعات

گزارش مطالعات مرحله اول شامل بخش‌هایی است که در این فصل به آن پرداخته شد و هسته مرکزی این گزارش عبارت است از:

- گزارش گزینه‌های ابزار دقیق و برنامه‌های نرم‌افزاری آن؛

1. Green Field Methods

۲. برای اطلاعات بیشتر لازم است به فصل هفتم کتاب نمک‌زدایی از آب‌های شور و لب‌شور از انتشارات شرکت نارون‌آرا مراجعه شود.

1. PC

2. Technology Provider

3. EPC



• گزارش گزینه‌های فرایندهای تصفیه آب و دلایل انتخاب گزینه برتر؛

• گزارش گزینه‌های تامین انرژی و میزان مصرف؛

• گزارش گزینه‌های فرایندهای تصفیه لجناب و آب بکواش فیلترها؛

• گزارش مربوط به محوطه سازی و هیدرولیک واحدهای فرایندی؛

• گزارش مربوط به نقشه برداری، ژئوتکنیک ساختمان و ضرورت تقویت زمین و یا زهکشی آن.

توجه شود که هدف گزارش انتقال اطلاعات علمی – فنی نیست بلکه نتایج کاربرد اطلاعات موجود و یا مهندسی اطلاعات است و در کارهای حرفه‌ای هدف تحقیق و پژوهش نیست، بلکه تهیه طرحی است که با معیارها، ضوابط فنی، استانداردها و توصیه‌های مراجع علمی و حرفه‌ای همخوانی داشته و عملکرد آن قابل پیش بینی است. محدودیت این مطالعات دسترسی نداشتن به طرح آزمایشی است که انجام آن مورد توصیه اکید می‌باشد.

لازم به یاد آوری است که در انجام مطالعات امکان‌سنجی و تهیه گزارش باید از بیان جزئیاتی که دارای گزینه‌های متعدد نیست خودداری نموده و تنها گزینه‌هایی که دارای بار مالی بوده بیان شود تا در این خصوص تصمیم‌گیری شود. این گزینه‌ها هم با معیارهای اقتصادی سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری و پیچیدگی‌های فنی مورد قضاوت و انتخاب قرار می‌گیرند.

گزارش و نقشه‌های تهیه شده تبلور ویژگی‌های علمی – فنی و اخلاقی تیم تهیه‌کننده و سرپرست فنی آن است و لذا نباید در آن مطلبی بدون مستندات و یا بدون نتیجه‌گیری کاربردی برای طرح آورده شود. توجه شود که در فرایندهای طراحی و بهره‌برداری تاسیسات صنعت تصفیه آب اگر کم توجهی شود سلامت و بهداشت جامعه به مخاطره می‌افتد که باید مسئولیت آن را نهادی به عهده بگیرد.

در پایان فصل دهم و مقوله طراحی تصفیه‌خانه‌های آب شرب لازم است دو اصل که در متون کتاب مطرح گردیده مورد تاکید قرار گیرد:

۱ – دانشجویان پس از پایان تحصیلات و دریافت دانشنامه مهندسی باید توجه نمایند که اگر مایل هستند در حرفه مهندسی به کار اشتغال ورزند لازم است مدتی بیش از ۱-۲ سال زیر نظر مهندسین حرفه‌ای به کار آموزی بپردازند و در این مدت با کسب تجربه و آشنایی با معیارها، استانداردها و ضوابط فنی و با توجه به متون بخش ۱-۱ کتاب به‌خاطر بسپارند که هدف مهندس حرفه‌ای ایجاد رفاه از طریق یک کار خوب است و پشتوانه شخص، تحصیلات، تجربه و مسئولیت‌پذیری می‌باشد.

۲ – با توجه به استراتژی سازمان‌های دولتی صنعت آب مبنی بر مشارکت بخش خصوصی، لیست نشریات مربوط به این مشارکت هم در فهرست شماره ۲ پیوست آورده شده است. گرچه لازم به توجه است که نهادهای مهندسان مشاور، پیمانکاران و سازندگان تاسیسات آب و فاضلاب بیش از شصت سال است که در قالب بخش خصوصی خدمات خود را به جامعه و دولت ارایه می‌دهند، گرچه در این مسیر با نهادهای دولتی و نیمه دولتی هم رقابت دارند. حال به نظر می‌رسد که قرار است بخش خصوصی در سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری نیز مشارکت داشته باشد. با توجه به اینکه آب کالایی استراتژیک و انحصاری است با اعمال مشارکت بخش خصوصی به نظارت‌های سالم و موثر بخش دولتی نیازمند است.

فهرست شماره ۱: نشریات مرتبط با تصفیه آب

۱. استاندارد ملی ایران ۱۰۵۳: آب آشامیدنی، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی، تجدید نظر پنجم، موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران.

۲. استاندارد ملی ایران ۱۰۱۱: آب آشامیدنی، ویژگی‌های میکروبیولوژی، تجدید نظر ششم، موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران.

۳. استاندارد ملی ایران ۹۴۹۰: فرایندهای غشایی میکروفیلتراسیون، اولترافیلتراسیون، نانوفیلتراسیون و اسمز معکوس، واژه نامه، موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران.

۴. نشریه شماره ۱۷۷: راهنمای بهره‌برداری و نگهداری واحدهای تصفیه آب، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، وزارت نیرو .

۵. نشریه شماره ۲۵۸: دستورالعمل بررسی‌های اقتصادی منابع آب، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، وزارت نیرو .

۶. نشریه شماره ۱۳۴: نیروی انسانی در تصفیه‌خانه‌های آب و مراقبت بهداشتی و کنترل سلامت آنان، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، وزارت نیرو.

۷. نشریه شماره ۱۳۳: راهنمای نگهداری و تعمیرات تصفیه‌خانه‌های آب و حفاظت و ایمنی تاسیسات، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، وزارت نیرو .

۸. نشریه شماره ۳۱۸: دستورالعمل کنترل کیفیت در تصفیه‌خانه‌های آب، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، وزارت نیرو، ۱۳۸۴.

۹. نشریه شماره ۳-۱۲۱: ضوابط فنی بررسی و تصویب طرح‌های تصفیه آب شهری، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، وزارت نیرو.

۱۰. نشریه شماره ۲۶۵: دستورالعمل برپایی آزمایشگاه آب، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، وزارت نیرو، ۱۳۸۲.

۱۱. نشریه شماره ۲۵۹: دستورالعمل آزمون میکروبیولوژی آب، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، وزارت نیرو، ۱۳۸۱.

۱۲. نشریه شماره ۱۷۹: راهنمای کنترل کیفیت در مراحل مختلف تصفیه آب آشامیدنی، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، وزارت نیرو، ۱۳۷۷.

۱۳. نشریه شماره ۴۳۶: راهنمای طراحی هیدرولیکی تصفیه‌خانه‌های آب، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، وزارت نیرو، ۱۳۸۷.

پیوست





۱۴. نشریه شماره ۱۰۳ الف: استانداردهای حوض ته‌نشینی استوانه‌ای، وزارت نیرو، مهرماه ۱۳۷۳.

۱۵. نشریه شماره ۱۷۸: ضوابط طراحی ساختمان‌های اداری، معاونت امور فنی، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، وزارت مسکن و شهرسازی، ۱۳۷۷.

۱۶. نشریه شماره ۱۳۳ الف: راهنمای تهیه اسناد و مدارک مناقصه و اسناد و مدارک پیمان برای طرح‌های تصفیه آب و فاضلاب شهری، وزارت نیرو، آذرماه ۱۳۷۳.

۱۷. نشریه شماره ۳-۱۳۰: گزارش و آمار روزانه بهره‌برداری از تصفیه‌خانه‌های آب، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، وزارت نیرو، ۱۳۷۲.

۱۸. نشریه شماره ۱: ۲۶۶- دستورالعمل تعیین اسیدیته و قل‌یابیت آب، ۲- دستورالعمل تعیین نیتروژن آب، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، وزارت نیرو، ۱۳۸۲.

۱۹. نشریه شماره ۲۸۵: راهنمای تعیین و انتخاب وسایل و لوازم آزمایشگاه تصفیه‌خانه‌های آب، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، وزارت نیرو، ۱۳۸۳.

۲۰. نشریه شماره ۲۱۵: مبانی محاسبات اقتصادی طرح‌های توسعه منابع آب، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، وزارت نیرو.

۲۱. ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی آب آشامیدنی تصفیه شده در سامانه‌های آب شیرین‌کن، وزارت نیرو، وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، مرداد ۱۳۹۳.

۲۲. ویژگی‌های میکروبی آب آشامیدنی تصفیه شده در سامانه‌های آب شیرین‌کن، وزارت نیرو، وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، مرداد ۱۳۹۳.

۲۳. راهنمای شناسایی جلبک‌ها و نماتدها در آب شیرین، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، معاونت نظارت بر بهره‌برداری، اردیبهشت ۱۳۹۱.

فهرست شماره ۲: نشریات حرفه‌ای مشارکت بخش خصوصی

۱. نشریه شماره ۴۶۹: موافقتنامه ساخت، بهره‌برداری، واگذاری (BOT - Operate - Transfer)، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، ۱۳۸۷.

۲. ضابطه شماره ۹۳/۱۷۲۸۰۴: چهارچوب موافقتنامه مشارکت عمومی - خصوصی، Public - Private - Partnership (PPP) Agreement Template، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، معاونت نظارت راهبردی، امور نظارت بودجه سرمایه‌ای، ۱۳۹۳.

۳. راهنمای تکمیل گزارش توجیهی فنی - مالی در پروژه‌های BOO - BOT - ROT (جزوه شماره ۳)، وزارت نیرو، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، دفتر تجهیز منابع مالی و گسترش مشارکت بخش غیردولتی، پائیز ۹۴.

۴. اسناد ارزیابی کیفی (احداث، بهره‌برداری و انتقال تصفیه‌خانه در قالب قرارداد BOT)، وزارت نیرو، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، دفتر تجهیز منابع مالی و گسترش مشارکت بخش غیردولتی، ۱۳۹۱.

۵. بخشنامه شماره ۹۱/۱۰۰/۳۸۳۴: فرایند سرمایه‌گذاری بخش خصوصی در ایجاد تاسیسات آب و فاضلاب در قالب قرارداد BOT - BOO، وزارت نیرو، شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور، دفتر تجهیز منابع مالی و گسترش، ۱۳۹۱.

مراجع



۱. رازقی، ناصر و منصوری، رویا (۱۳۹۱). نمک‌زدایی از آبهای شور و لبشور. شرکت نارون آرا.

۲. رازقی، ناصر و منصوری، رویا (۱۳۸۲). کاربرد فرایندهای متعارف تصفیه آب. شرکت مهندسی آبفای کشور.

۳. رازقی، ناصر، منصوری، رویا و روحانی، پیمان (۱۳۹۲). استفاده دوباره آب. شرکت نارون آرا.

۴. نبی بیدهندی، غلامرضا و همکاران (۱۳۹۰). رهنمودهای کیفی آب آشامیدنی، سازمان بهداشت جهانی. انتشارات شرکت مهندسی آبفای کشور.

۵. واعظی، فروغ و محمدی، عبدالمطلب (۱۳۸۲). گندزدایی آب و بهره‌برداری از گندزداها. انتشارات سه استاد.

۶. رشیدی، عبدالله (۱۳۸۲). بررسی کارایی حذف کیست ژیا ردیا و نماتدها توسط صافی‌های سه لایه و تک لایه. دانشکده محیط‌زیست.

7. American Water Works Association, & American Society of Civil Engineers (2005). Water Treatment Plant Design, 4th Edition, McGraw-Hill Companies.

8. EPA 815-R-06-009 (2005). Membrane Filtration Guidance Manual. Office of Water.

9. Nordell, E. (1951). Water Treatment for Industrial and Other Uses. Reinhold Publishing Corporation.

10. Culp, G.L. & Culp R.L. (1974). New Concepts in Water Purification. Van Nostrand Reinhold Environmental Engineering Series. Van Nostrand Reinhold Company.

11. Fair, G.M. & Geyer J.C. (1956). Water Supply and Wastewater Disposal. John Wiley and Sons Inc.

12. Babbitt, H.E., Doland, J.J. & Cleasby, J.L. (1955). Water Supply Engineering. McGraw-Hill Book Company Inc.

13. Clark, J.W. & Viessman W.JR (1970). Water Supply and Pollution Control. Scranton, Pennsylvania: International Textbook Company.

14. Research Foundation, & American Water Works Association (1991). Manual of Design for Slow Sand Filtration.

15. WHO Collaborating Center (1987). International Reference Center for Community Water Supply and Sanitation.

16. Cheryan M. (1998). Ultrafiltration and Microfiltration Handbook. Second Edition, CRC Press.

17. Wang, L.K., Hung, Y. & Shammass, N.K. (2007). Aduaced Physico Chemical Treatment Technologies. Humana Press, Totowa, Newjersey.

18. EPA 816-R-02-014(2005). Filter Backwash Recycling Rules. Technical Guidance Manual. Office of Ground Water and Drinking Water.

