

فصل دوازدهم

آبهای صنعتی

آب در صنایع موارد استعمال بسیار وسیعی دارد که مهمترین آنها را به ترتیب زیر می‌توان ذکر نمود:

- آب به عنوان ماده اولیه در صنایع مختلف
 - آب به عنوان عامل سرد کننده در برج‌های خنک کننده و مبدل‌های حرارتی
 - آب جوشاورها جهت تولید انرژی در نیروگاهها
 - آب در خدمت مصارف عمومی کارخانجات و صنایع
- بطور کلی آبهایی که در صنعت مصرف می‌شوند دارای یک خواص عمومی مشترک است ولی هر یک از موارد برای خود شرایط ویژه‌ای نیز دارند که لزوماً باید تامین شوند.

۱-۱۲- آب به عنوان ماده‌ی اولیه در صنایع مختلف

آب در غالب صنایع در تهیه محصولات صنعتی، به عنوان ماده‌ی اولیه صنعتی مصرف می‌شود. بطور کلی صنایع را باید از بزرگترین مصرف کنندگان آب دانست و با توسعه آن روز به روز به میزان این نیاز افزوده می‌شود. هر یک از کارخانجات صنعتی به آبی با مشخصات ویژه خود نیاز دارند. در زیر آبهایی را که برای برخی صنایع زیان بخش می‌باشد متذکر می‌شویم:

۱-۱۲-۱- کارخانجات رنگرزی

- آبهای آهکی که درجه سختی آنها بالاست.
- آبهایی که دارای مواد آلی مختلف باشند.
- آبهایی که دارای املاح آهن باشند.

۱-۱۲-۲- کارخانجات نساجی - سفید کردن پارچه‌ها و رخت‌شوی خانه‌ها

- آبهای آهکی که برای خنثی کردن املاح کلسیم آنها مقدار زیادی صابون مصرف گردد.
- آبهای آهن‌دار که باعث لکه‌دار شدن پارچه می‌شوند.

۱-۱۲-۳- کارخانجات شست و شوی پشم

- آبهای آهکی و گچ‌دار و مخصوصاً سولفات کلسیم

۱-۱۲-۴- کارخانجات صابون سازی

- آبهای آهکی و آهنی که دارای املاح منیزیم می‌باشند.

۱-۱۲-۵- کارخانجات دباغی

- آبهای آهن‌دار

۱-۱۲-۶- کارخانجات کاغذ سازی

- آبهای آهکی
- آبهایی که دارای املاح منیزیم و املاح آهن باشند.

۱-۱۲-۷- کارخانجات قند سازی

- آبهایی قلیایی
 - آبهای آهن‌دار
 - آبهای آهکی و منیزیم
- برای اینکه در مورد مقدار آب مصرفی در کارخانجات یک نظر کلی اخذ نماییم توجه به ارقام زیر جالب است:

جدول ۱۲-۱- مهمترین ناخالصی‌های آب و نحوه حذف آنها

نوع ناخالصی	فرمول شیمیایی	اشکالی که تولید می‌نماید	نحوه حذف آن
۱- کدورت		بد منظره کردن آب- ترسیب در لوله‌ها و کانالها- کواگولاسیون- ته‌نشینی و تداخل در روشهای تصفیه	صاف کردن
۲- رنگ		کف در دیگهای بخار- ممانعت از ترسیب آهنی- مانند بالا و استفاده از فسفات- باقیماندن در محصولات صنعتی	زغال فعال
۳- سختی کل	CaCO ₃	ایجاد رسوب در وسایل مبادله حرارتی، دیگهای بخار و لوله‌های انتقال آب گرم و تداخل در گوناگون - استفاده از مواد رنگرزی	سبک کردن با روشهای
۴- قلیائیت	CaCO ₃ HCO ₃ ⁻ CO ₃ ²⁻ OH ⁻	ایجاد کف و انتقال مواد جامد در دیگهای بخار- تولید شکنندگی قلیایی تولید CO ₂ به علت تجزیه کربنات و بی‌کربنات	سبک کردن به کمک آهک و کربنات سدیم- مبادله یونی سیکل هیدروژن- بی‌ملح کردن- حذف قلیایی با رزین آنیونی
۵- اسیدهای معدنی آزاد که برحسب CaCO ₃ بیان می‌شوند.	H ₂ SO ₄ HCl	خورندگی	خنثی کردن با قلیاها
۶- گاز کربنیک	CO ₂	خوردگی در لوله‌های انتقال آب و بخار	هوادهی - تهویه - خنثی کردن با مواد قلیایی
۷- pH		ایجاد خاصیت اسیدی یا قلیایی در آب	خنثی کردن با افزودن اسید یا قلیا
۸- سولفات	SO ₄ ²⁻	بالا بردن مواد جامد محلول آب که املاح کلسیم و منیزیم آن حتماً "عمومی" است.	بی‌ملح کردن- تقطیر
۹- کلرید	Cl ⁻	بالا بردن مواد جامد محلول آب که املاح کلسیم و منیزیم آن حتماً "عمومی" است.	بی‌ملح کردن- تقطیر
۱۰- نیترات	NO ₃ ⁻	از نظر صنعتی مهم نیست- غلظت زیاد در مصرف کنندگان خردسال متهموگلوبین به وجود می‌آورد.	بی‌ملح کردن- تقطیر
۱۱- فلورئور	F ⁻	زیادی آن دندانها را مخطط و کمی آن تسریع پوسیدگی را باعث شده ولی از نظر صنعتی مهم نیست.	جذب با هیدروکسید منیزیم یا فسفات کلسیم یا کواگولاسیون با زاج
۱۲- سیلیس	SiO ₂	رسوب در دیگهای بخار و لوله‌های سرد کننده و پره‌های توربینی و تبخیر کننده‌ها	املاح منیزیم- جذب در رزین‌های آنیونی قلیایی- بی‌ملح کردن - تقطیر
۱۳- آهن و منگنز	Fe ²⁺ Fe ³⁺	رنگ در آنها- ترسیب در لوله‌های آبرسانی و دیگهای بخار- تداخل در رنگرزی و تهیه کاغذ و صاف کردن	هوادهی- کواگولاسیون و صاف کردن- سبک کردن

صنعت	مقدار مصرف آب برحسب لیتر	واحد تولید
تولید قند	۳۰۰۰	هر تن چغندر قند مصرف شده
نساجی	۸۰-۱۶۰	هر کیلو جنس نخی
چرم سازی	۸-۲۵۰۰	هر متر مربع چرم
مس کاری	۱۰۰۰-۲۰۰۰۰	هر تن
تصفیه نفت	۴۰۰۰-۱۲۰۰۰	هر بشکه نفت

میزان مصرف و کیفیت آب مورد نظر در هر یک از رشته‌های مختلف صنعت متفاوت است. آبی که برای کارخانجات نوشابه سازی مصرف می‌شود، با آبی که برای صنعت دباغی و چرم سازی به کار برده می‌شود از نظر کیفیت یکسان نبوده و متفاوت می‌باشد. نظر به توسعه روز افزون صنایع و کثرت تولیدات صنعتی نمی‌توان مشخصات یکایک آنها را بطور مشروح بررسی نمود و بایستی برحسب شرایط محلی و نیازمندی‌های کارخانجات، مشخصات و کیفیت هر یک را بطور مجزا مورد مطالعه قرار داد. به عنوان نمونه مشخصاتی درباره‌ی چند رشته از صنایع، فوقاً ذکر شده است. ذیلاً در جدول ۱۲-۱ مهمترین ناخالصی‌های آبهای صنعتی و نحوه‌ی حذف آنها بطور فهرست‌وار ذکر شده است.

حداقل شرایط استاندارد جهت استفاده از آبهای صنعتی برای مصارف صنعتی را می‌توان به شرح ذیل خلاصه نمود:

- ۱- آب باید عاری از مواد معلق، املاح و رسوبات زیاد بوده و برای مصارف بعضی صنایع دارای مشخصات و شرایط آب مشروب باشد.
- ۲- آب بایستی فاقد مواد روغنی، مواد فنلی، مواد مربوط به پودرهای پاک کننده، کف و همچنین عناصر شیمیایی مضر بوده و عاری از مواد تخلیه شده مربوط به فاضلاب‌های شهری و صنعتی و کشاورزی باشد.
- ۳- در آب نباید موادی که موجب تولید رنگ و بوی نامطبوع می‌شوند وجود داشته باشد و همچنین از نظر شرایط فیزیکی پاره‌ای از مشخصات مربوط به آب آشامیدنی و خواص فیزیکی آب مشروب را دارا باشد.

	Mn^{2+}	لباسشویی	با آهک و رزین‌های کاتیونی- جذب به کمک بعضی مواد
۱۴- نفت		ترسیب- کف در دیگ بخار- اشکال در مبادله حرارت- ایجاد اشکال در اغلب روشها	جدا کردن با مانع- کوآگولاسیون و صاف کردن- صافی دیاتومه
۱۵- اکسیژن	O_2	خوردگی در لوله‌های آب و بخار	ایجاد خلاء- سولفیت سدیم- ممانعت کننده‌ها از خوردگی
۱۶- آمونیاک	NH_3	خوردگی لوله‌های مسی و آلیاژهای رونی	مبادله کاتیونی- سیکل هیدروژن- کلرژنی خلاء
۱۷- هیدروژن سولفور	SH_2	بوی عفن و خوردگی	هودهای- کلرژنی- مبادله یونی آنیونی
۱۸- مواد محلول		در مقادیر بالا از کاربرد آب در موارد مختلف می‌کاهد	روشهای مختلف سبک کردن- بی‌ملح کردن- تقطیر
۱۹- مواد معلق		ترسیب در مسیرهای جریان آب	کوآگولاسیون- فلوکولاسیون- ته‌نشینی- صاف کردن

۱۲-۲- اشکالات و نکات مهم در آب مورد استفاده در برج‌های خنک کننده و مبدل‌های حرارتی

به علت محیط مناسب و آماده بودن غذای کافی جهت رشد موجودات زنده در برج‌های خنک کننده و مبدل‌های حرارتی، این موجودات بطور قابل توجهی تکثیر شده و اجتماعات میکروبی تشکیل می‌دهند. این موجودات علاوه بر آنکه سبب ترشح مواد خورنده در داخل سیستم می‌گردند چون بطور اجتماعی زندگی می‌کنند، در نقاط مختلف دستگاه متراکم شده و مواد معلق در آب را رسوب می‌دهند. در نتیجه شدت جریان آب را کاسته و مانع تبادل حرارتی مورد لازم در سیستم می‌گردند. بنابراین کنترل رشد این موجودات به همان اندازه که کنترل خوردگی فلزات و ممانعت از تشکیل رسوب و جرم در دستگاه سرد کننده اهمیت دارند مهم می‌باشند. باید توجه داشت کلیه موجودات زنده ذره‌بینی در سیستم‌های تبادل حرارت مضر نیستند یعنی تولید خوردگی یا ایجاد رسوب

نمی‌کنند اما وجود آنها در سیستم موید این است که محیط برای رشد موجودات مضر مناسب است.

این موجودات زنده زنده‌بینی، گویا توسط آب باران و یا باد وارد سیستم سرد کننده می‌شوند. پاره‌ای از موجودات زنده موجود در سیستم سرد کننده می‌توانند املاح موجود در آب را جذب نموده و در ارگانهای خویش تبدیل به عناصر فلزی یا شبه فلزی نمایند و وقتی خودشان از بین رفتند، آن عناصر به صورت جرم در سیستم باقی می‌مانند. مثلاً دای آتوموس موجودی است که دارای سیلیس می‌باشد و بعد از مردن سیلیس‌های موجود در بدن آن به صورت جرم در دستگاه باقی می‌ماند.

بعضی از موجودات زنده از رده قارچها از خلل و فرج چوبها داخل قسمتهای درونی چوب برج‌های خنک کننده شده و از داخل، آنها را فاسد می‌کنند، پاره‌ای فقط سطح خارجی چوب را پوسیده می‌نمایند، گروهی دیگر نیز با مصرف سلولز چوب به عنوان غذا چوب را از شکل و فرم خارج نموده، به تدریج آن را تکه تکه نموده از بین می‌برند.

علاوه بر مساله فوق یعنی رشد میکروارگانیسمها در برج‌های خنک کننده و مبدل‌های حرارتی، بطور کلی آب مورد استفاده باید به طریقی تهیه شده باشد تا موجب تشکیل سارویه و خوردگی جدار دستگاهها نشود. در مبدل برای جلوگیری از خوردگی جدار به کمک بعضی مواد شیمیایی در سطح فلز، لایه نازک محافظتی اکسید ایجاد می‌گردد که در قسمت‌های بعدی با شرح بیشتر خواهد آمد.

خنک کننده‌ها در محل‌هایی که به آب فراوان و ارزان قیمت دسترسی وجود دارد به صورت یک طرفی^۱ عمل می‌کنند. مثلاً آب سرد از رودخانه اخذ و پس از استفاده و گرم شدن مجدداً به رودخانه برگردانده می‌شود ولی عموماً به ویژه در کشور ما که کمبود آب وجود دارد استفاده از سیستم خنک کننده‌های مداری^۲ مورد توجه است. برج‌های خنک کننده^۳ به دو شکل روباز و بسته وجود

1 - One Through
2 - Recirculating

نوع دوم به دیگ‌های فشار بالا (H. P. B.)^۲ موسوم‌اند. اشکالات مهمی که آب جوشاورها ممکن است ایجاد نمایند ذیلاً آمده است:

۱۲-۳-۱- سارویه^۲ و نشست^۴ در جوشاورها

ایجاد سارویه که یک لایه سخت چسبیده به جدار سطح حرارتی جوشاورها است و یا انباشته شدن مقدار قابل توجهی مواد ته مانده به صورت نشست در جوشاورها از مشکلات موجود در صنعت است. برای اینکه اهمیت موضوع از نظر صنعتی روشن تر شود در جدول ۱۲-۲ قابلیت هدایت حرارتی مس با بعضی ترکیبات مختلف موجود در سارویه‌ها مقایسه شده است. بطوری که در جدول مذکور مشاهده می‌شود، قابلیت هدایت حرارتی سارویه بطور متوسط حدود دو هزارم مقدار مربوط به مس است، با یادآوری این نکته که، مس به علت داشتن قابلیت هدایت حرارتی قابل توجه در ساختمان میدلهای حرارتی بطور وسیعی مورد استفاده است و نقطه ذوب این فلز در حدود ۱۰۸۳°C است که چندان مقدار زیادی نیست. ایجاد سارویه علاوه بر اینکه موجب تلفات قابل توجه انرژی می‌شود، به علت افزایش دمای جدار، مشکلات متعدد دیگری بار می‌آورد که هر کدام به نوبه خود نقش مخربی دارند.

جدول ۱۲-۲- قابلیت هدایت حرارتی مس و بعضی ترکیبات سارویه

جنس جدار	مس	سارویه					
		CaCO _۳	Fe _۲ O _۳	MgO	CaSO _۴	Al _۲ O _۳	۳MgO . ۲SiO _۲ . ۲H _۲ O
قابلیت هدایت حرارتی	۰/۹۲	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۳۱	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۲۴

مهمترین ترکیبات موجود در سارویه‌ها را به ترتیب زیر می‌توان ذکر کرد:

- کربنات کلسیم یا کلسیت^۱

- 2 - High- Pressure Boiler
- 3 - Scale
- 4 - Deposit Foulants

دارند. در شکل روباز آب گرم ضمن تماس با هوا تبخیر شده و سرد می‌شود. در شکل بسته آب تبخیر نمی‌شود و فقط از طریق انتقال حرارت است که سرد می‌شود. مبدلهای حرارتی^۴ که دارای لوله‌های مبادله کننده حرارتی است، اگر آب سرد در داخل لوله‌های مبدل باشد به این مبدل‌ها تیوب سایده^۵ و اگر آب سرد در خارج لوله‌ها باشد شل سایده^۶ گفته می‌شود.

۱۲-۳-۲- اشکالات مهم در آب جوشاورها

کیفیت و نوع آبی که برای مولد سیستم‌های بخار و دیگهای بخار مصرف می‌شود، با مقدار فشار مورد نیاز در دیگ بخار و نسبت تبخیر آب فرق می‌کند. بطور کلی آبی که برای دیگ بخار مصرف می‌شود بایستی دارای قلیائیت کافی باشد تا از تشکیل رسوبات سولفات و سیلیکات در جداره‌ی دیگ بخار جلوگیری به عمل آید. همچنین قلیائیت آب، عمل خوردگی اکسیژن و گاز کربنیک آزاد آب را خنثی کرده و اثر آنها را از بین می‌برد.

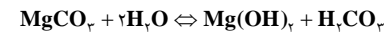
هر اندازه که فشار دیگ بخار بالاتر باشد آب مورد مصرف از نظر کیفیت شیمیایی بایستی بهتر و مقدار اصلاح موجود در آن به ویژه سیلیس آن کمتر باشد، بطوری که برای فشارهای بالا از آب مقطر که به کمک صافی‌های زغالی و رزین مخصوص کاملاً تصفیه شده است استفاده خواهد شد. بطور خلاصه اگر آبی که برای مصرف دیگ بخار به کار برده می‌شود آب کاملاً خالص باشد، بدون هیچگونه پیشامدی آب تبدیل به بخار شده و نتیجه مطلوب حاصل می‌گردد. دیگهای بخار با توجه به فشار داخلی‌شان به دو نوع تقسیم شده‌اند. نوع اول که در فشار ۱۰ psig^۱ و یا کمتر کار می‌کنند به دیگ‌های حرارتی فشار کم (L. P. H. B.)^۱ و

- 3 - Cooling Tower
- 4 - Heat Exchanger
- 5 - Tube Side
- 6 - Shell Side
- 1 - Low- Pressure Heating Boiler

۲/۰۹ گرم در لیتر در ۷۷ درجه فارنهایت (۲۵°C) است که به مراتب بیشتر از مقدار کربنات کلسیم (۰/۰۹ گرم در لیتر) می‌باشد.

- رسوب کربنات و هیدروکسید منیزیم

واکنش‌های شیمیایی و نحوه رسوب، نظیر کربنات کلسیم است ولی مقداری از کربنات منیزیم به صورت هیدروکسید منیزیم رسوب می‌کند. واکنش‌های زیر قابل پیش‌بینی هستند:



رسوب کربنات منیزیم در آبهای صنعتی به میزان کربنات کلسیم، تولید اشکال نمی‌کند و حلالیت کربنات منیزیم در آب مقطر ۷۷ درجه فارنهایت (۲۵°C) ۰/۲۲۳ گرم در لیتر یعنی تقریباً ۲/۵ برابر کربنات کلسیم می‌باشد و بنابراین در شرایط رسوب، معمولاً کربنات کلسیم نخست ته نشین خواهد شد.

حلالیت هیدروکسید منیزیم با افزایش حرارت کاهش می‌یابد. در آبهایی که دارای یونهای کلسیم و منیزیم و کربنات باشند تا دمای ۱۷۹°F (~۸۱°C) کربنات کلسیم رسوب می‌کند و سپس در بالاتر از این درجه حرارت، منیزیم، به صورت هیدروکسید منیزیم رسوب می‌نماید.

- رسوب آهن

آهن محلول در آب و یا آهنی که در نتیجه خوردگی دستگاهها ایجاد شده‌اند، ترکیباتی به وجود می‌آورند که ممکن است روی سطح فلزی جداره‌ی جوشاورها رسوب نمایند و یا به صورت کلئوئید در آب باقی بمانند. آبهایی که

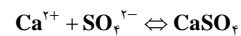
- کربنات منیزیم یا منیزیت^۲
- هیدروکسید کلسیم و منیزیم (Ca(OH)₂, Mg(OH)₂)
- سولفات کلسیم (CaSO₄)
- سیلیس هیدراته و سیلیس (SiO₂, nH₂O, SiO₂)
- سیلیکاتهای مختلف کلسیم و منیزیم (MgSiO₃, CaSiO₃)
- آلومینوسیلیکات سدیم یا آنالکیت^۱ (Al₂O₃, ۳SiO₂, Na₂O, ۲H₂O)
- فرو سیلیکات سدیم یا آکمیت^۲ (Fe₂O₃, ۴SiO₂, Na₂O)

- رسوب کربنات و سولفات کلسیم

با افزایش دما حلالیت کربنات کلسیم در آب کاهش می‌یابد و بی‌کربنات این کاتیون به صورت زیر تفکیک شده و کربنات کلسیم رسوب می‌کند:



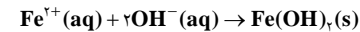
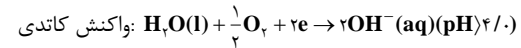
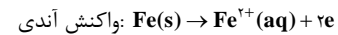
سولفات کلسیم نیز به صورت بلوری در سارویه‌ها رسوب می‌کند و چون بلورهای آن کوچکتر از کربنات کلسیم می‌باشد، لذا به مراتب متراکم‌تر از سارویه کربناتی است. پاک کردن و جدا نمودن آن از سطح فلز حتی بوسیله شست شو با اسید خالی از اشکال نیست.



حلالیت کربنات کلسیم در آب مقطر به مراتب کمتر از سولفات کلسیم در همان شرایط است. بنابراین در محلولی که علاوه بر کلسیم یونهای کربنات و سولفات موجود باشند هرگاه شرایط رسوب ایجاد شود کربنات کلسیم قبل از سولفات آن رسوب خواهد کرد. فشار چندان موثر نبوده و فقط با افزایش دما، حلالیت با سرعت بیشتری کاهش می‌یابد. حلالیت سولفات کلسیم در آب مقطر

1 - Calcite
2 - Manyesite
1 - Analcite
2 - Acmite

خوردگی را می‌توان به عنوان انهدام یک فلز طی یک واکنش شیمیایی و یا الکتروشیمیایی با محیط خود تعریف کرد. ضرری که در نتیجه پدیده نامطلوب خوردگی، سالانه فقط در ایالات متحده آمریکا ایجاد می‌شود ۷ میلیارد دلار^۱ برآورد شده است. خوردگی در سیستم‌های انتقال حرارت به علت ایجاد محصولات خوردگی موجب کاهش هدایت گرما و تقلیل راندمان می‌شود و در بعضی موارد موجب توقف کار کل سیستم تولید می‌گردد. ضمن پدیده خوردگی، فلزاتی نظیر آهن، روی و مس به ترکیبات خود تبدیل می‌شوند، مثلاً آهن در صنعت ضمن عمل مذکور به صورت FeO ، Fe_2O_3 و Fe_3O_4 تغییر ترکیب می‌دهد. آب یکی از عوامل ایجاد کننده خوردگی در فلزات است. وجود اکسیژن محلول در آن یکی از علل اصلی این خوردگی است. فرآیند الکتروشیمیایی خوردگی آهن به ترتیب زیر پیش‌بینی شده است:



در سیستم بالا حضور OH^- در کاند را می‌توان به کمک رنگ صورتی فنل فنالین در منطقه کاتدی مشاهده نمود. در خوردگی مذکور، سرعت خوردگی تحت کنترل کاتدی است. در سیستمی که با هوا تماس دارد اکسیژن مصرف شده مرتباً جایگزین می‌شود لذا خوردگی بطور متمادی ادامه می‌یابد. در صورت عدم حضور اکسیژن، یون و مولکولهای دیگری نظیر H^+ و CO_2 در کاتد وارد عمل می‌شوند:



و یا در حضور CO_2 واکنش خوردگی به ترتیب زیر جریان می‌یابد:

دارای اکسید فریکاند (Fe_2O_3)، کلوفیدی سرخ می‌باشند و به نام آب سرخ^۱ و آبهای که دارای سولفور کلوفیدی می‌باشند سیاه رنگ^۲ نامیده می‌شوند. pH آب در حلالیت یون آهن بسیار موثر می‌باشد.

- رسوب سیلیکات

در آب‌های طبیعی تا میزان ۱۰۰ ppm سیلیس وجود دارد که برای مصارف عمومی اشکالی ندارد و در فشارهای پایین مشکل ویژه‌ای ایجاد نمی‌نماید، ولی با بالا رفتن فشار داخل جوشاورها پسماندهای شیشه‌ای شکل فوق‌العاده سختی بر روی سطح حرارتی آنها و پره‌های توربین ایجاد می‌کند که مضرات بسیار زیادی دارد. در جدول ۱۲-۳ چگونگی تغییرات غلظت‌های سیلیس مجاز با حداکثر فشار نشان داده شده است.

جدول ۱۲-۳- تغییرات غلظت‌های مجاز سیلیس با فشار داخلی جوشاورها

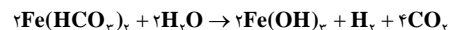
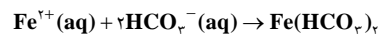
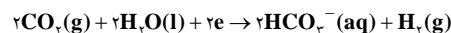
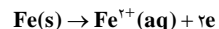
حداکثر فشار psig	۲۰۰	۳۰۰	۴۵۰	۶۵۰	۹۰۰	۱۴۰۰
حداکثر سیلیس ppm	۲۵۰	۱۷۵	۱۲۵	۸۰	۴۵	۱۵

بطوری که از جدول فوق مشهود است، در فشارهای بالا حذف SiO_2 موجود در آبهای صنعتی ضرورت و اهمیت ویژه‌ای دارد. مواد جامد معلق^۱ که در آب وجود دارند، در ته جوشاورها نشست می‌کنند و همراه آبهای تخلیه دیگ‌های بخار^۲ از آن خارج می‌شوند. ترجیح داده می‌شود که مواد موجود در آب پیش از آنکه به صورت ساروبه در آیند به صورت نشست ترسیب و از دیگ‌ها خارج شوند.

۱۲-۳-۲- خوردگی^۳

-
- 1 - Red Water
 - 2 - Black Water
 - 1 - Suspended Solids (S. S.)
 - 2 - Blow Down
 - 3 - Corrosion

۱- منبع: صفحه ۱۶۹ از کتاب زیر:



در عمل در سطح یک فلز سیستم آند و کاتد به تعداد بسیار زیادی وجود دارد و علل پیدایش آنها به ترتیب زیر پیش‌بینی شده است:

۱- عدم یکنواختی در سطح فلز که ضمن ریخته‌گری (از قالب در آوردن) و

دیگر عملیات فلز کاری ایجاد می‌شود.

۲- کشش زاینده از جوشکاری، شکل دادن و غیره.

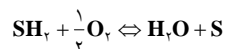
۳- اختلاف در ترکیب فلز در سطح. در بعضی مواقع این امر ممکن است در

نتیجه ناهم‌هنگی در ساختمان ریز فلز و یا وجود مواد ناخالصی باشد.

گاز SH_2 نیز نظیر CO_2 در حضور آب خاصیت خوردگی دارد. این ترکیب در آب

بسیار محلول بوده و خاصیت اسیدی دارد و گاهی با اکسیژن محلول در آب ترکیب

شده تولید گوگرد و در نهایت اسید بسیار قوی سولفوریک می‌کند.



خوردگی تا ۱۵۰ ppm سریعاً افزایش می‌یابد و سپس از غلظت ۴۰۰ ppm

به تدریج کاهش می‌یابد و از غلظت ۱۵۰۰ ppm به بالا ثابت می‌ماند.

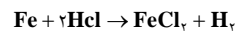
یکی از املاح مهمی که ممکن است در آب موجود بوده و باعث

خوردگی‌های شدید دیگ بخار شود، کلرور منیزیم است. این نمک در حضور آب

معمولاً طبق فرمول زیر هیدرولیز شده و اسید کلریدریک حاصل، جداره را مورد

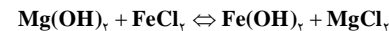
حمله قرار می‌دهد و تا وقتی هیدرات منیزیم در محیط موجود است عمل

خوردگی ادامه می‌یابد:



املاح حاصل از این دو واکنش، یعنی هیدرات منیزیم و کلرور آهن با

ترکیب با یکدیگر باعث تولید مجدد کلرور منیزیم خواهند گردید:



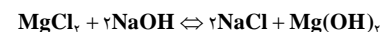
از املاح دیگر، که از نظر خوردگی اهمیت دارد می‌توان از سولفات منیزیم

مخصوصاً وقتی که در مجاورت کلرور سدیم باشد یاد کرد:



کلرور منیزیم حاصل در حضور آب قلیایی طبق فرمول ضمن پیدایش

هیدرات منیزیم خوردگی را ادامه می‌دهد:



وجود ترکیباتی چون کربنات و نیترات منیزیم ممکن است در حضور کلرور

سدیم باعث آزاد شدن اسید کربنیک و اسید نیتریک که به شدت خوردنده هستند

شود. سیلیس موجود در آب دیگ بخار در حضور کلرور سدیم احتمالاً اسید

کلریدریک و سیلیکات سدیم تولید می‌کند.

املاح محلول در آب نیز در امر خوردگی تاثیر دارند. معمول‌ترین املاحی

که در آب یافت می‌شوند، کلرورها، سولفات‌ها و بی‌کربنات‌ها هستند. آزمایش‌های

مختلف نشان داده که اثر آنیونها در خوردگی فلزات بستگی به جنس

تیمبره: برای جلوگیری از تشکیل رسوبات نظیر سولفات‌ها و سیلیکات‌ها در جدار دیگ‌های

بخار و تقلیل خوردگی، آب جوش‌آور به کمک NaOH قلیایی می‌شود (۱۱-۱۰/۵ pH). باید

توجه داشت در جوشاورهای با فشار زیاد، قلیا‌های قوی نظیر NaOH خود موجب خوردگی

می‌شوند و علاوه بر این در این فشارها بخارات H در توربین ایجاد پوسته می‌کنند و موجب

کاهش قدرت توربین می‌شوند. از این‌رو در جوشاورهای با فشار بالا pH در محدوده‌ی

۱۰/۰-۹/۰ به کمک چند ppm سدیم فسفات و یا آمین قابل تبخیر نظیر آمونیاک (ammonia)،

مورفولین (morpholine) یا سیکوهگزال آمین (Siclohexalamine) ایجاد می‌شود.

فلزات دارد. مثلاً آبی که یونهای سولفات دارد نسبت به سرب خوردنده نمی‌باشد،

زیرا در سطح فلز پوسته‌ای از سولفات سرب تشکیل می‌شود که نامحلول است.

کلرورها اثر خوردگی روی آهن (فولاد) دارند زیرا یون کلر قدرت نفوذ در پوسته

نازک اکسید محافظ فولاد را دارا می‌باشد. قدرت نفوذ آنیونها در آهن به ترتیب زیر است:

کلرور < برمور < فلورور < سولفات < نترات < فسفات
آبهایی که دارای غلظت مساوی از یک آنیون ولی حاوی کاتیونهای مختلف باشند نسبت به فولاد معمولی خوردگی متفاوتی نشان می‌دهند. در بین کلورهای گروه فلزات قلیایی شدت خوردگی کلرور پتاسیم بیشتر از همه، کلرور سدیم کمتر و کلرور لیتیم از هر دو کمتر می‌باشد. خوردگی بعضی کاتیون‌ها به ترتیب زیر است:

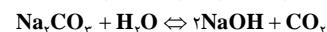
آمونیم < آلومینیم < پتاسیم < سدیم < لیتیم < باریم < کلسیم < منگنز < کادمیوم < منیزیم

آب با توجه به جنس جداره‌ی فلزی تاثیر زیادی در امر خوردگی دارد. درجه خوردگی فلزات آهن، نیکل و کادمیوم از محیط اسیدی شروع می‌شود و به تدریج تا محیط بازی کم می‌گردد. از این‌رو مناسب‌ترین pH در دمای دیگ بخار^۱ (۲۰۰°C) برای جلوگیری از خوردگی جداره‌ی آهنی از pH ۸/۴ تا ۹ که معادل pH ۵/۵ تا ۱۱/۵ دمای معمولی است، تعیین شده است. اما در مورد فلزات آلومینیم، روی و سرب که هر سه فلز آفوتر هستند یعنی هیدروکسید آنها در آب خنثی نامحلول ولی در آبهای اسیدی و قلیایی محلول می‌باشند^۲، در منطقه خنثی، هیدروکسید این فلزات روی سطح جدار رسوب می‌کند و تا حدودی از خوردگی فلز جلوگیری می‌نماید. در آبهای اسیدی، این فلزات املاح محلول می‌سازند و در نتیجه پوسته محافظ به تدریج برطرف شده و خوردگی شدت می‌یابد. در آبهای قلیایی، ترکیبات قابل حلی مانند زنکات سدیم (Na_۲ZnO_۲) و آلومینات سدیم (NaAlO_۲) تشکیل می‌شوند که باز هم قشر محافظ را بر طرف ساخته و خوردگی تشدید یافته و پیش می‌رود.

۱- عطف به تغییرات pH با دما

۲- عطف به موضوع تاثیر واکنشهای ثانوی اسید- باز بر تعادل‌های ته نشینی

بطور کلی دیدیم که در حرارت‌های بالا بیکریناتها تفکیک شده و کربنات و گاز کربنیک ایجاد می‌کنند. بر طبق واکنش زیر از تجزیه بیکرینات سدیم، کربنات سدیم و از تجزیه بیکرینات منیزیم، کربنات منیزیم حاصل می‌شود. در حرارت‌های بیش از ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد کربنات سدیم محلول هیدرولیز شده و به سود و گاز کربنیک تبدیل خواهد شد. کربنات منیزیم نیز در اثر هیدرولیز به هیدرات منیزیم و گاز کربنیک تبدیل می‌شود:



اثر خوردگی آب روی آهن ممکن است به مقدار خیلی جزئی گاز هیدروژن تولید کند و در ضمن در حرارت‌های خیلی بالا آب به یونهای هیدروژن و اکسیژن تفکیک می‌شود. گازهای H_۲ و CO_۲ تولید شده به همراه بخار خارج شده و در لوله‌های انتقال بخار یا محل مصرف آن متناسب با جنس و میزان گاز اثر می‌گذارند.

۱۲-۳-۱- سرعت خوردگی^۱

بطوری که قبلاً اشاره شد خوردگی در سه مرحله انجام می‌گیرد که کندترین آنها مرحله سوم یعنی واکنش کاندی است. از این‌رو به این واکنش الکتروشیمیایی، واکنش کنترل شده کاتدیک می‌گویند. علت اصلی کم بودن سرعت در این مرحله، کندی نفوذ و انتقال مولکول اکسیژن در درون آب است. از این‌رو بالا رفتن دما با وجودی که موجب کاهش انحلال اکسیژن در آب می‌شود ولی به علت تسریع امر نفوذ و انتقال اکسیژن در آب در مجموع نقش تسریع کننده در خوردگی را دارد. یادآور می‌شود که بالا رفتن دما موجب کاهش ویسکوزیته است. بطور کلی تجربه نشان داده است، هرگاه دما در سطوح مختلف

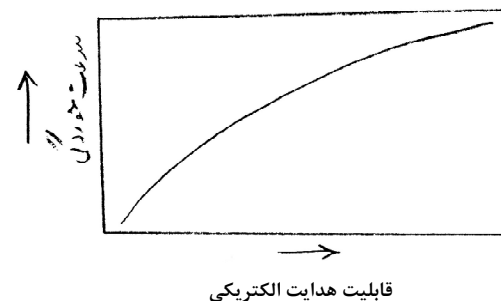
یک سیستم یکسان نباشد، در نواحی که دما بیشتر است نسبت به مناطق سرد خوردگی بیشتر خواهد بود. اگر سطح منطقه کاتدی نسبت به آندی بیشتر باشد، به علت تسهیل در امر اکسیژن رسانی و افزایش جریان الکترون‌ها، سرعت خوردگی بیشتر می‌شود، ولی در صورتی که سطح منطقه کاتدی نسبت به آندی کوچکتر باشد سرعت خوردگی کاهش می‌یابد. اگر سطح منطقه کاتدی ثابت ولی سطح منطقه آندی کاهش می‌یابد، در کل در سرعت خوردگی تغییری حاصل نخواهد شد ولی در عمل محل هر یک از حفره‌های خورده شده در آند عمیق‌تر می‌شود. این امر در واقع توضیح علت اصلی ایجاد نوعی خوردگی است که در اصطلاح خوردگی حفره ای^۱ نامیده می‌شود و خسارت ناشی از آن بیش از نوع خوردگی عمومی است.

۱۲-۲-۳-۲- پولاریزاسیون و دپولاریزاسیون^۲

بطوری که قبلاً ذکر گردید ضمن خوردگی در کاتد OH^- و یا H_2 ایجاد می‌شود. اگر این مواد در سطح فلز باقی بمانند، پوشش مانع در مقابل خوردگی تشکیل می‌دهند. این پوشش که در واقع یک باز دارنده خوردگی^۳ است، به صورت فیزیکی عمل می‌نماید. تشکیل این مانع در اصطلاح پولاریزاسیون و حذف آن دپولاریزاسیون نامیده می‌شود. عواملی که دپولاریزاسیون را تسریع می‌کنند عبارتند از:

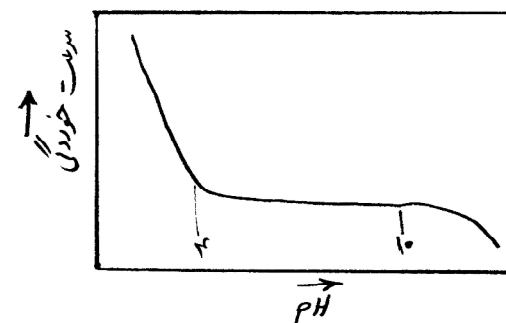
- الف) کاهش pH، یعنی افزایش غلظت H^+ موجب حذف OH^- می‌گردد.
 - ب) افزایش سرعت حرکت مایع و تبدیل حرکت آن از حرکت آرام به گردبادی^۱ باعث از بین رفتن لایه محافظتی OH^- می‌گردد.
- سرعت خوردگی با افزایش قابلیت هدایت الکتریکی (و یا TDS) به ترتیب زیر افزایش می‌یابد (شکل ۱۲-۱).

1 - Pitting
2 - Polarization - Depolarization
3 - Corrosion Inhibitor
1 - Turbulance



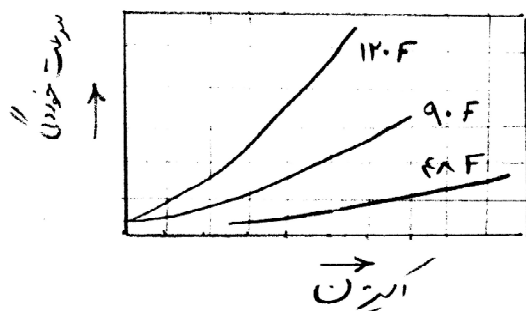
شکل ۱۲-۱- با افزایش قابلیت هدایت الکتریکی سرعت خوردگی نیز افزایش می‌یابد.

در شکل ۱۲-۲ تاثیر pH به سرعت خوردگی آهن نشان داده شده است. در محدوده pH کمتر از ۴ لایه اکسید آهن بطور متمادی حل می‌شود. در pH ما بین ۴ الی ۱۰ خوردگی تقریباً مستقل از pH است ولی در مقابل، نسبت به نفوذ اکسیژن بستگی کامل دارد.



شکل ۱۲-۲- تاثیر به سرعت خوردگی

در شکل ۱۲-۳ تاثیر غلظت اکسیژن به سرعت خوردگی در دماهای مختلف نشان داده شده است. قابل ذکر است که در خوردگی فولاد در خنک‌سازی آب نیروی رانش^۱ اصلی اکسیژن است. بطوری که قبلاً ذکر شد علت اصلی افزایش سرعت خوردگی با دما افزایش نفوذ اکسیژن در دماهای بالاتر است.



شکل ۱۲-۳- تاثیر غلظت اکسیژن به خوردگی در دماهای مختلف

۱۲-۳-۲-۳- دسته‌بندی انواع خوردگی

طرز عملکرد انواع مختلف خوردگی را می‌توان در دو دسته تقسیم‌بندی کرد.

الف) خوردگی یکنواخت^۱

ب) خوردگی موضعی^۲

1 - Driving Force
1 - Uniform Corrosion

در خوردگی یکنواخت آند متغیر است، در حالی که در خوردگی موضعی آند ثابت است. در خوردگی یکنواخت مساله اصلی بیش از آنکه از کار افتادن دستگاه باشد، تولید مواد اضافی^۲ است در حالی که در مورد خوردگی موضعی عکس این امر صادق است.

انواع خوردگی را به ترتیب زیر می‌توان ذکر نمود:

الف- خوردگی حفره‌ای^۱

این نوع خوردگی که از دسته خوردگی موضعی است در واقع ایجاد حفره‌های عمیق در سطح فلز می‌کند.

ب- شستشوی انتخابی^۲

در این نوع خوردگی یکی از فلزات آلیاژ بطور انتخابی خورده می‌شوند. به عنوان مثال در آلیاژ روی-مس در pH کمتر از ۶ به شدت روی زدایی جریان می‌یابد و عملاً ساختمان آلیاژ منهدم می‌گردد.

ج- خوردگی گالوانیک^۳

به علت تماس دو فلز از جنس‌های مختلف ایجاد می‌شود که نیروی رانش در این پدیده اختلاف پتانسیل موجود ما بین دو فلز است.

2 - Localized Corrosion
3 - Fouling
1 - Pitting Corrosion
2 - Selective Leaching
3 - Galvanic Corrosion

۱۲-۳-۳- شکندگی قلیایی^۵

اگر فلز جدار جوشاور تحت فشار کششی، در تماس با محلول غلیظ قلیایی قرار گیرد پدیده‌ی شکندگی قلیایی که در واقع ترک مابین بلورهای فلز است، ممکن است اتفاق افتد. این ترک‌ها، تحت فشار، بطور نامنظم هستند و توسط میکروسکوپ نیز قابل رویت‌اند. در اثر این پدیده، فلز ضعیف و شکننده می‌شود و هر آن ممکن است موجب از کار افتادگی جوشاور شود. در زمینه علل شکندگی قلیایی نظرات مختلفی بیان شده است از این جمله امکان نفوذ هیدروژن به بدنه‌ی خیلی گرم جداره و یا تاثیر سود غلیظ به بافت یکنواخت فلز و به هم زدن آن که منجر به خستگی زودرس فلز می‌شود. این نوع شکندگی غالباً در قسمت‌هایی از دیگ که خمیدگی داشته و یا جوش کاری و پیچ شده‌اند بیشتر دیده می‌شود. در نقطه‌ای از بدنه دیگ در صورتی که نشست آب وجود داشته باشد، احتمال شکندگی قلیایی بسیار بالاست. بعضی از صاحب‌نظران عقیده دارند وجود سیلیس و بعضی عوامل اکسید کننده در تسریع شکندگی قلیایی اثر فراوانی دارند. تجربه نشان داده است که نیترات سدیم و فسفات سدیم از عوامل مهمی هستند که قادرند از شکندگی قلیایی جلوگیری نمایند. در زمینه مقادیر مورد نیاز از این ترکیبات مطالعات لازم صورت گرفته و در متون مربوط درج شده است. این پدیده نظیر دیگر پدیده‌ها چندان معمول نیست.

۱۲-۳-۴- پدیده‌های حمل^۱، کف^۲، و غلیان^۳ در آب جوشاور در آب

سه پدیده‌ی مذکور از نظر کیفیت مشابه هم‌اند و هر سه موجب می‌شوند که مواد جامد محلول در آب جوشاورها آن را ترک نمایند. در این پدیده‌ها آب به صورت قطرات کوچک به همراه بخار داغ حمل و جوشاور را ترک می‌کنند.

5 - Caustic Embrittlement

1 - Carryover

2 - Foaming

3 - Priming

د- خوردگی در شکاف^۴

حالت خاص و شدیدی از دسته خوردگی موضعی است.

ه- خوردگی ما بین دانه‌ها^۵

این نوع خوردگی مربوط به حمله‌های موضعی در مرز دانه‌های فلزات است. این خوردگی که از دسته موضعی است به ویژه ضمن گرم کردن یکنواخت فولاد زنگ نزن دیده می‌شود. این خوردگی به علاوه در بعضی آلیاژهای آلومینیوم گزارش گردیده است.

و- خوردگی کششی^۱

این خوردگی در محیط‌های خورنده به ویژه در موادی که فلز تحت فشارهای کششی^۲ است مشاهده می‌شود. این نوع خوردگی در سیستم‌های خنک کننده به کرات مشاهده می‌شود و دما در این امر نقش مهمی دارد. این خوردگی در واقع یک نوع آسیب زودشکنی^۳ یک فلز به صورت ترک در محیط‌های خورنده و در حضور فشارهای کششی است.

ز- خوردگی سائیدگی^۴

این نوع خوردگی که از هر دو دسته موضعی و یکنواخت محسوب می‌شود، در نتیجه سائیدگی موجب خوردگی جدار فلز می‌گردد. سرعت زیاد مایع و وجود ذرات معلق در آب موجب افزایش آن است. این نوع خوردگی به ویژه در محل‌هایی که جهت مایع تغییر می‌کند از دید می‌یابد.

4 - Crevice Corrosion

5 - Intergranular Corrosion

1 - Stress Corrosion Cracking (SCC)

2 - Tensile Stress

3 - Brittle Failure

4 - Erosion Corrosion

و) وجود مواد معلق و کلوئیدی در آب دیگ بخار به ویژه سیلیس
ز) استفاده بیش از حد مجاز ظرفیت دیگ بخار

۱۲-۳-۵- اصلاح کیفیت آبهای صنعتی مورد استفاده در جوشاورها

آنچه که در این قسمت عمدتاً مورد توجه است آبهای مورد نیاز برای جوشاورهای با فشار بالا است و آب خام ورودی به واحد آب و برق یک تاسیسات صنعتی لازم است جهت تصفیه مراحل زیر را طی نماید:

الف) انعقاد و لخته سازی

ب) صافی کردن

ج) گاز زدایی

د) سبک کردن

در زمینه دو مورد نخست در بخش‌های قبل سخن گفته‌ایم. لذا دو مورد زیرین مورد توجه است. آبی که کلیه مراحل فوق را طی کرده باشند به دیگ بخار تزریق می‌شود، کلیه مراحل مذکور که در خارج دیگ بخار انجام یافته است تصفیه خارجی^۱ آب می‌نامند. برای تکمیل عمل تصفیه بعضی عملیات و تدابیر در داخل دیگ بخار به انجام می‌رسد که آنها را تصفیه داخلی^۲ می‌نامند.

۱۲-۳-۵-۱- گاز زدایی

در صورتی که منظور نظر حذف گازهای مختلف نظیر CO_2 ، SH_2 و غیره از آب باشد می‌توان از روش هوادهی^۳ استفاده نمود. این امر ضمن کمک به خروج گازها، موجب اکسیداسیون مواد آلی موجود در آب و حذف آنها می‌شود. به علاوه باید انتظار داشت این عمل هوادهی موجب ازدیاد اکسیژن موجود در داخل آب شود. بطوری که قبلاً نیز گفته شد ضرورت حذف اکسیژن وجود دارد و به این

پدیده‌ی نامطلوب کف موجب بالا رفتن ظاهری سطح مایع در دیگ بخار می‌شود و این امر به آلوده شدن بخار داغ توسط قطرات مایع کمک شایانی می‌کند.

غلیان در واقع خروج قسمتی از آب دیگ بخار توسط بخار داغ است که این کار به شدت و متناوباً انجام می‌گیرد. در ضمن این پدیده حتی مقداری از لجن‌های داخل دیگ نیز به همراه بخار داغ خارج می‌شود.

گاهی ممکن است بدون اینکه علائم مشخصه‌ی کف کردن و غلیان وجود داشته باشد قسمتی از مواد جامد جوشاور توسط بخار داغ حمل شود که این پدیده حمل نامیده می‌شود.

وقتی در یک دیگ کف و غلیان وجود دارد رویت سطح واقعی آب داخل دیگ توسط پنجره مربوط مشکل است. خروج مواد جامد توسط بخار می‌تواند موجد مشکلات متعددی به ویژه در کار توربین‌ها باشد، لذا باید حتی‌الامکان از ایجاد این پدیده‌ی نامطلوب جلوگیری به عمل آید.

علل ایجاد این پدیده‌ها به ترتیب زیر پیش‌بینی شده است:

الف) بالا بودن مقدار کل جامدات محلول (TDS) موجب بالا رفتن نقطه جوش و فشار بخار محلول می‌شود و از این‌رو انرژی سینتیک ذرات بخار افزایش می‌یابد بطوری که این ذرات ضمن جدا شدن از سطح مایع، به صورت بخار قادر به حمل قسمتی از مایع هستند.

ب) گازهای محلول در آب باعث تشکیل حباب‌های عایق حرارتی در جداره‌ی سطح دیگ می‌شوند که مانع انتقال حرارت و لذا موجب افزایش آبی و منطقه‌ای دما می‌گردد. افزایش دما سرانجام باعث ترکیدن حباب‌های با انرژی زیاد می‌شود و بخارات حاصله که دارای انرژی زیادی هستند قادرند تا قطرات مایع را نیز حمل نمایند.

ج) موجود بودن موادی که کشش سطحی را کاهش می‌دهند، نظیر کف کننده‌ها (پاک کننده‌ها، روغن‌ها...)

ه) وجود قابل توجه قلیائیت کل

1 - External Treatment

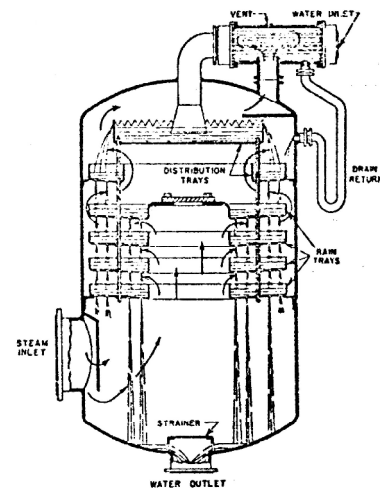
2 - Internal Treatment

3 - Aeration

منظور از طرق مختلف فیزیکی و شیمیایی استفاده می‌شود که به اختصار در مورد هر یک شرحی خواهیم داشت:

– طبقه فیزیکی هوازدايي^۱

برای این منظور از دستگاهی نظیر آنچه که در شکل ۴-۱۲ نشان داده شده استفاده می‌شود. بطوری که در شکل مشاهده می‌شود آب مورد نظر از بالای ستون وارد می‌شود و به کمک وزن خود به پایین حرکت می‌کند و در ضمن این کار به کمک سینی‌های خاص امکان حداکثر تماس ممکن با بخار داغی که از قسمت پایینی دستگاه وارد شده، فراهم می‌گردد. در ضمن این عملیات قسمت اعظم هوا از مایع خارج و به همراه بخار خارج می‌شود. یادآور می‌شود این مخلوط بخار و گاز جهت گرم کردن اولیه آب ورودی در مبدل مورد استفاده قرار می‌گیرد و بدین ترتیب بخار مایع می‌شود ولی گازها از مبدل حرارتی خارج می‌گردند. آبی که هوازدايي شده است از قسمت زیرین دستگاه دریافت می‌شود. باید توجه داشت در هوازدايي آنچه که حذف آن مورد توجه قرار دارد اکسیژن موجود در آب است. (با توجه به اینکه ضمن هوازدايي، در عمل گازهای خورنده محلول در آب نظیر NH_3 ، CO_2 و SH_2 نیز زدوده می‌شوند، ضرورت و اهمیت موضوع روشن تر می‌شود).



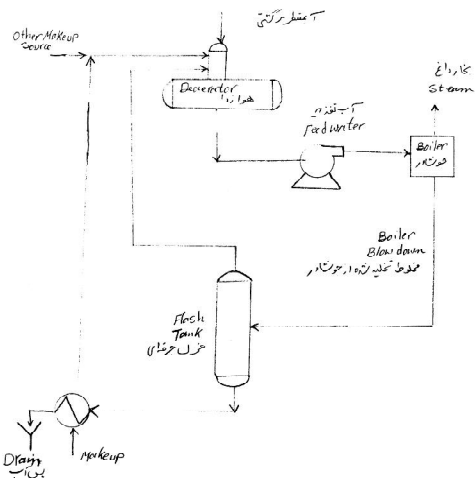
شکل ۴-۱۲- دستگاه هوازدايي

بطور کلی هوازدايي براساس دو عامل تغییر گرما و فشار انجام می‌گیرد. در شکل ۵-۱۲ سیستم بازبایی انرژی حرارتی از مخلوط تخلیه شده از جوشاور که به منظور هوازدايي از آب مقطر برگشتی ترتیب داده شده است، دیده می‌شود. در این سیستم از مخزن جرقه‌ای^۱ نیز استفاده شده است. با توجه به قانون هنری^۲، یکی دیگر از روش‌های هوازدايي، استفاده از سیستم خلاء و تقلیل فشار است که موجب خروج هوا از آب می‌شود.

1 - Flash Tank

۲- $C=kp$ در این رابطه C غلظت گاز حل شده در مایع و p فشار گاز موجود در سطح مایع و k ثابت هنری است که تابعی از شرایط عمل به ویژه دما است.

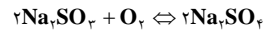
1 - Deaeration



شکل ۱۲-۵- سیستم بازیابی انرژی حرارتی از مخلوط تخلیه شده از جوشاوار به منظور استفاده از آن در دستگاه هوازدا

۱- روشهای شیمیایی اکسیژن زدایی - روش استفاده از سولفیت سدیم

این روش به علت ارزانی قیمت و سهولت کاربرد امروزه مناسبترین روش برای کاهش و حذف اکسیژن به شمار می‌رود. در این روش سولفیت با جذب اکسیژن به سولفات سدیم تبدیل می‌شود:



برای حذف کامل هر میلی‌گرم در لیتر اکسیژن عملاً به ۷/۸۸ میلی‌گرم در لیتر سولفیت سدیم خالص نیاز است. در آب دیگ بخار همواره باید به مقدار جزئی سولفیت سدیم اضافی موجود باشد. تحقیقات زیادی درباره‌ی تاثیر دما، pH و کاتالیزورها بر روی واکنش بالا صورت گرفته است. مناسبترین دما در حدود

۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و pH حدود ۹ الی ۱۰ پیش‌بینی شده است. به علاوه نقش کاتالیزوری فلزاتی چون آهن، مس، کبالت و منگنز نیز تثبیت شده است. در دیگهای بخار با فشار کم تنها نکته منفی این عمل افزایش غلظت مجموع کل املاح محلول (TDS) در آب است ولی در دیگهای بخار با فشار زیاد احتمال تجزیه آن و تولید SO_2 یا SH_2 که هر دو به شدت خورنده هستند نیز موجود است.

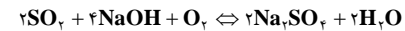
۲) هیدرازین

هیدرازین طبق واکنش زیر با اکسیژن ترکیب می‌شود:



مزیت عمده‌ی این روش، نوع فرآورده‌های آن است که موجد مشکل خاصی نیستند. هر میلی‌گرم هیدرازین قادر است یک میلی‌گرم اکسیژن محلول را حذف نماید، ولی در عمل این مقدار تا حد ۱/۵ الی ۲ میلی‌گرم در لیتر هیدرازین نیز افزایش می‌یابد. در صورتی که هیدرازین بتواند در داخل دیگ بخار خوب تجزیه شود ممکن است آمونیاک تولید نماید، از این رو توصیه می‌شود که هیدرازین باقی‌مانده نباید از ۰/۱ میلی‌گرم در لیتر تجاوز نماید. ترکیب هیدرازین تا حدودی قابل انفجار است، لذا بعضی تولید کنندگان، هیدرازین فسفردار به بازار عرضه نموده‌اند که علاوه بر بی‌خطر بودن فسفر موجود در آن می‌تواند در جلوگیری از چسبندگی رسوبات به جدار و تشکیل سارویه موثر واقع شود.

علاوه بر مواد شیمیایی مذکور در بالا در صنعت گاهاً از مواد دیگری نیز استفاده می‌شود، از این جمله می‌توان از تانن و گاز SO_2 یاد کرد. گاز SO_2 در محیط قلیایی بر طبق واکنش زیر با اکسیژن آب ترکیب و تولید سولفات سدیم می‌کند:



برای حذف یک گرم O_2 حدود ۴ گرم SO_2 کفایت می‌نماید.

۱- بالاتر از فشار ۱۵۰۰ psi (۵۹۶/۲۳ °F)

۱۲-۳-۵-۲- سبک کردن آب^۱

آبی که در صنعت برای دیگهای بخار مورد مصرف است باید حتی الامکان خالص و عاری از املاح و مواد مزاحم باشد و به خاطر جلوگیری از تولید هر گونه اشکال در دیگهای بخار قبلاً باید بوسیله عملیات شیمیایی، تمام سختی‌های آن را جدا کرد و نیز سیلیس آن را با توجه به فشار و دمای دیگ بخار به حداقل ممکن تقلیل داد. این عملیات در واحدی به نام واحد تصفیه آب صنعتی و یا واحد سبک کردن آب انجام می‌گیرد.

واحد مذکور در بالا معمولاً از قسمت‌های زیرین تشکیل می‌شود:

(۱) برجهای فعل و انفعال^۲

(۲) صافی‌های زغالی^۳

(۳) صافی‌های رزینی^۴

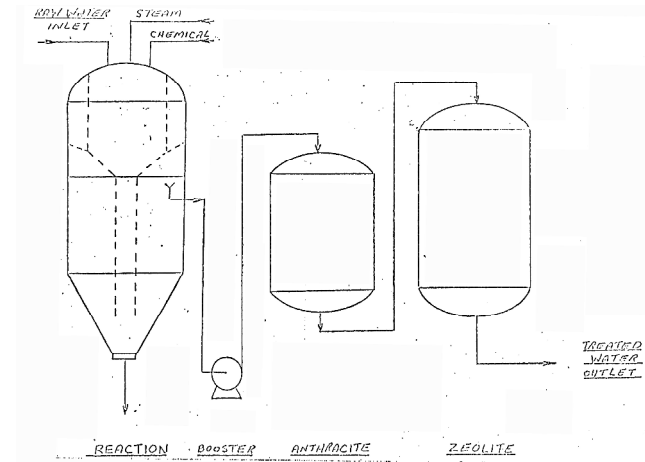
(۴) تصفیه آب مقطر برگشتی^۵

(۵) هوا و گاززدایی مجدد^۶

(۶) تلمبه‌های تزریق مواد شیمیایی و آب^۷

در شکل ۱۲-۶ مسیر اصلی تهیه آب صنعتی نشان داده شده است. لازم به یادآوری است، حداکثر سختی مجاز آب صنعتی حدود ۲-۱ ppm است. اگر چنانچه نتوان سختی آب را کمتر از این مقدار نگهداشت، باید سیستم متوقف و اقدامات لازم را به عمل آورد. بی‌اعتنایی به عمل تصفیه ضررهای جبران ناپذیری به دیگهای بخار و لوله‌های درون دستگاهها وارد می‌سازد.

-
- 1- Softening plant
 - 2 - Hot-Lime-Reactors
 - 3 - Anthracite Filters
 - 4 - Zeolite Softener
 - 5 - Condensate Polisher
 - 6 - Deaerator
 - 7 - Pumps



شکل ۱۲-۶- مسیر اصلی تهیه آب صنعتی

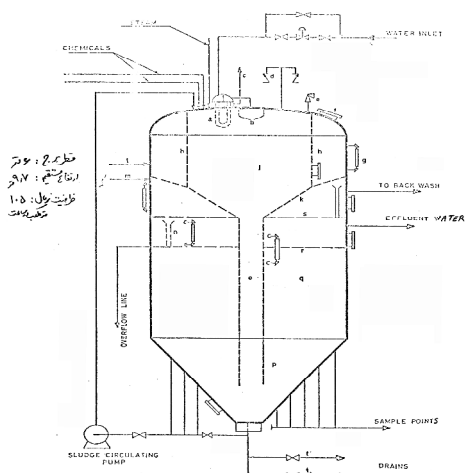
ذیبلاً در مورد هر یک از قسمت‌های مذکور توضیحاتی ذکر خواهد شد:

۱- برجهای فعل و انفعال

فرآیندهای ترسیب مواد جامد محلول در آب در دو شرایط دمای معمولی و دمای بالا امکان‌پذیر است ولی غالباً به علل زیر استفاده از برجهای فعل و انفعال گرم ترجیح داده می‌شود:

- تسریع واکنش در فعل و انفعالات شیمیایی. بطور تقریب به ازای هر ده درجه سانتی‌گراد سرعت فعل و انفعالات دو برابر خواهد شد.
 - گاززدایی مجدد به علت بالا بودن دما
 - حذف سیلیس موجود در آب. واکنش اکسید منیزیم با سیلیس با ازدیاد دما تسریع شده و در 107°C تقریباً سیلیس از آب خارج می‌شود.
- در شکل ۱۲-۷ برج فعل و انفعال بطور شماتیک نشان داده شده و نام قسمت‌های مختلف آن در جدول ۱۲-۴ ذکر شده است. در این برج جهت رسوب دادن املاح کلسیم و منیزیم و غیره، آب آهک و جهت جذب سیلیس، اکسید

منیزیم مصرف می‌شود، و در ضمن سعی می‌شود شرایطی تامین شود که در عمل ته‌نشینی تمامی رسوبات معلق ممکن شود. ذیلاً توضیح مختصری در زمینه نحوه‌ی کار آن به عمل خواهد آمد.



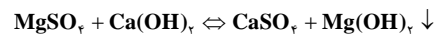
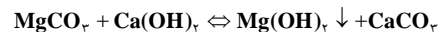
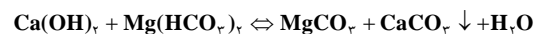
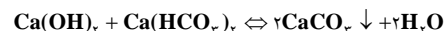
شکل ۳-۱۲- برج فعل و انفعال

جدول ۱۲-۴- قسمتهای مختلف برج فعل و انفعال

a- Vent Condenser	کندانسور آب ورودی
b- Water Inlet & Sprays	ورودی آب و آب پاش‌های مربوط
c- Vent	تخلیه گاز
d- Vacuum Breaker	خلا شکن
e- Safety	شیر اطمینان
f-	Valve ورودی به برج Manhole
g- Gauge Glass	آب نما
h- Dirty Back Wash Compartment	محفظه آب کثیف
j- Softening Section	قسمت تصفیه

k- Clean Back Wash Water Compartment	محفظه آب تمیز
l- Clean Water Inlet	ورودی آب تمیز به محفظه
m- Dirty Water Inlet	ورودی آب کثیف به محفظه
n- Overflow Line	لوله سرریز
o- Down comer (Reaction Zone)	لوله فعل و انفعال
p- Sludge Zone	قسمت ته نشست
q- Fine Settling Zone	منطقه رسوبات
r- Perforated Plate	صفحه مشبک
s- Effluent Water Zone	منطقه آب خروجی
t- Auto Desludging Valve	شیر تخلیه اتوماتیک
u- Quick Desludging Valve	شیر تخلیه سریع

آب ورودی در مرحله نخست در کندانسور مربوطه (a) مقدماً گرم می‌شود و این موجب خروج گازهای موجود در آن می‌شود که توسط دستگاه تخلیه گاز (c) خارج می‌شود، سپس آب گرم توسط افشان‌های مخصوصی (b) به داخل دستگاه پاشیده می‌شود. متناسب با مقدار آب ورودی، مواد شیمیایی محلول یعنی آب آهک و اکسید منیزیم نیز وارد برج می‌شود که با عوامل سختی ترکیب شده، رسوب می‌دهند.



بطوری که از واکنش‌های فوق مشهود است، کربنات کلسیم در برج فعل و انفعال ته‌نشین شده و تخلیه می‌گردد ولی بقیه کلسیم‌ها در سیستم زئولیت گرفته می‌شوند. Mg(OH)_2 ترکیب نسبتاً ناپایداری است لذا تجزیه شده و به

کربنات سدیم کم است ولی با وجود این می‌توان انتظار داشت که واکنش‌های یاد شده در بالا را طی نماید.

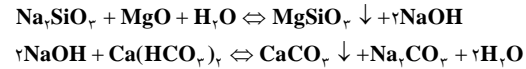
۲- صافی‌های زغالی^۱

آبی که از برج فعل و انفعال خارج می‌شود، مقداری ذرات ریز (کلوئیدی) به همراه خود خارج می‌کند که بایستی جدا شوند، به این منظور از صافی زغالی استفاده می‌شود. ضمن عبور دادن آب از صافی‌های زغالی اجسام معلق آن توسط سطح فعال زغال جذب می‌شود. آب خروجی از برج فعل و انفعال بوسیله تلمبه تقویتی^۲ از صافی زغالی عبور می‌کند و ذرات آن به تدریج بر روی زغال‌ها جمع شده و سطح آن را می‌پوشانند و در نتیجه اختلاف فشار ایجاد می‌گردد. برای برطرف کردن آنها روزانه معمولاً حداقل یک بار آن را از سرویس خارج می‌کنند و به طریق شستشوی معکوس^۳ می‌شویند. مدت شستشو حدود ۱۰ دقیقه است. زغال از این نظر که در آب محلول نیستند مزیت دارد. نوع زغال، آنتراسیت است و در ۵ طبقه مختلف با اندازه‌هایی ما بین ۰/۶ تا ۵۰ میلی‌متر بر روی هم قرار گرفته‌اند. غالباً از ۳ عدد صافی استفاده می‌شود و قطر آنها حدود ۲/۴ متر و ارتفاع ۲/۳ متر است. ظرفیت در شرایط عادی ۳۵ متر مکعب در ساعت است. شکل شماتیک یک نوع از این فیلترها در شکل ۱۲-۸ دیده می‌شود.

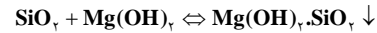
۳- سبک کردن بوسیله رزین‌های تبادل یونی^۴ و زئولیت‌ها^۵

تبادل یون یک پدیده‌ی فیزیکوشیمیایی بوده و تبادل یونی بین دو مایع و یا مایع- جامد می‌تواند برقرار شود. مایع مورد نظر محلول آب و جسم جامد نیز ممکن است رزین‌های سنتتیک و زئولیت باشند. برحسب آنکه یون جابجا شده

MgO و H₂O تبدیل می‌شود و آب آهک وارد برج می‌شود. علاوه بر این MgO مقدار قابل توجهی MgO به همراه آب آهک وارد برج می‌شود. سیلیکات و سیلیس موجود در آب بر طبق فعل و انفعالات زیر ترسیب می‌نمایند:



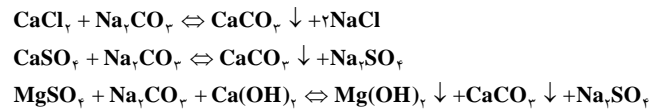
ذرات کلوئیدی سیلیس، توسط Mg(OH)₂ منعقد شده و به همراه آن ترسیب می‌شوند.



این عمل انعقاد در pH ۱۰/۲ بهتر عمل می‌کند.

برای اینکه رسوبات بهتر ته‌نشین شوند و به ویژه عمل انعقاد تکمیل شود مقداری از رسوبات که در حدود ۱۰ درصد آب خروجی از برج می‌باشد، بوسیله تلمبه بر گردانده می‌شود^۱ تا ذرات ریز (کلوئیدی) که بسیار کند ته‌نشین می‌شوند جذب رسوبات (لجن^۲) شده و با سرعت بیشتری ته‌نشین شود. توسط این روش می‌توان تقریباً ۹۹ درصد سیلیس موجود در آب را حذف کرد.

در صنعت روش دیگری برای ترسیب مواد سختی‌زا وجود دارد که در اصطلاح فرآیند لایم سود^۳ نامیده می‌شود. در این فرآیند از هیدروکسید کلسیم و کربنات کلسیم استفاده می‌شود. در روش مذکور کربنات سدیم به ترتیب زیر عمل می‌کند:



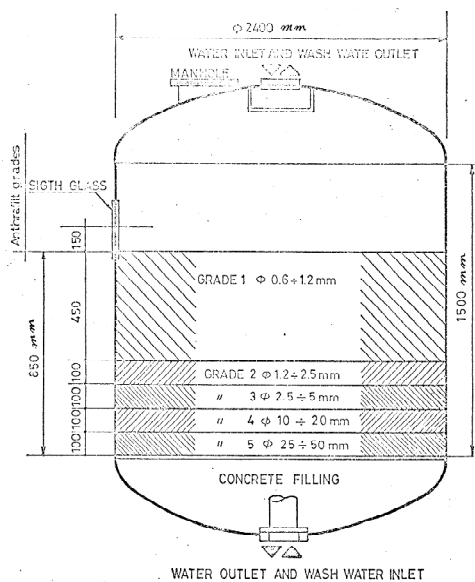
در برج فعل و انفعال نیز بطوری که دیدیم از ترکیب سیلیکات سدیم، سود حاصل می‌شود و این سود نیز منجر به تولید کربنات سدیم می‌شود. مقدار این

1 - Sludge Circulation
2 - Sludge
3 - Lime Soda

1 - Anthracite Filters
2 - Booster Pump
3 - Back Wash
4 - Ion Exchange
5 - Zeolite

آنیون یا کاتیون یا هر دو آن در آن واحد باشد آنها را رزین‌ها و یا زئولیت‌های آنیونی، کاتیونی و آمفوتری می‌نامند.

پیدایش این پدیده از اواسط قرن نوزدهم توسط فوش⁴ مورد مطالعه قرار گرفت. این دانشمند در موقع آزمایش‌های گوناگون، به این نکته پی برد که بعضی خاکها خاصیت آن را دارند که پتاسیم و سدیم خود را آزاد نموده و کلسیم

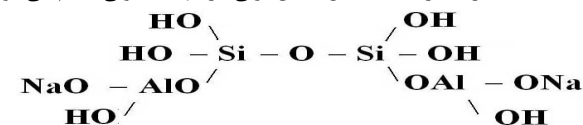


شکل ۱۲-۸- صافی زغالی

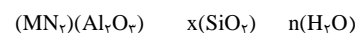
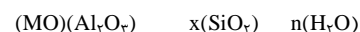
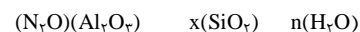
محلول را جذب نمایند. دانشمند دیگری به نام تامسون¹ (۱۸۴۵) مشاهده کرد که هرگاه محلول آمونیاک به خاک علاوه شود، آمونیاک آن جذب خاک می‌شود و

4 - Fusch
1 - Thompsons

اگر به خاک آهک بیافزایند آمونیاک را آزاد می‌نماید. کارهای تامپسون بعدها بوسیله پای² دنبال شد و او گزارش جامعی به مجمع عمومی کشاورزی پادشاهی لندن ارائه نمود و در تعقیب کارهای خود در آزمایشگاه موفق به شناسایی آلومینو سیلیکات‌های هیدراته گردید که عمل تبادل یونی در آنها به خوبی انجام می‌شود:



بعدها این ترکیب بطور مصنوعی ساخته شد که خاکهای پرموتیت نام گرفت و این پدیده به پرموتاسیون¹ مشهور گردید، ولی خاکهای طبیعی آن را زئولیت² نامیدند. تا امروز بیش از ۴۰ نوع زئولیت طبیعی پیدا شده است که همگی دارای فرمول کلی زیرین می‌باشند و از این سه نوع خارج نیستند.



در این فرمول‌ها:

N نمایش دهنده Na و K

M نمایش دهنده Ca و Ba, Sr

n نمایش دهنده تعداد مولکولهای آب و

x نمایش دهنده تعداد مولکولهای اکسید سیلیسیم می‌باشند.

علاوه بر اینها، تورب (نوعی زغال سنگ) و زغال سولفونه نیز دارای خواص تبادل یونی هستند و این زغال سولفونه را می‌توان از زغال سنگ چرب و باقی مانده‌های تقطیر نفت بوسیله اولئوم تهیه نمود. احتیاجات روز افزون بشر به این نوع مواد و اشکالاتی که با آن مواجه بودند، ضرورت تهیه انواع بهتر آنها را ایجاد

2 - Wpy

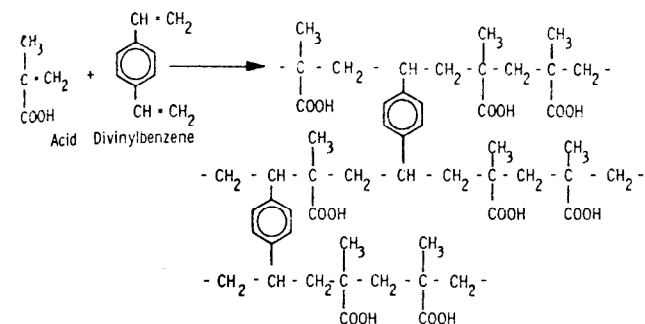
1 - Permutation

۲- این نام مشتق از دو کلمه یونانی به نام Zein و Litho است که معنی آنها "سنگی که می‌جوشد" است.

کرد، تا اینکه آدامز³ و هولمز⁴ موفق به ساختن رزین‌های سنتزی شدند که دارای مقاومت بیشتر بوده و در عین حال می‌توانستند آنها را به آسانی احیاء و مورد استفاده مجدد قرار دهند. این مواد امروزه به نام رزین‌های مبادله کننده یونی مشهور هستند و با فرمول کلی ROH، RH یا RM (M کاتیون یا ترکیبات دیگر) نشان داده می‌شود.

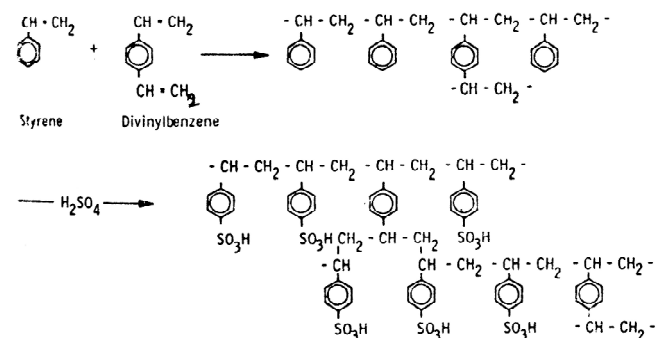
از نظر ساختمان مولکولی رزین‌های مبادله کننده یونی پلیمر مصنوعی هستند. در تهیه این پلیمر دو روش اساسی وجود دارد. روش نخست پلیمراسیون الکترولیت‌های آلی است و روش دوم پلیمراسیون مولکول آلی خنثی است که با تعبیه یک گروه یونی به آن تکمیل می‌شود.

به عنوان نمونه‌ای از روش نخست ذیلاً طرز تهیه نوعی از مبادله کننده کاتیونی شرح داده شده است. این رزین از پلیمراسیون سوسپانسیون اسید متاکریلیک¹ با دی وینیل بنزن² (DVB) به عنوان عاملی که بتواند از چهار طرف رشد نماید تهیه می‌شود. در این رزین اسید کربوکسیلیک، گروه فعال و یونیزه پذیر مبادله کننده است:



- 3 - Adams
- 4 - Holms
- 1 - Methacrylic Acid
- 2 - Divinyl Benzene

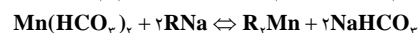
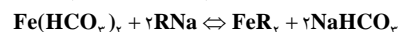
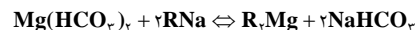
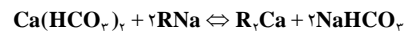
به عنوان مثالی از روش دوم، تهیه رزین حاصل از پلیمراسیون استایرن¹ با DVB (عامل رشد در چهار جهت) ذیلاً ذکر شده است. به این رزین حاصل به کمک سولفوناسیون گروه فعال یونیزه پذیر اسید سولفونیک متصل می‌شود:



رزین‌ها پس از مصرف، با محلول‌های مخصوصی، برای حذف کاتیون آنیون آن که قبلاً جذب کرده، شست شو داده می‌شود تا رزین به حالت اولیه خود برسد. راندمان یک رزین هیچگاه به صد درصد نمی‌رسد زیرا این رزین‌ها به علت فرسودگی زیاد، کم از قدرتشان کاسته می‌شود. لذا، هرچند مدت باید مقداری از آن تعویض شود. ذیلاً واکنش‌های تعادل یونی با مواد محلول آب و چگونگی احیاء آن برای بعضی رزین‌ها آمده است:

- 1 - Styrene

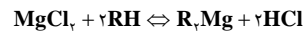
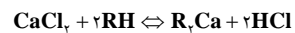
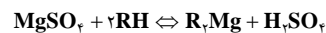
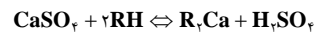
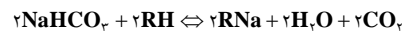
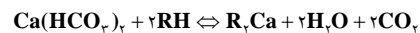
- رزین Na سیکل کاتیون (NaR)



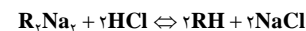
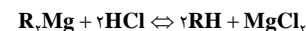
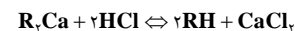
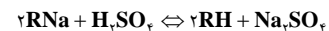
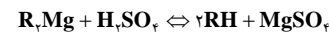
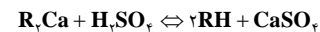
عمل احیاء توسط محلول کلرور سدیم ۸ تا ۱۲ درصد انجام می‌گیرد و واکنش‌های مربوط به ترتیب زیر پیش‌بینی شده است:



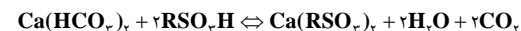
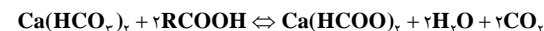
- رزین H سیکل کاتیون (HR)



برای احیاء رزین مذکور از محلول اسید سولفوریک و کلریدریک استفاده می‌شود. واکنش مربوط به ترتیب زیر است:



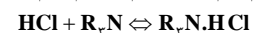
هرگاه رزین کاتیون دارای عامل اسیدی $-\text{COOH}$ یا $-\text{SO}_3\text{H}$ باشد واکنش تبادل یونی به صورت زیر خواهد بود:



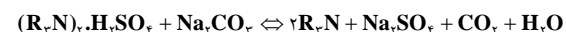
- رزین OH سیکل آنیون

این رزین‌ها به دو نوع باز ضعیف و باز قوی تقسیم می‌شوند. این رزین‌ها قادرند اسیدها را از محیط خارج سازند.

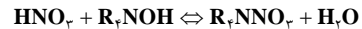
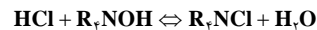
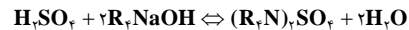
"رزین آنیونی (باز ضعیف)"



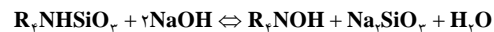
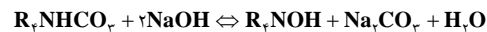
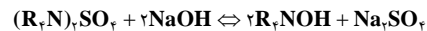
عمل احیاء توسط ۳۰ تا ۴۰ گرم کربنات سدیم برای هر درجه سختی در هر متر مکعب رزین طبق واکنش زیر انجام می‌گیرد:



"رزین‌های آنیون (باز قوی)"

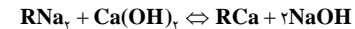
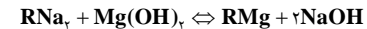
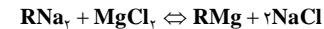
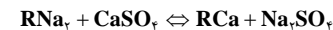
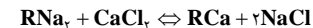


احیاء رزین توسط سود و یا محلول آمونیاک انجام می‌گیرد:

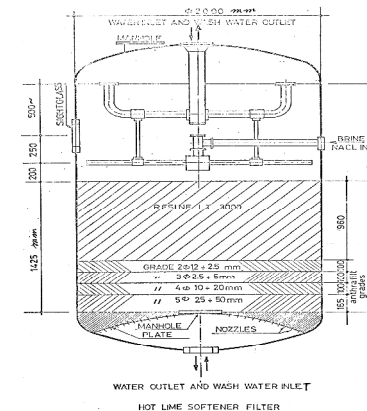


استعمال این رزین‌ها برحسب احتیاج فرق می‌کنند مثلاً در مورد سبک کردن ساده‌ی آب خام، از رزین‌های از نوع تبدلی RNa استفاده می‌نمایند. برای احیاء آنها از نمک طعام، طبق آنچه که قبلاً نوشته شده، عمل خواهند کرد. در این سبک TH آب خام به صفر رسیده ولی pH و قلیایی آن تغییر نخواهد کرد و حتی در صنعت تهیه آب، قبل از آنکه آب خاک را از بسترهای رزین تبادل یونی RNa عبور دهند، جهت جدا نمودن بی‌کربنات‌های آن از آهک استفاده می‌کنند ولی در مورد حذف کلی مواد معدنی موجود در آب خاک از رزین‌های از نوع تبادل یونی RH استفاده کرده و CO₂ تولید شده را به توسط هوا دادن خارج می‌نمایند و یا آنکه با مقداری آب خام مخلوط می‌نمایند تا pH نزدیک به خنثی گردد. در بعضی موارد آب اسیدی را با آب خام طوری مخلوط می‌نمایند که TH صفر بوده ولی آب به دست آمده دارای کلرور سدیم و سولفات سدیم است.

معمولاً در واحدهای سبک کردن آنها، آب پس از خارج شدن از صافی زغالی وارد صافی رزینی می‌شود و عمل مبادله یونی انجام می‌گیرد. غالباً از رزین کاتیونی سدیم استفاده می‌شود و واکنش‌های زیر پیش‌بینی شده است:



بدین ترتیب یون‌های کلسیم و منیزیم و غیره جذب رزین می‌شوند که پس از احیاء کردن آن و شستن آن^۱ از حوزه عمل خارج می‌گردند. در شکل ۹-۱۲ یک فیلتر رزینی مورد استفاده در صنعت نشان داده شده است. قطر این نوع فیلتر حدود ۲ متر و ارتفاع آن ۲/۴ متر می‌باشد. ظرفیت آن در شرایط عادی ۵۲/۵ متر مکعب در ساعت و حداکثر ظرفیت آن دو برابر این مقدار است.



شکل ۹-۱۲- صافی رزینی

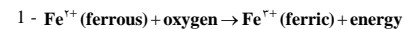
یادآور می‌شود که دانه‌های رزین در مقابل ضربه‌های حرارتی^۲ حساس می‌باشند. لذا از تغییر دمای زیاد باید احتراز کرد، چون حرارت ناگهانی باعث صدمه زدن به رزین‌ها می‌شود. لذا بالا رفتن دما از حداکثر ۳۰ درجه سانتی‌گراد

1 - Rinse
2 - Thermal Shock

گاز کربنیک حاصل ممکن است مجدداً با ترکیبات آهن تماس حاصل کند و بی‌کربنات آهن تولید نماید. وجود آهن در آب یکی از عوامل تکثیر باکتریهای آهن است. این باکتریها بطور اجتماع با سایر میکروارگانیسمها یا تنها زندگی می‌نمایند. گرچه مطالعات کافی همچون سایر میکروارگانیسمها بر روی این باکتری به عمل نیامده ولی آثار قابل اعتراض بودن آنها در آنها به ویژه در آبهای صنعتی قابل توجه است.

معمولاً آبی که باکتری آهن داشته باشد کمی کدر بوده و رنگ آن قرمز رنگ و بوی نامطبوعی خواهد داشت، و اگر مقدار آهن زیادتر از حد معمول باشد رنگ آب، قرمز آجری و بوی آن زنده‌تر خواهد بود. علاوه بر رنگ و بو، باکتریهای آهن با تجمع خود در مجاری آبرسانی گاهی باعث گرفتگی آنها شده و این گرفتگی‌ها در شیرها، پمپ‌ها و بعضی ادوات آبرسانی نیز دیده شده است. گاهی دیده شده که تجمع این باکتری‌ها لوله‌هایی به قطر ۶ اینچ را در عرض چند هفته به لوله‌ی دو اینچی تبدیل نموده‌اند. رسوبات حاصل از تجمع باکتریهای آهن گاهی به صورت لایه‌های سخت و چسبنده و گاهی به صورت لایه‌های خمیری به جدار کانال و لوله‌های آبرسانی می‌چسبند. باکتریهای آهن به صورت هوازی به زندگی خود ادامه می‌دهند و در آنها با اکسیژن محلول ناچیز، قادر به ادامه حیات می‌باشند. فرق عمده این باکتری با دیگر باکتری‌ها در این است که این باکتری مقادیر عظیمی آهن در خود ذخیره کرده و در محل زندگی خود این آهن را به صورت رسوب ته‌نشین می‌نماید. کشت و شمارش باکتری آهن در آزمایشگاه بسیار مشکل است. باکتری آهن در دمای پایین قادر به ادامه حیات است و pH مناسب برای زندگی آن بین ۵/۵ تا ۸/۵ است و بیشتر در نقاط تاریک و دور از نور زندگی می‌کند.

در صنعت تصفیه برای اکسیده کردن یونهای آهن و منگنز معمولاً از هوا استفاده می‌شود. ترکیبات دو ظرفیتی عناصر مذکور به ترتیب به صورت املاح



Fe³⁺ دارای رنگ قهوه ای و بو و رنگ نامطبوعی است.

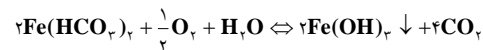
در ساعت نباید تجاوز نماید. در ضمن نباید اجازه داد که رزین خشک شود چون خرد می‌شود، از این رو باید همیشه در آب قرار داده شود.

۴- تصفیه آب مقطر برگشتی^۲

بخار داغ تولید شده در جوشاور پس از مصرف در بازگشت به جوشاور به صورت آب مقطر در می‌آید و مقداری ذرات مس و آهن احتمالاً به همراه دارد، علاوه بر این تا حدودی به علت تماس محتمل با آب خنک کننده دارای سختی نیز می‌باشد. هدف از بازیابی آب مقطر صرفه‌جویی در مصرف آب و استفاده از حرارت آن می‌باشد ولی قبل از مصرف باید تمیز شود و ناخالص‌های آن گرفته شود. به این منظور از رزین‌های جذب کننده آهن و مس^۳ استفاده می‌شود. در ضمن برای جلوگیری از اکسیده شدن آهن دو ظرفیتی به آهن سه که غیرمحلول است و رزین‌ها را دچار اشکال می‌کند گاه به گاه از محلول‌های احیاء کننده استفاده می‌شود. این رزین‌ها قادرند سختی کم موجود در آب مقطر را نیز جدا نمایند.

۱۲-۴- باکتری آهن و حذف آهن و منگنز موجود در آب

آهن و منگنز دو عنصری هستند که ترکیبات آنها در پوسته زمین به میزان زیادی وجود دارد و آبهای با pH اسیدی می‌توانند مقادیری از آنها را در خود حل نمایند و وقتی در آب، گاز کربنیک محلول باشد این انحلال تشدید خواهد گردید. اگر آهن در آب به صورت بی‌کربنات باشد در اثر تماس این آب با اکسیژن هوا، آهن آن به هیدرات فریک کلوئیدی که در اثر منعقد شدن قابل ته‌نشینی است، تبدیل خواهد گردید.



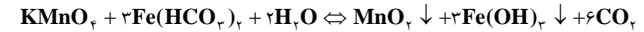
2 - Condensate Polisher

۳- فیلتر مورد استفاده در تصفیه آب مقطر برگشتی از نظر ساختمانی تقریباً مشابه صافی رزینی است که در شکل (۹-۱۲) آمده است.

در محیط اسیدی:



در محیط بازی



لخته‌های این اکسیدهای فلزی به حد کافی سنگین نیستند که ته‌نشین شوند لذا برای جداسازی آنها از صافی‌های خارجی استفاده می‌شود.

۱۲-۴-۲- حذف آهن و منگنز به کمک فرآیند زئولیت منگنز

زئولیت منگنز نوعی گرین‌سند^۱ طبیعی است که توسط MnO_2 پوشش یافته است. این زئولیت می‌تواند آهن و منگنز محلول در آب را جدا کند. احیاء مجدد این زئولیت توسط KMnO_4 صورت می‌گیرد.

۱۲-۵- حذف سیلیس

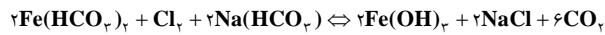
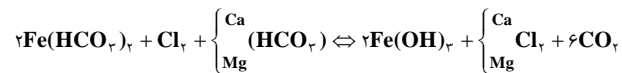
خطرات ناشی از وجود سیلیس در آب دیگهای بخار با فشار و حرارت بالا قبلاً توضیح داده شده است. علاوه بر آنچه که گفته شد یادآور می‌شود، در دیگهای بخار که به آب آنها فسفات سدیم اضافه کرده اند، قلیائیت به حدی می‌رسد که سیلیس را به صورت سیلیکات سدیم رسوب می‌نماید. پایین آوردن قلیائیت آب دیگ بخار تا حدی که سیلیکات سدیم رسوب ننماید، خالی از اشکال نیست. از این رو ترجیح داده می‌شود سیلیس قبل از ورود به دیگ بخار حذف شده باشد. روشهای مهم حذف سیلیس به قرار زیر می‌باشند:

الف) در فرآیند سبک کردن آب به روش برجهای فعل و انفعال، بطوریکه ذکر شده است از شیر آهک و اکسید منیزیم استفاده می‌شود و ذرات کلوئیدی سیلیس به صورت $\text{SiO}_2 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2$ منعقد و ترسیب می‌شوند.

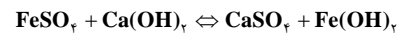
ب) در فرآیند نرم کردن به روش لایم - سودا، به شرحی که قبلاً آمده است، از محلول هیدروکسید کلسیم و کربنات سدیم استفاده می‌شود. در این روش سولفات منیزیم به کمک مواد مذکور در بالا بصورت هیدروکسید منیزیم رسوب

غیرمحلول سه و چهار ظرفیتی تبدیل می‌شوند. pH مناسب برای هوادهی به آهن دو ظرفیتی ۷/۵ است. برای کمک به امر اکسیداسیون از عوامل اکسید کننده‌ای نظیر هیپوکلریت، پرمنگنات، گاز کلر و یا دی‌اکسید کلر استفاده می‌شود. املاح منگنز پایدارتر از املاح آهن است و از این رو مصرف عوامل اکسید کننده کمکی ضرورت دارد. بهترین pH برای اکسیداسیون ترکیبات منگنز ۹ تا ۱۰/۳ پیشنهاد شده است.

اگر در محلول آهن، کلسیم، منیزیم و سدیم به صورت بی‌کربنات وجود داشته باشند در صورت اکسیداسیون توسط گاز کلر واکنش‌های زیر پیشنهاد شده است:

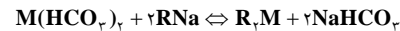


یکی از اقتصادی‌ترین روش‌های حذف آهن در صنعت استفاده از آب آهک است:



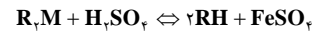
و این هیدرات فرو به کمک هوادهی به صورت هیدرات فریک رسوب می‌نماید. روش دیگر برای حذف آهن و منگنز دو ظرفیتی استفاده از رزین‌های مبادله کننده یونی است، ذیلاً واکنش‌های مربوط برای ترکیبات بی‌کربناتی آن آمده است:

M= Fe یا Mn



جهت احیاء این رزین‌ها از محلول نمک طعام و اسید سولفوریک استفاده

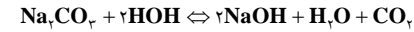
می‌شود.



۱۲-۴-۱- حذف آهن و منگنز به کمک پرمنگنات پتاسیم:

1 - Green Sand

شده و ایجاد کربنات های کلسیم و منیزیم می نماید و هر دو ترکیب در جوشاورهای معمولی به صورت لجن رسوبات می کنند، ولی در جوشاورهای با دما و فشار بالا کربنات سدیم ناپایدار است و توسط آب هیدرولیز نسبی شده و سود سوزآور ایجاد می کند، سود آزاد شده با ترکیبات منیزیم تولید رسوب مناسب هیدروکسید منیزیم در لجن می کند. واکنش های مربوط به ترتیب زیر پیش بینی شده است:



با وجود تصفیه های متعدد باز در سطح گرم جدار جوشاور یک پوسته ی نازک و نرمی تشکیل می شود که نظیر پوسته تخم مرغ^۱ است. این سارویه به علت اینکه مانع ایجاد خوردگی است امری مطلوب محسوب می شود. باید سعی شود که این پوسته حفظ شود. در دمای بالا و فشار بالاتر از ۱۵۰ psi کربنات سدیم به سرعت به هیدروکسید سدیم تبدیل می شود، این امر موجب افزایش قلیائیت می گردد و این افزایش مانع رسوب کامل کربنات کلسیم می گردد. از این رو است که در این شرایط به مواد شیمیایی پایدارتری نیاز است و این مواد فسفاتها هستند.

فسفاتها علاوه بر آنکه قادرند سختی جزئی باقیمانده در آب جوشاورها و خنک کننده ها را تقلیل دهند، در ضمن نکته ضعف تجزیه شدن در دمای بالا را ندارند. ترکیبات فسفاتهای که به این منظور قابل استفاده اند متعددی در جدول ۱۲-۵ بعضی از این مواد با ذکر درجه قلیائیت آنها درج شده است.

می نماید و این هیدروکسید نیز قادر است ذرات کلوفیدی سیلیس را منعقد و ترسیب نماید.

ج) انعقاد ذرات کلوفیدی سیلیس به کمک سولفات آلومینیم و آلومینات سدیم نیز ممکن است و pH مناسب بنا به مطالعات لوی^۱ به این منظور ۸/۵ است. د) جهت تکمیل عمل سبک کردن آب، قبل از ورود، به آن فسفات سدیم (یا کلاً پلی فسفاتها) علاوه می کنند. بطوریکه قابل انتظار است فسفاتها با جذب کلسیم و منیزیم سختی را کاهش می دهند. یکی دیگر از محاسن این فسفاتها، قدرت جذب سطحی آنها است. این فسفاتها می توانند سیلیس جذب نمایند و مانع ورود آن به سارویه شوند. بطوریکه سیلیس به همراه نشست صورت معلق با ضرر و زیان خیلی کمتر، از قسمت تخلیه دیگ خارج می شود. ه) استفاده از رزین های آنیونی (باز قوی) R_2NOH که شرح آن قبلاً آمده است. این رزین ها توسط سود سوزآور احیا می شوند.

۱۲-۶- روش های جلوگیری از اشکالات محتمل در جوشاورها و خنک کننده ها

ذیلاً بعضی از روش های معمول در صنعت که برای جلوگیری از اشکالات احتمالی در جوشاورها و خنک کننده ها مورد استفاده اند به اختصار ذکر خواهد شد.

۱۲-۶-۱- تصفیه داخلی آب جوشاور جهت جلوگیری از ایجاد سارویه

در تصفیه داخلی جوشاورها هدف عمده، اتخاذ تدابیری است که مانع ایجاد سارویه شود و ترکیباتی که استعداد سارویه شدن دارند به صورت لجن یا گل در دیگ نشست نمایند که مقدار آنها به کمک تخلیه^۱ قابل کنترل است. بطور کلی بهترین موادی که به این منظور قابل استفاده هستند سدیم کربنات و فسفاتها هستند^۲. کربنات سدیم با سولفات منیزیم و کلسیم موجود در آب جوشاور ترکیب

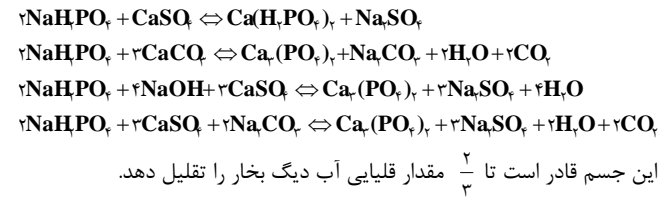
1 - Levie

1- Blow Down

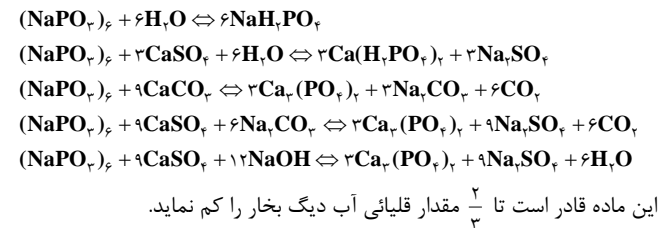
۲- لازم به یادآوری است در فشارهای بالاتر از ۱۵۰۰ psi کاهش داخلی سختی به کمک سدیم فسفات با ایجاد لجن و تخلیه نمودن آن بی اثر است زیرا سرعت تشکیل پوسته بسیار سریع است.

1 - Egg Shell

- سدیم دی هیدروژن متا فسفات (NaH₂PO₄)

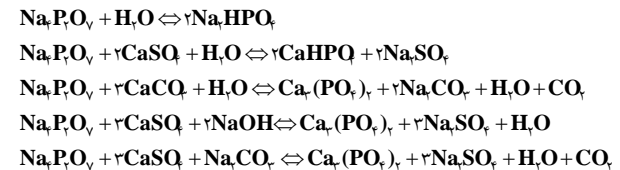


- هگزا سدیم متا فسفات (NaPO₃)₆



- سدیم پیرو فسفات (Na₂P₂O₇)

این جسم قادر است قلیائی دیگ بخار را تا $\frac{1}{3}$ تنزل دهد و حرارت دیگ، بخار پیرو فسفات را تجزیه نموده و آن را طبق واکنش زیر تبدیل به فسفات خواهد نمود.

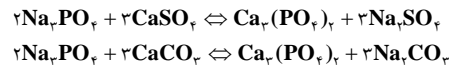


جدول ۱۲-۵- مشخصات بعضی ترکیبات معمول فسفاتها

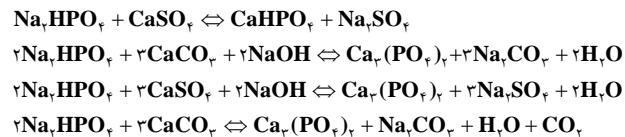
نام	فرمول	درجه قلیائیت
سدیم اورتو فسفات ^۱	Na ₂ PO ₄ · ۱۲H ₂ O	بسیار قلیائی
سدیم منو هیدروژن متافسفات ^۲	Na ₂ HPO ₄ · ۱۲H ₂ O	قلیائیت متوسط
سدیم دی هیدروژن متافسفات ^۳	NaH ₂ PO ₄	اسیدی کم
هگزا سدیم متافسفات ^۴	(NaPO ₃) ₆	اسیدی کم

ذیلاً نحوه عملکرد بعضی از این ترکیبات آمده است:

- سدیم اورتو فسفات (Na₂PO₄)



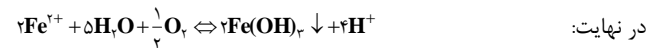
-سدیم منو هیدروژن متافسفات (Na₂HPO₄)



- 1 - Sodium orthophosphate
- 2 - Sodium metaphosphate mono-H
- 3 - Sodium metaphosphate di-H
- 4 - Hexa Sodium metaphosphate Graham's Salt

زیاد در آب جوشاورها دیده نمی‌شود. بطور کلی pH محیط اثر قاطعی در امر خوردگی دارد که باید کاملاً کنترل شود.

برای جلوگیری از خوردگی از لایه‌های محافظتی استفاده می‌شود. به عنوان مثال هیدروکسید فرو مطابق واکنش زیر به عنوان لایه محافظتی عمل می‌نماید ولی افزایش اسیدیته موجب حل این لایه می‌شود.



لایه‌های محافظتی مختلف و پیچیده‌ای وجود دارد که از ترکیبات مختلف سیلیکاتها، کروماتها، فسفاتها و کربناتها با آهن، کلسیم و منیزیم تشکیل می‌شوند. گاهی از مخلوط سیانوفرو و پلی فسفات برای ایجاد پوشش محافظتی بر روی جداره‌های آهنی استفاده می‌شود و این ترکیبات موجب تشکیل فیلم نازک سیانور فرو فریک (آبی پروس)^۱ در سطح جدار می‌شود. از این رو آبی که در این نوع سیستم‌ها گردش می‌کند کمی رنگ آبی دارد. این لایه حساسیت شدیدی نسبت به pH دارد و باید pH محلول در محدوده‌ی ۶-۵/۶ نگهداری شود و مقدار کل فسفات نیز از ۲۵-۲۰ ppm تجاوز ننماید. برای انجام این منظور، کنترل رنگ، pH و مقدار کل فسفات ضرورت دارد.

بطوری که دیدیم CO_۲ موجود در آب جوشاور در دماهای بالا تولید اسید کربنیک می‌کند و این اسید با تاثیر بر جداره‌ی آهنی تولید بی‌کربنات آهن می‌کند و سپس این بی‌کربنات در اثر حرارت هیدرولیز شده و هیدروکسید فرو و مجدداً CO_۲ تولید می‌نماید. جهت جلوگیری از خوردگی CO_۲ محلول، در قدم نخست باید قلیائیت آب دیگ بخار کنترل شود و ثانیاً از طریق علاوه کردن بعضی مواد شیمیایی می‌توان استفاده نمود. به عنوان نمونه مواد زیر را می‌توان ذکر کرد:

1 - Fe₄[Fe(CN)₆]₃

امروزه ترکیبات فسفرداری که در صنعت مورد استفاده‌اند نام کلی پلی فسفات‌ها را دارند. فرمول عمومی این ترکیبات (NaPO_۳)_x (Na_۳PO_۳) است. پلی فسفات‌ها در اثر هیدرولیز به اورتوفسفات تبدیل می‌شوند و سرعت این هیدرولیز به طول زنجیر، دما و pH آب بستگی دارد. هیدرولیز در ۸۰ درجه سانتی‌گراد در حضور اسیدها به کندی و در ۱۰۰ سانتی‌گراد با سرعت انجام می‌گیرد و در حدود ۱۴۰ سانتی‌گراد به حداکثر مقدار خود می‌رسد. فسفات کلسیم به مقدار کافی در آب محلول است و در ضمن این فسفات بر روی جداره، لایه بسیار نازک فسفات آهن تشکیل می‌دهد و این لایه تا حدود زیادی جداره‌ی فولادی را در مقابل خوردگی محافظت می‌نماید.

به منظور حذف سختی کلسیم از EDTA (اتیلن دی‌آمین تترا استیک اسید) نیز استفاده می‌شود. این ترکیب مقاومت زیادی در برابر حرارتهای بالا در برابر هیدرولیز شدن از خود نشان می‌دهد. با وجود این، در قلیائیت زیاد آب، اثر کمی داشته و در برابر اکسیژن محلول آب خاصیت خوردگی دارد، بدین جهت مصرف آن در دیگهای بخار به تبحر و تجربه زیاد احتیاج دارد.

۱۲-۶-۲- جلوگیری از خوردگی فلزات

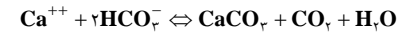
مقدار قلیائیت و اسیدیته از عوامل مهم موثر در خوردگی است. افزایش اسیدیته به معنی افزایش غلظت یون‌های هیدروژن موجود در آب است. در این شرایط جهت خوردگی به وجود اکسیژن نیازی نیست. یون‌های هیدروژنی که سطح فلز را پوشانده‌اند به صورت گاز در آمده و سطح فلز را جهت خوردگی بیشتر ترک می‌کنند. سرعت واقعی خوردگی متناسب با غلظت یون‌های هیدروژن است.

در آبهایی که قلیائیت بسیار بالا است، غلظت یون هیدروژن کم است، در این صورت مقدار اکسیژن محلول در آب قابل توجه است و این اکسیژن به سرعت، لایه محافظ هیدروژنی را حذف می‌کند. معمولاً اسیدیته و قلیائیت بسیار

خورندگی شدید خواهند بود. در سیستم‌های کوچک می‌توان سولفات مس یا پنتا کلروفنات سدیم^۱ نیز استفاده نمود.

۱۲-۷- تعادل کربناتی و اظهار نظر در این مورد که آیا آب خاصیت خورندگی دارد و یا تمایل به تشکیل سارویه

در آب تصفیه نشده که دارای مقداری سختی بی‌کربناتی است، واکنش تعادلی زیر برقرار است:



عوامل مختلفی وجود دارند که در جهت حرکت این واکنش موثرند. از این جمله می‌توان pH، قلیائیت، سختی کلسیم، TDS و دما را نام برد. دانشمندان متعددی در این زمینه مطالعاتی انجام داده‌اند که ما در اینجا به ذکر بعضی از آنها می‌پردازیم:

۱۲-۷-۱- کارهای تیلمنز^۱

این شخص با درج قلیائیت آب بر حسب میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم در محور Xها و مقدار گاز کربنیک در محور عمودی، منحنی تعادل بین کربناتی را به دست آورد. در یک نمونه مورد نظر، اگر مقادیر مربوط به آن نقطه‌ای در زیر منحنی را نشان دهد، آن آب رسوب کننده است و اگر نقطه روی منحنی تعادل باشد آب خورنده خواهد بود.

تیلمنز برای تعیین رسوب کنندگی و خورندگی یک نمونه آب، آزمایشی را به شرح زیر انجام داده است. نمونه مورد آزمایش در شیشه سر بسته به مدت ۲۴ ساعت در تماس با مقداری مرمز قرار داده شده بعد از این مدت میزان قلیائیت آن که به قلیائیت اشباع موسوم است تعیین می‌شود. اگر این قلیائیت با $(\text{TAC})_s$ و قلیائیت معمولی با TAC نشان داده شود، در صورتی که $(\text{TAC})_s > \text{TAC}$ باشد آب خورنده خواهد بود و در صورتی که $(\text{TAC})_s \geq \text{TAC}$ آب رسوب کننده

1 - Sodium Penta Chloraphenate
1 - Tillmans

- آمونیاک (به علت تاثیر منفی بر روی جداره‌های مسی کاربرد کمتری دارد).

- بنزین آمین $(\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{NH}_2)$

- سیکلو هگزین آمین $(\text{C}_6\text{H}_{11}\text{NH}_2)$

- مورفولین $(\text{O}(\text{C}_2\text{H}_5)_2 - \text{NH})$

متد دیگر محافظت دیگها استفاده از کاتدهای قربانی منیزیم، روی و یا گرافیتی است که به این روش حفاظت کاتدی گفته می‌شود.

۱۲-۶-۳- جلوگیری از شکنندگی قلیائی

مواد شیمیایی مختلفی وجود دارند که تجربه نقش آنها را در جلوگیری از پدیده‌ی نامطلوب فوق نشان داده است. از این جمله می‌توان از نیترات سدیم، سولفات سدیم و تری سدیم فسفات نام برد. برای جلوگیری از شکنندگی قلیائی، آنچه که روشن است تقلیل مقدار NaOH موجود در آب دیگ ضروری است.

۱۲-۶-۴- جلوگیری از پدیده‌های حمل، کف و غلیان

جلوگیری از پدیده‌های مذکور دارای دو جنبه مکانیکی و شیمیایی است. جنبه مکانیکی آن بسته به نحوه‌ی طرح و ساختمان جوشاور است و جنبه شیمیایی عمدتاً مربوط به TDS و قلیائیت آب دیگ بخار است. در ضمن، استفاده از مواد ضد کف در جلوگیری از این پدیده‌ها نقش مهمی دارد.

۱۲-۶-۵- جلوگیری از رشد میکروارگانیسم‌ها در آب خنک کننده‌ها

برای جلوگیری از رشد میکروارگانیسم‌ها از گاز کلر و یا هیپوکلریت استفاده می‌شود، این امر هر روز دو سه نوبت انجام می‌شود. میزان کلر موجود در آب خنک کننده حداکثر ۱ ppm می‌باشد و غلظت‌های بیش از این دارای خواص

در این آب تمایل برای ایجاد سارویه وجود دارد.

۱۲-۷-۳- ضریب پایداری رایزنر^۱

این ضریب نیز برای اندازه گیری میل خوردگی یا تشکیل رسوب آب بکار می رود. طریقه اندازه گیری عبارتست از اندازه گیری P_H واقعی و P_{HS} .

$$I_{stab} = 2P_{HS} - P_H$$

اگر $I_{stab} < 6$ باشد آب خاصیت و تمایل ایجاد سارویه خواهد داشت، در صورتیکه در $I_{stab} = 7$ حالت تعادل و خنثی موجود است و اگر $I_{stab} > 9/5$ باشد، آب دارای خاصیت خوردگی است و اگر این مقدار به ۱۲ برسد، خاصیت خوردگی حداکثر است.

می‌باشد. علت خوردگی آب را چنین بیان کرده‌اند که گاز کربنیک آب می‌تواند مقداری از کربنات نامحلول مرمر را به بی‌کربنات محلول تبدیل و در خود حل نماید. این CO_2 را گاز کربنیک خورنده گویند که مقدار آن از نظر محاسبه از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$(TAC_S - TAC) = 4/4 = \text{میلی گرم در لیتر گاز کربنیک خورنده}$$

۱۲-۷-۲- کارهای لانژیله^۱

لانژیله ضمن مطالعات خود مفهوم جدیدی تحت عنوان ضریب اشباعیت لانژیله^۲ تعریف نمود (I_S):

$$I_S = P_H - P_{HS}$$

مقدار P_{HS} تابعی از غلظت کلسیم، مقدار قلیانیت، TDS و دما است و مقدار آن را می‌توان از منحنی تجربی مندرج در شکل ۱۲-۱۰ به دست آورد. اگر $I_S = 0$ باشد، تمایل برای ایجاد سارویه حداقل است ولی اگر $I_S < 0$ باشد، تمایل برای ایجاد سارویه وجود دارد و چنانچه $I_S < 0$ باشد آب دارای خاصیت خوردگی است. مقدار P_{HS} بر طبق رابطه زیر از مجموعه‌ی C، P_{ALK} و P_{Ca} تشکیل شده‌اند:

$$P_{HS} = P_{Ca} + P_{ALK} + C$$

به عنوان مثال:

اگر آبی با شرایط زیر داشته باشیم، P_{HS} آن چقدر است؟

$$TDS = 210 \text{ ppm}, M_{ALK} = 100 \text{ ppm}, H_{Ca} = 120 \text{ ppm}, P_H = 8, F = 120 \text{ دما}$$

جواب:

مقادیری که به کمک منحنی مذکور به دست می‌آید به ترتیب عبارتند از:

$$P_{Ca} = 2/92, P_{ALK} = 2/70, C(at 120^\circ) = 1/70$$

$$P_{HS} = 2/92 + 2/70 + 1/70 = 7/32$$

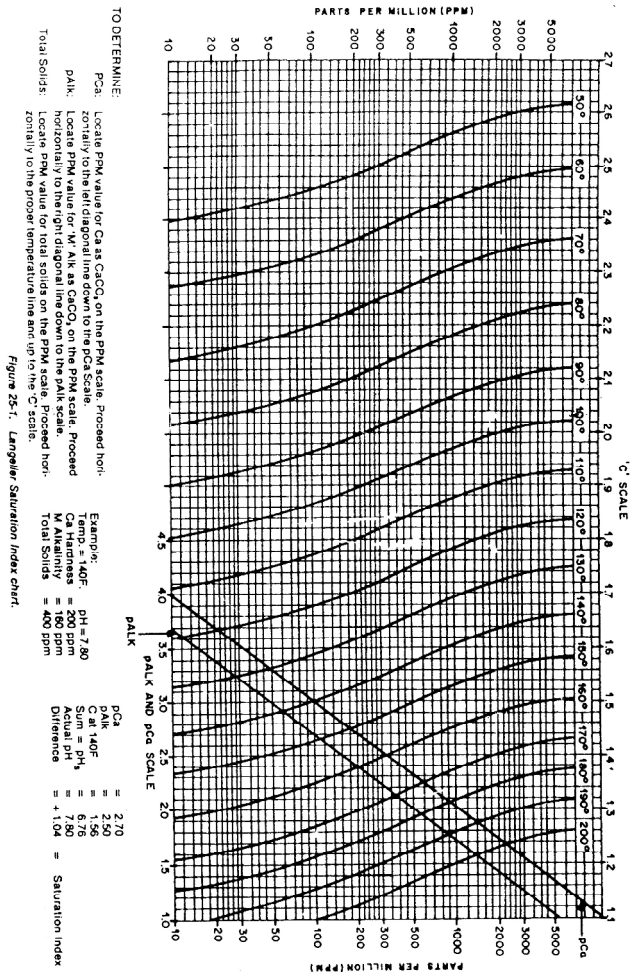
مقدار I_S نیز به ترتیب زیر به دست می‌آید:

$$I_S = 8 - 7/32 = 0/68 > 0$$

1 - W. F. Langelier

2 - Langelier Saturation Index

1 - Ryznar Stability Index



شکل ۱۲-۱- منحنی لانزلیه