

آماده ساز آب

کالین فراین - ریچارد تی بلیک

ترجمه: منصور حسینی ارانی



آماده‌سازی آب

تکوین
بیمه

آماده‌سازی آب

کالین فراین و ریچارد تی بلیک

ترجمه: منصور حسینی ارانی



سرشناسه	: فرین، کالین Frayne, Coline
عنوان و نام پدیدآور	: آماده‌سازی آب / نوشته کالین فرین، ریچارد تی بلیک؛ ترجمه منصور حسینی ارانی.
مشخصات نشر	: تهران: یزدا: ماهنامه تهویه و تبرید، ۱۳۸۷.
مشخصات ظاهری	: ۱۲۸ ص: مصور، جدول.
وضعیت فهرست‌نویسی	: فیبا
موضوع	: هیدرونیک.
موضوع	: گرمایش با آب.
موضوع	: تهویه مطبوع.
شناسه افروده	: بلیک، ریچاردتی.
شناسه افروده	: Blak, Richard T:
شناسه افروده	: حسینی ارانی، منصور، ۱۳۳۳-
ردیبلندی کنگره	: TH7467/۴۱۸ ۱۳۸۷
ردیبلندی دیوبی	: ۶۹۷
شماره کتابشناسی ملی	: ۱۶۱۹۵۸۷

یزدا

آماده‌سازی آب

کالین فرین و ریچارد تی بلیک
ترجمه: منصور حسینی ارانی

ناشر:	یزدا
چاپ اول:	۱۳۸۸
آماده‌سازی قبل از چاپ:	نشریه تهویه و تبرید
مدیر تولید:	محمد پیروزمند
صفحه‌آرا:	نرگس فرقانی
طراح جلد:	اکرم هاشمی
چاپ / صحافی:	روشننا
قطع و تعداد صفحات:	۱۲۸- رقعی
شمارگان:	۱۱۰ نسخه
بهای:	۴۰۰ تومان

شابک: 978-600-5058-79-6



دفتر نشر و نمایشگاه دائمی: تهران - سید خندان - خیابان ارسپاران - کوچه ستاری - شماره ۲۲ - ساختمان یزدا تلفن: ۰۲۱) ۲۲۸۸۵۶۴۷-۵۰ (۰۲۱) ۰۲۱) ۶۶۴۱۵۲۲۴-۵ (۰۲۱) ۰۲۱) ۷۷۶۵۲۷۲-۴ (۰۲۵۱)

دفتر پخش و نمایشگاه دائمی: تهران - انقلاب - خیابان ۱۲ فروردین - کوچه بهشت آیین - شماره ۲۱ - طبقه سوم تلفن: ۰۲۱) ۶۶۴۱۵۲۲۴-۵ (۰۲۱) ۰۲۱) ۷۷۶۵۲۷۲-۴ (۰۲۵۱)

چهارراه فرهنگیان، ابتدای بلوار شهید سید محمد پاک نژاد، کتابفروشی یزدا تلفن: ۰۲۱) ۷۷۶۵۲۷۲-۴ (۰۲۵۱) ۰۲۱) ۷۷۶۵۲۷۲-۴ (۰۲۵۱)

فهرست

۸	پیشگفتار
۹	مقدمه
۱۰	چرا ایمنسازی آب؟
۱۰	آب یک حلال عمومی است
۱۰	هزینه فرسایش
۱۳	هزینه‌های رسوب و پسماندها
۱۵	شیمی آب
۱۵	چرخه آب در طبیعت
۱۷	ناخالصی‌های آب
۲۴	گازهای محلول
۲۵	مواد معدنی حل شده در آب
۲۷	خوردگی
۲۸	خوردگی کلی
۳۰	خوردگی الکتروشیمیایی

۳۲	خوردگی گالوانیکی
۳۵	خوردگی سلول غلظت
۳۵	خوردگی تنشی
۳۶	خوردگی رفتگی
۳۷	خوردگی چگالیده
۳۷	خوردگی میکروبیولوژیکی
۴۰	جرمها و گلولای
۴۰	رسوب‌های معدنی و رسوب‌های درون لوله
۴۴	شاخص اشباع لانگلیر
۶۴	شاخص رایزنر (شاخص ثبات رایزنر)
۴۸	جرم‌های دیگ
۴۸	جرم‌های چگالیده
۴۹	رسوب‌ها
۴۹	گلولای، آشغال و گلرس
۵۰	گل سیاه و جرم حاصل از نورد
۵۱	رسوب‌های درون دیگ
۵۲	پسماندهای ساختمانی
۵۳	رشد عوامل آلی
۵۴	جلبک‌ها
۵۴	قارچ‌ها
۵۴	باکتری‌ها
۵۵	باکتری‌های بیماری‌زا
۵۶	بیماری لژیونر و تب پونتیاک

تجهیزات فراهم‌سازی ۵۷
سختی‌گیرهای آب ۵۸
قلیارداها ۶۰
دی‌اریتورها ۶۱
جداکننده‌های سایشی ۶۵
صفی‌ها و فیلترها ۶۶
سرمایش مستقل ۶۷
آماده‌سازی غیرشیمیابی و ابزارهای مکانیکی ۶۸
آماده‌سازی دیگ، سیستم‌های خنک‌کننده حلقه باز و بسته ۷۰
آماده‌سازی دیگ سیستم‌های آبی ۷۰
آماده‌سازی داخلی سیستم‌های آب درون دیگ ۷۳
معیارهای کنترلی و معیارهای اضافی در آماده‌سازی آب دیگ ۸۰
برنامه‌های تغذیه و کنترل در فرآیند آماده‌سازی آب دیگ ۸۴
آماده‌سازی آب سیستم‌های بازچرخانی مدار باز ۹۲
به کارگیری بازدارنده‌های شیمیابی در سیستم‌های بازچرخانی مدار باز ۱۰۰
کنترل رشد مواد آلی آب در سیستم بازچرخانی باز ۱۰۷
کنترل عفونت‌ها در سیستم‌های آبی بازچرخانی باز ۱۱۱
کنترل گل‌ولای و سایر درمان‌ها ۱۱۴
برنامه‌های تغذیه و کنترل در آماده‌سازی آب سرمایش ۱۱۵
آماده‌سازی آب سیستم‌های آبی بازچرخانی مدار بسته ۱۲۱
منابع و مراجع ۱۲۸

پیش‌گفتار

آماده‌سازی آب به منظور استفاده از آن در سیستم‌های تهویه مطبوع یکی از فرآیندهای مهم در معماری و مهندسی ساختمان است که تاثیرات گوناگونی بر ارزیابی و کارآیی کلیه مجموعه‌های احداث شده دارد. استفاده از آب‌های آلوده و یا بررسی نشده در سیستم‌های مختلف تاسیساتی ساختمان می‌تواند علاوه بر ایجاد هزینه‌های اضافی در موارد اجرایی مربوط به تعمیر و نگهداری تاسیسات و هزینه‌های اتلاف انرژی در عملکرد سیستم‌های سرمایش و گرمایش موجب ایجاد مشکلات بهداشتی و حتا آسیب‌رسانی به سکنه گردد. با توجه به تراکم مناطق شهری و تاثیر متقابل عوامل مختلف بر جریان آب‌های سطحی و زیرزمینی، حفظ و پاک‌سازی منابع آب مصرفی در دستگاه‌ها و فرآیندهای مختلف بسیار حائز اهمیت است.

در این کتاب منابع مختلف آب در طبیعت و منشا آن‌ها، وجود انواع آلاینده‌های معدنی و ارگانیسم‌های آلی در این منابع معرفی و تاثیر هر یک از گروه‌های عمدۀ در این دو طبقه شناسایی و تشریح شده‌اند. سپس با ارائه گزارش‌های واقعی از مناطق سکونت انسان‌ها، میزان و دامنه مجاز این آلاینده‌ها ارزیابی و روال تخریب و کاهش کارآیی سیستم‌های سرمایش و گرمایش بر اثر وجود آن‌ها نشان داده شده است.

در ادامه طبقه‌بندی آسیب‌ها و معرفی هرکدام و مبحث آسیب‌های ناشی از ارگانیسم‌های آلی و خطر آن‌ها برای سلامتی انسان مطرح شده و آگاهی‌های ضروری در زیان‌های اقتصادی و بهداشتی پیامد حضور این آلاینده‌ها ارائه شده است. در بخش دیگر روش‌های گوناگون برخورد با مشکلات ناشی از آلاینده‌ها و روش‌های پیشگیری همراه با ابزارها و دستگاه‌های دفع این آلاینده‌ها تشریح شده و نحوه اعمال این روش‌ها در سیستم‌های سرمایش و گرمایش تعییه شده در فضاهای زندگی و کاری انسان‌ها مورد کندوکاو قرار گرفته است.

امید است که مطالب این کتاب مورد توجه و استفاده دست‌اندرکاران صنعت ساختمان قرار بگیرد.

مقدمه

این فصل فن‌آوری حفاظت و ایمن‌سازی آب برای استفاده در تجهیزات انتقال حرارتی صنعتی و تجاری با تاکید بر سیستم‌های گرمایش و تهویه مطبوع را مورد بحث قرار می‌دهد. علاوه بر این، فصل جاری مزوری بر نظارت و نگهداری سیستم‌های آبی شامل برج‌های خنک‌کننده و چگالنده‌های تبخیری از جنبه آگاهی‌های روزافزون در مورد خطر عفونت‌های ناشی از سیستم‌هایی که ضعیف طراحی شده و یا به نحوی کثیف و نامطلوب نگهداری می‌شوند، دارد.

باید توجه داشت که خطر عفونت‌ها (از طریق ارگانیسم‌های باکتریایی نظیر لژیونلا اس بی^۱) محدود به سیستم‌های خنک‌کننده نیست و تقریباً می‌تواند از هر نوع سیستم آبی تعبیه شده در ساختمان‌ها شامل خدمات آبرسانی سرد و گرم، استخر، استخرهای درمانی، دوش و صفحه‌های رطوبت‌زن ناشی شود. به طریق مشابه می‌توان دریافت که خطر عفونت‌ها ممکن است از هرگونه سیستم تهویه و هوادهی که به نحو نامطلوبی نگهداری و طبق برنامه منظم تمیزکاری نمی‌شوند ناشی شود. در سیستم‌های تهویه، عفونت و سایر مشکلات وابسته به آن عموماً به علت وجود ارگانیسم‌های کپکی مانند آسپریژیلوس اس بی^۲ یا استوکی پتروس اس بی^۳ یعنی همان ارگانیسم‌هایی که در پشت دیوارهای سنگی و عایق‌بندی نمکشیده تکثیر می‌شوند، است. بحث تطبیق زیست محیطی، نظارت و کنترل عفونت سیستم‌های آبی و هوایی تاسیسات و ساختمان‌ها از حیطه این کتاب خارج است و همچنین

1. *Legionella sp.*

2. *Aspergillus sp.*

3. *Stachybotrus sp.*

بررسی کلیه جنبه‌های آبرسانی به صنایع و فرآیندهای گوناگون در محدوده این کتاب نمی‌گنجد؛ زیرا برای هر یک از انواع فرآیندها نیاز به طراحی خاص می‌باشد. به منظور بررسی عمیق‌تر فرآیند آبرسانی صنعتی به مراجع و واژه‌شناسی مذکور در انتهای کتاب مراجعه کنید.

چرا ایمن‌سازی آب؟

ایمن‌سازی آب با کنترل رسوب‌ها و ذرات سایشی یک فناوری خاص می‌باشد. این مطلب زمانی مورد کندوکاو قرار می‌گیرد که در وهله اول از این که چرا برای جلوگیری از معایب جدی و عدم کاربری مطلوب در تجهیزاتی که از آب به عنوان محیط واسطه انتقال حرارت استفاده می‌کنند، ایمن‌سازی آب ضروری است. با مشاهده مشکلاتی که آب می‌تواند مسبب آن‌ها باشد و مکانیسم رفتاری آب در به وجود آوردن این مشکلات، رسیدن به راحل و امکانات رفاهی واقعی بسیار آسان‌تر می‌شود.

آب یک حلال عمومی است

وقتی که آب با جسم خارجی برخورد می‌کند، پدیده انحلال جسم خارجی شروع می‌شود. بعضی از مواد با سرعت بیشتری نسبت به دیگر مواد شروع به حل شدن می‌کنند، اما در همه موارد واکنشی بین آب و هر جسمی که با آن تماس داشته باشد، انجام می‌گیرد. همین واکنش مسبب ایجاد مشکلات در تجهیزاتی نظیر دیگ‌ها یا سیستم‌های آب‌سردکن که در آن‌ها از آب به عنوان محیط واسطه انتقال گرما استفاده می‌شود، است. در سیستم‌های مدار باز، مشکلات خورندگی به علت ناخالصی‌هایی که آب از جو جذب می‌کند، وخیم‌تر می‌شوند.

بسیاری از مردم، فرسایش فلزات در اثر تماس با آب و تاثیرات مخرب آب را دیده‌اند. فرسایش و خورندگی به تنها‌یی علت ناقص شدن و تعویض‌های پرهزینه تجهیزات است و همین امر بهترین دلیل در ضرورت ایمن‌سازی آب است.

هزینه فرسایش

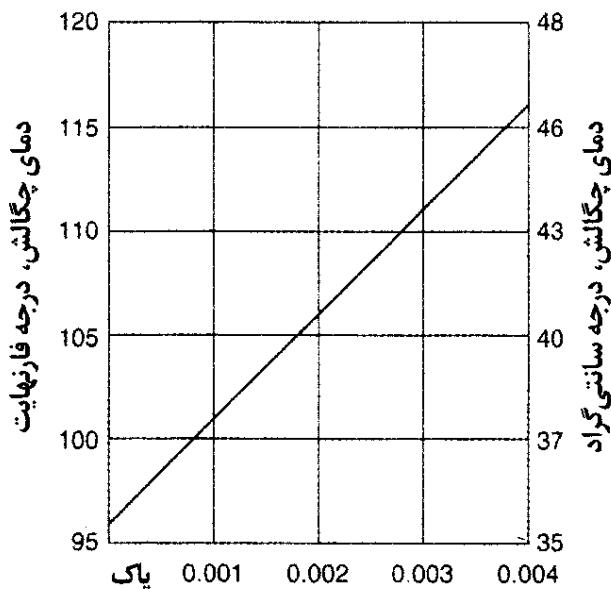
ضرر مستقیم ناشی از تعویض و حفاظت سازه‌های فلزی به علت خورندگی آن‌ها، فقط در ایالات متحده سالیانه حداقل 20 تا 25 میلیارد دلار است که 8 میلیارد دلار برای جایگزین کردن تجهیزات ضدخوردگی فلزی و پلاستیکی، تقریباً 5 میلیارد دلار

برای ایجاد پوشش‌های محافظ و بیش از ۱ میلیارد دلار برای تهیه مواد بازدارنده هزینه می‌شود (سال 2000). این هزینه سنگین فقط برای کاهش زیان‌های خوردگی است! مثال‌های عمومی این خسارت‌ها که عبارتند از زیان‌های حاصل از نقص لوله‌کشی، تجهیزات دیگ و عناصر مبدل گرمایی به سبب خوردگی در این کتاب مورد بحث قرار گرفته‌اند. تنها با طراحی مناسب و به کارگیری برنامه‌های ایمن‌سازی منظم در مورد آب مصرفی شامل بازدارنده‌های خوردگی، تجهیزات تهویه مطبوع مانند دیگ‌های حرارتی و چیلرها، قادر به تأمین حداکثر عمر مفید خواهند بود.

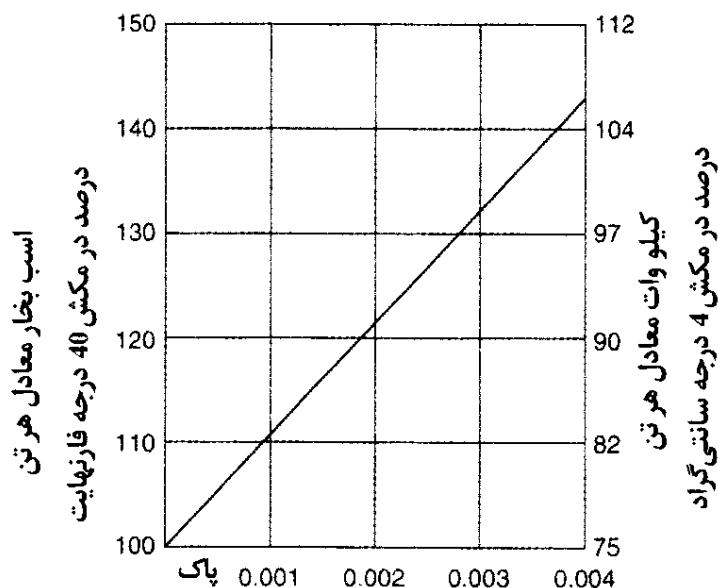
در تجهیزات انتقال حرارتی، رسوب‌ها و خوردگی بر انتقال عادی و مطلوب انرژی حرارتی از ابتدا تا انتهای مسیر موثر هستند. میزان این تاثیرگذاری بر انتقال حرارت در مبدل‌های حرارتی «ضریب رسوب‌گذاری» نامیده می‌شود. در کندانسور دستگاه‌های تهویه اگر ضریب رسوب‌گذاری بالا باشد دمای چگالیده شدن گاز سردکننده افزایش می‌یابد و انرژی مصرفی مورد نیاز برای چگالش گاز سردکننده در آن دمای بالا نیز افزایش می‌یابد. ضریب رسوب‌گذاری پیشنهاد شده از طرف سازنده برای چیلرهای تهویه و کندانسورها معادل ۰.۰۰۰۵ است. بدین معنا که در شرایطی که ضریب رسوب‌گذاری بالاتر از ۰.۰۰۰۵ است، تجهیزات، بدون کاهش شدید کارآیی دستگاه قادر به تحمل رسوب‌های حاصله نیستند.

تصویر (1) تاثیر رسوب بر دمای چگالیدن در یک کندانسور معمولی را نشان می‌دهد. از این نمودار در می‌یابیم که دمای چگالش متناسب با ضریب رسوب‌گذاری افزایش می‌یابد. افزایش دمای چگالش نیز متناسب با افزایش و یا میزان اسب بخار کمپرسور برای تقطیر گاز سردکننده است. بنابراین طبق تصویر (2)، ضریب رسوب‌گذاری بر میزان اسب بخار کمپرسور و مصرف انرژی آن تاثیر می‌گذارد. لوله‌های کمپرسور با عبور آب سرد از درون آن‌ها، به سرعت تولید رسوب می‌کنند که سبب رسوب‌گذاری کربنات کلسیم بر سطح محیط واسطه فرآیند انتقال حرارتی می‌شود. شرح مکانیسم این نوع ایجاد رسوب‌گذاری در بخش‌های بعدی آورده شده است.

جدول (۱)، ضریب رسوب‌گذاری برای ضخامت‌های مختلف لایه‌های رسوبی کربنات کلسیم که معمولاً در شرایطی که ایمن‌سازی آب وجود ندارد و یا به طور ناقص اجرا می‌شود، بر روی سطح لوله‌های کندانسور تشکیل می‌شوند را، فهرست نموده است. در تصویر (3)، نمودار مصرف انرژی اضافی مورد نیاز برای جبران افت کارآیی



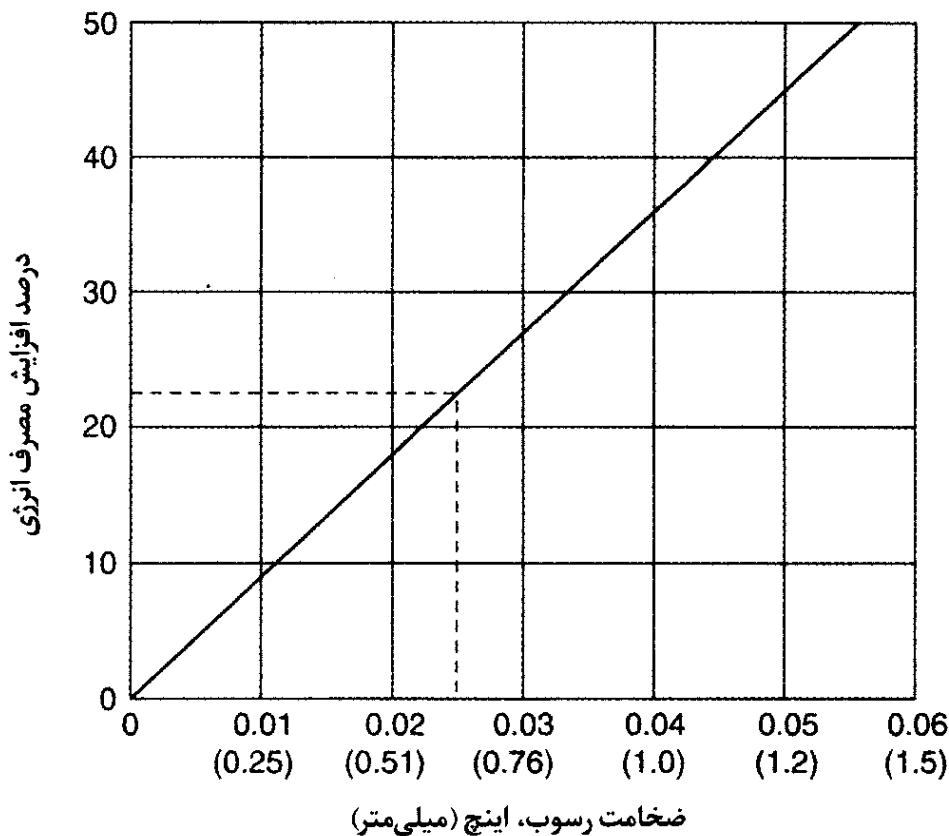
تصویر(1): تاثیر رسوب بر دمای چگالش

تصویر(2): تاثیر رسوب بر میزان انرژی اسب بخار کمپرسور
(از کتاب‌های راهنمای طراحی سیستم شرکت کریر بخش ۵. «تامین آب»)

جدول (1): ضریب رسوب‌گذاری برای رسوب کربنات‌کلسیم

ضریب رسوب‌گذاری کربنات‌کلسیم، به میلی‌متر	ضخامت تقریبی رسوب کربنات‌کلسیم
0.000	پاک
0.006 (0.1524)	0.0005
0.012 (0.3048)	0.0010
0.024 (0.6096)	0.0020
0.036 (0.9144)	0.0030

منبع: کتاب‌های راهنمای طراحی سیستم شرکت کریر بخش ۵ «تامین آب»



تصویر (3): تاثیر رسو ب لوله های کندانسور بر مصرف انرژی از رابطه $K = 1.0 \text{ Btu}/(\text{h ft}^2 \cdot {}^\circ\text{F})$. مثلاً اگر ضخامت رسو ب 0.025 اینچ (0.6 میلی متر) باشد، مصرف انرژی 22 درصد افزایش دارد

ناشی از رسو ب کربنات کلسیم بر روی لوله کندانسور یک یخچال، نشان داده شده است. نمودار نشان می دهد که لایه رسو بی به ضخامت 0.025 اینچ (0.635 میلی متر) [ضریب رسو ب گذاری 0.002] سبب ایجاد 22 درصد افزایش مصرف انرژی است که در واقع به هدر می رود.

هزینه های رسو ب و پسماندها

هزینه های واقعی مرتبط با رسو ب و پسماندها مایه شگفتی است. مثلاً تاسیسات تهویه مطبوع با ظرفیت 500 تن که میزان رسو ب گذاری در آن 0.025 اینچ (0.635 میلی متر) رسو ب کربنات کلسیم است، برای حفظ کارآیی به 22 درصد افزایش مصرف انرژی نیاز خواهد داشت و هزینه این مصرف اضافی تقریباً معادل 4752 دلار فقط برای مدت یک ماه (720 ساعت) کارکرد سرمایشی سیستم است. این محاسبه برمبنای کاربری یک دستگاه تهویه مطبوع برقی است که کمپرسور آن به انرژی 0.75 کیلووات

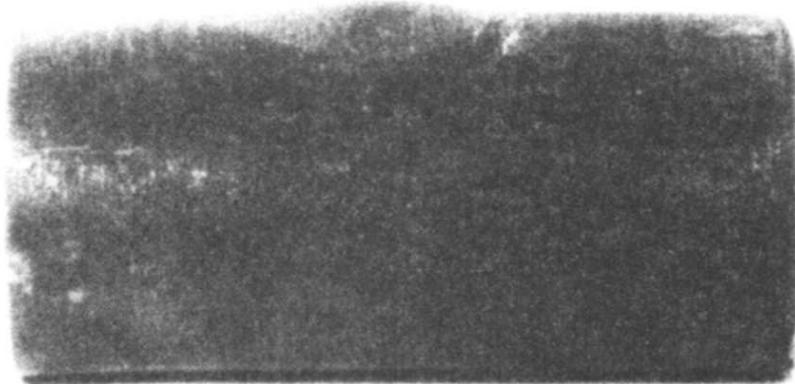
بر (تن در ساعت) برای سرمایش نیاز دارد. قابل توجه است که میانگین هزینه تامین این انرژی در اوایل سال 2000 معادل 8 سنت بر کیلووات ساعت بوده و بنابراین $4752 = 0.220 \times 720 \times 500$ دلار می‌شود.

با مراقبت صحیح و توجه به ایمن‌سازی آب، از مصرف اضافی انرژی جلوگیری می‌شود. به همین ترتیب در کاربری یک دیگ با هدف ایجاد حرارت یا سایر مقاصد کاربردی، تشکیل یک لایه نارسانا از رسوب بر روی سطوح دستگاه مصرف انرژی آن را افزایش می‌دهد.

رسوب‌ها و پسماندهای مربوط به دیگ‌ها می‌توانند شامل مواد مختلفی نظیر آهن، سیلیس، کلیسم، منیزیم، کربنات‌ها، سولفات و فسفات‌ها باشند. هر یک از این مواد با رسوب‌گذاری بر لوله‌های دیگ، مقداری نارسانایی در آن‌ها ایجاد می‌نمایند. این رسوب‌ها سبب کاهش نرخ انتقال گرمایی از گازهای گرم شده و یا شعله دیگ به آب موجود در سیستم می‌شوند. با کاهش بازدهی انتقال گرمایی، دمای لوله فلزی دیگ افزایش می‌یابد. پوشش رسوب تبدیل به عامل کاهنده‌ای در برابر انتقال گرمایی از گازهای مشعل به آب دیگ می‌شوند. این مقاومت در برابر فرآیند انتقال گرمایی سبب افزایش سریع دمای فلز به میزانی می‌شود که قادر به تغییر شکل دادن آن شده و در نتیجه کارآیی آن افت می‌کند. این جدی‌ترین تاثیر رسوب‌های دیگ است که حتاً می‌تواند منجر به انفجار دیگ شود.

تصویر (4) تغییر شکل لوله دیگ را بر اثر رسوب نشان می‌دهد. جدول (2) مقادیر میانگین اتلاف انرژی بر اثر رسوب دیگ را نشان می‌دهد. یک رسوب پوششی به ضخامت $1/16$ اینچ (1.588 میلی‌متر) می‌تواند اتلاف انرژی به میزان 4 درصد ایجاد کند. بدین معنا که اتلاف 4 درصد انرژی ناشی از رسوب سبب مصرف 864 گالن (3270.6 لیتر) سوخت شماره⁶ بیش از موقع عادی برای کارآیی دیگ بخار در سطح 100 اسب بخار دیگ (bhp) (1564.9 کیلوگرم) در مدت 1 ماه (720 ساعت) می‌شود. هزینه سوخت اضافی متناسب با افت بازدهی به سادگی به هزاران دلار در سال می‌رسد.

1. سوخت نفت شماره 6، سنتگین‌ترین و غلیظ‌ترین سوخت نفتی یا مازوت است. (متترجم)



تصویر(4): تغییر شکل لوله دیگ

جدول (2): تاثیر ضخامت رسوب‌گذاری در دیگ بر اتلاف انرژی

رسوب عادی، از نوع کربنات کلسیم، اینچ (میلی‌متر)	رسوب ضخیم (از نوع آهن سیلیکا)	اتلاف انرژی، %
$\frac{1}{32}$ (0.794)	$\frac{1}{64}$ (0.397)	2
$\frac{1}{16}$ (1.588)	$\frac{1}{32}$ (0.794)	4
$\frac{3}{32}$ (2.381)	$\frac{3}{64}$ (1.191)	6
$\frac{1}{8}$ (3.175)	$\frac{1}{16}$ (1.588)	8
$\frac{3}{16}$ (4.763)	$\frac{3}{32}$ (2.381)	12
$\frac{1}{4}$ (6.350)	$\frac{1}{8}$ (3.175)	16

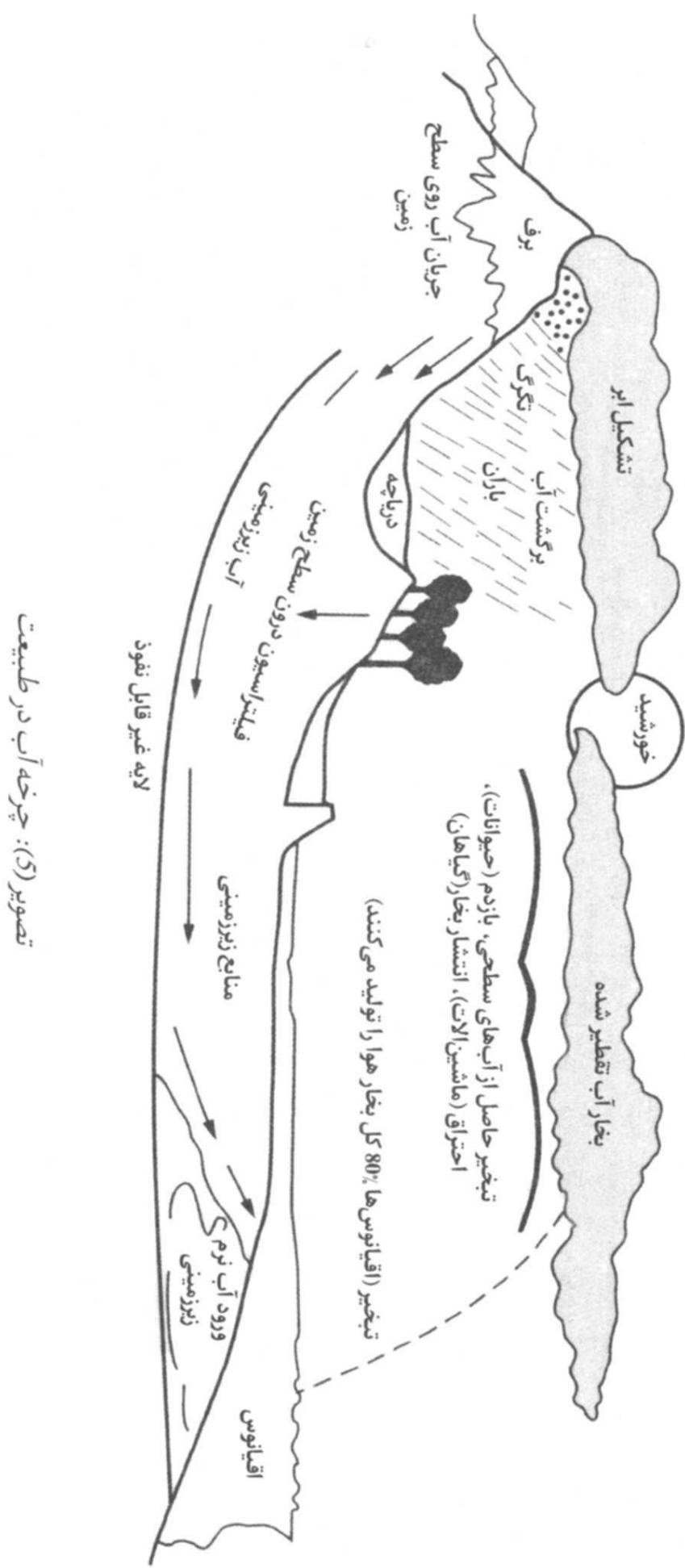
شیمی آب

آب و ناخالصی‌های درون آن سبب خوردگی فلزات و تشکیل رسوب بر سطوح در فرآیند انتقال گرمایی است و پیامد آن کاهش بازدهی و اتلاف انرژی است. حال که اثرات خورندگی را دریافتیم، اجازه دهید که چگونگی جلوگیری از ایجاد آن‌ها را بررسی کنیم. بهترین روش بررسی راه‌های جلوگیری از بروز این عوامل، درک علل اساسی و چگونگی تشکیل آن‌ها است.

آب، که به طور عادی در تجهیزات انتقال گرمایی نظیر دیگ‌ها، برج‌های خنک‌کننده و مبدل‌های حرارتی حضور دارد، محتوى ناخالصی‌های زیادی است. این ناخالصی‌ها منبع آب را کم و بیش مستعد خورندگی و تشکیل رسوب می‌سازند.

چرخه آب در طبیعت

چرخه آب در طبیعت (تصویر 5) سه مرحله دارد: تبخیر، نقطیر و بارش. این چرخه با گرم شدن سطح آب‌های کره زمین بر اثر تابش اشعه خورشید شروع می‌شود. در



تصویر (۵): چرخه آب در طبیعت

این مرحله آب تبخیر شده و به سمت لایه تروپسفر^۱ متصاعد می‌شود و یک لایه نازک از هوا مرتبط به ضخامت تقریبی 7 مایل (11 کیلومتر) در اطراف کره زمین تشکیل می‌دهد. از چگالیده شدن رطوبت در لایه تروپسفر، ابرها شکل می‌گیرند و ابرها با حرکت سطوح بالای زمین توسط باد، با جریان‌های هوای سرد برخورد کرده و این تماس سبب بارش باران یا برف می‌شود. بدین ترتیب آب برای تکرار این چرخه به سطح زمین بازمی‌گردد. آب در سراسر این چرخه، ناخالصی‌ها را جذب می‌کند. هنگام بارش در درون اتمسفر زمین گازهای اکسیژن، ازت، دی‌اکسیدکربن، اکسید ازت، اکسید گوگرد و بسیاری از اکسیدهای موجود در لایه اتمسفر را در خود حل می‌کند.

مقدار این گازها در اتمسفر به وضعیت جغرافیایی وابسته است. مثلاً، در مناطق وسیع شهری، آب باران اغلب محتوی تراکم‌های بالا از دی‌اکسیدکربن، اکسید گوگرد و اکسید ازت است. در مناطق روستایی، آب باران محتوی مقادیر کمتری از این قبیل گازها است. بررسی‌ها نشان داده‌اند که در سال‌های اخیر کیفیت اسیدی آب باران به میزان ثابتی افزایش داشته است. این افزایش به دلیل افزایش مقادیر اکسیدهای ازت و گوگرد آلوده‌کننده لایه اتمسفر است (باران اسیدی).

ناخالصی‌های آب

آب باران در برخورد با سطح زمین تمايل به جذب و انحلال مواد معدنی موجود بر سطح زمین را دارد. هرچه کیفیت اسیدی آب باران بیشتر باشد، واکنش‌های شدیدتری با مواد معدنی خواهد داشت. عمدت‌ترین واکنش‌ها هیدرولیز^۲ و هیدراسیون^۳ هستند، با عبور آب از لایه‌های گچ، کلسیت^۴، دولومیت^۵ و کوارتز، ترکیبات کلسیم، سیلیس و منیزیم موجود در این لایه‌ها را حل می‌کند (جدول ۳). سایر کانی‌های موجود در پوسته کره زمین نیز در آب حل شده و از پوسته زمین جدا می‌شوند. جدول (۴) تعدادی از کانی‌های موجود در سطح زمین را که در آب حل شده و ناخالصی‌های آب را تشکیل می‌دهند، نشان می‌دهد. آب باران در نهرها، رودخانه‌ها و دریاچه‌ها و برکه‌های طبیعی و در منابع ساخته شده، جمع‌آوری

1. Troposphere

2. Hydrolysis

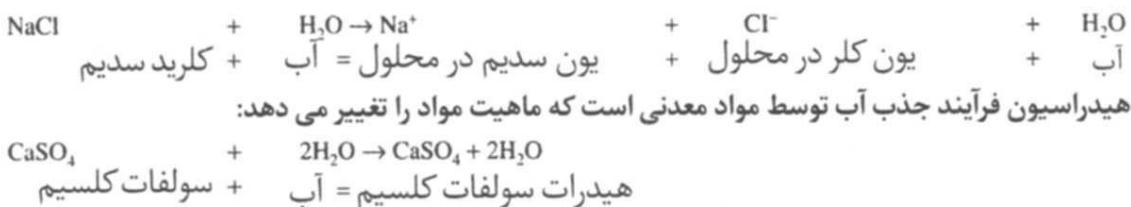
3. Hydration

4. Calcite

5. Dolomite

جدول (۳): واکنش‌های آب با مواد معدنی

هیدرولیز واکنش بین آب و مواد معدنی است که در آن مواد در آب حل می‌شود:

**جدول (۴): طبقه‌بندی کانی‌ها**

کوارتز، عقیق، میکا، چیرت، فلداسپار، هورن بلاند	سیلیکات‌ها
کالسیت، دولومیت، سنگ آهک	کارپونات‌ها
هالیت، فلوریت	هالیدها
هماتیت، بخ، ماغنتیت، بوکسیت	اکسیدها
انیدرید، گچ	سولفات‌ها
گالانا، پیریت	سولفیدها
مس، سولفور، طلا، نقره	عناصر طبیعی
آپاتیت	فسفات‌ها

می‌شود. این منابع آب‌های سطحی کانی‌های کمتری دارند اما محتوی گازهای حل شده بیشتری هستند.

منابع آب‌های زیرزمینی حاصل نفوذ آب‌های سطحی از لابه‌لای خاک و سنگ‌ها هستند و معمولاً مقادیر زیادی مواد معدنی در خود دارند و میزان گازهای حل شده در این نوع منابع ناچیز است، هر چند که موارد استثنای در این قاعده وجود دارد. جدول (۵) فهرستی از منابع مختلف آبی ارائه می‌دهد. تصویرهای ۶ تا ۱۰ ترکیبات متشکله آب‌های سطحی و زیرزمینی را نشان می‌دهند. فهرست ترکیبات متشکله این دو منبع آب به طور اجمالی نشان می‌دهد که ناخالصی‌ها و املاح معدنی به طور یقین نسبت به موقعیت جغرافیایی متغیر هستند. در واقع بسیاری از چاههای آب در مناطق نزدیک به یکدیگر نیز تفاوت‌های زیادی از نظر املاح معدنی از خود نشان می‌دهند. در اینجا ناخالصی‌های اساسی و عمده موجود در آب را ارزیابی می‌کنیم تا دریابیم که چگونه این ناخالصی‌ها در ایجاد خوردگی و رسوب موثر هستند.

حدوٰ، (5) : منابع آب

دریاچه‌ها و منابع آب تازه	آب‌های سطحی	آب زیرزمینی
آب زیرزمینی حاصل از نفوذ و رسوب آب‌های جاری بر روی سطح زمین		آب زیرزمینی
آب‌های موجود در صخره‌های اشباع شده از آب که در لایه بالای لایه نفوذناپذیر کره زمین قرار دارند	بسترهای آب	
فضاهای مملو از آب و محصور مابین صخره‌های زیرزمینی - آب‌های نفوذ و رسوب کرده از سطح به درون کره زمین که کانی‌های تشکیل دهنده کره زمین را جذب و حل کرده است (بنابراین آب چاه دارای بالاترین میزان املاح معدنی است)	چاهها	

تصویر (6): گواہی نامہ تجزیه آپ شہر نیویورک

METROPOLITAN REFINING COMPANY INC.

50-23 23rd STREET • LONG ISLAND CITY • N.Y. 11101



CERTIFICATE OF ANALYSIS

SYRACUSE, N.Y. (OTISCO LAKE)

DATE _____
SAMPLING DATE _____
REPRESENTATIVE _____

ANALYSIS NUMBER	57627		
SOURCE	CITY		
pH	7.4		
TOTAL ALKALINITY	CaCO ₃ , mg/L	0.0	
FREE CARBON DIOXIDE	CO ₂ , mg/L		
BICARBONATES	CaCO ₃ , mg/L	85.	
CARBONATES	CaCO ₃ , mg/L		
HYDROXIDES	CaCO ₃ , mg/L		
M (Total) ALKALINITY	CaCO ₃ , mg/L	85.	
TOTAL HARDNESS	CaCO ₃ , mg/L	132.	
SULFATE	SO ₄ , mg/L		
SILICA	SiO ₂ , mg/L	1.0	
IRON	Fe, mg/L	0.0	
CHLORIDE	NaCl, mg/L	21	
ORGANIC INHIBITOR	mg/L		
PHOSPHATE	PO ₄ , mg/L		
CHROMATE	Na ₂ CrO ₄ , mg/L		
NITRITE	NaNO ₂ , mg/L		
ZINC	Zn, mg/L		
SPECIFIC CONDUCTANCE	mmhos/cm	245.	
TOTAL DISSOLVED SOLIDS	mg/L	148.	
SUSPENDED MATTER	Trace		
BIOLOGICAL GROWTHS	Trace		
SPECIFIC GRAVITY @ 15.5°/15.5°C			
FREEZING POINT °C/°OF			
% BY WEIGHT			

ANALYTICAL RESULTS EXPRESSED IN MILLIGRAMS PER LITRE (mg/L) ARE EQUIVALENT TO PARTS PER MILLION (PPM). DIVIDE BY 17.1 TO OBTAIN GRAINS PER GALLON (GPG).

NOTES:

CYCLES OF CONCENTRATION = CHLORIDES IN SAMPLE / CHLORIDES IN MAKEUP

TREATMENT	TREATMENT CONTROL	FOUND	RECOMMENDED	FOUND	RECOMMENDED

تصویر(7): گواهی نامه تجزیه آب شهر سیراکوز (دریاچه اوتیسکو) نیویورک

METROPOLITAN REFINING COMPANY INC.			
50-23 23rd STREET • LONG ISLAND CITY • N.Y. 11101			
CERTIFICATE OF ANALYSIS			
WASHINGTON, D.C. (POTOMAC RIVER)		DATE _____	SAMPLING DATE _____
		REPRESENTATIVE _____	
ANALYSIS NUMBER	20197		
SOURCE	CITY		
pH	7.7		
P ALKALINITY	CaCO ₃ , mg/l		
FREE CARBON DIOXIDE	CO ₂ , mg/l		
BICARBONATES	CaCO ₃ , mg/l	90.	
CARBONATES	CaCO ₃ , mg/l		
HYDROXIDES	CaCO ₃ , mg/l		
M (Total) ALKALINITY	CaCO ₃ , mg/l	90.	
TOTAL HARDNESS	CaCO ₃ , mg/l	140.	
SULFATE	SO ₄ , mg/l		
SILICA	SiO ₂ , mg/l	7.0	
IRON	Fe, mg/l	0.0	
CHLORIDE	NaCl, mg/l	41.	
ORGANIC INHIBITOR	mg/l		
PHOSPHATE	PO ₄ , mg/l		
CHROMATE	Na ₂ CrO ₄ , mg/l		
NITRITE	NaNO ₂ , mg/l		
ZINC	Zn, mg/l		
SPECIFIC CONDUCTANCE	mmhos/cm		
TOTAL DISSOLVED SOLIDS	mg/l	195.	
SUSPENDED MATTER			
BIOLOGICAL GROWTHS			
SPECIFIC GRAVITY @ 15.5°/15.5°C			
FREEZING POINT °C/°F			
% BY WEIGHT			
ANALYTICAL RESULTS EXPRESSED IN MILLIGRAMS PER LITER (mg/l) ARE EQUIVALENT TO PARTS PER MILLION (PPM). DIVIDE BY 17.1 TO OBTAIN GRAINS PER GALLON (GPG).			
NOTES:	CLORIDES IN SAMPLE = CLORIDES IN MAKEUP		
TREATMENT	TREATMENT CONTROL	FOUND	RECOMMENDED

تصویر(8): گواهی نامه تجزیه آب رودخانه پوتوماک (واشنگتن)

METROPOLITAN REFINING COMPANY INC.

50-23 23rd STREET • LONG ISLAND CITY • N.Y. 11101

CERTIFICATE OF ANALYSIS



JAMAICA, N. Y. (WELLS)

DATE _____
SAMPLING DATE _____
REPRESENTATIVE _____

ANALYSIS NUMBER	38140	CITY WATER		
SOURCE				
pH	7.0			
P ALKALINITY	CaCO ₃ , mg/L	0.0		
FREE CARBON DIOXIDE	CO ₂ , mg/L			
BICARBONATES	CaCO ₃ , mg/L	30.		
CARBONATES	CaCO ₃ , mg/L			
HYDROXIDES	CaCO ₃ , mg/L			
M (Total) ALKALINITY	CaCO ₃ , mg/L	30.		
TOTAL HARDNESS	CaCO ₃ , mg/L	60.		
SULFATE	SO ₄ , mg/L			
SILICA	SiO ₂ , mg/L	14.13		
IRON	Fe, mg/L	0.07		
CHLORIDE	NaCl, mg/L	29.		
ORGANIC INHIBITOR	mg/L			
PHOSPHATE	PO ₄ , mg/L			
CHROMATE	Na ₂ CrO ₄ , mg/L			
NITRITE	NaNO ₂ , mg/L			
ZINC	Zn, mg/L			
SPECIFIC CONDUCTANCE	mmhos/cm	154.		
TOTAL DISSOLVED SOLIDS	mg/L	106.		
SUSPENDED MATTER				
BIOLOGICAL GROWTHS				
SPECIFIC GRAVITY @ 15.5°/15.5°C				
FREEZING POINT °C/°F				
% BY WEIGHT				

1. ANALYTICAL RESULTS EXPRESSED IN MILLIGRAMS PER LITRE (mg/L) ARE EQUIVALENT TO PARTS PER MILLION

(ppm). DIVIDE BY 17.1 TO OBTAIN GRAINS PER GALLON (gpg).

NOTES:

2. CYCLES OF CONCENTRATION = CHLORIDES IN SAMPLE / CHLORIDES IN MAKEUP

TREATMENT	TREATMENT CONTROL	FOUND	RECOMMENDED	FOUND	RECOMMENDED

تصویر (۹): گواهی نامه تجزیه آب شهر جامایکا در ایالت نیویورک (آب چاه)

METROPOLITAN REFINING COMPANY INC.					
50-23 23rd STREET • LONG ISLAND CITY • N.Y. 11101					
CERTIFICATE OF ANALYSIS					
[]					
YELLOW SPRINGS, OHIO (WELLS)					
[]					
DATE _____ SAMPLING DATE _____ REPRESENTATIVE _____					
ANALYSIS NUMBER 47588					
SOURCE	CITY WATER				
pH	7.6				
P ALKALINITY	CaCO ₃ , mg/l 0.0				
FREE CARBON DIOXIDE	CO ₂ , mg/l				
BICARBONATES	CaCO ₃ , mg/l 300.				
CARBONATES	CaCO ₃ , mg/l				
HYDROXIDES	CaCO ₃ , mg/l				
M (Total) ALKALINITY	CaCO ₃ , mg/l 300.				
TOTAL HARDNESS	CaCO ₃ , mg/l 454.				
SULFATE	SO ₄ , mg/l				
SILICA	SiO ₂ , mg/l 9.5				
IRON	Fe, mg/l 0.0				
CHLORIDE	NaCl, mg/l 58.				
ORGANIC INHIBITOR	mg/l				
PHOSPHATE	PO ₄ , mg/l				
CHROMATE	Na ₂ CrO ₄ , mg/l				
NITRITE	NaNO ₂ , mg/l				
ZINC	Zn, mg/l				
SPECIFIC CONDUCTANCE	mmhos/cm 840.				
TOTAL DISSOLVED SOLIDS	mg/l 514.				
SUSPENDED MATTER	Abs.				
BIOLOGICAL GROWTHS	Abs.				
SPECIFIC GRAVITY @ 15.5°/15.5°C					
FREEZING POINT °C/°F					
% BY WEIGHT					
1. ANALYTICAL RESULTS EXPRESSED IN MILLIGRAMS PER LITRE (mg/l) ARE EQUIVALENT TO PARTS PER MILLION (ppm). DIVIDE BY 17.1 TO OBTAIN GRAINS PER GALLON (gpg).					
NOTES:					
2 CYCLES OF CONCENTRATION = CHLORIDES IN SAMPLE / CHLORIDES IN MAKEUP					
TREATMENT	TREATMENT CONTROL	FOUND	RECOMMENDED	FOUND	RECOMMENDED

تصویر(10): گواهی نامه تجزیه آب یلو اسپرینگز ایالت اوهایو (آب چاه)

گازهای محلول

اکسیژن یکی از گازهای موجود در جو است که تقریباً ۲۰% هوا را تشکیل می‌دهد. اکسیژن موجود در آب برای ادامه حیات دریایی ضروری است. هر چند که این گاز عامل اصلی فرآیند خوردگی و در واقع مسبب اصلی فرسودگی فلزات است. بنابراین نسبت احلال اکسیژن در آب، در تحقیق در رسوب‌گذاری و خوردگی حائز اهمیت است.

دی‌اکسیدکربن در هر دو منبع آب سطحی و زیرزمینی وجود دارد. این منابع آبی، مقادیر کم دی‌اکسیدکربن را از اتمسفر جذب می‌کنند. مقادیر زیادی دی‌اکسیدکربن از پسماند مواد آلی در آب و محیط پیرامون آن جذب می‌شود. دی‌اکسیدکربن با اسیدی کردن نقش مهمی در فرآیند خوردگی دارد. اسیدی شدن آب قابلیت احلال فلزات را افزایش می‌دهد.

دی‌اکسیدکربن هنگام حل شدن در آب طبق و اکنش زیر مقدار کمی اسیدکربنیک تولید می‌کند:



اسید کربنیک \rightarrow آب + دی‌اکسیدکربن

اکسیدهای گوگرد. اکسیدهای گازی گوگرد موجود در جو، نتیجه فرآیند جذب در جو هستند و به صورت آلاینده‌های ناشی از سوختهای محتوی گوگرد مانند ذغال سنگ و سوختهای نفتی در هوا معلق هستند. در مناطق شهری مقدار اکسیدهای گوگرد جذب شده توسط آبهای سطحی و آبهای هواداده شده مورد استفاده در برج‌های خنک‌کننده، قابل توجه است. ترکیب این اکسیدها با آب منجر به تولید اسیدهایی می‌شود که هوای سایشی را ایجاد می‌کند.



اسید سولفوریک \rightarrow آب + اکسید گوگرد

اکسیدهای ازت. نیز در جو به هر دو صورت طبیعی و حاصل آلودگی ناشی از فرآیندهای سوختی وجود دارند و این اکسیدها نیز مشابه اکسیدهای گوگرد با جذب شدن به وسیله آب، تولید کننده اسیدهای خورنده هستند.



اکسید ازت + اسیدنیتریک \rightarrow آب + دی‌اکسیدازت

سولفید هیدروژن. بوی نامطبوع بعضی از آب‌ها که مشابه بوی تخم مرغ فاسد است ناشی از وجود سولفید هیدروژن است. این گاز از تخریب مواد آلی و رسوب گوگرد تولید می‌شود. سولفید هیدروژن از واکنش بین آب اسیددار با کانی‌های سولفیددار مانند پیریت که سولفیدآهن و با نام «طلای جعلی^۱» مشهور است، تولید می‌شود:



سولفیدهیدروژن + یون آهن \rightarrow بنیان اسیدی + سولفیدآهن
در محلول در محلول

سولفیدهیدروژن پس از واکنش آب، اسیدهیدروسولفوریک که یک محلول ملایم اسیدی است؛ تولید می‌کند. این ترکیب شیمیایی نیز از تجزیه مواد آلی و پروتئین‌های گوگرددار در آب حاصل می‌شود. سولفیدهیدروژن جزو اصلی تشکیل‌دهنده گاز گنداب، گاز مرداب و گاز ذغال سنگ است. این گاز می‌تواند محلول در آب باشد و یا از این منابع تولید شود. این گاز به علت واکنش اسیدی با آب بسیار خورنده است و باید به نحوی دفع و یا خنثا شود.

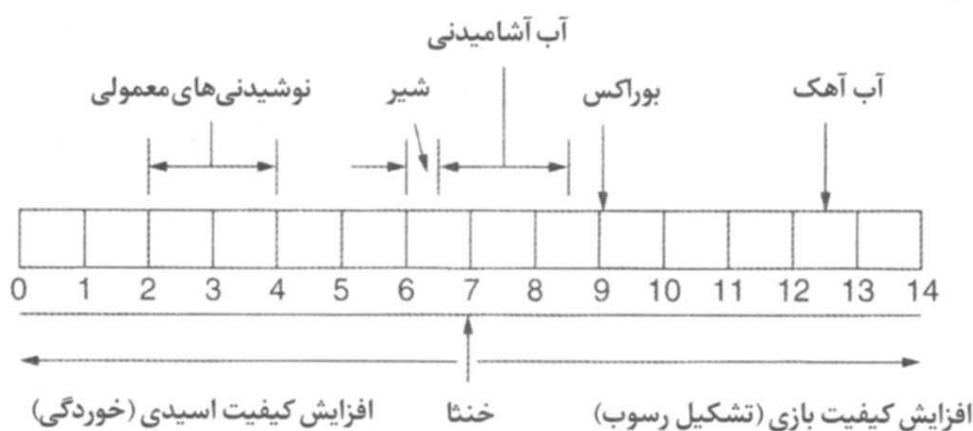
مواد معدنی حل شده در آب

خاصیت قلیایی. این خاصیت وابسته به مقدار مواد قلیایی معدنی حل شده در آب است که با معیار کربنات کلسیم ارزیابی می‌شوند زیرا این ترکیب عمده‌ترین ماده قلیایی معدنی به وجود آورنده خاصیت قلیایی است. خاصیت قلیایی با معیار هیدروکسید، اگر موجود باشد نیز اندازه‌گیری می‌شود. آب‌های طبیعی همگی مقداری خاصیت قلیایی دارند. این عامل سبب تشکیل رسوب می‌شود زیرا رسوب‌گذاری کربنات کلسیم یا آهک را تشدید می‌کند.

مقدار pH. کیفیت قلیایی بودن و یا میزان نسبی قدرت اسیدی و بازی آب، مقدار pH است، مقدار pH با ارزیابی یون هیدروژن در آب، محاسبه می‌شود. درجه‌بندی pH از نماد صفر تا 14 است و pH معادل 7 نماینده خنثا بودن است و نشان‌دهنده تعادل مابین کیفیت اسیدی و قلیایی آب است. با کاهش pH در جهت صفر شدن، کیفیت

قليابي کاهش و کيفيت اسيدي افزايش می‌يابد.

با افزايش pH در رسيدين به عدد ۱۴، کيفيت قليابي افزايش و کيفيت اسيدي کاهش می‌يابد. درجه‌بندي pH (تصوير ۱۱) برای تفسير قدرت، يا چگالی اسيدي و يا قليابي بودن محلول آب به کار می‌رود. درجه‌بندي لگاريتمي است و بنابراین تغيير يك واحد pH نمایينده افزايش و يا کاهش توان ده در خواص اسيدي و يا قليابي آب است، پس آبی که pH آن ۴ است، ۱۰۰ بار اسيدي تراز آبی است که pH آن ۶ است. اگر مقدار pH در بخش اسيدي قرار گيرد، آب خورنده می‌شود در صورتی که مقدار pH در بخش قليابي است، در اين صورت تمایل آب به رسوب‌گذاري شدیدتر خواهد شد.



تصوير (۱۱): جدول pH

سختی. سختی آب عبارت از مقدار کلی کلسیم، منیزیم، آهن و سایر عناصر فلزی موجود در آب است و بدین معنا که آب را «زبر» می‌کنند. سختی آب نیز با معیار کربنات کلسیم محاسبه می‌شود زیرا این ترکیب نقش عمده‌ای در ایجاد سختی دارد. سختی آب سبب ایجاد رسوب آهک در تجهیزات می‌شود.

سیلیس. سیلیس شن و یا سنگ‌های سیلیسی (مانند کوارتز) است که با عبور آب از درون آن‌ها، در آب حل شده‌اند. سیلیس مسبب تشکیل رسوب‌های سخت و مقاوم است که در تجهیزات انتقال حرارتی تشکیل می‌شوند. سیلیس یا به صورت سیلیکات محلول در آب و یا به شکل سیلیس کولوییدی غیرمرئی معلق در آب وجود دارد. آهن، منیزیم و آلومین. این عناصر فلزی محلول و یا معلق در آب به نسبت‌های مختلف وجود دارند. این عناصر به علت تشکیل رگه‌های مسطح و رسوب در آب، نامطلوب هستند و هنگامی که آب در معرض هوای جو قرار می‌گیرد با اکسیژن واکنش

نشان داده و با ایجاد اکسیدهای فلزی سبب کدر شدن آب و یا به وجود آمدن «آب سرخ» می‌شوند. رنگ سرخ زنگاری که به طور عمده از اکسید آهن حاصل می‌شود، سبب زنگزدگی لوله‌کشی، سنک‌ها و پوشش‌های سرامیکی و تغییر رنگ رایج در سازه‌ها می‌شود.

کلرورها. کلرورها مجموعه نمک‌های کلردار سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم محلول در آب هستند. کلرور سدیم یا نمک طعام و کلرور کلسیم رایج‌ترین کلرورهای موجود در آب هستند. کلرورها عومولاً به علت ضریب اتحال بالا، موجب تشکیل رسوب نیستند. اما این ترکیبات خاصیت خورندگی دارند و در صورتی که مقدار آن‌ها مانند آب دریا بیش از حد مجاز باشد، اثر فرسایشی قابل توجهی دارند.

سولفات‌ها. نمک‌های سولفات سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم محلول در آب هستند. این املاح با عبور آب از صخره‌های دارای نمک‌های سولفات مانند لایه‌های گچی در مسیر آب به صورت محلول همراه با آب هستند. رسوب سولفات کلسیم و منیزیم بسیار سخت است و تمیز کردن آن بسیار مشکل بوده و در فرآیند انتقال حرارتی معرض بزرگی است.

کل جامدات حل شده. میزان کل جامدات حل شده در آب^۱ عبارت از مجموع ترکیبات معدنی محلول در آب شامل کربنات‌ها، کلرورها، سولفات‌ها و سایر املاح موجود در آب است. جامدات حل شده در آب سبب تشکیل رسوب و خورندگی در تجهیزات انتقال حرارتی می‌شوند.

مواد معلق. مواد معلق در آب شامل اجسام آلی و معدنی بسیار ریز و مستقلی است که در آب یافت می‌شوند. این ذرات حاصل ماسه خاکی و یا ارگانیسم‌های میکروسکوپی هستند که در آب وجود دارند و سبب تیره شدن رنگ آب می‌شوند. کمیت این مواد معلق معیار گل‌آلودگی آب است. گل‌آلودگی با شدت نور شکسته شده در برخورد با مواد معلق در آب اندازه‌گیری می‌شود.

خوردگی

خوردگی فلزات فرآیندی است که طی آن فلز در واکنش نسبت به محیطی که در آن قرار دارد از وضعیت فلز خالص به اکسید فلز یا سایر ترکیبات پایدار از آن تغییر

می‌کند. به طور معمول بر اثر خورندگی، فلز به حالت موجود در طبیعت یعنی سنگ معدنی بازمی‌گردد. مثلاً، آهن به تدریج در آب حل می‌شود و بر اثر واکنش با اکسیژن موجود در آب اکسیده شده و اکسید آهن معروف به زنگار را تشکیل می‌دهد. این فرآیند در تجهیزات انتقال حرارتی به دلیل وجود گرما، گازهای خورنده و مواد معدنی محلول در آب، به سرعت واقع شده و منجر به تشدید فرآیند خورندگی می‌شود. رایج‌ترین وضعیت‌های فرسودگی یافت شده در تجهیزات حرارتی عبارتند از:

- ◆ خوردگی کلی
- ◆ خوردگی الکتروشیمیابی
- ◆ خوردگی گالوانیکی
- ◆ خوردگی سلول غلظت
- ◆ خوردگی تنشی
- ◆ خوردگی رفتگی
- ◆ خوردگی شیاری چگالیده
- ◆ خوردگی میکروبیولوژیکی (MIC)

خوردگی کلی

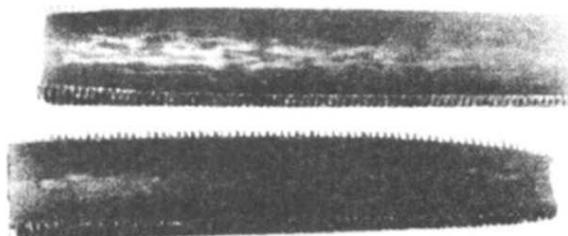
خوردگی کلی به شکل‌های مختلف در تجهیزات انتقال حرارتی مشاهده می‌شود. در آب موجود در کندانسور و یا مواد چرخه آب در برج‌های خنک‌کننده به شکل فرسودگی کلی سطوح فلزی با تجمع زنگار و یا محصولات خوردگی در لوله‌کشی و مخازن آبی مشاهده می‌شود.

در لوله‌های مسی کندانسور معمولاً به صورت شیارهای سطحی یا باریک شدن یکنواخت جدار لوله‌های فلزی مشاهده می‌شود.

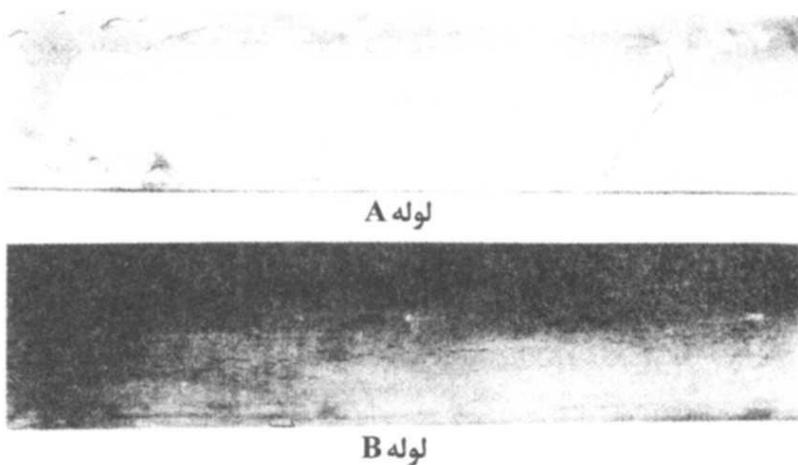
خوردگی کلی در دیگ‌ها به شکل پوسه شدن کلی سطح لوله‌های فلزی در تماس با آب موجود در دیگ دیده می‌شود (تصویر 12 و 13).

خوردگی کلی زمانی مشاهده می‌گردد که فرآیند فرسایشی و به طور یکنواخت بر کل سطح فلز تاثیر می‌گذارد و اثر آن نقطه‌ای یا منطقه‌ای نیست. این فرآیند غالباً و نه به طور معمول همراه با تجمع محصولات حاصل از خوردگی در روی سطح فلز است (تصویر 14).

تصویر(12): خوردگی کلی در لوله کندانسور



تصویر(13): خوردگی الکتروشیمیایی در لوله کندانسور



تصویر(14): خوردگی لوله دیگ

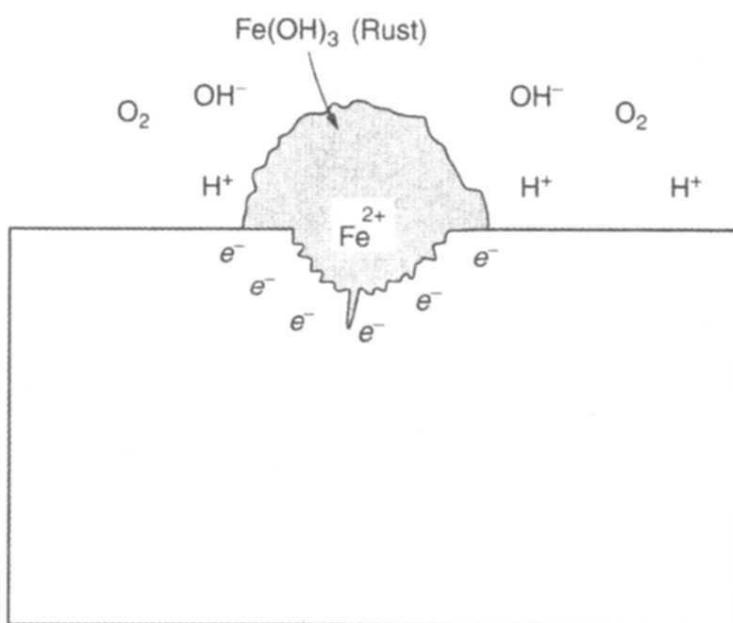
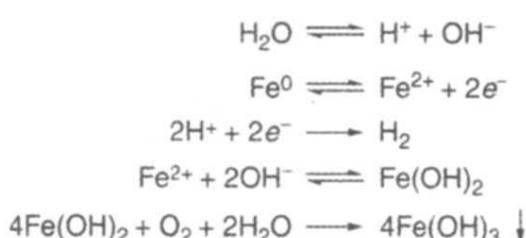
آهن و سایر فلزات بر اثر واکنش‌های الکتروشیمیایی تجزیه شده و تدریجاً در آب حل می‌شوند. بنابراین محدود کردن خوردگی این فلزات با کاهش فعالیت یون‌های هیدروکسیل و هیدروژن، مثلاً با ایجاد یک محیط خنثا، ضروری است. عامل مهم دیگر در فرآیند خوردگی انحلال اکسیژن است. احیای هیدروژن در این نوع واکنش‌ها سبب کاهش نرخ واکنش‌های خوردگی و در واقع در بسیاری از موارد جلوگیری از آن با تشکیل یک لایه بازدارنده بر روی سطح فلز است که از نظر فیزیکی فلز را در برابر تاثیرات آب محافظت می‌کند.

تجمع زنگار و محصولات حاصل از خوردگی با بیشتر شدن میزان اکسیژن در محلول افزایش می‌یابد. اکسیژن با فلز ترکیب شده و تولید اکسیدفلزی غیرقابل

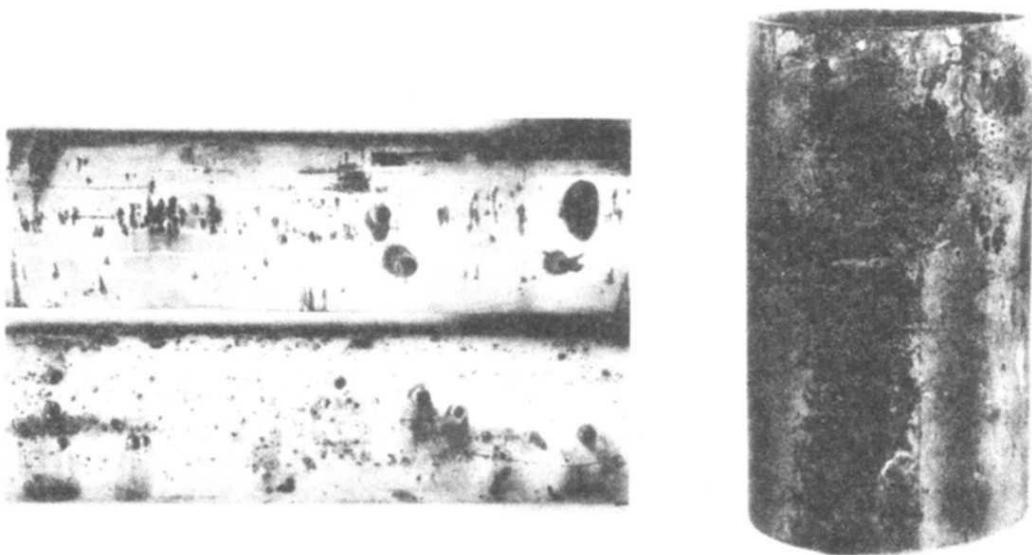
انحلال می‌نماید و در مورد آهن رسوب ضخیم زنگار را تشکیل می‌دهد. از اینجایی که نقش اکسیژن در خوردگی بسیار مهم است، بنابراین دفع اکسیژن محلول به منظور جلوگیری از خوردگی، اقدام موثری است.

خوردگی الکتروشیمیابی

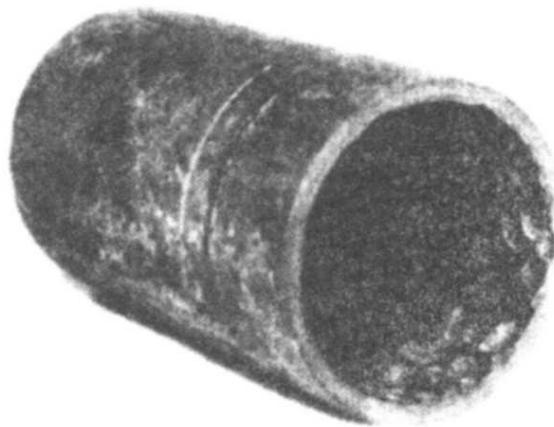
نوع دوم خوردگی که معمولاً در تجهیزات انتقال حرارتی مشاهده می‌گردد، خوردگی الکتروشیمیابی است. این فرآیند با شیارهای عمقی در مناطق کوچکی از فلز بدون تاثیرگذاری بر کل سطح آن مشخص می‌شود. خوردگی در مناطق خاصی از سطح فلز حادث شده و محصولات آن معمولاً در یک فرورفتگی جمع می‌شوند. این تجمع به شکل برجستگی، گنبدهای یا دانه‌های برجسته مشابه تصویر (15) ظاهر می‌شود. خوردگی الکتروشیمیابی ناشی از اکسیژن محلول است. این پدیده با سایر علت‌ها نظیر رسوب برجسته اجسام خارجی متفاوت است. مثال‌هایی در مورد برجستگی‌های نقطه‌ای ناشی از اکسیژن محلول در زیر آورده شده‌اند (تصویر 16 و 17).



تصویر (15): واکنش تشکیل برجستگی‌های رسوبی



تصویر(16): خوردگی الکتروشیمیابی در لوله دیگ
تصویر(17): برجستگی‌های روی سطح لوله دیگ



تصویر(18): برجستگی‌های روی لوله آب تعذیه دیگ

خوردگی الکتروشیمیابی در سیستم دیگ‌های بخار که در آن‌ها آب رها شده محتوی اکسیژن محلول است، مشاهده می‌شود. برجستگی‌ها در لوله‌های دیگ مستقر در مجاورت ورودی آب رها شده و یا در کل خط آب رها شده از دیگ مشاهده می‌شوند. یکی از اشکال خوردگی الکتروشیمیابی معمولاً در خط آب رها شده دیگ و همراه با دیاریتور^۱ است. به اشتباہ این طور انتظار می‌رود که آب رها شده به صورت مکانیکی در دیاریتور به طور کامل از خوردگی الکتروشیمیابی جلوگیری می‌کند. اما کاملاً برعکس این انتظار، آبی که محتوی تراکم‌های ناچیز اکسیژن محلول است، معمولاً دارای خاصیت خورندگی بیشتر از آب‌های همراه با تراکم‌های بالای اکسیژن

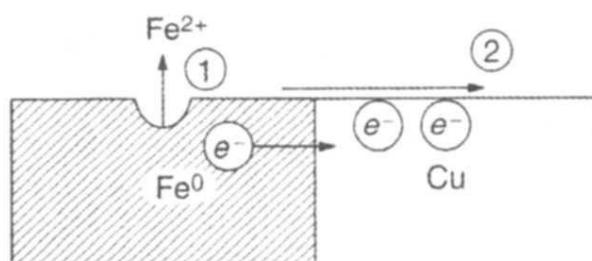
است. این مورد با تشکل خوردگی الکتروشیمیایی در خطوط حامل آب رها شده محتوی آب دیاریتور مشخص می‌شود.

دیاریتورهای مکانیکی کارآیی کامل ندارند و هیچ‌کدام از آن‌ها آب بدون اکسیژن محلول تولید نمی‌کنند. کمترین میزان اکسیژن محلول حاصل از دیاریتورها معادل ۰.۰۰۰۵ سانتی‌متر مکعب در لیتر است. این مقدار ناچیز اکسیژن حل شده برای ایجاد خوردگی‌های شدید در خطوط آب رها شده و یا لوله‌های دیگ در نزدیکی ورودی آب رها شده، کافی است. این نوع خوردگی با سوراخ‌های عمیقی که بر روی سطح داخلی لوله پراکنده هستند و همراه بودن با مقدار کم یا هیچ‌گونه تجمع محصولات خوردگی یا زنگار، مشخص می‌شود، زیرا مقدار اکسیژن موجود در محیط لوله برای ایجاد زنگار اکسیدآهن کافی نیست.

خوردگی گالوانیکی

خوردگی بر اثر تماس دو فلز مختلف در درون آب ایجاد می‌شود. با تماس دو فلز، مشابه آن‌چه در باتری‌ها اتفاق می‌افتد، جریان الکتریکی تولید می‌شود. فلزی که در انحلال با آب فعال‌تر است (بر اثر جریان الکترون‌ها) بیش از فلزهایی که کمتر انحلال‌پذیر هستند، می‌تواند جریان الکتریکی تولید کند. یک کوپل آهن و مس مشابه تصویر (۱۹)، جریان الکتریکی ایجاد می‌کند.

تمایل فلز به انتشار الکترون و هدایت آن به درون محلول «پتانسیل الکترودی» نامیده می‌شود. این پتانسیل در فلزات متفاوت است، زیرا واکنش‌های انحلال و ترکیب مواد محیط اطراف در فلزهای مختلف تفاوت دارند.



تصویر (۱۹): خوردگی گالوانیکی ناشی از کوپل دو فلز مختلف. (۱) آهن بر اثر انحلال با آب ۲ الکترون از دست می‌دهد: (۲) $Fe^0 \rightarrow Fe^{2+} + 2e^-$ الکترون‌ها به طرف مس که کمتر فعال است جاری می‌شوند

در خوردگی گالوانیکی که به خوردگی فلزی غیر مشابه معروف است، وجود چهار عامل ضروری است:

1. فلز فعال تر یا آند.
2. فلز کمتر فعال یا کاتد.
3. محیط آب در برگیرنده دو فلز یا الکتروولیت.
4. تماس بین دو فلز برای هدایت آسان‌تر جریان الکترون.

میزان خوردگی گالوانیکی به شدت وابسته به اختلاف پتانسیل بین دو فلز غیر مشابه است. در صفحه بعد، قدرت فعال بودن گالوانیکی فلزات فهرست شده است، به طوری که فعال‌ترین فلز در بالای فهرست و فلزی که کمترین فعالیت گالوانیکی را دارد در آخر فهرست آورده شده است. در این فهرست هرچقدر که دو فلز از یکدیگر دور باشند، فعالیت گالوانیکی بین آن‌ها شدیدتر و بدین ترتیب فلز آند سریع‌تر خوردگ می‌شود. مجموعه طبقه‌بندی شده فلزات از نظر فعالیت گالوانیکی در جدول (6) نشان داده شده‌اند.

جدول (6): مجموعه‌های گالوانیکی

انتهای خورده شده (آندي، يا کمتر نجيف)^۱

آلیاژ‌های منیزیم (1)

روی (1)

برلیم

آلیاژ‌های آلومینیم (1)

کادمیوم

فولاد نرم، آهن چکش خور

چدن، پوسته یا چدن نرم

آهن کم‌آلیاژ پر مقاومت

نیکل پر مقاومت نوع 1 و 2

مفرغ بحری (CA464)، مفرغ زرد (CA268)، مفرغ آلومینیم‌دار (CA687)، مفرغ سرخ (CA230)، مفرغ دریاداری (CA443)، مفرغ منگنزدار

قلع

مس (CA102/110)، مفرغ سیلیس‌دار (CA655).

آلیاژ سرب و قلع

ادامه جدول (6): مجموعه‌های گالوانیکی

مفرغ قلع دار (جی اندام).	
فولاد ضدزنگ، ۱۲-۱۴٪ کروم (نوع AISI 416, 410)	
آلیاژ نیکل نقره (CA 732, 735, 745, 752, 764, 770, 794)	
آلیاژ مس نیکل (Ca706) ۹۰/۱۰	
آلیاژ مس نیکل (CA710) ۸۰/۲۰	
فولاد ضدزنگ، ۱۶-۱۸٪ کروم (نوع AISI 430)	
سرب	
آلیاژ سرب نیکل (CA715) ۷۰/۳۰	
مفرغ نیکل آلومینیم	
آلیاژ آنیکونل ۶۰۰	
آلیاژهای نقره پرحرارت	
نیکل ۲۰۰	
نقره	
فولاد ضدزنگ، ۱۸ کروم، ۸ نیکل (نوع AISI 302, 304, 321, 347)	
آلیاژهای مونل ۴۰۰, k-500	
فولاد ضدزنگ، ۱۸ کروم، ۱۲ نیکل مولیبیدان (نوع AISI 316, 317)	
آلیاژ آنیکولوی ۸۲۵، فولاد ضدزنگ کارپینتر ۲۰ کد ۸۲۵	
آلیاژ آنیکولوی تیتانیم هاستلویز C, C276	
گرافیت، چدن گرافیتی	
انتهای مقاوم (کاتدی، ترکیب بیشتر نجیب)	

۱. *Noble Metal*: محصولات خوردگی ترکیبات نجیب با تغییر کمی در انرژی آزاد همراه است. فلزات نجیب قابلیت ترکیب با اکسیژن کمتری دارند.

هرگاه یکی از این عوامل ضروری حذف شود، واکنش‌های خورندگی انجام نمی‌شود و میزان خوردگی کاهش شدید روبرو یا متوقف می‌شود.

یکی از روش‌های جلوگیری از این نوع خوردگی، اجتناب از تماس دو فلز غیر مشابه در تجهیزات تهويه با استفاده از کوپلینگ‌های عایق یا بسته‌هایی مانند کوپلینگ دوفلزی است که مانع از جریان الکترون از یک فلز به دیگری می‌شود. سایر روش‌های جلوگیری شامل دفع اکسیژن محلول و استفاده از پوشش‌های محافظ و بازدارنده هستند که با اعمال آن‌ها، مانعی بین فلز خورنده و محیط اطراف ایجاد می‌گردد.

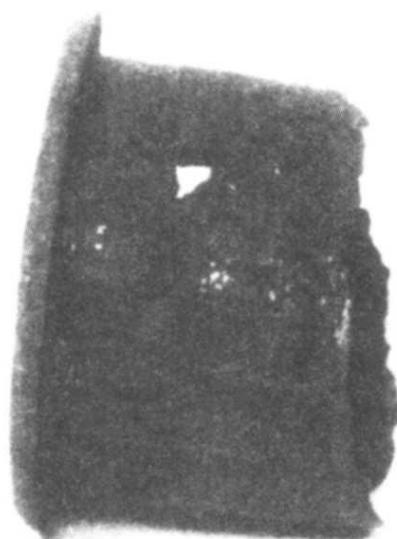
خوردگی سلول غلظت

خوردگی سلول غلظت نوعی خوردگی الکتروشیمیایی است که به جای تاثیر کلی، اثرات نقطه‌ای و منطقه‌ای دارد. این پدیده معمولاً خوردگی رسوبی یا خوردگی حفره‌ای نامیده می‌شود، زیرا این نوع خوردگی در زیر رسوب‌ها و یا حفره‌های محل اتصال فلزی ایجاد می‌شود. رسوب اجسام خارجی، آلودگی‌ها، مواد آلی، محصولات خوردگی، جرم‌ها یا هر ماده دیگری بر روی سطح فلز به علت عدم تشابه مواد در محیط روی سطح فلزات می‌تواند منشا یک واکنش خورندگی باشند. این عدم تشابه مواد ممکن است تفاوت تراکم‌های یونی یا اکسیژن محلول باشد.

در فرآیند خوردگی سلول غلظت، واکنش خورندگی مشابه خوردگی گالوانیکی فعال می‌شود زیرا عدم تشابه مواد نیز اختلاف پتانسیل الکترودی ایجاد می‌کند. ایجاد سطوح پاک و تمیز بهترین روش جلوگیری از این نوع خوردگی است.

خوردگی تنشی

خوردگی تنشی فرآیند ترکیبی از قرار گرفتن فلز در محیط فرساینده و اعمال فشار بر آن است. این پدیده معمولاً در لوله‌های چگالنده و دیگ در مناطقی که لوله‌ها در صفحه‌ها لفاف شده‌اند، مشاهده می‌شود. در دیگ‌های بخار، خوردگی تنشی را «خم و شیار» می‌نامند. این خوردگی مشابه یک خمش محیطی در پیرامون لوله حرارتی در محل ورود به صفحه لوله‌ای مشاهده می‌شود. تصویر (20) این نوع خوردگی را نشان می‌دهد.



تصویر (20): خم و شیار در لوله حرارتی دیگ

نقص خوردگی ناشی از محیط فرساینده و تنش‌ها و فشارهای واردہ بر نقطه خوردگی است. معمولاً خوردگی در گرمترین انتهای لوله در شروع جدا شدن از دیوار تشکیل می‌شود. خوردگی در انتهای لوله متمرکز می‌شود زیرا این منطقه از هر طرف دو منبع تحت فشار است. نخست با خم شدن لوله به فلز فشار وارد می‌شود و برای استقرار آن در صفحه لوله‌ای، تحت نیروی انبساطی قرار می‌گیرد. در وهله دوم، وقتی دیگ روشن است، حرارت سبب انبساط سریع لوله شده و در اینجا بیشترین فشار به دو انتهای لوله که در صفحه لوله‌ای محکم شده است، وارد می‌شود. در واقع سبب پیچش و خمش لوله می‌شود که در بعضی مواقع فشارها به قدری شدید هستند که لوله‌ها در صفحه لق می‌شوند. با خم شدن لوله، لایه اکسید آهن که به طور طبیعی برای محافظت آن تشکیل شده است، پوسته و یا ترک خوردگی می‌شود و فولاد بدون محافظ زیر لایه پوششی در معرض خوردگی بیشتر قرار می‌گیرد. و در نهایت به هر دو علت خوردگی و فشار لوله معیوب می‌شود.

خوردگی تنشی بر اثر انبساط حرارتی و به علت این‌که این انبساط سبب وارد آمدن فشار به بست و صفحه لوله است، در لوله‌های چگالنده و مبدل حرارتی ایجاد می‌شود. این مشکل با اعمال تدریجی حرارت در دیگ که سبب تغییرات تدریجی دما می‌شود و همچنین استفاده از بازدارنده‌های مناسب برای مطلوب کردن محیط عمل، کاهش می‌یابد.

خوردگی رفتگی

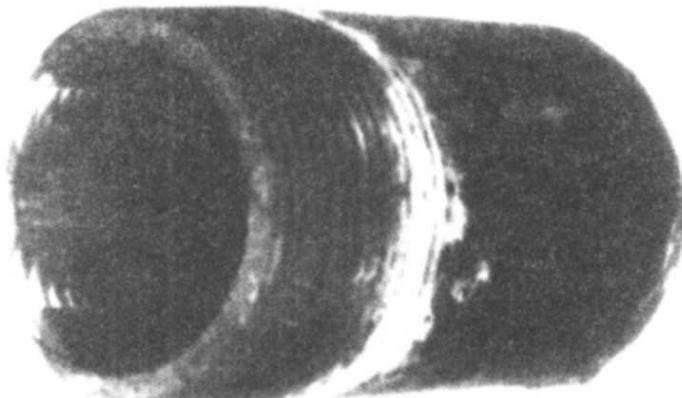
خوردگی رفتگی عبارت از فرسودگی تدریجی سطح فلز ناشی از اصطکاک و خوردگی است. این پدیده خوردگی ضمنی نیز نامیده می‌شود.

آب که با سرعت درون لوله‌ها جریان دارد می‌تواند محتوی حباب، مواد معلق، شن یا سایر ذرات سخت جامد باشد. این مواد خارجی در آب برجهای خنک‌کننده که در معرض هوای جو بوده و ذرات را در خود نگه می‌دارند، بسیار معمول است. این ذرات ساینده پوشش‌های اکسید طبیعی که محافظ سطوح فلز هستند را از بین می‌برند و خوردگی کلی در فلزات در تماس با آب ایجاد می‌کنند. هرچه سرعت جریان آب بیشتر باشد میزان خوردگی رفتگی بیشتر می‌شود.

خوردگی چگالیده

خوردگی چگالیده، پدیده ذره‌ای مرتبط با فرسایش خط چگالیده بخار در تجهیزات تهویه است. این پدیده در خطوط لوله بخار چگالیده در کلیه تجهیزات تبادل گرمابی، کندانسورهای توربین بخار، واحدهای گرمکن، کندانسورهای جذب سطحی بخار، رادیاتورها و یا هر دستگاهی که از بخار به عنوان محیط واسطه تبادل حرارتی استفاده می‌کند، مشاهده می‌شود.

خوردگی شیاری چگالیده تاثیر شیمیایی مستقیم بخار چگالیده بر بدنه فلزی مجرای عبور آن است و عموماً همراه با شیارهایی در کف لوله هدایت چگالیده مشاهده می‌شود. این نوع خوردگی در تصویر (21) نشان داده شده است. دی‌اکسیدکربن عامل اصلی خوردگی شیاری چگالیده است زیرا دی‌اکسیدکربن حل شده تولیدکننده اسیدکربنیک ضعیفی است. روش جلوگیری از این نوع خوردگی شامل دفع نمک‌های قلیایی کربنات و بی‌کربنات‌دار از آب دیگ (قلیازدابی) و استفاده از خنثاکننده اسیدکربنیک و پوشش‌های بازدارنده است.



تصویر (21): خوردگی در خط انتقال چگالیده بخار

خوردگی میکروبیولوژیکی

از اوایل دهه 1980، پدیده خوردگی میکروبیولوژیکی¹ به مشکل بسیار جدی در سیستم‌های تهویه مطبوع با جریان آب برگشتی در ساختمان‌ها تبدیل شد. خوردگی بیولوژیکی اصطلاحی است که به نوعی از خوردگی تخصیص داده شده است که

$$LSI = \text{pH} - \text{pH}_S = 7.7 - 8.2 = -0.5$$

و با در نظر گرفتن این شاخص و مراجعه به جدول (8) نتیجه می‌شود که منبع آب کمی خورندگی دارد و بنابراین خاصیت تشکیل جرم را ندارد. در واقع، شرایط «منطقه بدون قطعیت» است که در آن شرایط نشانه واضحی از تشکیل جرم یا خوردگی مشاهده نمی‌شود و هر دو پدیده بدون برتری قابل توجه نسبت به یکدیگر وجود دارند. عموماً منطقه عدم قطعیت در شاخص LSI مقادیر -0.5 تا $+0.5$ را دربرمی‌گیرد. تمایل زیاد برای تشکیل جرم با میزان 3.0^+ و تمایل به خورندگی با میزان 3.0^- نشان داده شده است.

برای شناخت بیشتر این آب شاخص رایزنر (SI) را می‌توان به روش زیر محاسبه کرد:

$$SI = 2(\text{pH}_S) - \text{pH} = 16.4 - 7.7 = -8.7$$

بر طبق جدول (8)، این منبع آب دارای ویژگی «بسیار خورندۀ» است. شاخص رایزنر از نظر کمی نشان می‌دهد که میزان خوردگی بیش از حد قابل پیش‌بینی کیفیتی توسط شاخص لانگلیر است.

در عمل شاخص رایزنر در مقایسه با شاخص لانگلیر «بدترین حالت» را ارائه می‌دهد (جدول 9 را ملاحظه کنید) و دامنه تغییرات آن از 3.0^+ (به شدت جرم‌ساز) تا 11^+ یا 12^+ (به شدت خورندۀ) است. بنابراین در آزمایش آب منبع اغلب، هر دو شاخص لانگلیر و رایزنر برای تعیین تمایل به تشکیل جرم و خوردگی به کار گرفته می‌شوند.

در سیستم‌های آبرسانی با کندانسور برج خنک‌کننده، مقدار ثابتی مواد معدنی بر اثر تبخیر آب خالص نظیر آب مقطراً انبوه شده و تشکیل دهنده آب همراه با انواع ناخالصی‌های معدنی است. بنابراین در این سیستم‌ها مقدار pH، تمرکز سختی، میزان کل جامدات محلول و قلیابی بودن به طور دائم تغییر می‌کنند و مطالعه و بررسی به کمک شاخص‌های لانگلیر و رایزنر را نسبتاً پیچیده می‌کنند و دقت روش را کاهش می‌دهند این شاخص‌ها، معیارهای مفیدی هستند اما سایر شاخص‌ها مانند کنترل‌های توازن جرم کل مواد معدنی ورودی آب منبع نیز باید به کار گرفته شوند؛ در مقایسه با کل مواد معدنی خروجی (حاصل از بلیل آب).

طی آن گونه‌های میکروبیولوژیکی با فلزات واکنش شیمیابی انجام می‌دهند. این خوردگی ناشی از ارگانیسم‌های میکروبیولوژیک یا تکثیر مواد آلی بر روی فلزات است. اشکال مختلفی از مکانیسم خوردگی میکروبیولوژیکی با عاملیت گونه‌های متنوع ارگانیسم‌های میکروبیولوژیکی وجود دارند.

علل اساسی خوردگی میکروبیولوژیکی در سیستم‌های تهويه با جريان آب برگشتی عبارتند از:

♦ باكتريهای وابسته به آهن^۱

♦ باكتريهای کاهنده سولفات^۲

♦ باكتريهای مولد اسيد^۳

♦ رسوبهای بیولوژيکی^۴

باكتريهای وابسته به آهن. گروه عمده‌ای از ارگانیسم‌ها مانند گالیونلا فروژین^۵ و فروباسيل اس بي^۶، که عامل مستقيم خوردگی آهن و فولاد در سیستم‌های با جريان آب برگشتی هستند را باكتريهای وابسته به آهن می‌نامند. اين دسته از ارگانیسم‌ها با هضم مستقيم آهن، عامل خوردگی فلزات آهن و فولاد هستند. بعضی از اين ارگانیسم‌ها در فرآيند سوختوساز حياتي خود، آهن مصرف می‌كنند و سپس پس‌ماند اين فرآيند به صورت ترشح مواد مخاطري محتوى هييدروكسيد هييدراته آهن دفع می‌شود. باكتريهای آهن عموما در كليه سیستم‌های خنک‌كننده به ويژه در مناطقی که جريان قوي نیست، وجود دارند.

باكتريهای کاهنده سولفات. مشخص‌ترین گروه از ارگانیسم‌های موجود در فرآيند خوردگي بیولوژيکي، باكتريهای کاهنده سولفات است. اين گروه از ارگانیسم‌ها اصولا به سه دسته تقسيم می‌شوند: ارگانیسم‌های دى‌سولفوفوبرو^۷، دى‌سولفوماكولوم^۸، دى‌سولفوموناس^۹، که همگي آن‌ها به اشكال مختلف در فرآيند سوختوساز حياتي

1. Iron-related Bacteria (IRB)

2. Sulfate-reducing Bacteria (SRB)

3. Acid-producing Bacteria (APB)

4. Biological Deposits (BD)

.5 *Gallionella Ferrugine*

6. *Ferrobacillus sp.*

7. *Desulfovibrio*

8. *Desulfotomaculum*

9. *Desulfomonas*

جرم‌های دیگ

تشکیل جرم در دیگ‌ها به طور مستقیم ناشی از تهنشین شدن کلسیم، منیزیم، آهن و مواد معدنی سیلیکا موجود در آب منبع تغذیه دیگ هستند. با از بین بردن بخشی از مواد تشکیل‌دهنده جرم‌ها قبل از ورود آب به دیگ به وسیله تجهیزات سختی‌گیر خارجی یا در درون دیگ با روش‌های مربوط به آب داخل دیگ می‌توان از تشکیل جرم‌ها جلوگیری کرد.

یکی از مشکل‌سازترین رسوب‌هایی که معمولاً برای پاک‌سازی آب در دیگ‌های بخار در نظر گرفته می‌شود رسوب‌های آهن و ترکیبات آهن و کلسیم یا فسفات هستند. این گل‌ولای رسوبی لزج و چسبناک بر اثر میزان بیش از حد آهن وارد شده به دیگ، همراه با آب ورودی است. آهن به شکل اکسید و یا محصولات خورنده کربنات آن وجود دارد. این مواد از محصولات خوردگی بخش‌های قبل از دیگ نظیر خطوط بخار و یا چگالیده، گیرنده‌های چگالیده، هوایکرها و خطوط ورودی دیگ، تولید می‌شوند.

به منظور جلوگیری از ایجاد جرم باید برنامه‌ریزی دقیقی در فرآیند پاک‌سازی آب برای اجتناب از معضل تولید گل‌ولای تهنشین انجام شود.

جرم‌های چگالیده

در سیستم‌های آبی کندانسوردار و برج خنک‌کننده با گردش آب در کاربردهای تهویه و چیلرهای سردکننده، جرم‌ها به طور مستقیم ناشی از تهنشین شدن کربنات، سولفات کلسیم یا مواد معدنی سیلیکا و متراکم شدن بیش از حد آن‌ها است به طوری که حلالیت یا pH اشباع شدن بیش از حد مجاز و مواد معدنی از محلول خارج می‌شود. جرم‌ها در این تجهیزات ممکن است محتوی اجسام خارجی نظیر محصولات خوردگی، مواد آلی و گل‌ولای نیز باشند. این‌گونه مواد به جای رسوب، جرم نامیده می‌شوند. بنابراین، فرآیند آماده‌سازی آب برای جلوگیری از تشکیل رسوب‌های معدنی باید شامل رقیق کردن آب گردشی در سیستم به منظور پیش‌گیری از متمرکز شدن مواد معدنی به حد اشباع، کنترل pH برای اجتناب از رسیدن مقدار pH به میزان pH اشباع شدن کربنات کلسیم و فرآیندهای شیمیایی برای ممانعت و کنترل تشکیل کریستال‌های رسوبی باشد.



تصویر(22): رسوب‌های درون لوله و محصولات خورندگی آهن

خود، گوگرد مصرف می‌کنند. کلیه باکتری‌ها بی‌هوایی^۱ هستند (یعنی بدون اکسیژن حیات دارند). عمده‌ترین ارگانیسم از این انواع، دی‌سولفوبیبرو است که در کلیه سیستم‌های خنک‌کننده به ویژه در مناطقی که روغن و یا گل‌ولای راکد شده، وجود دارد.

باکتری‌های مولد اسید. دسته دیگری از باکتری‌ها که عامل خوردگی بیولوژیکی هستند باکتری‌های مولد اسید هستند. انواع زیادی از این نوع باکتری‌ها وجود دارند که عمده‌ترین آن‌ها باکتری‌های تشکیل‌دهنده لای تهنشین مانند سودوموناس^۲، آئروباکتر^۳ و باسیلوس^۴ هستند و طی فرآیند سوخت‌وساز حیاتی خود، اسیدهای آلی مختلفی ترشح می‌کنند. اسیدهای آلی مانند اسیدفرمیک، اسیداستیک و اسیداگزالیک در گل‌ولای محتوى باکتری‌های مولد اسید، شناسایی شده‌اند. این اسیدهای آلی در مناطقی شرایط pH پایین را ایجاد نموده که منجر به خوردگی در این مناطق می‌شود.

یکی از باکتری‌های مولد اسید که عامل ایجاد خوردگی بیولوژیکی است، تیوباسیلوس^۵ است. این ارگانیسم، ترکیبات گوگرد را اکسید کرده و اسید‌سولفوریک تولید می‌کند

1. *Anaerobic*

2. *Pseudomonas*

3. *Aerobacter*

4. *Bacillus*

5. *Thiobacillus*

رسوب‌ها

علاوه بر جرم‌ها، سایر مواد تهشین نظیر گل، آشغال، پسماند، مواد خارجی و ارگانیسم‌های آلی، مشکل عادی و مداوم در سیستم‌های با آب برگشتی است. تهشین شدن مواد خارجی سبب باریک شدن مجرای عبور می‌شود و در انتقال حرارتی و جرم‌آلود کردن سطوح درگیر در فرآیند انتقال تاثیر می‌گذارد و به تبع آن کاربری تجهیزات را کاهش داده و سبب مصرف بیش از حد انرژی در این تجهیزات می‌شود.

گل‌ولای، آشغال و گل‌رس

سیستم‌های برج خنک‌کننده با گردش آب در مدار باز بیش از سایر سیستم‌ها در معرض گل‌ولای، آشغال و تهشین شدن مواد هستند. برج خنک‌کننده یک دستگاه شست‌وشوی طبیعی هوا است که در آن آب بر روی سطوحی افشارنده شده و هوایی که به طور طبیعی و یا توسط یک فن در آن دمیده شده است، به وسیله آب برج شسته می‌شود.

وابسته به محل استقرار برج، هر نوع غبار هوایی و پسماندهای مختلف در سیستم آب گردشی باقی می‌ماند. این پسماندها از ذرات ریز تا گرده گیاهی، جلبک، عناصر گیاهی، برگ‌ها، شاخه درخت، علف، خاک و سنگریزه تشکیل می‌شوند. ذرات ریز غبار و آشغال‌های ذره‌ای تمایل به انبوه و کلوخه شدن در سیستم کندانسور آب به ویژه در مناطقی که گردش آب کم سرعت است، دارند. در سطوح مجاری انتقال حرارتی، غبار و آشغال به شکل گل‌ولای وحشتناک تهشین و متراکم می‌شوند که تاثیر بسیار محربی در کارآیی عملیاتی دارند.

رسوب گل‌ولای بسیار رایج است و از ذرات هوایی، محصولات خوردگی، پوسته و مواد آلی تشکیل می‌شوند. در موارد بسیار نادر می‌توان جرم‌ها را یک ترکیب تنها مشاهده کرد زیرا معمولاً جرم‌ها ترکیبی مخلوط از مواد مذکور است.

در سیستم‌های آبی با گردش بسته، جرم‌ها متشکل از ترکیب‌هایی با تنوع کمتر نسبت به سیستم‌های مدار باز هستند، اما تشکل آن‌ها نیز مشکل جدی است. پسماندها در سیستم‌های بسته معمولاً ناشی از ورود آشغال و خاک‌رس همراه با آب ورودی و یا تهشین مواد ساختمانی هستند. یک شکستگی در مسیر خط آب

و این اسید خاصیت خورندگی شدیدی داشته و در نقاط زیرلایه رسوب‌ها خوردگی الکتروشیمیابی ایجاد می‌کند که منجر به سوراخ‌های بسیار ریز در خط لوله می‌شود. رسوب‌های بیولوژیکی. ارگانیسم‌های تکثیرشونده دیگری نظیر جلبک‌ها، مخمرها، کپک‌ها و قارچ‌ها نیز می‌توانند همراه با گل‌ولای مملو از باکتری، خوردگی بیولوژیکی ایجاد کنند. حتاً در موقعی که یکی از ارگانیسم‌های خورندگی متعلق به سه گروه بالا وجود ندارند، رسوب‌های بیولوژیکی با ایجاد سلول‌های غلظت در زیر رسوب‌ها می‌توانند محیط مناسبی برای ایجاد خوردگی به وجود آورند. این محیط پرورش با ترکیبات پیچیده که می‌تواند ناشی از انواع رسوب‌ها باشد، مولد قابلیت خورندگی بر روی سطوح فلزهای مجاور است.

برای کنترل خوردگی بیولوژیکی، شناخت فرآیندهای مسبب آن و یافتن راههای جلوگیری براساس شناسایی‌ها حائز اهمیت است. واضح است که یک برنامه پیگیری ضروری در برگیرنده روش‌های کنترل کلیه انواع فرآیندهای رشد و تکثیر بیولوژیکی در سیستم‌های همراه با آب برگشتی است.

جرائم و گل‌ولای

عمده‌ترین و پرهزینه‌ترین مشکل در تجهیزات تهویه، تشکل رسوب‌های جرمی است. هزینه بالای تشکل رسوب‌های جرمی ناشی از تداخل رسوب جرمی مواد معدنی آب با فرآیند انتقال حرارتی است.

رسوب‌های معدنی و رسوب‌های درون لوله

اکنون باید مابین رسوب‌های معدنی و رسوب‌های درون لوله تفاوت قائل شویم. رسوب‌های معدنی حاصل اشباع شدن بیش از حد و تهشیش شدن مواد معدنی است که به طور طبیعی در آب یعنی محیط واسطه انتقال حرارتی وجود دارند.

رسوب‌های درون لوله (تصویر 23) یا رسوب‌های آسیابی اصطلاحی است که در مورد تشکیل پوشش اکسید آهن طبیعی یا محصولات خورندگی آهن در درون لوله به کار برده می‌شود (به ویژه پروژه‌های ساختمانی که لوله‌ها در کارگاه با عناصر دیگر تماس دارند). این رسوب‌ها به صورت پرک و یا پوسته ظاهر می‌شوند. جرم‌های معدنی در دیگ‌های بخار، مبدل‌های گرمابی و کندانسورها دارای کربنات کلسیم که ترکیبی با حداقل حلالیت در آب است. سایر ترکیبات جرم‌ها به ترتیب فراوانی

زیرزمینی می‌تواند مولد آشغال، ماسه و مواد آلی باشد که به درون سیستم نفوذ می‌کنند و منبع تولید جرم می‌شوند.

آب ورودی به سیستم که تیرگی غیرعادی و یا دارای مواد همراه با جریان است، معمولاً در منبع و قبل از ورود به سیستم به روش لخته کردن، پاک‌سازی و یا فیلتراسیون آماده‌سازی می‌شود تا قابل استفاده شود. بنابراین مواد همراه با آب و مولد تیرگی رنگ در آب ورودی به سیستم‌های تهویه معمول نیستند زیرا آب سیستم‌های تهویه از منابع محلی و یا شهری تامین می‌گردد و اداره‌ای مسؤول تامین آب شفاف و قابل آشامیدن است.

اما آب چاهها، برکه‌ها و یا سایر منابع غیرعمومی نیز به منظور استفاده در سیستم‌های آبی با گردش مجدد و دیگرها در دسترس هستند که باید این آب‌ها به دقت از نظر رنگ و مواد همراه مورد آزمایش قرار بگیرند. مواد تهنه‌شین شده که با شفافیت آب اندازه‌گیری می‌شوند، باید بیش از مقدار حداقل تیرگی رنگ تعیین شده توسط آژانس حفاظت محیط زیست برای آب آشامیدن نباشد. اگر رنگ آب منبع بیش از حد مجاز تیره باشد، در این صورت یکی از فرآیندهای شفاف‌سازی نظیر لخته کردن، تثبیت، تهنه‌شین‌ها، فیلتراسیون و یا تمیزکننده‌های دقیق به منظور دفع مواد همراه با آب و کاهش تیرگی آب به کمتر از حد مجاز باید اعمال شوند.

مشکل، معمولاً با گل آلود شدن موقت و یا تصادفی آب مورد استفاده ناشی از مواد تهنه‌شین شده مشاهده می‌شود. در مواقعي که اداره آبرسانی محلی اقدام به تمیزکاری بخشی از سیستم توزیع می‌کند و یا منابع جدید نصب می‌کند و یا زمانی که به دلیل اجرای عملیات ساختمانی و به طور موقت منابع مجاور قطع می‌شوند این وضعیت مشاهده می‌شود. این نوع فعالیت‌ها سبب ایجاد اشکال در منابع آبرسانی و نفوذ مواد تهنه‌شین شده از لوله‌های مجاور و یا لوله‌کشی موقت به درون منبع آب می‌شود. این تهنه‌شین اکثرا شامل محصولات خوردگی اکسید آهن، آشغال، گل رس و یا لای هستند.

گل سیاه و جرم حاصل از نورد

یکی از رایج‌ترین و مشکل‌سازترین جرم‌ها در سیستم‌های بسته گل سیاه ایجاد



تصویر(23):رسوبات معدنی آب

ubarند از سولفات‌کلسیم، کربنات منیزیم، آهن، سیلیکا و منگنز؛ در بعضی از جرم‌ها هیدروکسید‌کلسیم، منیزیم و آهن همراه با فسفات این عناصر وجود دارند که فسفات‌ها و مواد قلیایی به عنوان بازدارنده خوردنگی و تشکیل جرم به کار برده می‌شوند. گلولای رسوبی فرم نرم‌تر جرم‌ها هستند و بر اثر واکنش بین مواد معدنی سخت با فسفات‌ها و مواد قلیایی یک ترکیب نرم و خمیرگونه تولید می‌کنند. در اکثر موارد، جرم‌ها دارای ترکیبات پیچیده‌ای از نمک‌های معدنی هستند زیرا جرم به مرور تشکیل شده و حاصل رسوب‌گذاری مواد مختلف به اشکال گوناگون هستند. علت عمدۀ ایجاد رسوب‌های ایجاد جرم، حلایت معکوس نمک‌های کلسیم و منیزیم در آب است. بسیاری از نمک‌ها و مواد قابل اتحال مانند نمک طعام و یا شکر در آب گرم بیش از آب سرد قابلیت حل شدن نشان می‌دهند. اما نمک‌های کلسیم و منیزیم قابلیت اتحال سریع‌تر و با مقادیر بیشتری در آب سرد نسبت به آب گرم دارند و این پدیده حلایت معکوس است. این مشخصه منحصر به فرد عامل عمدۀ مشکل ایجاد جرم‌های معدنی بر سطوح تجهیزات انتقال حرارتی در سیستم‌های تهویه است. با اطلاع از این ویژگی منحصر به فرد، علت تشکیل جرم‌های رسوبی معدنی در لوله‌های آبرگم، کندانسورها، دیگ‌ها و ... را در می‌یابیم، زیرا که در این‌گونه تجهیزات، گرمترین نقطه تماس با آب سطح درون لوله است.

در سیستم‌های چگالنده آبی که در آن‌ها از آب برگشتی برج خنک‌کننده یا آب تک مسیر استفاده می‌شود، دمای آب به مراتب کمتر از دمای سیستم‌های دیگ

شده از ذرات سیاه اکسید آهن آهن‌ربایی است. این گل سیاه، نه تنها بر روی سطوح تجهیزات انتقال گرما باقی می‌ماند بلکه در مجاری عبوری، دستگاه‌های گرم‌کننده، فن‌کوئل‌ها و کوئل‌های خنک‌کننده، گرم‌کن مجدد و گرماساز در دستگاه‌های تهویه، چسبیده و آن‌ها را مسدود می‌کند.

دیواره درونی لوله‌های سیاه آهنی که در سیستم لوله‌کشی واحدهای با آب برگشتی به کار برد می‌شوند، به طور طبیعی پوشش محافظ از جنس اکسید آهن دارد که به وسیله بازدارنده‌های روغنی از تماس مستقیم محفوظ نگه‌داشته می‌شوند تا در زمان ماندن در انبار و یا نصب از خوردگی لوله جلوگیری شود. این پوشش طبیعی اکسید آهن پوسته حاصل از نورد نامیده می‌شود، این اصطلاح را می‌توان در مورد هر نوع پوسته و یا براده موجود در درون لوله به کار برد. این پوشش حاصل از مواد در زمان ساخت تاسیسات به علت ضربه، برش، کشش و عملیات اصلاحی غیرضروری متأثر و تخریب می‌شود. پس از پایان فعالیت‌های تاسیساتی سیستم پراز آب شده و یا تحت فشار آب قرار می‌گیرد و این جریان آب سبب شسته شدن پوسته حاصل از نورد و سایر پسماندهای زمان ساخت می‌شود. هر چند که شسته شدن مقداری از ذرات بسیار ریز اکسید آهن آهن‌ربایی از روی سطوح آهنی ادامه می‌یابد و در بعضی موارد این فرآیند شسته شدن سال‌ها قبل از فروکش شدن استمرار دارد. چسبیده شدن براده‌های حاصل از نورد می‌تواند مشکل جدی ایجاد کند و در یک سیستم جدید با شستشو و هدایت جریان شدید آب همراه با مواد شوینده با کف کم، به درون لوله این پسماندها کاهش می‌یابند. حتا پس از شستشوی دقیق، کماکان دفع تدریجی جرم‌های حاصل از نورد مشاهده می‌شود.

رسوب‌های درون دیگ

در دیگ‌های بخار، جرم‌ها علاوه بر جرم‌های معدنی، دارای آلودگی‌های خارجی موجود در آب رها شده نیز هستند. این آلودگی‌ها شامل روغن، گل‌رس، آلودگی‌های ناشی از فرآیندها، پسماندهای ساختمانی در دیگ‌های تازه نصب شده و محصولات خوردگی آهن سیستم‌های بخار هستند. گل‌ولای و یا مواد چسبنده عموماً ناشی از مواد معدنی پوسته شده در ترکیب با اکسید آهن حاصل از خوردگی و مواد شیمیابی، باقی‌مانده از تمیزکاری هستند. این جرم‌ها با استفاده از مواد

بخار یا آب‌گرمکن است. در این دماهای پایین بیشترین مقدار جرم‌های مواد معدنی تشکیل شده، در محلول باقی می‌مانند، اما فرآیند رسوب‌گذاری تمایل به ایجاد رسوب کربنات‌کلسیم در سطوح درگیر در روند انتقال حرارتی است زیرا در روی این سطوح دما افزایش کمی می‌یابد. عوامل اساسی ایجاد این گرایش در فرآیند رسوب‌گذاری عبارتند از:

- ♦ قلیایی بودن
- ♦ سختی
- ♦ pH
- ♦ مقدار کلی مواد حل شده
- ♦ دما

با بیشتر شدن میزان قلیایی بودن آب محتوی ذرات، مقدار بی‌کربنات یا کربنات افزایش می‌یابد. این مواد معدنی با اشباع شدن تدریجی، تمایل به خروج از دورن محلول دارند.

به همین ترتیب با بیشتر شدن تراکم سختی آب، تمایل نمک‌های کلسیم و سدیم به خروج از محلول افزایش می‌یابد. میزان pH منعکس‌کننده نسبت قلیایی بودن کربنات به بی‌کربنات است. هرچه pH بالاتر باشد، میزان کربنات آب بیشتر است. از اینجایی که کربنات‌کلسیم و منیزیم قابلیت اتحال کمتری نسبت به بی‌کربنات دارند، بنابراین با افزایش pH و مقدار کربنات، تمایل به رسوب شدن دارند. تاثیر این تمایل ایجاد کلیه مواد سخت محلول و دما نیز است. هرچه مواد سخت افزوده شوند، تمایل به تشکیل رسوب و قابلیت اتحال کمتر نیز افزایش می‌یابد و هرچه دما افزایش یابد، تمایل رسوب‌گذاری نمک‌های کلسیم و منیزیم به علت ویژگی اتحال معکوس افزایش می‌یابد.

شاخص اشباع لانگلیر^۱

شاخص لانگلیر نماد اشباع شدن کربنات‌کلسیم است که در تعیین تمایل آب به تشکیل جرم و خوردگی بسیار کارساز است. این شاخص بر اساس نظریه‌ای که طبق آن، آب متمایل به تشکیل جرم و رسوب‌گذاری یک لایه پوششی ضدخوردگی

تجزیه‌کننده پلیمری که از چسبیدن آن‌ها به سطوح محیط انتقال حرارت جلوگیری می‌کنند، کنترل می‌شوند. در دیگ‌های حرارتی، رایج‌ترین جرم‌ها علاوه بر پسماند به شکل گل‌ولای، روغن و گل‌رسی هستند. روغن از طریق نشت روان‌کننده‌های روغنی، پیش‌گرم‌کن‌هایی که سوخت روغنی دارند یا کوئل‌های حرارتی بخار در مخازن نگهداری سوخت روغنی، وارد دیگ می‌شود. وقتی که روغن وارد دیگ شد بر اثر فرآیند تعلیق در آب قلیایی دیگ، جوشان شده و کف ایجاد می‌کند. جوشان شدن حاصل تلاطم سطحی آب است که این پدیده می‌تواند با توجه به ایجاد اختلاف سطح گسترده دیگ را خاموش کند. علاوه بر این روغن درون لوله‌های گرم دیگ کربن آزاد می‌کند و این فرآیند کربن‌سازی نه تنها خوردگی شدید سلول تراکمی ایجاد می‌کند بلکه به دلیل افزایش بیش از حد گرما بر اثر لایه رسوبی کربن عایق‌ساز سبب تخرب لوله می‌شود. هرگاه روغن وارد دیگ شد، برای جلوگیری از مشکلات، باید فوراً از محیط دیگ دفع شود. عمل دفع روغن معمولاً با دماندن هوا با جریان شدید در دیگ و یا اغلب با «جوشاندن» آب دیگ همراه با یک شوینده قلیایی انجام می‌شود.

گل‌رس به مراتب کمتر در دیگ‌ها به صورت رسوب ظاهر می‌شود، اما این رسوب نیز بر روی سطوح درونی لوله پسماندهای عایق‌ساز تشکیل می‌دهد. گل‌رس از طریق آب ورودی که گل‌آلود و یا به علت از دیاد ماده آلوم¹ آلوده شده است وارد سیستم می‌شود. آلوم به عنوان لخته‌کننده آلاینده‌ها در فرآیند شفاف‌سازی استفاده می‌شود. گل‌رس را می‌توان با مواد تجزیه‌کننده در فرآیند آماده‌سازی درون دیگ متلاشی کرد ولیکن آب ورودی باید قبل از استفاده به عنوان آب رها شده از درون دیگ، تمیز و بدون هرگونه تغییر رنگ باشد. در مواقعی که گل‌آلودگی و گل‌رس یک مشکل مقاوم هستند؛ فیلتراسیون آب رها شده از دیگ باید انجام شود.

پسماندهای ساختمانی

کلیه سیستم‌های نور طول مدت ساخت تاسیسات، توسط مواد خارجی مختلف آلوده و جرم‌دار می‌شوند. در لوله‌کشی سیستم‌های تهویه و مبدل‌های حرارتی مشاهده یکی از مواردی نظیر: براده‌های جوشکاری، مهره‌های زاید، کیسه‌های کاغذی،

از کربنات‌کلسیم گرایش دارد و به تبع آن خوردنگی کمتری دارد، پایه‌ریزی شده است. در نتیجه، آبی که تمایل به تشکیل جرم ندارد، حل‌کننده پوشش محافظ است و خاصیت خورندگی آن بیشتر است. البته این نظریه کاملاً صادق نیست زیرا که عوامل دیگری در خورندگی دخالت دارند، اما به عنوان یک معیار ساده، این نظریه به وجود آورنده شاخص باارزشی در تمایل آب به تاثیرگذاری در فرآیندهای خوردنگی و یا ایجاد جرم‌ها است.

در دهه 1950، اسکل نوردل برای تعیین فوری مقدار pH اشباع شدن کربنات‌کلسیم و شاخص لانگلیر، پنج متغیر پایه‌ای را در یک نمودار ساده مرتب کرد. در این روش شاخص بر پایه pH اشباع شدن کربنات‌کلسیم است.

مقدار pH اشباع شدن (یا «pH اشباع»، pH_s) کربنات‌کلسیم، عبارت است از مقدار نظری pH متعلق به هر آب محتوی ذرات شناور در صورتی که آن آب از کربنات‌کلسیم اشباع شده باشد. مثلاً، در مواردی pH آب گردشی در سیستم‌ها تحت شرایط خاصی به میزان pH اشباع شدن کربنات‌کلسیم نزدیک و یا حتاً از آن میزان تجاوز می‌کند و در این صورت تمایل آب به تشکیل جرم‌های کربنات‌کلسیم است. اگر pH واقعی کمتر از pH اشباع شدن کربنات‌کلسیم باشد، در این صورت تمایل آب به حل کردن مواد معدنی است که این آب خورنده است. بنابراین شاخص لانگلیر در آب گردشی با مقایسه pH واقعی با pH اشباع شدن کربنات‌کلسیم در همان شرایط خاص تعیین می‌شود.

برای تعیین شاخص لانگلیر مقدار pH واقعی آب باید اندازه‌گیری شود و pH اشباع شدن کربنات‌کلسیم نیز با معیار قلیایی بودن کلی، سختی، میزان کلی جامدات حل شده و دمای آب محاسبه شود. یک روش محاسبه سریع pH در مقدار آب سرد چاهها و یا منابع آب شهری مورد استفاده در سیستم‌های خنک‌کننده یک طرفه و یا خدمات آبرسانی شهری استفاده می‌شود. دلیل این که این محاسبه سریع معتبر است این است که این نوع منابع آب معمولاً دارای دمای ثابت [دمای بین 49 تا 57 درجه فارنهایت (10 تا 14 سانتی‌گراد)] و میزان کلی اجسام جامد حل شده (50 تا 300 میلی‌گرم در لیتر) ثابت هستند. اگر منبع آب دارای این مشخصات باشد، رابطه زیر می‌تواند به کار برد شود (جدول 27 را ملاحظه کنید).

$$pH_s @ 50^{\circ}\text{F} (10^{\circ}\text{C}) = 11.7 - (C + D)$$

پوشش‌های پلاستیکی، تشتک نوشابه، نوارهای مختلف، پسماند پوشش عایق‌کاری، شیشه و سایر پسماندهای ساختمانی دور از انتظار نیست.

علاوه بر پاکسازی پسماندهای ساختمانی از درون سیستم‌های تهویه قبل از راه‌اندازی آن باید سطوح فلزی نیز از روغن و جرم‌های حاصل از نورد که به طور طبیعی درون لوله بهجا مانده‌اند، کاملاً پاکسازی شوند. همان‌طور که نشان داده شده، روغن و جرم‌های حاصل از نورد می‌توانند شدیداً جرم‌ساز باشند و مجاري سیستم‌های بسته را مسدود کنند و اگر روغن در هنگام احتراق دیگ، کربن آزاد کند موجب تخریب لوله می‌شود. هر سیستم آبی با آب برگشتی که تازه نصب شود باید با شوینده‌ها و مواد تجزیه‌کننده کاملاً تمیزکاری شود یا مشابه دیگ‌های بخار با ترکیبات قلیایی و حرارتی بیشتر برای اولین بار راه‌اندازی شود. این تمیزکاری اولیه اکثر جرم‌ها را از بین برده و از مشکلات عملیاتی جدی جلوگیری می‌کند.

رشد عوامل آلی

رشد عوامل آلی در تجهیزات تهویه معمولاً در سیستم‌های آبی مدار باز نظری بر جهای خنک‌کننده، هوашوها و کوئل‌های افشارهای مشاهده می‌شود. در بعضی مواقع سیستم‌های بسته نیز به علت آلودگی‌های خارجی مبتلا به گل‌ولای ارگانیک می‌شوند. سیستم‌های مدار باز به طور مداوم در معرض هوای جوی و محیط اطراف هستند که این هوا نه تنها دارای گردوغبار است، بلکه محتوى مقادیر بی‌شماری ارگانیسم‌های میکروسکوپی و باکتری است. آب برج‌های خنک‌کننده به علت این که در معرض نور خورشید هستند در دمای بسیار مناسبی قرار دارد و علاوه بر این دارای گل‌ولای به عنوان محیط واسطه رشد و مواد تغذیه‌ای آلی و غیرآلی است و بنابراین محیط مناسبی برای رشد ارگانیسم‌های بیولوژیکی است.

به همین ترتیب، در تجهیزات شستشوکننده هوا و کوئل‌های افشارهای که گردوغبار را از جو می‌شویند. ارگانیسم‌های میکروسکوپی تجمع پیدا می‌کنند و به علت وجود شرایط مناسب در آب برگشتی این سیستم‌ها، تمایل به رشد در درون آن‌ها را دارند. ارگانیسم‌هایی که در این‌گونه سیستم‌ها رشد می‌کنند همواره دارای جلبک، قارچ و گل‌ولای باکتریایی هستند.

روش مشابه، در مورد منابع آب گرم با دمای 140°F (60°C)، رابطه محاسبه سریع اشباع شدن کربنات‌کلسیم به ترتیب زیر انجام می‌شود:

$$\text{pH}_S @ 140^{\circ}\text{F} (60^{\circ}\text{C}) = 10.8 - (C + D)$$

پس از محاسبه pH اشباع شدن کربنات‌کلسیم، شاخص لانگلیر از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$\text{LSI} = \text{pH} - \text{pH}_S$$

که در این رابطه pH عبارت است از pH واقعی اندازه‌گیری شده و pH_S نیز pH اشباع شدن کربنات‌کلسیم است که مطابق جدول (7) محاسبه می‌شود. تصویر (24) را نیز می‌توان برای تعیین pH اشباع شدن به کار برد.

جدول (7): داده‌های مربوط به محاسبه pH اشباع شدن کربنات‌کلسیم

A		C		D	
مقدار کل جامدات (mg/L)	A	سختی کلسیم (mg/L of CaCO_3)	C	قلیایی بودن مواد معدنی (mg/L of CaCO_3)	D
50–300	0.1	10–11	0.6	10–11	1.0
400–1000	0.2	12–13	0.7	12–13	1.1
<i>B</i>		14–17	0.8	14–17	1.2
		18–22	0.9	18–22	1.3
		23–27	1.0	23–27	1.4
		28–34	1.1	28–35	1.5
<i>F</i>					
32–34	(0–1.1)	2.6	35–43	36–44	1.6
36–42	(2.2–5.5)	2.5	44–55	45–55	1.7
44–48	(6.7–8.9)	2.4	56–69	56–69	1.8
50–56	(10.0–13.3)	2.3	70–87	70–88	1.9
58–62	(14.4–16.7)	2.2	88–110	89–110	2.0
64–70	(17.8–21.1)	2.1	111–138	111–139	2.1
72–80	(22.2–26.7)	2.0	139–174	140–176	2.2
82–88	(27.8–31.1)	1.9	175–220	177–220	2.3
90–98	(27.8–31.1)	1.8	230–270	230–270	2.4
100–110	(37.8–43.3)	1.7	280–340	280–350	2.5
112–122	(44.4–50.0)	1.6	350–430	360–440	2.6
124–132	(51.1–55.6)	1.5	440–550	450–550	2.7
134–142	(56.7–63.3)	1.4	560–690	560–690	2.8
148–160	(64.4–71.1)	1.3	700–870	700–880	2.9
162–178	(72.2–81.1)	1.2	800–1000	890–1000	3.0

$$\text{pH}_S = (9.3 + A + B) - (C + D)$$

$$\text{SI} = \text{pH} - \text{pH}_S$$

اگر شاخص صفر باشد، آب از نظر شیمیایی متعادل است.

اگر شاخص مثبت باشد، آب تمایل به تشکیل جرم دارد.

اگر شاخص منفی باشد، آب تمایل به خورندگی دارد.

جلبک‌ها

جلبک‌ها ابتدایی‌ترین شکل حیات گیاهی هستند و همراه با قارچ‌ها تشکیل دهنده گیاهان پایه‌ای هستند. جلبک‌ها در سراسر جهان گستردۀ هستند و شکل‌های مختلف و متنوعی دارند. گونه‌هایی که در سیستم‌های آب گردشی مدار بازیافت می‌شوند عبارتند از: جلبک سبز آبی، جلبک سبز و جلبک قهوه‌ای و در این بین جلبک سبز آبی ساده‌ترین شکل گیاهان سبز است که فقط از یک سلول تشکیل شده و بنابراین تک‌یاخته نامیده می‌شود. جلبک‌های سبز فراوان‌ترین گونه جلبکی است که می‌تواند تک‌یاخته و یا چندسلولی باشند. جلبک‌های قهوه‌ای نیز متعدد هستند و ارگانیسم‌های گیاهی چندسلولی هستند.

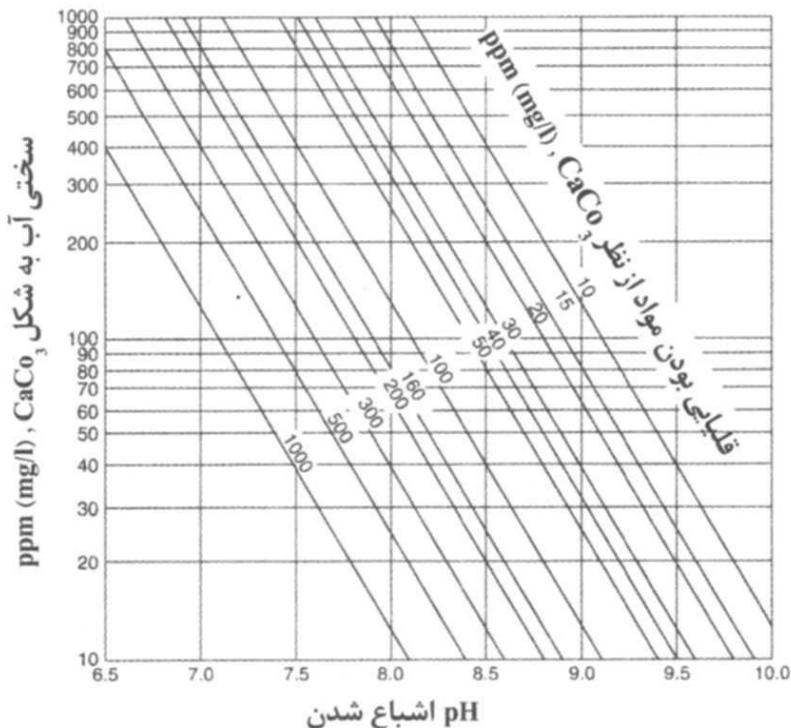
توده‌های متراکم جلبک‌ها می‌توانند با مسدود کردن مجرای هوا در برج خنک‌کننده، بستن مجرای صفحه‌ها و لوله‌های توزیع آب و تشدید فرسایش از طریق خوردنگی سلول تراکمی و الکتروشیمیایی، مشکلات جدی ایجاد نمایند. جلبک‌ها را باید قبل از تمیزکاری به روش‌های فیزیکی از بین برد، زیرا توده جلبکی منبعی از مواد لازم برای تولید مجدد هستند و مواد شیمیایی دفع‌کننده آن‌ها فقط بر سطح روی توده تاثیر می‌گذارند و ارگانیسم‌های زنده در درون توده باقی مانده و مجدداً رشد خواهند کرد.

قارچ‌ها

قارچ‌های نیز گیاهان پایه و مشابه جلبک‌های تک‌یاخته و چندسلولی هستند. قارچ‌ها برای رشد و تکثیر به هوا، آب و کربوهیدرات‌ها نیاز دارند. منبع تامین کربوهیدرات می‌تواند هر ماده کربن‌داری باشد. قارچ‌ها و جلبک‌ها می‌توانند در کنار یکدیگر رشد کنند، بدین ترتیب که جلبک‌هایی که درون توده قارچ‌ها زندگی می‌کنند از یک محیط مرطوب و محافظت شده بهره‌مند می‌شوند و قارچ‌ها نیز کربوهیدرات مورد نیاز خود را از جلبک‌ها تامین می‌کنند.

باکتری‌ها

باکتری‌ها، ارگانیسم‌های زنده میکروسکوپی تک‌یاخته هستند که هر دو رفتار گیاهی و حیوانی را از خود نشان می‌دهند. این موجودات به شکل میله‌ای، مارپیچ و



تصویر (24): مقدار pH اشباع شدن آب در 49 تا 57 درجه فارنهایت (10 تا 14 درجه سانتی‌گراد) و مقدار کل جامدات محلول در آب 50 تا 300 میلی‌گرم در لیتر

شاخص مثبت، میزان تمایل به ایجاد جرم‌ها را نشان می‌دهد و شاخص منفی گرایش به خوردگی را مشخص می‌کند. راهنمای پیش‌بینی تمایل‌های دوگانه آب با استفاده از شاخص لانگلیر در جدول (8) آورده شده است.

جدول (8): پیش‌بینی تمایل آب با استفاده از شاخص لانگلیر

تمایل آب	شاخص اشباع شدن لانگلیر
تشکیل دهنده جرم و عملای غیرخورنده	2.0
کمی خورنده و تشکیل دهنده جرم	0.5
متداول، اما امکان خورنگی الکتروشیمیایی وجود دارد	0.0
کمی خورنده و بدون خاصیت تشکیل جرم	-0.5
به شدت خورنده	-2.0

کروی مشاهده می‌شوند. چندین هزارگونه باکتری وجود دارند و کلیه سیستم‌های آبی دارای مقداری باکتری هستند. باکتری‌های مشکل‌ساز شامل باکتری‌های گل‌ولای، باکتری‌های آهن، باکتری‌های کاہنده سولفات و باکتری‌های بیماری‌زا هستند. کنترل باکتری‌ها با برنامه‌هایی که در آن‌ها از مواد دفع آفات استفاده می‌شود، اعمال می‌شود و به این فرآیندها دفع میکروبیولوژیکی¹ و یا به اختصار دفع بیولوژیکی² می‌گویند. انواع مختلف مواد دفع‌کننده وجود دارند که بعضی از آن‌ها اکسیداسیون ایجاد می‌کنند و برخی دیگر بدون ایجاد اکسیداسیون هستند.

باکتری‌های بیماری‌زا

باکتری‌های پاتوژنیک توانایی ایجاد بیماری دارند. آب برج خنک‌کننده، شرایط بسیار مناسبی برای رشد باکتری و سایر ارگانیسم‌ها را دارد و می‌تواند رشد باکتری‌های بیماری‌زا بی رحمتی را که منجر به بیماری‌های عفونی و حتا مرگ احتمالی (مثلاً مواردی که ارگانیسم‌های لژیونلا رشد کرده و سبب بیماری‌های لژیونر می‌شود) است، تسريع نماید. در هر نقطه‌ای در سراسر جهان که در آن شرایط مناسب رشد (دما، pH و ...) فراهم باشد و تمیزکاری و نگهداری سیستم‌ها ضعیف باشند، رشد قابل توجه باکتری‌های بیماری‌زا در آب‌های برج خنک‌کننده مشاهده شده است. بنابراین، نگهداری این سیستم‌ها در شرایط تمیز و بدون آلاینده‌های باکتریایی به منظور جلوگیری از رشد باکتری‌های بیماری‌زا به اندازه جلوگیری از رشد باکتری‌های گل‌ولای و باکتری‌های خورنده حائز اهمیت است. کلیه سیستم‌های خنک‌کننده باید تخلیه شده، تمیزکاری شوند و حداقل دوبار در طول 12 ماه بدون توجه به این که سیستم فقط تابستان و یا در تمام طول سال فعال است، باید ضد عفونی شوند. علاوه بر نگهداری مناسب، باید برنامه بازبینی اجرا شود و کلیه سوابق بررسی و بازبینی بایگانی شوند. در اغلب اوقات یک برنامه پیشگیری‌کننده اولیه قبل از شروع به کار برج تازه نصب شده یا برج زمستانی و یا در مواردی که طراحی و یا موقعیت استقرار سیستم مورد تردید است (مثلاً دفع ضعیف مواد خروجی یا برج در موقعیت بسیار نزدیک به سیستم مکننده هوای تازه ورودی قرار دارد) الزامی است.

1. *Microbiocide*

2. *Biocide*

شاخص رایزner (شاخص ثبات رایزner)^۱

معیار مفید دیگری برای تعیین تمایل دوگانه آب، شاخص رایزner است. این شاخص نیز بر اساس pH اشباع شدن کربنات کلسیم محاسبه می‌شود و علاوه بر تعیین گرایش فن‌آوری آب معیار دقیقی در تشخیص گستردگی تشکیل جرم‌ها و خوردگی نیز است. مقدار آن از در نظر گرفتن شاخص لانگلیر در مشاهده شرایط واقعی آب خنک‌کننده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\text{Ryznar Index} = 2(\text{pH}_s) - \text{pH}$$

که در این رابطه، pH_s عبارت است از pH اشباع شدن کربنات کلسیم که طبق جدول (7) محاسبه می‌شود و pH معادل pH واقعی اندازه‌گیری شده آب است. جدول (9) را می‌توان برای تعیین تمایل و حدود خوردگی یا تشکیل جرم‌ها آب به کمک شاخص رایزner به کار برد.

جدول (9): پیش‌بینی تمایل رفتاری آب به وسیله شاخص رایزner

شاخص ثبات رایزner	تمایل آب
4.0–5.0	جرم‌سازی شدید
5.0–6.0	جرم‌سازی سبک
6.0–7.0	جرم یا خوردگی کم
7.0–7.5	خوردگی قابل توجه
7.5–9.0	خوردگی شدید
9.0+	خوردگی غیرقابل تحمل

منبع: کتاب راهنمای طراحی سیستم شرکت کریر بخش ۵. «تامین آب»

اکنون نحوه استفاده از این شاخص‌ها را در مورد منبع آب خاصی بررسی می‌کنیم. تصویر (8) نمایش دهنده گزارش تجزیه منبع تامین آب شهر واشنگتن است. شاخص اشباع لانگلیر در دمای ۵۰ °F (10 °C) با استفاده از داده‌های تحلیلی نشان داده شده در جدول (7) به شرح زیر تعیین می‌شود:

$$\begin{aligned} \text{pH}_s &= 9.3 + A + B - (C + D) \\ &= 9.3 + 0.1 + 2.3 - (1.8 + 2.0) \\ &= 8.2 \end{aligned}$$

بیماری لژیونر^۱ و تب پونتیاک^۲

این بیماری‌ها هر دو از باکتری لژیونلوسیس^۳ ناشی می‌شوند و افراد حساس را با تنفس سروتاپ‌ها (گونه‌های مختلف) یا باسیل‌های گرام منفی^۴، لژیونلا نموفیلا^۵ و سایر تیره‌ها و گونه‌ها مبتلا می‌کند. نحوه انتقال عumولاً از طریق قطره‌های آب محتوی ارگانیسم است.

سیستم‌های خنک‌کننده دارای برج‌های روباز با آب برگشتی و یا کندانسورهای تبخیری و مجهرز به سایر تجهیزاتی که توانایی تولید آثروسیل‌های آبی را دارند و به شیوه‌ای مناسب طراحی، تمیزکاری و یا نگهداری نشده‌اند، به آسانی شرایط مناسب رشد و انتقال را فراهم می‌کنند. ارگانیسم‌ها در منبع آب آشامیدنی ساختمان و سیستم توزیع آن مانند مخزن آب گرم، به ویژه آن دسته مخازنی که ذخیره آب گرم و آب سرد مصرفی را طبقه‌بندی می‌کنند و همچنین در حمام‌های درمانی، استخرهای هیدروترابی و سایر اماكن نظیر این موقعیت‌ها یافت شده‌اند.

لژیونلوسیس نوعی باکتری ذات‌الریه است. این باکتری نخستین بار پس از قرارداد لژیونری امریکا در سال 1976 در پنسیلوانیا پس از ابتلای 200 نفر و مرگ 34 نفر از مبتلایان شناسایی شد. گونه‌ای از این باکتری که علت بیماری است موسوم به لژیونلا نموفیلا سروتاپ 1 است که بیشترین توان بیماری‌زایی را دارد.

بیماری لژیونر، عumولاً بیماری «فرصت‌طلب» تلقی می‌شود زیرا اغلب به افرادی که بیماری نهان دارند و یا سیستم ایمنی بدن آن‌ها ضعیف است حمله می‌کند. اعمال کنترل مناسب بر سیستم‌های خنک‌کننده در بیمارستان‌ها و یا سایر اماكن درمانی بسیار مهم است و خطر ابتلا به بیماری عفونی را کنترل می‌کند. بیماری لژیونر با تب بالا، احساس سرما، سردرد و درد عضلانی شروع می‌شود. سپس با سرفه‌های خشک پیشرفت کرده و در این مرحله بیماران از مشکلات تنفسی رنج می‌برند. یک سوم از بیماران همراه با اسهال و استفراغ هستند و نیمی از آن‌ها حالت گیجی و هذیان‌گویی دارند (در شیوع بیماری عumولاً حدود 20 درصد مرگ و میر دارد). هر

1. Legionnaires> Disease

2. Pontiac Fever

3. Legionellosis

4. Gram-negative Bacilli

5. Legionella Pneumophila

چند که در بسیاری از موارد معالجه کامل انجام می‌گیرد، اما بعضی از مبتلایان ممکن است علایم درازمدت بیماری را داشته باشند. اگر در مراحل اولیه بیماری تشخیص داده شود، مریض با استفاده از آنتی‌بیوتیک درمان می‌شود. بیماری لژیونر بیش از آنکه تصور می‌شود رواج دارد و با وجود تلاش‌های زیاد در تمیز نگهداشتن و مراقبت از سیستم‌های آبی، هنوز ارگانیسم بیماری‌زا در همه جا حضور دارد و هرساله موارد زیادی از بیماری لژیونر مشاهده می‌شود. متاسفانه اکثر موارد تشخیص داده نمی‌شود و به این علت شهرت عمومی ندارد.

تب پونتیاک. باکتری لژیونلا می‌تواند اشکال دیگری از بیماری لژیونلوسیوس مانند تب پونتیاک که یک بیماری کوتاه‌مدت، محدود، با علایم آنفولانزا و بدون عواقب درازمدت است، ایجاد نماید. بیماری تب پونتیاک به سرعت پیشرفت می‌کند (5 ساعت تا 3 روز) و به مدت 3 تا 5 روز طول می‌کشد (نرخ ابتلای بالا دارد و معمولاً 95 درصد). بیماری موجب سردرد، تهوع، استفراغ، درد ماهیچه‌ها و سرفه می‌شود ولیکن پیشرفت مشابه ذات‌الریه ندارد.

تشکل آئروسل‌ها عواقب عملکرد عادی کلیه کندانسورهای تبخیری، برج‌های خنک‌کننده و تجهیزات محلی آماده‌سازی آب مانند دوش / اسپری است. باکتری‌های پراکنده شده توسط این روش‌ها به شکل آئروسل‌ها، ممکن است وارد مجرای تنفس انسان شده و خطر ابتلا را افزایش دهند. در این مورد بیماری و یا مرگ و میر معمولاً قابل پیشگیری هستند زیرا تشکل آئروسل وابسته به ضعف طراحی سیستم آب، تاسیسات، نگهداری و مدیریت است. هر چند که باید اظهار نمود که هیچ‌گونه شواهدی وجود ندارد دال بر این که مدیریت صحیح و نگهداری مناسب سیستم‌های خنک‌کننده می‌تواند هرگونه خطر ابتلا به لژیونلوسیس را برطرف نمایند. پیامد وضع مقررات کنترلی برای ارگانیسم‌های لژیونلا در سیستم‌های خنک‌کننده و سایر سیستم‌های آبی (و جرایم تخلف از این مقررات) سبب شده است که کنترل لژیونلا یکی از موارد بسیار قابل ملاحظه برای مهندسان، مدیران مراکز آماده‌سازی آب و مدیریت صنایع آب شود.

تجهیزات فراهم‌سازی

قبل از آماده‌سازی تجهیزات تهویه مطبوع، استفاده از ابزارهای مکانیکی برای

پاک‌سازی ناخالصی‌های زیان‌آور از منبع آب رها شده از سیستم نظیر اکسیژن، سختی مازاد یا جامدات همراه آب ضروری است. انتخاب تجهیزات مناسب و مورد نیاز با مطالعه و بررسی کمی و کیفی آب ورودی قابل استفاده در دیگ، سیستم آب کندانسور و سیستم آبی با آب گردشی تعیین می‌شود.

سختی‌گیرهای آب

سختی در آب مصرفی ناشی از وجود کلسیم و منیزیم است. در تجهیزاتی که مقادیر زیادی آب سخت مصرف می‌کنند. در زمان کوتاهی جرم‌های سخت در سطوح محیط واسطه انتقال حرارت تشکیل می‌شوند. در این موارد برطرف کردن سختی آب قبل از استفاده از آن از نظر اقتصادی به صرفه است.

تعیین ضرورت سختی‌گیرها. در آب کندانسور برج خنک‌کن روباز، کندانسورهای تبخیری و دستگاه‌های افشاره سطحی برطرف کردن سختی آب به وسیله تجهیزات فراهم‌سازی معمولاً مقرنون به صرفه نیست. زیرا این سیستم‌ها در مقادیر pH نزدیک به خنثا عملکرد دارند و در این شرایط به کمک مواد شیمیابی ضد رسوبرسازی و کنترل کننده pH می‌توان سختی آب را تحت کنترل نگه داشت. حتاً اگر بخش عمدۀ سختی آب برطرف شده باشد نیز روش آماده‌سازی، ضروری خواهد بود. بنابراین نصب سختی‌گیر در این قبیل تجهیزات صرفه اقتصادی ندارد مگر آنکه آب مصرفی به حدی سخت باشد که بدون اعمال فرآیند مقدماتی برای ایجاد آب قابل قبول، به طور کلی قابل استفاده در سیستم خاصی نباشد.

آب با سختی بیش از 300 یا 400 میلی‌گرم در لیتر، نیاز به نوعی آماده‌سازی دارد تا سختی آن به میزانی برسد تا بتوان در برج خنک‌کن از آن استفاده کرد. مشابه این مورد، در سیستم‌های حرارتی آب گرم با دمای پایین و سیستم‌های خنک‌کن بسته، نصب تجهیزات سختی‌گیر آب مقرنون به صرفه نیست. زیرا در این سیستم‌ها مقدار آب مصرفی قابل توجه نیست و آماده‌سازی در داخل سیستم به وسیله مواد ضد رسوبرسازی می‌تواند از تشکیل جرم‌ها بر سطوح محیط واسطه انتقال حرارتی جلوگیری نماید.

اما در دیگ‌های آب‌گرم با دمای بالا و دیگ‌های بخار، برطرف کردن سختی آب معمولاً ضروری است. عامل تعیین‌کننده به طور معمول، کیفیت آب موجود است. در

دیگ‌های آب گرم با دمای بالا، اگر سختی آب از حد 100 میلی‌گرم در لیتر بالاتر باشد، در این صورت سختی آب مصرفی باید گرفته شود تا از تشکیل رسوب و یا تنهشین شدن لای بر سطوح انتقال حرارت جلوگیری شود.

در دیگ‌های بخار، عوامل تعیین‌کننده عبارت از سختی آب و مقدار آب مصرفی هستند. در کاربردهای گرمایی با فشار کم که در آن‌ها از بخار فقط برای گرم‌سازی استفاده می‌شود و احتمالاً مقدار بخار مصرفی برای فرآیند مرطوب‌سازی 10% بخار تولید شده است، آب رها شده از دیگ بیش از 90% بخار مصرف نشده را به شکل چگالیده همراه دارد. در این وضعیت، آب مصرفی نیاز به سختی‌گیری خارج از سیستم ندارد زیرا مقدار کمی سختی آب ورودی به سیستم با امکانات داخلی سیستم برطرف می‌شود.

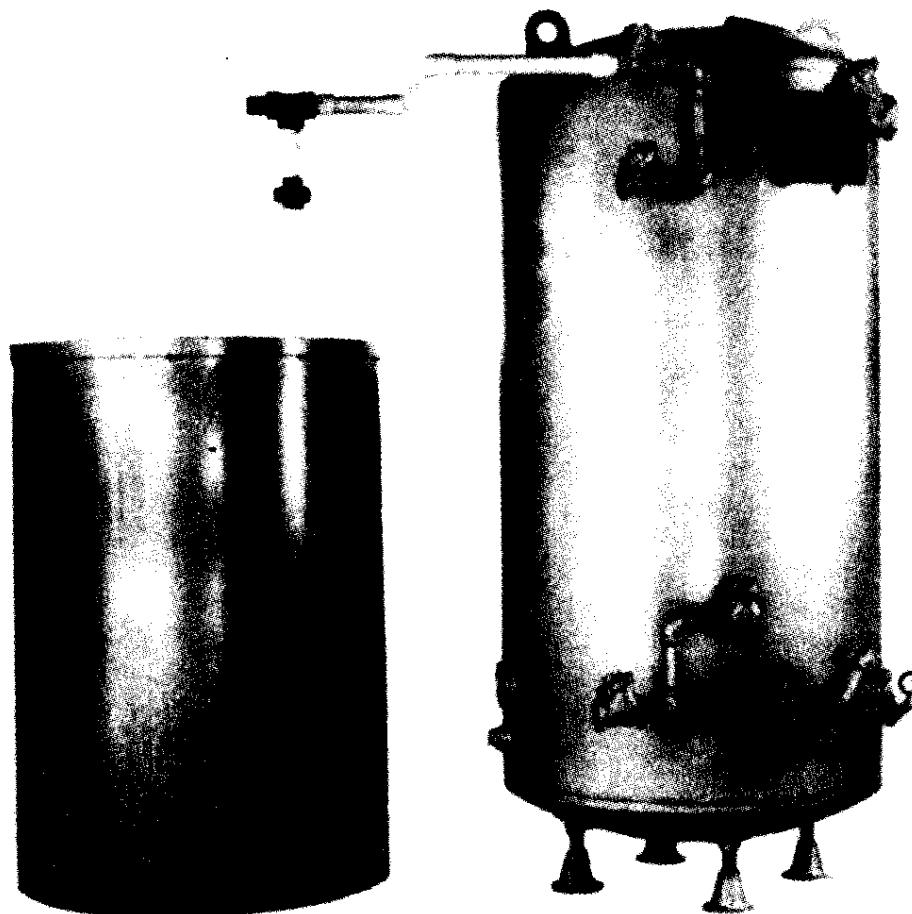
در سیستم دیگ‌های بخار که بیش از 10 درصد آب آماده‌سازی شده را مصرف می‌کنند، نصب سختی‌گیر از نظر اقتصادی و اجرایی مقرر نبوده است. اگر آب مصرفی در این سیستم‌ها دارای سختی بیش از 100 میلی‌گرم در لیتر و مقدار مصرف آن بیش از 1000 گالن در روز (3785 لیتر در روز) باشد، استفاده از سختی‌گیر آب ضروری است. صرفه اقتصادی با مقایسه هزینه آماده‌سازی آب دیگ در درون سیستم برای کنترل جرم‌ها و گلولای تنهشین با هزینه عملیاتی یک سختی‌گیر خارجی نتیجه‌گیری می‌شود.

یکی دیگر از نکات قابل توجه این است که اگر آب ورودی به دیگ از میزان 1000 واحد گرین در ساعت تجاوز کند، در این صورت استفاده از سختی‌گیر ضروری است. نکته: واحد گرین در ساعت از حاصل ضرب سختی آب با واحد گرین در گالن (17.1 میلی‌گرم در لیتر در هر $1.0 \frac{\text{gr}}{\text{gal}}$) در نخ مصرف با واحد گرین در ساعت به دست می‌آید.

$$\text{آب مصرفی} \times \left(\frac{\text{gr}}{\text{gal}} \right) \text{ سختی آب} = \text{گرین در ساعت}$$

سختی‌گیرهای تبادل یونی. سختی‌گیر مورد استفاده برای آماده‌سازی آب دیگ عبارت است از یک سختی‌گیر زئولیت مصنوعی که محتوی رزین سختی‌گیر با تبادل یونی است، این رزین تبادل یونی، یون‌های کلسیم و منیزیم را از آب عبوری از بستر رزین جذب می‌کند. هم‌زمان با عامل جذب، رزین یون‌های سدیم منتشر می‌کند و

به همین دلیل این فرآیند «تبادل یونی» نامیده می‌شود. تصویر (25) یک سختی‌گیر تبادل یونی معمولی که در دیگ‌ها استفاده می‌شود را نشان می‌دهد.



تصویر(25): سختی‌گیر تبادل یونی

ابعاد دستگاه سختی‌گیر وابسته به میزان آب مصرفی و میزان دفع سختی آب است. سختی‌گیر باید حداقل نرخ انتقال آب 6.6 گالن در دقیقه (25.2 لیتر در دقیقه) در هر 100 اسب بخار [3450 پوند در ساعت (1544.9 کیلوگرم در ساعت)] نرخ بخارا باشد.

قلیازداها

وسیله دیگری که با فرآیند تبادل یون عملکرد دارد، دستگاه قلیازدا است. اگر دیگ بخار با آب جبرانی حاوی مقادیر بیش از حد کربنات و بیکربنات و در شرایط قلیایی بودن بالا فعال است، در این صورت این آب نه تنها اثر قلیایی بودن را در دیگ افزایش می‌دهد، (سبب تلاطم، کفسازی و لبریز شدن می‌شود) بلکه به دلیل فرآیند

تجزیه کربنات‌ها و بی‌کربنات‌ها مقادیر زیادی دی‌اکسیدکربن تولید می‌شود. حاصل فرآیند بخار و چگالیده اسیدی است که همان‌طور که قبلاً بحث شد بر اثر این عوامل خطوط آب برگشتی مبتلا به خوردگی شدید بخار و چگالیده می‌شوند.

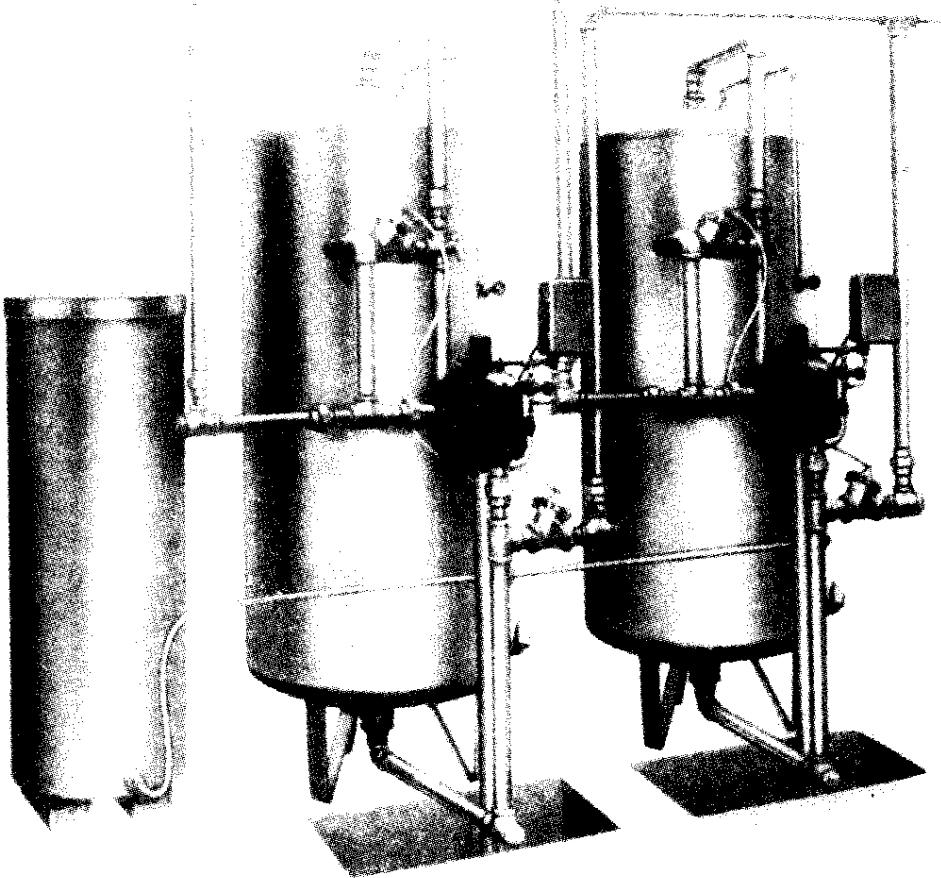
قليابي بودن در اين موارد با عبور دادن آب مصرفی از درون دستگاه قليازدا پيش از ورود به واحد سختی گير به ميزان 90 درصد کاهش می‌يابد. عموماً استفاده از دستگاه قليازدا صرفه اقتصادي ندارد، مگر آنكه ميزان قليابي بودن به دليل وجود کربنات کلسیم از 100 میلی‌گرم در لیتر و آب جبرانی بيش از 100 گالن در ساعت (378.5 لیتر در ساعت) باشد. در مقادير كمتر، دی‌اکسیدکربن توليد شده را می‌توان با اعمال روش‌های آماده‌سازی در مورد بخار و خط برگشتی کنترل نمود. توجيه اقتصادي استفاده از قليازدا را می‌توان با مقاييسه هزينه‌های روش‌های پيشگيري در بخار و خط برگشتی و نصب دستگاه قليازدا تعیين نمود.

در تاسيساتی که بخار در تماس مستقيم با مواد غذایی است اداره مواد غذایی و دارویی آمریکا، استفاده از روش‌های آماده‌سازی خاصی را برای کنترل خوردگی ناشی از اسید کربنیک تحت شرایط محدودی مجاز شمرده است (ZICFR 173.310). در صورتی که اجرای روش کنترلی با این محدودیت‌های خاص امکان‌پذیر نباشد، نصب دستگاه قليازدا برای برطرف کردن 90 درصدی شرایط قليابي و کاهش تمايل شدید بخار و چگالیده برگشتی به خورندگی توجيه‌پذير است.

دستگاه قليازدا محتوي رزین تبادل یونی مشابه سختی گير آب است که قابلیت تبادل آنيون‌های کربنات، بی‌کربنات، سولفات و سایر آنيون‌های کلرید را دارد که در اين صورت دستگاه عموماً همراه با واحد سختی گير تبادل یونی است و به صورت خط کامل سختی گير قليازدا در سیستم نصب می‌شود. با وجود اين دستگاه، ميزان قليابي بودن کاهش یافته و خوردگی ناشی از بخار و چگالیده در خط برگشتی کنترل می‌شود.

^۱ دی‌اریتورها

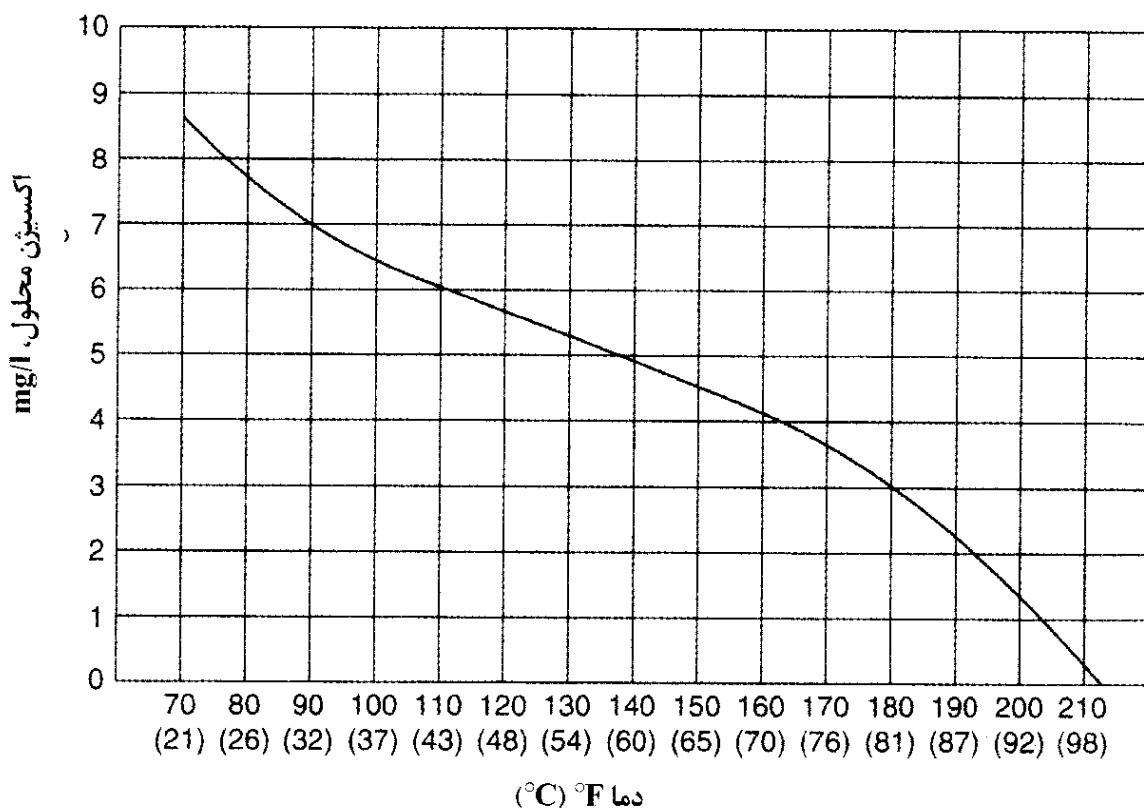
برای جلوگيري از خوردگی‌های شدید و اثرات الکتروشیمیابی در دیگ و لوله‌های بخار، جداسازی اکسیژن از آب ورودی به دیگ بسیار ضروري است. این عمل با اجرای فرآیندهای شیمیابی انجام می‌گيرد. هر چند که در بسیاری از تاسيسات، استفاده از



تصویر(26): قلیازدا

فرآیندهای شیمیایی به تنها بی عمل و از نظر اقتصادی موثر نمی‌باشد. در این قبیل موارد ضروری است که بخش عمده اکسیژن محلول در آب به روش‌های مکانیکی با استفاده از گرم کردن آب مصرفی و یا دستگاه دی اریتور و اعمال مقادیر کمی مواد شیمیایی به منظور از بین بردن کلیه گازهای خورنده، دفع شود.

وقتی که سیستم بخار از طریق گیرنده‌های چگالیده تهווیه شده، مخازن آب مصرفی و ... در معرض هوای جواست، در این صورت هوای جذب شده محتوى مقادیر زیادی اکسیژن محلول است. میزان افزایش اکسیژن نسبت مستقیم با مقدار آب جبرانی دارد زیرا آب سرد جبرانی، همراه با میزان بالای اکسیژن محلول، نه تنها مقدار زیادی اکسیژن دارد بلکه دمای آب مصرفی در خط برگشتی مخزن چگالیده را افزایش می‌دهد و به تبع آن اکسیژن بیشتری از طریق جو در آب مصرفی حل خواهد شد. این فرآیند افزایش اکسیژن محلول به دلیل رابطه معکوس حلایق اکسیژن با دما حاصل می‌شود. تصویر (27) میزان حلایق اکسیژن نسبت به دما را نشان می‌دهد.



تصویر(27): حلالت اکسیژن از طریق جو در فشار اتمسفری

دمای آب مصرفی در عملیات گرمایی فشار کم در صورتی که فرض بر این باشد که کل مقدار چگالیده برگشت داده شود، در حدود 180 تا 200 درجه فارنهایت (82 تا 93 درجه سانتی‌گراد) است، زیرا که مقداری کم و یا اصلاً آب سرد جبرانی مصرف نمی‌شود. در چنین سیستم‌هایی استفاده از دستگاه دی‌اریتور و یا آب‌گرم‌کن معمولاً لازم نیست و بنابراین امروزه در روش‌های طراحی، عرف این است که از به‌کار بردن آب‌گرم‌کن‌ها و اکسیژن‌زدایها در دیگ‌های گرمایی فشار کم اجتناب می‌شود. هر چند که اگر دیگ گرمایی کم‌فشار به ناچار باید همراه با هر یک از واحدهای کاهنده بخار نظیر رطوبت‌زن بخار واحدهای تهویه یا میزهای اتو بخار و یا زودپزها در بوفه یا رستوران‌ها، مقدار آب سرد جبرانی میزان اکسیژن محلول را افزایش می‌دهد. در این قبیل موارد استفاده از یک دستگاه آب‌گرم‌کن و یا دی‌اریتور مکانیکی به منظور دفع اکسیژن محلول از آب مصرفی ضروری است. بدون وجود این دستگاه، هزینه مواد شیمیایی پاک‌کننده اکسیژن به تنها‌یی مقرر به صرفه نیست.

ساده‌ترین ابزار دی‌اریتور مکانیکی، گرم‌کن آب با منبع روباز و یا پیش‌گرم‌کن است. این دستگاه از یک کوئل بخار بسته یا باز نصب شده در مخزن چگالیده تهویه

شده تشکیل شده است. کوئل به روش ترموستاتیکی کنترل می‌شود تا دمای آب را به میزان ۱۸۰ تا ۲۰۰ درجه فارنهایت (۸۰ تا ۹۵ درجه سانتی‌گراد) یا بالاترین میزان دمای ممکن بدون ایجاد نواقصی نظیر خرابی محفظه‌ای و یا ضربه بخار در پمپ آب مصرفی دیگ، حفظ نماید.

دستگاه دی‌اریتور ابزار پیچیده‌تری است که به منظور شست‌وشوی آب ورودی به سیستم، بخار را به شدت به درون آب و چگالیده محتوى گازهای محلول، اکسیژن و دی‌اکسیدکربن تزریق می‌کند. در دستگاه دی‌اریتور آب به روی بستر داخلی تعییه شده از مهره‌های شیشه‌ای یا پلاستیک فشرده، افشارنده و یا به درون ضربه‌گیرها و یا سینی‌ها چکانده می‌شود تا با آب برخوردی ایجاد شود تا آب مصرفی در تعادل با بخار ورودی قرار گیرد. بخار در خلاف جهت آب ورودی تزریق می‌شود تا گازها، اکسیژن و دی‌اکسیدکربن را از طریق هواکش تخلیه کند، هواکش فقط گازهای چگالیده نشده را دفع می‌کند و اتلاف بخار به میزان حداقل است.

برای حفاظت کامل دستگاه، آخرین مقادیر اکسیژن باید با اعمال فرآیند پایانی دفع شیمیایی اکسیژن دفع شود. بعضی از دی‌اریتورها می‌توانند آب را با میزان اکسیژن محلول به میزان کم ۰.۰۰۵ سانتی‌مترمکعب در لیتر برای مصرف آماده کنند. مجموع دستگاه‌های گرم‌کن‌های هواگیر نیز می‌توانند آب با کیفیت اکسیژن محلول ۰.۰۳ سانتی‌مترمکعب در لیتر که بیش از میزان مطلوب برای سیستم دیگ‌های تهویه است، فراهم کنند. این مجموع شامل واحد نصب شده در کارخانه شامل مؤلفه‌های گرم‌کن هواگیر، کنترل‌ها، پمپ‌های تغذیه دیگ و کنترل‌کننده‌های سطوح عملیاتی است. دستگاه گرم‌کن هواگیر دارای یک مخزن جمع‌آوری یا ذخیره چگالیده و آب مصرفی اولیه و یک بخش هواگیری است. آب مصرفی از مخزن به وسیله یک شیر چندراهه به طرف قسمت بالای هواگیر افشارنده می‌شود. بخار از درون یک لوله «پخش‌کننده» به کف منطقه هواگیر تزریق می‌شود و درون آب مصرفی تلاطم حبابی ایجاد می‌کند. به این ترتیب بخار گازهای اکسیژن و دی‌اکسیدکربن را از درون هواکش تخلیه می‌کند.

در بهترین حالت، باید تجهیزات مکانیکی برای دفع گازهای خورنده محلول در آب در هر دو نوع کم‌فشار و پرفشار (علاوه بر اعمال فرآیندهای شیمیایی) به کار گرفته شوند.

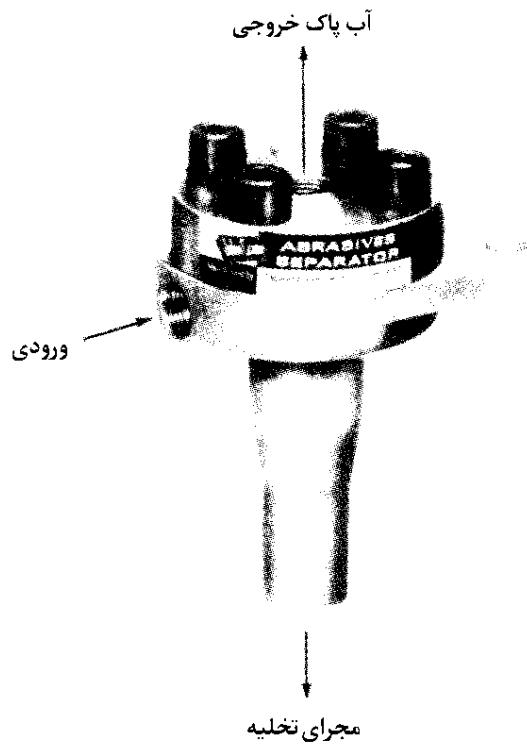
جداکننده‌های سایشی

در مدارهای بسته آب گرم، مدارهای آب سرد و گرم دودمایی یا سیستم‌های ثانویه بازچرخانی آب، یکی از مشکلات عمدۀ وجود ذرات همراه آب است زیرا این ذرات نه تنها خوردگی رسوی و آلودگی در سطوح انتقال حرارتی ایجاد می‌نمایند بلکه به شدت درزبندی مکانیکی و محور اصلی پمپ‌ها را تخریب می‌نمایند. ذرات سخت ساینده، محورهای پمپ و درزبندی مکانیکی آن را خشن‌دار می‌کنند و سبب ایجاد نشتی و نقص عملکرد پمپ می‌شوند.

نقص درزبندی مکانیکی معمولاً وابسته به روش آماده‌سازی آب در سیستم بازچرخانی آب است و ناشی از سایش، براده‌های ریز جدا شده از آهن، سنگ‌ریزه، شن یا سایر اجسام خارجی است. روش آماده‌سازی آب و یا سایر مواد معدنی در آب دلیل ایجاد نقص درزبندی نیستند مگر این‌که دماهای بالا در فرایند را محسوب کنیم. این دماها سبب تخلیه آنی روان‌کننده‌ها در محل درز شده و منجر به رسوب‌گذاری مواد معدنی محلول در آب شده و به علت عدم وجود روان‌کننده، سطح محل درزبندی را خشن‌دار می‌کند. این پدیده در دمای بالاتر از 160 درجه فارنهایت (71 درجه سانتی‌گراد) مشاهده می‌شود.

برای به حداقل رساندن این نقص، از جداکننده‌های سایشی کم‌هزینه استفاده می‌شود. این جداکننده‌ها نه تنها مواد ساینده همراه با آب را از روان‌کننده موجود در محل درزبندی می‌زدایند بلکه آب پاک و شفاف را در محل تخلیه پمپ به درون حفره درزبندی شده قرار می‌دهند که این عمل از تخلیه آنی حاصل از دماهای بالا جلوگیری می‌کند.

یک نمونه دستگاه جداکننده سایشی در تصویر (28) نشان داده شده است. دستگاهی که نشان داده شده است. با ورود آب از لوله تخلیه به پمپ به جداکننده و چرخش سریع ناشی از اختلاف فشار، آن در محفظه مخروطی شکل به وسیله نیروی گریز از مرکز، ذرات ساینده همراه با آب را دفع می‌کند. آب پاک از بالای نقطه وسط خروجی گرفته شده و از طریق لوله به محفظه پمپ هدایت می‌شود تا بر سطوح درزبندی شده افشار نشود. این آب پاک افشار نشده که تحت فشار تخلیه پمپ قرار دارد به طور مستقیم با سطوح درزبندی برخورد نمی‌کند. در تاسیسات بزرگ‌تر ممکن است جداکننده‌های مغناطیسی نیز علاوه بر این نوع جداکننده نصب شود.

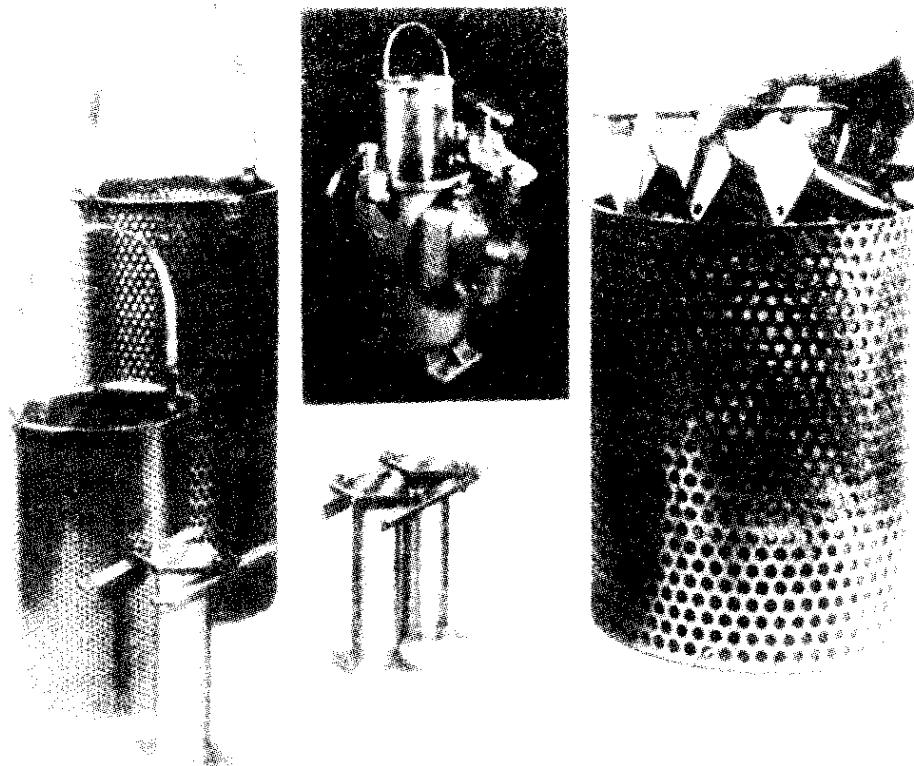


تصویر(28): جداکننده سایشی

صفی‌ها و فیلترها

نصب تمیزکننده‌ها قبل از پمپ در سیستم بازچرخانی آب کندانسور برای محافظت فضای داخل پمپ، پره‌ها، محور و منحرف‌کننده‌ها از آسیب‌های شدید پوسته‌های زنگار، آشغال‌های معلق و یا سایر اجسام خارجی که می‌توانند وارد سیستم‌های مدار باز شوند، بسیار رایج است. به همین ترتیب، تمیزکننده‌ها در سیستم‌های بسته نیز باید نصب شوند زیرا مجاری این نوع سیستم‌ها نیز معمولاً توسط اکسیدسیاه مغناطیسی آهن حاصل از فرآیند و ذرات خارجی مسدود می‌شوند.

جداکننده‌های بشکه‌ای را می‌توان به عنوان فیلتر اولیه برای دفع ذرات بزرگ قبل از ورود آب به پمپ و مبدل‌های حرارتی به کار گرفت. هر چند که ذرات آهن و فولاد می‌توانند به حدی کوچک باشند که از پرده‌های با شبکه بسیار ریز نیز عبور کنند. آهن‌رباهایی که به جداکننده‌های بشکه‌ای متصل هستند، ذرات بسیار ریز آهن را جذب می‌کنند و سپس این ذرات با فشار آب یک لوله پرسشار زدوده می‌شوند. تصویر (29) یک نوع جداکننده بشکه‌ای دارای آهن‌رباهای الحاقی برای انجام این فرآیند را نشان می‌دهد.



تصویر (29): دستگاه جداسازنده دارای تیغه‌های آهن‌ربایی

سرماشیش مستقل

یکی از جالب‌ترین کاربردهای جداکننده‌ها و فیلترها در سیستم‌های برج خنک‌کن روباز تحت گواهی نامه 3995443 آمریکا در تاریخ 5 دسامبر 1976 ثبت شده است. در این سند فرآیندی تشریح شده است که معمولاً سرمایش مستقل و یا سرمایش منفرد نامیده می‌شود. در طی ماه‌هایی از سال که دمای آب برج خنک‌کن را می‌توان به میزان 60 درجه فارنهایت (15.5 درجه سانتی‌گراد) یا کمتر ثابت نگهداشت، آب موجود در برج به مدار آب سرد عبوری از دستگاه سردکننده برگشت داده می‌شود. در این مورد، سردسازی به جای آب خنک آماده‌سازی شده یا مصنوعی، به روش طبیعی انجام می‌شود. این فرآیند می‌تواند در مصرف انرژی صرفه‌جویی قابل توجه‌ای ایجاد کند، زیرا در ماه‌های بهار و پاییز در اکثر نقاط کشور نیاز به روشن بودن دستگاه سردکننده نیست.

خطر آسیب‌رسانی با برگشت آب برج خنک‌کن به مدار آب سرد آشکار است. مواد معلق، ذرات هوایی، آشغال‌ها، گل‌ولای، رسوب چسبنده و ... به طور معمول در آب برج‌های خنک‌کن موجود هستند و می‌توانند مدار آب سرد را به شدت آلوده کنند. از

اینجایی که این‌گونه سیستم‌ها مجازی بسیار باریکی در واحدهای فن‌کوئل، واحدهای پایانه‌ای و ... دارند و همچنین دارای کنترل‌های ظرفی نظیر شیرهای سوزنی هستند و این شیرها با کمترین مقدار مواد معلق در آب جرم می‌گیرند، بنابراین برای اعمال موفقیت‌آمیز فرآیندهایی نظیر پاک‌سازی سرد باید آب برج خنک کن را از هرگونه مواد معلق و جرم پاک‌سازی کرد.

روش‌های نگهداری سیستم در وضعیت پاک و تمیز شامل استفاده از زداینده‌های پلیمری جدید و بازدارنده‌های رسوب در کنار جداکننده‌های دقیق، تمیزکننده‌ها، فیلترهای کیسه‌ای، ماسه‌ای و چندمنظوره هستند. عموماً به کارگیری مبدل‌های حرارتی با بازدهی بالا به جای تمیزکننده‌ها مشکل آلودگی را با محفوظ داشتن مدار بسته از مدار باز در سیستم‌های پاک‌سازی سرد برطرف می‌کند.

آماده‌سازی غیرشیمیابی و ابزارهای مکانیکی

در 50 سال گذشته و حتا بیش از آن، هر از گاهی دستگاه‌های غیرشیمیابی و ابزارهای مکانیکی به اشکال متنوع و مختلف عرضه شده‌اند که در مورد آن‌ها تعاریف اغراق‌آمیز نیز رواج یافته‌اند. کلیه لوازم از این قبیل مدعی از بین بردن و جلوگیری از تشکیل هر نوع رسوب در سیستم‌های بازچرخانی آب و دیگ‌ها بدون استفاده از مواد و فرآیندهای شیمیابی هستند. برخی از این دستگاه‌ها مدعی کنترل خوردگی و سایر آلاینده‌های بیولوژیکی نیز هستند. تعدادی از این فن‌آوری‌ها در زیر آورده شده‌اند:

دستگاه‌های مغناطیسی. در این دستگاه‌ها یک یا چند آهن‌ربا روی سیستم نصب شده و یا موازی جهت جریان آب در لوله قرار گرفته‌اند. ادعا می‌شود که با اندازه‌گیری و تنظیم دقیق این‌گونه دستگاه‌ها از تشکیل جرم‌ها جلوگیری می‌شود.

دستگاه‌های الکتروولیتی. این دستگاه‌ها شامل یک آند از جنس روی و کاتد مسی هستند که در سیستم و در موقعیت تماس با آب نصب می‌شوند، در این دستگاه‌ها ادعا می‌شود که از تشکیل جرم‌ها بر طبق فرآیندهای مشابه با تری جلوگیری می‌شود.

دستگاه‌های الکتروستاتیک. این دستگاه‌ها با تولید ولتاژ نقطه‌ای بسیار بالا (ولی با جریان کم) یک میدان استاتیک در درون آب ایجاد می‌کنند. ادعا می‌شود که این میدان از نظر فیزیکی بر یون‌های مواد معدنی محلول تاثیر گذاشته و از تهنشین شدن جرم جلوگیری می‌کند.

دستگاه‌های الکترونیکی. این دستگاه‌ها دارای طرح‌های مختلفی هستند، این طراحی‌ها شامل دستگاه‌های نوسان‌ساز موج مربع، سونار و مدولاسیون فرکانس (FM) هستند. علایم ایجاد شده بر یک سیم‌پیچ بسته که با پیچاندن سیم رسانا به دور لوله آب ساخته شده است، اعمال می‌شوند. این دستگاه‌ها مدعی هستند که انرژی را به یون‌های نمک‌های بی‌کربنات مواد معدنی محلول در آب انتقال داده و نانوکربیستال ایجاد می‌کنند و از تشکیل جرم بر روی سطوح فلزی جلوگیری کرده و مواد معدنی را به شکل معلق در آب حفظ می‌کنند تا بتوان آن‌ها را از سیستم دفع کرد.

دستگاه‌های کاتالیزی. این دستگاه‌های غیرمغناطیسی از یک لوله سوراخ شده غیرآهنی به منظور تشکیل کربیستال‌های دانه‌ای و کوچک کلسیت و کاهش تراکم جرم در آب استفاده می‌کنند. توصیه می‌شود که از این دستگاه‌ها در مورد آب‌های سخت و در شرایطی که اشباع شدن شدید به آسانی رخ می‌دهد، استفاده شود.

دستگاه‌های تغییردهنده فشار. در این دستگاه‌ها ادعا شده است که با عبور جریان آب از میان یک میله یا لوله سوراخ شده، افت فشار شدیدی حادث شده و سبب آزاد شدن دی‌اکسیدکربن محلول در آب می‌شود و متعاقب آن pH محلول به آرامی بالا رفته و در نتیجه آب در شرایط فوق اشباع شدن همراه با میلیون‌ها کلسیت بسیار ریز (کربنات کلسیم کربیستالی) می‌شود. این رشد تا اندازه‌های تقریباً کولوئیدی ادامه داشته و سرانجام کلسیت‌ها توسط نیروی برشی محوری جریان آب به درون آب هدایت شده و به جای آنکه توده شده و جرم‌ها را تشکیل دهند، به شکل ذرات مجزا در آب معلق قابل دفع شدن باقی می‌مانند.

بسیاری از این قبیل دستگاه‌ها «ابزارهای مکانیکی» نامیده می‌شوند و کارآیی چندانی ندارند. سایر دستگاه‌ها ممکن است تاثیرات محدودی بر کنترل جرم داشته باشند، اما حتاً وقتی که کربیستال‌های دانه‌ای، نانوکربیستال‌ها و یا گلولای تولید می‌شود، فقط در صورتی که این مواد به طور مرتب از سیستم آب پاک‌سازی شوند، رسوب‌گذاری، آلودگی و اتلاف در تبادل حرارتی کماکان واقع می‌شوند. هیچیک از این دستگاه‌ها، کنترل عملی بر خوردگی و یا آلودگی بیولوژیکی ندارند. برای بسیاری از خریداران و یا دست‌اندرکاران صنعت ساختمان و سیستم‌های آماده‌سازی آب، جذابیت دستگاه‌های غیرشیمیابی بسیار فریبنده است، اما این اشتیاق به استفاده

ممکن است به نحو قابل توجهی تحت تاثیر هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری خرید یا اجاره تجهیزات به انحراف کشیده شود.

آماده‌سازی دیگ، سیستم‌های خنک‌کننده حلقه باز و بسته
 مواد شیمیایی، دستگاه‌های گوناگون و فرآیندهای مختلف آماده‌سازی آب باید در جهت ایجاد سیستم بهینه‌ای به منظور کاهش خوردگی، رسوب‌گذاری و الودگی تا میزان قابل قبول برای هر سیستم و همچنین برای هر موقعیت جغرافیایی فعال باشند. برای کسب نتیجه بهینه در آماده‌سازی هر سیستم، اکیدا توصیه می‌شود از خدمات شرکت‌ها و مشاوران سرشناس در صنعت آماده‌سازی آب به منظور انتخاب مواد شیمیایی، تجهیزات و روش‌های عملی در مورد هر سیستم مورد نیاز استفاده شود و اقدامات لازم و موثر در مورد بازبینی، کنترل و بررسی سیستم انجام شود.

آماده‌سازی دیگ سیستم‌های آبی

به منظور جلوگیری از مشکلات خوردگی کلی، خوردگی الکتروشیمیایی، جرم‌ها و عملکرد نامناسب به سبب کفسازی، تلاطم جریان آب و سرزیر شدن، فرآیند آماده‌سازی داخلی دیگ‌های سیستم تهویه ضروری است. برای اجتناب از این معضلات هوادهی صحیح و آماده‌سازی باید انجام شوند.

هوادهی. هوادهی یعنی دفع خود به خود مقداری از مواد متراکم شده درون آب دیگ با اعمال فشار، حداقل مقدار توصیه شده تراکم ناخالصی‌ها که باید به نحو صحیح کنترل شوند در جدول (10) آورده شده‌اند. این مقادیر در مورد دیگ‌هایی است که فشار عملکرد آن‌ها حداقل 250 psi در گرم (1724 کیلوپاسکال) است و فقط به عنوان راهنمایی ذکر شده‌اند. حدود واقعی این مقادیر برای هر دیگ خاص در حین عملکرد تعیین می‌شود.

جدول (10): حداقل تراکم مواد جامد در دیگ برای دیگ‌های تا
ظرفیت 250 پوند بر اینچ مربع (1124 کیلوپاسکال)

سیلیکا	مواد جامد معلق	کل مواد جامد حل شده
150 mg/L		
600 mg/L		
3000 mg/L		

تعداد دفعاتی که جامدات در آب جبرانی درون دیگ جمع شده‌اند را دوره‌های تراکم می‌نامند. برای تعیین میزان هواهدی لازم، تجزیه آب مصرفی و مقایسه کیفیت آن با میزان تراکم‌های مجاز جامدات به نحوی که در جدول (10) خلاصه شده‌اند، ضروری است. حداکثر دوره‌های تراکم مجاز برای هر یک از موارد فهرست شده در جدول (10)، با تقسیم کردن مقادیر حداکثر در این جدول بر مقادیر به دست آمده از تجزیه آب مصرفی تعیین می‌شود.

اکنون به عنوان مثال نتایج تجزیه آب شهر اماها در ایالت نبراسکا را در نظر می‌گیریم (تصویر 30) و آن را با حداکثر تراکم مواد جامد در دیگ (جدول 10) مقایسه می‌کنیم، تا حداکثر تعداد چرخه‌های مجاز برای مواد متراکم را تعیین کنیم:

METROPOLITAN REFINING COMPANY INC. 50-23 23rd STREET • LONG ISLAND CITY • N.Y. 11101			
CERTIFICATE OF ANALYSIS			
		DATE _____	
		SAMPLING DATE _____	
		REPRESENTATIVE _____	
ANALYSIS NUMBER	341247		
SOURCE	IP STEAM BOILER		
pH	7.9		
P ALKALINITY	CaCO ₃ , mg/l	0.0	
FREE CARBON DIOXIDE	CO ₂ , mg/l		
BICARBONATES	CaCO ₃ , mg/l	250.	
CARBONATES	CaCO ₃ , mg/l		
HYDROXIDES	CaCO ₃ , mg/l		
M (Total) ALKALINITY	CaCO ₃ , mg/l	250.	
TOTAL HARDNESS	CaCO ₃ , mg/l	86.	
SULFATE	SO ₄ , mg/l		
SILICA	SiO ₂ , mg/l		
IRON	Fe, mg/l		
CHLORIDE	NaCl, mg/l	35.	
ORGANIC INHIBITOR	mg/l		
PHOSPHATE	PO ₄ , mg/l		
CHROMATE	Na ₂ CrO ₄ , mg/l	2800.	
NITRITE	NaNO ₂ , mg/l		
ZINC	Zn, mg/l		
SPECIFIC CONDUCTANCE	mmhos/cm	3831.	
TOTAL DISSOLVED SOLIDS	mg/l	3448.	
SUSPENDED MATTER			
BIOLOGICAL GROWTHS			
SPECIFIC GRAVITY @ 15.5°/15.5°C			
FREEZING POINT °C/OF			
% BY WEIGHT			
NOTES: 1. ANALYTICAL RESULTS EXPRESSED IN MILLIGRAMS PER LITER (MGL) ARE EQUIVALENT TO PARTS PER MILLION 2. USE OF 1000 TO OBTAIN GRAINS PER GALLON (GPG)			
2 CYCLES OF CONCENTRATION = $\frac{\text{CHLORIDES IN SAMPLE}}{\text{CHLORIDES IN MAKEUP}}$			
TREATMENT	TREATMENT CONTROL	FOUND	RECOMMENDED
--	CHROMATE	2800	2000 - 2500
--	pH	7.9	7.0 - 10.0

تصویر (30): تجزیه آب شهر اماها، نبراسکا

نتایج تجزیه حداکثر تعداد چرخه‌های تراکم سیلیکا، میلی‌گرم در لیتر:

$$\frac{\text{حداکثر}}{\text{آب جبرانی}} = \frac{150 \text{ mg/L}}{7.7 \text{ mg/L}} = 19.5 \times$$

مواد جامد معلق (سختی)، میلی‌گرم در لیتر:

$$\frac{\text{حداکثر}}{\text{آب جبرانی}} = \frac{600 \text{ mg/L}}{159 \text{ mg/L}} = 3.8 \times$$

کل مواد جامد حل شده، میلی‌گرم در لیتر:

$$\frac{\text{حداکثر}}{\text{آب جبرانی}} = \frac{300 \text{ mg/L}}{414 \text{ mg/L}} = 7.2 \times$$

با توجه به نتایج بالا، مشاهده می‌کنیم که حداکثر تعداد چرخه‌های مجاز برای مواد متراکم برابر $3.8 \times$ است. کمترین مقدار به دست آمده را در نظر می‌گیرند، زیرا اگر مقدار افزایش یابد، از نظر ناخالصی ذرمهای مشکل ایجاد می‌شود. اگر سختی آب جبرانی گرفته شود، در آن صورت سختی آب یک عامل محدودکننده محسوب نمی‌شود. در این حالت، تعداد چرخه‌های مجاز مواد متراکم به مقدار $7.2 \times$ که کمترین میزان دوم است، افزایش می‌یابد. عملاً یک دستگاه سختی‌گیر آب ضروری است.

پس از تعیین حداکثر تعداد چرخه‌های مواد تراکم در دیگ، نرخ هوادهی لازم به منظور حفظ تجمع مواد جامد به میزان کمتر از این سطح حداکثر را می‌توان محاسبه کرد.

هوادهی برای دفع مواد جامد انباشته شده در دیگ اعمال می‌شود.

مقدار مواد جامد موجود در آب هوادهی شده و متراکم در دیگ برابر است با حاصل ضرب مقدار مواد جامد موجود در آب جبرانی در تعداد چرخه‌های مواد متراکم، این رابطه از نظر ریاضی با فرمول BCX بیان می‌شود که در این فرمول:

$B = \text{میزان هوادهی، گالن (لیتر)}$

$C = \text{تعداد چرخه مواد متراکم}$

$X = \text{کل مقدار مواد جامد متراکم در آب جبرانی، (mg/L g/gal) ppm}$

مقدار مواد جامد ورودی به دیگ همراه با آب مصرفی با فرمول ریاضی MX بیان

می‌شود که در این فرمول M مقدار آب جبرانی با واحد گالن (لیتر) است. از اینجایی که فرآیند هوادهی به منظور تامین مقدار معینی برای تعداد چرخه‌های مواد متراکم طراحی شده است، این مقدار تعیین شده فقط در صورتی معتبر است که دقیقاً برابر با مقدار مواد جامد ورودی به دیگ باشد. این رابطه از نظر ریاضی به عبارت زیر بیان می‌شود:

$$BCX = MX$$

(مواد جامد ورودی) = (مواد جامد خروجی)

$B = M/C$ محاسبه مقدار هوادهی B به کمک این رابطه ریاضی منجر می‌گردد که رابطه به دست آید. این فرمول برای تعیین نرخ هوادهی نسبت به نرخ آب جبرانی به کار برده می‌شود و از نظر درصدی به عبارت زیر بیان می‌شود:

$$\frac{100}{C} = \text{هوادهی \%}$$

هر چند که معمولاً در موارد واقعی حتاً اگر محاسبه مقدار هوادهی میسر باشد، اندازه‌گیری نرخ هوادهی ممکن نیست. بنابراین اگر نرخ هوادهی کافی باشد، تعداد چرخه‌های تراکم به وسیله آزمایش ساده مقدار کلرید اندازه‌گیری می‌شود.

کلریدها عمده‌ترین مواد معدنی قابل حل شدن هستند و همیشه در مقادیر مختلف در آب جبرانی وجود دارد. علاوه بر این کلریدها فقط از طریق آب جبرانی وارد دیگ می‌شوند و به طرق دیگر نظیر فرآیندهای آماده‌سازی و یا از منابع دیگر ایجاد نمی‌شوند. تعداد چرخه‌های تراکم با مقایسه میزان کلریدها در آب جبرانی و در آب دیگ نتیجه می‌شود.

$$C = \frac{\text{میزان کلریدهای درون دیگ}}{\text{میزان کلریدهای آب جبرانی}}$$

این آزمایش ساده و عملی توسط مهندسان اجرایی برای کنترل نرخ هوادهی استفاده می‌شود.

آماده‌سازی داخلی سیستم‌های آب درون دیگ
کنترل جرم‌ها و گلولایی. پس از تعیین حداکثر تعداد مجاز چرخه‌های مواد متراکم و نتیجه‌گیری، به نرخ هوادهی به منظور جلوگیری از تجمع مواد معدنی بیش از حد مجاز، فعالیت‌های آماده‌سازی در جهت پیشگیری از رسوب‌گذاری و تهنشین

شدن مواد جامد در آب باید توجه شود. همان‌طور که قبلاً به طور خلاصه ذکر شد، مواد معدنی سختی‌زا، کلسیم و منیزیم در آب دیگ‌ها تهنشین می‌شوند و تمایل به تشکیل جرم‌ها بر روی سطوح انتقال حرارتی دارند، مگر آنکه در این مورد اقدامی انجام شود. بدون آماده‌سازی آب، مواد معدنی احتمالاً به صورت کربنات‌های غیرقابل انحلال و نمک‌های سولفات، تهنشین خواهند شد.

به طریق مشابه اگر سیلیکا بیش از حد قابل حل در آب وجود داشته باشد در این صورت سیلیکا و سیلیکات‌های پیچیده جرم‌های سخت و متراکم تشکیل خواهند داد.

بعضی از فرآیندهای آماده‌سازی برای پیشگیری از به وجود آمدن این جرم‌های سخت و متراکم شامل به کارگیری فسفات و تهنشین کردن عمدی کلسیم به شکل نمک فسفات و یا فسفات‌هایی با خاصیت قلیایی زیاد مانند فسفات‌هیدروکسی کلسیم یا هیدروکسی آپاتیت کلسیم $[Ca_3(PO_4)_2Ca(OH)_2]$ هستند. منیزیم همراه با هیدروکسید‌قلیایی موجود در آب دیگ تشکیل دهنده رسوب هیدروکسید به شکل بروسیت ($MgOH_2$) است. مواد رسوبی به شکل این نوع ترکیبات از درون آب آسان‌تر متلاشی و دفع می‌شوند.

روش‌های آماده‌سازی بدون استفاده از فسفات‌ها ممکن است با رسوب‌گذاری عمدی کربنات و سیلیکات به منظور تهنشین شدن کربنات‌کلسیم و سیلیکات‌منیزیم که با استفاده از پلیمرها با مکانیسم آسان‌تری متلاشی و دفع می‌شوند، همراه باشند. روش‌های آماده‌سازی آب دیگ می‌توانند همراه با استفاده از پلیمرهای آلی قابل حل شدن در آب نظیر لیگنین، تانین و پلی‌الکترولیت‌هایی که تشکل مواد تهنشین شدنی غیر محلول در آب دیگ‌ها و آب عبوری از سطوح انتقال حرارتی را ایجاد می‌کنند، باشند. این مواد نظیر محیط هسته‌ای در اتم عمل می‌کنند به طوری که یون‌های محلول در آب با یکدیگر برخورد کرده و در سراسر محیط آب درون دیگ، ذرات غیرقابل حل و پراکنده تشکیل می‌دهند. بعضی از پلیمرها، پلی‌الکترولیت نامیده می‌شوند زیرا دارای مناطق الکترولیتی مثبت و منفی متعددی بر روی زنجیره پلیمری هستند.

پلی‌الکترولیت‌های نظیر پلی‌اکریلامید، پلی‌اکریلیت، پلی‌متا‌اکریلیت، فسفات

پلیمریزه، پلی‌مالیت‌ها و سولفات‌های پلی‌استیرن نیز سبب اختلال رشد کریستالی ذرات پوسته‌ای شده و تمایل به چسبندگی آن‌ها بر روی سطوح انتقال حرارتی را کاهش و تمایل به متلاشی شدن را نسبت به متراکم شدن در این‌گونه رسوب‌ها افزایش می‌دهند. برخی از پلیمرهای جدید نیز سختی‌ها را مشابه چلیت‌ها^۱ تجزیه می‌کنند و علاوه بر این رسوب‌های موجود را نیز مجدداً حل می‌کنند. به این ترتیب این پلیمرها طی یک مکانیسم سه‌گانه شامل متلاشی کردن، تخریب کریستال‌ها و تجزیه رسوب‌ها در پیشگیری و از بین بردن جرم‌های فعال هستند.

یکی دیگر از انواع بازدارنده‌های رسوب‌سازی عوامل چلیت‌کننده هستند. چلیت‌کننده‌ها مواد آلی هستند که دارای قابلیت احلال کلسیم، منیزیم و آهن هستند و از تشکیل نمک‌های غیرقابل احلال جلوگیری می‌کنند. دو ترکیب اسیداتیلن دیامین تتراستیک^۲ و اسیدنیتریلوتری استیک^۳ در فرآیندهای آماده‌سازی آب دیگ‌ها به عنوان چلیت‌کننده به منظور جلوگیری از تشکیل جرم‌ها و در بعضی از موارد برای از بین بردن رسوب‌های موجود به کار گرفته می‌شوند. استفاده از این قبیل مواد در تجهیزات تهویه محدود است زیرا این مواد نیاز به کنترل دقیق دارند و در صورتی که کنترل نشوند عامل خورنده آهن می‌شوند. بعضی از فرمول‌بندی‌های خاص شامل مقادیر کمی مواد چلیت‌کننده برای کنترل بسیار دقیق جرم‌ها هستند. ترکیب عوامل چلیت‌کننده و پلیمرها تواماً به طور گسترده استفاده می‌شود و نتایج بسیار مطلوبی دارد.

کنترل خوردگی در دیگ‌های سیستم توسط فرآیندهای قلیایی. خوردگی دیگ‌ها را می‌توان به وسیله تمیزکننده‌های اکسیژن^۴، تقویت‌کننده‌های قلیایی (بوستر) و بازدارنده‌ها کنترل کرد. خوردگی آهن به شدت وابسته به مقدار pH آب در تماس با آهن است. هرچه مقدار pH کمتر باشد، نرخ خوردگی بیشتر و هرچه مقدار pH بیشتر باشد، نرخ خوردگی کمتر می‌شود. در pH معادل ۱۱، نرخ خوردگی آهن صفر می‌شود البته مشروط به این‌که اکسیژن و سایر گازهای خورنده دفع شده باشند. بنابراین روش

Chelating Agent .1: معرف چنگلی، ماده‌ای است که با یون‌های فلزی ترکیب شده تشکیل مولکول‌های حلقوی می‌دهد.

2. Ethylenediaminetetraacetic (EDTA)

3. Nitrilotriacetic (NTA)

4. Oxygen Scavenger

آماده‌سازی آب درون دیگ برای کنترل خوردگی کلی در سیستم، شامل یک ترکیب قلیابی به منظور افزایش pH از مقدار 10.5 به 11.5 است. این دامنه تغییر با عملکرد عادی سیستم و بدون ایجاد جوشش و یا سرزیر شدن سازگار است و در عین حال کنترل خوردگی مناسبی است. مواد قلیابی شامل هیدروکسید سدیم و پتاسیم (که به سود سوزآور و پتابنات سدیم (معروف به نمک قلیا) هستند)

کنترل خوردگی در دیگ‌های سیستم توسط اکسیژن زدایی. همان‌طور که بحث شد، اکسیژن محلول در آب دیگ سبب خوردگی نقطه‌ای موسوم به خوردگی شیمیایی می‌شود، برای جلوگیری از خوردگی شیمیایی، اکسیژن باید دفع شود. این راهی برای ایجاد تحول یا تثبیت محیط اطراف نیز است. دیاریتورها برای این منظور مورد استفاده قرار می‌گیرند، اما فقط استفاده از دیاریتور کافی نیست، زیرا بهترین دستگاه دیاریتور می‌تواند آب مصرفی دیگ با میزان اکسیژن محلول 0.0005 مترمکعب در لیتر ایجاد کند. این میزان خیلی کم اکسیژن نیز می‌تواند خوردگی شیمیایی شدید در خط آب مصرفی دیگ و لوله‌های قرار گرفته در مجاورت ورود آب مصرفی دیگ به وجود آورد. برای جلوگیری از این خوردگی، اکسیژن‌زدahای شیمیایی به منظور جذب اکسیژن از آب و ایجاد محیط عمل کاملاً عاری از اکسیژن به کار گرفته می‌شوند. رایج‌ترین اکسیژن‌زدای شیمیایی سولفیت‌سدیم و هیدرازین¹ هستند. این مواد تمایل شدیدی به ایجاد پیوند با اکسیژن دارند و آن را از آب جذب می‌کنند.

سولفیت‌سدیم به طور گستره‌ای استفاده می‌شود و تقریباً 8 ppm آن برای جذب هر 1 ppm اکسیژن لازم است. به عنوان منبع مناسبی برای تامین سولفیت به مقدار کافی (معمولاً 20 تا 50 ppm یا بیشتر) باید مقدار بیشتری سولفیت اضافه شود و بدین ترتیب معیار کلی برابر با 10 ppm برای هر 1 ppm اکسیژن است. با افزایش مقدار کمی اکسیژن‌زدا اضافی به آب می‌توان مطمئن شد که اکسیژن محلول وجود ندارد. فرمول‌بندی کامل برای آماده‌سازی آب به همین دلیل شامل سولفیت‌سدیم است و علاوه بر آن در برگیرنده کاتالیزر نیز است تا از واکنش آنی بین اکسیژن محلول در آب و اکسیژن‌زدا حتا در آب سرد اطمینان حاصل شود.

استفاده از هیدرازین به علت سمی بودن، رواج زیادی ندارد. اخیراً اکسیژن‌زدahای

دیگری مانند دی‌اتیل‌هیدروکسی‌لامین^۱، اریتوربات‌سدیم^۲، کربوهیدرازید^۳، متیل‌اتیل‌کتوکسیم^۴ و هیدروکینون^۵، به عنوان جایگزین‌های هیدرازین به کار برده می‌شوند. به طور کلی مقدار استفاده از این مواد بسیار کم و شاید فقط ۰.۱ تا ۰.۲ ppm است. تانین‌ها نیز به عنوان اکسیژن‌زدا کاربری دارند. استفاده از این مواد قدمت صدساله دارد و مزایای فوق العاده‌ای در اکسیژن‌زدایی در بسیاری از سیستم‌های تهویه دارند، از اینجایی که مواد آلی هستند، مشابه سولفیت‌ها TDS تشکیل نمی‌دهند و بسیار ارزان‌تر از DEHA یا اریتوربات هستند. تانین‌های دارای قابلیت هیدرولیز که ترکیباتی از کوبراچو^۶ و سایر تانین‌ها هستند در شرایط قلیایی بودن آب موجود در دیگ^۷ (BW) چند ماده اکسیژن‌زدا را تولید می‌کنند که عمدتاً طراحی اکسیژن‌زدایی مشابه نمک‌های سدیم دارند. این مواد اکسیژن‌زدا شامل اسید‌تائیک، اسید‌الاژیک^۸، اسید‌گالیک^۹، اسید‌کینیک^{۱۰}، پیروگالول^{۱۱}، هیدروکنیون^{۱۲} و کاتکول^{۱۳} هستند. این مواد پراکنده‌کننده تهنشین‌ها و غیرفعال‌ساز مواد آلی نیز هستند.

تانین‌ها رنگ آب دیگ را قهقهه‌ای می‌کنند که این رنگ قهقهه‌ای بعضی از اوقات آزمایش سنجش سختی آب، کلریدی یا قلیایی بودن آب را در مرحله بررسی تغییر رنگ آب، کمی مشکل می‌سازد، اما وجود رنگ قهقهه‌ای شدید در آب وجود تانین را تایید کرده و اطمینان می‌دهد که خوردگی اکسیژن تحت کنترل است.

کنترل خوردگی در دیگ‌های سیستم با فرآیند غیرفعال کردن. بازدارنده‌های ضدخوردگی، موادی هستند که الزاماً سبب تغییر محیط عمل و یا شرایط فرآیند خوردگی نمی‌شوند، اما به عنوان مانعی بین محیط واسطه خوردگی و سطح در حال

-
1. *Diethylhydroxylamine (DEHA)*
 2. *Sodium Erythorbate*
 3. *Carbohydrazide (CHZ)*
 4. *Methylethylketoxime (MEKO)*
 5. *Hydroquinone (HQ)*
 6. *Quebracho*
 7. *Boiler Water (BW)*
 8. *Ellagic acid*
 9. *Gallic acid*
 10. *Quinic acid*
 11. *Pyro gallop*
 12. *Hydroquinone*
 13. *Catechol*

خوردشدن فلز عمل می‌کنند. موائع فیزیکی نظیر پوشش‌های محافظ و گالوانیزه کردن به عنوان فرآیندهای جلوگیری از خوردگی از ذهن می‌گذرند. این نوع پوشش در واقع فضای خوردگی که شامل آب، اکسیژن و گازهای اسیدی است را از فلز بدن‌هسازه جدا می‌نماید.

بازدارنده‌های ضدخوردگی که یک لایه محافظ بر روی سطح فلز ایجاد می‌کنند را می‌توان به عنوان مانعی فعال در برابر فرآیند خوردگی مثلاً، بازدارندگی از واکنش شیمیایی خوردگی به آب اضافه نمود. چنین موائعی بر اثر واکنش شیمیایی بین فلز سطح محیط عمل و عامل بازدارنده یا توسط فرآیندهای جذب فیزیکی و یا جذب از سطح فلز، ایجاد می‌شوند. در این نوع بازدارندگی، لایه محافظ نامری بدون ضخامت است. چنین مانعی دارای ضخامت یک مولکول از لایه محافظ است و بنابراین لایه تک‌مولکولی^۱ نامیده می‌شود. با وجود لایه‌ای با این ضخامت، در فرآیند انتقال حرارتی تداخلی حادث نمی‌گردد و به این علت این بازدارنده‌ها در تجهیزات انتقال حرارتی بسیار موثر هستند. لایه‌هایی که بدین ترتیب تشکیل می‌شوند یا لایه‌های جذب شده تولید شده توسط بعضی از بازدارنده‌های آلی هستند یا محصول واکنش شیمیایی بین عامل بازدارنده و سطح فلز هستند. لایه محافظ می‌تواند ترکیبی از دو فرآیند جذب و واکنش شیمیایی نیز باشد. نتیجه تشکیل این لایه کاهش نرخ خوردگی و غیرفعال بودن مواد خورنده است.

غیرفعال بودن عبارت است از وضعیتی که در آن یک فلز فعال از نظر شیمیایی که در آن بازفعالی اساساً کاهش یافته و در برابر خوردگی مقاوم است و یا وضعیتی که در آن رفتار الکتروشیمیایی آن به حد فلزهایی که کمتر فعال هستند، تقلیل یابد. در این حالت فلز غیرفعال یا پاسیو شده است. چنین بازدارنده‌هایی غیرفعال‌کننده نامیده می‌شوند. بازدارنده‌های غیرآلی به کار گرفته شده در دیگ‌ها برای تامین این منظور شامل مولبیدات‌ها، نیتریت‌ها، برات‌ها، سیلیکات‌ها و فسفات‌ها هستند. برخی از بازدارنده‌های آلی مورد استفاده شامل فسفونات‌ها، پلی‌اکریلیت‌ها، اسیدهای فسفینوکاربوكسیلیک و مواد آلی دارای ازت مانند تریاژول و آمین‌ها هستند.

تائین‌ها به عنوان غیرفعال‌کننده نقش خاصی دارند و در یک واکنش شیمی فیزیکی مابین فلز و آب در درون دیگ شرکت می‌کنند که محصول این واکنش یک

لایه (بازدارنده خوردگی) از جنس تانات آهن غیرفعال شده است. کنترل خوردگی در قسمت‌های قبل از دیگ. با وجود این که هنوز از نمک قلیا برای کنترل pH درون دیگ استفاده می‌شود، اما این ماده قلیایی برای استفاده در تجهیزات تهویه‌ای مناسب نیست. کربنات‌هایی که به آب دیگ افزوده می‌شوند نیز pH آب دیگ را افزایش داده و تجزیه شده و گاز دی‌اکسیدکربن ایجاد می‌کنند و این گاز سبب خوردگی در گرمکن‌ها و خطوط بخار و چگالیده می‌شود. دی‌اکسیدکربن در چگالیده بخار حل شده و اسیدکربنیک تولید می‌کند. این اسید در مورد فولاد و مس بسیار خورنده است و می‌تواند علت نقص دستگاه‌های گرمکن و خطوط و تجهیزات مربوط به چگالیده باشد. حتاً اگر کربنات اضافه نشود، بی‌کربنات‌ها و کربنات‌های طبیعی از طریق آب مصرفی به درون دیگ وارد شده و مجدداً شکل خوردگی دی‌اکسیدکربن ایجاد می‌شود.

دی‌اکسیدکربن حاصل از کربنات‌ها و بی‌کربنات‌هایی که به طور طبیعی در آب مصرفی دیگ وجود دارند را می‌توان با استفاده از آمین‌های خنثاکننده و مواد قلیایی سبک وابسته به آمونیاک خنثا کرد. آمین‌هایی که برای این منظور استفاده می‌شوند شامل مورفولین، سیکلوهگزیل آمین و دی‌اتیل آمینواتanol هستند. این مواد که در دمای اتاق به شکل مایع هستند، تقریباً در دماهای مشابه آب به نقطه جوش و تبخیر می‌رسند و بنابراین همراه با بخار حرکت می‌کنند و این ترکیب به آزوتروپ^۱ معروف است. با چگالیده شدن بخار و تبدیل آن به آب، آمین‌ها نیز چگالیده شده و ایجادکننده چگالیده‌های قلیایی با تاثیر خورنده‌گی کمتر بر سطح فلزات می‌شوند. حتاً اگر گازهای دی‌اکسیدکربن جذب شوند، چگالیده‌های جاری شده و محتوی آمین خنثا سبب بالا رفتن pH آب می‌شوند. در مورد چگالیده‌های جاری مقدار pH در دامنه ۰.۷ تا ۰.۹ بسیار مطلوب و نشانه کنترل بهینه کلیه فلزات موجود در سیستم‌های حرارتی شامل آهن، فولاد، برنج و مس است.

علاوه بر استفاده از خنثاکننده‌ها در خطوط چگالیده و برگشتی از بازدارنده‌های لایه‌ساز نیز استفاده می‌شود. این بازدارنده‌ها شامل آمین‌های آلی یا آمیدهایی نظری

اکتادی‌سیلامین^۱ و مخلوط اکتادی‌کانول^۲ و استرآمید هستند. این بازدارنده‌ها در لوله‌های چگالیده و درزهای آن‌ها لایه‌های غیرقابل انحلال تشکیل می‌دهند. آن‌ها همراه با بخار استحصال می‌شوند یعنی با بخار جریان دارند و در سیستم بخار و چگالیده رسوب می‌کنند. نقص این نوع بازدارنده این است که لایه تشکیل شده حدی ندارد و رسوب‌های سنگین تله‌ها و فشارشکن‌های بخار و سایر تجهیزات را مسدود می‌نمایند، مگر این‌که برای اجتناب از این مشکل دقت خاصی اعمال شود. بخار به لایه تبدیل شده و بازدارنده‌های خط چگالیده در سیستم‌هایی که در آن‌ها چگالیده برگشتی وجود ندارد و یا مقدار آن ناچیز است، کارآبی بسیار مناسبی دارند. در دیگ‌های حرارتی که بخش عمدۀ چگالیده برگشت داده می‌شود، آمین‌های خنثاکننده کارآبی بیشتری دارند. فرآیند ترکیبی خنثاسازی و آمین‌های لایه‌ساز نیز به کار برده می‌شود.

معیارهای کنترلی و معیارهای اضافی در آماده‌سازی آب دیگ

تلاطم، جوشش و همراه شدن مواد. تلاطم آب دیگ عبارت است از برخورد آب به بدنه و برگشت آن در طول عملیات سیستم. اما جوشش یک فعالیت کم تحرک‌تری است. جوشش شامل تشکیل حباب در آب در حال جوش است که پدیده‌ای مشابه ایجاد کف صابون در ماشین لباسشویی است. همراه شدن مواد، اصولاً نوع آلودگی بخارمانند همراه با آب دیگ است. این پدیده حاصل تلاطم و جوشش است و حتا می‌تواند بدون مشاهده تلاطم و یا جوشش در آب دیگ، بخار آن را آلوده کند.

علل به وجود آمدن پدیده‌های تلاطم، جوشش و همراه شدن مواد با بخار می‌توانند متعدد و مختلف باشند. معمولاً این پدیده‌ها ناشی از آلودگی آب دیگ به وسیله روغن و یا سایر اجسام خارجی هستند. سایر علل شامل تجمع مازاد مواد جامد به علت عدم هوادهی، قلیابی بودن بالا، اعمال بیش از حد مجاز فرآیندهای آماده‌سازی یا نقص مکانیکی هستند.

هوادهی مناسب و فرآیندهای مناسب کف‌زدایی می‌توانند وقوع پدیده‌های تلاطم،

1. Octadecylamine

2. Octadecanol

جوشش و همراه شدن مواد را کاهش دهد.

آماده‌سازی آب در دیگ‌های حرارتی با بخار کم‌فشار. اکثر دیگ‌های حرارتی با بخار کم‌فشار دارای عملکرد منحصر به فردی هستند که در آن، کل مقدار بخار تولید شده فقط به منظور گرمادهی استفاده می‌شود. بنابراین مقدار آب جبرانی کم و به تبع آن تجمع مواد جامد نیز ناچیز است. آب جبرانی فقط برای جبران اتلاف در هواکش‌ها، نشتی و سرریز شدن در گیرنده‌های چگالیده است.

بدین ترتیب در شرایطی که مصرف آب و تجمع مواد معدنی کم است، حتاً با استفاده از آب خیلی سخت نیز مشکلات تشکیل جرم‌ها به نحو قابل توجهی کاهش می‌یابد. اما تحت همین شرایط معضل خوردگی می‌تواند شدیدتر شود. برنامه آماده‌سازی آب در این وضعیت معمولاً شامل یک بازدارنده برای دیگ و خنثای کردن یا استفاده از آمین لایه‌ساز برای سیستم بخار و چگالیده است. البته این برنامه محدود می‌شود به سیستم‌هایی که «بسته» هستند و در آن‌ها کل بخار به صورت چگالیده به دیگ بر می‌گردد و به منظور رطوبت‌دهی و یا آشپزی مثلاً در اغذیه‌فروشی‌ها و رستوران‌ها از بخار استفاده نمی‌شود. هر جا که بخار مصرف می‌شود، آب موجود در سیستم متمایل به تجمع مواد معدنی در دیگ است و برنامه‌های دیگری برای آماده‌سازی آب به شرح آورده شده در زیر ضروری است.

بازدارنده‌های خوردگی که به طور گسترده در دیگ بخار کم‌فشار استفاده می‌شود شامل مولیبیدات‌سدیم و نیتریت‌سدیم هستند. برای اطمینان از این‌که این بازدارنده‌ها به طور مستمر یک لایه محافظ ایجاد می‌کنند و هیچ نقطه‌ای از سطح فلز بدون محافظ نیست، باید برای سطح حداقل لایه‌سازی ضوابطی وضع کرد. بازدارنده‌ها الزاماً باید محیط واسطه‌ای ایجاد کنند تا به منظور تامین بهترین بازدهی، pH آب را در دامنه 7.0 تا 10.0 حفظ کنند.

در مورد سیستم‌های دیگ حرارتی با بخار کم‌فشار، آمین‌های خنثاکننده را می‌توان به تدریج و در فواصل زمانی منظم و به مقدار کافی به آب اضافه نمود تا pH چگالیده در دامنه 7.5 تا 8.5 حفظ شود. آمین‌های خنثاکننده در سیستم‌هایی که محتوی نیتریت هستند و یا در آن‌ها از بخار برای رطوبت‌زنی استفاده می‌شود، نباید مصرف شوند.

آماده‌سازی آب در دیگ‌های بخار خط فرآیند با بخار کم‌فشار و پرفشار. از اینجایی که سیستم‌های با بخار پرفشار در دماهای بالاتری نسبت به سیستم‌های حرارتی کم‌فشار، عملکرد دارند، بنابراین از بازدارنده‌های خوردگی ذکر شده در بالا نمی‌توان در آن‌ها استفاده کرد. روش آماده‌سازی آب در دیگ‌های پرفشار شامل استفاده از مواد تثبیت‌کننده حرارت نظیر ثبات‌های محیط عمل که شرایط مرتبط با خوردگی و رسوب‌گذاری را تغییر می‌دهند، است.

وقتی که دیگ بخار کم‌فشار با مقداری آب ورودی برای مصرف شدن در فرآیندهای رطوبت‌زنی به بخار، میزهای بخار آشپزخانه‌ای، ماشین‌های ظرفشویی یا سایر مقاصد، عملکرد دارد، شرایط استفاده از بازدارنده‌ها متفاوت می‌شوند. در مورد آب ورودی برای مصرف شدن به علت اتلاف بخار، مواد معدنی موجود در آب تمایل به تجمع دارند. در این شرایط، افزایش میزان هوادهی برای جلوگیری از تشکل مواد معدنی و آماده‌سازی آب اضافی برای جبران اتلاف آب در اثر هوادهی، ضروری است. بدین ترتیب، فرآیند آماده‌سازی دیگری شامل استفاده از بازدارنده‌های تشکل جرم‌ها برای جلوگیری از سختی‌سازی آن‌ها در آب مصرفی و ایجاد جرم‌ها لازم خواهد شد. بنابراین در چنین سیستم‌هایی به جای استفاده از بازدارنده‌های خوردگی، باید مشابه دیگ‌های بخار پرفشار از تثبیت‌کننده‌های محیط استفاده نمود.

آماده‌سازی آب برای کنترل خوردگی شامل تنظیم میزان قلیایی بودن و pH آب به وسیله سود سوزآور و حفظ pH در دامنه ۱۰.۵ تا ۱۱.۵ و در شرایط مناسب عملیاتی است. آب مصرفی دیگ باید به منظور دفع اکسیژن حل شده و جلوگیری از خوردگی شیمیایی اکسیژن، اکسیژن‌زدایی شود و علاوه بر این برای از بین بردن کوچک‌ترین مقدار اکسیژن از یک ماده تمیز‌کننده اکسیژن استفاده شود. برای این منظور از سولفیت‌سدیم به غلظت ۲۰ تا ۵۰ میلی‌گرم در لیتر یا ترکیبات آلی نظیر دی‌اتیل‌هیدروکسیل لامین و اریتوربات‌سدیم استفاده می‌شود. در اکثر کاربری‌های تهویه مطبوع استفاده از سولفیت‌سدیم برتری دارد زیرا نگهداری، کاربرد و کنترل آن از نظر آسانی و هزینه مناسب‌تر است و در مواردی که دفع مواد جامد حل شده اهمیت دارد نظیر دیگ‌های الکترودی، برتری دارند. زیرا این مواد آلی به مواد معدنی موجود در دیگ افزوده نمی‌شوند. از اینجایی که دی‌اتیل هیدروکسیل لامین سبب

تشکل آمونیاک یا آمین‌ها که خورنده مس، برنج و سایر آلیاژهای مس که معمولاً در سیستم‌های حرارتی به کار برده می‌شوند، هستند. بنابراین باید انتخاب ماده تمیزکننده اکسیژن بادقت در نظر گرفته شود.

برای کنترل جرم‌ها و مواد تهشین برای آماده‌سازی دیگ، در صورت لزوم از نرم‌کننده زئولیت همراه با آماده‌سازی آب در درون دیگ به کمک فسفات‌ها، ترکیبات چلیت، پلیمرها و یا متلاشی‌کننده‌ها^۱ استفاده می‌شود. برنامه کنترل اولیه شامل یک ترکیب پلیمر فسفات برای ایجاد توده‌ای از فسفات‌سدیم در آب دیگ به غلظت 60 میلی‌گرم در لیتر به منظور مطمئن شدن از تهشینی کل کلسیم به شکل ترکیبات فسفات است.

برنامه‌های بدون فسفات شامل پلیمرها، فسفات‌ها یا مجموعه ترکیبی از پلیمرها، فسفات‌ها و چلیت‌کننده‌ها همراه با پلیمر به غلظت 2 تا 100 میلی‌گرم در لیتر وابسته به نوع پلیمر و فرمول‌بندی به کار رفته شده است. چلیت‌کننده‌ها نباید بیش از غلظت 2 تا 3 میلی‌گرم در لیتر استفاده شوند زیرا خوردگی آهن در آب دیگ تسريع می‌گردد.

مواد ضد کف برای جلوگیری از ایجاد کف و سرریز شدن آب در فرمول‌بندی آماده‌سازی آب دیگ به کار گرفته می‌شوند. این مواد فرآیند جوش هسته‌ای را تقویت کرده و از ایجاد کف و سرریز شدن آب جلوگیری می‌کنند. مواد ضد کف مورد استفاده در آماده‌سازی آب دیگ‌ها شامل گلیکول پلی‌الکیلن و پلی‌آمیدها هستند که با غلظت‌های 10 تا 100 میلی‌گرم در لیتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. در نهایت باید اظهار داشت که برنامه آماده‌سازی دیگ‌های بخار پرسشار و دیگ‌های فرآیندهای کم‌پرسشار باید شامل یک بازدارنده خوردگی در خط برگشت چگالیده و خط بخار باشد. این ترکیب بازدارنده می‌تواند آمین خنثاساز یا مخلوطی از آمین‌های خنثاساز باشد تا pH چگالیده را در دامنه 7.0 تا 9.0 حفظ کند. هرگاه اتلاف بخار شدید است و استفاده از آمین‌های خنثاساز پرهزینه می‌شود، از بازدارنده‌هایی که پوشش محافظ ایجاد می‌کنند برای حفظ لوله‌کشی خط چگالیده استفاده می‌شود.

برنامه های تغذیه و کنترل در فرآیند آماده سازی آب دیگ

آزمایش های کنترلی آزمایش های کنترلی در فرآیند آماده سازی آب یکی از مهم ترین جنبه های برنامه آماده سازی آب است. بدون آزمایش های مناسب، آسیب ها بیشتر از مزایای آب مصرفی خواهد شد. یک نمونه تجزیه کیفی آب دیگ بخار با استفاده از بازدارنده مولیبیدات سدیم در تصویر (31) کیت نشان داده شده است. در مورد دیگ های بخار پرفشار و کم فشار، آزمایش ها باید بیشتر تکرار شوند. انجام سه بار آزمایش در روز در موقعی که بار سیستم به سرعت تغییر می کند، الزامی است. آزمایش های روزانه با استفاده از کیت های آزمایشگاهی عموما برای کسب بهترین نتیجه رایج تر است.

METROPOLITAN REFINING COMPANY INC.

50-23 23rd STREET • LONG ISLAND CITY • N.Y. 11101

CERTIFICATE OF ANALYSIS



DATE _____
SAMPLING DATE _____
REPRESENTATIVE _____

ANALYST'S NUMBER	374129	HIGH PRESSURE BOILER
pH	11.3	
TOTAL ALKALINITY	CaCO ₃ , mg/L	153
FREE CARBON DIOXIDE	CO ₂ , mg/L	
BICARBONATES	CaCO ₃ , mg/L	
CARBONATES	CaCO ₃ , mg/L	122
HYDROXIDES	Ca(OH) ₂ , mg/L	92
M (Total) ALKALINITY	CaCO ₃ , mg/L	214
TOTAL HARDNESS	CaCO ₃ , mg/L	1020
SULFATE	SO ₄ , mg/L	
SILICA	SiO ₂ , mg/L	23
IRON	Fe, mg/L	
CHLORIDE	NaCl, mg/L	84.1
ORGANIC INHIBITOR	mg/L	
PHOSPHATE	PO ₄ , mg/L	50
CHROMATE	Na ₂ CrO ₄ , mg/L	
NITRITE	NaNO ₂ , mg/L	
ZINC	Zn, mg/L	
SPECIFIC CONDUCTANCE	mhos/cm	2244
TOTAL DISSOLVED SOLIDS	mg/L	1818
SUSPENDED MATTER		
BIOLOGICAL GROWTHS		
SPECIFIC GRAVITY @ 15.5°/15.5°C		
FREEZING POINT °C OF		
% BY WEIGHT		

ANALYST'S RESULTS EXPRESSED IN MILLIGRAMS PER LITER AND ARE EQUIVALENT TO PARTS PER MILLION
DIVIDE BY 1000 TO OBTAIN GRAINS PER GALLON (GPG)

NOTES

CONCENTRATION IN SAMPLE CONCENTRATION IN MAKEUP

TREATMENT	TREATMENT CONTROL	FOUND	RECOMMENDED	FOUND	RECOMMENDED
P. ALKALINITY	153	100 - 115			
SULFITE	35	30 - 50			

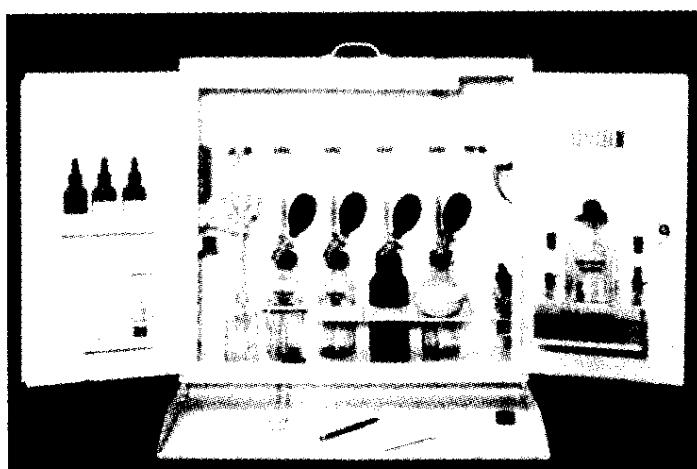
تصویر (31): نتایج تجزیه کیفی آب دیگ بخار کم فشار

نمونه آزمایش تجزیه‌ای در مورد آب یک دیگ بخار پرفشار همراه با کنترل‌های توصیه شده، در تصویر (32) نشان داده شده است. کمیت‌های آزمایشگاهی برای ارزیابی آسان نمونه‌های آب دیگ در دسترس هستند. تصویر (33) کیت آزمایش قطره‌ای در رابطه با سولفیت کلریدها انجام شده توسط مهندسان مسؤول برای دیگ‌های بزرگ‌تر در فواصل زمانی معین را نشان می‌دهد. تصویر (34) تجهیزات مربوط به این‌گونه آزمایش‌ها را نشان می‌دهد.

روش‌های تعذیب. آماده‌سازی آب در مورد دیگ‌ها با وسائل متنوعی از همzen تا پمپ‌ها و ابزارهای کنترلی دقیق اختلاط مواد شیمیابی انجام می‌شوند. این روش‌ها

METROPOLITAN REFINING COMPANY INC.					
50-23 23rd STREET • LONG ISLAND CITY • N.Y. 11101					
CERTIFICATE OF ANALYSIS					
					
		DATE _____			
		SAMPLING DATE _____			
		REPRESENTATIVE _____			
ANALYSIS NUMBER	341247				
SOURCE	LP STEAM BOILER				
pH	7.9				
P ALkalinity	CaCO ₃ , mg/l	0.0			
FREE CARBON DIOXIDE	CO ₂ , mg/l				
BICARBONATES	CaCO ₃ , mg/l	250.			
CARBONATES	CaCO ₃ , mg/l				
HYDROXIDES	CaCO ₃ , mg/l				
M (Total) ALkalinity	CaCO ₃ , mg/l	250.			
TOTAL HARDNESS	CaCO ₃ , mg/l	86.			
SULFATE	SO ₄ , mg/l				
SILICA	SiO ₂ , mg/l				
IRON	Fe, mg/l				
CHLORIDE	NaCl, mg/l	35.			
ORGANIC INHIBITOR	mg/l				
PHOSPHATE	PO ₄ , mg/l				
CHROMATE	Na ₂ CrO ₄ , mg/l	2800.			
NITRITE	NaNO ₂ , mg/l				
ZINC	Zn, mg/l				
SPECIFIC CONDUCTANCE	mmhos/cm	3831.			
TOTAL DISSOLVED SOLIDS	mg/l	3448.			
SUSPENDED MATTER					
BIOLOGICAL GROWTHS					
SPECIFIC GRAVITY @ 15.5°/15.5°C					
FREEZING POINT °C/°OF					
% BY WEIGHT					
%					
ANALYTICAL RESULTS EXPRESSED IN MILLIGRAMS PER LITER (PPM) EQUIVALENT TO PARTS PER MILLION OR IN THE CASE OF CERTAIN COMPOUNDS, IN MILLIGRAMS PER LITER.					
NOTES	ON CERTAIN COMPOUNDS, THE CONCENTRATION IS EXPRESSED IN MILGRAMS PER MILLILITER.				
TREATMENT	TREATMENT CONTROL	FOUND	RECOMMENDED	FOUND	RECOMMENDED
--	CHROMATE	2800	2000 - 2500		
--	pH	7.9	7.0 - 10.0		

تصویر (32): نتایج تجزیه کیفی آب دیگ بخار پرفشار



تصویر(34): جعبه لوازم آزمایش کیفیت آب

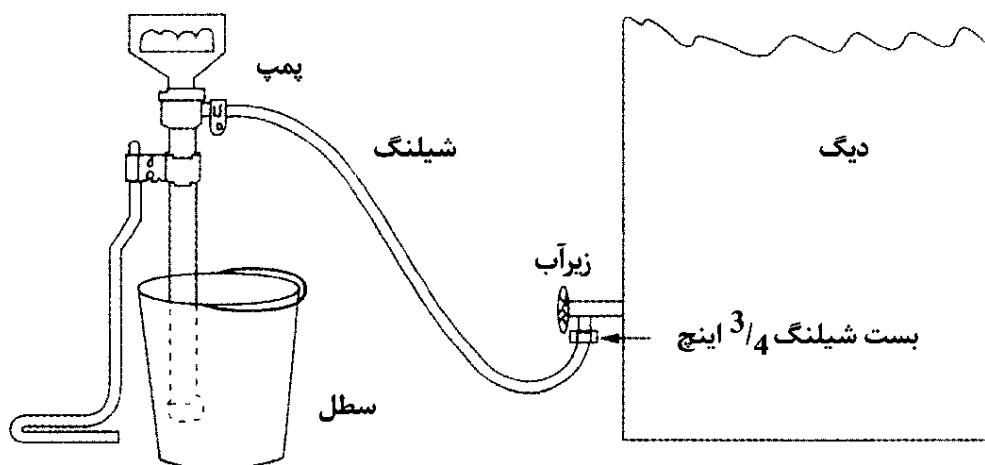


تصویر(33): کیت آزمایشگاهی برای کنترل آب دیگ

به اختصار شرح داده شده‌اند.

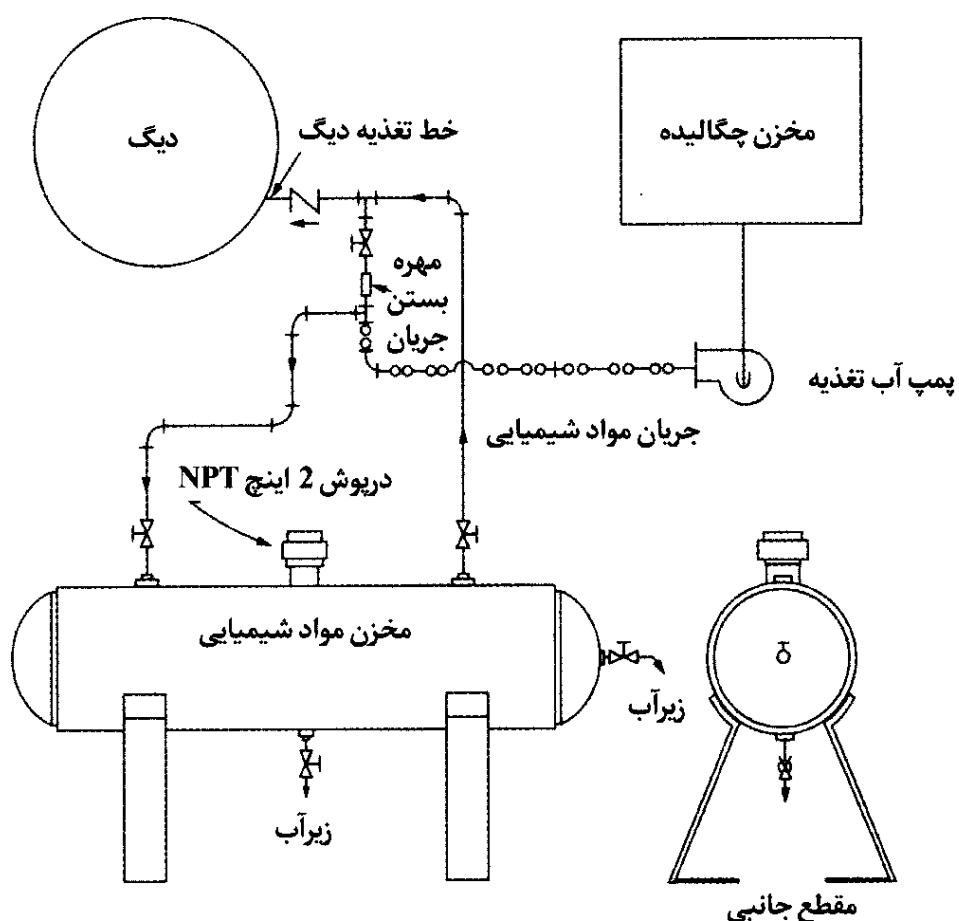
روش‌های تغذیه تزریقی. روش‌هایی تزریقی برای افزودن مواد به آب در مورد دیگ‌های حرارتی کم فشار بسیار موثر و کاربری آسان دارند زیرا در این روش‌ها فقط به طور متناوب ترکیب بازدارنده خوردنگی و در برخی موارد حتا با افزودن آمین خنثاسازی چگالیده در دوره‌های هفتگی، آماده‌سازی آب انجام می‌شود. یکی از دستگاه‌های رایج برای این منظور، پمپ دستی است که به وسیله آن مواد شیمیایی از طریق یک مجرای تحتانی $\frac{3}{4}$ اینچی (20 میلی‌متری) اضافه می‌شوند. تصویر (35)

این طرز عمل را نشان داده است.



تصویر(35): پمپ دستی برای افزودن مواد بازدارنده به آب درون دیگ

نوع دیگ از دستگاه‌های تزریقی ابزار تغذیه کاسه‌ای یا کنارگذر است. این نوع تغذیه‌کننده باید در خط آب ورودی به دیگ نصب شود تا مواد را با فشار پمپ آب مصرفی دیگ، به طور مستقیم به درون دیگ تزریق کند. اگر این دستگاه بر روی خط آب ورودی اولیه نصب شود، در این صورت یک بازدارنده برگشت آب نیز به منظور جلوگیری از آلوده شدن آب اولیه به وسیله آب دیگ باید به کار گرفته شود. نحوه نصب در تصویر (36) نشان داده شده است.



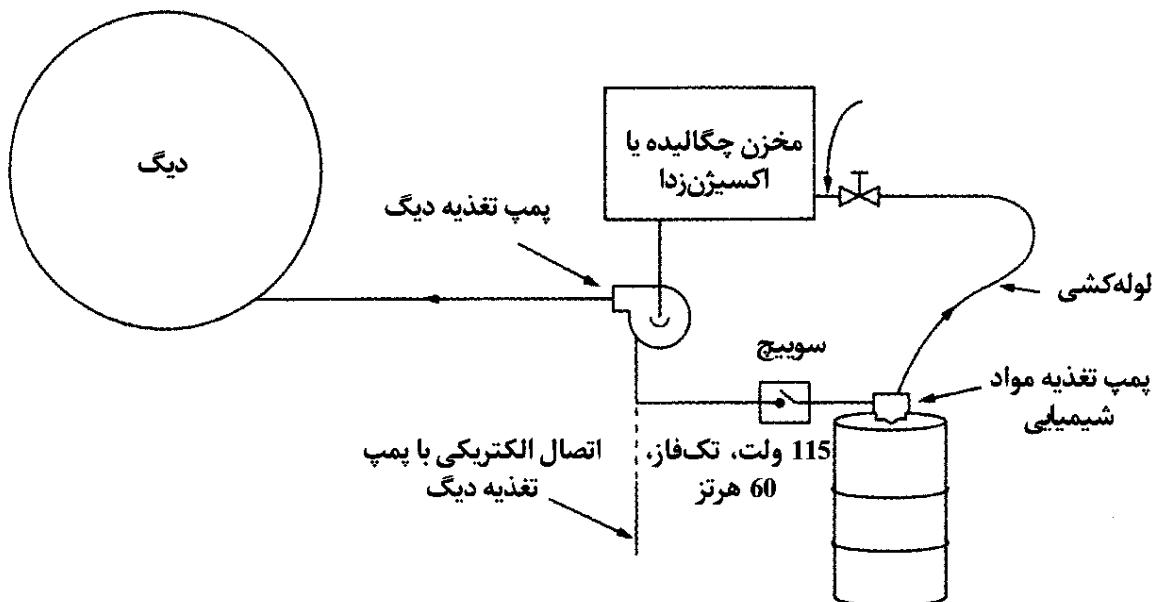
تصویر (36): تغذیه‌کننده کنارگذر برای دیگ‌ها

روش‌های تغذیه تنااسبی. در دیگ‌های بخار پرفشار و فرآیندهای کم فشار، روش مطلوب افزودن مواد به طور مستمر و به نسبت‌های معینی از مقدار واقعی موردنیاز به یک دیگ دیگر است. در سیستم‌های افزودن تنااسبی مواد، میزان ترکیبات افزودنی مختلف به آب را بر اساس جریان آب مصرفی تعیین می‌کنند.

مبانی سیستم تغذیه تنااسبی مواد. یک سیستم افزودن تنااسبی مواد به طور ساده شامل یک پمپ تغذیه مواد شیمیابی متصل به پمپ آب مصرفی است تا مواد را

به طور مستقیم از مخزن نگهداری به مخزن آب مصرفی قبل از دیگ انتقال دهد. این روش در شرایطی که فقط یک ترکیب شیمیایی در فرمول آماده‌سازی آب وجود داشته و این ترکیب شامل کلیه بازدارنده‌های خوردگی و رسوب‌سازی بدون وجود فسفات‌ها باشد، یک روش ایده‌آل است.

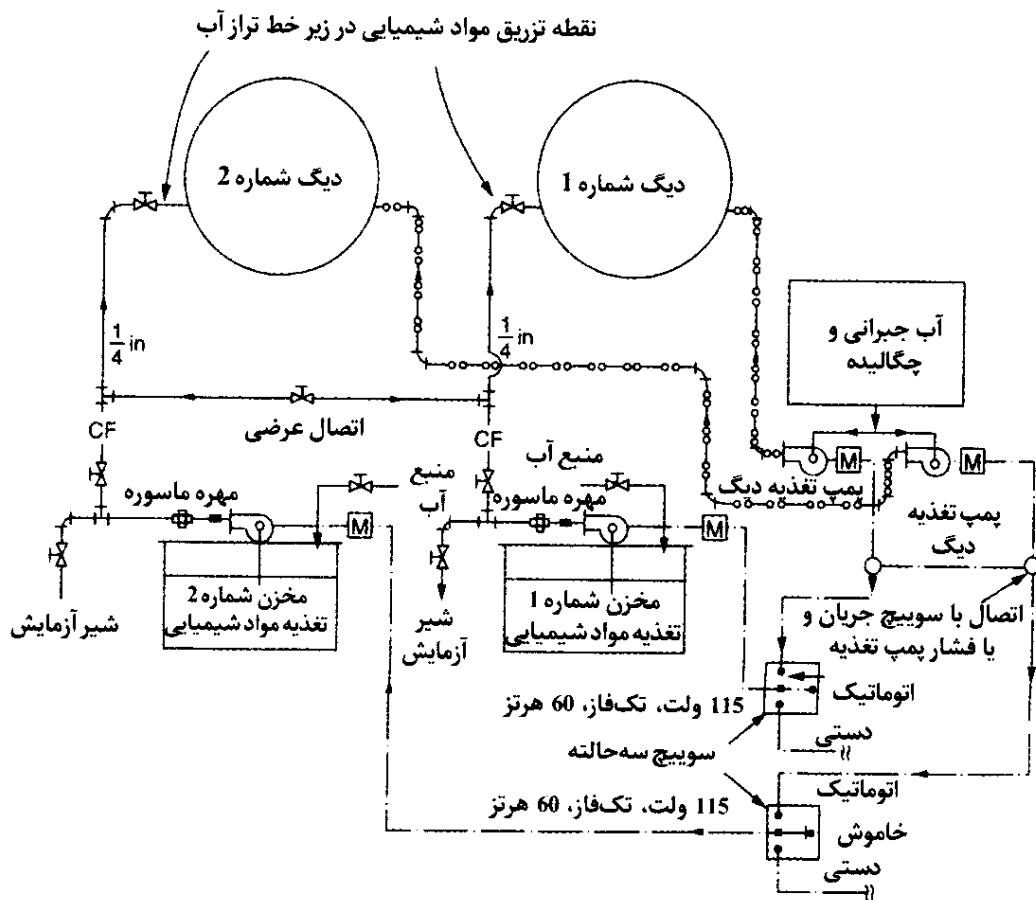
سیستم نشان داده شده در تصویر (37) در مورد کلیه سیستم‌های دیگ در اندازه‌های مختلف کاربری دارد، مشروط به این‌که ترکیب شیمیایی شرایط بالا را داشته باشد.



تصویر (37): نمونه ساده‌ای از سیستم افزودن تناسبی مواد

سیستم افزودن تناسبی مواد در دیگ‌های بخار بدون تجهیزات دیاریتور. این برنامه پیچیده‌تر نیاز به یک سیستم تغذیه دقیق‌تری دارد. ترکیبات قلیایی و فسفات‌ها باید به طور مستقیم به دیگ افزوده شوند تا از رسوب‌گذاری در خط آب مصرفی و آسیب رسیدن به پمپ‌های تغذیه جلوگیری شود. تصویر (38)، اجمالاً نحوه به کارگیری مستقیم این روش را در مورد دیگ‌ها با نسبت‌های وابسته به آب مصرفی نشان داده است.

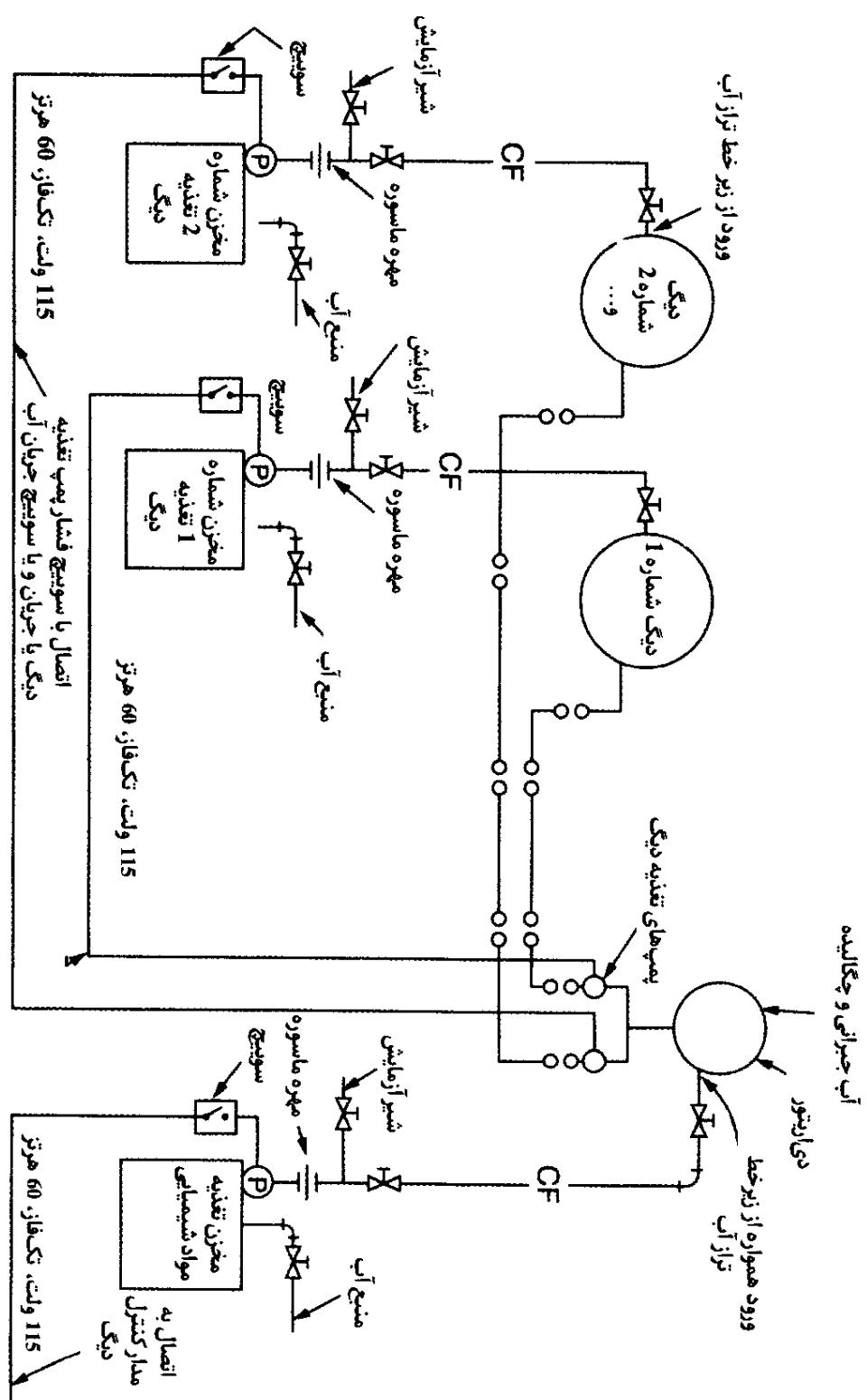
سیستم افزودن تناسبی مواد در دیگ‌های بخار با تجهیزات اکسیژن‌زا. در صورتی که تجهیزات دیاریتور نصب شده باشند، بهتر است که ترکیبات آماده‌سازی آب برای جلوگیری از خوردگی و خوردگی شیمیایی را به طور مستقیم در بخش



تصویر (38): سیستم افزودن تناسبی مواد بدون دیاریتور

ذخیره‌سازی تجهیزات اکسیژن‌زا وارد کرد. برخی از سازندگان تجهیزات دیاریتور در صورتی که از فسفات‌ها و یا سایر مواد قلیایی استفاده شود، در مورد وارد کردن ترکیبات شیمیایی به درون بخش ذخیره‌سازی دستگاه هشدار می‌دهند زیرا این نوع مواد می‌توانند در محلهایی قبل از دیگ رسوب ایجاد کنند و به مخزن دیاریتور، پمپ آب مصرفی دیگ و خطوط ارتباطی آسیب وارد کنند. در این صورت ترکیبات فسفات‌دار و قلیایی باید به طور مستقیم وارد دیگ شوند و فقط تمیزکننده اکسیژن و آمین یا سایر مواد ضد رسوب‌سازی در قسمت‌های قبل از دیگ استفاده شوند. معمولاً با این توضیح‌ها دیگر از طرف سازنده شکایتی نخواهد بود. تصویر (39) این روش را شرح داده است.

دمیدن هوا به طور اتوماتیک و کنترل کننده‌های تقدیه مواد. از اینجا باید که ضوابط انجمن ASME (جامعه آمریکایی مهندسان مکانیک) نصب شیرهای اتوماتیک روی خط دمیدن رو به پایین را ممنوع کرده است، استفاده از کنترل کننده‌ها و شیرهای



اتوماتیک به خط دمیدن از کنار و یا بالا محدود می‌شود. دمیدن از کنار و بالا منحصرا به منظور کنترل جامدات محلول استفاده می‌شود، زیرا این عمل جامدات معلق را که در کف دیگ نشسته‌اند دفع نمی‌کند. حتا وقتی که کنترل کننده‌های بالابی عمل دمیدن نصب شده است، کماکان برای دفع ذرات جامد معلق و نشسته در کف باید اقداماتی انجام شود. بلوداون^۱ بالا هرگز نباید به عنوان جایگزین بلوداون کف اعمال شود.

* * *

آماده‌سازی آب سیستم‌های بازچرخانی مدار باز

مشکل عمدۀ در سیستم‌های سرمایش مدار باز، خوردگی و تجمع جرم، آشغال، لای و لعاب مواد آلی یا ریشه جلبک است. در سیستم‌های مدار باز به علت تبخیر و وزش باد، اتلاف آب وجود دارد. آب هدر رفته بر اثر وزش باد همان کیفیت آب چرخشی در سیستم را دارد یعنی دارای همان مقدار مواد معدنی محلول و ناخالصی‌های آب چرخشی است، اما آبی که بر اثر تبخیر تلف می‌شود کیفیت متفاوتی خواهد داشت.

حاصل تبخیر آب چرخشی، آب خالص و مشابه آب مقطر خواهد بود و از نظر تئوری هیچ‌گونه مواد معدنی و یا جامدات حل شده همراه ندارد و فقط قطره‌های آب همراه با آب تبخیر شده، هستند. این آب خالص حاصل از تبخیر، کلیه مواد معدنی محلول را در آب بازچرخش باقی می‌گذارد، زیرا این مواد با آب تبخیر نمی‌شوند.

آب اتلاف شده بر اثر تبخیر با افزایش آب جبرانی جایگزین می‌شود و آب جبرانی محتوی مواد معدنی و ناخالصی‌های حل شده در آن است. در نتیجه با افزایش تدریجی آب جبرانی به سیستم، مواد معدنی به طور ثابت افزوده شده و تراکم‌هایی را تشکیل می‌دهند و به ناچار آب بازچرخش به حدی از مواد معدنی اشباع می‌شود که نمک‌های غیرقابل انحلال از ترکیب خارج شده و بر روی سطوح انتقال حرارت و یا در بخش‌های دیگر سیستم جرم‌هایی را تشکیل می‌دهد. برای اجتناب از این پدیده، آب بازچرخش باید از نظر میزان مواد معدنی محلول در آن، کنترل و محدود شود. این عمل با فرآیند زیرآب‌کشی (بلیداف) انجام می‌شود.

زیرآب‌کشی. زیرآب‌کشی عبارت از دفع مستمر مقدار کمی آب محتوی مواد معدنی متراکم از سیستم سرمایش بازچرخانی است. آبی که بر اثر وزش باد تلف می‌شود نیز محتوی مواد معدنی متراکم است و می‌توان آن را بخشی از فرآیند زیرآب‌کشی محسوب کرد. عبارت «زیرآب‌کشی صفر» به وضعیت ایده‌آلی اطلاق می‌شود که در آن آب در اثر وزش باد به نحوی دفع می‌شود که مواد معدنی دفع شده همراه با قطره‌های آب اتلافی سبب پاک‌سازی آب شود و هیچ نیازی به اعمال فرآیند زیرآب‌کشی اضافی وجود نداشته باشد. هر چند که در اکثر موارد برای محدود کردن تجمع جامدات انجام زیرآب‌کشی اضافی ضروری است.

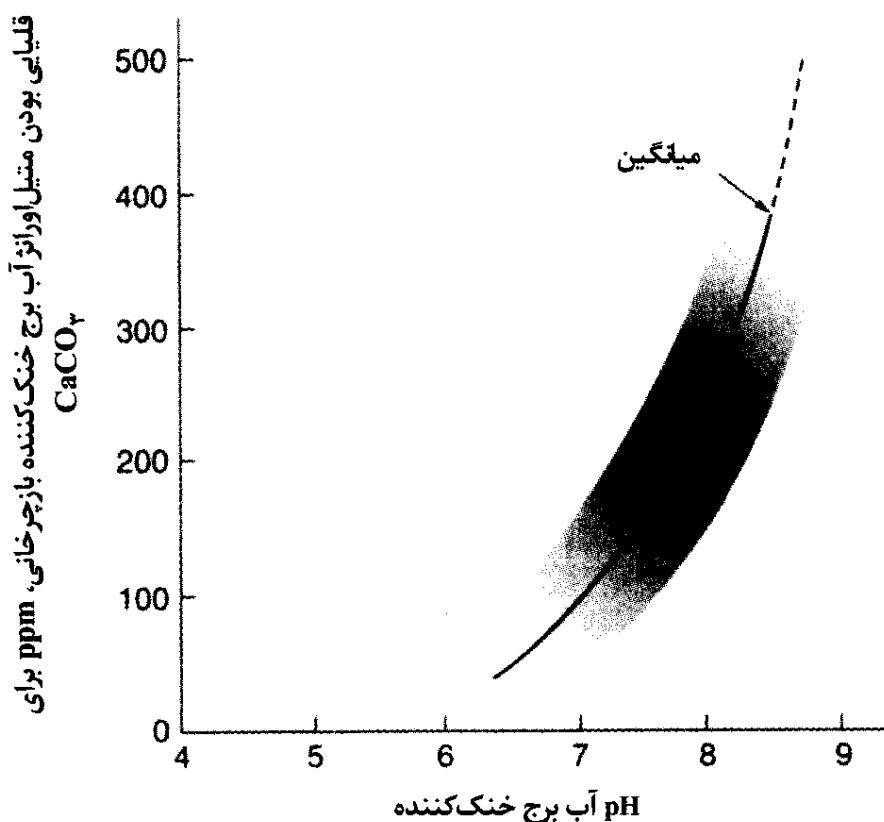
مشکل سازترین جرم معدنی، کربنات کلسیم است، زیرا این ترکیب کمترین

انحلال پذیری در آب سیستم بازچرخانی را دارد. بازدارنده‌هایی به منظور افزایش میزان انحلال کربنات کلسیم و سایر املاح معدنی به کار گرفته می‌شوند، اما حتاً با وجود استفاده از این مواد بازدارنده، محدود کردن تراکم اضافی مواد معدنی با اعمال فرآیند زیرآب‌کشی الزامی است. فرآیند زیرآب‌کشی میزان تراکم قلیایی‌ها، سختی کلی آب و سیلیکا را نیز محدود می‌کند.

برای جلوگیری از رسوب جرمی کربنات کلسیم میزان قلیایی بودن باید محدود شود. خاصیت قلیایی بودن از بنیان بی‌کربنات و کربناتی که با کلسیم و منیزیم ترکیب شده و کربنات کلسیم و کربنات منیزیم تشکیل می‌دهد ناشی می‌شود (کربنات کلسیم که ضریب انحلال کمتری نسبت به کربنات منیزیم دارد، اول تشکیل می‌شود). قلیایی بودن، نه تنها به منظور جلوگیری از رسوب کربنات کلسیم بلکه برای ممانعت از شرایط pH بالا که به بخش‌هایی از سیستم که شامل فولاد گالوانیزه، برنج و یا اسکلت چوبی برج خنک‌کننده آسیب می‌رساند نیز باید محدود شود.

در شرایطی که قلیایی بودن به میزان 500 میلی‌گرم در لیتر است، مقدار pH آب برج خنک‌کننده تقریباً 8.7 پیش‌بینی می‌شود. این ارزیابی بر اساس میانگین pH آب برج خنک‌کننده است و در تصویر (40) نشان داده شده است. این نمودار میانگین مقدار pH پیش‌بینی شده را نشان می‌دهد که این مقدار با شرایط جوی تغییر می‌کند. مثلاً، اگر جوی دارای مقادیر قابل توجهی دی‌اکسید کربن با دی‌اکسید گوگرد باشد، در این صورت این گازها تمایل به خنثا نمودن خاصیت قلیایی آب برج خنک‌کننده دارند. به این دلیل میزان قلیایی بودن آب برج خنک‌کننده همواره حاصل جمع ریاضی ضرایب قلیایی آب جبرانی نیست و بنابراین شرایط از نقطه‌ای به نقطه دیگر تفاوت می‌کند و حداقل میزان قلیایی بودن در حد 500 تا 800 میلی‌گرم در لیتر برای کربنات کلسیم فقط به عنوان یک معیار راهنمای تعیین شده است.

زنگار سفید. یکی از معمولی‌ترین مشکلات ناشی از قلیایی بودن بالا پدیده «زنگار سفید» است. زنگار سفید حاصل خوردگی فلز روی، کربنات روی ($ZnCO_3$) و بنیان کربنات روی $[3Zn(OH)_2ZnCO_3 \cdot H_2O]$ است. این مواد به شکل جرم مومی سفیدرنگی بر روی سطوح فلزی گالوانیزه برج خنک‌کننده تجمع می‌کنند. زنگار سفید پدیده پیچیده‌ای است که بر اثر خاصیت قلیایی بالا در آب برج خنک‌کننده و خاصیت



تصویر(40): میانگین pH آب برج خنک‌کننده به طور معمول ۹۰ درصد میزان pH در محدود نوار سایه‌دار است. (کتاب راهنمای طراحی سیستم شرکت کریر بخش ۵. «تامین آب»)

با فعالی شدید در ورقه‌های فلزی گالوانیزه‌ای که به نحوی ضعیف غیرفعال می‌شوند و پیامد تغییر اجرا شده در فرآیند گالوانیزاسیون از اواسط دهه ۸۰ است، ناشی می‌شود (مرجع 22).

این مشکل را می‌توان با تمیز و فعال کردن برج ساخته شده از فلز روی گالوانیزه پیش از راهاندازی به وسیله یک تمیزکننده شامل ترکیبات فعال‌کننده فسفات، کنترل کرد. استفاده از بازدارنده‌های خوردگی که محتوی فسفات یا فسفانات هستند و تثبیت مقدار pH آب برج به میزان ۷.۰ تا ۸.۰ باید در این برنامه اجرا شود.

مقدار کلی سختی آب برای جلوگیری از تشکیل جرم سولفات‌کلسیم، باید محدود شود. سولفات‌ها به طور طبیعی در آب بازچرخش وجود دارند و یا برای کنترل pH به شکل اسیدسولفوریک به آب اضافه می‌شوند.

زمانی که تجمع سختی‌های کلسیمی بیش از میزان انحلال سولفات‌کلسیم شد، از محلول خارج خواهد شد. در این صورت بازدارنده‌ها با تشکیل یک محلول فوق

اشباع شده، ضریب انحلال املاح کلسیم را افزایش می‌دهند. اما فرآیند زیرآب‌کشی برای حداکثر محدودسازی باید اجرا شود.

وقتی که سختی‌ها به شکل کربنات یا بی‌کربنات وجود دارند، حد کلی سختی کربنات کلسیم معمولاً 400 تا 600 میلی‌گرم در لیتر است. اما در جایی که از اسید سولفوریک استفاده می‌شود و یا نمک سولفات (که از نظر حداقل حلایق دومین نمک کلسیم است) به طور طبیعی به مقدار زیاد در آب وجود دارد (در آب بعضی چاهها) این میزان معیار کمی بالاتر است.

اگر میزان سولفات کلسیم از 1200 تا 1500 میلی‌گرم در لیتر تجاوز کند (نسبت به میزان کربنات کلسیم محاسبه شود) در این صورت تمایل به رسوب دارد و یا وابسته به ترکیبات شیمیایی آب، محلول اشباع شده تشکیل می‌شود. بازدارنده‌های جرم می‌توانند حلایق را از بیشترین حد طبیعی افزایش دهند و تا ۱.۶ برابر حالت اشباع برسانند، اما معیار 1200 میلی‌گرم در لیتر به طور معمول برای محدود کردن چرخه تراکم و کنترل شرایط نامطلوب استفاده می‌شود.

سیلیکا نیز باید برای جلوگیری از تشکیل جرم سیلیکا محدود شود و معیار حلایق سیلیکا در شرایط دما است. محدود کردن مقدار سیلیکا بر اساس حلایق دی‌اسیدسیلیس (SiO_2) در دمای تعیین شده برای سیستم خنک‌کننده در مجموعه تهویه مطبوع انجام می‌شود. سیلیکا به طور معمول تا حد تقریبی 150 میلی‌گرم در لیتر قابل حل است. در صورت تراکم بیش از این اندازه، از مایع خارج می‌شود. سایر عوامل، مانند وجود یک جرم‌گیر، حضور نمک منیزیم و یا سایر املاح معدنی و قلیایی بودن آب بر تراکم معیار تاثیر می‌گذارند، اما در صورتی که عامل اصلی سیلیکا باشد، این معیار محدودکننده معمولاً به عنوان راهنمای تعیین حداکثر چرخه‌های تراکم‌های مجاز به کار برده می‌شود.

سطوح حداکثر سختی‌های قلیایی و سیلیکا پیشنهادی با استفاده از جرم‌گیر در جدول (11) نشان داده شده‌اند.

پس از برقرار شدن معیارهای محدودکننده برای حداکثر مواد معدنی محلول در آب یک سیستم سرمایش بازچرخانی، ضروری است که با فرآیند زیرآب‌کشی مقدار این مواد معدنی در حد مجاز حفظ شوند. برای اطلاع از میزان حداکثر تراکم‌ها به

جدول (11): حداکثر تراکم مساد جامد معدنی برای برج‌های خنک‌کننده، چگالنده‌های تبخیری، هواشوها و دستگاه‌های کوئل افشارهای

500 میلی‌گرم در لیتر	قلیابی بودن کل، کربنات کلسیم
1200 میلی‌گرم در لیتر	سختی کلی به شکل کربنات کلسیم
150 میلی‌گرم در لیتر	سیلیکا به شکل دی‌اسیدسیلیس

جدول (11) مراجعه کنید. حداکثر چرخه تراکم توصیه شده برای هر یک از مواد که در جدول (11) فهرست شده‌اند، از تقسیم مقادیر حداکثر ذکر شده در این جدول بر مقدار دریافت شده از هر یک از مواد در نتیجه تجزیه آب جبرانی به دست می‌آید. برای تشریح چگونگی محاسبه، نتیجه تجزیه آب شهرها ریسبورگ ایالت پنسیلوانیا را در نظر می‌گیریم (تصویر 41) و حداکثر چرخه تراکم قابل قبول برای سیستم برج خنک‌کننده در این شهر را تعیین می‌کنیم.

در زیر حدود ناخالصی‌ها یا وجود آن ناخالصی در آب جبرانی به منظور تعیین حداکثر چرخه‌های تراکم، مقایسه شده‌اند.

نتایج تجزیه حداکثر چرخه‌های تراکم

قلیابی بودن:

$$\frac{\text{میزان حداکثر}}{\text{مقدار موجود در آب جبرانی}} = \frac{500 \text{ میلی‌گرم در لیتر}}{167 \text{ میلی‌گرم در لیتر}} = 3 \times$$

سختی:

$$\frac{\text{میزان حداکثر}}{\text{مقدار موجود در آب جبرانی}} = \frac{1200 \text{ میلی‌گرم در لیتر}}{149 \text{ میلی‌گرم در لیتر}} = 8 \times$$

سیلیکا:

$$\frac{\text{میزان حداکثر}}{\text{مقدار موجود در آب جبرانی}} = \frac{150 \text{ میلی‌گرم در لیتر}}{10 \text{ میلی‌گرم در لیتر}} = 15 \times$$

از جدول (11) در می‌یابیم که حداکثر چرخه تراکم $\times 3$ توصیه شده است. در این تحلیل از کمترین مقدار استفاده می‌شود، زیرا در مقادیر متجاوز از آن، مشکل ناخالصی ذره‌ای نتیجه می‌شود. در این وضعیت، قلیابی بودن آب دلیل مضاعفی



THE METRO GROUP, INC.

50-23 Twenty-Third Street
Long Island City, NY 11101
(718) 729-7200
FAX: (718) 729-8677

CERTIFICATE OF ANALYSIS
WATER ANALYSIS

Divisions:
 Metropolitan Refining
 Consolidated Water Conditioning
 Cosmopolitan Chemical
 Petro-Con Chemical

CLIENT: _____ DATE: _____
 ADDRESS: _____ REPRESENTATIVE: _____ SAMPLE DATE: _____
 HARRISBURG, PA. ANALYSIS NO.: 359065 SOURCE: CITY

pH		7.8	PHOSPHATE	PO ₄	mg/L
P ALKALINITY	CaCO ₃	mg/L	MOLYBDATE	Na ₂ MoO ₄	mg/L
FREE CARBON DIOXIDE	CO ₂	mg/L	NITRITE	NaNO ₂	mg/L
BICARBONATES	CaCO ₃	mg/L	ZINC	Zn	mg/L
CARBONATES	CaCO ₃	mg/L	SPECIFIC CONDUCTANCE	micromhos/cm	870
HYDROXIDES	CaCO ₃	mg/L	TOTAL DISSOLVED SOLIDS	mg/L	601
TOTAL ALKALINITY	CaCO ₃	mg/L	SUSPENDED MATTER		
TOTAL HARDNESS	CaCO ₃	mg/L	BIOLOGICAL GROWTHS TOTAL BACTERIA COLONIES/ML		
SULFATE	SO ₄	mg/L	SPECIFIC GRAVITY @ 15.5°/15.5°C		
SILICA	SiO ₂	mg/L	FREEZING POINT		
IRON	Fe	mg/L	% BY WEIGHT		
CHLORIDE	NaCl	mg/L			
ORGANIC INHIBITOR	PHOSPHONATE	mg/L			

RESULTS:	TREATMENT	TREATMENT CONTROL	FOUND	RECOMMENDED

REMARKS:

تصویر(41): نتیجه تجزیه آب شهر هاریسبورگ، پنسیلوانیا

برای رسوب‌گذاری نمک‌های کربنات و یا شرایط pH بیش از حد می‌شود. اگر یک اسید خنثاساز در سیستم محتوی این نوع آب استفاده شود، خاصیت قلیایی بودن کاهش خواهد یافت و دیگر عامل محدودکننده محسوب نخواهد شد، علاوه بر این در این حالت حداکثر چرخه‌های تراکم به عدد 8.0 که رده دوم جدول است، افزایش می‌یابد.

پس از این که میزان حداکثر چرخه‌های تراکم مجاز در سیستم سرمایش بازچرخانی تعیین شد، نرخ فرآیند زیرآب‌کشی لازم برای حفظ تجمع جامدات به میزان پایین‌تر

از حداکثر قابل محاسبه است. رابطه مکانیکی محاسبه نرخ زیرآب‌کشی نسبت به نرخ تبخیر در یک سیستم سرمایش باز عبارت است از:

$$B = \frac{E}{C - 1}$$

که در این رابطه:

B = نرخ زیرآب‌کشی، گالن در دقیقه (لیتر در دقیقه)

E = نرخ تبخیر، گالن در دقیقه (لیتر در دقیقه)

C = تعداد چرخه‌های تراکم

هدف از اعمال فرآیند زیرآب‌کشی دفع مواد جامد محلول در آب به منظور تامین سطح مجاز حداکثر تعیین شده با در نظر گرفتن حداکثر تعداد چرخه تراکم توصیه شده است. برای رسیدن به این مقدار ثابت حداکثر میزان مواد جامد، مقدار جامداتی که وارد سیستم می‌شوند باید با مقدار مواد جامدی که از سیستم خارج می‌شوند، برابر باشد.

این معادله از نظر ریاضی به شکل زیر بیان می‌شود:

$$BCX = MX$$

(مواد جامد ورودی) = (مواد جامد خروجی)

که در این معادله:

C = تعداد چرخه‌های تراکم

B = نرخ زیرآب‌کشی، گالن در دقیقه (لیتر در دقیقه)

M = آب جبرانی، گالن در دقیقه (لیتر در دقیقه)

X = تراکم مواد جامد در آب جبرانی (ppm، میلی‌گرم در لیتر یا گرم در گالن)

نرخ آب جبرانی در سیستم سرمایش مدار باز با بار سیستم متناسب است و معادل حاصل جمع نرخ تبخیر و هر نوع اتلاف بر اثر وزش باد، سرریز یا زیرآب‌کشی است.

رابطه زیر بیان‌کننده این تناسب است:

$$M = E + B$$

که در این رابطه M کل نرخ آب جبرانی و E نرخ تبخیر است. با جایگزین کردن این مقادیر در رابطه (1) خواهیم داشت:

$$BCX = (E + B)X$$

این رابطه را برای B حل می‌کنیم:

$$B = \frac{E}{C - 1}$$

بنابراین زیرآب‌کشی معادل کل اتلاف آب از سیستم بازچرخانی به صورت نشتی پمپ، سرریز شدن، اثر وزش باد و زیرآب‌کشی واقعی است. مجموع کلیه این عوامل باید به میزانی باشد تا تعداد چرخه‌های تراکم را پایین‌تر از حد اکثر توصیه شده حفظ کند. برای ارزیابی مطلوب بودن کل زیرآب‌کشی در یک سیستم، تعداد چرخه‌های تراکم با یک آزمایش ساده کلرید اندازه‌گیری می‌شود. بنابراین اندازه‌گیری کلریدها در آب بازچرخش، دقیقاً نشان‌دهنده میزان تراکم آب جبرانی سیستم است.

تعداد چرخه‌های تراکم با مقایسه میزان کلریدها موجود در آب جبرانی با میزان کلریدها موجود در آب بازچرخش به دست می‌آید:

$$\frac{\text{میزان کلریدها موجود در آب بازچرخش}}{\text{میزان کلریدها موجود در آب جبرانی}} = \frac{\text{تعداد چرخه‌های تراکم}}{\text{میزان کلریدها موجود در آب جبرانی}}$$

کنترل جرم. برای جلوگیری از به وجود آمدن جرم بر اثر نمک‌های معدنی اعمال فرآیند زیرآب‌کشی ضروری است. مواد بازدارنده جرم برای به حداقل رساندن اتلاف آب در فرآیند زیرآب‌کشی و نگهداری تراکم جامدات در شرایط مطلوب مندرج در جدول (9)، نیز باید استفاده شوند. بدون مواد بازدارنده جرم، حفظ میزان تجمع قلیابی بودن بی‌کربنات و سختی آب در حد پایین‌تر از مقادیری که در جدول (11) ذکر شده‌اند، غیرممکن خواهد بود.

تعذیبه اسید. یکی از روش‌های جلوگیری از تشکیل جرم، استفاده از اسید برای کنترل شاخص اشباع لانگلیر است. اسید خاصیت قلیابی بی‌کربنات را خنثا می‌کند. اسیدها می‌توانند برای حفظ pH آب به میزان نزدیک 7.0 همراه با پایین نگهداشتن خاصیت قلیابی آب در زیر حد اشباع استفاده شوند. در این روش، کنترل بسیار دقیق pH و خاصیت قلیابی بودن ضروری است و مهم‌تر از آن کنترل و دقت در زدودن اسید است تا از شرایط افزایش خوردگی ممانعت شود.

نرم‌کننده‌های آب. یکی دیگر از روش‌های کنترل جرم در سیستم‌های بازچرخانی مدار باز استفاده از نرم‌کننده‌های آب با خاصیت تبادل یونی است. با کاهش سختی آب، بدون افزایش pH در شرایط اشباع، می‌توان تعداد چرخه‌های تراکم بیشتری ایجاد کرد. هر چند که برای تاثیر بیشتر این روش باید افزودن هم‌زمان اسید به منظور کاهش خاصیت قلیایی آب نیز انجام شود. بنابراین نتیجه می‌شود که این روش مزیتی نسبت به کاهش خاصیت قلیایی بودن بدون استفاده از نرم‌کننده‌ها ندارد. نرم‌کننده‌های تبادل یونی در حد بازدهی کمتر از ۱۰۰ درصد در سراسر چرخه فرآیند نرم‌کنندگی عمل می‌کنند. بنابراین مقادیر ناچیزی از سختی‌ها قبل از تشکل مجدد در مقابل نرم‌کننده‌ها بی‌اثر باقی می‌مانند.

به کارگیری بازدارنده‌های شیمیایی در سیستم‌های بازچرخانی مدار باز بازدارنده جرم، متلاشی‌کننده‌ها و ترکیبات کنترل‌کننده رسوب. اقتصادی‌ترین و موثرترین روش کنترل جرم استفاده از مواد بازدارنده جرم همراه و یا بدون کاهش خاصیت قلیایی بودن است. مواد بازدارنده جرم با افزوده شدن به میزان خیلی کم ۱ تا ۲۰ میلی‌گرم در لیتر به آب بازچرخش سیستم، تمایل به ایجاد جرم را کاهش خواهند داد. این کاهش میزان تشکل جرم‌ها با حفظ نمک‌های تشکیل‌دهنده جرم موجود در محلول به مقدار کمتر از حد اشباع و جلوگیری از ایجاد محلول‌های فوق اشباع شده یا دخالت در فرآیند رشد کریستال‌های جرمزا و تولید جرم و یا متلاشی کردن ذرات متتشکله جرم و ممانعت از چسبیدن آن‌ها به سطوح محیط انتقال حرارت قابل اجرا است. بازدارنده‌های جرم در عمل باید هر سه هدف را برآورده کنند و از تشکیل نمک‌های کربنات، سیلیکات، سولفات، کلسیم و منیزیم جلوگیری کنند. مواد بازدارنده جدید نیز کنترل‌کننده رسوب‌های معمولی و خاص و تشکیل انواع جرم‌ها و حتا اجرام بیولوژیکی هستند.

اولین ماده بازدارنده جرم مورد استفاده هگزامتفاسفات‌سدیم بود که با افزوده شدن به میزان ۲ تا ۳ میلی‌گرم در لیتر از رسوب‌گذاری کربنات‌کلسیم در محلول‌های فوق اشباع شده جلوگیری می‌کرد. این پدیده درمان آستانه‌ای^۱ نامیده شده زیرا پلی‌فسفات میزان کربنات‌کلسیم موجود در محلول را در حد آستانه رسوب‌گذاری

حفظ می‌نماید.

پس از آن، هگزامتفسفات‌سدیم را در آماده‌سازی آب سرمایش به کار بردند و این پلی‌فسفات به طور گستره‌ای به عنوان بازدارنده جرم و خوردگی مورد استفاده قرار گرفت. هنوز پلی‌فسفات‌های میزان ۰.۵ تا ۵ میلی‌گرم در لیتر به منظور جلوگیری از تشکیل جرم در سیستم‌های کندانسور به کار برد می‌شوند. با وجود این چند عیب اجرایی در مورد بازدارنده‌های جرم پلی‌فسفاتی مطرح می‌شوند. این مواد به هیدرولیز شدن و ایجاد ارتوفسفات‌تمایل دارند که این خاصیت تاثیر بازدارندگی آستانه‌ای جرم را از بین می‌برد. در واقع، رسوب‌گذاری ارتوفسفات‌های کلسیم و منیزیم می‌تواند سبب ایجاد جرم‌های نرم بر روی سطوح محیط انتقال حرارت شوند که این جرم‌ها «لای» نامیده می‌شوند. علاوه بر این، افزودن بیش از حد پلی‌فسفات‌ها به میزان بیش از ۲۰ میلی‌گرم در لیتر می‌تواند موجب تشکیل گل‌ولای غیرقابل انحلال فسفات‌کلسیم شود و در نهایت، توانایی فسفات‌ها در حفظ کربنات کلسیم موجود در محلول سبب کاهش شدید pH در شرایطی که باید میزان pH بالا باشد (بیش از ۸.۰) در آب سیستم بازچرخانی می‌شود. از اینجایی که در دهه ۱۹۶۰ سایر بازدارنده‌های جرم (مواد برتر) تولید و محصولات جدید به تدریج وارد بازار شدند. پلی‌اکریلیت (و مشتقات کووتری‌پلیمر آن)، فسفانات، اسید پلی‌مالئیک و اسید فسفینوکاربوکسیلیک نشان دادند که بدون داشتن عیوب ذکر شده از پلی‌فسفات‌ها بازدهی و تاثیرگذاری بهتری دارند. پلیمرهای سنتیک مانند پلی‌اکریلیت‌های با وزن مولکولی پایین، پلی‌متاکریلیت‌ها، پلی‌مالائیت‌ها، پلی‌هیدرکسیل الکیل اکریلیت و پلی‌اکریلامیدها با پلی‌فسفات‌ها و سایر مواد غیرآلی ترکیب شدند تا مواد بازدارنده چندمنظوره را تولید کنند. تعدادی از پراستفاده‌ترین مواد آلی برای جلوگیری از تشکیل جرم و کنترل خوردگی شامل فسفات‌های آلی مختلف هستند. فسفات‌های HEDP، ATMP و PBTC به مقادیر بسیار کم (۳ تا ۵ میلی‌گرم در لیتر به عنوان مواد «فعال») به طور اختصاصی در درمان‌های آستانه‌ای و دگرگون‌سازی کریستال‌ها به منظور جلوگیری از فرآیند رسوب‌گذاری کربنات‌کلسیم، سولفات و فسفات استفاده می‌شوند.

کلیه پلیمرها، فسفانات‌ها و فسفات‌های آلی مزیت شاخص و عالی در جلوگیری از تشکیل جرم در دامنه وسیعی از شرایط pH و دما بدون عیوب ذکر شده در مورد فسفات‌های غیرآلی را دارند. بسیاری از پلیمرها، کوپلیمرها و ترپلیمرهایی که امروزه

مورد استفاده قرار می‌گیرند در تشکیل گلولای روی، آهن و فسفات و تثبیت شرایط آب یا کنترل مواد رسوب‌زا بسیار موثر بوده و مشابه مواد ابتدایی در جلوگیری ایجاد جرم کربنات کلسیم نیز کارساز هستند.

بازدارنده‌های خورдگی. مشابه دیگ‌ها، فرآیند خوردگی در سیستم‌های سرمایش آبی باز نیز با ترکیبات تثبیت‌کننده محیط فرآیند و بازدارنده خوردگی، کنترل می‌شود. در سیستم‌های سرمایش باز به علت این‌که سیستم‌ها به طور مستمر اکسیژن‌زادایی می‌شوند، دفع اکسیژن با دستگاه‌های اکسیژن‌زدا مقرن به صرفه نیست. بنابراین از مواد بازدارنده خوردگی موثر در محیط‌های محتوی اکسیژن باید استفاده شود. سیستم‌های سرمایش بازچرخانی برخلاف دیگ‌ها، محتوی انواع فلزها و آلیاژها هستند و شرایط عمل ایجاد شده و بازدارنده‌های مورد استفاده باید با این سیستم چندفلزی سازگار باشند. مشکل خاص این سیستم‌ها، خوردگی گالوانیک حاصل از کوپلهای بای مثال است.

فرآیندهای آماده‌سازی در مورد سیستم سرمایش بازچرخانی در وله اول باید شامل یک عامل کنترل کننده pH برای کنترل جرم و خوردگی باشند. معمولاً مقدار pH در دامنه 6.5 تا 9.0 وابسته به نوع خوردگی و ماده بازدارنده جرم مورد استفاده، ایجاد می‌شود. مقادیر pH کمتر از این حد سبب می‌شود که آب بازچرخش بیش از اندازه خورنده شود و مقادیر بالاتر از این حد سبب خوردگی امفوتریک¹ فلز (در روی، برنج و آلومینیم) و ایجاد شرایط تشکیل جرم می‌شود.

در مناطق جغرافیایی که محیط جو به نحوی است که شرایط اسیدی در سیستم‌های بازچرخانی باز ایجاد می‌شود، مواد خنثاکننده نظیر سود سوزآور و کربنات‌سدیم (جوش‌شیرین) به منظور تامین مقدار pH در دامنه خنثا مطلوب می‌توان استفاده کرد. شرایط مذکور در مناطق وسیع شهری و یا مناطقی که در مجاورت دود اسیدی حاصل از دودکش دیگ‌ها و سوختن مواد قرار دارند ایجاد می‌شوند. برخلاف این، در مناطقی که آب جبرانی بیش از حد قلیایی است، برای تامین pH مناسب به منظور کنترل جرم، افزودن اسید به آب طبق آنچه گذشت ضروری است. در دامنه pH معادل 6.5 تا 9، با افزودن مواد بازدارنده خوردگی به آب بازچرخش می‌توان فرآیند خوردگی را تحت کنترل قرار داد. بازدارنده‌ها، موادی هستند که شرایط محیطی

را الزاماً تغییر می‌دهند و مانند مانع مابین محیط خورنده و سطوح فلزی عمل می‌کنند. این مواد هنگام افزوده شدن به آب بازچرخش با انجام واکنش شیمیایی با سطح فلز و یا جذب فیزیکی یا شیمیایی بر روی سطوح فلز، تشکیل دهنده یک مانع محافظت هستند. یک فلز فعال به واکنش خورنده‌گی با استفاده از بازدارنده‌هایی که بدین ترتیب روی سطح آن عملکرد دارند، نسبت به خوردگی غیرفعال می‌شود. انواع گوناگون و ترکیبات متعددی به عنوان مواد بازدارنده در سیستم‌های سرمایش باز مورد استفاده قرار می‌گیرند. به طور کلی این مواد به چهار گروه اصلی مولیبیدات، روی، فسفات و بازدارنده‌های آلی طبقه‌بندی می‌شوند.

بازدارنده‌های مولیبیدات. این نوع بازدارنده‌ها بر اساس خاصیت مولیبیدات به عنوان یک اکسیدکننده ضعیف برای فلزهای آهنی و تشکیل دهنده لایه غیرفعال اکسیدی عمل می‌کنند. مولیبیدات‌ها در ترکیب با سایر بازدارنده‌ها نظیر روی، فسفات و منشا آلی و به منظور ایجاد اثر چندگانه برای داشتن بهترین فرمول‌بندی در جلوگیری از خوردگی به کار می‌روند. این فرمول‌بندی‌های ترکیبات بازدارنده دارای تاثیر کلی بهتری نسبت به مجموع تاثیرات جداگانه مواد هستند و مخلوط چندگانه (سینرزستیک بلند)¹ نامیده می‌شوند. این ترکیب شامل بازدارنده‌های خوردگی فلزهای غیرآهنی نظیر مرکاپتوبنزوتیازول²، بنزوتروتیازول و تولیل تریازول نیز خواهد بود. این مواد برای محافظت از آلیاژهای مس نظیر برنج زرد، برنج بستر و فلزات دریاداری (آدمیرالتی)³ ضروری هستند. مخلوط‌های بازدارنده مولیبیدات معمولاً به میزان کم در سیستم آبی سرمایش باز استفاده می‌شود و محلولی به غلظت ۵ تا ۱۰ میلی‌گرم سدیم مولیبیدات تشکیل می‌دهند. علاوه بر این برنامه‌های متعددی در آماده‌سازی آب با به کارگیری پلیمرهای آلی (کلیه مواد آلی) اجرا می‌شوند که شامل مقادیر بسیار کمی مولبیدنوم هستند و در منطقه جغرافیایی ما میزان ۱ تا ۱.۵ ppm عنصر مولبیدنوم در سیستم‌های سرمایش رایج است. مولبیدنوم اصولاً به عنوان شاخص آزمایشگاهی در نظر گرفته می‌شود زیرا این عنصر به آسانی و دقیق زیاد قابل اندازه‌گیری است. مزیت دوم مولبیدنوم، نقش آن به عنوان ماده افزودنی برای ایجاد عملکرد بهتر در

1. Synergistic blends

2. Mercaptobenzo thiazole

3. Admiralty metal

سایر بازدارنده‌های آلی نظیر توتیل‌تریاژول (TTA) برای فلز مس و اسیدهیدروکسی فسفینوکاربوکسیلیک (HPCA) برای آهن و فولاد است.

بازدارنده‌های روی. برخی از موثرترین بازدارنده‌ها از فلز روی به عنوان بازدارنده کاتدیک در ترکیب با سایر بازدارنده‌ها که تشکیل دهنده عامل تاثیرگذاری در مخلوط بازدارنده هستند، استفاده می‌کنند. بعضی از مخلوطها شامل سیلیکات روی، فسفات روی، مولیبیدات روی، پلیفسفات روی آلی و ترکیبات متعدد فسفات آلی روی هستند.

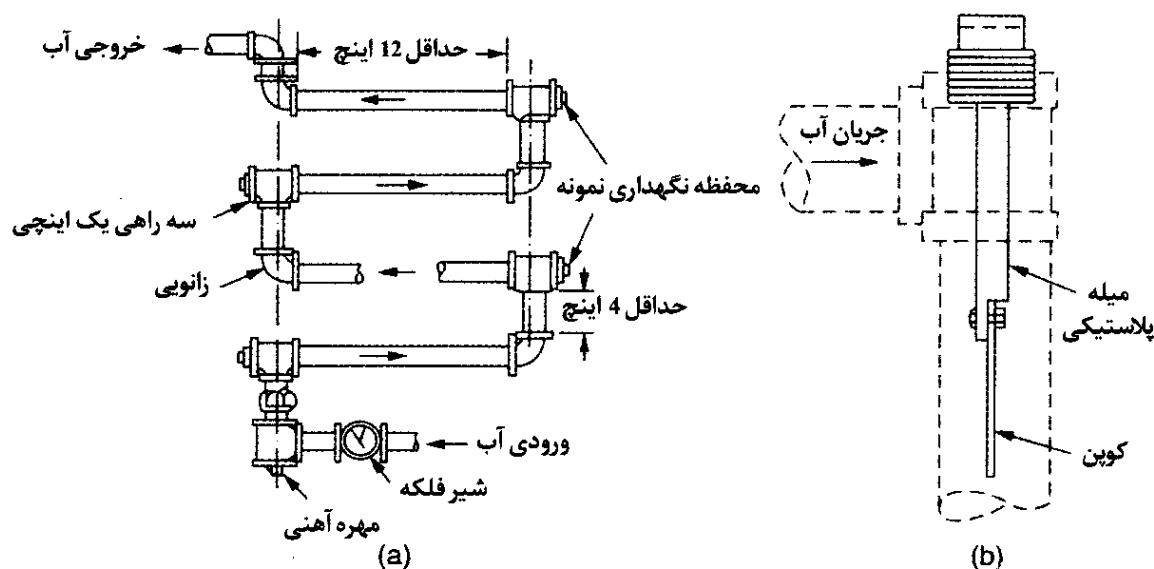
غلظت روی وابسته به نوع فرمول‌بندی، معمولاً در حد ۲ تا ۵ میلی‌گرم در لیتر حفظ می‌شود. استانداردهای آب قابل شرب در ایالات متحده، میزان فلز روی موجود در آب آشامیدنی را ۵ میلی‌گرم در لیتر محدود کرده است و در مناطقی که این استاندارد اعمال می‌شود، میزان فلز روی باید کمتر از این مقدار حداقل حفظ شود. در بعضی موارد، تخلیه فلز روی حتا به این میزان نیز می‌تواند برای حیات آبزیان سمی باشد. بنابراین تخلیه فاضلاب به درون برکه‌های ماهی، نهرها و سایر آب‌های عمومی حتا باید محتوی این مقدار فلز روی نیز نباشد. برخی از ضوابط تخلیه فلز روی را محدود به غلظت ۱ میلی‌گرم در لیتر یا حتا کمتر می‌کند. در این‌گونه موقعیت باید از بازدارنده‌های روی استفاده کرد.

بازدارنده‌های فسفات. مخلوط بازدارنده فسفات همراه با پلیمرهای بازدارنده از تشکیل گل‌ولای فسفات در سیستم‌های پیشگیری از خوردگی قلیایی به کار برده می‌شود. تولید بازدارنده‌ها و متلاشی‌کننده‌های بسیار موثر نظیر کوپلیمرهای اسیداکریلیک، پلیمراسیدسولفوریک، پلیاسترن سولفونات شده و بازدارنده‌ها بنیان فسفات اسیدمالئیک مقبولیت شایان توجهی پیدا کرده است. میزان ارتوفسفات ایجاد شده از ۵ تا ۲۰ میلی‌گرم در لیتر متغیر است. این بازدارنده‌ها در pH‌های بالا و قلیایی بسیار موثر هستند و به طور معمول در pH‌های ۸ تا ۹ مورد استفاده قرار می‌گیرند. در مواقعی که کنترل افزایش تولید جرم ضروری است از فرمول‌بندی‌های شامل مخلوط‌های پیشرفت‌پلیمر و فسفات استفاده شود. بازدارنده‌های آلی آزول فلزات غیرآهنی نیز برای تکمیل اثر حفاظتی ضروری هستند.

بازدارنده‌های آلی. این نوع بازدارنده‌ها مواد کاملاً آلی هستند که از نظر بیولوژیکی می‌توانند تاثیرات متغیر داشته و غیرآلینده هستند. البته، این بازدارنده‌ها مقداری

مواد خارجی آلی به آب خروجی سیستم سرمایش اضافه می‌کنند ولیکن تغییر نسبی ترکیبات در آب خروجی مناسب‌تر از افزوده شدن مولیبیدات، فسفات یا ترکیبات روی است. بازدارنده‌های آلی شامل مخلوطی از ترکیبات آلی و غیرآلی است که از نظر خاصیت بازدارندگی خودگی، شناخته شده‌اند و در اختلاط با یکدیگر تمایل به تاثیرگذاری واحدی دارند. این مواد شامل آزول‌ها و اسیدهیدروکسی فسفینوکاربوکسیلیک هستند.

آزمایش خوردگی. اساس عملکرد نسبی انواع برنامه‌های موجود برای آزمایش خوردگی مبتنی بر گزارش‌های واقعی میدانی و بازبینی خوردگی‌ها است. این شاخص‌ها با قرار دادن کوپن‌های آزمایش خوردگی درون آب سیستم آبی سرمایش باز تعیین می‌شود. این روش آزمایش خوردگی از طرف اتحادیه ملی مهندسان متخصص خوردگی^۱ تشریح شده است و شامل استاندارد اتحادیه ASTM در مورد «آزمایش خوردگی آب سرمایش صنعتی (روش آزمایش کوپن)» است. کوپن آزمایش در یک «غلاف» گذاشته شده و مشابه تصویر (42) در سیستم آب بازچرخانی قرار می‌گیرد.



تصویر (42): ابزار آزمایش کوپنی خوردگی

گزارش آزمایش خوردگی، شامل نرخ محاسبه خوردگی به واحد میلی‌اینج در سال یا میکرون در سال و سایر اطلاعات مربوط نظیر عمق فرسودگی، تغییرات و

نوع رسوب‌های خورنده خواهد بود. نرخ خوردگی برای فولاد نرم در مدت 30 روز در یک سیستم سرمایش بازچرخانی، به طور کلی طبق جدول (12) ارزیابی می‌شود. نرخ خوردگی فولاد نرم را می‌توان بر اساس طول عمر لوله فولادی 6 اینچی (152.4 میلی‌متر) استاندارد 40 (schedule 40) نیز با فرض این‌که خوردگی از محل اتصال شروع می‌شود، برآورد کرد (جدول 13).

جدول (12): نرخ خوردگی فولاد نرم در آزمایش 30 روزه

نرخ خوردگی mils/(MDD)*	کنترل خوردگی
>5 (>27.3)	ضعیف
2-5 (10.9-27.3)	خوب
0-2 (0-10.9)	عالی

* MDD = میلی‌گرم در دسی متر مربع در روز

منبع = مرجع شماره 10

جدول (13): ارزیابی نرخ‌های خوردگی برای فولاد نرم

نرخ خوردگی mils در سال (MDD)*	نیمه عمر لوله فولادی 6 اینچی (152.4 میلی‌متر) استاندارد 40، واحد سال	کنترل خوردگی
0-2 (0-10.9)	>70	عالی
2-5 (10.9-27.3)	70-28	خوب
5-8 (27.3-43.7)	28-17 $\frac{1}{2}$	مناسب
8-10 (43.7-54.6)	17 $\frac{1}{2}$ -14	ضعیف
>10 (>54.6)	<14	غیرقابل تحمل

* MDD = میلی‌گرم در دسی متر مربع در روز

به همین ترتیب، نرخ خوردگی در لوله‌های مسی کندانسور با سنجه 6 (Gauge) براساس عمر مفید برآورد شده (با فرض این‌که خوردگی یکنواخت باشد) طبق جدول (14) قابل ارزیابی است. روند خوردگی پیش‌بینی شده با مواد بازدارنده خوردگی جدید (بدون کروم) موجود در بازار امروز به شرح زیر است:

فولاد کربن‌دار: صفر تا 2 میلی‌اینچ در سال

مس: صفر تا 0.2 میلی‌اینچ در سال

جدول (14): ارزیابی نرخ‌های خوردگی برای لوله مسی کندانسور

کنترل خوردگی	نرخ خوردگی، mils در سال	عمر ارزیابی شده لوله‌کشی مسی	کندانسور با عیار ۱۶، واحد سال	(MDD)*
عالی	>65	0-1 (0-6.2)		
خوب	65-32 $\frac{1}{2}$	1-2 (6.2-12.4)		
مناسب	32 $\frac{1}{2}$ -21 $\frac{2}{3}$	2-3 (12.4-18.6)		
ضعیف	21 $\frac{2}{3}$ -16 $\frac{1}{4}$	3-4 (18.6-24.8)		
غیرقابل تحمل	<16 $\frac{1}{4}$	>4 (>24.8)		

* میلی‌گرم در دسی متر مربع در روز

کنترل رشد مواد آلی آب در سیستم بازچرخانی باز

سیستم‌های آبی بازچرخانی باز دائما در معرض هوای آزاد و آلینده‌های موجود در آن هستند. میکروارگانیسم بیولوژیکی نیز شامل این آلینده‌های هوای می‌شوند که این‌گونه مواد در شرایط مناسب در آب گرم برج خنک‌کننده رشد و تعذیه می‌کنند. عمده‌ترین شکل ارگانیسم‌های بیولوژیکی ساکن در آب برج خنک‌کننده شامل گل‌ولای باکتری‌دار، جلبک و قارچ است. هاگ‌ها و تخم‌های این ارگانیسم‌ها که در جو وجود دارند به ذرات گرد و غبار و سایر ذرات هوایی می‌شوند. هنگامی که این نوع آلینده‌ها توسط شسته شدن با آب برج خنک‌کننده از هوای جدا می‌شوند. محیط برج را مکانی مناسب برای رشد و تکثیر می‌یابند. رشد این موجودات سبب ایجاد مشکلات جدی از قبیل خوردگی، جرم‌گذاری، مسدود کردن مجاری و تسریع فرایند تشکیل رسوب‌ها می‌شود. رشد این عوامل نه تنها سبب اخلال در جریان آب، بلکه موجب کاهش بازدهی انتقال حرارت و افزایش اتلاف انرژی نیز می‌شود.

رشد بیولوژیکی را با موادی که قابلیت محدود کردن رشد یا از بین بردن این نوع ارگانیسم‌ها را بدون آسیب وارد کردن به سیستم و یا محیط زیست دارند، می‌توان کنترل کرد. این مواد را میکروب‌کش، دفع‌کننده بیولوژیکی، دفع‌کننده گل‌ولای، جلبک‌زدا و قارچ‌زدا می‌نامند و از نظر طبقه‌بندی در ردۀ آفت‌کش‌ها قرار دارند که از طرف آژانس حفاظت محیط زیست کنترل و ثبت شده‌اند. مواد آفت‌کشی که در آماده‌سازی آب سرمایش مورد استفاده قرار می‌گیرند را میکروب‌کش می‌نامند.

دوز ضدغ Fonی با این مواد به مقداری است که در صورت تماس محلول ضدغ Fonی با ارگانیسم در طول چند ساعت نابودی کامل حاصل شود. دوز بازدارنده عبارت است

از مقداری که رشد ارگانیسم را متوقف یا به حداقل برساند. دوز بیواستاتیک به مقداری اطلاق می‌شود که با اعمال آن (معمولاً به طور مستمر) تعداد میکرووارگانیسم‌ها در سطح پایین و قابل قبولی ثابت می‌ماند. به طور کلی، در دوزهای بیواستاتیک به علت نرخ پایین تغذیه به سیستم و هزینه کم در مقایسه با میکروبکش‌های غیراکسیدکننده فقط از میکروبکش‌های اکسیدکننده استفاده می‌شود.

میکروبکش‌های اکسیدکننده. عمدت‌ترین میکروبکش مورد استفاده در سیستم‌های آبی بازچرخشی کلراست که این ماده یک میکروبکش اکسیدکننده است. استفاده بیش از حد از کلر سبب صدمه زدن به سازه‌های چوبی و مواد آلی به کار رفته شده در برج‌های خنک‌کننده می‌شود. معمولاً این ماده در سیستم‌های بزرگ که مجهز به دستگاه‌های کنترل تغذیه کلر هستند، به کار برده می‌شود. وقتی کلر به صورت مستمر استفاده می‌شود، چگالی کلر آزاد باید در حد ۰.۳ تا ۰.۵ میلی‌گرم در لیتر حفظ شود تا از آسیب رسیدن به مواد سازه‌ای سیستم جلوگیری شود. به منظور تمیزکاری، تغذیه ضربه‌ای (شوک فید) تا ۵۰ میلی‌گرم در لیتر، مشروط به این که این تراکم بالای کلر کمتر از ۸ ساعت حفظ شود و سیستم به طور کامل آب‌شویی و تخلیه شود تا مواد آلی پسمانده و کلر اضافی دفع شوند، می‌تواند اعمال شود. استفاده از کلر تحت یک برنامه زمانی متناوب در جلوگیری از رشد ارگانیسم‌های بیولوژیکی ذره‌ای مشروط بر این که به طور همزمان نوافع تغذیه مستمر کلر به حداقل برسد، نتایج موثری دارد.

کلر یک ترکیب اکسیدکننده قوی است و بنابراین خورنده فلزات و می‌تواند به سازه‌های چوبی و آلی برج خنک‌کننده صدمه وارد کند. علاوه بر این، کنترل تغذیه کلر به میزانی که در محدود ساختن رشد ارگانیسم‌ها موثر بوده و در عین حال به مواد سازه‌ای آسیب وارد نکند، بسیار مشکل است. امروزه، با توجه به این که ترکیب برم خاصیت خورنده‌گی کمتری نسبت به کلر دارد و در دامنه pH مربوط به برج خنک‌کننده موثرتر عمل می‌کند، بیش از کلر استفاده می‌شود.

مواد میکروبکشی که به طور گسترده در برج‌های خنک‌کننده، هوашوها و سایر سیستم‌های آبی بازچرخانی باز به منظور تهويه مطبوع استفاده می‌شود شامل برم، ترکیبات آمونیم چهار واحدی، ترکیبات آلی گوگرد و آلدئیدها هستند. موثرترین

مخلوط شامل هیدروکسی‌فسفونواستات همراه با پلیمرهای آلی و تریاکزول است. سایر میکروب‌کش‌های موثر، ترکیبات مس ارگانوتین^۱ همراه با ترکیبات آمونیم چهار واحدی و مخلوط دی‌برومو-۳-نیتریلو با ایزو‌تیاکزولین و ۱-برومو-۳-کلرو دی‌متیل‌هایدانتون هستند.

میکروب‌کش‌های غیراکسیدکننده. این مواد بهترین کاربرد را در پاک نگهداشت‌سیستم و پیشگیری دارند و در جلوگیری از رشد ارگانیسم‌ها به مراتب استفاده بیشتری تا از بین بردن و یا دفع ارگانیسم‌های موجود دارند. دوزهای ضدغ Fonی کننده این مواد قادر به از بین بردن ارگانیسم‌ها هستند، اما معمولاً استفاده از ترکیبات نافذ در لایه‌های ارگانیسم، به ویژه در موقعی که ارگانیسم‌ها جلبکی هستند به همراه این نوع مواد لازم می‌شود زیرا جلبک‌ها لایه‌ای ضخیم بر روی سطوح تجهیزات تشکیل می‌دهند.

تمیزکاری و ضدغ Fonی یک سیستم آبی خنک‌کننده آلوده شده نیاز به مقدار زیادی شستشوی فیزیکی پرفشار و دفع مواد آلی برای جلوگیری از هجوم مجدد آلاینده‌ها به سیستم دارند. باید دقیق شود که محلول ضدغ Fonی از تمام شکاف‌ها و کنج‌های مسیر سیستم عبور داده شود تا از رشد دوباره و هجوم مجدد ارگانیسم‌ها جلوگیری شود. جدول (15) تعدادی از رایج‌ترین میکروب‌کش‌ها و دوزهای موثر در ضدغ Fonی و یا بازدارندگی برای اکثر ارگانیسم‌های یافت شده در سیستم‌های آبی بازچرخانی باز در فرآیند تهویه مطبوع را فهرست کرده است.

روش تغذیه میکروب‌کش‌ها به درون سیستم بسیار مهم است. اغلب اوقات تغذیه مستمر با دوزهای کم مواد بازدارنده موثر نبوده و می‌توانند بسیار پرهزینه نیز باشند. ارگانیسم‌ها، تمایل به ایجاد نوعی ایمن‌سازی در برابریک عامل مهلك دارند و دوزهای کم حتاً ممکن است رشد برخی از ارگانیسم‌ها را تسريع کنند. بنابراین یک دوز ضربه‌ای (شوک) به مقدار بالا در از بین بردن باکتری‌ها، از دوز کم ولی مستمر، موثرتر است. علاوه بر این تغییر نوع ماده میکروب‌کش در زمان‌های کوتاه می‌تواند از ایجاد پدیده ایمن‌سازی در میکروب‌ها جلوگیری کند.

روش‌های نگهداری سیستم‌های تهویه مطبوع باید تنها در صورتی که تجربه‌های قبلی ضرورت را ایجاد می‌نماید شامل دوزهای ضربه‌ای متناوب با یک ماده میکروب‌کش باشند.

جدول (15): میکروب‌کش‌های رایج در روش‌های نگهداری سیستم‌های آبی بازچرخانی باز

نوع ارگانیسم‌های کنترل شده	دوز استریلیزه ppm (میلی‌گرم کردن، در لیتر) (میلی‌گرم در لیتر)	دوز بازدارنده، ppm	ترکیبات آمونیم چهار واحدی
جلبک، کپک و باکتری	5-50	100-200	n-الکیل (60% کربن C_{14} ، 30% کربن C_{16} ، 5% کربن C_{12} ، کربن C_{18}) دی‌متیل بنزیل آمونیم کلرید
جلبک و گلولای باکتری دار	2-20	100-200	ان الکیل (98% کربن C_{12} ، 2% کربن C_{14}) دی‌متیل 1-نافیتولومتیل آمونیم کلرید
جلبک، قارچ و گلولای باکتری دار	1-10	50-100	پلی (اکسی‌اتیلن) (دی‌متیل لیمینو) اتیلن (دی‌متیل لیمینو) اتیلن دی‌کلرید
مخلوط الکیل دی‌متیل (بنزیل آمونیم کلرید و اتیلن بنزیل آمونیم کلرید)			
جلبک، قارچ و گلولای باکتری دار	10-1	50-100	
ترکیبات گوگردآلی			
گلولای باکتری دار و قارچ و کپکها	10-20	50-100	نمک‌های دی‌متیل تیوکربامیت‌سدیم یا پتاسیم
گلولای باکتری دار، قارچ و جلبک	2-10	50-100	متیلن بیس تیوسیانات
گلولای باکتری دار و قارچ و کپکها و جلبک	10-20	50-100	نمک‌های ان ماتیل دی تیوکربامیت سدیم یا پتاسیم

آزمایش باکتری‌ها. روش‌های آزمایشگاهی برای بازبینی آب بازچرخش و شمارش کلی باکتری‌ها و ارزیابی میزان استفاده از میکروب‌کش‌ها انجام می‌شوند. روش‌های میدانی شامل آزمایش نواری، میله عمق، آمپول شیشه‌ای IME و ابزارهای سنجش ATP هستند. روش‌های آزمایشگاهی شامل صفحه‌های شمارش است. نتایج آزمایش‌هایی که به طور دوره‌ای در طول کارکرد سیستم انجام می‌شوند، تاریخچه‌ای را تشکیل می‌دهند که با مراجعه به آن وجود هر افزایشی در تعداد باکتری‌ها در یک فصل خاص مشخص شده و بر اساس آن نیاز احتمالی به میکروب‌کش تعیین می‌شود. این آزمایش‌ها تاثیرگذاری برنامه میکروب‌زدایی در یک دوره زمانی را نیز تعیین کرده و زمان تغییر و یا تشدید برنامه اعمال شده را نشان می‌دهند.

نتیجه عملکرد برنامه میکروب‌کشی به شرح زیر ارزیابی می‌شود:

نتیجه عملکرد	شمارش کلی باکتری
کنترل عالی	صفر تا 10^2 کولونی در میلی لیتر
هشدار، بدون جرم شدید	10^2 تا 10^3 کولونی در میلی لیتر
صنعتی	10^4 تا 10^5 کولونی در میلی لیتر از نظر بهداشتی، 10^5 در محیط‌های تجاری یا
رسوب مشاهده شده و خطر احتمالی برای سلامتی	10^5 تا 10^6 کولونی در میلی لیتر
خطر جدی جرم و بیماری‌زا	بالاتر از 10^6 کولونی در میلی لیتر

کنترل عفونت‌ها در سیستم‌های آبی بازچرخانی باز

کنترل عفونت‌های ویروسی در سیستم‌های آبی نیاز به آماده‌سازی و نظارت بر محیط سیستم دارد. در سال‌های اخیر، موارد انتشار بیماری‌های عفونی توسط ارگانیسم‌های بیماری‌زا و نقش سیستم‌های خنک‌کننده کثیف و یا دارای طراحی ساخت ضعیف آشکار شده است. رواج این طرز تفکر، پیگیری رسمی و اداری همراه با در نظر گرفتن امور مربوط به بهداشت و محیط زیست عمومی را باید به این آگاهی اضافه کرد. پیامد این آگاهی، اکنون قوانین و ضوابط زیادی مقرر شده‌اند که مالکان و کارگزاران امور اجرایی را ملزم به تغییر طراحی و تمیزکاری و ضدعفونی کردن سیستم‌های خنک‌کننده می‌کنند و علاوه بر این اجرای برنامه جامع آماده‌سازی آب و ضبط سوابق به روش بایگانی مناسب نیز الزامی است. این قوانین هنوز مشابه کشورهای اروپایی غربی و استرالیا و نیوزیلند شدید نیستند، اما با شواهد موجود در آینده‌ای نه چندان دور مشابه آن کشورها خواهند شد. در حال حاضر برنامه تمیزکاری مرتب و ضدعفونی طبق پروتکل ویسکانسین مطلوب است.

پروتکل‌های مربوط به برنامه‌های تمیزکاری و ضدعفونی. این پروتکل‌ها ممکن است با توجه به این که فرآیند ضدعفونی کردن بخشی از یک برنامه زمان‌بندی شده تعمیر و نگهداری است و یا یک اقدام فوری برطرف نمودن آلودگی، تغییر می‌کنند. به طور کلی روال ضدعفونی شامل سه مرحله است:

۱. مراحل کلرزنی اولیه. به منظور تولید آب ضدعفونی شده انجام می‌شود. این آب پیش از شروع فعالیت تمیزکاری یا در مخزن جداگانه انبار می‌شود و یا در همان

آب موجود در برج خنک‌کننده کلرزنی می‌شود. معمولاً اگر آب محتوی 20 ppm کلر در مدت حداقل ۱ ساعت باشد، ضدغوفونی شده محسوب می‌شود. مقادیر کمتر کلر نیاز به زمان بیشتری برای تولید آب ضدغوفونی شده دارند.

۲. مرحله تخلیه و تمیزکاری. در این مرحله آب به مدت ۱ تا ۴ ساعت چرخش داده می‌شود و سپس تخلیه شده تا از نظر فیزیکی سیستم تمیز شود. مواد متلاشی‌کننده بیولوژیکی (Biodispersants) نیز ممکن است در این مرحله استفاده شوند.

۳. مرحله ضدغوفونی کردن، راهاندازی مجدد و آماده‌سازی مجدد آب. سیستم در این مرحله مجدداً آبگیری و برای مدت زمان لازم ضدغوفونی شده و مجدداً راهاندازی می‌شود. استانداردها متفاوت می‌باشند. معمولاً برای عملیات تعمیر و نگهداری ادواری، آب ضدغوفونی شده تلقی می‌گردد، اگر 5 ppm کلر به مدت حداقل ۱ ساعت در آن وجود داشته باشد، اگر به علت مثبت بودن نتیجه آزمایش میکروب لژیونلا (Legionella) آب سیستم گندزدایی می‌شود، در این صورت میزان 10 ppm کلر به مدت حداقل ۱ ساعت ضروری است. توجه داشته باشید که در اثنای اجرای هر نوع فرآیند تمیزکاری و ضدغوفونی، با اعمال مواد ضدغوفونی و یا متلاشی‌کننده، ممکن است مقادیری از اجسام جامد حرکت کرده و سطوح تراوا و مجاری فیلترها بسته شوند. کلیه فیلترها و سطوح تراوا را باید به طور ادواری در مدت انجام عملیات تمیزکاری و ضدغوفونی اضطراری و معمولی مورد بررسی قرار دهید و در صورت نیاز تمیزکاری کنید. علاوه بر این، برای اطمینان از تماس مناسب کلر با کلیه سطوح و زوایای برج باید از عملکرد مطلوب نازل‌های افشاره و سایر اجزای مکانیکی سیستم مطمئن شوید. در مرحله آماده‌سازی مجدد آب، برنامه‌های برنامه‌سازی با مواد شیمیایی را منطبق با دستورالعمل‌های ارائه شده از طرف پیمان‌کار آماده‌سازی آب اجرا کنید. محصولات بازدارنده خورده‌گی و رسوب‌زدای مورد استفاده نباید با عملکرد ترکیبات میکروب‌کش در تاثیرگذاری بر لژیونلا تداخل پیدا کنند.

آزمایش لژیونلا. بازبینی کل تعداد باکتری‌ها در سیستم خنک‌کننده آبی، شاخص خوبی برای بازدهی برنامه میکروب‌کشی و تغییرات ساختاری احتمالی در سیستم است، هر چند که ارتباط تعریف شده‌ای مابین تعداد کل شمارش صفحه‌ای باکتری‌ها وجود لژیونلا موجود نیست.

در مورد آزمایش لژیونلا، نتیجه مثبت کمتر از 1×10^2 در آب سرمایش، نشان دهنده این است که سیستم فقط قابلیت افزایش تعداد میکروب را دارد و بازرگانی‌ها و آزمایش‌های مجدد در زمان‌های آتی نیز ضروری است. در صورتی که نتیجه مثبت بیش از 1×10^2 باشد، معنای آن این است که تمیزکاری و ضد عفونی کردن ضروری است. این اقدامات به ویژه برای نتیجه مثبت آزمایش میکروب لژیونلا نوموفیلا سرو^۱ گروه یک تاکید می‌شود. اجرای عملیات مذکور بر اساس تعدادی مشخص از باکتری‌ها مفید نیست و چنانچه در طول برنامه‌های نمونه‌گیری و آزمایش بیش از 30% نمونه‌ها نتیجه مثبت داشتند، نشانه ضرورت اقدام است. نمونه‌های لژیونلا به اکثر آزمایش‌های بیوشیمیابی موجود برای شناسایی باکتری‌ها پاسخ نمی‌دهند و دستیابی به یک پاسخ مورد تایید از طریق روش‌های سرم‌شناسی یا اعمال آزمایش‌های بسیار دقیق میسر می‌شود. در حال حاضر چندین آزمایش اجرا می‌شوند که هر یک دارای مزايا و محدوديتهای خاص خود هستند. اين آزمایش‌ها شامل:

◆ روش استاندارد پرورش میکروب

◆ روش سنجش سریع لژیونلا

◆ روش آتی‌بادی فلورسنت مستقیم^۲

بسیاری از مسوولان هنوز اجرای آزمایش‌های مرتب را توصیه نمی‌کنند و آزمایش‌های برنامه‌ریزی نشده و مقطوعی نیز حداقل بازدهی را دارند و با این وجود باید به یاد داشته باشید که ارگانیسم لژیونلا می‌تواند مهلک باشد. بنابراین توصیه می‌شود که کلیه سیستم‌های سرمایش و سیستم‌های خنک‌کننده‌ای که برای مدت طولانی کاربری نداشته‌اند، از نظر میکروب لژیونلا مورد آزمایش قرار گیرند. همچنین توصیه می‌شود که کلیه سیستم‌های سرمایش به منظور تعیین خطرهای مربوط به لژیونلا مورد ارزیابی قرار گیرند. سیستم‌های خنک‌کننده‌ای که در وضعیت شدیداً مستعد تا متعادل قرار دارند، باید حداقل چهار بار در سال مورد آزمایش قرار گیرند سایر سیستم‌های خنک‌کننده باید طبق یک برنامه تعیین شده، دوبار در سال آزمایش شوند. نتایج این آزمایش‌ها به منظور داشتن جدیدترین اطلاعات بایگانی می‌شود تا هرگونه ناهنجاری شناسایی شود. این اطلاعات به تایید کیفیت آب و یا اجرای برنامه

1. *Legionella pneumophila* sero-group 1

2. Direct Fluorescent Antibody (DFA)

کنترلی جامع ضدغونی کمک می‌کنند.

آزمایش لژیونلا نیاز به تکنیک‌های نمونه‌گیری خاصی دارد و معمولاً برای یک نتیجه نیاز به ۱۴ روز کاری پس از دریافت نمونه است. در صورت مثبت بودن نتیجه آزمایش، گزارشی از شناسایی گونه میکروب لژیونلا و طبقه‌بندی آن به عبارت گروه سرو^۱ ۱ تا ۶ همراه با تعیین تعداد باکتری در هر ۱ میلی‌لیتر از نمونه اصلی آب ارائه می‌شود.

کنترل گلولای و سایر درمان‌ها

کنترل گلولای و آشغال. رسوب‌های گلولای، آشغال و سایر اجسام خارجی که از طریق هوای خارج به درون سیستم آب بازچرخانی باز نفوذ کرده‌اند می‌توانند مشکل جرم‌سازی را به وجود آورند و باید به منظور بازدهی مناسب تجهیزات انتقال حرارت کنترل شوند. در گذشته، نحوه برخورد با مشکل گلولای، آشغال و رسوب‌های نرم شامل دفع فیزیکی آن‌ها توسط فیلترها و جداکننده‌ها و یا تمیزکاری دستی بود.

امروزه از پلیمرهای حل‌کننده برای شفافیت آب به آب سیستم‌های خنک‌کننده افزوده می‌شود که موقیت فوق العاده‌ای دارند. این پلیمرها عبارتنداز پلی‌الکترولیت‌های با وزن مولکولی بالا که ذرات ریز را جذب کرده و آن‌ها را به اجرام بزرگ تبدیل می‌کنند، این فرآیند را دلمه شدن می‌نامند. اجرام بزرگ‌تر به توده معروفند، تمایل به شناور شدن یا عدم چسبیدن به سطوح لوله‌کشی داشته و لای تشکیل نمی‌دهند. پلی‌الکترولیت‌های توده‌ساز را می‌توان با دوزهای ۰.۵ تا ۱ میلی‌گرم در لیتر برای کنترل گلولای و آشغال موجود در آب به کار گرفت. استفاده از این مواد توده‌ساز در روش ضربه‌ای و در دوره‌های زمانی غیرمستمر، بهترین نتیجه را به همراه دارد، اما مواد متلاشی‌کننده برای داشتن بیشترین تاثیر باید به طور مستمر استفاده شوند. این مواد در فرمول‌بندی ترکیبات بازدارنده رسوب و خوردگی‌های خاص قرار می‌گیرند.

نوع دیگر مواد کنترل‌کننده گلولای و آشغال، ترکیبات متلاشی‌کننده هستند. این ترکیبات اثر تقابلی داشته و از تشکیل رسوب گلولای جلوگیری می‌کنند زیرا قابلیت «دفع» ذرات را دارند. متلاشی‌کننده‌ها از تشکیل توده‌های بزرگ‌تر و فشرده شدن آن‌ها برای ساختن گلولای جلوگیری می‌کنند. این عملکرد سبب معلق ماندن

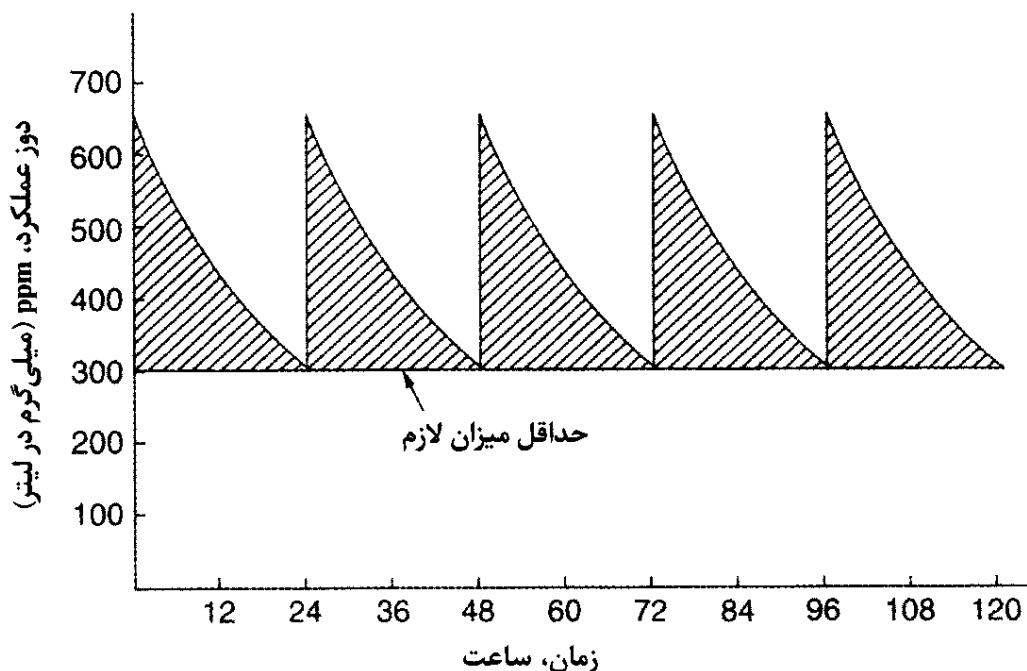
ذرات در آب می‌شود و در این وضعیت ذرات آمادگی دفع شدن با عمل زیرآب‌کشی معمولی را پیدا می‌کنند.

آماده‌سازی آب برج خنک‌کننده و کندانسور تبخیری. یک برنامه کامل آماده‌سازی آب سیستم‌های کندانسوری در تجهیزات تهويه مطبوع باید شامل کلیه موارد لازم برای جلوگیری از خوردگی و تشکیل رسوب‌ها باشد. علاوه بر این مشخصات لازم برای کنترل با عمل زیرآب‌کشی به منظور تجمع بیش از حد املاح معدنی در برج خنک‌کننده و مواد کندانسور تبخیری باید ایجاد شده باشند.

آماده‌سازی به کمک هواشوها و اسپری سطحی. عملکرد آماده‌سازی به کمک هواشوها و اسپری‌های سطحی در مورد برج خنک‌کننده باز و سیستم‌های کندانسور تبخیری یکسان هستند. تفاوت بین این دو عملکرد به شرایط متنوع دما و رطوبت برج‌های خنک‌کننده باز بستگی دارد.

برنامه‌های تغذیه و کنترل در آماده‌سازی آب سرمایش آزمایش‌های کنترل. کیت‌های ساده و با عملکرد آسان، برای آزمایش‌های مستمر به منظور تعیین میزان مواد بازدارنده و کلریدها در چرخه‌های تراکم و کنترل زیرآب‌کشی در دسترس هستند (مشابه آنچه در تصویر 33 نشان داده شده است). برای کنترل مناسب و مطمئن شدن، آزمایش‌ها باید به طور روزانه انجام شوند. آزمایش‌های اضافی به منظور تایید دقیق نتایج آزمایش‌های میدانی توسط شرکت خدمات رسانی آب انجام می‌شود.

روش‌های تغذیه. ترکیبات و مواد لازم به آسانی از طریق هر مجرابی که در دسترس باشد به طور تغذیه ضربه‌ای انجام شده و معمولاً مواد به درون برج و یا سینی چگالنده هدایت می‌شوند. این نوع تغذیه نیاز به مواد افزودنی به طور مستمر با دوز بالا دارد تا میزان حداقل مواد بازدارنده در آب بازچرخش تامین شود. مثلاً برای تامین میزان حداقل 300 میلی‌گرم در لیتر ماده بازدارنده خوردگی در برج خنک‌کننده، دوز شوک باید بیش از 664 میلی‌گرم در لیتر برای هر روز باشد. تصویر (43) نشان‌دهنده میزان مواد پس از اعمال دوز شوک اولیه در هر 24 ساعت برای 1000 گالن (3800 لیتر) آب در سیستمی که با ظرفیت 100 تن (352 کیلووات) در هر 24 ساعت با هفت چرخه تراکم و نرخ زیرآب‌کشی 0.5 گالن در دقیقه (1.9 لیتر در دقیقه) است.



تصویر (43): تغییر میزان بازدارنده‌ها در آماده‌سازی ضربه‌ای برج‌های خنک‌کننده

طبق آنچه در تصویر (43) نشان داده شده است، این روش می‌تواند بسیار پرهزینه و همراه با اتلاف زیاد باشد. مناطق هاشورزده نشان‌دهنده عملکردهای لازم اضافی برای تامین سطح چگالی 300 میلی‌گرم در لیتر است. بنابراین برای انجام عملکرد به طور یکنواخت، روش‌های تغذیه مقطوعی باید به کار برد شوند.

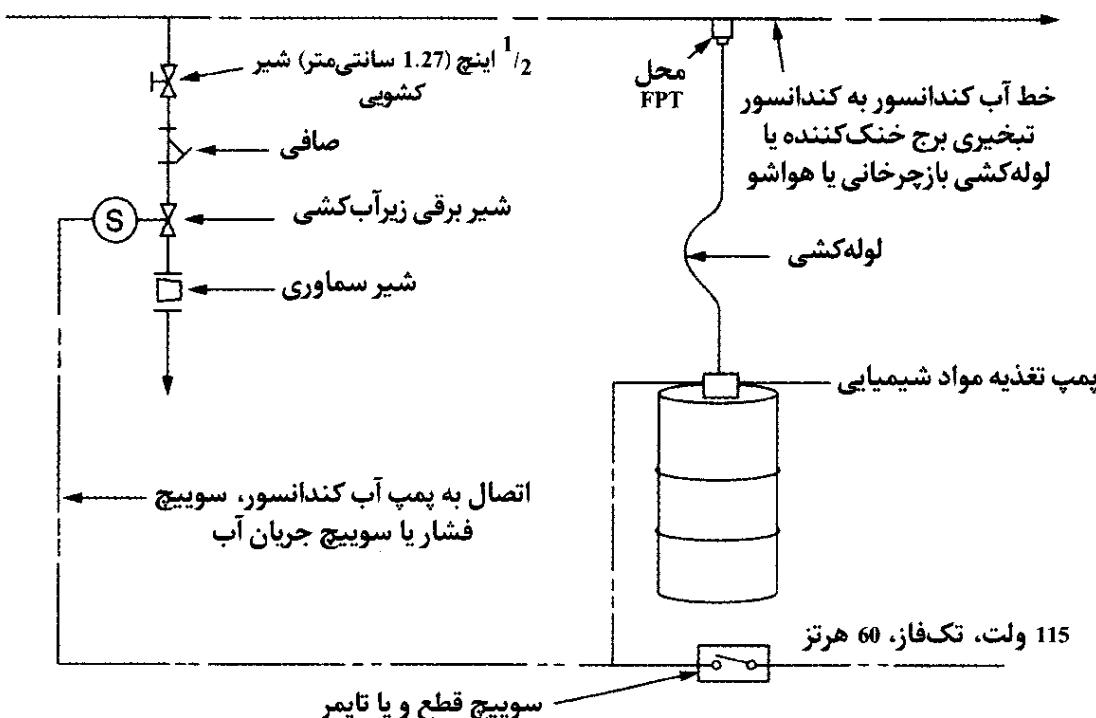
اجرای روال شوک تغذیه‌ای در مورد انواع فرآیندهای آماده‌سازی نظری استفاده از تمیزکننده‌ها و میکروب‌کش‌ها ضروری است. این عملکردها در دوزهای بالا بر اساس یک برنامه دوره‌ای اجرا می‌شوند تا نتایج تمیزکاری و دفع بیولوژیکی موثر باشند و با اجرای مستمر با دوزهای پایین این نتایج به دست نخواهد آمد.

۱. تغذیه‌کننده‌های خشابی^۱. برای اعمال تغذیه تدریجی و مستمر با سرعت کمتر، از تغذیه‌کننده‌های خشابی استفاده می‌شود. این نوع دستگاه‌ها در طرح‌های مختلف ارائه می‌شوند. در همه طرح‌ها یک قوطی یا مخزن محتوى ماده آماده‌سازی وجود دارد که به تدریج و در زمانی طولانی رقیق و یا حل می‌شود.

۲. روش‌های تغذیه تناسبی. یک روش دقیق‌تر در تغذیه مواد در فرآیند آماده‌سازی، استفاده از پمپ تغذیه تناسبی مواد شیمیایی است. پمپ‌های تغذیه تناسبی، مواد لازم را به طور مستقیم به نسبت اتلاف مواد شیمیایی موثر در سیستم اضافه کرده

و به این ترتیب حداقل دقیق و مطلوب میزان مواد را تامین می‌کنند. با استفاده از این پمپ‌ها از اتلاف بیش از حد مواد بر اثر تغذیه شوک یا تغذیه کننده‌های خشابی جلوگیری می‌شود.

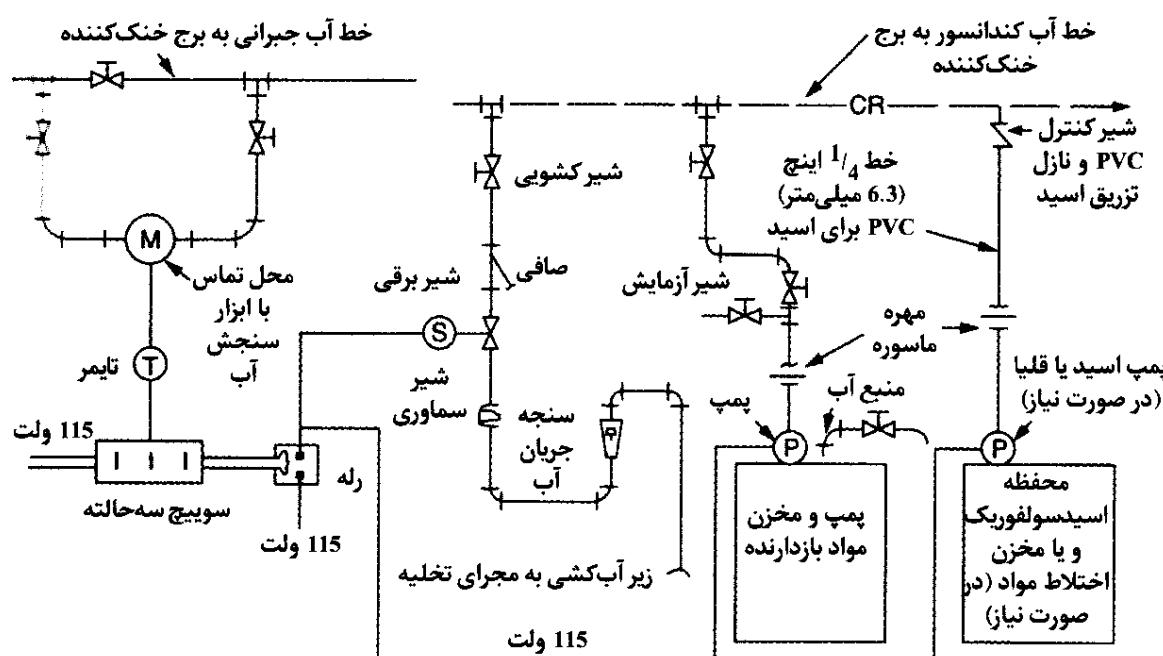
در یک روش ساده تغذیه تناسبی از یک پمپ تغذیه مواد شیمیایی متصل به پمپ بازچرخانی آب در برج خنک‌کننده، کندانسور تبخیری یا سردکننده افشارهای استفاده می‌شود. این پمپ مواد لازم را به طور مستقیم از یک محفظه به مخزن یا تانک مخلوط مواد اضافه می‌کند. تصویر (44) اساس این روش تغذیه را نشان داده است. در این سیستم مواد لازم به طور اتوماتیک بر اساس ضریب بار مستمر تعیین شده به خط آب بازچرخش کندانسور تزریق می‌شوند و به این ترتیب آب کافی به طور مستمر با روشن بودن پمپ آب کندانسور به بیرون رانده می‌شود. این عملکرد تعداد چرخه‌های تراکم را به میزان مطمئن حفظ و با تغذیه مستمر متناسب با نرخ زیرآب‌کشی، اتلاف آب فرآیند زیرآب‌کشی را جبران می‌کند.



تصویر (44): سیستم ساده تنااسبی تغذیه مواد شیمیایی و زیرآب‌کشی برای برج‌های خنک‌کننده

یک سیستم بنیادی، اساسی با تطابق جامع و کاملاً اتوماتیک به عنوان واحد کنترل از معیار جریان آب استفاده می‌کند. از آن جایی که آب جبرانی متناسب با آب

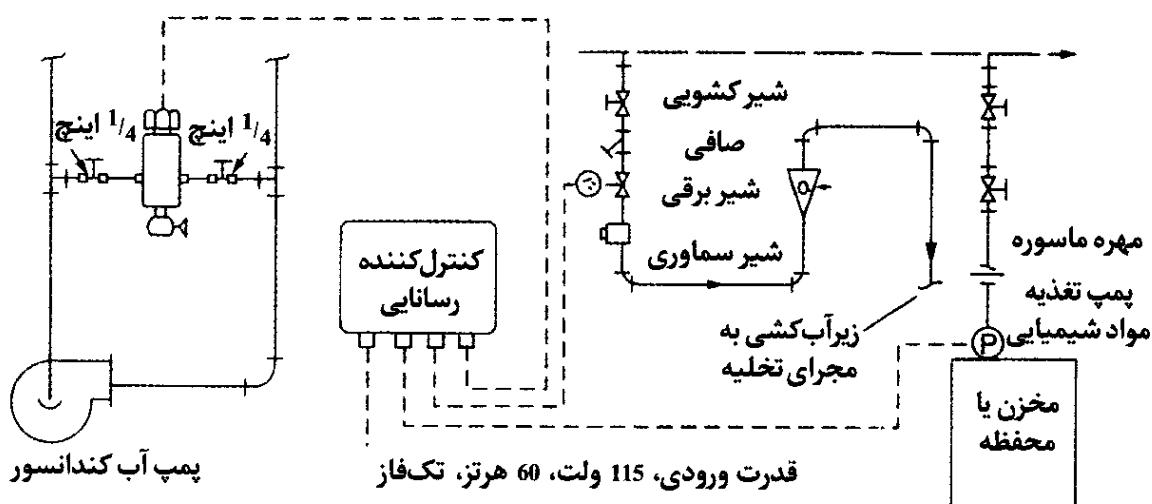
تبخیری و بار واقعی در سیستم آب کندانسور است، این ابزار دقیق یک سیستم کنترل کاملاً اتوماتیک مستقل از کیفیت آب جبرانی است که اطلاع از کیفیت آن در صورت لزوم به هیچ ابزار دقیق اضافی به جز اسباب کنترل pH نیاز ندارد. با این سیستم، آب به مقدار کافی و به طور اتوماتیک از آب بازچرخش زیرآب‌کشی می‌شود تا حد اکثر تعداد چرخه‌های تراکم مجاز انجام شوند. سپس در این مرحله به طور مستقیم به نسبت لازم تغذیه می‌شود تا با عمل زیرآب‌کشی، آب اتلاف شده بر اثر فرآیند زیرآب‌کشی جبران شود. تصویر (45) این نوع سیستم را نشان می‌دهد.



تصویر (45): سیستم عیار فعال آب در فرآیند آماده‌سازی تغذیه زیرآب‌کشی برای سیستم آب کندانسور

سایر سیستم‌های رایج با عملکرد تغذیه و زیرآب‌کشی تناسبی اتوماتیک از ابزار تجزیه‌کننده مقدار کل جامدات حل شده (TDS) برای کنترل استفاده می‌کنند. این نوع دستگاه‌ها «کنترل کننده‌های هدایتی» یا «کنترل کننده‌های TDS» نامیده می‌شوند. از اینجایی که جامدات کانی حل شده در آب تناسب مستقیم با ضریب هدایت الکتریکی دارند، اندازه‌گیری ضریب هدایت الکتریکی برای تعیین هرگونه تغییر در میزان مواد جامد حل شده در آب، به کار می‌رود. به دلیل این که مواد جامد حل شده در آب، متناسب با فرآیند تبخیر افزایش یافته و بار سیستم خنک‌کننده را نیز

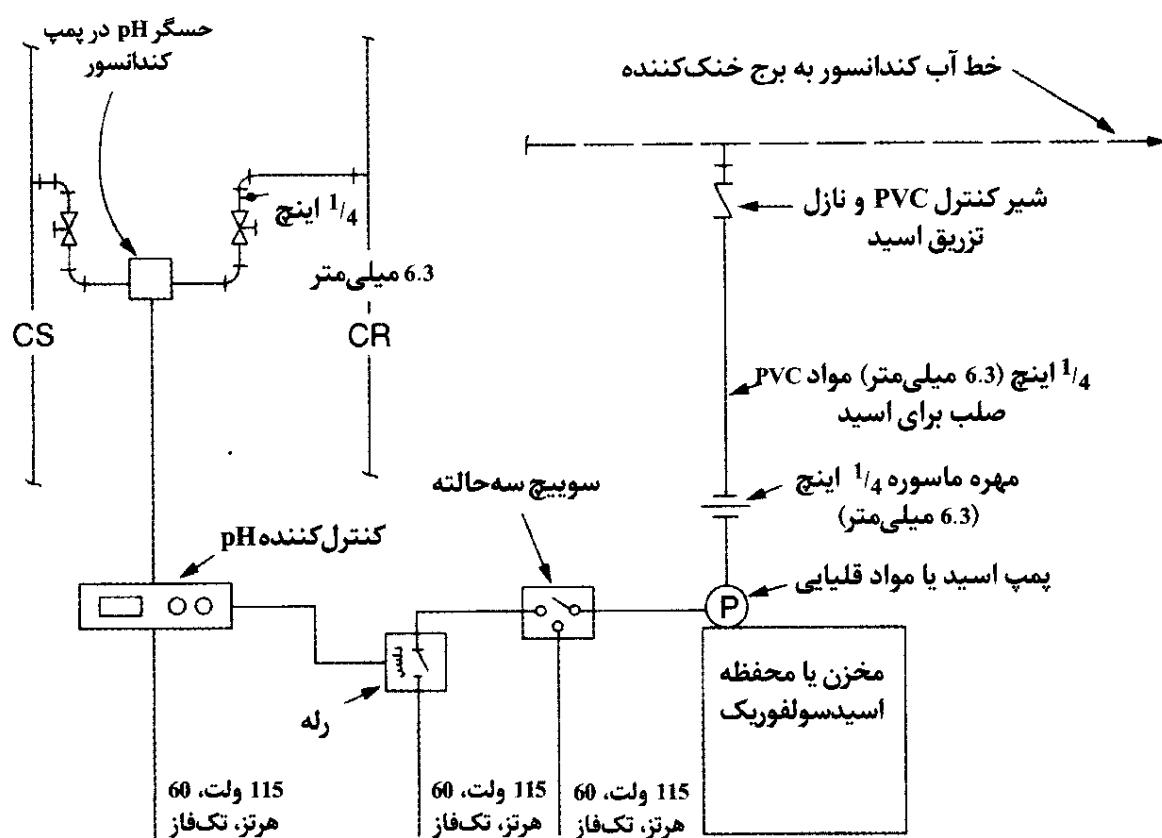
افزایش می‌دهند. این سیستم کاملاً اتوماتیک است. در این سیستم روال زیرآب‌کشی هنگامی فعال می‌شود که کنترل‌کننده TDS مقادیر بالای TDS در آب را تشخیص می‌دهد و بدین ترتیب حداقل تعداد مجاز چرخه‌های تراکم انجام می‌شود. سپس مواد افزودنی به تناسب و مستقیم به آب افزوده می‌شوند تا جایگزین اتلاف مواد براثر فرآیند زیرآب‌کشی شوند. تصویر (46) چنین سیستمی را نشان می‌دهد.



تصویر (46): سیستم آماده‌سازی آب به روش تغذیه و زیرآب‌کشی با کنترل اتوماتیک ضریب رسانایی

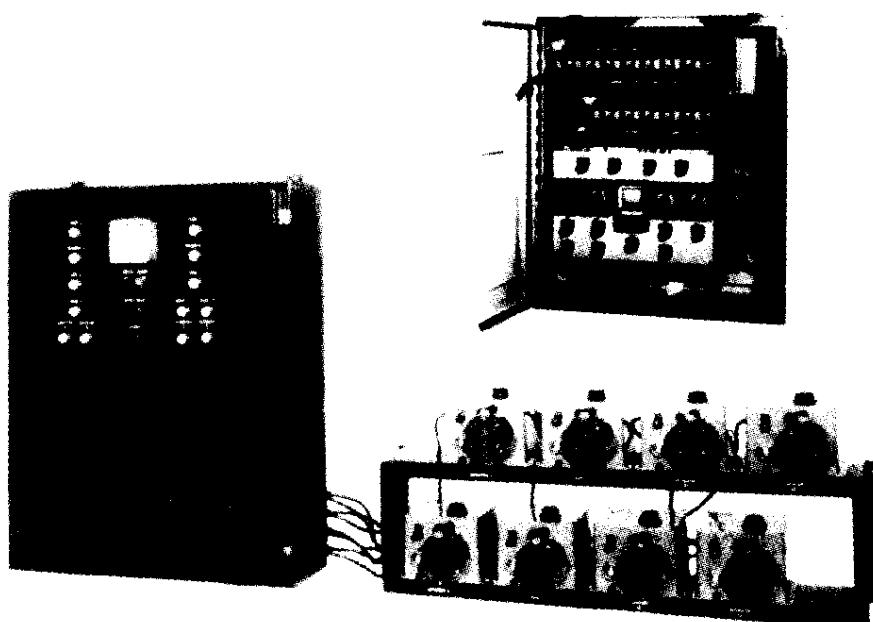
دستگاه کنترل کننده دیگری که در سیستم‌های تهویه مطبوع مورد استفاده قرار می‌گیرد، دستگاه کنترل pH است که در مواقعی که به علت شرایط جوی یا کیفیت آب جبرانی یا روال برنامه آماده‌سازی اجرایی، کنترل pH ضرورت دارد، این دستگاه مورد نیاز است. دستگاه کنترل کننده pH، به طور اتوماتیک مقدار pH آب بازچرخش را در حد مطلوب حفظ می‌کند و در صورت نیاز پمپ تغذیه مواد شیمیابی را برای افزوده شدن مواد اسیدی یا قلیابی فعال می‌کند (تصویر 47). در تصویرهای (48 و 49) دستگاه‌های کنترل pH و TDS، پمپ‌های تغذیه و خط مخلوط‌کننده مواد همراه با مخازن آن نشان داده شده‌اند.

دستگاه‌های کنترل قابلیت متصل شدن به سیستم‌های مدیریتی ساختمان (BMS) به منظور بازبینی سریع و آنی تاسیسات و اتصال به کامپیوترهای کنترل از راه دور را دارند. آماده‌سازی آب با مواد شیمیابی در برج‌های خنک‌کننده، یا بازبینی منظم مقادیر استاندارد به طور مستقیم با تجزیه‌کننده‌های اتوماتیک قابل کنترل و

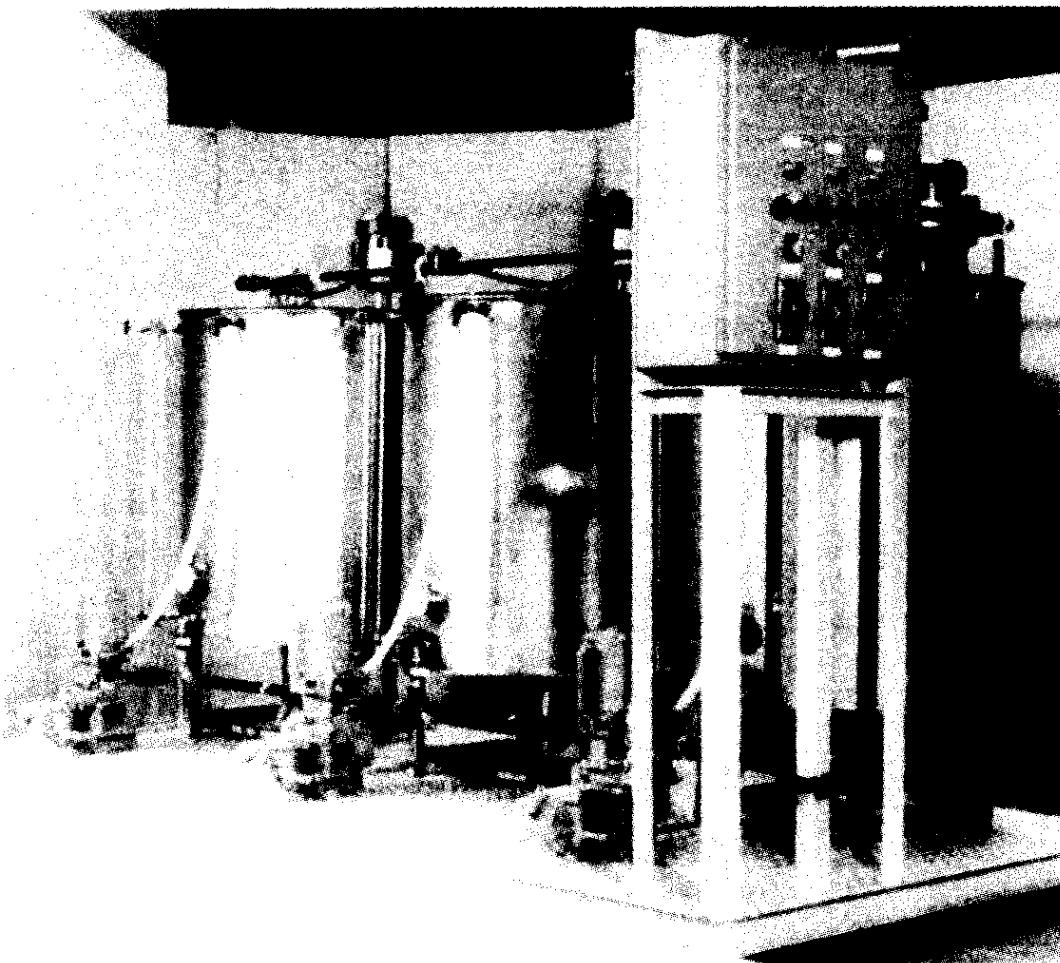


محل اتصال به پمپ آب کندانسور، سویچ فشار
 یا سویچ جریان

تصویر (47): سیستم کنترل اتوماتیک pH



تصویر (48): سیستم اتوماتیک آماده‌سازی آب



تصویر (49): پمپ‌های تغذیه مواد شیمیابی و مخزن‌های اختلاط مواد همراه با پانل کنترل فرآیند

پیامد آن کنترل تغذیه مواد شیمیابی است. سایر سیستم‌هایی که موجود هستند بر اساس نرخ خوردنگی میزان تغذیه شیمیابی را کنترل می‌کنند. بررسی نرخ خوردنگی برای کنترل و افزودن مواد شیمیابی در صورت نیاز به منظور دستیابی به نرخ خوردنگی خاصی در سیستم انجام می‌شود. میکروب‌کش‌ها با استفاده از تایمر به آب افزوده می‌شوند و با کنترل کننده‌های زمانی مقدار مواد میکروب‌کش مورد نیاز در زمان‌ها یا روزهای خاص در هفته به آب اضافه می‌شوند. کلیه عملیات فوق توسط کامپیوتر بازنگری و کنترل می‌شوند.

آماده‌سازی آب سیستم‌های آبی بازچرخانی مدار بسته
ضرورت آماده‌سازی و بررسی آب در سیستم‌های آبی بازچرخانی مدار بسته، همواره مورد سوال است. اغلب مشاهده می‌شود که به علت بسته بودن این نوع

سیستم‌ها، آن‌ها قادر به تولید ناخالصی، مواد معدنی اضافی و گازهای خورنده محلول در آب، یعنی عوامل اصلی جرم و خوردگی نیستند.

اما تجربه‌های عملی نشان می‌دهند که آب جبرانی مصرفی در سیستم‌های بسته، بسیار بیش از مقادیر پیش‌بینی شده است. مثلاً، یک مخزن برگشتی پمپ بازچرخانی با نشستی بسیار جزیی برای تامین روان‌سازی به نرخ ۱ اونس در دقیقه (۳۰ میلی‌لیتر در دقیقه) نیاز به آب جبرانی به مقدار ۳۳۷.۵ گالن در ماه (۱۲۶۰ لیتر در ماه) یا ۴۰۵۰ گالن در سال (۱۵۰۰۰ لیتر در سال) دارد.

در بعضی مواقع، تجربه نشان داده است که نرخ آب جبرانی در سیستم بسته می‌تواند به میانگین حجمی ۱۰۰ درصد در ماه برسد. آب جبرانی ضروری است زیرا اتلاف آب packing glands (بر اثر نشستی سیستم) و تخلیه آب به منظور تعمیر پمپ‌ها، شیرها یا ابزارهای کنترلی وجود دارد. بنابراین با وجود آب جبرانی به طبع مواد معدنی حل شده و اکسیژن نیز حضور خواهند داشت. سختی کلسیم و منیزیم در سطوح انتقال حرارت رسوب خواهند کرد و با افزایش آب جبرانی، میزان تجمع آن‌ها نیز بیشتر خواهد شد. کلیه سیستم‌های بسته باید «تنفس» کنند و مخزن‌های انبساط موجود در این سیستم‌ها یک منبع هوای آزاد جو و گازهای خورنده است.

کوپل گالوانیک از فلزات مس، آهن، برنج و الومینیم معمولاً بدون اتصال دی‌الکتریک در سیستم‌های بسته مورد استفاده قرار می‌گیرند و عدم اتصال دی‌الکتریک سبب افزایش نرخ خوردگی فلز کمتر نجیب در کوپل می‌شود. بنابراین آماده‌سازی آب این قبیل سیستم‌ها نیز برای جلوگیری از مشکلات خوردگی و رسوب‌ها برای تامین پاکی و بازدهی سطوح انتقال حرارت، مورد قبول و موافقت واقع شده است.

پیش از آنکه سیستم آبی بازچرخانی مدار بسته برای جلوگیری از جرم و خوردگی آماده‌سازی شود باید آن را کاملاً تمیز کرد. کلیه پسماندهایی که در زمان ساخت سیستم به آن وارد شده‌اند باید دفع شوند. علاوه بر این، کلیه پوشش‌های روغنی و یا براده‌های به جا مانده باید از درون لوله‌ها پاک شوند تا از ایجاد خوردگی و آسیب‌های ناشی از این منابع جلوگیری شود. جرم سیاه مغناطیس آهن یک مشکل خاص سیستم‌های مدار بسته است و باید نه تنها به علت جلوگیری از خوردگی و ایجاد رسوب‌های عایق حرارت پاک شود بلکه به منظور پیشگیری از آسیب‌رسانی به پمپ،

خط فرآیند و درزبندی‌های مکانیکی نیز باید برطرف شوند.

موادی که برای این نوع تمیزکاری به کار برده می‌شوند باید شوینده‌هایی با کف کم باشند که از مواد متلاشی‌کننده قوی ساخته شده باشند تا از تشکیل مجدد رسوب‌ها جلوگیری کنند. مواد متلاشی‌کننده نقش مهمی در ترکیب پاک‌کننده‌های سیستم مدار بسته دارند زیرا این نوع مواد در برطرف کردن ذرات ریز و سیاه اکسید آهن مغناطیسی و معلق نگهداشت آن‌ها در محلول پاک‌کننده بازچرخیده شده و جلوگیری از تهنشین و یا توده شدن آن‌ها بسیار موثر هستند. پاک‌کننده‌های حاوی مواد شوینده و متلاشی‌کننده باید طبق دوز پیشنهادی تولیدکننده مواد به مدت 3 تا 4 ساعت به آب بازچرخش اضافه شوند. سپس آب تخلیه شده و سیستم مجدد آبگیری شده و با سرعت هرچه بیشتر بازچرخیده شود و کلیه این عملیات به طور همزمان انجام شوند تا حداکثر جریان از درون کلیه قسمت‌های سیستم برقرار شود و از نادیده گرفته شدن گلوگاه‌ها و کنج‌های بسته که رسوب‌ها می‌توانند مستقر شوند، جلوگیری شود. آب سیستم باید با فشار تخلیه شود تا هیچ اثری از مواد شوینده بر جامانده و مواد معلق باقی نماند.

پس از تمیزکاری، سیستم باید از نظر کنترل خوردگی و رسوب‌گذاری مورد بررسی قرار گیرد. ابتدا، آب جبرانی باید تجزیه شود تا مشخص شود که آیا آماده‌سازی اولیه مانند نرم کردن آب لازم است. سپس مواد شیمیابی باید برای جلوگیری از خوردگی و رسوب‌گذاری بیشتر به آب افزوده شوند. بعد از این مرحله، سیستم مدار بسته با آب تازه و مواد بازدارنده خوردگی و رسوب‌گذاری در شرایط سرما و یخ‌بندان با محلول آب و ترکیب ضدیخ‌زدگی گلیکول آبگیری می‌شود. محلول‌های ضدیخ در دوره‌های فزاینده به منظور حفاظت خطوط لوله‌کشی سیستم‌های مدار بسته هیدروونیک آب سرد و گرم از یخ‌زدگی و تخریب مورد استفاده قرار می‌گیرند. وقتی استفاده از محلول‌های ضدیخ لازم می‌شود، می‌توان از اتیلن گلیکول یا پروپیلن گلیکول بازدارنده با حداقل غلظت 30 درصد استفاده کرد. از ضدیخ‌های گلیکول ویژه سیستم‌های تهویه مطبوع به جای ضدیخ‌های مورد استفاده در وسایل نقلیه باید استفاده کرد. نمونه محلول‌های ضدیخ باید در دوره‌های متناوب تجزیه شوند تا اطمینان حاصل شود که ترکیب بازدارنده افت غلط و یا تجزیه شیمیابی نشده باشد. سیستم‌های مدار بسته که با آب تازه پر شده‌اند

باید برای کنترل رسوب و خوردگی آماده‌سازی شوند.

سیستم‌های گرمایش آب گرم با دمای بالا. سیستم‌های گرمایش آب گرم با دمای بالا^۱ (HTHW) به سیستم‌هایی اطلاق می‌شود که دمای آن‌ها (۱۸۷ °C / 350 °F) و فشار سیستم ۴۵۰ پوند بر اینچ مربع (3000 کیلوپاسکال) باشد. این سیستم‌ها معمولاً در ایجاد حرارت مرکزی در مجتمع‌های بزرگ و یا خوابگاه‌های عمومی مورد استفاده قرار می‌گیرند. فقط آب نرم شده با زئولیت در این سیستم‌ها باید مصرف شود و در غیر این صورت به دلیل وجود دمای بالا همراه با حجم زیاد آب سیستم، جرم‌های رسوبی بر روی سطوح محیط انتقال حرارت در دیگ سیستم HTHW ایجاد می‌شوند. نسبت حجم آب به مساحت محیط انتقال حرارت به میزانی است که حتاً رسوب‌های جرمی اولیه نیز برای ایجاد اختلال قابل توجه در فرآیند انتقال حرارت کفایت می‌کنند.

عملکردهای آماده‌سازی اضافی شامل یک ترکیب اکسیژن‌زا مانند دی‌اتیل‌هیدروکسی لامین یا سولفیت‌سدیم است که ماده اخیر در سیستم‌هایی که فلزات غیرآهنی دارند، کارآیی بهتری دارد. سود سوزآور برای حفظ pH آب در دامنه ۸ تا ۱۰ استفاده می‌شود.

ترکیبات متلاشی‌کننده و بازدارنده جرم به منظور داشتن سطوح انتقال حرارت پاک و تمیز به کار برده می‌شوند. این ترکیبات از بازدارنده‌های باثبات حرارتی نظیر پلی‌اکریلیت‌ها، پلی‌متاکریلیت‌ها و فسفانات‌ها تشکیل شده‌اند.

سیستم‌های گرمایش آب گرم با دمای متوسط. سیستم‌های گرمایش آب گرم با دمای متوسط^۲ (MTHW) به سیستم‌هایی اطلاق می‌شود که دمای آن‌ها ۲۵۰ °C (۱۲۰ °F) تا ۳۵۰ °C (۱۷۷ °F) و فشار سیستم بالای ۳۰ پوند بر اینچ مربع (206 کیلوپاسکال) باشد. آب در این سیستم‌ها مشابه سیستم‌های (HTHW) آماده‌سازی می‌شود. اکسیژن‌ذاهایی نظیر دی‌اتیل‌هیدروکسی لامین یا سولفیت‌سدیم میزان رسوب و خوردگی را کنترل می‌کنند و برای حفظ pH در دامنه ۸ تا ۱۰ از سود سوزآور و یا مواد قلیایی مشابه استفاده می‌شوند. سیستم باید با آب نرم شده با زئولیت آبگیری شود تا از تشکیل رسوب‌های جرمی در سطوح محیط انتقال حرارت جلوگیری شود. بازدارنده‌های جرم و ترکیبات متلاشی‌کننده باید به صورت بازدارنده‌های باثبات

1. High-Temperature Hot-Water Heating System (HTHW)

2. Medium-Temperature Hot-Water Heating System (MTHW)

حرارتی طبق آن‌چه در بالا ذکر شد، به کار گرفته شوند.

سیستم‌های آب گرم کم‌دما. سیستم‌های آب گرم کم‌فشار^۱ (LTHW) به سیستم‌های اطلاق می‌شود که در دمای کمتر از (۱۲۰ °C) (۲۵۰ °F) با حداکثر فشار ۳۰ پوند بر اینچ (206 کیلوپاسکال) عملکرد دارند. در سیستم‌های کم‌دما کوپل‌های بای متال از فولاد، مس، برنج و آلومینیم معمولاً استفاده می‌شوند. آب بازچرخش در سیستم LTHW به بهترین نحو با مواد بازدارنده خوردگی نظیر مانند ترکیب براکس و نیتریت‌سدیم آماده‌سازی می‌شوند. این بازدارنده و سایر مواد بازدارنده مشابه در دماهای بالاتر از (۱۲۰ °C) (۲۵۰ °F) استفاده نمی‌شوند زیرا ثبات آن‌ها در دماهای بالا مورد تردید است. ظاهراً مکانیسم ایجاد پوشش توسط این مواد در دماهای بالا شدیداً محدود می‌شود، به طوری که در مورد بازدارنده‌های نیتریت‌دار بر روی سطوح انتقال حرارت لکه‌های جرم و حتاً تجزیه ماده بازدارنده اتفاق می‌افتد.

سیستم‌های بازدارنده ترکیب براکس نیتریت‌سدیم و سایر ترکیبات با بنیان نیتریت در غلظت‌های ۳۰۰۰ تا ۴۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر و دمای ۱۸۰ °F به کار بردہ می‌شوند. حال آنکه غلظت‌های ۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر برای این قبیل سیستم‌ها در کاربری پایین‌تر از دمای ۱۸۰ °F کافی است. در فرآیند آماده‌سازی با ترکیبات بنیان نیتریت، استفاده از بازدارنده‌ها خاص مس و برنج نظیر مرکاپتوبنزوتیازول یا فنیل‌تریازول‌ها به منظور به حداقل رساندن آسیب‌های واردہ به مس و خوردگی فولاد بر اثر القایی مس حائز اهمیت است.

سایر مواد بازدارنده خوردگی که به صورت مقادیر نسبی در مخلوط موجود هستند شامل فسفات‌های آلی، آنیدها، سیلیکات‌ها، بنزووات‌ها، فسفانات‌ها و مولیبیدات‌ها و ترکیبات مختلف از این مواد با سایر مواد آلی هستند. غلظت‌های توصیه شده از طرف فروشنده در مورد این نوع بازدارنده‌ها باید رعایت شوند تا کنترل خوردگی به نحو مناسب انجام شود.

بازدارنده‌های ویژه کنترل جرم و رسوب همراه با بازدارنده‌های خوردگی استفاده می‌شوند و معمولاً در مخلوط نسبی وجود دارند. بازدارنده‌های جرم برای سیستم‌های گرمایش LTHW شامل پلی‌اکریلیت‌ها، پلی‌متاکریلیت‌ها، پلی‌مالئیت‌ها، پلی‌استیرن سولفات‌ه، کربوکسی متیل سلولز، لیگنین و فسفانات‌ها هستند. برخی از این مواد به

عنوان مواد متلاشی‌کننده که مانع از رسوب‌گذاری ذرات ریز هستند، عمل می‌کنند و کنترل‌کننده بسیار مناسب برای جرم و رسوب هستند. زمانی که این بازدارنده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، معمولاً نرم کردن آب جبرانی مورد مصرف در اتفاق‌های «عادی» نظیر چکه کردن، نشت، تعمیرات و ... ضرورت ندارد.

سیستم‌های آب خنک شده. سیستم‌های آب خنک شده در دمای پایین‌تر از 60°C و معمولاً در دامنه دمای 44°F تا 140°F (10°C تا 44°C) برای خنک کردن آب عمل می‌کنند. بازدارنده‌های براکس نیتریت‌سدیم و سایر مخلوط‌های با بنیان نیتریت با 500 ppm غلظت تا 1000 ppm در pH ۷ تا ۱۰ استفاده می‌شوند. وجود بازدارنده‌های فلزات غیرآهنی در ترکیبات بازدارنده با بنیان نیتریت در کاهش تاثیرات شدید نیتریت بر آلیاژ لحیم و سایر فلزات غیرآهنی اهمیت بسیار زیادی دارد. بازدارنده‌هایی نظیر براکس، بنزووات‌سدیم، فسفات‌ها و بازدارنده‌های خاص فلز مس، مرکاپتوبنزووتیازول یا فنیل‌تیریازول از این گروه بازدارنده‌ها هستند. سیستم‌های آب خنک شده همگی دارای قطعاتی هستند که ساختار چندفلزی دارند و در آن‌ها فلزاتی نظیر آهن، فولاد، مس، برنج و آلومینیم به کار برده شده است و بنا بر این باید بازدارنده‌های محافظ این سیستم‌ها دارای فرمول‌بندی متعادل با نسبت‌های لازم باشند تا از حفاظت هر یک از فلزات به طور جداگانه و همچنین در برابر کوپل‌های گالوانی آن‌ها اطمینان حاصل شود.

سایر بازدارنده‌های ویژه سیستم‌های آب خنک شده شامل مخلوط‌های آلی محتوی فسفات‌ها، سیلیکات‌ها یا مولیبیدات‌ها، بنزووات‌سدیم، فسفانات‌های آلی و آمین‌های آلی نظیر متیل گالیسین و ایمیدازولین هستند. بازدارنده‌ها و یا مخلوط‌های بازدارنده خورده‌گی ممکن است با مواد متلاشی‌کننده و بازدارنده‌های رسوب ترکیب شوند تا یک مجموعه ترکیبی مناسب آماده‌سازی آب ایجاد کنند. مواد متلاشی‌کننده در این ترکیبات مشابه همان موادی است که در سیستم‌های آب گرم به کار می‌روند. **خنک‌کننده‌های مدار بسته.** خنک‌کننده‌های مدار بسته، سیستم‌های آبی کندانسور بسته هستند که با یک خنک‌کننده تبخیری ترکیب شده‌اند. مدار بسته کندانسور مشابه مدار بسته آب خنک با همان فرمول‌بندی‌های موجود در مواد بازدارنده برای کنترل خورده‌گی و رسوب آماده‌سازی می‌شود.

سیستم‌های تبادل حرارتی خورشیدی. یکی دیگر از انواع سیستم‌های بسته که استفاده از آن رو به رشد است، مدار تبادل حرارتی با مصرف بهینه انرژی خورشیدی است. آب این سیستم‌ها نیز از نظر خوردگی و رسوب باید تحت کنترل قرار گیرد. موثرترین فرآیندهای آماده‌سازی در این قبیل سیستم‌ها همان روش‌های متداول در سیستم‌های حرارتی آب گرم و خنک هستند.

آزمایش‌های کنترل. آزمایش‌های کیفیتی از نمونه آب آماده‌سازی شده در سیستم‌های بسته باید به فواصل حداقل یک بار در ماه انجام شود تا وضعیت سیستم بایگانی شود و از تامین میزان مطلوب مواد در آب اطمینان حاصل شود. حداقل آزمایشی که باید انجام شود، آزمایش میزان بازدارنده pH آب است. آزمایش‌هایی که از طرف ارائه‌دهنده آب مصرفی انجام می‌شود باید حداقل ماهیانه باشد و شامل تجزیه کامل آب شامل میزان بازدارنده‌های موجود در آن باشد.

روش تغذیه. مواد افزودنی به آب در سیستم‌های بسته به چند وسیله ساده اضافه می‌شوند. ممکن است مواد را از هر نوع مجرای ورودی نظیر منبع انبساط و یا مخزن‌های باز به طور مستقیم به آب افزود.

در سیستم‌های کوچک ولی «کاملاً بسته» ممکن است از یک پمپ همزن و یا پمپ واداشته (مشابه تصویر 35) برای تزریق مستقیم مواد از طریق شیر زیر آب و یا روزنه لوله استفاده کرد.

در بسیاری از موارد، نصب یک تغذیه‌کننده کنارگذر در کنار پمپ بازچرخانی مشابه تصویر (49) راحتا بیشتری دارد. با ایجاد اختلاف فشار مابین بخش تخلیه و بخش مکش پمپ بازچرخانی، آب موجود در سیستم با فشار از درون تغذیه‌کننده کنارگذر عبور می‌کند و مواد افزودنی به طور مستقیم به درون سیستم تزریق می‌شوند. تعمیر و نگهداری و اجرای برنامه آماده‌سازی در سیستم‌های بسته نسبتاً آسان است و بازدهی حفاظت از خوردگی و کارآیی سیستم بسیار قابل توجه است.

مراجع و مراجع

1. American Public Health Association (APHA): *Standard Methods for the Examination of Water and Waste Water*, APHA, Washington, DC, 1980.
2. American Water Works Association: *Water Quality and Treatment*, McGraw-Hill, New York, 1971.
3. *ASHRAE Handbook and Product Directory, Systems*, ASHRAE, Atlanta, GA, chap. 36, p. 36.16, 1980.
4. Atkinson, I. J. N., and Van Doffelaar, H.: *Corrosion and Its Control*, National Association of Corrosion Engineers, Houston, 1982.
5. *Betz Handbook of Industrial Water Conditioning*. Beta Laboratories, Trevose, PA, 1980.
6. Blake, Richard T.: *Water treatment for HVAC and Potable Water Systems*, McGraw-Hill, New York, 8th ed., 1980.
7. Butler, G., and Ison, H. C. K.: *Corrosion and Its Prevention in Waters*, Litton Educational Publishing Co. (Reinhold), Chicago, 1966.
8. *Drew—Principles of Industrial Water Treatment*, Drew Chemical Corporation, Boonton, NJ, 11th ed., 1994.
9. Frayne, Colin: *Cooling Water Treatment Principles and Practice*, Chemical Publishing, New York, 1999.
10. Frayne, Colin: *Boiler Water Treatment Principles and Practice*, Chemical Publishing, New York, 2002.
11. Goddard, Hugh P. (ed.): "Materials Performance," vol. 13, no. 4, p. 9, April 1974 (Reprinted by permission).
12. Hausler, R. H.: "Economics of Corrosion Control," *Materials Performance*, National Association of Corrosion Engineers, Houston, June, p. 9, 1978.
13. Hinst, H. E.: "12 Ways to Avoid Boiler Tube Corrosion," Babcock and Wilcox (Reprint).
14. Kemmer, Frank N. (ed.): *The Nalco Water Handbook*, McGraw-Hill, New York, 2nd ed., 1988.
15. Kilbaugh, W. A., and Pocock, P. J.: "Pointers on the Care of Low Pressure Steam Steel Boilers," *Heating/Piping/Air Conditioning*, February 1962.
16. Likens, Gene E.: "Acid Precipitation," *Chemical and Engineering News*, Nov. 22, p. 29, 1976.
17. Mayer, W. F., and Larsen, Russell: "An Evaluation of White Rust and Cooling Tower Metallurgy," *AWT Analyst*, March 1992.
18. McCoy, J. W.: *Chemical Analysis of Industrial Water*, Chemical Publishing, New York, 1969.
19. McCoy, J. W.: *The Chemical Treatment of Cooling Water*, Chemical Publishing, New York, 1974.
20. Nathan, C. C. (ed.): *Corrosion Inhibitors*, National Association of Corrosion Engineers, Houston, 1973.
21. Nordell, Eskel: *Water Treatment for Industrial and Other Uses*, Litton Educational Publishing (Reinhold), Chicago, 1961.
22. Pincus, L. I.: *Practical Boiler Water Treatment*, McGraw-Hill, New York, 1962.
23. Powell, Sheppard T.: *Water Conditioning for Industry*, McGraw-Hill, New York, 1954.
24. Speller, Frank N.: *Corrosion Causes and Prevention*, McGraw-Hill, New York, 1951.
25. Sussman, Sidney: "Hot Water Heating Needs Water Treatment," *Air Conditioning, Heating and Ventilating*, August 1965.
26. Sussman, Sidney: "Causes and Cures of Mechanical Shaft Seal Failures in Water Pumps," *Heating/Piping/Air Conditioning*, September 1963.
27. Uhlig, H. H. (ed.): *The Corrosion Handbook*, Wiley, New York, 1948.
28. Uhlig, H. H.: *Corrosion and Corrosion Control*, Wiley, New York, 1971.