

www.salampnu.com

سایت مرجع دانشجوی پیام نور

- ✓ نمونه سوالات پیام نور : بیش از ۱۱۰ هزار نمونه سوال همراه با پاسخنامه
- تستی و تشریحی
- ✓ کتاب ، جزوه و خلاصه دروس
- ✓ برنامه امتحانات
- ✓ منابع و لیست دروس هر ترم
- ✓ دانلود کاملاً رایگان بیش از ۱۴۰ هزار فایل مختص دانشجویان پیام نور

www.salampnu.com

اصول تصفیه آب و پسابهای صنعتی

رشته شیمی کاربردی

تألیف دکتر محمد چالکش امیری

تهیه کننده طرح درس علی مولوی

دانشگاه پیام نور

مشهد

مرداد ماه ۱۳۸۵

۱- فصل اول

آب در طبیعت

۱-۱- مقدمه

- در قرآن کریم آمده است: «من الماء كل شيء حي» یعنی: همه شی ها از آب زنده اند.
- آب مهمترین ماده شیمیایی است
- در قرن جاری منابع آب شیرین از چاههای نفت با ارزش تر خواهند بود.
- ۸۰٪ سطح زمین از آب پوشیده شده است.
- ۹۷٪ از آب های موجود شور هستند.
- ۲٪ از آب های جهان به صورت یخ های قطبی هستند
- ۱٪ آب جهان شیرین و قابل استفاده است

۱-۲- منابع آب در طبیعت

- آبهای زیر زمینی مثل آب چاهها و چشمه ها
- آبهای سطحی مثل رودخانه ها و جویبارها
- آبهای شور دریاها و اقیانوس ها

۱-۲-۱ ویژگیهای آب های زیر زمینی

- ۱- مواد معلق، مواد آلی در آن ها معمولاً کم است.
- ۲- Fe^{2+} و Mn^{2+} در آن ها کم و CO_2 نسبتاً زیاد
- ۳- املاح محلول و سختی آن ها نسبتاً زیاد
- ۴- چاههای کم عمق ممکن است آلوده به میکروب باشند.

۲-۲-۱- ویژگی های آبهای سطحی

- ۱- زلال هستند.
- ۲- معمولاً به میکروارگانیزم ها آلوده هستند.
- ۳- مقدار آمونیاک و نیترات آنها ممکن است زیاد باشد.
- ۴- در صورت عبور از نواحی صنعتی، به مواد شیمیایی آلوده هستند.
- ۵- املاح محلول آن ها نسبتاً کم است.
- ۶- PH آنها در حدود ۷-۸ است.

۱-۲-۳- ویژگیهای آبهای شور

- ۱- مقدار املاح محلول آنها زیاد، ۱۰۰۰ تا ۴۰۰۰۰ PPM
- ۲- میزان یونهای کلر و سدیم آن زیاد ، بیش از ۵۰۰ PPM

۳-۱- ناخالصی های آب

آب خالص در طبیعت وجود ندارد.

ضمن استقرار آب در یک مکان یا جاری شدن در یک منطقه، مواد جامد و گازهای محلول در آب، در آن حل و مواد ریز غیر قابل حل در آن به صورت معلق در می آیند. بنابراین:

ناخالصی های آب سه دسته کلی هستند:

۱. یونها (کاتیونها و آنیون ها)

۲. گازهای محلول در آب (اکسیژن، دی اکسید کربن و ...)

۳. مواد کلوئیدی و معلق (گل و لای، باکتری ها و ...)

۱-۳-۱ - ناخالصی های یونی

۱-۳-۱-۱ - کاتیون ها

کاتیون هایی که تقریباً در تمام آب های طبیعی وجود دارند:
منیزیم Mg^{++} ، باعث سختی می شود ماده غذایی موجودات زنده می شود.

سدیم Na^{+} ، غلظت زیاد آن سبب شوری، برای گیاهان و ماهیان مضر است.

کلسیم Ca^{++} ، باعث سختی می شود، ماده غذایی موجودات زنده است.

پتاسیم K^{+} ، مقدار آن کم تر از سدیم است.

آهن Fe^{2+} ، مقدار آن به PH و O_2 آب بستگی دارد، حدود $2/0 - 5/0$ PPM
در آب های سطحی و حدود ۱ تا 10 mg/l در آب های عمقی

منگنز Mn^{++} ، غلظت آن حدود $1/0 - 1$ میلی گرم در لیتر است.
زیاد آن باعث بوی نامطبوع و رشد میکروارگانیسم ها می شود.

۲-۱-۳-۱- آنیون ها

- آنیون هایی که در اثر آب های طبیعی حضور دارند:
- بیکربنات و کربنات: منشأ آن ها، انحلال کربنات کلسیم و CO_2 در آب. خاصیت بافوری به آب می دهند.
- کلرید Cl^- : غلظت زیاد آن سبب شوری و برای بسیاری از گیاهان مضر است. و سبب خردگی فلزات نیز می شود.
- سولفات SO_4^{2-} : منشأ آن انحلال نمک های سولفات و تا حدودی از فعالیت باکتری ها، مقدار زیاد سبب اسهال، برای گیاهان مضر خوردگی سازه ها می شود.
- سیلیکا: سیلیکا هم به صورت یونی و هم کلوئیدی در آب می تواند وجود داشته باشد. که به PH بستگی دارد. در آب های طبیعی حدود ۱-۳۰ ppm برای نیروگاهها مشکل ساز است.
- نیترات NO_3^- : در آب طبیعی در حدود ۱ ppm است. در آب های زیرزمینی در حضور باکتری ها می توانند تا ۵۰ ppm هم باشد.

۲-۳-۱- ناخالصی های گازی

- مهمترین ناخالصی های گازی آب:
- اکسیژن (O_2): منشأ آن اکسیژن هوا (طبق قانون هنری) اکسیژن باعث گوارایی آب و در ضمن خوردگی آن می شود.
- دی اکسید کربن (CO_2): منشأ آن تجزیه بی کربنات ها در اثر کاهش PH ، CO_2 هوا
- آمونیاک (NH_3): منشأ ترکیبات ازت دار آلی و باکتریها.
- هیدروژن سولفور ه (H_2S): منشأ آن تجزیه ترکیبات گوگرد بوسیله باکتری ها، ایجاد طعم و بوی بد.

۴-۱- شیمی آب

- فرمول مولکولی آب H_2O ، با توجه به ایزوتوپهای $(^1H, ^2H, ^3H)H$ و $(^{16}O, ^{17}O, ^{18}O)O$:
- برای آب ۱۸ نوع ایزوتوپ وجود دارد.
- ولی ۷/۹۹٪ ملکولهای آب H_2O^{16} هستند. ۲/۰٪ H_2O^{18}
- ۰۴/۰٪ H_2O^{17} و HDO فقط ۰۳/۰٪
- بعلت وجود پیوندهای هیدروژنی در آب؛ ویژگی های دیل در آب از مواد با وزن امولکولی مشابه بیشتر است.
- نقطه جوش و نقطه ذوب، ظرفیت حرارتی
- دانسیته، ویسکوزیته، کشش سطحی، ثابت دی الکتریک

ادامه شیمی آب

- مولکول آب قطبی است و بسیاری از مواد یونی را در خود حل می کند.
- فشار بخار آب زیاد نیست. ($5/17 \text{ mmHg}$ در 20°C)
- بنابراین اتلاف آن زیاد نیست.
- ظرفیت حرارتی آب زیاد است ($1 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$)
- برای انتقال گرما مناسب است.
- گرمای نهان جوش آب زیاد است. 540 Cal/g
- حمل ارزان قیمتی برای انتقال انرژی

۵-۱- مصارف عمده آب

■ ۱-۵-۱- کشاورزی؛ بیشترین مصرف آب در کشاورزی است. PH و میزان $Na+$ آب مورد مصرف کشاورزی باید کنترل شود. فاقد مواد سمی باشد.

■ ۲-۵-۱- صنعت

■ فرایند تولید

■ سیستم های سرمایش و گرمایش

■ واحدهای تولید بخار

■ کیفیت آب مورد استفاده در صنعت بستگی به نوع صنعت و نوع مصرف آن دارد.

■ ۱-۵-۲-۱- تصفیه آبهای صنعتی

■ روشهای کلی تصفیه آب ها جهت مصارف صنعتی:

■ الف - حذف و یا کاهش ناخالصی ها

■ مثل کاهش یا حذف سختی

■ ب - افزایش مواد کمکی به آب

■ مثل تزریق ترکیبات مخصوص ضد خوردگی و یا ضد رسوب

۳-۵-۱- آبهای آشامیدنی و مصارف خانگی

- ویژگی های لازم این آبها:
- الف – فاقد مواد معلق، کلوئیدی و رنگ
- ب – فاقد میکروبهای بیماری زا
- ج – فاقد مواد سمی
- د – مقدار مواد آلی و اکسید کننده نباید از حد مجاز بیشتر باشد.
- سازمان بهداشت جهانی WHO یکی از مراجعی است که حدود مجاز میزان ناخالصی های آب شرب را مشخص کرده است.

۶-۱- مشکلات ناشی از ناخالصی های آب

- ۱- تولید رسوب در دستگاههای حرارتی دیگهای بخار که باعث:
 - کاهش انتقال حرارت
 - کاهش عمر مفید سرویس دستگاهها
- ۲- تولید بخار با کیفیت پایین
- مثلاً وجود سیلیس سبب رسوب آن روی پره های توربین می شود.
- ۳- خوردگی بویلرها و تأسیسات
- باعث سوراخ شدن مخازن و لوله ها
- ۴- اتلاف مواد شیمیایی، مثل صابون
- ۵- باقی گذاشتن لکه روی محصولات غذایی و نساجی
- ذرات معلق و کلونیدی → اکسید Mn^{2+} , Fe^{2+}

۷-۱- لزوم تصفیه آب

- آب طبیعی را باید برای مصارف آشامیدنی و صنعتی تصفیه کرد.
- عواملی که سبب ضرورت تصفیه آب می شوند:
- وجود باکتری های بیماری زا (پاتوژن) در آب
- کمبود و یا زیادی بعضی از یونها
- وجود ذرات معلق
- بو، مزه و رنگ آب
- نکته مهم: برای هر صنعتی مطلوب ترین کیفیت آب آن است که هزینه تصفیه آب کمتر از مخارج رفع عوارض ناشی از حضور ناخالصی ها باشد.

۸-۱- بعضی از موارد مصرف آب در صنعت:

- ۱- به عنوان ماده اولیه
- ۲- به عنوان حلال مواد اولیه
- ۳- به صورت ماده ذخیره کننده انرژی
- ۴- محافظ در برابر گرما و تشعشع (D_2O)
- ۵- برای اطفاء حریق
- ۶- در فرایندهایی نظیر تبخیر، تبلور و غیره

۲- فصل دوم

- تعاریف و اصول کلی مربوط به آب و تصفیه آب
- ۱-۲- نحوه گزارش مقدار ناخالصی های آب :
- معمولاً تمام ناخالصی های آب به جز Co_2 , Mn^{2+} , Fe^{2+} , SiO_2 و O_2 را بر حسب ppm کربنات کلسیم گزارش می کنند:
- روش محاسبه غلظت یک ناخالصی بر حسب ppm معادل کربناتی:
- تعداد میلی اکی والان های ناخالص = تعداد میلی اکی والان های معادل کربناتی
- $۵۰ \times$ تعداد میلی اکی والان های معادل کربناتی = ppm معادل کربناتی (کربنات کلسیم)
- ppm معادل کربناتی معادل یک میلی گرم کربنات کلسیم در یک لیتر نمونه آب است.

۱-۱-۲- محاسن بیان غلظت ها بر حسب معادل کربناتی

- ۱- غلظت ها اعداد نسبتاً بزرگی می شوند.
- ۲- یک PPM معادل کربناتی آنیون = یک PPM معادل کربناتی کاتیون
- ۳- غلظت ها با یکدیگر جمع پذیراند.
- ۴- مقایسه و بررسی نتایج آنالیز آسان است.
- ۵- اصل خنثی بودن بسادگی قابل کنترل است.

مثال در مورد تبدیل غلظت بر حسب خود ماده به غلظت معادل کربناتی

- مثال ۱-۲- اگر غلظت کلرید (Cl^-) در یک نمونه آب ۷۱ میلی گرم در لیتر باشد
- غلظت آن بر حسب معادل کربناتی چقدر است؟
- $\text{Cl} = 5/35$ $\text{Ca} = 40$ $\text{C} = 12$ $\text{O} = 16$
- حل:
- $5/35 =$ اکی والان گرم کلرید
- $=$ تعداد اکی والان های کلرید در هر لیتر آب
- هر یک اکی والان کربنات کلسیم معادل یک اکی والان کلرید است
- $2 =$ تعداد میلی اکی والان گرم های کربنات معادل
- $100 \text{ Mg/l} =$ میلی گرم کربنات کلسیم در لیتر معادل

مثال در مورد تبدیل غلظت بر حسب خود ماده به معادل کربناتی

مثال ۲-۲- فاکتور تبدیل غلظت یون آلومینیوم به غلظت به معادل کربناتی چقدر است؟



هر یک اکی والان آلومینیوم معادل یک اکی والان گرم کربنات کلسیم است.

گرم ۵۰ = یک اکی والان گرم کربنات کلسیم

گرم ۹ = یک اکی والان گرم آلومینیوم (Al^{3+})

میلی گرم ۵۰ = یک میلی اکی والان گرم کربنات کلسیم

میلی گرم ۹ = یک میلی اکی والان گرم آلومینیوم

میلی گرم کربنات میلی گرم آلومینیوم

۹ ۵۰

$$a \quad x = a \times 5.5$$

مثال در مورد کاربرد غلظت بر حسب معادل کربناتی

مثال ۴-۲- با مشخصات جدول ذیل داریم:

ناخالصی	Ca ²⁺	Mg ²⁺	K ⁺ , Na ⁺	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ²⁻	SO ₄ ⁻	Cl ⁻
Ppm	۱۲۰	۷۰	۶۰	۱۳۰	۰	۸۰	؟

الف - غلظت یون کلر بر حسب معادل کربناتی چقدر است ؟

ب- غلظت یون سولفات بر حسب خود سولفات چقدر است ؟

حل الف- مجموع غلظتهای آنیونها بر حسب معادل کربناتی =
مجموع غلظتهای کاتیونها بر حسب معادل کربناتی

$$\text{حل ب- } [Cl^-] + 80 + 130 = 60 + 70 + 120$$

$$40 = [Cl^-]$$

$$So_4^{2-} = 96 \quad CaCO_3 = 100$$

$$\text{Eq سولفات} = 96/2 = 43$$

$$\text{Eq کربنات کلسیم} = 100/2 = 50$$

$$\frac{mgSO_4^{2-}}{L} = \frac{80 \text{ mg } CaCO_3 \times 43 \text{ mg } SO_4^{2-}}{50 \text{ mg } CaCO_3}$$

$$= 68/8$$

مثال ۵-۲ - غلظت یون هیدروکسیل در PH برابر ۹ چند PPM معادل کربناتی است:

حل :

$$PH = 9 \quad POH = 14 - 9 = 5$$

$$-log [OH^-] = 5$$

$$[OH^-] = 10^{-5} \text{ mol/L eq/L}$$

$$mg/L \text{ کربنات کلسیم} = 10^{-5} \text{ eq OH}^- / L \times 1 \text{ eq CaCO}_3 / 1$$

۲-۲- شاخص های مهم آب پارامترهای اصلی تعیین کننده کیفیت آب

- ۲-۲-۱- شاخص های املاح محلول آب،
- هدایت الکتریکی آب (EC) ، PH ، قلیائیت ماده (P)
- قلیائیت کل (M) ، سختی کل (TH) و کل املاح محلول جامد TDS
- ۲-۲-۲- شاخص های مواد معلق آب،
- کل مواد جامد معلق (TSS) ، کدریت (بر حسب NTU یا TTU) و رنگ آب (CU).
- ۲-۲-۳- شاخص های آلودگیهای آلی آب،
- اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی BOD ،
- اکسیژن مورد نیاز شیمیایی COD ،
- کل کربن آلی TOC ،
- ۴- شاخص بهداشتی بودن آب،
- E. Coliform

۱-۲-۲ - شاخص های املاح محلول آب

- ۱- هدایت الکتریکی
- ۲- PH
- ۳- TDS کل مواد جامد حل شده در آب
- ۴- سختی کل، سختی موقت و دائم
- ۵- قلیائیت کل و ساده
- این شاخص های اطلاعات کلی و مفیدی در مورد میزان املاح محلول آب بما می دهند.
- ذیلاً در مورد هر کدام بحث خواهد شد.

۱-۱-۲-۲- هدایت الکتریکی آب (EC)

- EC آب خالص $0.056 \mu\text{ho}/\text{Cm}$ است.
- در آبهای طبیعی هر چه مقدار یونها بیشتر باشد، EC آن بیشتر است و بالعکس، در مورد آبهای آشامیدنی و کشاورزی به طور کلی:
- (برحسب میلی گرم در لیتر)
- $0.055 \leq \text{EC} \leq 0.07$
- (برحسب میکرو برسانتی متر)
- در مورد آبهایی که EC آن ها کمتر از $30000 \mu\text{ho}/\text{Cm}$ است.
- نسبت فوق با تقریب خوب 0.64 است.

۲-۱-۲-۲- PH آب

$$PH = -\log [H^+] \quad \blacksquare$$

PH آب خالص در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد برابر ۷ است. \blacksquare

PH آب با افزایش دما افزایش می یابد. (شکل ۱-۲) \blacksquare

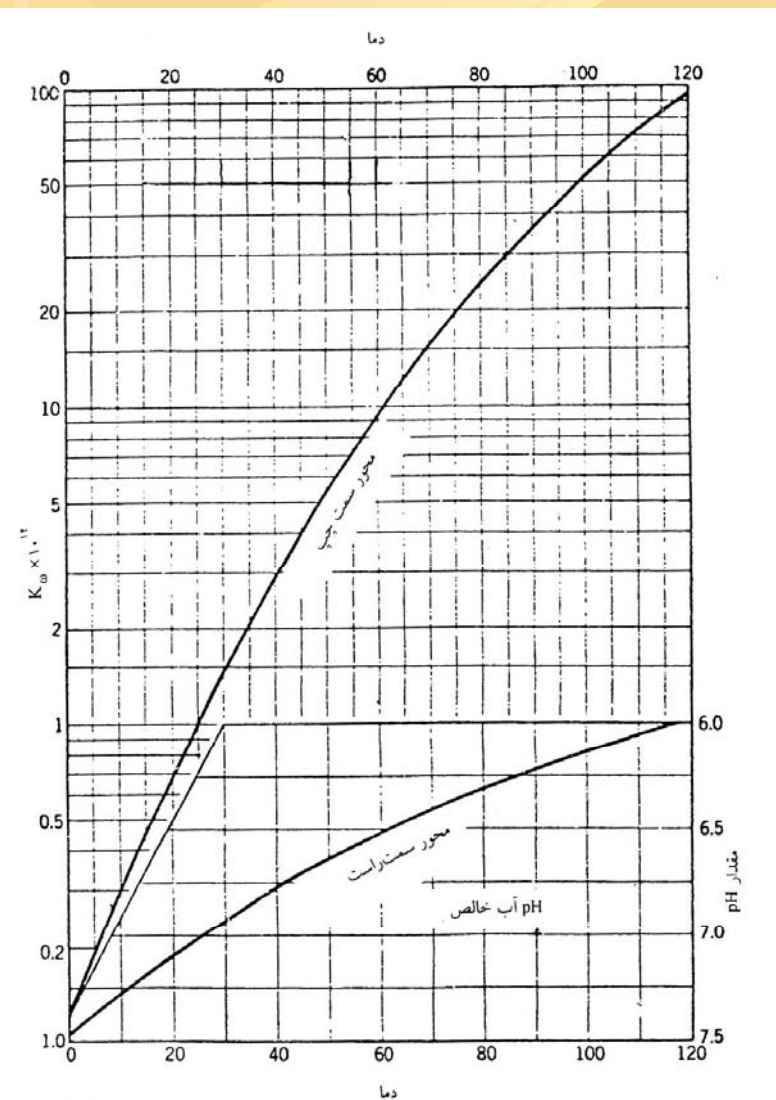
PH آبهای طبیعی عموماً در محدوده ۶-۸ است. \blacksquare

کنترل PH در بسیاری از فرایندهای تصفیه ضرورت دارد. \blacksquare

PH آب را با دستگاه PH متر اندازه گیری می کنند. \blacksquare

PH آب را با استفاده از کاغذهای PH و یا شتاب گرها می توان اندازه گیری کرد که دقت آن کمتر است. \blacksquare

تأثير دما و PH روی Kw



شکل ۱-۲. تغییرات pH آب خالص و حاصلضرب یونی بر حسب دما

۳-۱-۲-۲- کل مواد جامد محلول (TDS) یا غلظت املاح محلول

- TDS نشان دهنده کل غلظت یونهای موجود در آب است.
- TDS را بر حسب میلی گرم در لیتر گزارش می کنند.
- TDS شاخص خوبی برای تعیین کیفیت کلی آب است.
- محدوده TDS آب های مختلف:

آب	مطلوب صنعتی	مطلوب آشامیدنی	مجاز آشامیدنی	آبهای شور	دریا
TDS(ppm)	کمتر از ۱۰۰	حدود ۵۰۰	حدود ۱۰۰۰	حدود ۱۰۰۰۰	حدود ۴۰۰۰۰

۳-۱-۲-۲- روش اندازه گیری TDS آب

- ۱- آب را از صافی مخصوص عبور می دهند تا مواد معلق و کلوئیدی آن گرفته شود.
- ۲- حجم معینی از آب صاف شده را در بوتله چینی وزن شده می ریزند.
- ۳- آب را روی حمام بخار تبخیر می کنند.
- ۴- بوتله چینی را در 180°C در آون ۲ ساعت قرار می دهند.
- ۵- پس از سرد کردن بوتله در دیسکاتور و توزین آن TDS به صورت زیر محاسبه می شود:

وزن بوتله خالی به میلی گرم - وزن بوتله محتوی مواد جامد به میلی گرم

$$\text{TDS(ppm)} = \frac{\text{وزن بوتله محتوی مواد جامد به میلی گرم} - \text{وزن بوتله خالی به میلی گرم}}{\text{حجم آب بر حسب میلی لیتر}} \times 1000$$

حجم آب بر حسب میلی لیتر

۴-۱-۲-۲- سختی آب (H)

- سختی آب چیست؟
- میزان املاح محلول کلسیم و منیزیم در آب.
- انواع سختی:
- موقت: ناشی از بی کربنات های کلسیم و منیزیم
- دائم: ناشی از سولفات، کلرید و نیترات و ... کلسیم و منیزیم
- واحد بین المللی بیان سختی آب:
- ppm معادل کربنات کلسیم یا میلی گرم در لیتر کربنات کلسیم.

۴-۱-۲-۲- روش تعیین سختی کل

حجم مشخصی از نمونه آب انتخاب می شود.

با اضافه کردن بافر، PH آن در ۱۰ تنظیم می شود.

در حضور معرف اریوکروم بلاک T با محلول EDTA ۰۱/۰ مولار تا تغییر رنگ از قرمز ارغوانی به آبی تیترو می شود.

$EDTA \times 1000 \times 1000$ حجم مصرفی \times مولاریته EDTA

= سختی کل بر حسب ppm کربنات کلسیم

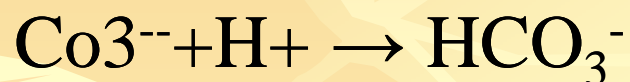
حجم نمونه

۵-۱-۲-۲ - قلیائیت آب

- قلیائیت آب برابر مجموع یونهای کربنات، بی کربنات و هیدروکسید آب است.
- هر چه قلیائیت آب بیشتر باشد ظرفیت بافری آب بیشتر است.
- انواع قلیائیت:
 - قلیائیت ساده یا قلیائیت نسبت به فنل فتالین (P)
 - قلیائیت کل یا قلیائیت نسبت به متیل اورانژ (M)
 - قلیائیت ساده به علت وجود OH^- یا CO_3^{2-} است.
 - قلیائیت کل مربوط به OH^- ، CO_3^{2-} و HCO_3^- است.

۱-۵-۱-۲-۲- اندازہ گیری مقدار قلیائیت

■ قلیائیت ساده (P)



■ حجم مشخصی از نمونه آب در ارلن می ریزیم.

■ ۲ قطره معرف فنیل فتالین اضافه می کنیم.

■ اگر ارغوانی شد، قلیائیت P داریم.

■ تا بیرنگ شدن محلول ، H_2SO_4 ۰.۲٪ نرمال اضافه می شود.

■ $50 \times 0.02 \times \text{کل حجم اسید مصرفی}$

■ $\text{قلیائیت بر حسب ppm معادل کربناتی} = \frac{\text{حجم نمونه بر حسب میلی لیتر}}{\text{حجم نمونه بر حسب میلی لیتر}}$

حجم نمونه بر حسب میلی لیتر

اگر پس از اضافه کردن فنل فتالین نمونه ارغوانی رنگ نشد قلیائیت ساده صفر است.

قلیائیت کل (M)



- به نمونه آب بیرنگ شده پس از افزایش اسید
- یا نمونه آب اولیه فاقد قلیائیت موقت،
- ۲۰ قطره محلول متیل اورانژ اضافه می کنیم.
- و قطره قطره H_2SO_4 ۰.۲٪ نرمال اضافه می کنیم تا نارنجی شود.
- $5.0 \times 0.2 \times \text{کل حجم اسید مصرفی}$
- = قلیائیت M بر حسب معادل کربناتی
- حجم نمونه آب بر حسب میلی لیتر

مثال د رمورد محاسبه قلیابیت

مثال ۲- نمونه ای از آب به حجم ۱۰۰ میلی لیتر، در مقابل فنل فتالین پس از آزمایش ۳ میلی لیتر اسید سولفوریک ۰.۲/۰ نرمال و در مقابل متیل اورانژ پس از افزایش ۵ میلی لیتر از همان اسید تغییر رنگ می دهد. P و M آن را حساب کنید.

$$0.02 \text{eq H}_2\text{SO}_4 \times 1 \text{eq CaCO}_3 \times 50 \text{ g CaCO}_3$$

$$P = 3 \text{ml H}_2\text{SO}_4 \times \frac{\text{L}}{1000 \text{mg CaCO}_3} \times \frac{1 \text{eq H}_2\text{SO}_4}{300 \text{ml}} \times \frac{1 \text{eq CaCO}_3}{1000 \text{ml}}$$

$$\times \frac{1000 \text{mg CaCO}_3}{1 \text{g CaCO}_3} \times \frac{1 \text{L}}{1000 \text{ml}} = 300 \text{ppm}$$

$$7 \times N \times 5000 \quad 0.02 \times 3 \times 50000$$

$$P = \frac{7 \times N \times 5000}{W} \times \frac{1000}{0.02 \times 3 \times 50000} = 300 \text{ppm}$$

$$M = \frac{7 \times N \times 50000}{W} \times \frac{100}{5 \times 0.02 \times 50000} = 500 \text{ppm}$$

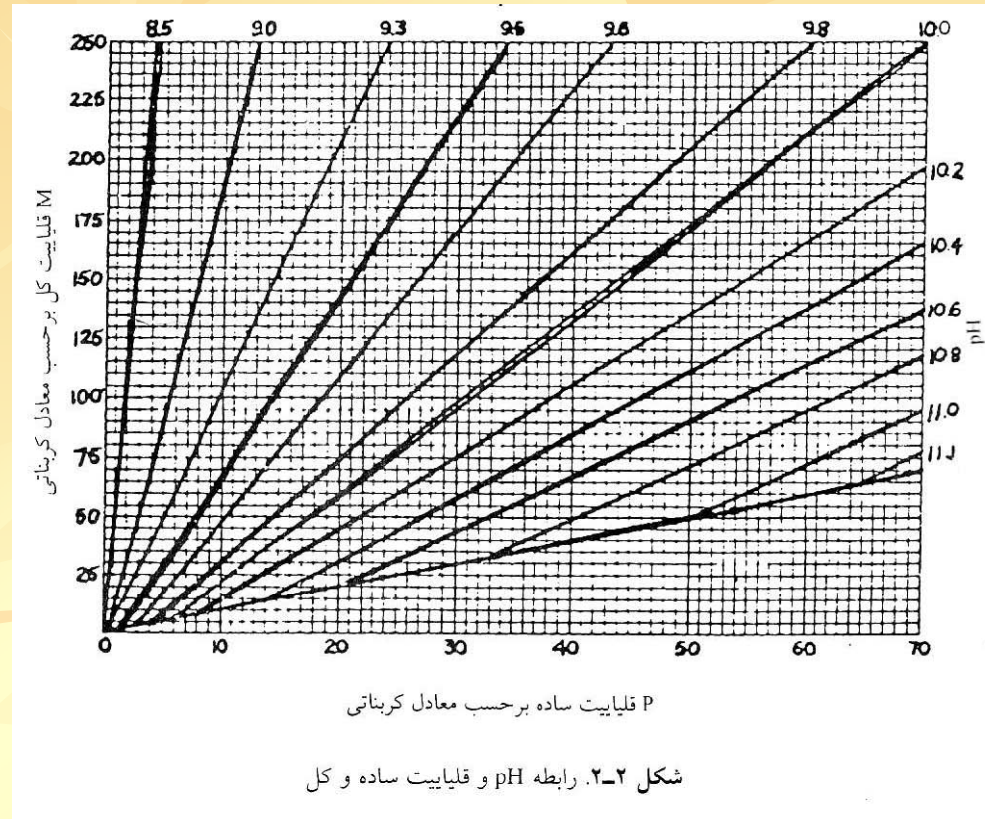
رابطه بین P و M و غلظت یونهای تشکیل دهنده قلیائیت

قلیائیت	HCO_3^-	$\text{CO}_3^{=}$	OH^-
$P=0$	M	0	0
$P=M$	0	0	P
$P= M/2$	0	2P	P
$P>M/2$	0	$2(M-P)$	$2P-M$
$P < M/2$	$M-2P$	2P	0

■ نکته ۱- غلظت Co_2 محلول در آب را می توان از رابطه زیر محاسبه کرد:

$$[\text{Co}_2] = [\text{HCo}_3^-] / 10(\text{PH}-6/3) \quad \blacksquare$$

رابطه قلیائیت و PH



■ با کمک شکل فوق با داشتن قلیائیت ساده و قلیائیت کل می توان PH آب را مشخص کرد.

مثال ۲- قلیائیت محلول ۰.۰۲/۰ نرمال کربنات سدیم چقدر است؟

$$\begin{array}{ccccccc}
 & & & \text{Co}_3\text{Na}_2 \longrightarrow & \text{Co}_3^{=} + 2 \text{Na}^+ & & \blacksquare \\
 & & & 50\text{g CaCO}_3 & 1000\text{mg CaCO}_3 & & \blacksquare \\
 \text{mg CaCO}_3/\text{L} ? = & \frac{0/002 \text{ eq CO}_3\text{Na}}{\times} & \frac{1\text{eq CO}_3\text{Ca}}{\times} & \frac{50\text{g CaCO}_3}{\times} & \frac{1000\text{mg CaCO}_3}{\times} & & \blacksquare \\
 & \text{L} & 1\text{eqCo}_3\text{Na}_2 & 1\text{eqCO}_3\text{Ca} & 1\text{g CaCO}_3 & & \blacksquare
 \end{array}$$

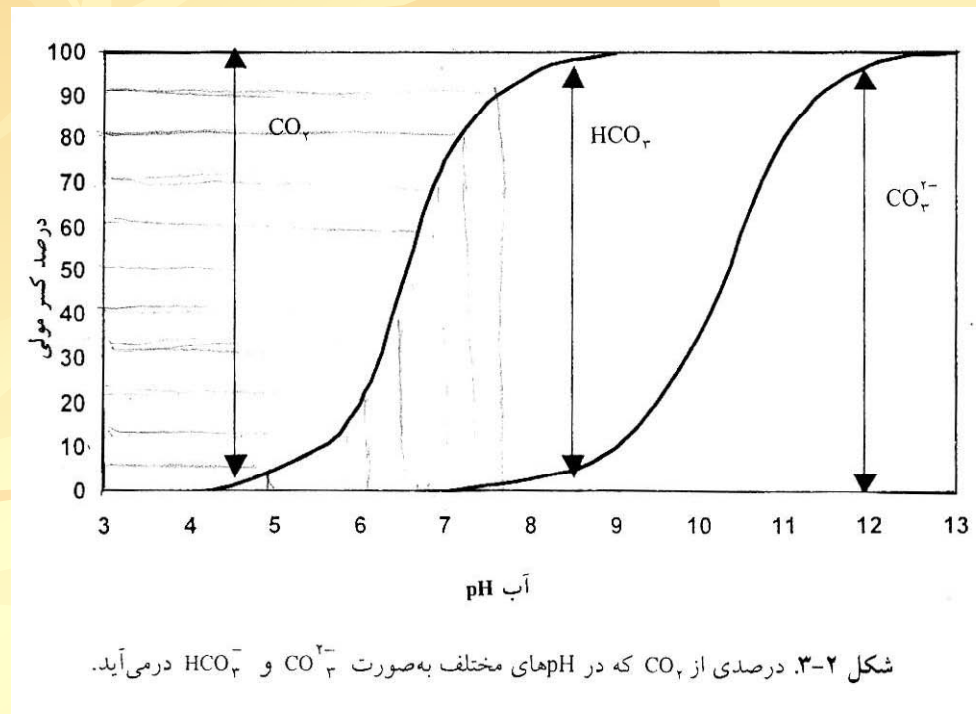
$$= 0/002 \times 50 \times 1000 = 100 \text{ ppm}$$

- مثال ۲- در PH=۱۲ حداکثر و حداقل غلظت یون بی کربنات در آب چقدر است؟
- بر اساس نمودار غلظت یونهای قلیایی بر حسب PH (نمودار)
- در PH=۱۲ یون بی کربنات وجود ندارد.
- $\text{HCO}_3^- + \text{OH}^- \rightleftharpoons \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_3^{2-}$

نمودار درصد دی اکسید کربن و بی کربنات و کربنات بر حسب PH

غلظت یون بی کربنات بر حسب ppm معادل کربناتی $= [\text{HCO}_3^-]$

غلظت دی اکسید کربن بر حسب ppm $= [\text{CO}_2]$ ■



۲-۲-۲- شاخص های موای معلق آب

■ TSS کل مواد جامد معلق

■ کدریت

■ رنگ

■ Tss-۲-۲-۲-۱

■ اگر حجم معینی از آب را از روی فیلتر بسیار ریزی عبور دهیم، مواد جامد معلق روی فیلتر باقی می ماند، اگر:

■ A_1 = وزن فیلتر خشک شده قبل از عبور آب

■ A_2 = وزن فیلتر خشک شده بعد از صاف کردن نمونه آب باشد:

■
$$Tss = \frac{(A_2 - A_1) \times 1000}{V}$$

■ بر حسب میلی گرم در لیتر

(A_1 و A_2 بر حسب میلی گرم و V حجم نمونه به میلی لیتر)

۲-۲-۲-۲ - کدریت آب

- کدریت و مقداری از رنگ آب ناشی از ذرات کلوئیدی است.
- ذرات کلوئیدی:
- ابعاد بسیار کوچکتر از میکرون (۱۰^{-۴} سانتی متر) دارند.
- با کاغذ صافی جدا نمی شوند.
- دائماً به صورت معلق هستند.
- قسمتی از نوری که با آنها تابیده می شود، متفرق می شود.

۱-۲-۲-۲-۲- روش و واحدهای اندازه گیری کدریت آب

- برای اندازه گیری کدریت آب، نور به آب تابیده می شود.
- بخشی از آن متفرق می شود.
- TTU واحد کدریت جکسون متناسب با نور عبور کرده است.
- NTU معرف نور متفرق شده است.

۳-۲-۲-۲- رنگ آب

- آب خالص بی رنگ است.
- یونهای فلزی، مواد گیاهی، اجزاء خاک باعث رنگ آب می شوند.
- به رنگ باقی مانده پس از حذف کدري آب، رنگ آن گفته می شود.
- رنگ ظاهري آب، رنگ آن قبل از فیلتراسيون است.
- واحد رنگ (Cu)، رنگ محلولی از کمپلکس پلاتين و کبالت با غلظت مشخص است.
- برای اندازه گیری رنگ آب یا پساب، رنگ آن را با محلولهایی با غلظت مشخص از کمپلکس فوق الذکر مقایسه می کنند.

۳-۲-۲- شاخص های آلودگی به مواد آلی

- آلاینده های آلی آب بسیار متنوع ،اندازه گیری آنها پر هزینه است.
- شاخصهای تعیین مواد آلی آب و پساب عبارتند از:
 - BOD : یا اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی
- این شاخص معیاری از مواد آلی قابل تجزیه بوسیله باکتریهای هوازی است.

- COD یا اکسیژن مورد نیاز شیمیایی
COD تقریباً معرف همه مواد آلی آب می باشد. مقدار اکسیژن لازم برای اکسید کردن کامل مواد آلی آب است.
- TOC کل کربن آلی
CO₂ حاصل از سوزاندن مواد آلی موجود در آب یا پساب معیار خوبی از مواد آلی است.
- نیتروژن آمونیاکی
معیاری از آلودگی آب به فاضلاب شهری است.
- TOD یا Th.o.D کل اکسیژن مورد نیاز
TOD مقدار کل اکسیژن مورد نیاز Th.o.o مورد نیاز از نظر تئوری است که برای اکسیداسیون مواد آلی موجود در نمونه لازم است.

۱-۳-۲-۲ - BOD و روش تعیین آن

- BOD به دمان و زمان بستگی دارد.
- BOD_5 یعنی مقدار اکسیژن مورد نیاز برای تجزیه مواد آلی توسط باکتریها در مدت ۵ روز و در دمای $20^{\circ}C$ است.
- BOD_5 شاخص استاندارد در سطح جهان پذیرفته شده است.
- BOD_u معرف مقدار اکسیژن مورد نیاز باکتری برای تجزیه همه مواد آلی تجزیه پذیر است.

مراحل تعیین BOD_5

- ۲ نمونه با حجم معین (مثلاً ۳۰۰ میلی لیتر) از فاضلاب یا فاضلاب رقیق شده را در بطری درب دار می ریزند.
- در صورت لزوم باکتری به آن اضافه می کنند.
- میزان اکسیژن محلول یکی از نمونه ها را اندازه گیری می کنند.
- نمونه دیگر را به مدت ۵ روز در دمای $20^{\circ}C$ در انکوباتور قرار می دهند.
- بعد از ۵ روز اکسیژن محلول باقیمانده را اندازه گیری می کنند.
- مقدار میلی گرم اکسیژن مصرف شده به ازاء یک لیتر نمونه BOD_5 آن فاضلاب است.

۲-۳-۲-۲ COD و روش تعیین آن

- COD ، مقدار اکسیژن مورد نیازی است که باید توسط اسید کرومیک تأمین شود تا همه مواد آلی به CO_2 اکسید شود.
- COD معرف مواد آلی قابل تجزیه و غیر قابل تجزیه بوسیله باکتری می باشد.
- COD کم تر از 400 ppm معرف فاضلاب رقیق است.
- هر چه نسبت BOD/COD به یک نزدیک تر باشد، تصفیه بیولوژیکی موفق تر است.

اصول کلی اندازه گیری COD

- حجم معینی از نمونه را با کاتالیزور مناسب و با اسیدسولفوریک و دی کرومات به مدت ۲ ساعت رفلو می کنند.
- سپس دی کرومات باقیمانده را با سولفات آمونیوم آهن (II) تیتر می کنند
- از روی دی کرومات مصرف شده، COD محاسبه می شود.

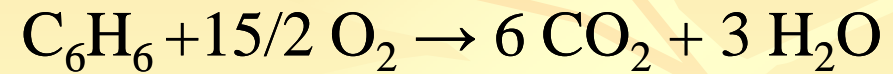
۴-۲-۲- شاخص بهداشتی بودن آب

- MPN شاخص آماری از تعداد اشرشیاکلی
- MPN آب شرب باید صفر باشد.
- MPN فاضلاب تصفیه شده نباید از ۳۰۰ بیشتر باشد
- اشرشیاکلیفرم (کلیرم روده ای)، باکتری بسیار مقاوم، شناسایی آن ساده و ارزان، بیماری زا نیست، عدم وجود آن به منزله اطمینان از عدم وجود هر نوع ویروس و باکتری دیگر در آب است.

Th.oD و TOD

منظور از TOD کل اکسیژن مورد نیاز و منظور از Th.oD کل اکسیژن مورد نیاز از نظر تئوری است که برای اکسیداسیون مواد آلی موجود در نمونه لازم است.

برای محاسبه Th.oD باید فرمول شیمیایی مواد آلی موجود در آب را بدانیم
مثال ۲- به یک نمونه یک لیتری آب مقطر ۱/۰ گرم بنزن اضافه کرده ایم.
Th.oD آن چقدر است؟



78

15×16

0.1

$$x = \frac{0.1 \times 15 \times 16}{78} = 0.308 \text{ gr}$$

78

$$\text{Th.o.D} = 308 \text{ mg/L}$$

خود آزمایی

مثال ۳- انتظار دارید که در فاضلاب ها، TOC بیشتر باشد یا COD؟، BOD یا COD؟ BOD_u یا BOD_5

جواب: $COD > TOC$ ، زیرا مقدار کربن آلی موجود در نمونه فقط قسمتی از مواد آلی موجود در نمونه را نشان می دهد.

$BOD < COD$ ، چون COD نشان دهنده همه مواد آلی است ولی BOD مواد آلی قابل تجزیه بوسیله باکتری ها

$BOD_5 < BOD_u$ زیرا BOD_u مقدار اکسیژن مورد نیاز باکتری ها برای مدت زمان نامحدودی است ولی BOD_5 ، مقدار اکسیژن مورد نیاز برای ۵ شبانه روز.

۳- فصل سوم کاهش املاح محلول آب

روش های کاهش یاخذف املاح محلول آب
افزایش مواد شیمیایی:

که سبب رسوب کردن کاتیونها و آنیونهای مزاحم می شود
استفاده از روشهای پیشرفته (غیر شیمیایی)

۱. اسمز معکوس

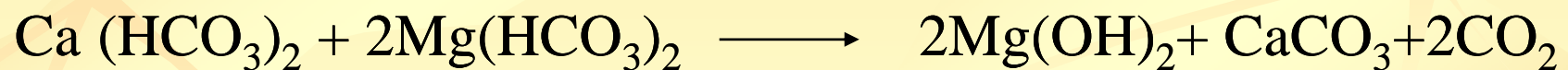
۲. رزین های تعویض یونی

۳. الکترودیالیز

در بعضی از صنایع از این روش ها به صورت ترکیبی استفاده می
شود.

۱-۳- سختی آب چیست؟

- سختی آب به علت املاح محلول کلسیم و منیزیم است.
- سختی کل شامل سختی موقت (کربناتی) و سختی دائم است.
- سختی موقت به علت وجود بی کربنات های کلسیم و منیزیم که در اثر حرارت دادن آب حذف می شود.



ادامه سختی

- زیان ناشی از سختی موقت بیشتر از سختی دائم است.
- سختی دائم به علت وجود سایر نمکهای محلول کلسیم و منیزیم غیر از بی کربناتهای آن ها است.
- اگر H سختی کل و M قلیائیت کل آب بر حسب معادل کربناتی باشد.

اگر $M < H$ باشد $H-M =$ سختی دائم $M =$ سختی موقت

اگر $H-M$ باشد $0 =$ سختی دائم $H-M =$ سختی موقت

اگر $M > H$ باشد $M =$ سختی موقت $M-H =$ بی کربنات سدیم

۱-۱-۳- کاهش سختی موقت

افزایش آب آهک Ca(OH)_2

رسوب CaCO_3 و Mg(OH)_2

ته نشینی

فیلتراسیون

آب سبک

رسوب

واکنشهایی که انجام می شود



واکنشهای کلی

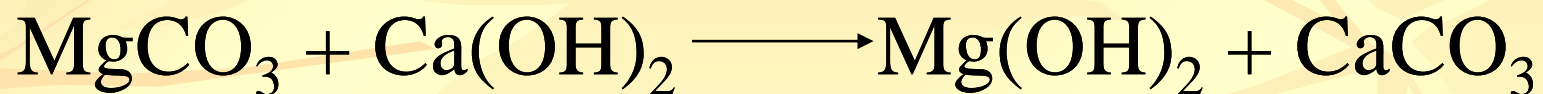


۲-۱-۳- کاهش سختی دائم آب

برای حذف Ca^{++} از سودا، Na_2CO_3 ، استفاده می شود.



برای حذف Mg^{++} مواد و آب آهک لازم است.



برای حذف یک اکی والان منیزیم، یک اکی والان سودا و یک اکی والان هیدروکسید کلسیم لازم است.

۱-۲-۱-۳- ارزیابی فرایند آهک و سودازنی

در فرایند آهک و سودازنی، از نظر تئوری کلسیم می تواند به ۳۵ppm کاهش یابد.

عملاً کلسیم در بهترین حالت به حدود ۵۰ ppm کاهش می یابد. ذرات کربنات کلسیم و هیدروکسید منیزیم حاصل بسیار ریز است و به سختی ته نشین می شوند.

برای درشت کردن و تسریع ته نشینی آنها مواد منعقد کننده باید اضافه کرد.

آهک و سودازنی گرم باعث کاهش بیشتر سختی می شود.

آهک و سودازنی برای حجم زیاد آب توصیه می شود.

در فرایند سرد، کربنات کلسیم فوق اشباع در آب نرم شده با افزایش اسید باید تثبیت کرد.



۲-۲-۱-۳- محاسبه مقدار مواد شیمیایی مورد نیاز در فرایند آهک و سودازنی

۱- مقدار آهک، Ca(OH)_2 ، لازم بر حسب ppm معادل کربناتی، K برابر مجموع چهار مورد زیر است:

- CO_2 آزاد بر حسب معادل کربناتی
- بی کربناتی که باید به کربنات تبدیل شود.
- هیدروکسید اضافی مورد نظر در آب خروجی از سیستم (۵ تا ۱۰ ppm)
- مقدار سختی منیزیمی که باید حذف شود.

توجه: تمام مقادیر بر حسب ppm معادل کربناتی است.

$K \times 0.8 =$ مقدار آهک صنعتی لازم

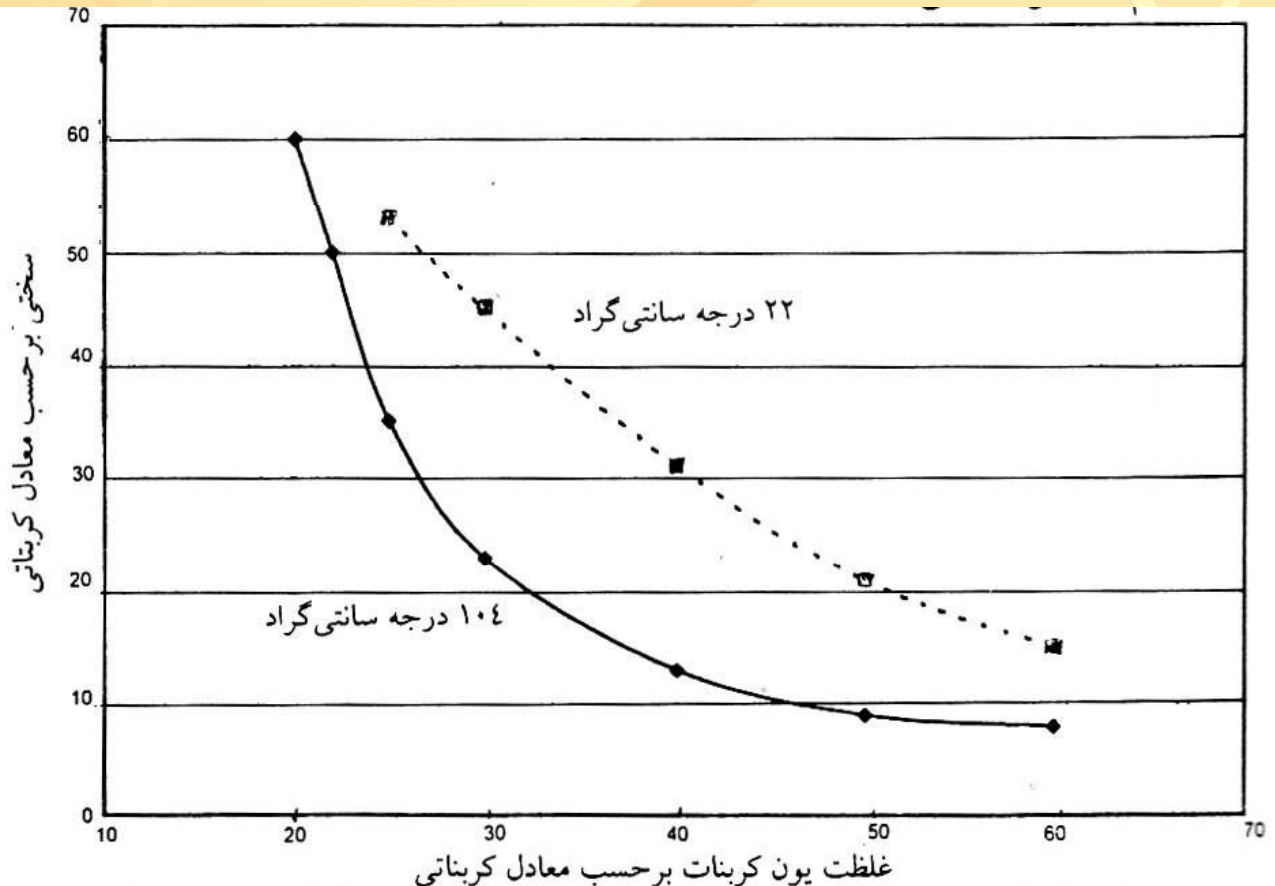
اگر درصد خلوص آهک صنعتی (CaO) ۹۳ درصد باشد.

۲- سودای مورد نیاز برای فرایند آهک و سودازنی

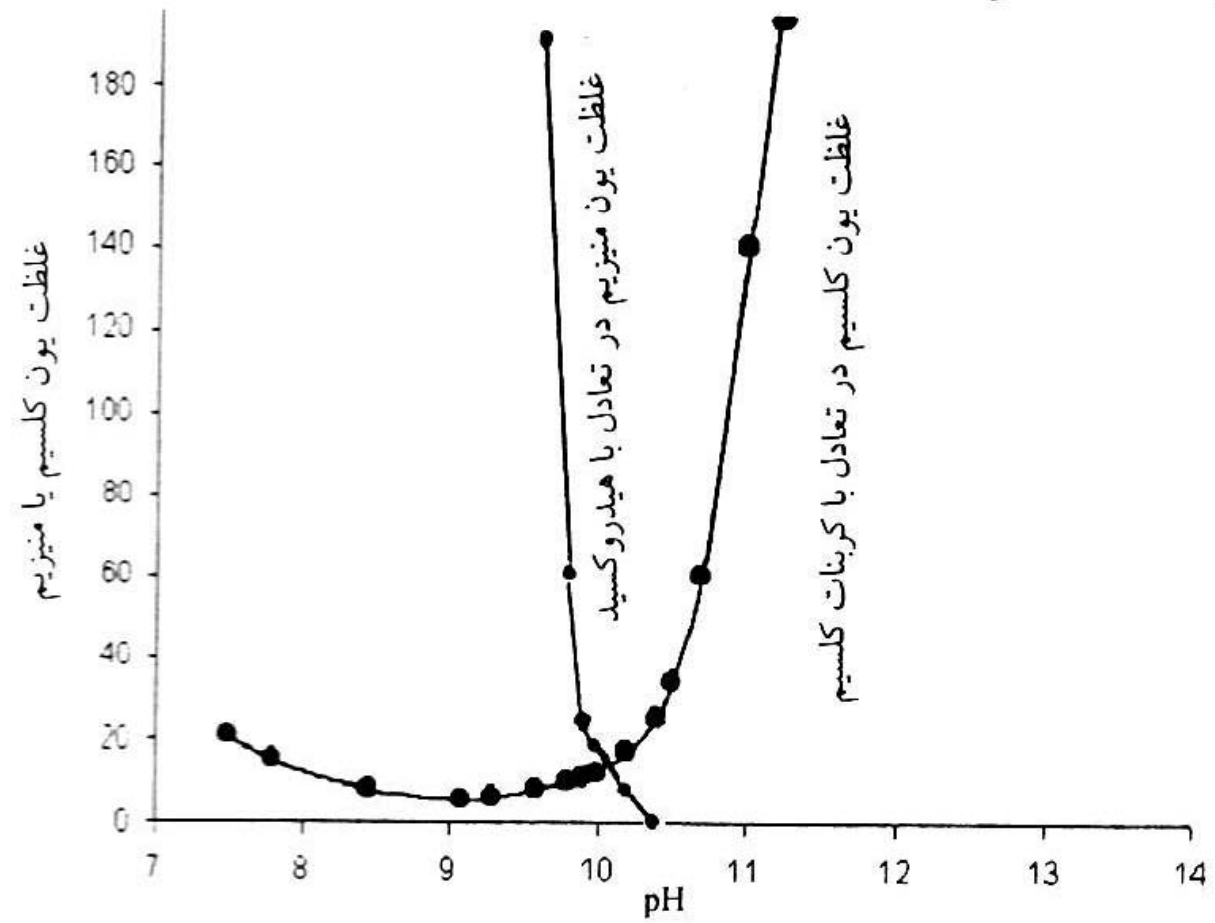
- سودا (Na_2CO_3) مورد نیاز بر حسب ppm معادل کربناتی برابر مجموع سه مورد زیر است:
 - مقدار سختی غیر کربناتی که باید حذف شود.
 - مقدار آهک اضافی که در آهک زنی مصرف می شود.
 - تمام مقادیر فوق بر حسب ppm معادل کربناتی
- $$\text{مقدار میلی گرم سودای مورد نیاز به ازاء هر لیتر آب} = \frac{53 \times S}{50} = 0.6/1 S$$

۳-۲-۱-۳- بهبود راندمان آهک زنی

- با توجه به اینکه حلالیت هیدروکسید منیزیم و کربنات کلسیم تابعی از دما و PH هستند، باید شرایطی انتخاب نمود که حلالیت آنها کمترین مقدار باشد،
- PH باید ۱۰-۱۰.۵ باشد،
- حلالیت هیدروکسید منیزیم در $PH = 10.5$ حداقل،
- حلالیت کربنات کلسیم در $PH = 9-10$ حداقل است.
- مقدار یون کربنات و دما هر چه بیشتر باشد، حلالیت کربنات کلسیم کمتر است. (شکل ۱-۳)
- افزایش مواد منعقد کننده و کمک منعقد کننده به حوضچه
- آهک زنی و اختلاط آنها جهت تسهیل رسوب کردن آنها.



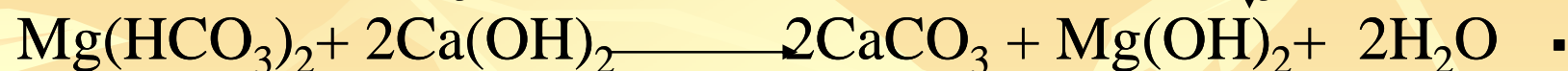
شکل ۱-۳. اثر کربنات محلول و دما بر سختی باقیمانده در فرایند آهک‌زنی سرد و گرم



شکل ۳-۲. غلظت تعادلی کلسیم و منیزیم بر حسب pH

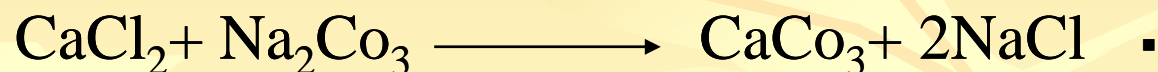
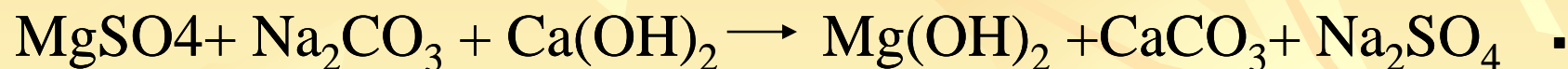
مثال ۳- در فرایند آهک و سودازنی، آیا قلیائیت ساده افزایش می یابد یا کاهش؟
مقدار سولفات و کلرید چطور؟

▪ حل - با توجه به واکنشهای آب آهک با سختی موقت:



▪ ملاحظه می شود غلظت بی کربنات کم می شود یعنی قلیائیت کاهش می یابد.

▪ و با توجه به واکنشهای سودا با سختی دائم



▪ قلیائیت تغییر نمی کند. مقدار سولفات و کلرید نیز تغییر نمی کنند.

مثال ۳- آب خامی با مشخصات ردیف اول جدول را می خواهیم به آب نرم شده با مشخصات ردیف دوم تبدیل کنیم، چه مقدار آهک لازم است. (مقادیر بر حسب معادل کربناتی)

	سختی کلسیم	سختی منیزیم	سختی کل	یون بی کربنات	یون کربنات	CO ₂	هیدروکسید
آب خام	۱۲۰	۵۰	۱۷۰	۵/۱۱۰	۰	۱۲	۰
آب نرم شده	۷۵	۴۵	۱۲۰	۵/۲۵	۳۵	۰	۵

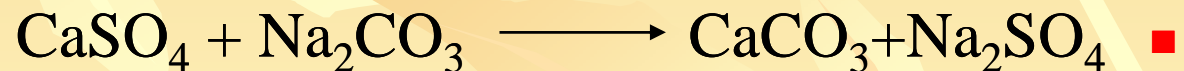
هیدروکسید آزاد + سختی منیزیم + بی کربناتی که به کربنات تبدیل شده + CO₂ آزاد = مقدار آهک لازم

■ $۵/۲۵ - ۵/۱۱۰ = ۸۵$ بی کربنات تبدیل شده به کربنات

■ معادل کربناتی $۱۲ + ۵ + ۸۵ + ۵ = ۱۰۷$ = مقدار آهک لازم

۴-۲-۱-۳- استفاده از سود سوزآور جهت کاهش سختی آب

■ به جای آهک و سودا می توان از سود سوزآور جهت کاهش سختی استفاده کرد.



■ قیمت هر کیلو سود حدود ۵ برابر قیمت آهک است، بنابراین نسبت سختی بیکربناتی به سختی غیر کربناتی باید آنقدر باشد تا کربنات سدیم کافی جهت کاهش سختی غیر کربناتی بدست آید.

۲-۱-۳- مزایای استفاده از سود:

- کم در دستر تر
 - سود فاسد نمی شود
 - حجم لجن رسوب کم است
 - حذف منیزیم کامل تر
- معایب استفاده از سود:

PH تا حدود ۱۱ می رسد که باید اسید اضافه کرد، ناخالصی ها (SO_4^{2-} یا Cl^-) زیاد می شود.

مزایای آهک زنی

کاهش فلزات سنگین، ترکیبات آلی، باکتری ها، ویروس ها، جلبک ها، سیلیکا

۳-۱-۳- آهن و منگنز در آب

- آهن و منگنز به صورت Fe^{2+} , Mn^{++} در آبهای زیرزمینی وجود دارند.
- Fe , Mn خوراک بعضی از میکروارگانیسم هستند.
- در آبهای محتوی O_2 ، Fe^{2+} به $Fe(OH)_3$ نامحلول و Mn^{2+} به MnO_2 نامحلول تبدیل می شود.
- حلالیت ترکیبات Fe ، Mn در $PH=12$ حداقل و در $PH=7$ زیاد
- آهن روی پارچه لکه های زرد تا قهوه ای قرمز و منگنز سیاه متمایل به ارغوانی ایجاد می کنند.
- مقدار مجاز Fe^{2+} و Mn^{2+} در آبهای آشامیدنی به ترتیب $3/0$ و $0.5/0$ میلی گرم در لیتر است.
- مقدار مجاز Fe^{2+} ، Mn^{2+} در آبهای صنعتی $3/0$ و $0.5/0$ میلی گرم در لیتر است.

۱-۳-۱- انواع روشهای حذف آهن و منگنز در آب

۱- اکسیداسیون و ته نشینی

۲- استفاده از رزین های تعویض یونی در فصل رزین ها
مورد بررسی قرار می گیرند.

۳- استفاده از پلی فسفات ها

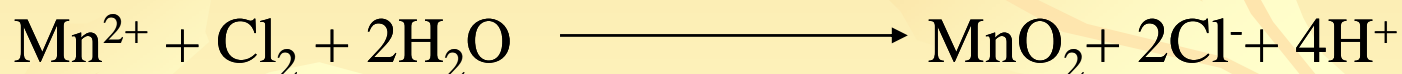
پلی فسفات ها با آهن کمپلکس های محلول تشکیل می دهند
اکسیداسیون و ته نشینی

با مواد اکسید کننده هایی مثل، هوا، O_2 ، Cl_2 ، $KMnO_4$ می
توان Mn^{2+} و Fe^{2+} را اکسید کرد و به صورت نامحلول
درآورد.

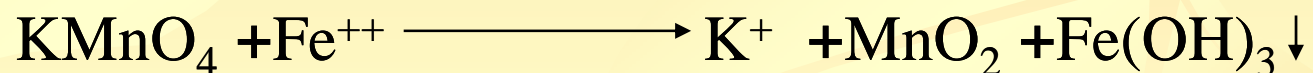
روش های حذف آهن و منگنز با کلر، اکسیژن و پرمنگنات اکسیژن



PH بهینه برای اکسیداسیون سریع Fe^{2+} ، ۷-۹ و بر Mn^{2+} ۵/۱۰ - ۹
کلر



کلر گران تر از هوادهی و برای از بین بردن میکروب ها مؤثرتر است.



گران تر از کلر، بسیار سریع، MnO_2 خود اکسید کننده است.

مثال ۲- برای حذف آهن و منگنز در منابع فنی استفاده از کلر، پرمنگنات و هوادهی توصیه می شود.

الف - يك حسن و يك عيب عمده هر يك از این اکسیدان ها را ذکر کنید.
کلر:

حسن: حتی در PH کم تر از محدوده بهینه اکسیداسیون با اکسیژن، آهن را خیلی سریع تر اکسید می کند.

عیب: نسبتاً گران است.

اکسیژن:

حسن: ارزان و در دسترس

عیب: در پایین تر از محدوده PH بهینه ۵/۱۰ - ۷ سرعت آن کم است.
پرمنگنات:

عیب: گران و مقدار آن باید کنترل شود.

حسن: مقدار لازم آن کم تر از مقدار استوکیومتری، سرعت آن در $PH=6-10$ مستقل از PH است.

۴-۱-۳- سیلیکا و ویژگیهای آن

سیلیکا = اکسید سیلیسیم = سیلیس = SiO_2
سیلیکا: کریستالی مثل کوارتز با حلالیت ۶ ppm در آب
آمورف با حلالیت ۱۴۰ ppm + ۱۰۰ در آب
انحلال سیلیکا در آب

انحلال سیلیکا در آب شدیداً به PH وابسته است (جدول ۳-۳)



اسید سیلیسیک (یک ظرفیتی) است.

اسید سیلیسیک در $\text{PH} \leq 7$ یونیزه نمی شود.

اسید سیلیسیک در $\text{PH} = 5/8$ حدود ۱۰% یونیزه میشود.

اسید سیلیسیک در $\text{PH} \sim 10$ حدود ۵۰% یونیزه می شود.

در $\text{PH} < 7$ احتمالاً پلیمریزه می شود و به صورت ذرات کلونیدی در می آید.

H_3SiO_4^- در اندازه گیری قلیائیت دخالت می کند.

سیلیکا به سه صورت در آب می تواند حضور داشته باشد.

سیلیکای فعال H_3SiO_3^- ، سیلیکای کلونیدی (سیلیکای پلیمریزه شده) و سیلیکای ذره ای (ذرات ریز شن)

جدول ۳-۳- حلالیت سیلیکا در PH های مختلف در دمای

۲۵

PH	حلالیت بر حسب میلی گرم سیلیکادر هر لیتر
۳-۲	۱۵۰
۸-۶	۱۲۰
۹	۱۳۸
۵/۹	۱۸۰
۱۰	۳۱۰
۶/۱۰	۸۷۶

۱-۴-۱-۳- مشکلات ناشی از حضور سیلیکا در آب

عمده مشکل سیلیکا در بویلرهایی است که در دما و فشار زیاد کار می کنند.

زیرا با افزایش دما و فشار حلالیت آن زیاد می شود. (شکل ۳-۴)

سیلیکای به یکی از سه روش زیر به پره های توربین می رسد و رسوب می کند

۱. بد کار کردن بویلر (ایجاد کف)

۲. حمل قطرات مایع توسط بخار

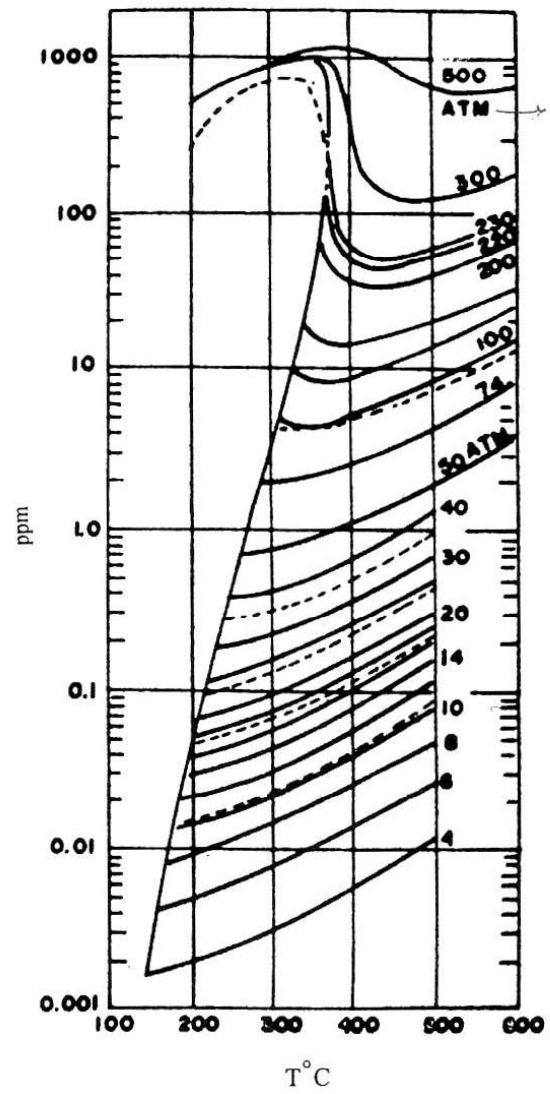
۳. تبخیر سیلیکای محلول در بخار

غلظت سیلیکا در بخار به عوامل زیر بستگی دارد:

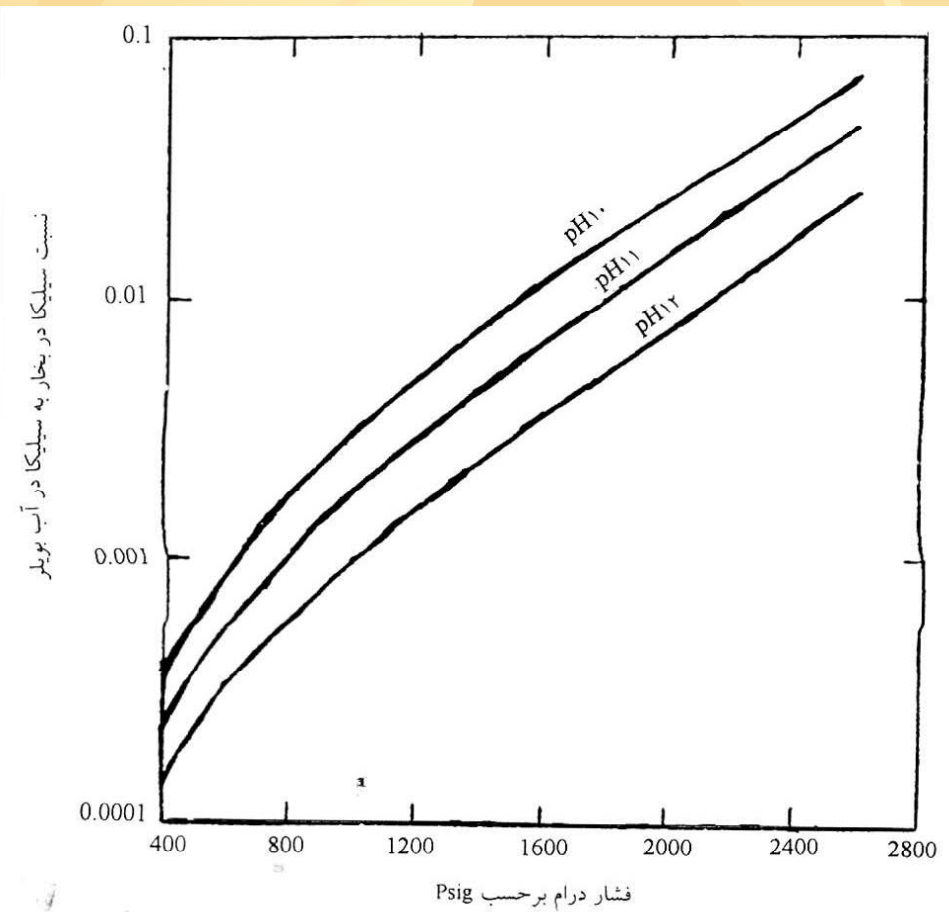
■ PH آب تغذیه و فشار دیگ بخار (شکل ۳-۵)

■ فشار دیگ بخار

■ غلظت سیلیکا در آب تغذیه



شکل ۳-۴. حلالیت سیلیکا در بخار آب بر حسب دما و فشار



شکل ۳-۵. غلظت سیلیکا در بخار بر حسب فشار در pH های مختلف

۲-۴-۱-۳- روشهای حذف سیلیکا

حذف سیلیکا از آب مشکل و پرهزینه است. سه روش عمده آن:

- جذب سطحی
 - اسمز معکوس
 - استفاده از رزین های آنیونی
- ذرات سیلیکای کلوئیدی بار منفی دارند، در خوضچه آهک زنی، ذرات مثبت $Mg(OH)_2$ و $Fe(OH)_3$ باعث جذب، انعقاد و ته نشین شدن آنها می شود. عوامل مؤثر بر حذف سیلیس با این روش:
- زمان (تماس سیلیس با رسوبات جاذب) – هر چه بیشتر باشد حذف سیلیکا بیشتر
 - دما، هر چه دما بیشتر باشد، میزان حذف سیلیکا بیشتر خواهد بود
 - نوع ماده جاذب (نوع ترکیب منیزیم و آهک)
 - غلظت اولیه سیلیکا در آب

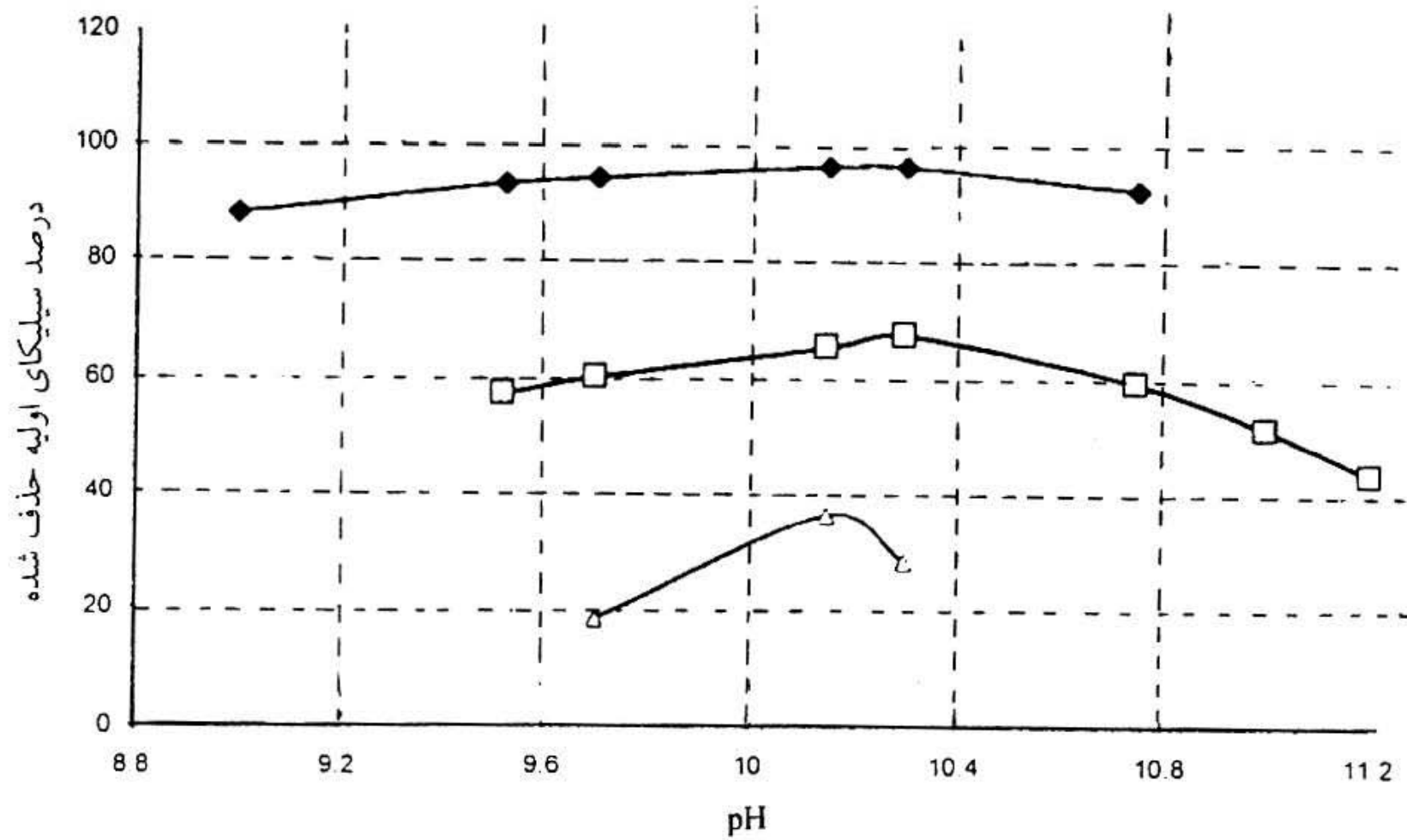
۱-۲-۴-۱-۳ عوامل مؤثر بر حذف سیلیکا بوسیله ترکیبات منیزیم

اثر PH

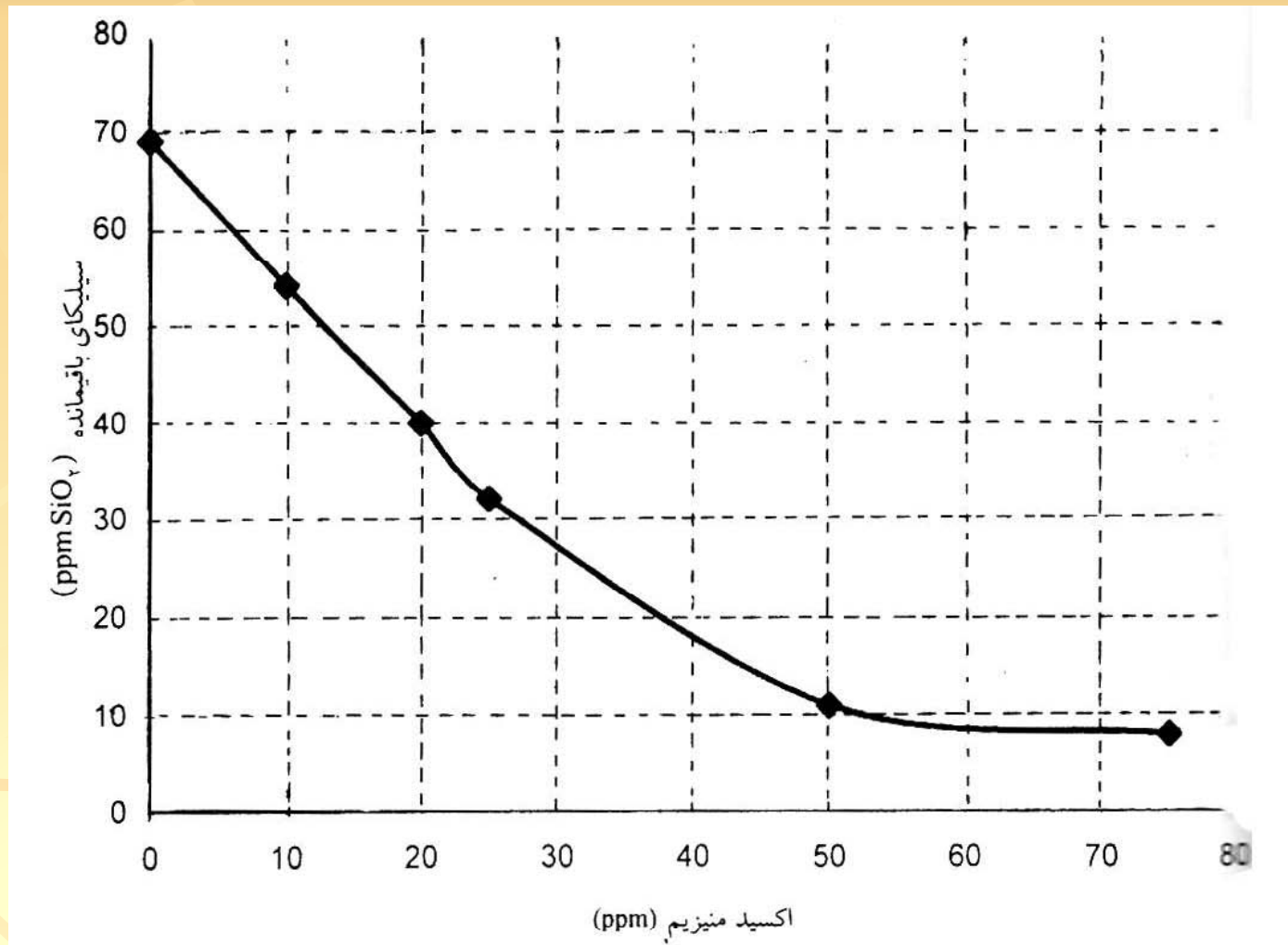
در حذف ناقص سیلیکا (تا حدود ۷۰٪) در یک PH معین حدود ۳/۱۰ بهترین عملکرد وجود دارد.

در حذف کامل، نقش PH کم تر است (شکل ۳-۶) اثر ترکیبات مختلف منیزیم :

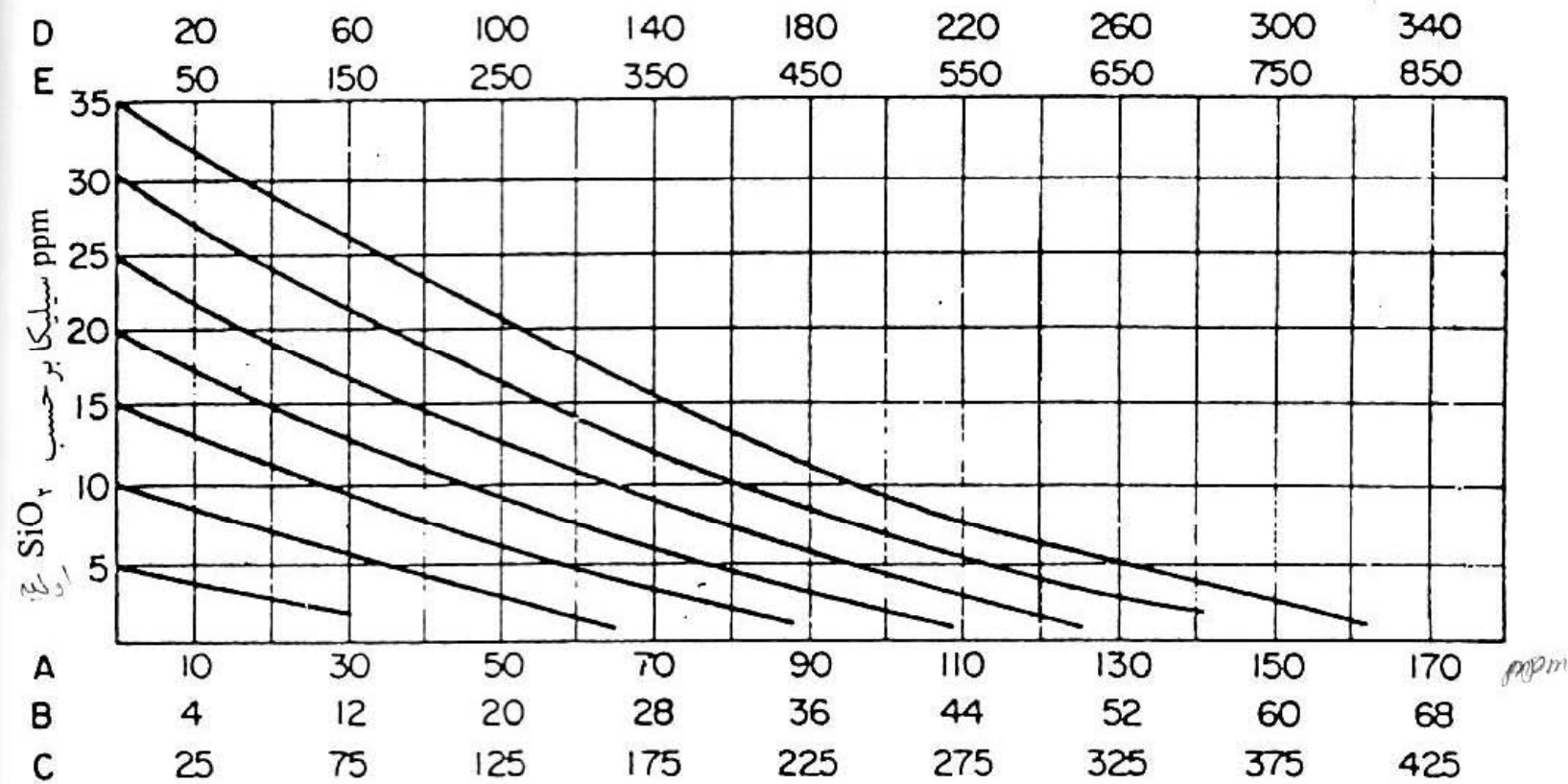
- واکنش ترکیبات منیزیم به صورت استوکیومتری نیست و تابع رابطه تجربی فروندلیج $x/m = K_f C_e^{1/n}$ است.
- K_f ضریب جذب، C_e غلظت مولی تعادلی ماده قابل جذب، m جرم ماده جاذب. (شکل ۳-۷)
- برای کاهش مقدار معینی در غلظت سیلیکای آب، مقادیر متفاوتی از ترکیبات مختلف لازم است. (شکل ۳-۸)



شکل ۳-۶. اثر pH در حذف سیلیکا



شکل ۳-۷. نتایج تجربی مربوط به مقدار سیلیکای حذف شده بر حسب اکسید منیزیم



شکل ۳-۸. کاهش سیلیکا در فرایند آهک‌زنی سرد و گرم یا ترکیبات مختلف منیزیم

بقیه عوامل مؤثر بر حذف سیلیکا به روش جذب سطحی

تماس سیلیکا با لجن

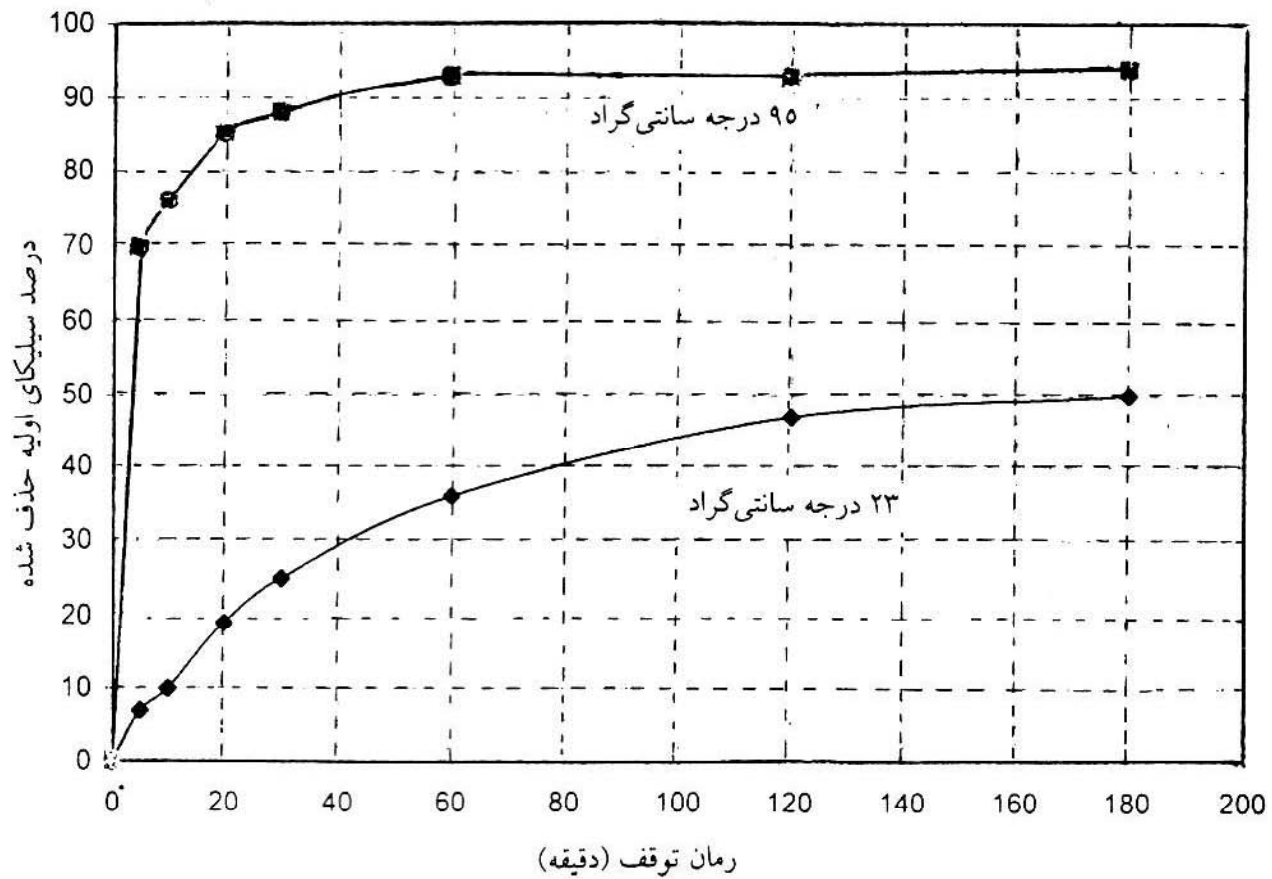
اگر آب ورودی به حوضچه با لجن هیدروکسید منیزیم در تماس قرار گیرد، مقدار بیش تر از سیلیکای آب حذف می شود (شکل ۹-۳).

در مصرف اکسید منیزیم صرفه جویی می شود.

زمان توقف در حوضچه ته نشینی و دما

با افزایش دما میزان سیلیکای حذف شده زیاد می شود.

با افزایش زمان توقف آب در حوضچه ته نشینی، درصد سیلیکای حذف شده زیاد می شود. (البته رابطه خطی نیست) (شکل ۱۰-۳).



شکل ۳-۱۰. اثر زمان توقف و دما در حوضچه ته‌نشینی در حذف سیلیکا

۳-۴-۱-۳ حذف سیلیکا با رزین های آنیونی

■ سیلیکای کلونیدی با رزین ها حذف نمی شود، باعث آلودگی آن می شود.

■ ضریب گزینش سیلیکا یونی کم است.

■ هزینه حذف با رزین زیاد است.

حذف سیلیکا با روش اسمز معکوس

■ سیلیکای و بخصوص نوع کلونیدی به خوبی حذف می شود.

■ اگر مقدار سیلیکا زیاد باشد، روی غشاء رسوب می کند، که باید دمای آب را افزایش داد (حلالیت کم شود).

■ اگر PH آب ۱۰ باشد، حلالیت سیلیکا زیاد ولی باز CaCO_3 روی غشاء رسوب می کند.

۴- فصل چهارم

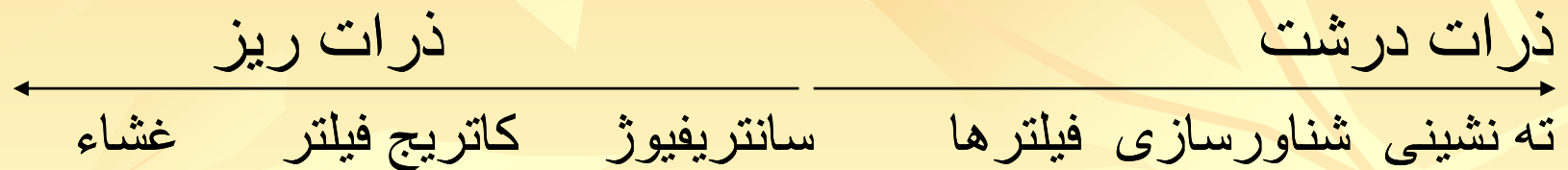
روش های حذف ذرات معلق از آب و فاضلاب

مقدمه - ویژگیهای ذرات معلق موجود در آب ها و پساب ها از نظر تعداد در واحد حجم، اندازه و شکل بسیار متنوع اند. شکل و درجه کروی بودن آن ها، با پارامترهایی نظیر قطر غربالی، قطر معادل با یک کره، قطر استوکس و ... توصیف می شود.

تعداد و فراوانی آن ها را با نمودارهای توزیع نشان می دهند. بعضی از خواص ذرات معلق به اندازه و شکل آنها بستگی دارد.

۱-۴ اساس جداسازی ذرات معلق

با توجه به اندازه، دانسیته، بار الکتریکی و خاصیت مغناطیسی و ... ذرات معلق باید روش مؤثر حذف آن ها را انتخاب کرد



به طور کلی با دو مکانیسم می توان ذرات معلق را جدا کرد:

۱. ته نشینی یا شناور سازی

۲. فیلتراسیون

۱-۱-۴ ته نشینی یا شناور سازی ذرات معلق

در ته نشینی، آب ساکن، ذرات معلق به سمت پایین می روند.
در شناور سازی، آب ساکن ذرات معلق به سمت بالا حرکت می کنند.

سرعت سقوط در ته نشینی یا سرعت صعود در شناور سازی بر اساس قانون استوگس:

$$V = g/18\mu (P_s - P_w)d^2$$

P_s = دانسیته ذرات P_w = دانسیته آب

G شتاب ثقل ویسکوزیته آب d قطر ذرات

مثال

مثال ۱-۴ سرعت سقوط ذره ای به شعاع ۲ میلیمتر و چگالی ۴ در آب
بیش تر است یا سرعت سقوط ذره ای به شعاع ۴ میلیمتر و چگالی
۲ در همان آب.

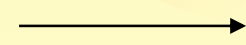
حل: سرعت سقوط برابر است با: $V = g/18\mu (P_s - P_w)d^2$

برای ذره اول $P_s = 4$ و $d = 2$ و $P_w = 1$ (فرض می کنیم)

برای ذره دوم $P_s = 2$ و $d = 4$ و $P_w = 1$ (فرض می کنیم)

$$V_1 = g/18\mu(1-4) 2^2$$

$$V_2 = g/18\mu(1-2) 4^2$$



$$V_1/V_2 = 4/3$$

۴-۱-۲- فیلتراسیون (استفاده از صافی های مختلف)

جهت حذف ذرات معلق مانند گل و لای، رنگ، موادآلی، پلانکتون، باکتری ها و ...

۴-۱-۲-۱- انواع فیلتر (صافی) ها

۱. فیلترهای سطحی، فیلتراسیون در سطح صافی انجام می شود؛ کاغذ صافی، فیلترهای کیسه ای
۲. فیلترهای عمقی، فیلتراسیون در عمق صافی انجام می شود؛ فیلترهای شنی، ذغالی، آنتراسیت و مختلط

۲-۲-۱-۴- انواع فیلترها بر حسب نوع عامل فیلتراسیون

- فیلتر ثقیلی ، عامل فیلتراسیون شتاب ثقل
- فیلتر خلاء ، عامل فیلتراسیون خلاء
- فیلتر فشاری، عامل فیلتراسیون نیروی گریز از مرکز
- دبی آب فیلتر شده برابر است با:

$$Q = \frac{A \Delta p}{\mu R}$$

- A سطح بستر فیلتر = P افت فشار دو سر فیلتر
- R مقاومت بستر = μ ویسکوزیته مایع (آب)
- برای فیلتر کار کرده به جای R مقدار $R + R_c$ ، R_c مقاومت ناشی از کثیف شدن بستر.

۲-۲-۱-۴- شستشوی فیلترهای عمقی

جمع شدن ذرات معلق در خلل و فرج فیلترهای عمقی باعث افت فشار می گردد. اگر افت فشار از حد معینی تجاوز کند باید فیلتر را شستشو داد.

۱. سرعت آب ورودی جهت شستشوی فیلترها $15-60 \text{ m/h}$ (سرعت آب خام ورودی به فیلتر 5 m/h است)
۲. سرعت آب جهت شستشو فیلترها باید طوری باشد که باعث انبساط بستر فیلتر به میزان 50% شود.
۳. در مواردی داخل بستر فیلتر لوله هایی مشبک تعبیه می کنند، که آب شستشو از داخل این لوله ها جریان پیدا کند.

۳-۲-۱-۴- ویژگی های فیلترهای فشاری

- عمودی یا افقی هستند.
- عمودی، قطر ۴-۱ متر و ارتفاع یک تا چند متر
- بدنه فیلترها استوانه ای از فولاد است.
- فشار فیلترها بین ۳ تا ۷ اتمسفر
- بهتر است که بستر آن ها از چند نوع ماده (بستر مختلط) باشد، مثلاً آنتراسیت، ایلمنیت، ماسه و ...
- در فیلترهای با بستر یکنواخت، ذرات از خلل و فرج ذرات درشت زیر می گذرند
- در بسترهای یکنواخت افت فشار زیاد است.

۴-۲-۱-۴- ویژگیهای بسترهای مختلط فیلترها

■ دانسیته مواد تشکیل دهنده بستر فیلترهای مختلط متفاوت است.

■ در بستر مختلط به علت متفاوت بودن اندازه ذرات، قسمت بیشتری از فیلتر مورد استفاده قرار می گیرد.

■ یک نوع بستر مختلط شامل، آنتراسیت ($\rho=1.4$)، شن ($\rho=2.8$) و ایلمنیت ($\rho=3.8$) است. شستشوی آن ها مشکل تر است.

۵-۲-۱-۴- محاسبه اندازه ذرات یک بستر مختلط

$$d(\rho - \rho_w) = \text{سرعت ته نشینی یک ذره}$$

$$d = \text{قطره ذره} \quad \rho = \text{دانسیته ذره} \quad \rho_w = \text{دانسیته آب}$$

محاسبه نشان می دهد که قطر ذرات آنتراسیت باید کمتر از ۲.۷ میلی متر و قطرات ذرات ایلمنیت بیشتر از ۰.۷۴ میلی متر باشد.

مزایای فیلترهای با بستر مختلط :

افت فشار کمتر، از قسمت بیشتر بستر استفاده می شود، طول مدت کار آن بیشتر است.

شستشوی فیلترهای مختلط مشکل است.

۶-۲-۱-۴- پارامترهای تعیین کننده اندازه ذرات بستر فیلترها

شکل و اندازه ذرات مواد تشکیل دهنده بستر فیلترها بسیار متنوع است.

بنابراین جهت تخمین و توصیف آنها پارامترهایی لازم است؛

■ اندازه مؤثر: اندازه ای از ذرات که ۱۰٪ وزنی ذرات از آن کوچکتر باشد.

■ ضریب یکنواختی ذرات:

اگر اندازه ای از ذرات را که ۴۰ درصد وزنی ذرات بزرگتر از آن و ۶۰ درصد کوچکتر از آن است را a بنامیم.

a

ضریب یکنواختی =

اندازه مؤثر

۱-۶-۲-۱-۴ بهترین اندازه مؤثر و ضریب یکنواختی ذرات بستر

- بستگی به شرایط کار و کیفیت آب مورد نظر دارد.
- فیلترهای ثقیلی: اندازه مؤثر ۰.۵-۰.۳ میلیمتر ضریب یکنواختی ۱.۷۵
- فیلترهای فشاری؛ اندازه مؤثر ۰.۵-۰.۶ میلیمتر و ضریب یکنواختی حداکثر 1.7

راندمان فیلتر و عوامل مؤثر بر آن
عوامل مؤثر:

$$\beta = \frac{C_L}{C_0} = e^{-\eta L/d}$$

هر چه β کمتر باشد، راندمان فیلتر بیشتر است.

C_0 ، C_L به ترتیب غلظت ذرات معلق در آب خروجی و ورودی به بستر
 η = عددی ثابت L عمق بستر d اندازه ذرات بستر

۷-۲-۱-۴- فیلتر های ثقیلی

- اغلب مکعبی یا مکعب مستطیلی شکل ، گاهی مدور
- با فشار محیط کار می کنند
- معمولاً از سیمان گاهی از چوب یا فولاد
- نوع مکعب مستطیلی به عرض ۰.۵ تا ۱ متر و طول چندین متر تا چند صد متر و ارتفاع ۳ تا ۵ متر
- ساختن آنها ساده است.

۸-۲-۱-۴- مقایسه فیلترهای فشاری و ثقلی

- فیلترهای ثقلی کم هزینه و کم استهلاک
- مزایای فیلترهای فشاری
- قابل نصب بین لوله های تحت فشار
- کم حجم
- در افت فشار هم کار می کند
- می توان آن را به سیستم تصفیه آب اضافه کرد
- معایب فیلترهای فشاری
- ذرات بستر قابل رویت نیستند و مؤثر بودن شستشو را نمی توان دید
- عملکرد مواد منعقد کننده قابل کنترل نیست
- دبی خروجی را نمی توان ثابت نگه داشت

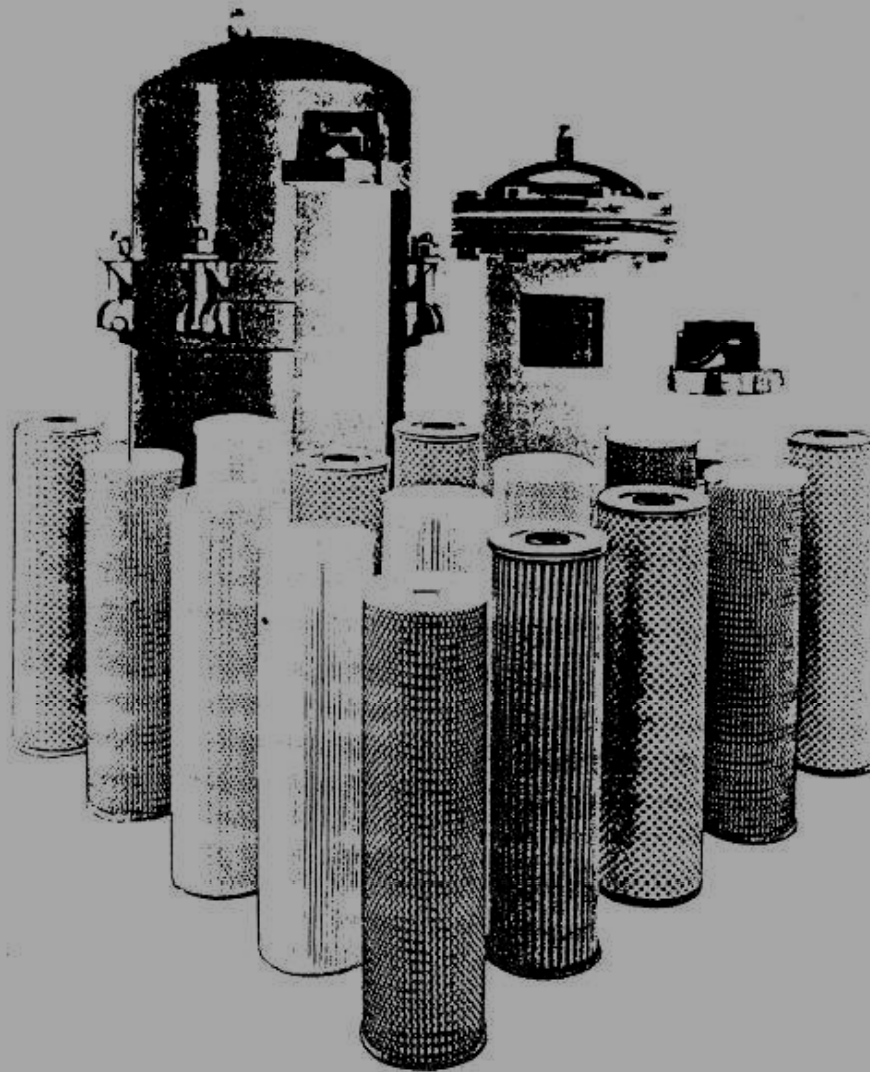
۴-۱-۲-۹- کارتریج فیلترها

- کارتریج فیلترها، فیلترهای بسیار ظریفی هستند. (شکل ۴-۵)
- معمولاً استوانه ای متشکل از چندین لایه الیاف هستند (یکبار مصرف هستند)
- جنس الیاف آنها، پنبه ای، ابریشمی، سلولزی، پشم شیشه ای، پلی پروپیلن، نایلونی و ...

کاربرد کارتریج فیلترها

پس از تصفیه مقدماتی آب در موارد زیر:

- حذف ذرات بسیار ریز کربن در آب خروجی از بستر کربن
- حذف ذرات مواد اکسید شده پس از کلرزنی استخرها
- آب ورودی به اسمز معکوس و آب نوشابه سازی



شکل ۴-۵. چندین نوع کاتریج فیلتر و محفظه فیلترها

۱۰-۲-۱-۴ شاخصهای ارزیابی عملکرد فیلترها

۱- کدریت آب فیلتر شده؛

کمتر از ۰.۵۰ NTU خوب و ۰.۲ NTU کمال مطلوب

۲- طول زمان سرویس دهی (فاصله زمان دو شستشو)

کمتر از ۲۴ ساعت نباشد. سرعت فیلتراسیون کمتر از ۱۵m³/h نباشد.

۳-نسبت آب لازم جهت شستشو به آبی که قبل از شستشو تصفیه شده؛

کمتر از ۲ درصد عملکرد بسیار مطلوب

حدود ۳ درصد معمولی

بیش از ۵ درصد ضعیف

در تابستان ۱.۵ تا ۳ درصد خوب در زمستان ۲.۵ تا ۳ درصد خوب

۴-UFRV = حجم آبی که به ازاء هر واحد سطح بسترفیلتر در هر سرویس تصفیه می شود.

$UFRV < 2 L/Cm^2$ قابل قبول نیست.

$UFRV > 4 L/Cm^2$ عملکرد خوب

۱۱-۲-۱-۴- علل عملکرد نامطلوب فیلتر

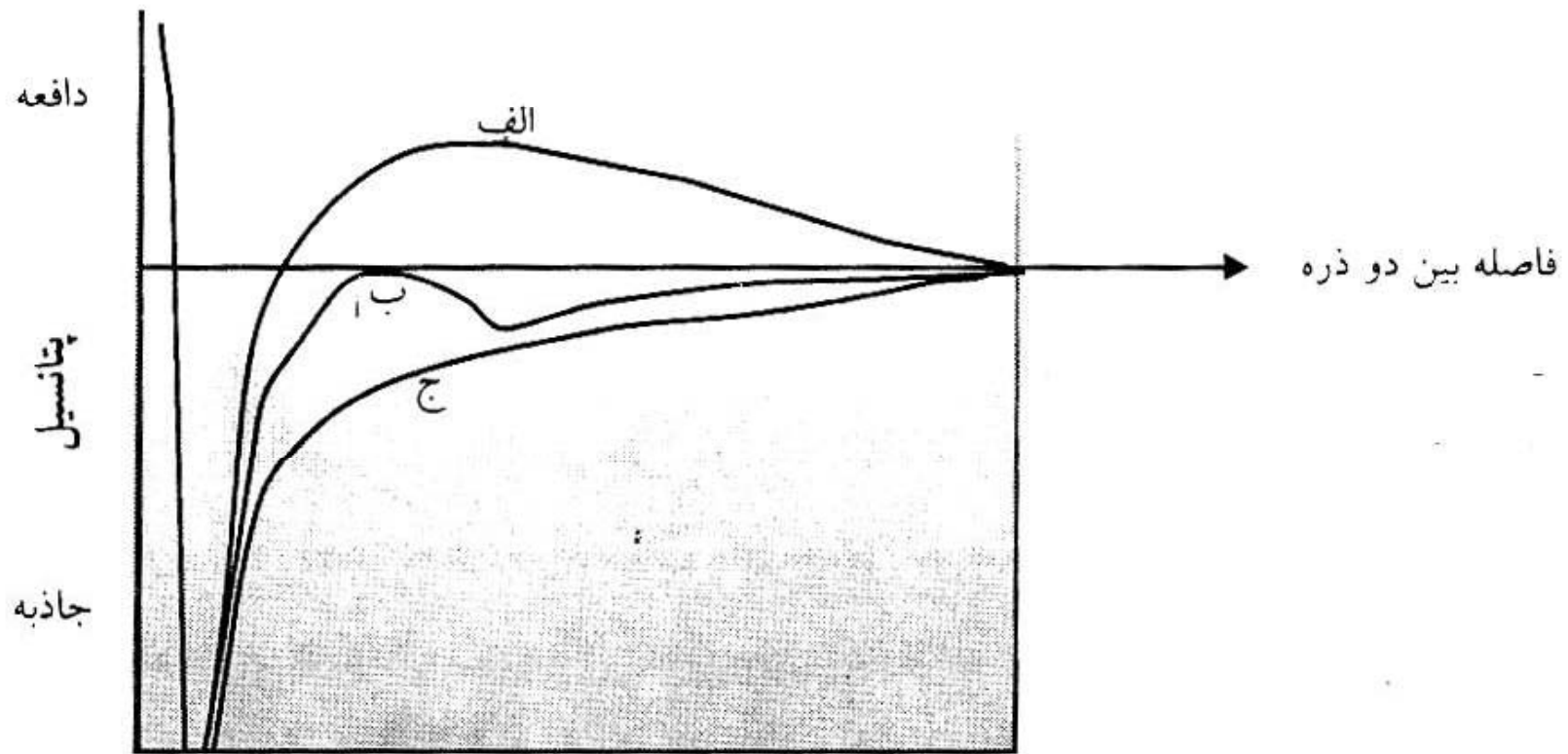
- تجمع ذرات ریز بستر در سطح آن
- کوچک بودن اندازه مؤثر ذرات
- غلظت زیاد ذرات معلق در آب ورودی
- پوشیده شدن ذرات بستر با گل و لای
- وجود مقادیر زیاد جلبک در آب ورودی
- حبس هوا مابین ذرات
- استفاده بیش از حد از کمک منعقد کننده ها و یا مواد منعقد کننده

۲-۴ انعقاد و لخته گذاری Coagulation @ Flocculation

- انعقاد سازی: مجتمع کردن ذرات ریز
- لخته گذاری: تشکیل توده ذرات
- در تصفیه آب، انعقاد سازی و لخته گذاری معادل هم به کار می روند
- انعقاد سازی و سپس فیلتراسیون ذرات ریز از فیلتراسیون آن ها اقتصادی تر است
- هر چه ذرات ریزتر باشند هزینه جداسازی آن ها بیشتر است.

۱-۲-۴- ویژگی های ذرات ریز معلق

- ذرات ریز معلق دارای بار منفی هستند (به علت جذب OH^-) و بهم نمی چسبند.
- بین ذرات مواد معلق، نیروهای جاذبه و دافعه الکترواستاتیکی و نیروی جاذبه و اندروالسی وجود دارد.
- نیروهای دافعه و جاذبه بین ذرات مواد معلق به طور توانی به فاصله مابین آنها بستگی دارد.
- با افزایش مواد منعقد کننده بار منفی ذرات خنثی می شود، و ذرات درشت می شوند.
- با نزدیک تر کردن ذرات از طریق هم زدن، حرکت براونی و برخورد ناشی از تفاوت سرعت ذرات، نیز می توان ذرات را درشت کرد.
- افزایش مواد منعقد کننده مقرون به صرفه تر است.



شکل ۶۴. تغییرات مجموع پتانسیل دافعه و جاذبه بر حسب فاصله به صورت کیفی

۱-۲-۴- مواد منعقد کننده متداول و مکانیسم عمل آنها

متداولترین منعقد کننده ها :

- آلوم تجارتي $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14 H_2O$ ، مایع
- کلرید آهن (III) $Fe Cl_3 \cdot 6H_2O$ ، جامد
- سولفات آهن (III) $Fe_2(SO_4)_3 \cdot 3H_2O$
- اکسید منیزیم MgO
- آلومینات سدیم $Na_2O Al_2O_3$
- سیلیکات سدیم $Na_2O SiO_2$

۲-۲-۴- مکانیسم عمل منعقد کننده ها:

■ کاتیون آن ها هیدرولیز می شود و هیدروکسید و یونهای کمپلکس نامحلول ایجاد می کنند که سریع ته نشین می شوند.

■ ذرات معلق نیز با آنها ته نشین می شوند.

■ منعقد کننده ها با افزایش قدرت یونی محلول ($\mu=1/2\sum C_i Z_i^2$) ، دامنه نفوذ پتانسیل دافعه را کاهش می دهند.

جدول ۳-۱. مواد شیمیایی تجارتي مورد استفاده در تصفيه آب و تأثير آنها در آناليز آب

ماده شیمیایی تجارتي	مشخصات	فرمول	وزن مولکولی	خلوص	کاهش قلیابیت*	افزایش غلظت یون‌ها*
سولفات آلومینیم (Filter alum)	Al ₂ O ₃ ٪۱۵٫۳	Al(SO ₄) ₃ · ۱۸H ₂ O	۶۶۶	٪۹۹-۹۵	۰٫۴۵	سولفات ۰٫۴۵
آمونیم آلوم		Al ₂ (SO ₄) ₃ · (NH ₄) ₂ SO ₄ · ۲۴H ₂ O	۹۰۶	—	۰٫۳۳	سولفات ۰٫۴۴ آمونیم ۰٫۱۱
پتاسیم آلوم		Al ₂ (SO ₄) ₃ · K ₂ SO ₄ · ۲۴H ₂ O	۹۴۹		۰٫۳۱۶	سولفات ۰٫۴۲۱ پتاسیم ۰٫۱۰۵
فری سل (Ferrisul)	Fe ^{۳+} ٪۲۵٫۲	Fe ₂ (SO ₄) ₃	۴۰۰	٪۹۴٫۴	۰٫۷۱	سولفات ۰٫۷۱
کوپراس (Copperas)	Fe ٪۱۹٫۶۸	Fe(SO ₄) · ۷H ₂ O	۲۷۸	٪۹۸	۰٫۳۵	سولفات ۰٫۳۵
گاز کلر	Cl ₂ ٪۹۹٫۶	Cl ₂	۷۱	٪۱۰۰	۱٫۴۱	یون کلر ۱٫۴۱
کلراید فریک	٪۶۰ FeCl ₃	FeCl ₃	۱۶۲	٪۶۰	۰٫۵۶	یون کلر ۰٫۵۶
کوپراس کلردار Chlorinated Copperas	—	۸FeSO _۴ · ۷H ₂ O + وزن کلر	—	—	۰٫۴۷	سولفات ۰٫۳۱ یون کلر ۰٫۱۵

*هر ppm از ماده شیمیایی تجارتي باعث کاهش قلیابیت و یا افزایش غلظت یون‌ها برابر با مقدار ذکر شده ppm معادل کربناتی می‌شود. مثلاً هر ppm سولفات آلومینیم تجارتي که در تصفيه مقدماتی به کار می‌رود، غلظت سولفات آب را به اندازه ppm ۰٫۴۵ معادل کربناتی افزایش داده و قلیابیت آب را هم به همین اندازه کاهش می‌دهد.

۳-۲-۴- عوارض ناشی از افزایش بعضی از منعقد کننده ها

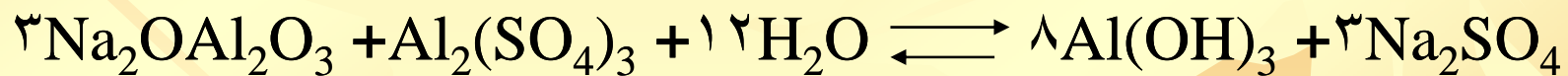
▪ H^+ تولید می کنند و قلیائیت آب کاهش می یابد.



▪ CO_2 حاصل مزاحم انعقاد سازی است.

▪ نیاز به افزایش آهک، سود یا سودا جهت بالا بردن قلیائیت آب است که خود آهک سختی آب را بالا می برد.

▪ آلوم در مواردی بر حسب خورندگی می شود. برای رفع این مشکل از آلومینات سدیم همزمان نیز استفاده می شود.



۴-۲-۴- عوامل مؤثر بر عملکرد منعقد کننده ها

- ۱- PH آب مورد تصفیه باید طوری باشد که رسوب ایجاد شده کمترین حلالیت داشته باشد.
- ۲- غلظت کل مواد معلق در آب هر چه غلظت مواد معلق بیشتر باشد، انعقاد سازی راحت تر است.
- ۳- قلیائیت آب مورد تصفیه
- ۴- پخش ماده منعقد کننده پس از افزایش به آب
- ۵- TDS زیاد باعث تسریع و کامل بودن انعقاد می شود
- ۶- مواد آلی مانع عملکرد خوب می شود، باید کلر اضافه کرد.
- ۷- محیط را باید خوب بهم زد.

۵-۲-۴ قانون شولز – هاردی یا قانون توان

شش

بر اساس این قانون هر چه بار کاتیون ماده منعقد کننده بیشتر باشد، قدرت انعقاد سازی آن بیشتر است؟

$\text{ppm} = \frac{1}{\text{بار آنیون}}$ غلظت لازم مواد منعقد کننده بر
معادل کربناتی

در شرایط یکسان، قدرت انعقاد سازی 1000 ppm یون
سدیم

به اندازه 16 ppm یون کلسیم و یا 1.4 ppm یون آلومینیوم
است.

۶-۲-۴- ویژگیهای بعضی از منعقد کننده ها

۱-۶-۲-۴-- آلومینات سدیم $\text{Na}_2\text{OAl}_2\text{O}_3$ ؛



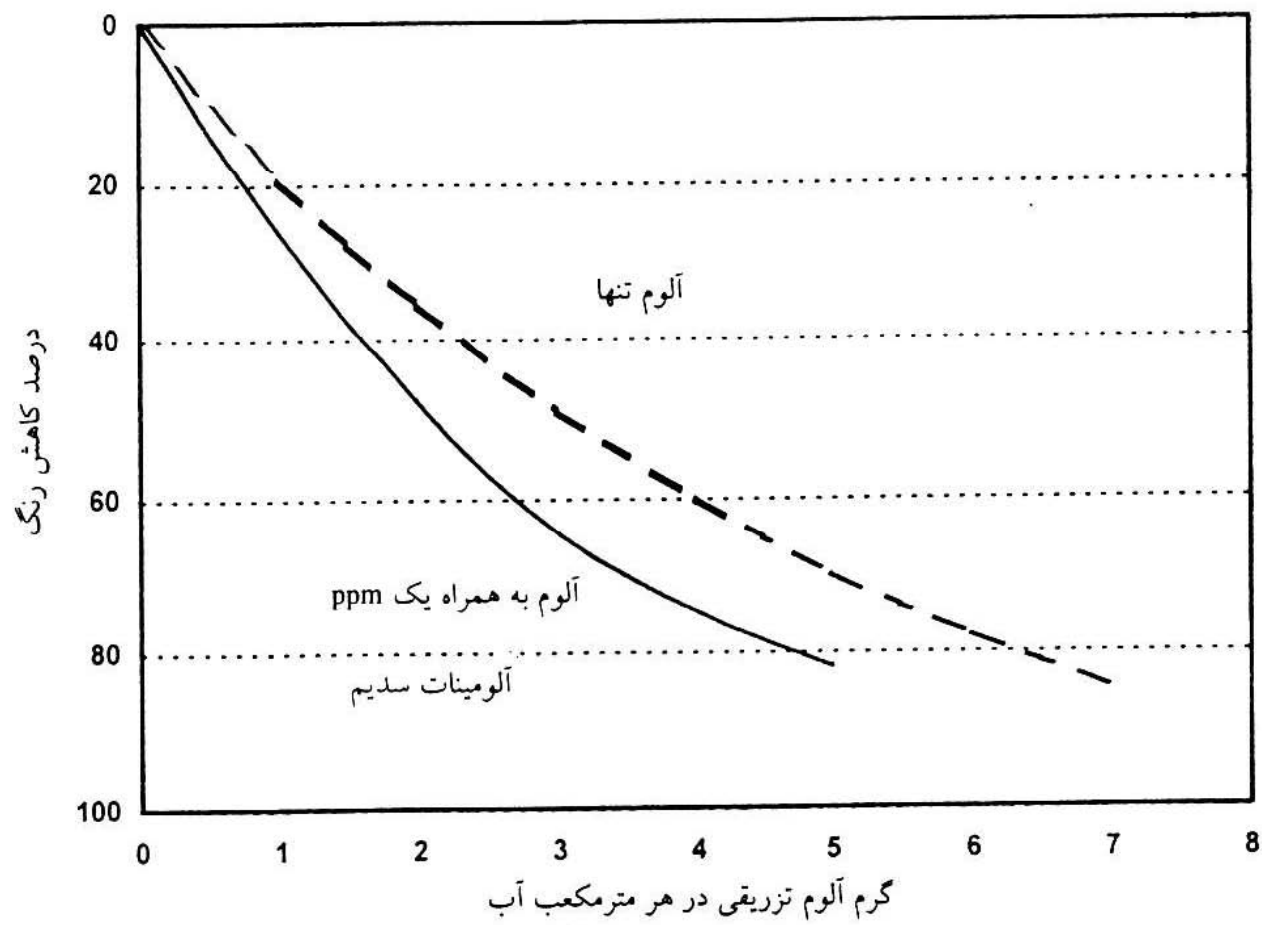
عملکرد آن به PH و قلیائیت وابسته است.

اگر همراه با آلوم از آن استفاده شود، قدرت کاهش رنگ را افزایش می دهد.

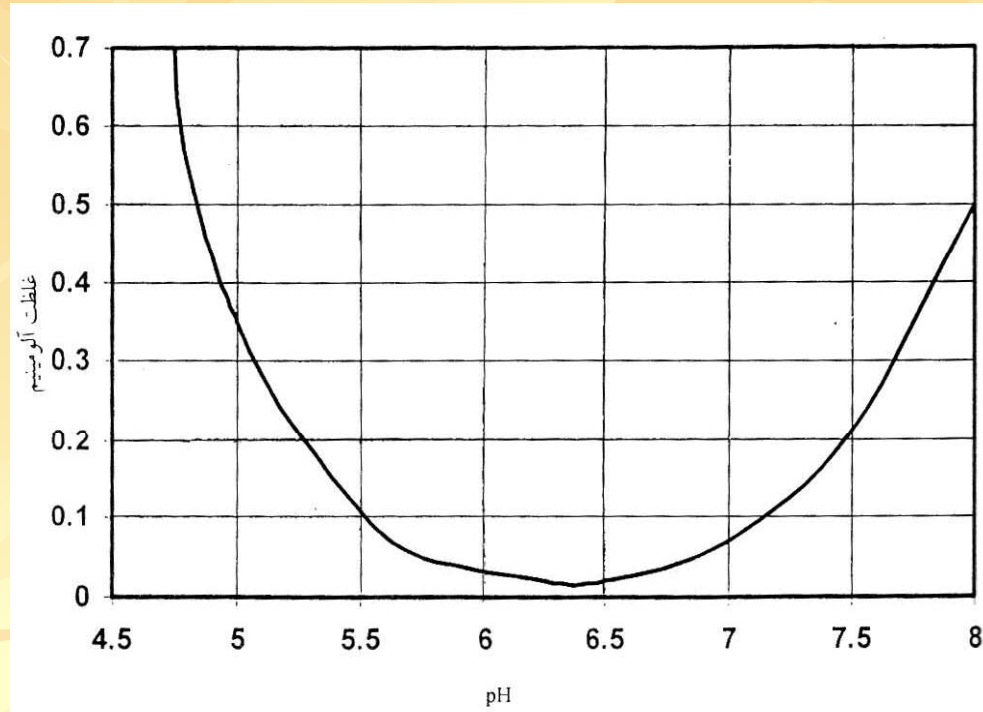


۲-۶-۲-۴- کلرید آهن (III)

- لخته های سنگین ایجاد می کند.
- در آب سرد قدرت انعقاد سازی دارد.
- محدوده PH مناسب برای عملکرد مؤثر آن وسیع است،
۹-۳.۵
- ارزان تر از آلوم است.
- قدرت انعقاد سازی آن (۳) بیش از آلوم (۱.۵) است.
- $۳ = \text{تعداد کاتیون} / \text{تعداد آنیون} = \text{قدرت انعقاد سازی}$



شکل ۸-۴. مقایسه مخلوط آلوم و آلومینات سدیم با آلوم به تنهایی در کاهش رنگ



شکل ۹-۴. اثر pH روی حلالیت لخته‌های آلوم
(تنظیم pH با اسید استیک و سودسوزآور انجام شده است).

۲-۶-۲-۴- کمک منعقد کننده ها

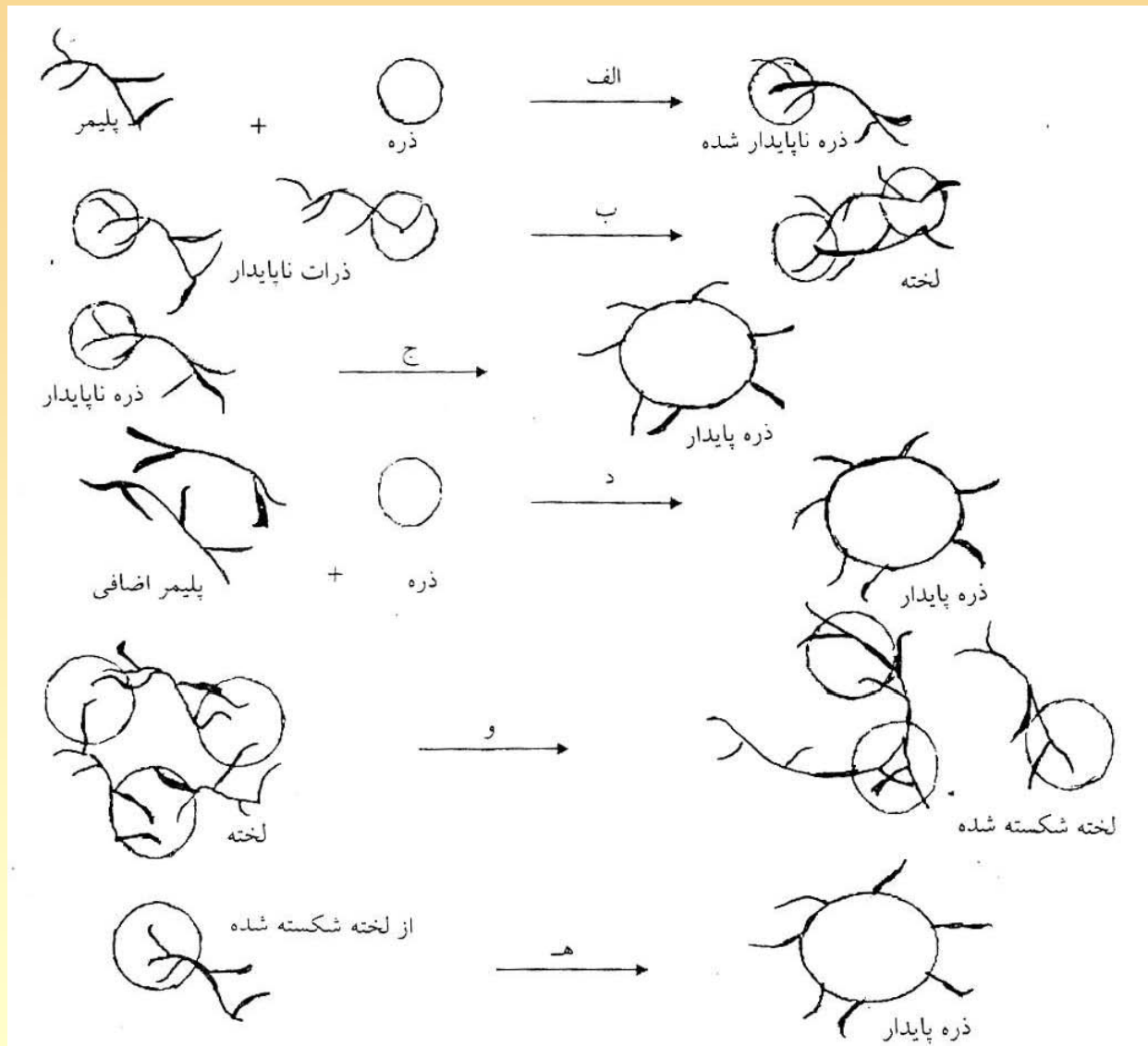
■ کمک منعقد کننده ها، کارآیی مواد منعقد کننده را در حذف مواد رنگی و کدر کننده افزایش می دهند.

کمک منعقد کننده ها:

- نوعی پلی الکترولیت، کاتیونی، آنیونی و یا خنثی هستند.
- گران هستند و مصرف مواد منعقد کننده را کاهش می دهند.
- از طریق تشکیل پل مابین ذرات معلق آن ها را به صورت ذرات درشت درمی آورند.

۶-۲-۴- ادامه کمک منعقد کننده ها

- محدوده PH مناسب برای منعقد کننده ها را افزایش می دهند.
- به عنوان کمک منعقد کننده با آلوم و کلرید آهن (III) از نوع آنیونی استفاده می شود.
- به عنوان منعقد کننده از نوع کاتیونی آن استفاده می شود.
- در محدوده کوچکی از غلظت پلی الکترولیت که بستگی به نوع مواد معلق و غلظت آن دارد، بیشترین قدرت را دار می باشد.



شکل ۴-۷ رفتار منعقد کننده‌های پلیمری در شرایط مختلف

۷-۲-۴ - جارتست

چگونه می توان بهترین شرایط و بهترین ماده منعقد کننده را تعیین کرد؟

■ از جارتست برای آبهایی که غلظت ذرات معلق آنها کمتر از 500 mg/l باشد،

جارتست دستگاه مورد استفاده برای این تست است که شامل:

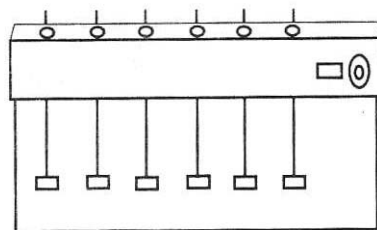
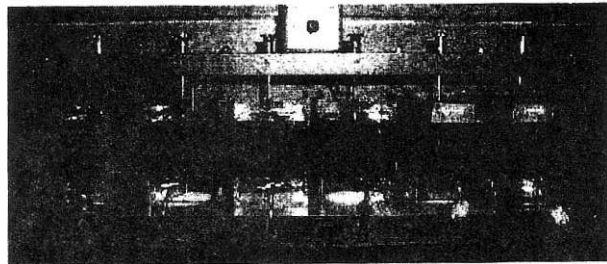
■ چندین همزن کاملاً یکسان است که با یک موتور می چرخند.

■ هر همزن در داخل یکی از ظرف هایی که حجم های مساوی از نمونه آب مورد نظر دارند، قرار دارد.

۱-۷-۲-۴- روش انجام آزمایش جار

■ با تغییر هر یک از پارامترهای مؤثر بر انعقاد سازی و ثابت نگه داشتن بقیه عوامل؛

■ با ارزیابی سرعت ته نشین شدن، زلال بودن محلول نهایی، و نیز حجم لجن تولید شده، می توان پارامتر مورد نظر را بررسی کرد.



شکل ۴-۱۰. دستگاه جارتست

■ شکل دستگاه جار تست

۸-۲-۴- دستگاههای مورد نیاز انعقاد سازی

واحد انعقاد سازی و ته نشینی ذرات معلق شامل سه بخش است:

حوضچه ته نشینی حوضچه لخته گذاری واحد اختلاط سریع در واحد اختلاط سریع؛

آب و مواد منعقد کننده با یک هم زن سریع مخلوط می شوند.

ادامه دستگاه‌های مورد نیاز انعقاد سازی

در حوضچه ته نشینی؛

- آب ورودی از واحد اختلاط سریع، در این واحد به مدت ۶-۲۰ دقیقه بطور آهسته بهم می خورد و لخته ها ایجاد می شوند.

در حوضچه ته نشینی؛

- آب محتوی لخته ها در این واحد به مدت ۲ تا ۴ ساعت بدون بهم زدن می مانند، تا ته نشین شوند.
- سپس لخته ها خارج و آب صاف شده از بالا به صافی هدایت می شود.

۵-فصل پنجم

روش های حذف گازها از آب و فاضلاب

■ مهمترین گازهایی که ممکن است در آب ها و یا فاضلاب ها وجود داشته باشند:

نام گاز	منشاء
O ₂	هوا، گیاهان سبزینه دار
CO ₂	جلبک ها در شب – تجزیه هوازی مواد آلی – تجزیه کربناتها
H ₂ S	تجزیه غیر هوازی مواد آلی گوگرد دار
NH ₃	تجزیه غیر هوازی مواد آلی ازت دار
Cl ₂	کلرزنی
N ₂ (کم)	هوا

- O₂ و N₂ در آب فقط به صورت مولکولی هستند.
- مقداری از CO₂, H₂S, NH₃ و Cl₂ در آب بصورت یون درمی آیند، ولی فرمهای یونی و مولکولی مربوطه با یکدیگر در حال تعادل هستند.
- فرمهای یونی مواد فوق الذکر جزء ناخالصی های گازی محسوب نمی شوند.

۱-۵- قانون حاکم بر ناخالصی های گازی آب

قانون هنری Henry's Law

- این قانون بر تعادل گازها و مایعات حاکم است.
- بیان ریاضی قانون هنری: $Y_A = mX_A$ (A = ماده گازی حل شده در مایع)
- X_A = کسر مولی A در فاز مایع m = ثابت هنری که به دما و نوع گاز بستگی دارد.
- Y_A = کسر مولی گاز در فاز گازی (هوای بالای مایع).
- با توجه به رابطه $Y_A = P_A / P_t$
- P_A فشار جزئی A در هوای در حال تعادل با مایع
- P_t فشار کل هوای در حال تعادل با مایع
- $P_A / P_t = mX_A \rightarrow P_A = P_t mX_A$
- $P_t m$ ، برای یک گاز مایع در دمای معین و فشار ثابت، ثابت است.
- اگر $P_t m = H$ فرض کنیم $P_A = HX_A$
- اگر از نظر تئوری اگر $P_A = 0$ X_A صفر می شود،
- یعنی کسر مولی گاز در مایع صفر است و گاز از مایع حذف می شود.

۲-۵- روشهای حذف گازها

روشهای حذف گازها: روشهای شیمیایی و روشهای فیزیکی
ویژگیهای روشهای فیزیکی؛

- حذف گازها صد در صد نیست
- برای حجم زیاد آب و تعداد زیاد گاز توجیه اقتصادی دارند.
- سرمایه گذاری اولیه زیاد

ویژگیهای روشهای شیمیایی؛

- برای حذف کامل گازها کاربرد دارد.
- هزینه روزمره زیاد
- برای مقادیر کم آب و مقادیر کم ناخالصی گازی مفید است.

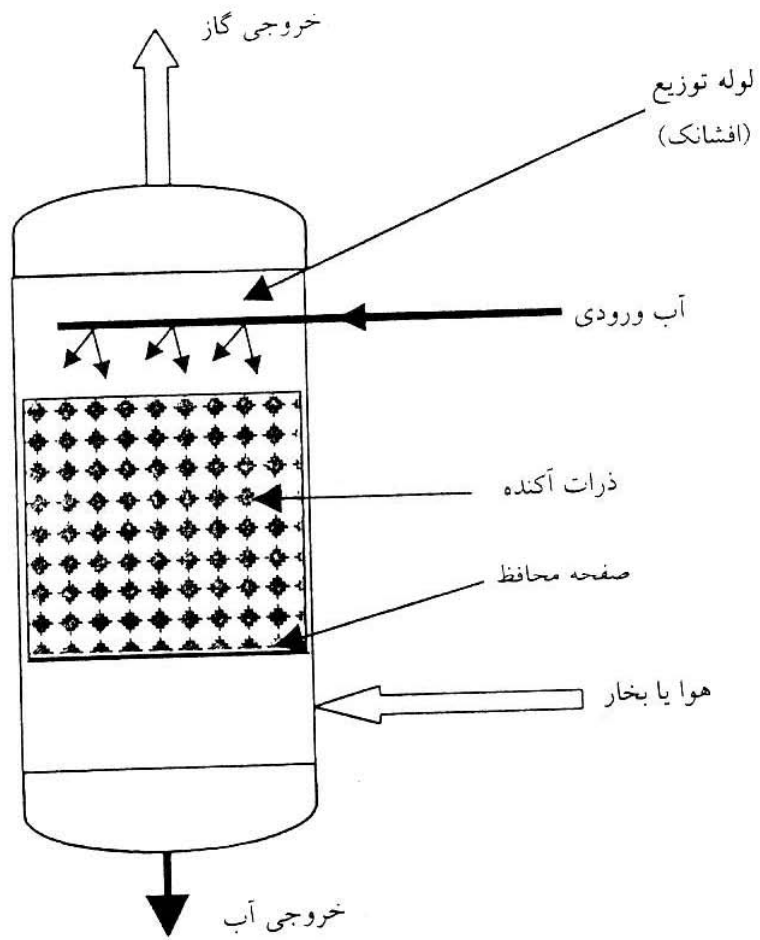
۱-۲-۵ روش های فیزیکی حذف گازها

حذف گازها به روش فیزیکی به دو صورت انجام می شود:

- هوادهی
- هوازدایی ؛ سرد و گرم
- اساس هر دو روش قانون هنری است.
- به واحدی که در آن هوادهی انجام می شود در واحدهای تصفیه آب صنعتی، دی گازاتور گفته می شود.
- در واحدهای شهری و فاضلاب. واحد هوادهی می گویند.

۱-۱-۲-۵- دی گازاتور و اصول کار آن

- دی گازاتور برجی است که آب در آن از بالا به پایین (بوسیله افشانک) جریان دارد.
- همزمان با جریان آب، هوا یا بخار از پایین به سمت بالا حرکت می کند.
- حداکثر ممکن تماس باید بین هوا (بخار) و آب برقرار باشد. (شکل ۲-۵)
- چون فشار جزیی CO_2 در هوا (بخار) صفر است، طبق قانون هنری، غلظت CO_2 در آب نیز از نظر تئوری باید صفر باشد.



شکل ۲-۵. دی گزاتور از نوع برج آکنده

1. Aeration

2. Cold Deaerator

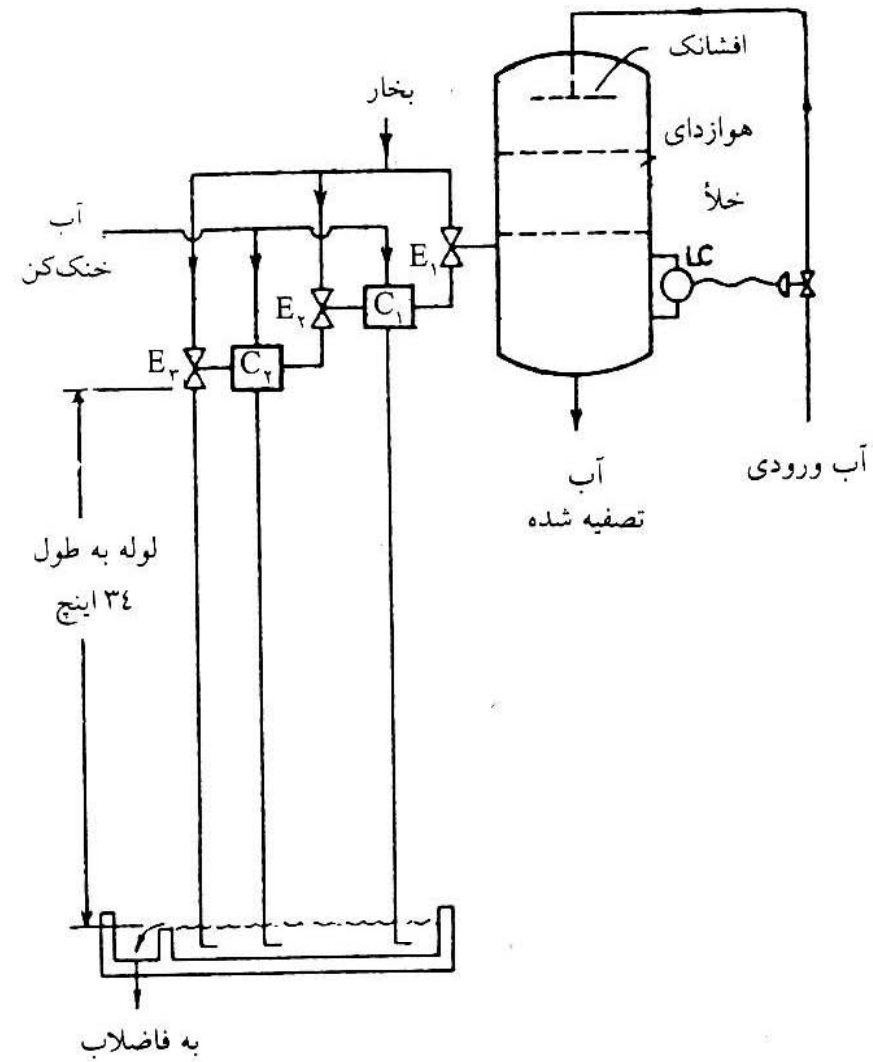
3. Hot Deaerator

۲-۱-۲-۵- کاربرد دی گازاتور و نحوه افزایش کارایی آن

- کار اصلی دی گازاتور کاهش CO_2 است.
- دی گازاتور غلظت همه گازهای ناخالص آب به جز اکسیژن را کاهش می دهد. برای افزایش کارایی دی گازاتور:
 - آب ورودی از طریق نازل یا افشانک به صورت قطرات ریز درمی آید.
 - داخلی برج سینی هایی تعبیه می کنند (برج های سینی دار)
 - در داخل برج ذرات پلاستیکی یا سرامیکی دارای سطح زیاد موسوم به آکنده قرار می دهند.

۲-۱-۲-۵- هوازدایی سرد

- با کاهش فشار نقطه جوش آب را پایین می آورند، آب به دمای اشباع می رسد
- فشار جزئی همه گازها به صفر کاهش می یابد ($P_A=0$) پس $X_A=0$
- از برج های سینی دار یا برج های آکنده استفاده می شود
- کاهش فشار بوسیله جت بخار یا پمپ مکانیکی انجام می شود (شکل ۳-۵)
- در هوازدایی سرد، CO_2 مشکل تراز O_2 حذف می شود.
- روش مطلوبی نیست (ایجاد خلاء مشکل است).



شکل ۳-۵ هوازدای سرد با جت بخار سه مرحله‌ای

۳-۱-۲-۵- هوازدایی گرم

- جهت حذف اکسیژن و سایر ناخالصی های گازی آب است.
- آب روی سینی های جدا کننده پاشیده می شوند؛ همزمان در همان جهت بخار آب نیز وارد می شود.
- در اثر دمای بخار، فشار بخار گازهای محلول برابر فشار هوای داخل هوازدا می شود.
- گازها محلول را ترک می کنند.
- اکسیژن در ضمن پاشش آب و بقیه گازها در تماس با بخار حذف می شوند.
- در نیروگاهها کاربرد گسترده دارد.

۲-۲-۵ - روش های شیمیایی حذف گازها

- برای حذف کامل گازها باید به روش شیمیایی اقدام نمود
- ۱-۲-۲-۵ حذف هیدروژن سولفور ه H_2S
- H_2S در آب در حال تعادل با HS^- و S^{2-} است.
- H_2S را به روش هوادهی نیز می توان در محیط اسیدی تا حدود ۱ ppm کاهش داد.
- حذف باقیمانده H_2S با کلر
- $H_2S + Cl_2 + 4H_2O \rightarrow SO_4 H_2 + 8HCl$

۲-۲-۲-۵- حذف کلر

کلر (Cl_2) آب را به چند روش می توان حذف کرد:

۱. استفاده از پودر زغال فعال؛

افزایش زغال فعال به حوضچه انعقاد سازی یا عبور آب از

فیلتر محتویزغال فعال

ادامه حذف کلر

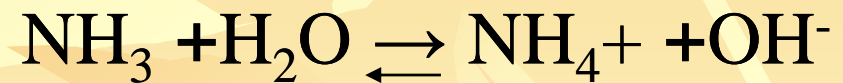
۲- با $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ یا NaHSO_3 یا CaSO_3 (گران)



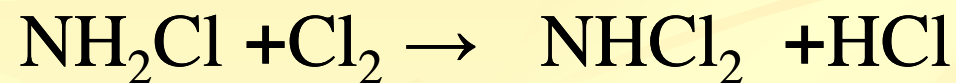
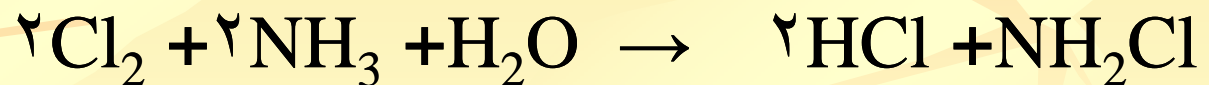
کلر صد در صد حذف نمی شود.

حذف آمونیاک NH_3

- آمونیاک در آب های صنعتی کم و در فاضلابها زیاد است.
- آمونیاک در تعادل با NH_4^+ است.



- با هوادهی تمام NH_3 حذف نمی شود، بنابراین اگر مقدارش زیاد باشد ابتدا با هوادهی و سپس با کلر حذف می شود.



فصل ششم

تصفیه فاضلاب و پساب

مقدمه – باکتری ها در تصفیه آب و فاضلاب مهم هستند.

انواع باکتریها:

- ❖ **هتروتروفیک**؛ مواد آلی منبع انرژی و کربن آن ها
 - ❖ **اتوتروفیک**؛ CO_2 منبع کربن و اکسیداسیون مواد معدنی منبع انرژی آن ها
 - ❖ **فتوسنتزی**؛ CO_2 منبع کربن آنها و نور منبع انرژی آن ها
- اندازه باکتری ها در حدود میکرومتر یا میکرون است.
- باکتریها از نظر تأمین اکسیژن مورد نیاز سه دسته هستند؛
- هوازی از اکسیژن محلول آب، بی هوازی از اکسیژن موادی مثل NO_3^- و $SO_4^{=}$ و
- ...
- و اختیاری در حضور یا عدم حضور اکسیژن قادر به حیات.

۱-۶- فاضلاب شهری

۱-۱-۶- تعریف فاضلاب شهری

مجموعه فاضلاب های بهداشتی، اداری و مؤسسات مختلف شهری و نیز آب های سطحی مثل باران که جهت حفظ بهداشت عمومی و محیط زیست پس از جمع آوری به تصفیه خانه فاضلاب منتقل می شود. (جدول ۱-۶)

۲-۱-۶- هدف از تصفیه فاضلاب شهری

- از بین بردن عوامل بیماری زا
- حذف مواد آلی قابل تجزیه توسط میکروارگانیسم ها
- حذف مواد معلق و شناور
- کاهش کدریت و رنگ تا حد مجاز

جدول ۱-۶- ویژگی های تقریبی شاخص های فاضلاب شهری

ملاحظات	غلظت mg/L	شاخص
معرف تعفن پذیری فاضلاب و نیز تصفیه پذیری بیولوژیکی	200	BOD ₅
معرف غلظت مواد آلی در فاضلاب	400	COD
عامل کدورت فاضلاب	200	TSS
باعث کاهش اکسیژن، سم برای آبزیان و ماهی باعث رشد جلبک ها	۳۰	نیتروژن امونیاکی
باعث رشد جلبک ها	۱۰	فسفر

جدول ۶-۲ - شاخص های استاندارد فاضلاب تصفیه شده

پارامتر	متوسط ماهانه	متوسط هفتگی
BOD5 (بر حسب mg/l)	۳۰	۴۵
TSS (mg/l)	۹۰	۱۳۵
PH	6-9	6-9
کلیرم روده ای (MPN)	۲۰۰	۴۰۰

۳-۱-۶- تفاوت فاضلاب شهری و پساب صنعتی

■ فاضلاب شهری از نظر کمی و کیفی قابل پیش بینی و جریان آن مداوم است:

معمولاً به ازاء هر نفر ۳۴۰ لیتر و $BOD/COD = ۰.۵$

■ فاضلاب شهری محتوی باکتری و مواد مغذی برای آنها ولی پسابها گاهی محتوی مواد سمی برای میکروبها است و مواد آلی آن شاید قابل تجزیه با باکتری نباشد.

■ پساب صنعتی را قبل ورود به شبکه فاضلاب شهری باید تصفیه مقدماتی کرد.

۴-۱-۶- مراحل و واحدهای تصفیه فاضلاب شهری

تصفیه اولیه، تصفیه ثانویه و تصفیه پیشرفته

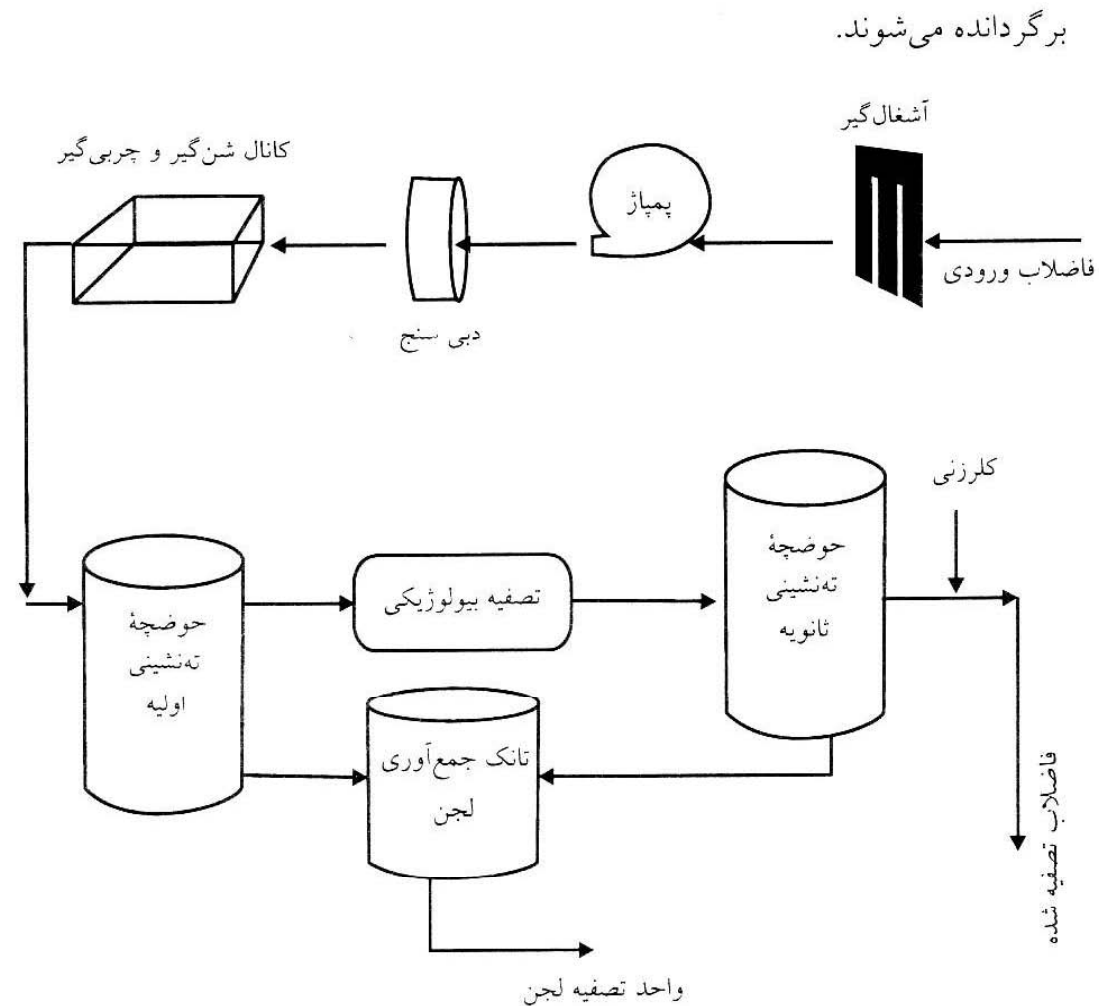
۴-۱-۶-۱- تصفیه اولیه یا تصفیه مکانیکی یا فیزیکی؛

شامل واحدهای؛ (شکل ۱-۶)

- آشغالگیر، درشت و ظریف جهت حذف مواد جامد شناور و درشت
- ایستگاه پمپاژ؛ جهت انتقال فاضلاب به قسمتهای مختلف و بی نسج
- کانال شن گیر و چربی گیر
- تانک یا حوضچه ته نشینی، آخرین بخش، توقف ۲ - ۱۲ ساعته جهت ته نشین شدن ذرات

طی تصفیه اولیه، ۴۰ تا ۶۰٪ مواد جامد (TSS) و حدود ۳۵ درصد BOD5 حذف می شود.

تصفیه فاضلاب و پساب ۱۲۹



۲-۴-۱-۴- تصفیه ثانویه (بیولوژیکی)

- تصفیه ثانویه یعنی کاهش مواد آلی قابل تجزیه بوسیله باکتریها (BOD) است.
- باکتریها از مواد آلی و مواد معدنی موجود در فاضلاب تغذیه می کنند.
- باکتریها به اکسیژن، کربن، ازت و فسفر بیش از سایر مواد نیاز دارند.
- عناصر دیگر مورد نیاز باکتریها، S, K, Ca و Mg هستند.
- مواد سمی نظیر فنل، فلزات سنگین و ... نباید حضور داشته باشد.
- مقدار H و P باید متناسب با BOD_5 فاضلاب باشد، اگر کمتر باشد، باید اضافه شوند.

روشهای مختلف تصفیه بیولوژیکی فاضلاب

سه روش تصفیه بیولوژیکی عبارتند از: سیستم لاغونی یا برکه ای، روش فیلترهای چکنده و سیستم لجن فعال

۱-۲-۴-۱-۶- سیستم لاغونی (برکه ای) یا تصفیه طبیعی فاضلاب

■ لاگون یا گودالی به عمق ۳ تا ۵ متر و عرض چند متر و طول چند صد متر است.

■ فاضلاب وارد لاگون (برکه) می شود به آرامی خارج می شود.

■ طی عبور آب از لاگون، مواد آلی بوسیله باکتریهای هوازی تجزیه می شوند.

■ مواد معلق ته نشین می شوند.

■ زمان توقف (مانند) $T = V/Q$ و V حجم لاگون و Q دبی جریان فاضلاب و زمان توقف معمولاً ۳ تا ۸ ماه است).

■ فاضلاب خروجی برای مصارف کشاورزی قابل استفاده است.

شرایط مناسب جهت عملکرد مناسب سیستم لاگون

- کاهش زمان ماند یا توقف فاضلاب در لاگون از طریق کاهش عمق لاگون
- رقیق کردن فاضلابهای غلیظ با آب کم تر آلوده.
- کمک به رشد جلبک ها (تولید اکسیژن بیشتر) و یا در مواردی جلوگیری از رشد آنها (لاشه آنها مواد آلی است):
- هوادهی برکه ها جهت کاهش زمان ماند برکه های تثبیت یا اکسایش سریع.

۲-۲-۴-۱-۶-روش فیلترهای چکنده

- در این روش تجزیه مواد آلی بوسیله باکتریها در بستر فیلتر چکنده انجام می شود.
- فیلترهای چکنده، فیلترهایی با ابعاد خیلی بزرگ هستند. ارتفاع آنها چندین متر است.
- آب از بالای فیلتر بوسیله نازل روی بستر فیلتر پاشیده می شود.
- ذرات درشت در بالای فیلتر و ذرات ریز در پایین قرار دارند.
- از پایین فیلتر هوا وارد می شود.
- برای کارایی بهتر، قسمتی از فاضلاب خروجی را به ورودی برگشت می دهند.

۳-۲-۴-۱-۶- سیستم لجن فعال

اجزاء اصلی این سیستم دو استخر هوادهی و ته نشینی می باشند.
در استخر هوادهی؛

- توده ای از میکروباها موسوم به لجن فعال با فاضلاب بطور کامل مخلوط می شود.
- مخلوط فاضلاب و لجن فعال بوسیله کمپرسورهایی هوادهی می شود (مدت ۵ تا ۷ ساعت)
- لجن حاصل که شناور است به استخر ته نشینی منتقل می شود.
- در استخر ته نشینی، لجن شناور ۳ تا ۵ ساعت می ماند تا ذرات معلق ته نشین شود.
- قسمتی از لجن فعال به استخر هوادهی برگشت داده می شود.

مقایسه سه روش های مختلف تصفیه بیولوژیکی

ویژگی یا عملکرد	لاگون	فیلتر چکنده	لجن فعال
هزینه زمین مورد نیاز	بیشترین	متوسط	کمترین
سرمایه گذاری اولیه	کمترین	متوسط	بیشترین
هزینه عملیاتی و بهره برداری	کمترین	متوسط	بیشترین
کیفیت فاضلاب خروجی	متوسط یا ضعیف	متوسط یا خوب	خیلی خوب
مقاومت در مقابل شوک غلظتی یا سموم	عالی	متوسط	خیلی ضعیف
تخصص کاربران و پرسنل بهره برداری	عادی	متوسط تا ماهر	مهارت زیاد

۳-۴-۱-۶- تصفیه پیشرفته

- قبل از دفع فاضلاب تصفیه شده (خروجی تصفیه ثانویه) به محیط زیست باید آن را ضد عفونی (کلرزنی) کرد.
- فاضلاب تصفیه شده را وارد واحد استخر کلرزنی می کنند.
- در استخر کلرزنی، فاضلاب به مدت ۱۵ دقیقه در مجاورت کلر تزریقی قرار می گیرد.
- برای حذف کامل میکروارگانیسم ها، فاضلاب ضد عفونی شده را به لاگون های جدادهی، منتقل می کنند.
- در این لاگون ها (استخرهای بزرگ) فاضلاب مدتی می ماند، میکروارگانیسم در اثر گرسنگی از بین می روند.
- اگر قرار باشد از فاضلاب تصفیه شده در صنعت استفاده شود باید ناخالصی های آن را تا حد مجاز کاهش داد (تصفیه پیشرفته)

۱-۳-۴-۱-۶- شیمی کلرزنی

منظور از کلر در تصفیه آب، گاز کلر، Cl_2 ، یا هیپوکلریت سدیم $NaClO$ (آب ژاول، مایع) و یا هیپو کلریت کلسیم (پرکلرین جامد) می باشد.

■ بین هیپوکلریت، $HClO^-$ و Cl_2 در آب تعادل زیر برقرار است:



■ قدرت باکتری کشی $HOCl$ صد برابر OCl^- است.

■ اگر PH پایین باشد، کلر بیشتر به صورت $HOCl$ خواهد بود.



■ اگر در آب یا فاضلاب آمونیاک باشد، با کلر ترکیب و کلر آمین ها تولید می شود (NCl_3 , $NHCl_2$, NH_2Cl).

■ کلر آمین ها خاصیت میکروب کشی ضعیف دارند.

۲-۳-۴-۱-۶- نکات مهم در کلرزنی

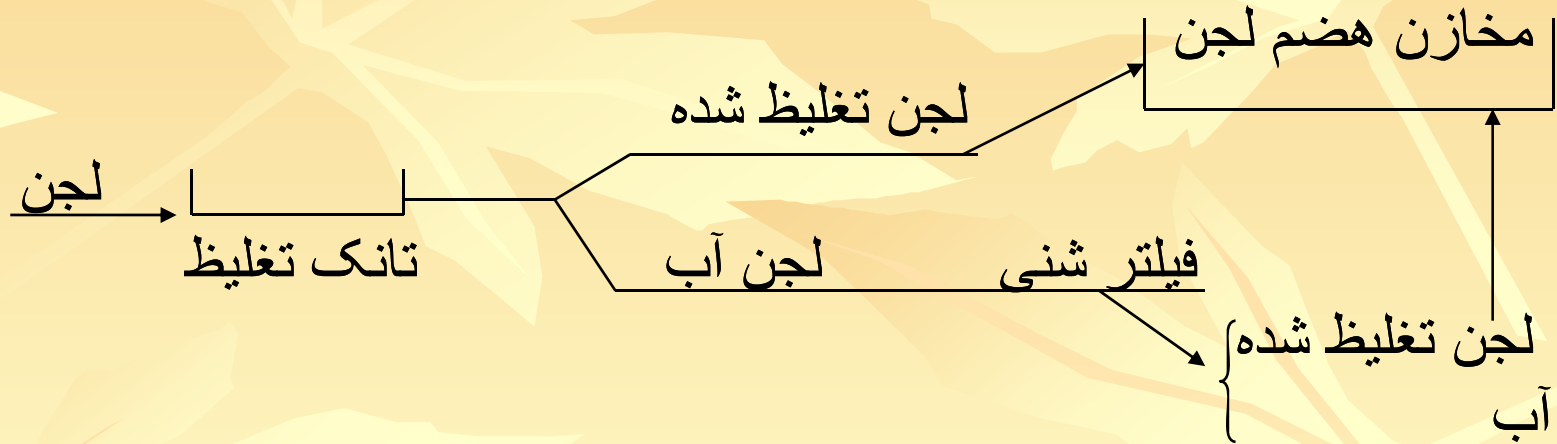
- هر چه کمتر باشد HOCl تفکیک نشده بیشتر است
- در $\text{PH} = 7.5$ (در دمای 25°C و $\text{TDS} = 40 \text{ mg}$) فقط ۵۰٪ کلر آزاد به صورت HOCl است. در $\text{PH} = 6.5$ ، ۹۰ درصد
- با کاهش دما درصد HOCl تفکیک نشده زیاد می شود.
- با افزایش TDS ، HOCl تفکیک نشده کاهش می یابد.
- بخشی از کل مصرفی، صرف اکسیداسیون موادی از قبیل یونهای نیتر و، فرو و مواد آلی می شود.

۳-۳-۴-۱-۶- فرمهای مختلف کلر در آب

- مجموع Cl_2 , NaClO و $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ ، OCl^- موجود در آب کلر آزاد باقیمانده نام دارند.
- کلر آمین ها، کلر ترکیبی باقیمانده هستند.
- کلر کل = کلر ترکیبی + کلر آزاد باقیمانده
- آب خروجی از حوضچه آهک زنی نیاز به کلرزنی ندارد.
- باکتریها و ویروس ها در PH بیش از ۱۰ قادر به ادامه حیات نیستند.

۴-۳-۴-۱-۶- سیستم جمع آوری و تصفیه لجن

لجن های جمع شده در تصفیه خانه های فاضلاب باید تصفیه و دفع شود.



در اثر فعالیت باکتریهای غیر هوازی در مخازن هضم لجن بیوگاز که ۵۰ تا ۸۰ درصد آن متان است تولید می شود.

۵-۱-۶- دفع فاضلاب تصفیه شده به دریا و رودخانه

آیا می توان فاضلاب تصفیه شده را به دریا یا رودخانه ریخت؟

بله به شرط رعایت موارد زیر:

- سبب آلودگی محیط زیست و به خطر افتادن شناگران نشود
- از طریق جزر و مد باعث آلودگی محیط نشود
- اکوسیستم موجودات زنده را تخریب نکند.
- غلظت آلاینده ها در پایین دست رودخانه از حد مجاز بیشتر نشود (خودپالایی رودخانه دچار مشکل نشود).

۶-۱-۶- آیا می توان پساب صنعتی را وارد فاضلاب شهری کرد؟

پساب صنعتی را باید تصفیه و سپس وارد فاضلاب شهری کرد.
با توجه به هزینه بالای تصفیه پسابهای صنعتی تدابیر زیر باید اتخاذ شود؛

- کاهش حجم پساب، از طریق؛ جدا کردن پساب فرایند از سایر پساب ها، کاربرد مواد خام با کیفیت بهتر، طراحی و نگهداری بهتر سیستم و ...،
- کاهش غلظت آلاینده ها، مثلاً مخلوط کردن پساب آلوده با پساب کمتر آلوده
- یکنواخت سازی پساب، ممکن است کیفیت پساب متغیر باشد.
- خنثی سازی؛ تثبیت PH در محدوده ۶-۹ از طریق اختلاط فاضلاب اسیدی، قلیایی یا افزایش سود یا آهک و یا اسید.

۷ - فصل هفتم رسوب گذاري و خوردگي آب

مقدمه - آبهاي طبيعي، در اثر گرم شدن رسوباتی بر جاي مي گذارند، همچنين اين آبها باعث خوردگي فلزات نيز مي شوند.

هزينه ساليانه ناشي از رسوب گذاري و خوردگي آب در جهان بيش از صد ميليارد دلار بر آورد مي شود. رسوبات بسيار سخت که چسبندگي زيادي دارند مشكلي اساسي از صنعت هستند.

يك ادعا يا يك واقعيت براي جلوگيري از رسوبگذاري آب

. مراجع متعددي ادعا مي‌کنند، با عبور آب از ميدان مغناطيسي تمايل آب به رسوب گذاري از بين مي‌رود.

. مکانيسم عمل تأثير ميدان مغناطيسي در جلوگيري از ايجاد رسوب بخوبي شناخته نيست.

. نظرات محققين مختلف در اين باره متنوع است

. به هر صورت، تصفيه مغناطيسي واقعيتي است که وجود دارد اگر چه تکرار پذيري آن تضمين نمي‌شود.

۱-۷- علل تشکیل رسوب (Scale)

منظور از رسوب یا Scale ، رسوبی بسیار متراکم و چسبنده به جدار ظرف است.

شرایط و علل لازم برای ایجاد رسوب:

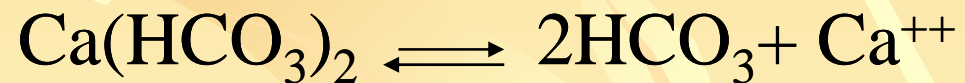
- اشباع شدن محلول
- فوق اشباع شدن املاح
- تشکیل نخستین هسته‌های بلور
- رشد بلور
- تشکی لایه‌های رسوب
- از نظر ترمودینامیکی باید شرایط بریا رشد بلور و تشکیل لایه‌های رسوب متراکم و چسبنده فراهم باشد.

۲-۷- عوامل مؤثر روی کیفیت و کمیت رسوب

- جنس سطح، مقدار رسوب روی سطوح ناصاف خیلی بیشتر و رسوب چسبنده‌تر است.
- PH و قلیانیت آب؛ روی کمیت و کیفیت رسوب تأثیر دارد.
- زمان و سرعت رسوب کردن؛ هر چه سرعت رسوب کردن کندتر باشد، رسوب متراکم‌تر و سفت‌تر، با گذشت زمان چسبندگی و رسوب بیشتر.
- عوامل دینامیکی – تلاطم و جریان آب باعث سفت و سخت‌تر شدن رسوب می‌شود.

۳-۷- پیش‌بینی تشکیل رسوب به روش لانجلیر

- با روش لانجلیر امکان تشکیل رسوب کربنات کلسیم بررسی می‌شود.
حلالیت CaCO_3 بر اساس تعادل‌های زیر قابل تفسیر است:



روش لانجلیر

$$\text{LSI} = \text{PH} - \text{PH}_s$$

PH مقدار PH واقعی آب، PH_s سیستم تعادلی (اشباع) اگر $\text{LSI} = 0$
تعادل $\text{LSI} > 0$ تمایل به رسوب‌گذاری $\text{LSI} < 0$ تمایل به انحلال

PH_s از روی TDS، اما، غلظت کلسیم و قلیائیت کل محاسبه می‌شود

مثال

مثال ۷-۱- آبی با مشخصات زیر را در نظر بگیرید:

$$PH = 7.5 \quad TDS = 320 \text{ PPM} \quad M = 34 \text{ PPM}$$

غلظت کلسیم آب ۱۵۰ ppm معادل کربناتی است.

آیا این آب تمایل به رسوب‌گذاری دارد یا خیر؟ دمای 25°C می‌باشد.

$$LSI = PH - PHS$$

$$PH_s = (9.3 + A + B) - (C + D)$$

$$A = 0.1 [\log TDS - 1] = 0.15$$

$$B = -13/12 \log(1+273) + 34.55 = 2/09$$

$$0.4 = \log 150 - 0.4 = 1/78 \quad -C = \log[ca^{2+}]$$

$$D = \text{Log (قلیالیت کل)} = \log 34 = 1.53$$

$$PHS = (9.3 + A + B) - (C + D) = 8.23$$

$$LSI = 7.5 - 8.23 = -0.73$$

بنابراین این آب تمایل به انحلال رسوب دارد نه رسوب‌گذاری

۴-۷-اندیس رایزنار

رایزنار با تجزیه و تحلیل نتایج تجربی آب‌های رسوب‌گذاری و خورنده اندیس لانجیلر را به صورت زیر اصلاح کرد.

$$SI = 2PH_s - HP$$

اگر $SI > 6$ آب تمایل به انحلال رسوب کربنات کلسیم دارد.

اگر $SI < 6$ آب تمایل به رسوب‌گذاری دارد.

برای آب ساکن یا دارای سرعت کم پیش‌بینی با LSI دقیقتر

برای آب‌های جاری (با سرعت بیش از 0.6 m/s) پیش‌بینی با SI بهتر است.

۵-۷- عوامل مزاحم در پیش‌بینی اندیس‌ها

- املاح زیاد آب؛ برای آب‌های شور اندیس‌های جدیدی تعریف شده است.
- مواد افزودنی به آب؛ این مواد در چگونگی ایجاد رسوب تأثیر دارند.
- بالا بودن قلیائیت سدیمی؛ باعث افزایش حلالیت کلسیم می‌شود.
- آلودگی سطوح به مواد چربی و روغنی
- غلظت زیاد فسفات و مواد آلی
- جلبک‌ها

۶-۷- اصلاح مجدد رابطه انجلیر

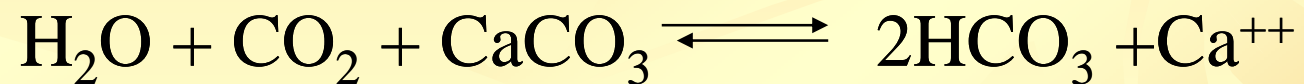
$$LSI = PH - PH_C$$

در این رابطه به جای PH_S در رابطه لانجلیر PH_C (PH بحرانی) قرار داده شده است.

PH_C به طور تجربی بدست می آید.

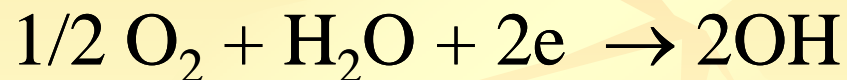
نمونه‌ای از آب محتوی $CaCO_3$ را با سود تیتر می‌کنیم و PH را بر حسب حجم سود رسم می‌کنیم.

در نمودار حاصل ماکزیمی مشاهده می‌شود، PH مربوط، PH_C است.



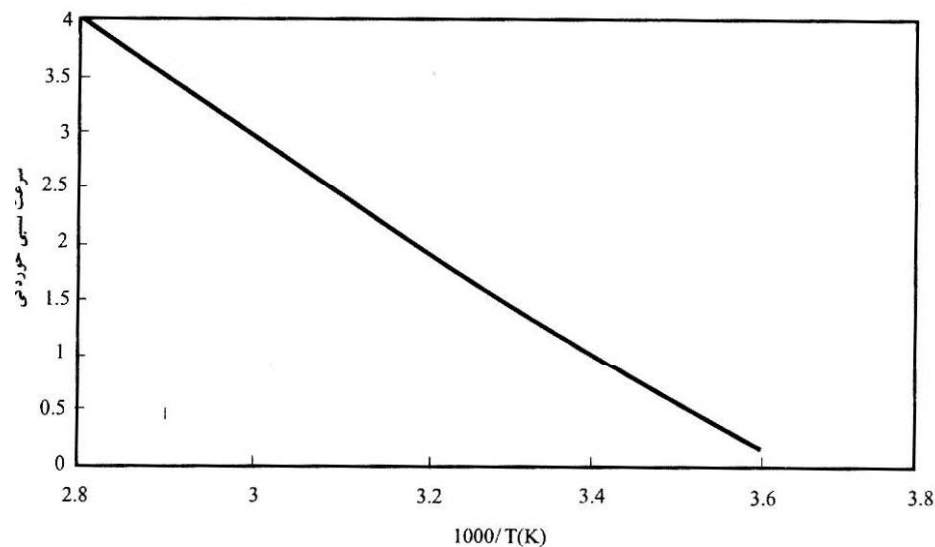
۷-۷- خوردگی آب و عوامل مؤثر بر آن

هر چه H^+ و O_2 بیشتر باشد، خوردگی نیز بیشتر خواهد بود. (شکل ۷-۳)

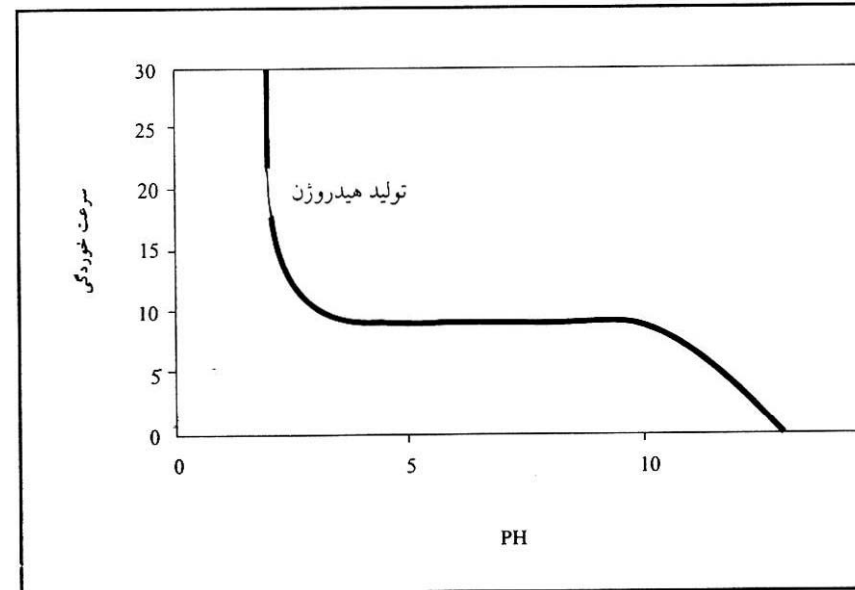


درجه حرارت؛ افزایش دما سرعت واکنش را زیاد می‌کند (شکل ۷-۴)

سرعت آب؛ باد و مکانیسم الکتروشیمیایی و انتقال جرم



شکل ۷-۴. سرعت نسبی خوردگی برحسب دما برای آهن در تماس با آب



شکل ۷-۳. اثر pH روی سرعت خوردگی آهن در دمای اتاق در آب هوادهی شده

پس مکانیسمی که کندتر باشد، کنترل کننده سرعت کلی خوردگی است.

ادامه عوامل مؤثر بر خوردگی آب

- کلر باقیمانده (Cl_2 , ClO^-)؛ اکسیدکننده‌های قوی هستند.
- یون کلرید (Cl^-)؛ یون مهاجم سبب تشدید خوردگی می‌شود.
- باکتری‌ها؛ با افزایش یا کاهش PH خوردگی را تسریع می‌کنند.
- مهمترین این باکتری‌ها: احیاکننده سولفات، احیا کننده نیترات؛ مواد متان و ...
- بررسی‌ها نشان می‌دهند که آب استرلیزه شده و فاقد باکتری در لوله‌های آهنی کمتر از آب غیر استرلیزه باعث خوردگی می‌شود.

۸ - فصل هشتم

اسمز معکوس

مقدمه - تعریف، کاربرد و تاریخچه اسمز معکوس

- اسمز معکوس فرایندی فیزیکی است.
- با اسمز معکوس می‌توان از محلول، حلال تقریباً خالص را جدا کرد.
- ۹۹٪ مواد معدنی و ۹۷٪ مواد آلی و کلونییدی آب را می‌توان حذف کرد.
- اقتصادی‌ترین روش تهیه آب آشامیدنی از آب شور در مناطق کم‌آب است.
- کل ظرفیت روزانه واحدهای اسمز معکوس در جهان در سال ۱۹۹۸، ۱۱.۳ میلیون متر مکعب بوده است که رو به افزایش است.

۱-۸- اساس کار اسمز معکوس

فشار اسمزي

اگر فشار p ($P > \pi$) به ستون سمت راست وارد شود، مولکول‌هاي آب به سمت چپ رانده مي‌شوند، اسمز معکوس .

فشار اسمزي بستگي دارد به:

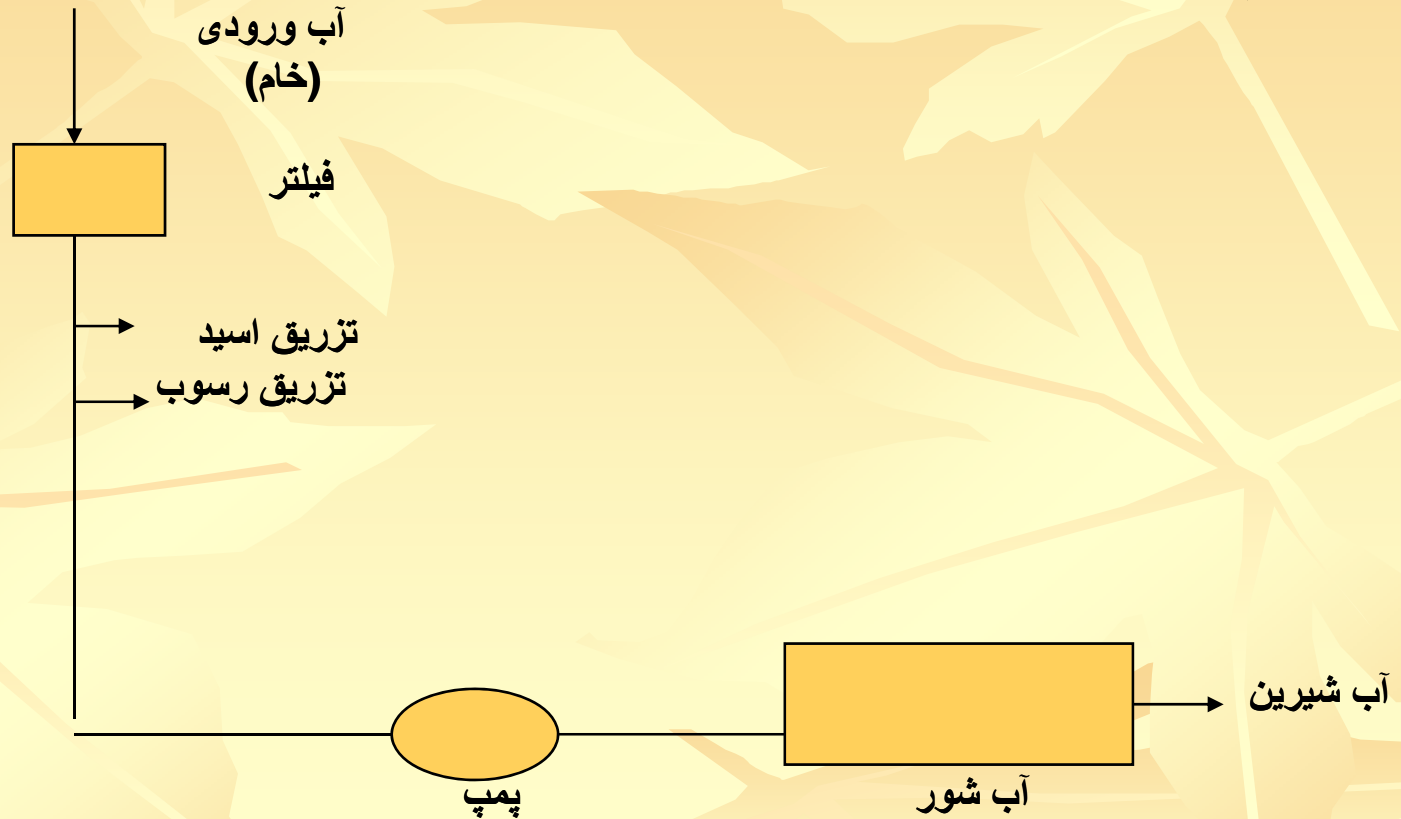
- نوع ناخالص (ماده حلشده) در محلول‌هاي نسبتا غليظ
- غلظت ناخالص؛

$$MRT = \pi$$

M مولار يته ناخالصي ها T دماي مطلق $R =$ ثابت گاز ها

۲-۸- تکنولژی اسمز معکوس

آب خام بوسیله پمپ به محفظه دارای غشا نیمه تراوا (مدول) وارد می‌شود. در مدول آب روی غشا تحت فشار است. ناخالصی‌ها عبور نمی‌کنند. مولکول‌های آب عبور می‌کنند. فشار لازم برای آب شور ۲۵ - ۱۲ اتمسفر و آب دریا ۸۰ - ۵۴ اتمسفر



شکل ۲-۸ اجزاء اصلی یک سیستم اسمز معکوس

۳-۸- مقایسه اسمز معکوس با فیلتراسیون معمولی

- در هر دو روش ناخالصي که در اثر فشار از آب جدا مي‌شوند.
- در فیلتراسیون جریان آب عمود بر بستر فیلتر است در اسمز معکوس موازي
- گرفتگی غشاء در اسمز کمتر از فیلتر است.
- در اسمز معکوس دو جریان خروجي وجود دارد، آب تصفیه شده و خوراک تغلیظ شده
- تأثیر دما در اسمز معکوس دوگانه است. افزایش π و کاهش ویسکوزیته
- در فیلتر سیر حرکت اب منافذ در اسمز معکوس آب از طریق نفوذ (توسط شاخه هاي پلیمري آبدوست) از غشاء عبور مي‌کند.

۴-۸- اصطلاحات مهم در اسمز معکوس

مدول (module)؛ مجموعه غشاء و محفظه تحت فشار پلاریزاسیون غلظتی؛ تفاوت غلظت املاح (یون‌ها) در دو طرف غشا که باعث کاهش کیفیت آب شیرین می‌شود و فشار اسمزی را نیز افزایش می‌دهد. افزایش میزان آب شور خروجی

درصد بازیافت R

$$R = 100 \times (\text{دبی خوراک} / \text{دبی محصول})$$

درصد عبور نمک

$$100 \times (\text{مقدار نمک در خوراک} / \text{مقدار نمک در محصول}) = \text{درصد عبور نمک}$$

فاکتور تغلیظ CP

$$CP = 100 / (100 - \text{درصد بازیافت})$$

درصد طرد

$$\text{درصد عبور نمک} - 100 = \text{درصد طرد}$$

مثال ۸-۱

اگر مشخصات آب خوراك به صورت زیر باشد، آنالیز آب نشور خروجی از يك واحد اسمز معكوس را تعیین کنید (غلظت‌ها به معادل کربناتی هستند)

$$\text{PH} = 8.2 \quad \text{Ca}^{2+} = 100 \quad \text{M} = 134 \quad \text{TDS} = 400$$

درجه پلاریزاسیون غلظتی از ۱.۱۳ و درصد بازیابی را ۶۰٪ بگیرید.

$$C_p = (100 - 100/R) = 100 / (100 - 60) = 2.5$$

به علت پلاریزاسیون:

$$CP = 2.5 \times 1.13 = 2.825$$

به علت پلاریزاسیون:

$$CP = 2.5 \times 1.13 = 2.825$$

بنابراین غلظت املاح در آب شور:

$$\text{TDS} = 400 \times 2.825$$

$$\text{Ca}^{2+} = 100 \times 2.825$$

$$\text{M} = 134 \times 2.825 = 379$$

$$[\text{Co}_2] = \text{M} / 10 = 37.9 \quad \text{PPM}$$

$$\text{PH} = \text{M} \log/[\text{Co}_2] + 3/6 = \log 379/(1.7) + 6.3 = 8.65$$

۸- ۵ - دبی آب تصفیه شده (دبی محصول) Q_w در اسمز معکوس

$$Q_w = (kwA(\Delta P - \Delta\pi) / L$$

$$\Delta P = \text{اختلاف فشار دو طرف غشا}$$

$\Delta\pi = \text{اختلاف فشار اسمزی دو طرف غشا} = \text{فشار اسمزی محصول} - \text{فشار اسمزی آب شود.}$

$Kw = \text{ضریب تراوایی غشا برای مولکول های حلال که به جنس و چگونگی طراحی دستگاه اسمز معکوس بستگی دارد.}$

$$L = \text{ضخامت دیواره غشا}$$

$$A = \text{مساحت غشا}$$

۶-۸- دبی نمک عبودی از غشا به داخل محفظه آب تصفیه شده

$$Q_s = K_S A (C_b - C_p)$$

C_b = غلظت نمک در قسمت آب شور

C_p = غلظت نمک در آب تصفیه شده

K_S = ضریب تراوایی غشا برای مولکول‌های ناخالصی

توضیح: از نظر تئوری فقط مولکول‌های آب می‌توانند از غشا عبور کنند ولی در عمل نمک‌ها و ناخالصی‌های موجود در آب به مقدار کمی از غشا عبور می‌کنند.

O_2 و CO_2 صددرصد از غشا عبور می‌کنند. (جدول ۲-۸)

جدول ۲-۸- درصد عبور بعضی از نمک‌ها از غشاء اسمز معکوس
(جنس غشاء پلی‌امید)

درصد عبور	فرمول نمک	درصد عبور	فرمول نمک
1	CaSO_4	1	MgSO_4
2	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	1	KHCO_3
3	NaCl	15	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$
3	NaHCO_3	15	NaNO_3
1	Na_2SO_4	15	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$
2	CaCl_2	3	CaF_2
2	$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$	6	NaF
3	KCl	6	KF
		3	MgF_2

۸-۸- ویژگی‌های عمومی غشاهای اسمز معکوس

- معمولاً از جنس استات سلولز، پلی فنیل اکسید و یا پلی آمید هستند.
- باید در مقابل عوامل شیمیایی یا بیولوژیکی مقاوم باشند.
- قدرت تحمل فشار داشته باشند.
- در برابر تغییرات PH مقاوم باشند.
- امروز با غشاها را از مخلوط مواد می‌سازند.

۷-۸- چگونه می‌توان عملکرد غشاهای را افزایش داد

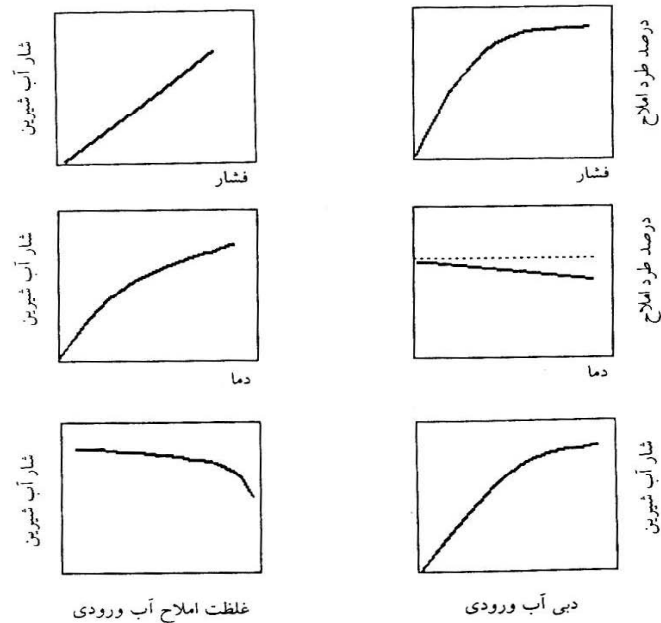
هر چه A (سطح غشا) و K_w (ضریب تراوایی غشا) بیشتر باشد، Q_w دبی آب تصفیه شده زیادتر خواهد بود. برای افزایش A تمهیدات زیر بکار می‌رود؛

- استفاده از لوله‌های باریک (در حدود میکرون) از جنس غشا
- استفاده از تعداد بسیار زیادی صفحه
- استفاده از صفحات حلزونی
- و برای افزایش K_w
- تکنولوژی ساخت غشاها بهینه می‌شود.
- غشاها را از مخلوط استات سلولز و تری استات سلولز می‌سازند.
- غشاها را از پلی سولفان باردار می‌سازند.

اثر متغیرهای موثر در عملکرد اسمز معکوس

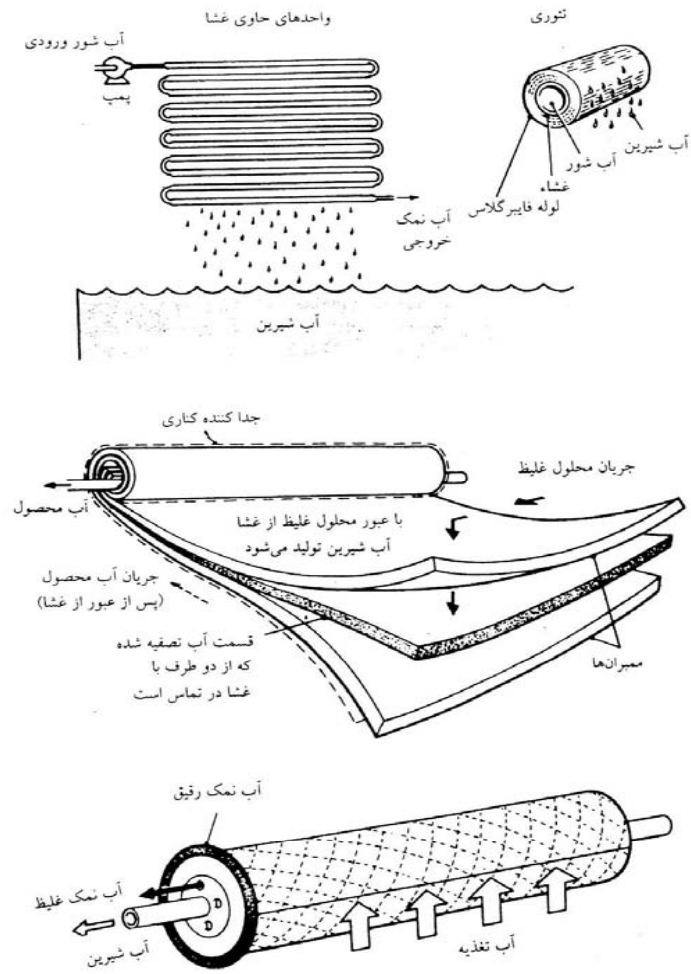
جدول ۸-۲. درصد عبور بعضی از نمکها از غشا اسمز معکوس

درصد عبور	فرمول نمک	درصد عبور	فرمول نمک
۱	CaSO_4	۱	MgSO_4
۲	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	۱	KHCO_3
۳	NaCl	۱۵	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$
۳	NaHCO_3	۱۵	NaNO_3
۱	Na_2SO_4	۱۵	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$
۲	CaCl_2	۳	CaF_2
۲	MgCl_2	۶	NaF
۲	$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$	۶	KF
۳	KCl	۳	MgF_2



شکل ۸-۴. اثر متغیرهای مؤثر در عملکرد اسمز معکوس

شکل ۸-۴



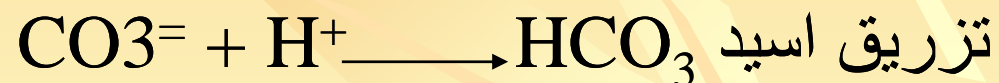
شکل ۸-۵. آرایش چند نوع غشا

۹-۸- نگهداري و مراقبت از غشا

- جهت محافظت غشا و تأمين اهداف زير آب ورودی به غشا باید تصفيه مقدماتی شود.
- ايجاد سازگاری بين آب و غشا
- کاهش میزان رسوب کردن مواد روی غشا
- کاهش میزان آلودگی بیولوژیکی غشا
- حذف بعضی از مواد صدمه زننده به غشا مانند کلر
- تنظیم PH
- کنترل قدمت اکسیدکنندگی آب ورودی (باید $DRP < 200$ باشد).

۱۰-۸- روش‌های کاهش یا جلوگیری از ایجاد رسوب روی غشا

کاهش سختی آب ورودی (آهک زنی - رزین‌های سدیمی)
افزایش دبی جریان آب شور و کاهش دبی آب تصفیه شده



افزایش سدیم هگزا متافسفات؛ باعث تعلیق رسوبات می‌شود. اشکال آن به فسفات کلسیم تبدیل می‌شود.

توصیه می‌شود از ارگانوفسفات‌ها یا به صورت مخلوط با آن استفاده شود.

افزایش NH_4OH یا اسید سیتریک جهت جلوگیری از رسوب‌های آهن

۱۱-۸- جنبه‌های اقتصادی اسمز معکوس

هزینه ها:

- سرمایه‌گذاری اولیه
- جایگزینی غشا (تعویض غشا)
- هزینه انرژی
- مواد شیمیایی

عمر مفید غشا استات سولزی یا پلی آمیدی برای تصفیه آب‌های با TDS تا حدود ۵۰۰۰ ppm در شرایط عبادی کمتر از سه سال نیست.

- هر چه غلظت املاح محلول آب بیشتر باشد، نیاز به افزایش بیشتر است.
- با پیشرفت تکنولوژی هزینه‌های تولید آب شیرین کاهش یافته است.

۱۲-۸- موارد کاربرد اسمز معکوس در تصفیه

آب

- تهیه آب شیرین از آب دریا (از تقطیر نیز ارزان تر است)
- تهیه آب شیرین از آب نیمه شور (الکترودیالیز نیز روش مناسب است).
- اگر $TDS > 400 \text{ ppm}$ آب باشد، اسمز معکوس روش مناسب برای تصفیه مقدماتی واحد تعویض یون است.
- اگر $TDS < 400 \text{ ppm}$ آب باشد، اسمز معکوس اقتصادی تر از تعویض یون است.
- اگر مواد آلی بیش از 15 g/l و یا سلبیکایی کلونیدی زیاد باشد اسمز معکوس، به عنوان تصفیه مقدماتی واحد تعویض یون خوب است.

۹ - فصل نهم

رزین‌های تعویض یونی

۹-۱- تعریف و ویژگی کلی رزین‌های تعویض یونی

- مدار جامدی هستند که یون‌های قابل تعویض [با یون‌های با بار مشابه خود] دارند.
- رزین کاتیونی؛ $2R - Na + Ca^{2+} \leftrightarrow R_2 Ca + 2Na^+$
- کاتیونی قابل تعویض، آنیون ثابت
- رزین آنیونی؛ $Z - OH + Cl^- \leftrightarrow Z - Cl + OH^-$
- آنیون قابل تعویض، کاتیون ثابت
- R و Z یک شبکه پلیمری است. شبکه پلیمری می‌تواند معرفی (پلی سیلیکات) یا آلی باشد.
- رزین‌ها را می‌توان متشکل از یک آنیون و کاتیون در نظر گرفت.

۲- تاریخچه رزین‌های تعویض یونی

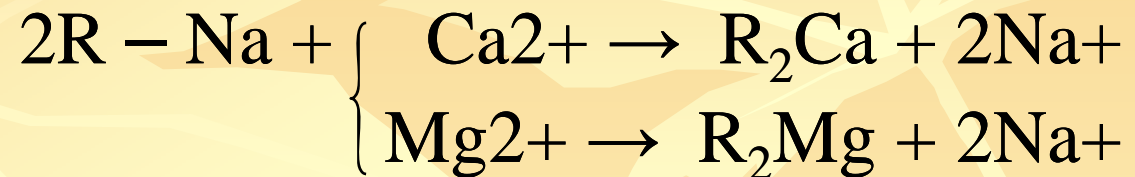
- اولین رزنی تعویض یونی، سیلیکات آلومینیوم در ۱۸۵۰ شناخته شد.
- زئولیت سدیم، رزین کاتیونی در طبیعت وجود دارد.
- اولین رزین کاتیونی هیدروژنی در سال ۱۹۳۰ ساخته شد.
- اولین رزین تعویضی یونی آنیونی در ۱۹۴۴ تولید شد.
- در حال حاضر رزین‌های تعویض یونی به طور سنتزی تهیه می‌شوند

۳-۹- انواع رزین‌های تعویض یونی

قوي	۱ - کاتیوني	انواع رزین‌های	o
در محدوده وسیع PH عمل می‌کنند، R گروهی مثل ...HSO ₃			o
ضعیف، در محدوده کوچکی از PH عمل می‌کند. محیط قلیایی	۲- آنیوني	تعویض یونی	o
R مثل -COO... قوي			o
در يك محدوده وسیع PH عمل می‌کند نوع ۱ و نوع	Z-OH	محیط	o
ضعیف			o
در يك محدوده کوچک PH عمل می‌کند در	اسیدی		o

۱-۳-۹- رزین های کاتیونی

۱- رزین های کاتیونی قوی نوع سدیمی، $R-Na$ همه یون های فلزی را با سدیم تعویض می کند، برای کاهش سختی آب بکار می رود.

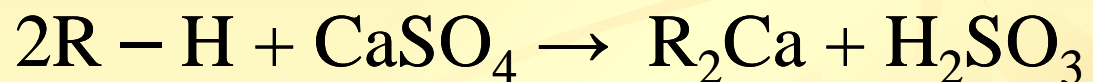


برای احیای آن، آن را با محلول $NaCl$ غلیظ شستشو می دهند.

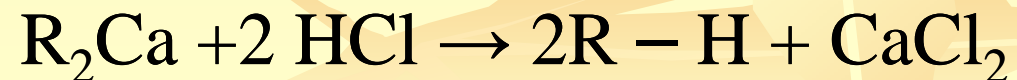


۲- رزین های کاتیونی هیدروژنی، $R-H$ ؛

قادر به جایگزین کردن یون های فلزی با H^+

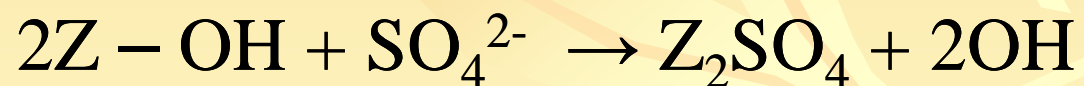


جهت احیای آن، با HCl شستشو داده می شود.

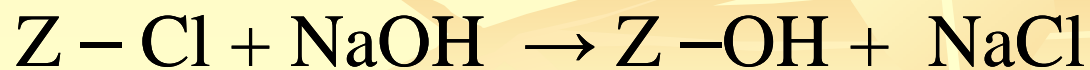


۲-۳-۹-رزین های آنیونی قوی

به صورت $Z - OH$ نشان می دهند.



برای احیای آن از باز قوی استفاده می شود



۳-۳-۹- رزین‌های کاتیونی ضعیف

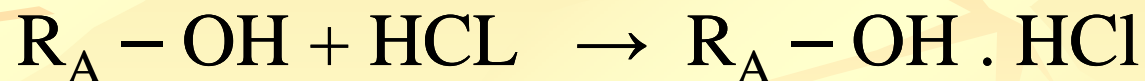
- R یا بنیان رزین -COO- است.
- نوع هیدروژنی آن در محیط خنثی به مقدار کم یونیزه می‌شود (مثل اسید ضعیف)
- در محیط قلیایی برآحتی H^+ خود را از دست می‌دهد.
- در محیط خنثی واکنش نمی‌دهد $2R_c - H + CaCl_2 \rightarrow$
در $PH > 7$:
- $2R_c - H + Ca(HCO_3)_2 \rightarrow R_2Ca + Co_2 + H_2O$
- رزین کاتیونی ضعیف را با هر اسیدی می‌توان احیا کرد.

۴-۳-۹- رزین‌های آنیونی ضعیف

به صورت $R_A - OH$ می‌توان آن را نشان داد.
مانند یک باز ضعیف به مقدار کم تفکیک می‌شود.
در محیط کاملاً اسید عمل می‌کند.

بازهای قوی مثل HCl و H_2SO_4 را حذف می‌کند ولی قادر به حذف
اسیدهای ضعیف مثل H_2CO_3 و H_2SO_3 نیست.

بیش‌تر جاذب اسیدها هستند تا تعویض‌کننده یون‌ها



در محیط خنثی واکنش نمی‌دهد $R_A - OH + H_2CO_3 \rightarrow$



موقع احیا اسید جذب شده (مثلاً HCl) با باز خنثی می‌شود.

۵-۳-۹- ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی رزین‌های تعویض یونی

مهمترین ویژگی‌های تعیین کننده عملکرد رزین‌های تعویض یون عبارتند از:

ویژگی‌های فیزیکی:

اندازه و ضریب یکنواختی دانه‌های رزین و دانسیته آنها
حالت فیزیکی رزین‌ها

ویژگی‌های شیمیایی؛

برگشت‌پذیری، ظرفیت و ضریب گزینش، تورم‌پذیری،
پایداری شیمیایی و گرمایی و محدوده PH عملکرد آنها

۶-۳-۹- برگشت‌پذیری رزین‌های تعویض یونی

برگشت‌پذیری یکی از مهمترین ویژگی‌های رزین‌های تعویض یونی است.



بر حسب ضرورت انجام هر مورد (سرویس رزین یا احیا آن) شرایط را باید آماده نمود.

هر چه سرعت واکنش‌های فوق بیشتر باشد، مطلوب‌تر است.

اگر رزین‌ها برگشت‌پذیر نباشند، تصفیه آب با رزین‌ها اقتصادی نیست.

۷-۳-۹- حالت فیزیکی رزین‌های تعویض یون

- رزین‌های تعویض یون باید جامد باشند.
- جامد ولی نرم و انعطاف پذیر
- اگر خشک و تر باشند می‌شکنند
- کمی حالت ژله‌ای نیز داشته باشد.
-
- دانه‌های رزین متخلخل باشند
-
- حالت ژله‌ای رزین باعث می‌شود که هنگام شستشو به حالت معلق درآید.
- با تغییر درصد مواد اولیه هنگام سنتز آنها، می‌توان رزین ژله‌ای مطلوب را تهیه کرد.

۸-۳-۹- گروه یونی ثابت در رزین های مختلف

گروه یونی چسبیده به شبکه پلیمری نوع رزین را مشخص می کند.

در رزین اسیدی قوی، معمولا یون سولفات SO_3^- است.

در رزین اسیدی ضعیف، معمولا یون کربوکسیلات COO^- است.

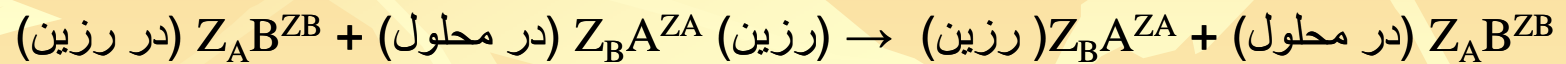
در رزین بازی قوی نوع ۱، معمولا یون $\text{CH}_2\text{N}^+(\text{CH}_3)_3$ است.

در رزین بازی قوی نوع ۲، معمولا یون $\text{N}^+(\text{CH}_3)_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ است.

در رزین بازی ضعیف معمولا آیت های نوع اول یا دوم یا سوم هستند.
 $\text{NH}_2 -$ ، $\text{NH} -$ ، $\text{N} -$

۹-۳-۹- ضریب گزینش رزین های تعویض یونی

برای تعویض یون B^{ZB} یک رزین با یون A^{ZA} تعادل زیر را می توان نوشت.



اگر q_A و q_B به ترتیب نرمالیتته A و B در رزین و C_A و C_B به ترتیب نرمالیتته A و B در محلول و

$$Q = q_A + q_B \quad \text{و} \quad C_0 = C_A + C_B$$

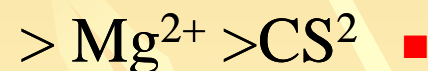
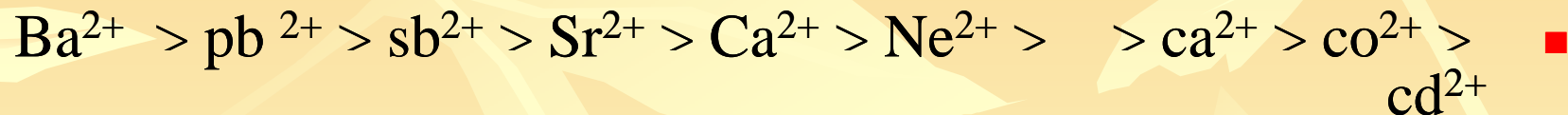
$$Y_A = q_A / Q \quad Y_B = q_B / Q \quad X_A = C_A / C_0 \quad X_B = C_B / C_0$$

$$Y_A^{ZB} / (1 - Y_A)^{ZA} = K_B^A (Q/C)^{ZA-ZB} \times X_A^{ZB} / (1 - X_A)^{ZA}$$

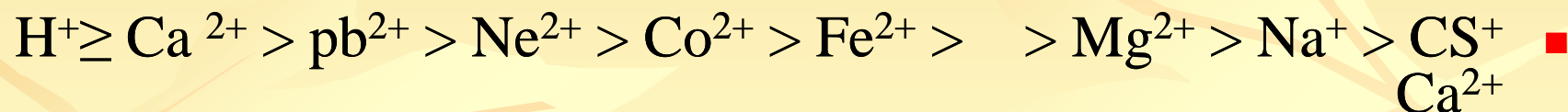
y_A^{ZB} هر چه بیشتر باشد، میزان تمایل به تعویض A با B زیادتر خواهد بود.

۱-۳-۹- ترتیب علاقه‌مندی رزین‌ها به تعویض یون‌ها به صورت زیر است:

■ در رزین اسیدی قوی؛



■ در رزین اسیدی ضعیف؛



■ در رزین بازی قوی؛



■ در رزین بازی ضعیف؛



مثال در مورد تعویض یون با توجه به رابطه ضریب گزینش

اگر یک رزین اسیدی دارای یون متحرک H^+ در محلولی قرار گیرد که کاتیون آن فقط Ca^{2+} باشد، در این حالت داریم:

$$B=H^+ \quad A=Ca^{2+} \quad Z_B = 1 \quad Z_A = 2$$

$$Y_{Ca} / (1 - Y_{Ca})^2 = K_H^{Ca} (Q/C) \cdot X_{Ca} / (1 - X_{Ca})^2$$

غلظت Ca^{2+} در شبکه رزین، Y_{Ca} به Q/C بستگی دارد.

Q ظرفیت رزین ثابت، پس هر چه C ، غلظت محلول کمتر باشد، Y_{Ca} بیشتر خواهد بود. در محلول رقیق‌تر تمایل به تعویض زیادتر است.

۱۱-۳-۹- ظرفیت رزین

ظرفیت رزین معیاری از توانایی رزین برای تعویض یون می‌باشد؛ ظرفیت رزین به دو صورت بیان می‌شود؛

ظرفیت جرمی؛

تعداد امیلی اکی والان یونی که هر گرم رزین می‌تواند،
تعویض کند

ظرفیت حجمی؛

تعداد میلی اکی والان یونی که هر میلی لیتر رزین می‌تواند
تعویض کند.

۱۲-۳-۹- روش تعیین ظرفیت جرمی رزین اسیدی قوی

- رزین را کاملاً به فرم ئیدروژنی تبدیل می‌کنیم و پس از شستشوی کامل با آب مقطر، خشک می‌کنیم.
- وزن معینی از رزین خشک را در ارلن ریخته و آب مقطر اضافه می‌کنیم.
- مقداری کلرید سدیم خالص اضافه کرده و خوب هم می‌زنیم.
- در مقابل معرف متیل اورانژ با سود با فرمالیته N تیتراً می‌کنیم، اگر وزن رزین = w ، T = حجم سود مصرف شده
- meq/g ظرفیت جرمی
- اصول کلی تعیین ظرفیت حجمی، به همین ترتیب است. فقط حجم معینی از رزین را باید برداشت.

مثال در مورد کاربرد ظرفیت رزین ها

اگر ظرفیت حجمی رزینی ۲ باشد، به ازاء هر لیتر رزین سختی چند لیتر آب دارای سختی کل ۱۰۰ ppm را می‌توان حذف کرد؟

$$NV = N_w \quad V_w$$

$$\text{نرمالیتة سختی} = 0.1/50 = 0.002$$

$$1 \times 2 = 0.002 \times W_w$$

$$\text{لیتر} = V_w = 1000 = \text{حجم آب}$$

۱۳-۳-۹- تورم‌پذیری رزین‌ها

در ضمن مبادله یون‌ها، رزین‌ها دچار انبساط یا انقباض می‌شوند.

از هر سیکل رزین متحمل انبساط و انقباض می‌شود.

طراحی فیلتر رزین با توجه به این تغییر حجم رزین باید انجام شود.

رزین‌های اسیدی قوی کمتر از ۱۰٪ متورم می‌شوند.

رزین‌های اسیدی ضعیف تا ۱۰۰٪ متورم می‌شوند.

رزین‌های آنیونی‌تری و ضعیف ۵ تا ۲۰٪ متورم می‌شوند.

۱۴-۳-۹- محدوده pH عملکرد رزین‌ها

هر نوع رزینی در محدوده معینی از pH قادر به مبادله یون است.

به طور کلی:

رزین کاتیونی قوی: در هر pH

رزین کاتیونی ضعیف: در pH بزرگتر از ۴

رزین آنیونی قوی: در هر pH

رزین آنیونی ضعیف: در pH کمتر از ۹

۱۵-۳-۹- پایداري شیمیایی رزین‌ها

- رزین‌ها نباید در آب، الکترولیت‌ها و حلال‌های آلی قابل حل باشند.
- در محدوده دمایی مجاز باید پایدار باشند.
- رزین‌ها در مقابل تشعشعات رادیواکتیو و مواد اکسیدکننده قوی از قبیل، اسید نیتریک، کروم ۶ ظرفیتی، هالوژن‌ها آسیب‌پذیرند.
- اکسیژن در حد اشباع نیز می‌تواند سبب شروع ناپایداری رزین شود.

توجه: تحت هیچ شرایطی رزین‌های آنیونی در تماس با اسید نیتریک غلیظ قرار گیرد، سبب انفجار می‌شود.

۱۶-۳-۹- پایداری گرمایی رزین

- از هر رزین در يك محدوده دمایی معین که توسط سازندگان آن‌ها اعلام می‌شود، باید استفاده شود.
- معمولاً حداکثر دمایی مجاز رزین‌های کاتیونی 120°C و برای رزین‌های آنیونی بسیار متفاوت است و بستگی به نوع ماده رزین دارد.
- افزایش دما به بیش از حد مجاز باعث کاهش ظرفیت تبادل یونی آن می‌شود.

۱۷-۳-۹- ویژگی‌های فیزیکی مطلوب رزین‌ها

- رزین‌ها دانه‌های کروی به قطر ۳۰۰ تا ۱۲۰۰ میکرون هستند.

- اندازه موثر حدود ۷۰۰ میکرون و ضریب یکنواختی کمتر از ۱.۷ مطلوب‌تر است.

- دانسیته رزین‌ها به میزان رطوبت و ساختار آن‌ها بستگی دارد.

- معمولاً دانسیته نوع اسیدی حدود ۱.۲ و نوع بازی حدود ۱.۱ است.

۱۸-۳-۹- اقتصاد رزین‌ها

- قیمت هر حجم رزین آنیونی قوی حدود ۳ تا ۴ برابر کاتیونی قوی است.
- قیمت رزین‌های آنیونی و کاتیونی ضعیف تقریباً برابر است.
- قیمت رزین‌های ضعیف تقریباً سه برابر رزین‌های قوی است.
- هزینه روزانه رزین مربوط به مواد شیمیایی لازم برای احیا آن‌هاست.
- میزان نوع مواد شیمیایی با نوع رزین متفاوت است.

۱۹-۳-۹- مقایسه رزین‌های ضعیف و قوی از نظر راندمان احیا

- در مقایسه با رزین‌ها تعویض یونی قوی؛ رزین‌های تعویض یونی ضعیف قادر به تعویض همه یون‌ها نیستند ولی راندمان احیا بالایی دارند.
- کل یون‌های تعویض شده با رزین
- $$\text{راندمان احیا} = \frac{\text{یون‌های موجود در کل حجم ماده احیاکننده}}{\text{کل یون‌های تعویض شده با رزین}}$$
- $40\% < \text{راندمان احیا رزین‌های قوی}$
- $100\% \cong \text{راندمان احیا رزین‌های ضعیف}$
- رزین‌های ضعیف را می‌توان با اسید یا باز ضعیف و غلظت کم احیا کرد.

مثال در مورد حذف یون‌ها بوسیله رزین‌های مختلف آنالیز آبی به صورت زیر است؟

نوع ماده	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	سیلیکا	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ⁼	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	CO ₂
Ppm معادل کربناتی	200	50	120	5	۱۰	200	85	80	10	15

- مطلوب است، غلظت یون‌ها که در اثر عبور آب خام از واحدهای زیر حذف می‌شوند.
- الف) سختی‌گیر (رزین قوی سدیمی)
- حل: Ca²⁺ و Mg²⁺ موجود در آب با Na* رزین تعویض می‌شود؛
- ۲۰ + ۵۰ = ۲۵۰ Ppm
- ب، رزین اسیدی قوی
- حل؛ رزین اسیدی قوی همه کاتیون‌ها را حذف می‌کند.
- ۳۷۵ mg/l = منیزیم، کلسیم - پتاسیم + سدیم

ادامه مثال

ج - رزین بازی ضعیف

حل؛ رزین بازی قوی فقط بنیان اسیدهای قوی را حذف می‌کند.

$$175 \text{ mg/l} = \text{نیترات} + \text{کلرید} + \text{سولفات}$$

د - رزین بازی قوی

رزین بازی قوی همه آنیونها و سیلیکا را حذف می‌کند.

$$400 \text{ mg/l} = \text{سیلیکا} + \text{Co}_c + \text{بی‌کربنات} + \text{نیترات} + \text{کلرید} + \text{سولفات}$$

ه - رزین بازی قوی که بعد از واحد رزین بازی ضعیف قرار گرفته باشد در واحد ضعیف بنیان اسیدهای قوی گرفته شده است.

$$225 \text{ mg/l} = \text{سیلیکا} - \text{دی اکسید کربن} + \text{بی‌کربنات}$$

ادامه مثال

و - رزین باز قوی که پس از واحد دی گازاتور قرار دارد.
حل - دی گازاتور، CO_2 را تا 5 mg/l کاهش می‌دهد.

رزین باز قوی، مواد زیر را حذف می‌کند،

دی اکسید کربن + سیلیکا + نیترات + کلرید + سولفات

$$85 + 80 + 10 + 10 + 5 = 190 \text{ mg/l}$$

ی - رزین بازی قوی که پس از واحد دی گازاتور و واحد رزین
بازی ضعیف قرار گرفته باشد.

حل، رزین بازی قوی، دی اکسید کربن باقی مانده (5 ppm) و سیلیکا
را حذف می‌کند.

$$5 = 15 \text{ mg/L} + \text{سیلیکا}$$

۲-۳-۹- نشتی ناخالصي ها از رزین ها

- از نظر تئوري رزین هاي قوي تمام یون ها را جذب (تعویض) می کنند.
- عمداً در آب تصفیه شده، یون داریم.
- زیرا فرایند تعویض یون برگشت پذیر است.
- اگر آب از رزین اسید قوي عبور کند، محتمل ترین نشتی Na^+ ،
- اگر آب از رزین بازی قوي عبور کند، محتمل ترین نشتی Cl^- ،
- اگر مقدار نشتی Na^+ و Cl^- برابر باشد، pH تغییر نمی کند
- اگر مقدار نشتی $\text{Cl}^- < \text{Na}^+$ ← $\text{pH} < 8$
- اگر مقدار نشتی $\text{Na}^+ < \text{Cl}^-$ ← $\text{pH} > 6$

۲۱-۳-۹- چگونه می‌توان پی به نشتی و نوع آن برد؟

■ مقدار هدایت الکتریکی آب تصفیه شده نشان دهنده میزان نشتی است.

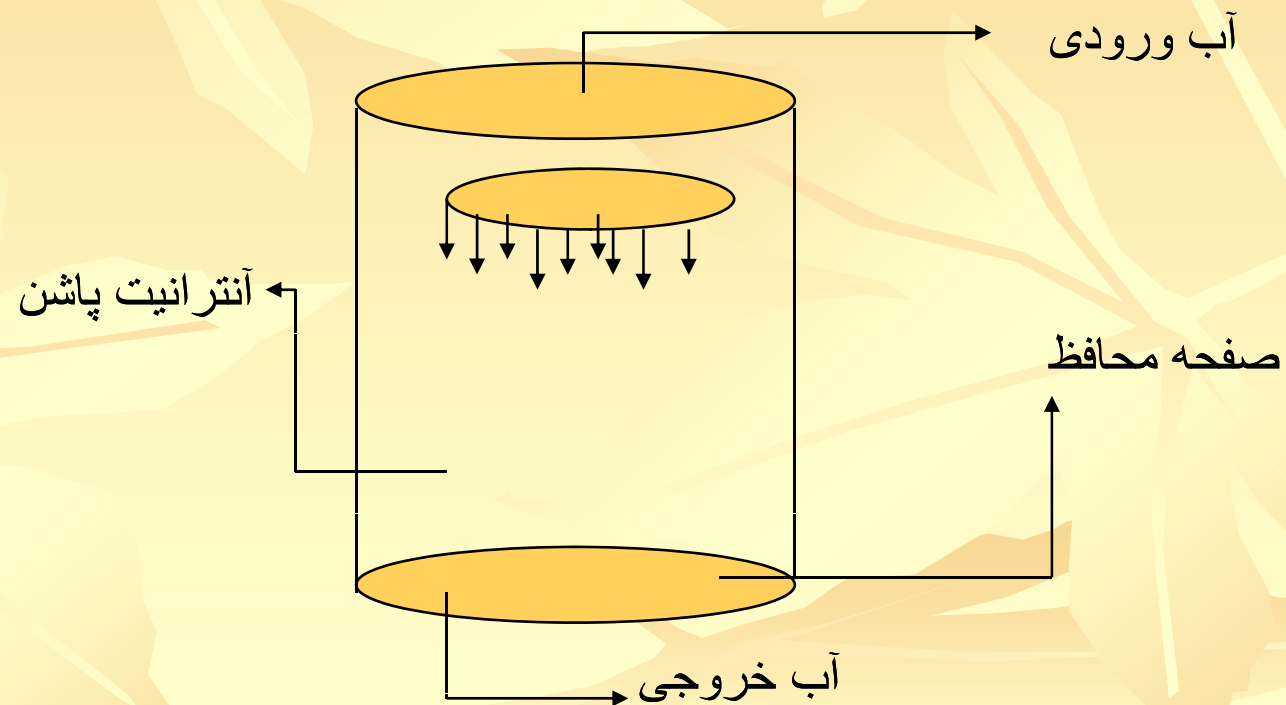
■ مقدار pH نشان دهنده نسبت نشتی Na^+ و Cl^- است.

■ اگر در آب سیلیکای غیر یونی باشد، نشتی Cl^- را به تأخیر می‌اندازد.

■ و با افزایش ماده شیمیایی در ضمن احیا رزین، میزان نشتی را می‌توان کاهش داد.

۲۲-۳-۹- دستگاه تعویض یونی (ظرف محتوی رزین)

- استوانه‌ای از فولاد ضدزنگ و ترجیحاً دارای پوشش پلاستیکی
- عمق رزین ۰.۵ تا ۳ متر
- ۵۰ تا ۱۰۰٪ حجم رزین فضای خالی
- در قسمت پایین، چند لایه شن یا آنتراسیت (جلوگیری از خروج رزین)



۲۳-۳-۹- انواع بسترها در دستگاه‌های تعویض یون

دو نوع بستر داریم؟ ثابت یا شناور

۱-۲۳-۳-۹- در نوع ثابت:

- رزین انبساط ندارد، آب از بالا وارد می‌شود، بیشترین تبادل یونی در قسمت بالایی ستون انجام می‌شود.
- ظهور یون‌ها در آب خروجی علامت پایان سرویس است.
- آب ورودی باید فاقد ذرات معلق و قابل رسوب باشد.
- سرعت عبور آب از بستر باید حدود یک متر در ساعت باشد.

۲-۲۳-۳-۹- بستر شناور

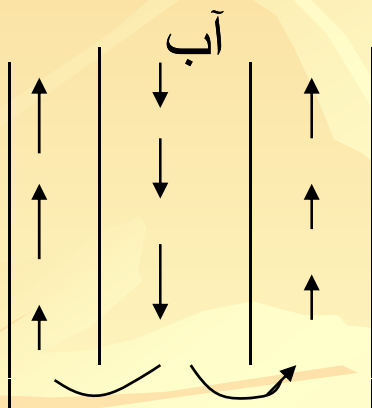
- ورود آب از پایین به بالا
- هزینه بهره‌برداری بیشتر از نوع ثابت
- اتلاف آب در زمان احیا کمتر
- راندمان احیا و ظرفیت عملیاتی زیاد
- در تصفیه آب از بستر شناور کمتر استفاده می‌شود.

۲۴-۳-۹- احیای رزین‌ها

احیای رزین معمولاً شامل ۴ مرحله است؛

مرحله ۱ - شستشوی معکوس

آب از سمت پایین بستر به سمت بالا جریان می‌یابد تا ذرات رسوب و رزین معلق شوند.



مرحله ۲ - تزریق مواد شیمیایی احیا کننده

اسید یا سود یا نمک به صورت محلول نسبتاً رقیق

از بالا به پایین، روش جریان هم جهت (نشستی دارد)

از پایین به بالا، روش جریان متقابل (کیفیت و هزینه بالاتر)

۲۴-۳-۹ ادامه احیای رزین‌ها

مرحله ۳- شستشوی آهسته جهت:

- ❖ توزیع ماده شیمیایی با دانه‌های رزین
- ❖ تماس بیشتر ماده شیمیایی با دانه‌های رزین
- ❖ تسهیل مبادله یون بین رزین و ماده شیمیایی

مرحله ۴- شستشوی سریع به خاطر:

- ❖ حذف ماده شیمیایی (احیا کننده) باقی مانده

۱-۲۴-۳-۹- احیای رزین‌های کاتیونی اسیدی قوی (R-H)

- R-H قوی با اسید احیا می‌شود.
- از HCl و H_2SO_4 استفاده می‌شود.
- HCl ظرفیت رزین را بیشتر می‌کند.
- ولی به علت گرانی HCl ، معمولاً از H_2SO_4 استفاده می‌شود.
- اسید سولفوریک هنگام رقیق کردن گرمای زیادی تولید می‌کند و نیاز به دستگاه خاص دارد.

۱-۱-۲۴-۳-۹- مشکلات احیای رزین با H_2SO_4

- ایجاد رسوب $CaSO_4$ در بستر رزین و آلودگی رزین و کاهش ظرفیت آن
- کم بودن راندمان احیا آن نسبت به HCl به علت یونیزاسیون کم
- راه غلبه بر مشکل:
- افزایش تدریجی غلظت اسید سولفوریک، در ابتدا غلظت اسید کم و به تدریج زیاد شود.
- افزایش پله‌ای اسید، اگر فرضاً ۶ کیلو لازم باشد، به ترتیب ۲ کیلو ۲٪، ۲ کیلو ۴٪ و ۲ کیلو ۶٪
- افزایش دبی اسید، با توجه به نسبت غلظت Ca^{++} به مجموع سایر کاتیون‌ها

۲-۲۴-۳-۹- احیای رزین‌های آنیونی

یکی از مشکلات رزین‌های آنیونی قوی حذف سیلیکا جذب شده از آن است.

مراحل احیای رزین آنیونی:

- ۱- تزریق محلول سود رقیق گرم (۴۰-۵۰°C)
 - ۲- تأمین زمان تماس ۷۰ تا ۱۰۰ دقیقه بین سود و رزین
 - ۳- انجام شستشوی معکوس با آب گرم
- هر چه دمای آب بیشتر باشد حذف سیلیکا بهتر انجام می‌شود. آب ۳۸ درجه نسبت به آب ۲۴ درجه، ۵۰٪ راندمان حذف سیلیکا را افزایش می‌دهد.

۲۵-۳-۹- محاسبه حجم رزین لازم برای تصفیه آب

$$V = \frac{Q \times T \times L}{C}$$

Q = دبی آب ورودی به واحد تعویض یونی به m^3/h

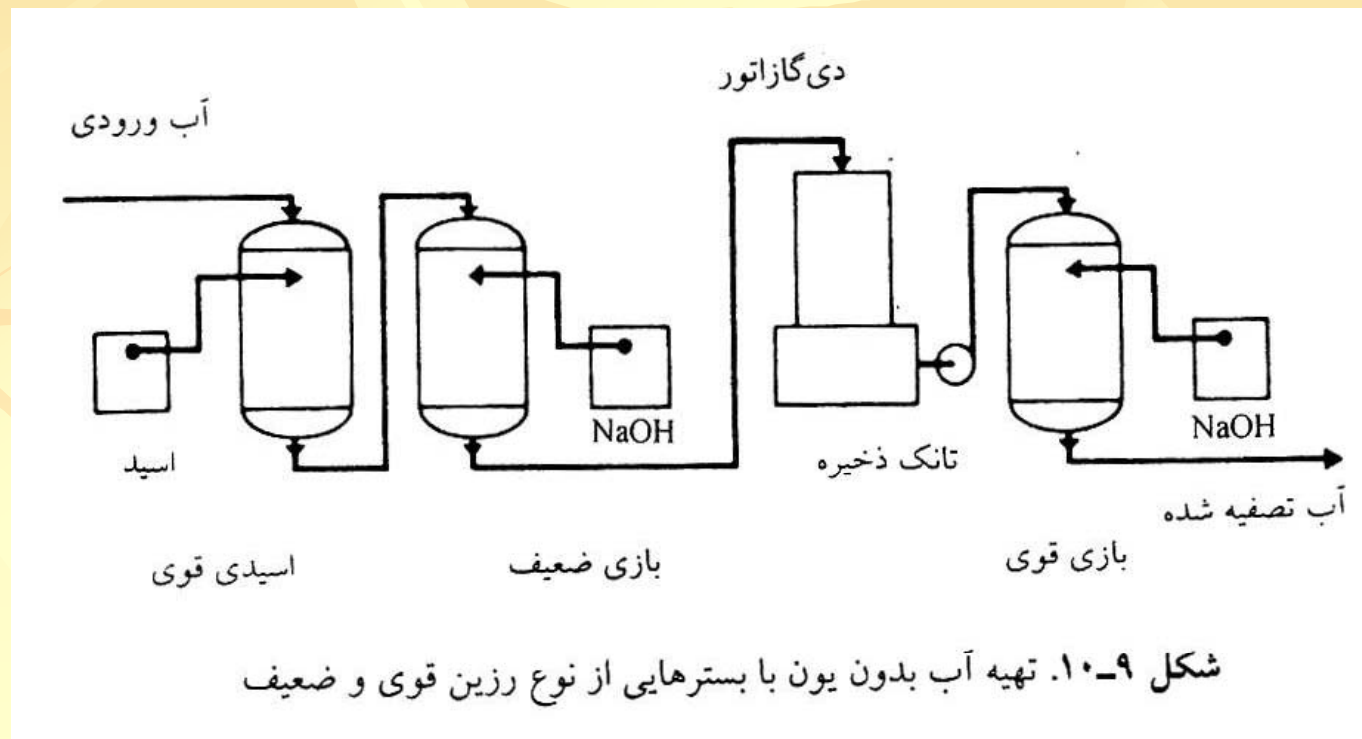
T = طول زمان سرویس دهی بر حسب h (ساعت)

L = غلظت یون‌هایی که باید از آب ورودی حذف شود
بر حسب معادل کربناتی

V = حجم رزین بر حسب m^3

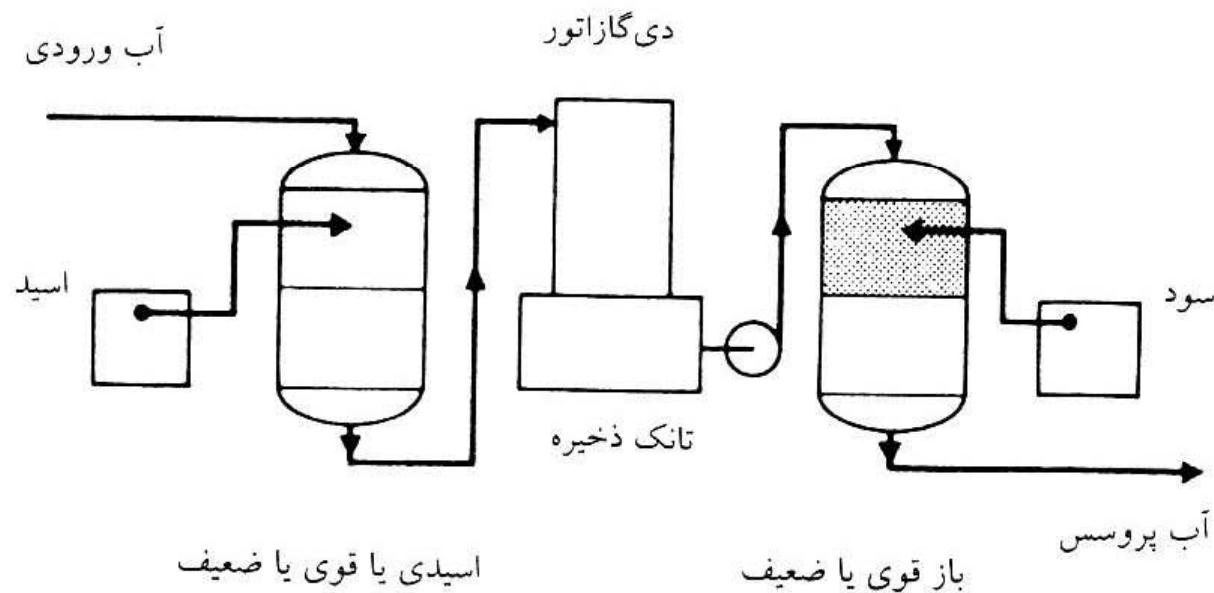
۲۶-۳-۹- استفاده از چند فیلتر رزین جهت تصفیه آب

برای صنایعی که به آب خیلی خالص و زیاد نیاز دارند، بخصوص اگر غلظت سیلیس زیاد باشد. از سیستم چند فیلتری استفاده می‌شود. مثلاً سیستمی به صورت زیر:



۱-۲۶-۳-۹- استفاده از دو نوع رزین در يك فيلتر

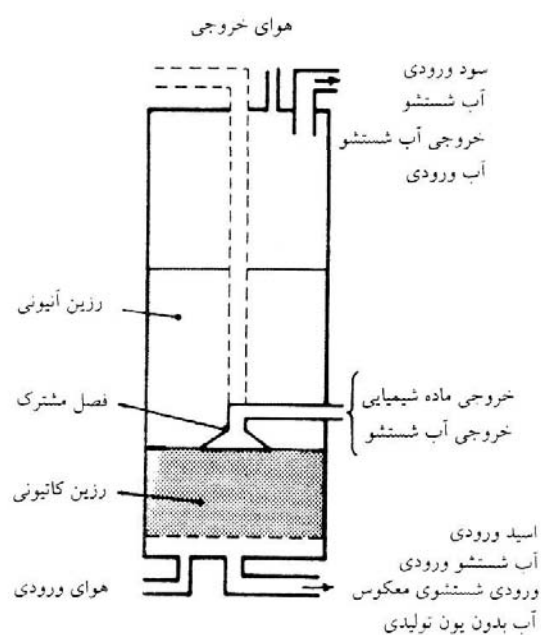
روش مؤثرتر و اقتصادي‌تر استفاده از سيستمي شامل دو فيلتر رزین، در اولي کاتيوني قوي و ضعيف، در فيلتر دوم آنیوني قوي و ضعيف است.



شکل ۹-۹. تهیه آب خالص با استفاده از رزین‌های قوي و ضعيف

۲-۲۶-۳-۹- دستگاه تعویض یونی مختلط

در دستگاه تعویض یون، در بالا از رزین آنیونی و در پایین کاتیونی آب کاملاً بدون یون تولید می‌کند. دانسیته آن‌ها با یکدیگر بسیار متفاوت است و قابل جدا کردن از یکدیگر همزمان هر دو را می‌توان احیا کرد. رزین‌های فصل مشترک به خوبی احیا نمی‌شوند. برای رفع مشکل فوق از رزین خنثی نیز استفاده می‌شود.



شکل ۹-۱۱. آرایش یک دستگاه تعویض یونی مختلط

۳-۲۷-۳-۹- سیستم‌های تهیه آب مطلوب

انتخاب سیستم باید با توجه به موارد زیر انجام شود:

۱. درجه خلوص آب مورد نظر
۲. غلظت سیلیکا
۳. نوع و مقدار ناخالصی‌های موجود در آب
۴. دبی آب

سیستم‌های متعددی طراحی شده‌اند ولی در اغلب سیستم کاتیونی قوی اول آنیونی ضعیف قبل از آنیونی قوی و مختلط در آخر قرار می‌گیرند.

۲۷-۳-۹- رزین‌های تعویض یونی خالص

- رزین سمتی گیر، یک رزین کاتیونی سدیمی است.
- با عبور آب از این رزین، Ca^{2+} و Mg^{2+} به جای Na^+ قرار می‌گیرد.
- احیا آن با محلول کلرید سدیم ۱۰٪ است.
- مقدار مناسب نمک لازم از روی دو پارامتر زیر تعیین می‌شود:

ظرفیت تعویض یونی عملی رزین

ظرفیت تعویض یونی تئوری رزین

ظرفیت تعویض یونی عملی رزین

درجه استفاده از برج = _____

ظرفیت تعویض یونی تئوری رزین

- مقدار نمک باید طوری انتخاب شود که این دو پارامتر حداکثر ممکن باشند.
عملاً هر ft^3 رزین ۳ تا ۱۰ پوند کلرید سدیم

۲۸-۳-۹- تصفیه مقدماتی آب ورودی به واحد تعویض یونی

بعضی از مواد به رزین‌ها صدمه می‌زنند که باید حذف شوند:
کلر آزاد (OCl^- یا Cl_2). نباید بیش از $5/0$ ppm باشد، روش حذف، ذرات کربن فعال یا بی‌سولفات سدیم

مواد معلق و رنگ: باعث مسدود شدن حفره‌های سطح رزین‌ها راه حذف، عبور آب از فیلتر شنی یا زغال فعال

آهن و ترکیبات آلی آهن: جذب سطح رزین می‌شوند،

راه حل: شستشو با HCl ۱٪، افزودن دی‌تیونیت

شستشوی منظم رزین (هفتگی)

آلاینده‌های آلی - نفوذ به داخل رزین‌ها جدا نمی‌شوند. راه حل شستشوی منظم. پس

از احیا رزین افزایش محلول ۱۰٪ نمک و ۲٪ سود در دمای $40^{\circ}C$ به مدت ۵ تا ۱۰ ساعت

املاح زیاد آب

اگر $TDS > 400$ باشد، با روش‌های دیگر مثل اسمز معکوس ابتدای TDS را

کاهش می‌دهند.

۲۹-۳-۹- عیب‌یابی واحد تعویض یونی

در صورت کوتاه شدن زمان سرویس‌دهی یا کاهش کیفیت آب خروجی باید پارامترهای زیر مورد بررسی قرار گیرد:

۱. آنالیز آب ورودی
۲. مقدار رزین‌ها در هر فیلتر
۳. مقدار و غلظت مواد احیاء کننده
۴. pH و هدایت در تمام مراحل
۵. عملکرد هوازدا، شیرها
۶. کیفیت رزین‌ها از نظر فرسودگی (عمر رزین اسیدی ۱۰-۸ سال و بازی ۴-۵ سال است)

فصل دهم

الکترودیالیز و تقطیر

مقدمه: آشنایی کلی با الکترودیالیز و تقطیر
تاریخچه:

- تقطیر قدیمی‌ترین روش تهیه آب خالص
الکترودیالیز کمتر از نیم قرن از زمان مطرح شدن آن می‌گذرد.
- عامل تصفیه در تقطیر انرژی گرمایی در الکترودیالیز جریان برق مستقیم است.
 - مصرف انرژی در هر دو روش بالاست.
 - تقطیر هنوز هم مطمئن‌ترین روش تهیه آب برای مصارف پزشکی و دارویی است.
 - تقطیر نیاز به وسایل کنترل کیفیت ندارد.

۱-۱۰- ساختمان دستگاه الکترولیز

- از تعداد زیادی سل تشکیل شده است.
- هر سل شامل دو غشای نیمه تراوا (یکی آنیونی، A ، آنیون‌ها را جذب می‌کند و دیگری کاتیونی، C ، کاتیون‌ها را جذب می‌کند).
- جنس غشاها از رزین‌های یونی است.
- تعداد غشاها با هم برابر است.
- در دو طرف غشاها آند و کاتد قرار دارند، نقش آن‌ها تسریع حرکت کاتیون‌ها و آنیون‌ها است.

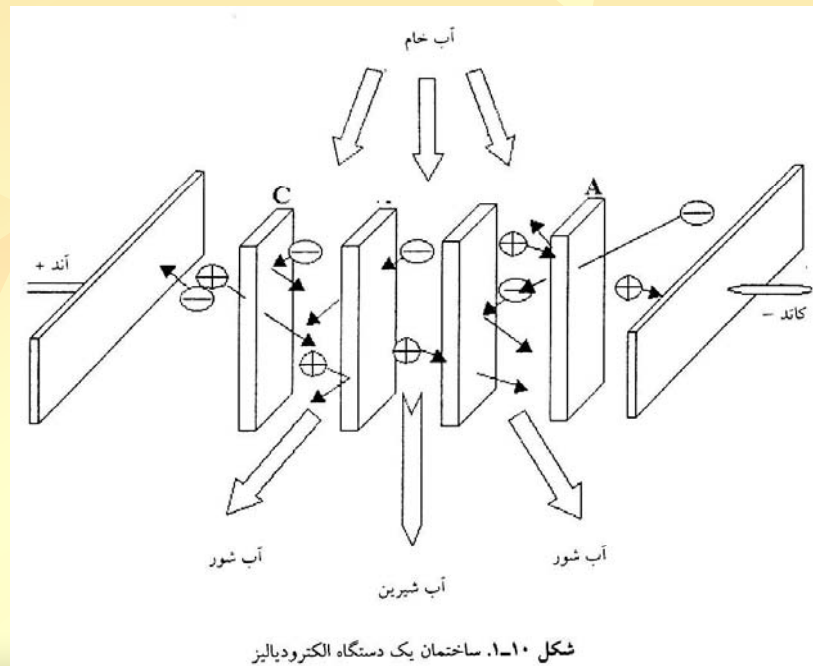
۲-۱۰- نحوه کار دستگاه الکترودیالیز

آب خام وارد سل‌ها می‌شود.

کاتیون‌ها به سمت کاتر جذب می‌شوند، از غشاهای C عبور می‌کنند ولی از غشاهای A عبور نمی‌کنند.

آنیون‌ها به سمت آند جذب می‌شوند، از غشاهای A عبور می‌کنند ولی از غشاهای C عبور نمی‌کنند.

در سل‌های زوج (سل ۲) آب شیرین در سل‌های فرد (سل ۱ و ۳) آب شور می‌شود.



۳-۱۰- پارامترهاي مهم در الکترودیالیز

۱- دانسیته جریان: میلی آمپر بر هر سانتی متر مربع سطح غشا نباید از مقدار حداکثر مجاز بیشتر شود (سبب الکترولیز می شود)

۲- فاصله غشاها: هر چه فاصله ها کمتر باشد، مقاومت کمتر و مصرف برق کمتر خواهد شد. تعداد سل ها را خیلی زیاد تا ۵۰۰ انتخاب می کنند.

۳- کیفیت آب ورودی

مواد معلق و رنگ آب خام را باید حذف، باعث کثیف شدن غشاها و الکترودها می شوند.

۴-۱۰- دانسیته جریان و توان مصرفی در الکترودیالیز

دانسیته جریان ۴۰۰ تا ۷۰۰ mA/cm² توصیه می‌شود.

توان مصرف P، از رابطه $P=RI^2$ محاسبه می‌شود.

R به طور تجربی محاسبه می‌شود.

شدت جریان از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$I = \frac{FQNE_r}{nEc}$$

F = عدد فاراده، ۹۶۵۰۰ کولن

Q = دبی آب ورودی L/S

N = نرمالیت آب = تعداد سل‌ها

E_r = راندمان حذف املاح، معمولاً ۵۰% (۰.۵)

E_c = راندمان جریان برق ۹۰% (۰.۹).

۵-۱۰- کاربردها و محدودیت الکترودیالیز

- ۱- برای تصفیه آب دریا توجیه اقتصادی ندارد.
- در الکترودیالیز هر چه میزان یون‌ها بیشتر باشد، برق مصرفی بیشتر است.
- ۲- تهیه آب شرب از آب‌های نیمه شور و جیه اقتصادی دارد.
- با هر بار عبور آب از دستگاه ۲۵ تا ۵۰ درصد املاح حذف می‌شود.
- ۳- محدودیت‌ها: تهیه آب خالص (بدون) یون نه توجیه اقتصادی دارد عملاً غیرممکن است (برای برقرار جریان نیاز به یون است)

۶-۱۰- اصول ویژگی ما در تصفیه آب به روش تقطیر

- با تبخیر آب ناخالصی‌ها در فاز مایع می‌مانند.
- با میعان بخار آب تقریباً خالص بدست می‌آید.
- ناخالصی‌های احتمالی آب حاصل از تقطیر، گازهای محلول، مواد آلی فرار و مقداری املاح و مواد کلونیایی که توسط قطرات مایع حمل شده با بخار وارد آب تقطیر شده می‌شدند.
- مطمئن‌ترین روش تهیه آب برای مصارف پزشکی و دارویی است.
- روش تقطیر، نیاز به وسایل کنترل کیفیت ندارد.

۷-۱۰- مصرف انرژی در تقطیر

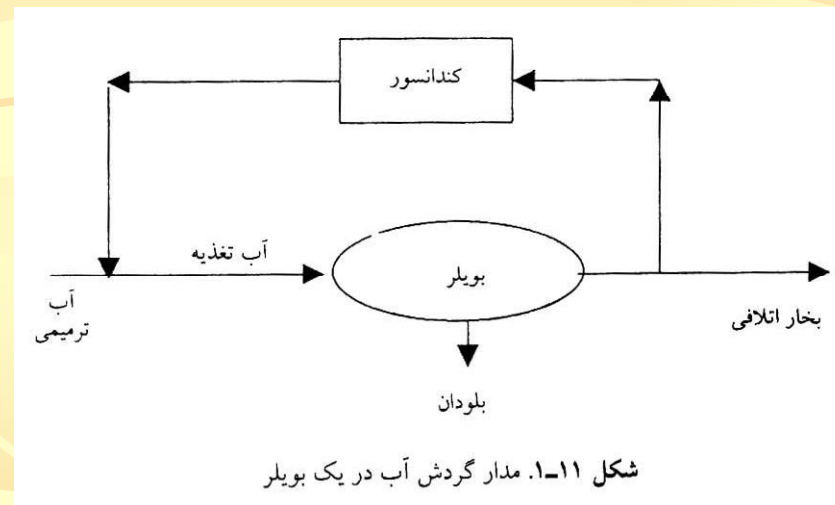
- تهیه آب خالص به روش تقطیر از نظر مصرف انرژی مقام اول را دارد؛ زیرا گرمای ویژه و گرمای نهان تبخیر آب خیلی زیاد است. دانشمندان تلاش می‌کنند از انرژی خورشیدی برای تقطیر استفاده کنند.
- تقطیر مستلزم دستگاه‌های بزرگ، حجیم و حتی پیچیده است.
- از نظر مصرف انرژی و نیز هزینه دستگاه‌ها، تقطیر از مجموعه اسمز معکوس و رزین‌ها غیراقتصادی‌تر است.

۱۱ - فصل یازدهم

کنترل کیفیت آب بویلر (دیگ بخار)

کار اصلی بویلر (دیگ بخار) تولید بخار آب است در انواع مختلف بویلرها، آب در مداری شبیه شکل زیر گردش می‌کند.

برای تأمین بخار با کیفیت مطلوب و کاهش هزینه‌های نگهداری و سرویس، آب بویلر باید دارای کیفیت مطلوب باشد.



۱-۱-۱- مشکلات ناشی از مطلوب بودن آب بویلر

۱- مشکل رسوب گرفتگی

۲- مشکل خوردگی

۳- شکل حمل قطرات آب بویلر توسط بخار

روش‌های کنترل این مشکلات:

تصفیه خارجی: کاهش ناخالصی‌ها (املاح محلول، سیلیکا و گازها) در آب تغذیه (در فصل‌های قبل به تفصیل در مورد آن‌ها بحث شده است).

تصفیه داخلی: تزریق مواد شیمیایی به آب بویلر و تغذیه

بلودان: زیر آب زدن، خارج کردن قسمتی از آب تغلیظ شده بویلر

۲-۱۱- تصفیه داخلی آب بویلر

تصفیه داخلی آب بویلر شامل کنترل پارامترهای ذیل است:

کنترل pH : به طور کلی باید $pH > L$ ولی pH مناسب بستگی به فشار و دما و میزان اکسیژن محلول آب بویلر دارد.

قلیائیت: قلیائیت عامل مهمی در خوردگی است. قلیائیت مطلوب به فشار و دما بویلر و P و M بستگی دارد.

اکسیژن محلول: عامل خوردگی

سختی آب: سختی مطلوب آب بویلر صفر است.

املاح در بخار: نباید باشد، عوامل ایجاد کننده آن باید کنترل شود

کلرید: Cl^- یونی مهاجم است.

سیلیکا: عوارض ناشی از آن از هر ماده دیگر بیشتر است.

۱-۲-۱۱ - کنترل pH آب بویلر

- pH را معمولاً بالاتر از خنثی تنظیم می‌کنند.
- pH مناسب با توجه به دما، فشار بویلر و میزان اکسیژن محلول تعیین می‌شود.
- در بویلرهای با فشار متوسط و کم و اکسیژن محلول تا ۵ppb با فسفات pH را به ۱۰-۱۱ می‌رسانند.
- در بویلرهای با فشار زیاد که TDS باید کم باشد، با آمونیاک pH را در ۹-۹.۵ نگه می‌دارند.
- برای بویلر ما با فشار زیاد، اکسیژن به آب بویلر تزریق می‌شود، تا غلظت به حدود ۵۰-۲۰۰ppb برسد تا لایه‌های محافظ Fe_2O_3 و FeOOH تشکیل شود، pH مناسب ۸ تا ۸.۵ است.

۲-۲-۱۱ - کنترل قلیائیت آب بویلر

فشار بویلر psig	0-300	301- 450	450- 600	601- 750
حداقل M	200	160	120	120
حداکثر M	700	600	500	400

- ❖ قلیائیت عامل مهمی در خوردگی و رسوب‌گذاری بویلر می‌باشد.
- ❖ مقدار مطلوب آن بستگی به دما و فشار بویلر دارد؛
- ❖ ۶۰ تا ۸۰ درصد قلیائیت باید به صورت قلیائیت ساده ، P ، باشد.
- ❖ اگر P بیش از ۸۰ درصد کل باشد، سود در آب بویلر زیاد است، سبب شکنندگی قلیایی در فولاد بویلر می‌شود.

۳-۲-۱۱ - کنترل اکسیژن

حد مجاز اکسیژن در حدود ۵-۱۰ ppb است.

برای کنترل O_2 مواد ذیل اضافه می‌شود:

۱ - سولفیت سدیم:

مقدار سولفیت سدیم لازم ۱۰ برابر O_2 ، مقدار باقیمانده باید ۲۰ ppm -۳۰ باشد.

در بویلرها با فشار زیاد، TDS را بالا می‌برد و SO_2 تولید می‌کند که مناسب نیست.

۲ - هیدرازین؛ N_2H_4

سمی است، ۲ تا ۱.۵ برابر O_2 اضافه می‌شود.

۳- تزریق O_2 ، جهت ایجاد لایه‌های محافظ در بویلرهای با فشار زیاد

۴-۲-۱۱- کنترل سختی آب بویلر

سختی آب بویلر باید در حدود صفر باشد.

سختی آب بویلر با دو مکانیسم زیر کنترل می‌شود:

۱- تبدیل املاح سختی‌آور به رسوبات چسبنده و لجن مانند:

در بویلرهای با فشار کمتر از ۱۴ اتمسفر با افزایش سودا

در بویلرهای با فشار زیاد، با افزایش فسفات سدیم،

فسفات تری سدیک خیلی قلیایی و فسفات منوسدیک کمی اسیدی است.

۲- محلول نگه داشتن عوامل رسوب‌زا:

با افزایش موادی مثل سدیم هگزا متافسفات و یا EDTA یا NTA

(برای سختی کم)

۵-۲-۱۱- کنترل املاح در بخار (آب بویلر)

سه پدیده ذیل سبب حضور املاح در بخار می‌شوند:

۱- ایجاد کف:

هنگام عبور بخار از کف قطرات آب را با خود حمل کند.

۲- غلغل کردن آب

باعث پاشیده شدن قطرات آب به داخل بخار

۳- حمل قطرات مایع توسط بخار

به علل مکانیکی و شیمیایی

برای کنترل این سه پدیده باید:

- TDS و قلیائیت را کنترل کرد.
- از حضور مواد روغنی در آب جلوگیری کرد.
- در مواردی مواد ضدکف اضافه کرد.

۶-۲-۱۱- کنترل یون کلرید در آب بویلر

- وجود Cl^- در آب بویلر خطرناک است، Cl^- یونی مهاجم است.
 - در بویلرهایی که با فشار بیش از ۵۰ اتمسفر کار می‌کنند باید
 - ادعا می‌شود که کلرید در دمای زیاد تولید HCl می‌کند
- $$\text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 2\text{HCl} + \text{CaO}$$
- فشار مهم کلرید، نشت آب از لوله‌های کندانسور به آب برگشتی است.

۷-۲-۱۱- کنترل سیلیکا در آب بویلر

عوارض ناشی از حضور سیلیکا در بخار از هر ناخالصی دیگر بیش‌تر است.

روش‌های کنترل سیلیکا در بخار

۱- بالا نگه داشتن pH آب بویلر

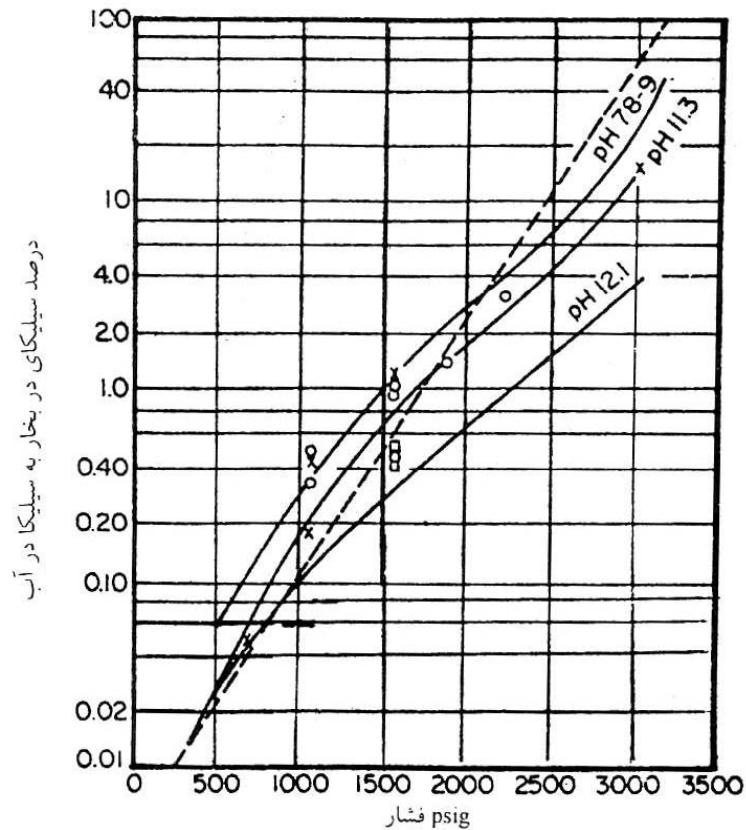
روش زیاد مؤثری نیست. با افزایش pH آب، نسبت سیلیکا در بخار به سیلیکا در آب تا حدودی کاهش می‌یابد (شکل ۲-۱۱).

۲- کاهش غلظت سیلیکا در آب بویلر؛ انجام تصفیه خارجی مؤثر

۳- بلودان: تخلیه قسمتی از آب بویلر

به دو صورت پیوسته و منقطع (در فاصله‌های زمانی معین)

رابطه غلظت سیلیکادر بخار و فشار بویلر



شکل ۱۱-۲. نسبت غلظت سیلیکا در بخار به غلظت سیلیکا در آب بویلر برحسب فشار بویلر و pH آب بویلر

۷-۲-۱۱ - محاسبه مقدار آب بلودان بویلر

■ با توجه به اینکه بلودان مستلزم اتلاف انرژی و آب می‌شود باید حجم آب بلودان را محاسبه کرد.

■ تعداد بار تغلیظ را برای همه ناخالصی‌ها محاسبه می‌کنیم:

■ غلظت مجاز ناخالصی در آب بویلر

■ غلظت ناخالصی در آب ترمیم

■ غلظت مجاز ناخالصی در آب بویلر

■ $\text{تعداد بار تغلیظ} = \frac{\text{غلظت ناخالصی در آب ترمیمی}}{\text{غلظت مجاز ناخالصی در آب بویلر}}$

■ غلظت ناخالصی در آب ترمیمی

■ ناخالصی که کمترین مقدار بار ناخالصی دارد ماده کنترل کننده می‌گوییم.

■ ۱۰۰

■ تعداد بار تغلیظ ماده کنترل کننده

■ 100

■ درصد بلودان پیوسته $\frac{\text{تعداد بار تغلیظ ماده کنترل کننده}}{\text{تعداد بار تغلیظ ماده کنترل کننده}}$

■ تعداد بار تغلیظ ماده کنترل کننده

■ ۱۰۰

■ ۱ - تعداد بار تغلیظ ماده کنترل کننده

■ 100

■ درصد بلودان منقطع $\frac{\text{تعداد بار تغلیظ ماده کنترل کننده}}{\text{تعداد بار تغلیظ ماده کنترل کننده}}$

■ ۱ - تعداد بار تغلیظ ماده کنترل کننده

۲-۷-۲-۱-۱ - مثال در مورد محاسبه مقدار بلودان

با توجه باین داده‌ها:
درصد بلودان پیوسته و منقطع را
محاسبه کنید.

تعداد بار تغلیظ برای

$$TDS=2000/200=10$$

تعداد بار تغلیظ برای SiO_2 $10/2=5$

تعداد بار تغلیظ برای M $M=150/15=10$

SiO_2 ناخالصي کنترل کننده است.

۲۰٪ درصد بلودان پیوسته

۲۵٪ درصد بلودان منقطع

البته این مقدار بلودان توجیه اقتصادی

ندارد. باید ناخالصي‌ها را در آب

ترميمي کاهش داد.

ماده	غلظت در آب ترميمي	غلظت مجاز
TDS	۲۰۰	۲۰۰۰
SiO_2	۲	۱۰
M	۱۵	۱۵۰

۸-۲-۱۱- چگونگی نگهداری بویلرهای خارج از سرویس

برای جلوگیری از خوردگی بویلر بوسیله اکسیژن در زمان خارج از سرویس به دو روش عمل می‌شود:

روش خشک، تخلیه کامل بویلر، خشک کردن سطوح بویلر و پر کردن آن با ازت با فشار ۰.۵ اتمسفر

روش تر

- پر کردن بویلر با آب بدون یون
- تزریق هیدرازین و آمونیاک تا $\text{pH}=9$
- اگر زمان توقف ۲ هفته تا یک ماه باشد، هیدرازین باقیمانده ۵۰-۱۰۰ ppm
- اگر زمان توقف بیش از یک ماه باشد، هیدرازین باقیمانده ۱۰۰-۲۰۰ ppm









www.salampnu.com

سایت مرجع دانشجوی پیام نور

- ✓ نمونه سوالات پیام نور : بیش از ۱۱۰ هزار نمونه سوال همراه با پاسخنامه
- تستی و تشریحی
- ✓ کتاب ، جزوه و خلاصه دروس
- ✓ برنامه امتحانات
- ✓ منابع و لیست دروس هر ترم
- ✓ دانلود کاملاً رایگان بیش از ۱۴۰ هزار فایل مختص دانشجویان پیام نور

www.salampnu.com