



محافظان بهبود آب
MBA WATER TREATMENT CHEMICALS



فهرست:

اسامی هیئت تحریریه:

دکتر سید محمد سیدرضی
مهندس سیدعلی سیدرضی
دکتر محمدعلی فرزانه
مهندس محمدعلی سلطانی مهر
دکتر زهرا پور رمضان
همکاران اجرایی خانم ها:

سمیه موسوی
مائده عبدالوند
ساناز مددیان
طراحی گرافیک: استودیو طراحی سلیم صالحی
صفحه آرایی: آسیه یکه فلاح
ناشر: واحد آموزش شرکت محافظان بهبود آب

- بخش اول ۲
کنترل خوردگی و رسوب در آب RO
pH آب و مقدار سختی مورد نیاز
حداکثر مقدار مجاز کلراید در آب RO
کنترل رسوب با ضریب لانگلیز و اشکالات
موجود در این روش حداکثر مقدار مجاز
کلراید و سختی در آب خام
- بخش دوم ۱۲
ملاحظات شیمیایی استفاده از پسابهای صنعتی
مطالعه موردی: نیروگاه فولاد مبارکه اصفهان
- بخش سوم ۲۳
اندازه گیری میزان خوردگی با روش کوپن گذاری
مطالعه موردی

آدرس: تهران، خیابان شریعتی، نرسیده به میدان قدس، بن بست تدین، پلاک ۹
طبقه چهارم، واحدهای ۱۳ الی ۱۶

کدپستی: ۱۹۶۳۸۱۶۱۵۴ تلفن: ۲۲۷۰۹۷۳۸-۴۱ فکس: ۲۲۷۰۹۸۰۳
Unit 13 to 16, 4th Fl., No. 9, Tadayon Dd. End, Before Ghods Sq.,
Shariati St., Tehran, Iran. Zip code: 1963816154
Tell: (+98) 21-22709738-41 Fax: (+98) 21-22709803

www.mbaco.ir info@mbaco.ir

سخن آغازین

رسول اکرم(ص) می‌فرماید: بهترین صدقه این است که شخصی دانشی را بداند و آن را به دیگران یاد دهد.

یکی از مهمترین روش‌های بالا بردن آگاهی در زمینه علم خوردگی، اطلاع‌رسانی کارشناسان در این ارتباط می‌باشد. انگیزه‌ای که مسئولین این شرکت را به انشاء این گاهنامه واداشت، نشر تجربیات کسب شده در موضوعات مختلف علم خوردگی، مخصوصاً در فرایندهای آب و بخار می‌باشد.

بدیهی است که تجربیات به دست آمده، حاصل تلاش عزیزانی می‌باشد که در صنایع مختلف کشور، با تلاش آن را کسب نموده و در اختیار مسئولین و کارشناسان این شرکت قرار داده‌اند و لذا ما نیز وظیفه نشر و انتشار آن را بر عهده گرفته‌ایم و خدای را سپاس می‌گوییم که این توفیق را نصیب این شرکت نموده که در این راه قدمی کوچکی بر دارد. امید است با اطلاعات خوبی که کارشناسان صنایع کشور در ارتباط با تجربیات خود در اختیار ما قرار خواهند داد، این اطلاع‌رسانی گسترش و تدام یابد (انشاء ا...). بدیهی است که مطلب ارسالی با نام خود افراد به چاپ خواهد رسید.

یکی از تجربیات خوب این شرکت صرفه‌جویی در مصرف آب صنایع و رفع معضلات خوردگی است و لذا کارشناسان این شرکت می‌توانند همکاری‌های خوبی با صنایع در انجام پروژه‌های تحقیقاتی در موارد فوق‌الذکر داشته باشند.

در خاتمه ضمن آرزوی موفقیت برای همه کارشناسانی که به نحوی در ارتباط با ارتقاء دانش خوردگی و رفع معضلات آن می‌کوشند، سلامتی و توفیقات روز افزون این عزیزان را از درگاه ایزد متعال مسئلت می‌نمائیم.

۱-۱ pH آب و مقدار سختی مورد نیاز برای کنترل خوردگی و رسوب در آب خنک کن باز

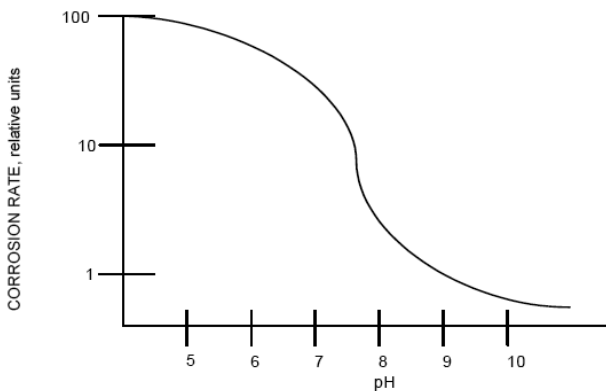
همچنان که ذکر شد غالباً از آب RO در مجتمع‌های پتروشیمی واقع در منطقه ماهشهر به منظور مصرف در آب جبرانی برج‌های خنک کن، آب سرویس و آب شرب استفاده می‌شود.

از آنجا که مقدار املاح آب RO کم است لذا کنترل خوردگی این آب بدون بازدارنده خوب مشکل می‌باشد و لذا در گذشته در اکثر برج‌های خنک کن مجتمع‌های مذکور به منظور کاهش خوردگی آب از آهک استفاده می‌شد. استفاده از آهک سبب افزایش pH آب و همچنین مقدار کلسیم موجود در آب می‌شود که این روش می‌تواند به کاهش خوردگی آب کمک کند.

ولی در حال حاضر به دلیل استفاده از بازدارنده‌های خوب این روش منسوخ شده است. بعضی از بازدارنده‌های با کیفیت خوب می‌توانند در pHهای پایین ۷/۵ - ۷ بهترین راندمان را از نظر خوردگی و رسوب داشته باشند.

نمودار شماره ۱ رفتار خوردگی آهن را در pHهای مختلف نشان می‌دهد، چنانکه مشاهده می‌شود میزان خوردگی آهن در pHهای بالا کاهش می‌یابد و لذا غالباً شرکت‌های سازنده این نوع مواد سعی می‌کنند که با افزایش pH آب در حال گردش در حد ۸ - ۸/۵ مقدار خوردگی را در سطح استاندارد نگهداری نمایند ولی متأسفانه در این pH رسوب‌گذاری در مبدل‌هایی که سرعت آب در آنها کم و یا درجه حرارت آب بالا باشد تشدید می‌شود. ضمن آنکه بیشتر مواد ضد رسوب در دمای بالاتر از ۵۰ درجه سانتیگراد خاصیت ضد رسوبی خود را از دست می‌دهند [۱].

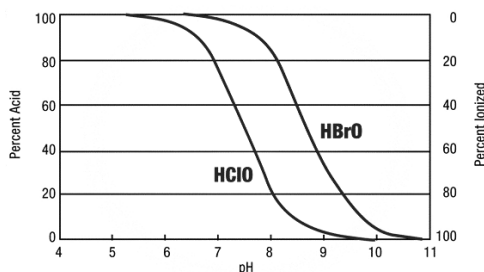
در حال حاضر ملاک بیشتر کارشناسان آب در صنایع کشور، میزان خوردگی عمومی می‌باشد که با کوپن‌گذاری در مسیر آب خنک کن اندازه‌گیری می‌شود و نه رسوب. که بایستی این نگرش تغییر یابد. زیرا غالباً مشکلی که سبب توقف واحد می‌شود ایجاد رسوب و نهایتاً سوراخ شدن مبدل‌ها در سیستم می‌باشد نه بالا بودن خوردگی عمومی.



شکل ۱ - تغییرات نرخ خوردگی نسبت به pH

حضور رسوبات می‌تواند مشکلات عدیده‌ای را به وجود آورد که از آن جمله می‌توان به:

- انواع خوردگی‌های زیر رسوبی، تورمی (Tuberculation) و اکسیژنی در آب خنک ناشی از رسوبات ناخواسته در سیستم می‌باشد [۳ و ۲].
- رسوبات ناخواسته در آب خنک‌کن سبب می‌شود تا خوردگی میکروبی ناشی از باکتری SRB در زیر رسوبات سبب خوردگی حفره‌ای شود [۵ و ۴].
- همانطور که در شکل ۲ دیده می‌شود راندمان گاز کلر در pH ۸/۵ حدوداً ده درصد می‌باشد در حالی که این راندمان برای pH حدود ۷ حدوداً ۸۰ درصد گزارش است. لذا در pH پایین هزینه مواد گندزدای مصرفی بسیار کاهش می‌یابد [۷ و ۶].



شکل ۲- راندمان عملکرد گاز کلر در pHهای مختلف [۶]

- بهره‌برداری در pH خنثی نه تنها سبب ایجاد رسوب نمی‌شود، بلکه در طولانی مدت رسوبات موجود در سیستم را تمیز و حذف می‌کند.

با توجه به مشکلات عدیده حاصل از تشکیل رسوب می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از بازدارنده‌هایی که بتوانند در pH پایین نتایج خوبی را در کاهش خوردگی عمومی داشته باشند، بر بازدارنده‌هایی که در pH بالا کار می‌کنند ارجح می‌باشد.

مطالعات موردی شماره ۱

نحوه رفع مشکل رسوب‌گذاری در آب خنک‌کن واحدهای HD در پتروشیمی‌ها

در بعضی از فرایندهای تولید در صنایع پتروشیمی به منظور شروع واکنش اولیه نیاز به ایجاد گرما می‌باشد در این حالت بخار فوق اشباع را وارد ژاکت‌هایی که آب خنک‌کننده در آن جریان دارد نموده و بدین وسیله گرمای لازم اولیه تأمین می‌شود.

در هنگام تزریق بخار، آب داخل لوله‌های تخلیه نمی‌شود و بعد از تزریق بخار، شیرهای ورودی و خروجی بسته شده و یک سیکل بسته از بخار و آب در دمای بالا تشکیل می‌شود. زمان ماندگاری آب داغ در درجه حرارت بالا سبب تسریع و تشدید رسوب‌گذاری در مدار مذکور می‌شود.

پس از اتمام واکنش اولیه، ادامه واکنش گرمازا می باشد. لذا تزریق بخار قطع و آب خنک کن به منظور خنک کنندگی ژاکت راکتور جریان می یابد. این امر مشکلات رسوب گذاری زیادی را در ژاکت ها به وجود می آورد. به دلیل تزریق بخار فوق اشباع در زمان راه اندازی درجه حرارت آب خنک کننده بسیار افزایش می یابد و مواد ضد رسوب نمی توانند مانع از تشکیل آن شوند.

در این واحدها غالباً از آب اسمز معکوس به عنوان آب گردشی استفاده می شود ولی همان مقدار کم نمک های محلول در آب گردشی سبب تشکیل رسوباتی چسبنده می شود که این رسوبات به راحتی قابل تمیز شدن نمی باشند. در چند پتروشیمی که واحدهای HD در آنها مشغول به کار می باشند، غالباً پس از چند ماه مبدل های مذکور از سرویس خارج شده و با اسید کلریدریک و بازدارنده مناسب شستشو می شوند.

استفاده از بازدارنده هایی که در pH پایین می توانند از راندمان خوبی برخوردار باشند سبب گردیده است که مشکل مذکور مرتفع شود علت آن هم این است که در pH خنثی، رسوب گذاری در زمان تزریق بخار به حداقل کاهش می یابد. ضمن آنکه رسوب کم ایجاد شده در طولانی مدت به تدریج شستشو می شود.

نتایج خوب به دست آمده سبب شده است که در ۵ سال گذشته ژاکت های مذکور دیگر نیازی به اسیدشویی نداشته باشند و این مطلب می رساند که استفاده از بازدارنده هایی که در pH پایین کار می کنند چقدر می تواند در افزایش راندمان تولید مؤثر باشند. در همین راستا در ادامه نتایج خوردگی یک سیستم آب خنک کن باز در منطقه ماهشهر ارائه می گردد.

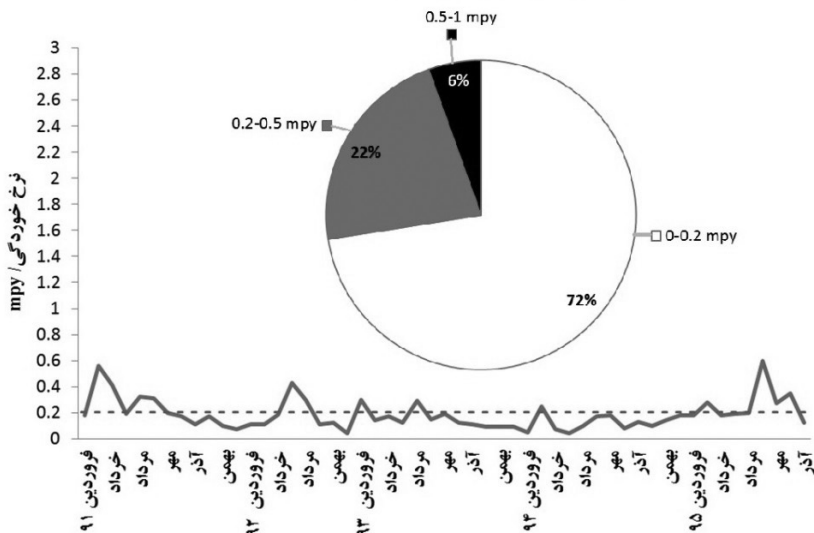
نتایج حاصل از میزان خوردگی یک سیستم آب خنک کن باز در منطقه ویژه ماهشهر

خصوصیات شیمیایی آب ورودی و آب در گردش در این سیستم در جدول زیر آورده شده است. نتایج کوپن گذاری طی ۵ سال گذشته نشان می دهد که مقدار خوردگی عمومی ۷۲ درصد از کوپن ها کمتر از ۰/۲ mpy بوده و حداکثر آن در حدود ۰/۶ mpy گزارش شده است (شکل ۳). کلیه پارامترهای موجود در جدول ۱ بر حسب ppm می باشد.

جدول ۱- مشخصات آب RO ورودی و در آب گردش

پارامتر	pH	EC	TH	M.ALK	Cl	T.Fe	D.Fe	F.Cl2
آب ورودی	۷٫۷	۴۰-۶۰	۴-۶	-	۱۰-۱۵	۰٫۱-۰٫۲	-	-
آب در گردش	۷٫۲۰-۷٫۸۰	۸۰۰-۱۲۰۰	۲۰-۴۰	۲۰-۱۰۰	۱۰۰-۴۰۰	۰٫۴-۲	۰٫۴-۴	۰٫۲-۱

خوردگی عمومی طی پنج سال گذشته



شکل ۳- تغییرات نرخ خوردگی برای یک سیستم آب خنک‌کن باز در مدت ۵ سال گذشته (فروردین ۹۱ الی آذر ۹۵)

۲-۱- حداکثر مقدار مجاز کلراید در آب RO

فولادهای زنگ‌زن در محیط‌های آبی در برابر خوردگی مقاوم می‌باشند. با این حال حضور بیش از حد یون کلراید (Cl) در آب‌های مقطر و RO سبب خوردگی SCC در فولادهای زنگ‌زن ۳۰۴L و ۳۱۶L می‌گردد. علاوه بر این، این نوع فولاد در حضور یون کلراید دچار خوردگی حفره‌ای و شیاری نیز می‌شود.

انجمن نیکل آمریکا [۸] حداکثر مجاز برای یون کلر را ۲۰۰ ppm ذکر کرده است. در این گزارش به سایر پارامترهای تأثیرگذار نیز اشاره شده است از آن جمله غلظت بالای کلراید، درجه حرارت‌های بالا، PH‌های پایین، سرعت‌های پایین، وجود شیارهای نازک در سیستم، حضور توده‌های میکروبی، همگی این پارامترها می‌توانند باعث تشدید خوردگی شیاری گردند. نهایتاً این انجمن توصیه نموده است که بهتر است مقدار کلراید برای فولاد زنگ‌زن در حد تا ۵۰ ppm باشد و برای فولاد زنگ‌زن ۳۱۶L مقدار آن ۲۵۰ ppm باشد (جدول ۲). در همین راستا شرکت میتسوبیشی ژاپن برای پتروشیمی تندگویان در منطقه ماهشهر حداکثر مقدار یون کلراید را ۵۰ ppm و سایر پارامترها را مطابق جدول ۳ اعلام نموده است [۹]. کلیه پارامترهای ارائه شده در جدول ۳ بر حسب ppm می‌باشد.

جدول ۲- میزان کلر مجاز برای فولادهای زنگ نزن در شرایط مختلف مربوط به انجمن نیکل آمریکا [۸]

Chloride Level (ppm)	Stainless Steel Grade
<200	304,316L
1000-200	316L, duplex alloy 2205
3600-1000	duplex alloy 2205 6% Mo superaustenitic, super duplex
>3600	6% Mo superaustenitic, super duplex
26000-15000 (آب دریا)	6% Mo superaustenitic, super duplex

جدول ۳- کیفیت آب استخراج شده از دستورالعمل شرکت میتسوبیشی [۹]

pH	TH	Chloride	Sulphate	Iron	Silica	TDS
<9(as CaCO ₃)	<30	<50	<50	Traces	<1.2	<250 (CaCO ₃)

در بعضی از مراجع ذکر شده است که مقدار یون کلراید در آب مقطر می‌تواند تا ۱۰۰۰ ppm افزایش یابد و زمانی که توده‌های میکروبی در سطح مبدل‌ها و لوله‌ها وجود داشته باشند این مقدار نایبستی از ۲۰۰ ppm تجاوز نماید [۱۰]. علت وجود چنین اختلافی را می‌توان حضور توده‌های میکروبی و یا رسوب روی سطوح و در نتیجه افزایش موضعی غلظت یون کلراید عنوان کرد. مکانیزم این نوع خوردگی با مکانیزم خوردگی شیار یکنسان است. در خوردگی شیار نیز با نفوذ یون‌های کلراید به داخل شیار غلظت آن تا چند برابر افزایش می‌یابد [۱۱].

توضیح: جهت اطلاع بیشتر کارشناسان در مورد توضیح موارد ذکر شده عیناً مطالب مرجع شماره ۱۰ در جدول ۴ آورده شده است. ضمناً در جدول شماره ۵ که مرجع آن با مراجع دیگر متفاوت بوده و از انستیتو توسعه نیکل اخذ شده، حد مجاز یون کلراید را بدون قید و شرط دقیقاً مطابق جدول ۵ اعلام نموده است [۱۲].

جدول ۴- مقادیر مجاز کلر برای فولادهای ۳۰۴ و ۳۱۶ [۱۰]

Stainless Steel 316-SS	Similar to 304-ss with higher chloride tolerances. Tolerates chloride levels of 5000 mg/l when deposit-forming conditions exist. Tolerates chloride levels up to 30000 mg/l on clean surfaces.
Stainless Steel 304-SS	Susceptible to corrosion from chlorides when deposit-forming conditions exist. Biomass deposits can cause rapid pitting. Corrodes at chloride levels of 200 mg/l when deposit-forming conditions exist. Tolerates chlorides levels of 1000 mg/l on clean surfaces

جدول ۵- سطح کلر برای آب در دمای محیط [۱۲]

Chloride Level (ppm, mg/L)	Suitable grades
<200	1.4301 (304), 1.4307 (304L), 1.4404 (316 L)
200-1000	1.4404 (316L), 1.4462 (2205)
1000-3600	1.4462 (2205), 6% Mo Super austenitic, Super duplex
>3600 and sea water	6% Mo Super austenitic, Superduplex

۳-۱- کنترل رسوب با ضریب لانگلیر و اشکالات موجود در این روش

متأسفانه ده‌ها سال می‌باشد که کارشناسان خوردگی در ایران و حتی در دنیا بر این باورند که چنانچه ضرایب لانگلیر و رایزنر و همچنین سایر ضرایب دیگر را به گونه‌ای رعایت کنند که سیستم در حالت رسوب‌گذاری ملایم باشد مشکل خوردگی کاهش می‌یابد و در این ارتباط غالباً در دستورالعمل تهیه شده چنین عنوان می‌شود که بهتر است ضریب لانگلیر به نحوی کنترل شود که آب در حال رسوب‌گذار باشد و نه در حالت خورنده [۱۳].

در دستورالعمل تهیه شده توسط شرکت میتسوبیشی ژاپن در مورد کیفیت آب در گردش برای ضریب مذکور عدد ۰/۷۷ را توصیه نموده است.

جدول ۶- ضرایب لانگلیر و رایزنر مربوط به شرکت میتسوبیشی (پتروشیمی تندگویان) [۹]

LSI	+0/77
RSI	6/59

همچنان که توضیح داده شد چنانچه آب خورنده باشد یعنی PH در محدوده ۷/۵-۷ کنترل شود، رسوب‌گذاری به حداقل ممکن کاهش می‌یابد. عدم حضور رسوبات در مدار آب خنک‌کن نه تنها پدیده‌های خوردگی زیر رسوبی، تورمی و میکروبی ناشی از رسوب را غیرممکن می‌سازد بلکه رسوبات موجود در سیستم را در طولانی مدت به تدریج زدوده و سبب تمیزی مدار آب خنک‌کن و مبدل‌های حرارتی می‌شود.

با توجه به موارد ذکر شده بهتر است ضریب لانگلیر در حد منفی نگهداری شود به نحوی که با افزایش املاح آب این ضریب منفی تر شود تا امکان رسوب‌گذاری به حداقل کاهش یابد. با توجه به تجربیات به عمل آمده توصیه می‌شود تا برای آب‌های خنک‌کن با سختی‌های متفاوت از جدول زیر استفاده شود.

یکی دیگر از اشکالات ضریب لانگلیر محاسبه آن می‌باشد در جدول تنظیم شده حداکثر مقدار TDS آب و همچنین مقدار سختی کلسیم ۱۰۰۰ mg/lit منظور شده است در حالی که در بسیاری از آب‌های کشور، مقادیر واقعی بسیار بیشتر از مقادیر ذکر شده در این جدول می‌باشند [۱۴].

جدول ۷- مقدار ضریب لانگلیر بر اساس تغییرات سختی

مقدار سختی کل (ppm)	ضریب لانگلیر
۵۰۰-۱۵۰۰	$0 - (-0/5)$
۱۵۰۰-۲۵۰۰	$(-0/5) - (-0/8)$
۲۵۰۰-۴۰۰۰	$(-0/8) - (-1/2)$

تأکید می‌شود، منظور نویسنده از ذکر این اشکالات در ضریب لانگلیر، کنار گذاشتن این ضریب نمی‌باشد بلکه باید از این ضریب فقط به منظور میزان خوردگی آب استفاده شود نه کنترل رسوب

۴-۱ حداکثر مقدار مجاز کلراید و سختی در آب خام

همچنان که می‌دانیم با کاهش بلودان و افزایش سیکل تغلیظ می‌توان در مصرف آب در سیستم‌های خنک‌کن باز صرفه‌جویی نمود.

با افزایش سیکل تغلیظ مقدار املاح رسوب‌گذار و همچنین مقدار نمک‌های خورنده آب نظیر کلراید و سولفات افزایش می‌یابد. افزایش سختی آب که شامل نمک‌های کلسیم و منیزیم می‌باشد، سبب تشدید رسوب‌گذاری می‌شود و لذا در کلیه کتب فنی و همچنین توصیه‌های سازندگان مواد بازدارنده خوردگی و رسوب محدودیت‌هایی را برای آن ذکر نموده‌اند، به طور مثال حداکثر مقدار کلراید غالباً در حد ۱۵۰۰ ppm و مجموع کلراید و سولفات در بسیاری از مراجع کمتر از ۲۵۰۰ اعلام شده است [۱۵].

ضمناً در ارتباط با مقدار سختی آب نیز محدودیت‌هایی در نظر گرفته می‌شود و مقدار آن برای شرکت‌های مختلف متفاوت می‌باشد ولی به ندرت مقدار سختی کل را تا ۲۵۰۰ ppm اعلام نموده‌اند.

جالب اینجاست که در کتاب هندبوک کوریتای ژاپن [۱۶] آبی با سختی ۷۰۰ ppm جزء آب‌های با املاح زیاد تعریف شده است. در تعریفی که در استاندارد آب‌های آشامیدنی در اروپا آمده است، آبی که حاوی بیش از ۲۵۰ ppm کلراید باشد جزء آب‌های با کلراید بالا تعریف شده است [۱۷].

علت آن نیز مشخص می‌باشد. غالباً در کشورهای اروپایی و ژاپن و حتی در مناطق بسیار زیادی در امریکا، به علت بارندگی زیاد، غالباً مقدار املاح آب بسیار کم می‌باشد.

استاندارد کیفیت فاضلاب تصفیه شده در ایران جهت تخلیه به محیط زیست برای کلسیم و منیزیم هر کدام ۱۰۰ ppm و برای کلراید و سولفات به ترتیب ۶۰۰ ppm و ۴۰۰ ppm اعلام شده است [۱۸] در حالی که این اعداد در وضعیتی اعلام می‌شود که هدایت الکتریکی و مقادیر

TH و Cl- آب‌های کرمان، یزد و حاشیه کویر ایران غالباً به ترتیب بیشتر از ۲۵۰۰ ppm، ۸۰۰ ppm و ۱۰۰۰ ppm می‌باشد. هدایت الکتریکی آب بعضی از چاه‌های اطراف قم حدود $\mu\text{s/cm}$ ۴۵۰۰ می‌باشد [۱۹].

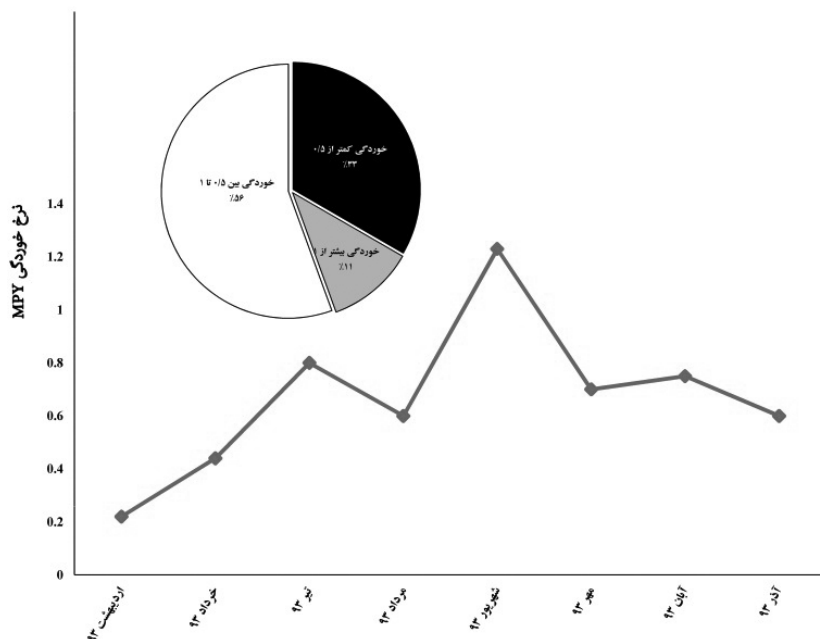
با توجه به کمبود شدید آب در مناطق مختلف ایران مخصوصاً مناطق حاشیه کویر، اگر قرار باشد که این گونه آب‌ها ابتدا از RO عبور کنند و سپس آب تصفیه شده وارد کولینگ تاور شود با توجه به مقدار آب دورریز (reject) که حدوداً ۳۰ الی ۳۵ درصد می‌باشد، مقدار آب زیادی به فاضلاب ریخته خواهد شد، در هر حال بایستی شرکت‌های سازنده مواد سعی کنند بازدارنده‌هایی را تولید کنند که بتوانند در چنین شرایط سختی عملکرد خوبی را داشته باشند.

مطالعات موردی شماره ۲

از آب دورریز RO (آب reject) یک واحد تولید لاستیک در کرمان که مقدار هدایت الکتریکی آن $\mu\text{s/cm}$ ۲۵۰۰ می‌باشد به عنوان آب ورودی به کولینینگ استفاده می‌شود و نهایتاً مقدار هدایت الکتریکی آن تا $\mu\text{s/cm}$ ۸۰۰۰ افزایش می‌یابد و همچنین هدایت الکتریکی آب در گردش یک نیروگاه در منطقه کرمان که هدایت الکتریکی آن در حد $\mu\text{s/cm}$ ۹۰۰۰ - ۱۰۰۰۰ می‌باشد نیز از آب‌هایی می‌باشد که مقدار سختی و همچنین کلراید و سولفات آن بسیار بالا می‌باشد میزان خوردگی عمومی آنها کمتر از ۲ mpy به دست آمده است. نتایج خوردگی این واحد تولید لاستیک به شرح زیر گزارش می‌گردد.

همانطور که در شکل شماره ۴ مشاهده می‌شود تغییرات نرخ خوردگی این لاستیک‌سازی برای مدت ۸ ماه در شکل زیر آورده شده است. متوسط نرخ خوردگی مس در این مجتمع کمتر از ۰/۱ mpy می‌باشد.

خوشبختانه نتایج بازدارنده‌های این شرکت در چنین آب‌هایی واقعاً بسیار خوب بوده است و شکر گزار خداوند متعال می‌باشیم که به ما این توفیق را داده که بتوانیم چنین خدمتی را به صنایع کشور ارائه نماییم. انشاء... با تلاشی که همکاران این شرکت دارند، امید است که بتوانیم جایگاه خوبی در جهت صادرات در دنیا داشته باشیم.



شکل ۴- تغییرات نرخ خوردگی برای لاستیک‌سازی برای مدت ۸ ماه

متوسط پارامترهای شیمیایی آب در گردش بر اساس جدول زیر می‌باشد. کلیه پارامترهای بر حسب ppm می‌باشد.

جدول ۸- متوسط پارامترهای شیمیایی آب در گردش لاستیک‌سازی

	PH	EC	TH	Cl	MALK
میانگین پارامترهای آب در گردش	۷/۸	۳۴۵۰	۴۹۳	۸۲۵/۴	۷۹/۷

بخش دوم: ملاحظات شیمیائی استفاده از پس آب‌های صنعتی و انسانی

مقدمه

استفاده از آب‌های بازیافتی تصفیه شده راهکاری مؤثر جهت صرفه‌جویی در مصارف آب صنایع می‌باشد. مخصوصاً آب‌های مورد نیاز برای برج‌های خنک‌کن و دیگ‌های بخار. در حال حاضر به دلیل کمبود آب استفاده از پساب مذکور در ایران شروع شده است، برای مثال در حال حاضر نیروگاه شهید مفتاح همدان و شرکت پالایش نفت اصفهان از این نوع آب استفاده می‌کنند. استفاده از این گونه آب‌ها مشکلات بهداشتی نداشته و کاملاً توجیه اقتصادی دارند.

از آنجائی که کیفیت شیمیائی این نوع آب‌ها با آب‌های طبیعی متفاوت می‌باشد، لذا بایستی دقت لازم در مورد نحوه به کارگیری آن به عمل آورد. به طور مثال، غالباً مقدار آمونیاک، BOD این نوع آب‌ها بالاتر از آب‌های طبیعی می‌باشد.

در این بخش اثرات ناخالصی‌های موجود در آب تصفیه شده از پساب بر فلزات به کار رفته در برج‌های خنک‌کن به طور خلاصه مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرند [۱۰].

ملاحظات مرتبط با اجزای سیستم خنک کن

ماده	اثرات کیفیت آب	ملاحظات مورد نیاز
چوب	فساد چوب	بالا بودن مقدار گاز کلر (بیش از ۱ppm)
فولاد نرم	مستعد به خوردگی و رسوب گذاری حاصل از بالا بودن میزان کل مواد جامد محلول، مواد جامد محلول، زیست توده و فلزات سنگین	با بهسازی شیمیایی آب می توان احتمال بروز این عارضه را به حداقل رساند.
آهن، کالانیزه	مستعد به خوردگی ناشی از غلظت بالای مواد جامد محلول و pH زیر ۷/۵ یا بالای ۱۳/۵	کاهش سیکل تنطیلاً تنظیم pH و استفاده از مواد شیمیایی بهسازی
فولاد زنگ نزن ۳۰۴-۳۰۶ L	مستعد به خوردگی ناشی از حضور کلرایدها زمانی که شرایط برای تشکیل املاح مهبانست، ته نشست های زیست توده ای می توانند خوردگی حفره ای را تسریع نمایند. زمانی که شرایط برای تشکیل املاح مهبانست، حضور کلراید با غلظت ۲۰۰ mg/l می تواند موجب خوردگی شود. غلظت قابل تحمل کلراید برای سطوح تمیز ۱۰۰۰ mg/l است.	در تمیز نگه داشتن سیستم از ته نشست های میکروبی (لجن ها) با استفاده از مواد خوردگی حساس نیترات ها با غلظت بالا سبب کاهش خوردگی فولاد زنگ نزن می شود
فولاد زنگ نزن ۳۱۶ - ۳۱۶ L	مانند فولاد زنگ نزن ۳۰۴ و با قدرت تحمل کلرایدی بیشتر	مانند فولاد زنگ نزن ۳۰۴
آلیاژهای مسی	مستعد به خوردگی ناشی از آمونیاک و غلظت بالای مواد جامد محلول. آمونیاک در غلظت بالای ۰/۵ mg/l بر حسب NH3 می تواند خوردگی شکافی را سبب گردد. ضمناً در تشکیل توده میکروبی که موجب خوردگی آلیاژهای مسی در زیر تنشست ها می شوند، مؤثر است.	با بهسازی آب می توان احتمال بروز این عارضه را به حداقل رساند. با دارنده های خوردگی حس نظیر TTA (تولی تری اول) یا BZT (بنزوتری اول) می توانند شدت خوردگی شکافی را کاهش دهند اما نمی توانند آن را به طور کامل حذف کنند ^[۲۰] . آلیاژهای کوپروپیکل (۹۰/۱۰ و ۷۰/۳۰) در قبال خوردگی شکافی مقاوم ترند.

توضیح: حضور توده های لجن در روی سطح فولاد زنگ نزن سبب افزایش کلراید در زیر این حالت یون های کلراید به داخل شکاف نفوذ نموده به چندین برابر مقدار کلراید خارج از شکاف افزایش می یابد. خوردگی شلاری است در این حالت یون های کلراید به داخل شکاف نفوذ نموده به چندین برابر مقدار کلراید خارج از شکاف افزایش می یابد.

تأثیر شاخص‌های کیفیت آب بر روی سیستم‌های خنک‌کن	
شاخص کیفیت آب	تأثیر شاخص بر سیستم آب خنک کن
سختی آب	به ایجاد رسوب کمک می‌کند نمک‌های کلسیم دارای حالیت محکوس هستند یعنی افزایش دمی آب با تشدید نمذشتنی این نمک‌ها همراه است.
قلیائیت	قلیائیت عامل مهمی در رسوب گذاری کربنات کلسیم می‌باشد.
سیلیس	می‌تواند رسوبات ته‌نشین شونده‌ای را ایجاد نماید که به سختی زوده می‌شوند. حداکثر غلظت سیلیس 150 ppm می‌باشد بر حسب SiO_2 ، ضمناً زمانی که غلظت سیلیس و همچنین مقدار منیزیم بالا باشد، رسوب سیلیکات منیزیم نیز می‌تواند ته‌نشین شود در آن صورت روش پیش تصفیه یا فیلتراسیون جایی ضرورت دارد.
کل مواد جامد معلق (TSS) شامل گل و لای، شن و ماسه، خاک، رس نرم و گونه‌های گیاهی	غالباً به همراه آب جبرانی و هوا وارد سیستم می‌شوند و رسوب گذاری و خوردگی در داخل سیستم را تشدید می‌کنند با اعمال فرایندهای پیش تصفیه و فیلتراسیون مسیر جانی و با استفاده از عوامل کنترل ته‌نشست‌های رسوبی می‌توان TSS را تحت کنترل در آورد.
آمونیاک	سبب روند رشد و تکثیر بیوفلم در مبدل‌های حرارتی و پرکننده برج خنک‌کن می‌شود برای الیاهای مسمی در غلظت‌های 2 ppm بسیار خورنده است. در ترکیب با گاز کلر به فرم آمین درمی‌آید که حاصل آن خشن شدن اثر ضدعفونی‌کنندگی کلر و برخی بایوسایدهای غیر اکسیدکننده مانند کلواترالا‌هید می‌شود در صورت حضور آمونیاک، استفاده از بایوسایدهای نوع آمین توصیه می‌شود.
فسفات	باید غلظت آن را در حد مقادیر کم و pH محیط را در محدوده 7 الی 7.5 کنترل نمود و از آنجا که فسفات بازدارنده آندگی است، می‌تواند به کاهش خوردگی کمک نماید. ترکیب فسفات در غلظت‌های بیش از 20 ppm با کلسیم در غلظت بالاتر از 1000 ppm می‌تواند رسوب گذاری فسفات کلسیم را شدت بخشد. ضمناً یک عامل مغزی برای باکتری‌ها بوده و سبب رشد آنها می‌شود
کلراید	قبلاً توضیح داده شده است.
آهن	ترکیب آهن با فسفات می‌تواند فسفات آهن و نمک‌های آن را در سیستم ایجاد نماید باید از بازدارنده رسوب مناسب استفاده شود.
اکسیدزن مورد نیاز بیولوژیکی (BOD)	بیانگر مقدار موادی موجود در آب می‌باشد و مقدار بایوساید اکسیدکننده مانند کار کلر برای کاهش آن مورد نیاز است.

تأثیر شاخص‌های کیفیت آب بر روی سیستم‌های خنک‌کن

تأثیر شاخص‌های کیفیت آب بر روی سیستم‌های خنک‌کن	
نیتрат در 100 ppm می‌تواند به کنترل خوردگی فولاد نرم کمک کند. ضمناً در کاهش ترک خوردگی فولاد و خوردگی جفرهای و سایشی مفید است. نیترات‌ها در تخریب آلیاژهای مسی یا حفاظت آنها در قبال خوردگی نقشی ندارند.	نیترات‌ها و نیتريت‌ها
می‌تواند به فسمات‌ها و نیترات‌ها در کاهش سرعت خوردگی فولاد نرم و جلوگیری از خوردگی جفرهای کمک کند. حضور این ماده با غلظت 15 mg/l در آب خنک‌کن سودمند است اما در غلظت بالای 3 mg/l موجب تشهيشی املاح می‌گردد.	روی
به عنوان مواد غذایی سبب رشد میکروارگانیسم‌های می‌شود.	مولد آلی
در غلظت 10 ppm یا بالاتر، با کلسیم ترکیب شده و موجب ایجاد رسوب‌گذاری می‌شود.	فلوئورید
تشهيشی فلزات مس، نیکل و سرب در روی سطوح فولادی سبب خوردگی گالوانیکی این فلز می‌شود در مبدل‌های حرارتی زمانی که خوردگی مس زیاد باشد فلز مس از روی سطح جدا شده و با تشهيش روی سطح آهن باعث وقوع خوردگی گالوانیکی می‌گردد.	فلزات سنگین (مانند Cu, Pb و Ni)

توضیح: مس اغلب به عنوان ماده پایدارکننده در بائوسایدهای پایه ایزوتیازولین مورد استفاده قرار می‌گیرد. از آنجا که معمولاً میران مس در برگه اطلاعات ایمنی مواد (MSDS) درج نمی‌شود، باید قبل از مصرف این بائوساید نسبت به تهیه داده آنالیز شیمیایی آن اقدام نمود. این داده را می‌توان از فروشنده تهیه کرد. افزودنی‌های حاوی مس نباید مورد استفاده قرار گیرند.

آب خنک کن نیروگاه مبارکه اصفهان واحد CT16

در فولاد مبارکه اصفهان از آب پساب برای مصارف صنعتی مجتمع استفاده می‌شود. میزان خوردگی عمومی فولاد برای آب خنک کن نیروگاه واحد CT16 در طی ۱۵ ماه از تاریخ فروردین ۹۴ لغایت مرداد ۹۵ در منحنی شماره ۵ آورده شده است، همچنان که مشاهده می‌شود در طی این مدت میزان خوردگی عمومی کمتر از ۱ mpy بوده است و مقدار متوسط خوردگی مس نیز کمتر از ۰/۲ mpy اندازه‌گیری شده است.

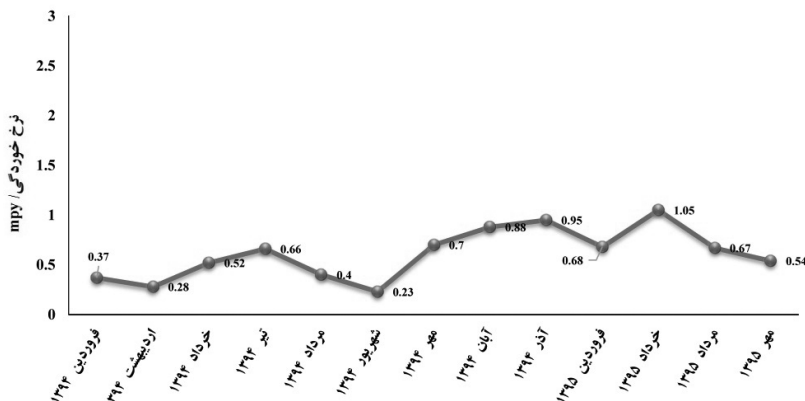
توضیح ۱:

در مدت ۴ ماه تابستان ۹۵، به دلیل کمبود شدید آب، متوسط هدایت الکتریکی آب در حد $9500 \mu\text{S/cm}$ نگهداری شده است.

لازم به ذکر است که با کاهش بلودان‌ها، مجتمع توانست مقدار $1,500,000$ متر مکعب آب نسبت به سال قبل فقط در این کولینگ صرفه‌جویی نماید.

توضیح ۲:

هدایت الکتریکی آب در کولینگ‌های واحدهای پانل در طول تابستان به حدود $13000 \mu\text{S/cm}$ افزایش یافت و خوشبختانه میزان خوردگی آهن در حد ۲-۱ mpy اندازه‌گیری شده است.



شکل ۵- تغییرات نرخ خوردگی آب خنک کن نیروگاه فولاد مبارکه CT16 (فروردین ۱۳۹۴ - مهرماه ۱۳۹۵)

استفاده از آب چاه به جای آب شهری

در یکی از صنایع کشور به دلیل پایین بودن کیفیت آب چاه و بالا بودن میزان رسوب گذاری در کندانسورها، از آب شهری در برج خنک کن استفاده می شد. این در حالی است که می توان از آب چاه به همراه بازدارنده خوب در آب های برج خنک کن باز استفاده نمود. سپس آب بلودان که میزان املاح آن افزایش یافته است، از دستگاه RO عبور داده شود. از آب تصفیه شده تولیدی می توان در تهیه آب مقطر بویلرها استفاده کرد. از مازاد این آب نیز می توان در سیستم های آب خنک کن استفاده نمود.

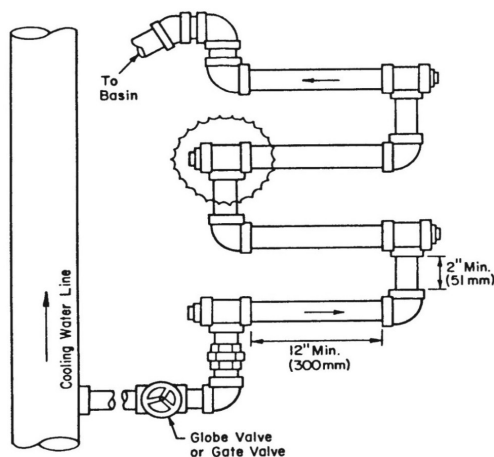
به علاوه در حال حاضر در فصل تابستان در یک واحد تأسیساتی یک مرکز زیارتی نیز از آب شهری برای دستگاه های آب خنک کن به میزان ۲۰,۰۰۰ متر مکعب در روز استفاده می شود. در حالی که می توان با استفاده از بازدارنده های خوب از آب چاه استفاده نمود. به نظر یکی از کارشناسان، استفاده از آب چاه در آن مرکز می تواند سبب کاهش سطح آب های زیرزمینی در آن منطقه شود، زیرا در حال حاضر سطح آب های زیرزمینی در آنجا بالا بوده و این امر می تواند در تخریب بناهای قدیمی و ارزشمند، تأثیرگذار باشد. لذا تصفیه آب چاه سبب می شود تا آب شهری به مصرف آشامیدن ساکنین شهر برسد نه تبخیر در دستگاه های خنک کن.

بخش سوم: اندازه‌گیری میزان خوردگی با روش کوپن‌های گذاری

مقدمه

از قدیمی‌ترین روش‌های اندازه‌گیری خوردگی در صنعت آب و نفت، استفاده از کوپن‌های خوردگی می‌باشد. در این روش با مشاهده ساختار و کاهش وزن کوپن نصب شده می‌توان مقدار خوردگی عمومی و همچنین مقدار رسوب را اندازه‌گیری نمود. ضمناً با این روش می‌توان خوردگی حفره‌ای را نیز ارزیابی نمود.

در این روش کوپن‌ها از آلیاژهای خاص که کاملاً تمیز بوده و دارای وزن و سطح مقطع مشخص می‌باشند، ساخته شده‌اند. این کوپن‌ها به صورتی که در شکل ۶ مشاهده می‌شود در راک خوردگی نصب می‌شوند. لازم به ذکر است که کلیه موارد ذکر شده از استاندارد شماره ASTM D 2688-94 اخذ شده است ضمناً جهت اطلاع بیشتر می‌توانید به این مرجع مراجعه نمایید [۲۱].



شکل ۶- شمای کلی از راک خوردگی

۳-۱- رآک خوردگی

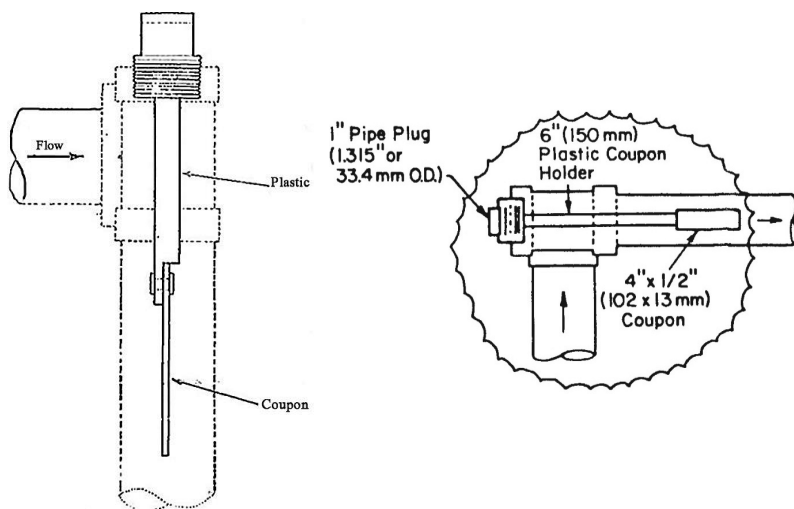
شکل شماره ۶ یک راک خوردگی را که نگه دارنده کوپن‌های خوردگی می‌باشد را نشان می‌دهد. همان گونه که از شکل مشخص می‌باشد فاصله لوله‌های رآک از یکدیگر حداقل ۵۱ mm و طول لوله ۳۰۰ mm می‌باشد. به منظور وجود فضای خالی اطراف کوپن جهت به حداقل رساندن تأثیر جریان، قطر لوله باید حداقل ۰/۶ in باشد.

نمونه‌های فولادی باید تا حد امکان دارای ترکیب شیمیایی کاملاً نزدیک به ترکیب شیمیایی آلیاژ به کار برده شده در سیستم باشد. چنانچه این تعادل برقرار نباشد در آن صورت نمونه باید از فولاد نورد شده به روش سرد و یا فولاد کم کربن تهیه شود (مقدار کربن آن باید متناسب با استاندارد ۱۰۲۰-۱۰۰۵ SAE باشد).

چنانچه در سیستم از آلیاژهای مختلف استفاده شده باشد بایستی از کوپن‌های آن آلیاژها، در راک خوردگی به منظور بررسی میزان خوردگی آنها استفاده شود. گاهی اوقات ممکن است از کوپن‌های مسی، برنجی، فولاد زنگ نزن آلومینیوم در سیستم استفاده می‌شود. نحوه قرار گرفتن کوپن‌های مذکور به این صورت می‌باشد که ابتدا بایستی آب ورودی از کوپن آلومینیومی و سپس به ترتیب از کوپن‌های فولاد، مس و آلیاژهای آن و فولاد زنگ نزن عبور کند. اندازه کوپن مورد استفاده اگر از جنس فولاد نرم باشد باید در حدود ۱۳×۷۶ mm با ضخامت ۱/۶ mm و اگر از جنس فلزات سخت باشد باید در حدود ۱۳×۷۶ mm با ضخامت ۳ mm انتخاب گردد. به طور کلی نباید سطح کوپن از ۲۵۸۰ mm^۲ بیشتر باشد این مطلب بیانگر این حقیقت است که سطح کوپن که در مجاورت جریان است همیشه نسبت به ضخامت لبه‌های آن باید بیشتر باشد. همچنین فاصله کوپن‌های با جنس مختلف بایستی حداقل ۷۶mm باشند تا خطای کمتری از نتایج حاصله به دست آید. تغییر در شدت جریان آب در داخل راک می‌تواند در محاسبه خوردگی تأثیر گذار باشد.

در زمانی که کوپن از داخل راک بیرون آورده می‌شود، مشاهدات چشمی از وضعیت وجود حفره، نوع و مقدار رسوب نشسته در روی کوپن از نظر کیفی وجود توده‌های میکروبی در روی کوپن می‌تواند اطلاعات مفیدی در ارتباط با مشکلات موجود در سیستم به فرد بازرس بدهد.

پایه نگهدارنده کوپن باید از جنس باکلیت (پلاستیک فشرده) باشد و با یک میله پلاستیکی به طول در حدود ۱۵۰ mm و قطر ۱۳mm (۰/۵ in) انتخاب شود. این میله پلاستیکی با پیچ و مهره پلاستیکی نگهدارنده کوپن می‌باشد. بایستی دقت نمود که از پیچ و مهره مخصوص برای این کار استفاده شود تا خوردگی شیاری در داخل فضای مابین پیچ و کوپن ایجاد نشود که در نتایج حاصله خطا ایجاد خواهد شد (شکل ۷).



شکل ۷- محل استقرار کوپن در راک

همان گونه که از شکل ۷ مشخص است نگهدارنده کوپن باید به نحوی در لوله راک قرار گیرد که سبب ایجاد جریان توربولانت در سه راهی نشود و از طرفی دیگر از جدار لوله فاصله کافی داشته باشد تا آب بتواند به آسانی در اطراف آن حرکت کند. این عمل باعث می‌شود تا معیار دقیقی برای محاسبات به دست آید.

۳-۲- روش آزمایش

- کوپن را با دقت 0.1 میلی گرم وزن نمایید و سپس موارد زیر را به دقت عمل کنید.
- سعی شود از کوپن‌های تولیدکنندگان معتبر در دنیا استفاده شود.
- کوپن را قبل از توزین باید در دسیکاتور قرار داد زیرا قرار گرفتن آن در معرض هوا، سبب ایجاد خطا می‌شود.
- غالباً کوپن‌های استاندارد، در داخل یک پوشش کاغذی مناسب که وزن آن در روی پاکت کوچک آن نوشته شده است قرار دارد.
- در ابتدا کوپن را به کمک واشر و پیچ مناسب بر روی میله نگهدارنده نصب کنید.
- توصیه می‌شود بر روی راک خوردگی یک دبی سنج مناسب نصب شود و همیشه با یک جریان ثابت آزمایشات انجام پذیرد.
- توضیح: توصیه می‌شود تا سرعت آب در راک در حد 0.6 تا $1/8$ متر بر ثانیه تنظیم شود. ولی در حالاتی که بررسی رسوب‌گذاری در سیستم مهم می‌باشد، حتماً از سرعت‌های پایین استفاده شود (در حد 0.7 الی 0.5 متر بر ثانیه).

• باید توجه داشت که برای به دست آوردن نتایج قابل قبول باید حداقل از دو نمونه در دو محل مجزا استفاده شود.

توصیه می‌شود یک کوپن در راک را بعد از مدت کوتاهی (۴ الی ۷ روز) از لوپ خارج نموده و میزان خوردگی را اندازه‌گیری نمایید و سپس کوپن‌های بعدی را پس از یک دوره طولانی مدت (۳۰ الی ۶۰ روز) از مدار خارج نموده و نتایج را مورد مقایسه قرار دهید.

۳-۳- شستشو و تمیز نمودن کوپن پس از پایان آزمایش

پس از خارج نمودن کوپن از راک، آن را پس از خشک نمودن در دسیکاتور قرار دهید و سپس سریعاً وزن نمایید و آن را با مواد شوینده مناسب شستشو دهید. با توجه به نوع جنس کوپن، روش‌های مختلفی برای شستشو و تمیز نمودن آنها وجود دارد که به ذکر آنها می‌پردازیم.

* روش فیزیکی تمیز نمودن کوپن

پس از در آوردن کوپن ابتدا آن را با یک چاقوی پلاستیکی تمیز نموده و مواد چربی موجود در سطح کوپن را با تری کلرواتیلن خیس نموده و به کمک یک برس پلاستیکی آلودگی‌های سطحی آن را به خوبی پاک نمایید و سپس نمونه را در یک اسید حاوی بازدارنده غوطه‌ور نمایید.

الف) کوپن‌های کربن استیل

غوطه‌ور کردن نمونه در دمای اتاق به مدت ۳۰ ثانیه در اسید کلریدریک ۱ الی ۲/۸ درصد که حاوی بازدارنده مناسب است. پس از شستشو کوپن اسیدی را با آب مقطر خوب شسته و با کمی تری فسفات سدیم (Na_3PO_4) و رسوبات نرم سیلیسی خوب مالش دهید سپس نمونه را با دستمال کاغذی و هوای گرم خوب خشک کنید.

ب) کوپن‌های مسی و آلایزهای آن

مشابه روش فوق ابتدا با یک چاقوی پلاستیکی کوپن را تمیز نموده و سپس مواد چربی روی سطح آن را با تری کلرواتیلن خیس نموده و سپس در اسید کلریدریک حاوی بازدارنده مناسب (بازدارنده به علاوه ۱ الی ۲/۸٪ اسید کلریدریک) به مدت ۳۰ ثانیه قرار دهید، توجه کنید غلظت اسید کلریدریک بایستی ۱ الی ۱/۸ درصد باشد. پس از این عمل مجدداً نمونه را با آب شسته و در ایزوپروپیل الکل غوطه‌ور نمائید و در نهایت کوپن را در بنزن غوطه‌ور نموده با یک دستمال آن را خشک نمائید سپس کوپن را به مدت ۱ ساعت در دسیکاتور قرار دهید.

ج) کوپن‌های آلومینیومی یا آلایزهای آن

مشابه روش فوق ابتدا با یک چاقوی پلاستیکی کوپن را تمیز کرده و سپس مواد چربی روی سطح را با تری کلرواتیلن خیس نموده و سپس در محلول حاوی اسید کرومیک و اسید فسفریک

در دمای اتاق به مدت ۳۰ دقیقه قرار دهید پس از انجام این کار کوپن را با آب شسته و در ایزوپروپیل الکل غوطه‌ور کنید و با دستمال کاغذی آن را خشک نمایید. سپس کوپن را به مدت ۱ ساعت در دسیکاتور قرار دهید.

* روش شیمیایی

۱- نمونه‌های فولادی: ابتدا روی نمونه‌ها را به وسیله برس نرم و یا به کمک جریان آب شهر خوب تمیز نمایید تا مواد نرم از روی کوپن کاملاً برطرف گردد، سپس نمونه‌ها را در محلول نسبتاً قوی از اسید کلریدریک همراه با بازدارنده خوردگی و در درجه حرارات اتاق به مدت ۱۵ ثانیه قرار دهید پس از این عمل کوپن را با محلول آب و ایزوپروپانول شستشو داده و به وسیله پارچه‌ای که پرز نداشته باشد خشک کنید و در یک دسیکاتور قرار دهید.

۲- نمونه‌های از جنس آلایژ مس: شستشوی این کوپن‌ها دقیقاً مشابه روش قبل می‌باشد.

۳- نمونه‌های از جنس آلومینیوم: ابتدا با وارد نمودن کوپن در آب مقطر محتوی ۳ درصد اسید کرومیک و ۵ درصد اسید فسفریک در درجه حرارات $71-77^{\circ}\text{C}$ ($170-160^{\circ}\text{F}$) به مدت ۵ دقیقه خوب آن را تمیز کرده و پس از خارج نمودن مشابه روش ۱ شستشو، خشک و در دسیکاتور به مدت ۲ ساعت نگهداری کنید.

نکته مهم: روش فوق‌الذکر یکی از روش‌های متداول در شستشوی کوپن‌ها می‌باشد ولی آنچه مهم است به کار بردن روش‌های فوق برای تمیز کردن کوپن‌های خورده نشده مشابه نمونه‌های خورده شده است چرا که بدین شکل خطاهای اندازه‌گیری در هر دو حالت یکسان می‌شود.

۳-۴- محاسبه سرعت خوردگی حفره‌ای

سرعت خوردگی به صورت متوسط مقدار نفوذ بر حسب mpy بر مبنای کاهش وزن نمونه و استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شود.

$$\text{نرخ خوردگی} = \frac{22.3w}{dat}$$

w: کاهش وزن نمونه (بر حسب میلی گرم)

d: دانسیته مخصوص نمونه (بر حسب گرم بر سانتی متر مکعب)

a: سطح کوپن مورد آزمایش (بر حسب اینچ مربع)

t: زمان (بر حسب روز)

لازم به ذکر است که شدت‌های نفوذ که از روش فوق به دست می‌آید بر مبنای خوردگی سراسری و یکنواخت سطح نمونه محاسبه شده است.

دانشیته فلزات مختلف در جدول زیر آورده شده است:

جدول ۹- وزن مخصوص فلزات مختلف

نمونه فلز	برنج آمیراتی	مس	برنج زرد	آلومینیوم	فولاد کربن	سرب
وزن مخصوص (gr/cm ³)	۸/۱۷	۸/۹	۸/۰۲	۲/۷۰	۷/۸۵	۱۱/۳۴

جدول ۱۰- استاندارد خوردگی عمومی برای فلزات مختلف به روش کوپن گذاری

Metal	mpy	Comment	Metal	mpy	Comment
Mild steel piping	< 1	Excellent	Copper and copper alloys	< 0.1	Excellent
	> 1 to 3	Good		> 0.1 to 0.2	Good
	> 3 to 5	Fair		> 0.2 to 0.3	Fair
	> 5 to 10	Poor		> 0.3 to 0.5	Poor
	> 10	Unacceptable		> 0.5	Unacceptable
Mild steel Hx tubing	< 0.2	Excellent	Galvanized steel	< 2	Excellent
	> 0.2 to 0.5	Good		> 2 to 4	Good
	> 0.5 to 1.0	Fair		> 4 to 8	Fair
	> 1 to 1.5	Poor		> 8 to 10	Poor
	> 1.5	Unacceptable		> 10	Unacceptable
Stainless steel	< 0.1	Acceptable			
	> 0.1	Unacceptable			

۳-۵- بررسی خوردگی موضعی و حفره‌ای

نمونه تمیز شده بایستی برای بررسی خوردگی موضعی و حفره‌ای مورد بازدید قرار گیرد. اگر خوردگی حفره‌ای در کوپن دیده نشود اقدامات زیر باید صورت پذیرد.

مرحله اول: حالتی است که خوردگی موضعی وجود نداشته باشد.

مرحله دوم: بررسی خوردگی یکنواخت و غیریکنواخت است که در سطح کوپن به وجود آمده سطح خوردگی موضعی به صورت درصد سطح خورده شده نسبت به سطح کل نمونه محاسبه می‌گردد.

مرحله سوم: در صورتی که روی نمونه حفره مشاهده گردد باید میزان عمق خورده شده به دقت اندازه‌گیری شود همچنین اندازه، تعداد حفرات در واحد اینچ مربع محاسبه و شکل و نوع آن به دقت تعیین و گزارش شود.

d: شدت حفره‌دار شدن به صورت ماکزیمم عمق حفره بر حسب هزارم یک اینچ (mils) توسط یک Filler Gauge و یا یک میکروسکوپ بررسی و اندازه‌گیری می‌شود.

سرعت حفره‌دار شدن نیز از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$PR = 365 \times \frac{\text{ماکزیمم عمق حفره}}{t}$$

PR: سرعت حفره‌دار شدن بر حسب mpy

t: مدت زمان غوطه وری بر حسب روز

نکته ۱: از آنجا که سرعت حفره‌دار شدن ممکن است با افزایش زمان دچار تغییر گردد لذا نتایج به دست آمده از یک مدت زمان کوتاه آزمایش را نمی‌توان برای یک مدت طولانی بسط داد.

نکته ۲: عدد به دست آمده در هر آزمایش سرعت ماکزیمم حفره‌دار شدن در طول مدت زمان آزمایش را به دست می‌دهد البته باید به این نکته توجه داشت که حفره‌دار شدن ممکن است در پاره‌ای از شرایط تشدید و یا متوقف گردد لذا در بررسی نتایج حاصل باید به درستی و به دقت عمل شود.

۳-۶- عوامل مؤثر در روش کوپن‌گذاری

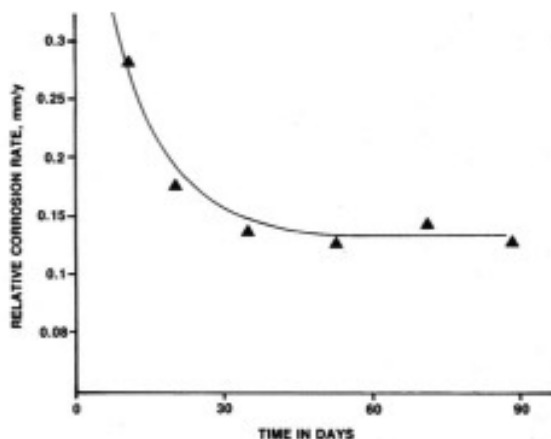
عواملی مختلفی می‌تواند در روش کوپن‌گذاری آب خنک‌کن مؤثر باشد. در این بخش به بررسی تأثیرات این عوامل می‌پردازیم.

متالورژی: کوپن‌های مرسوم مورد استفاده در راک‌های خوردگی از جنس‌های فولاد کربنی، فولاد گالوانیزه، فولاد زنگ‌زن، آلومینیوم، مس و آلیاژهای آن می‌باشد که این فلزات و آلیاژها در سیستم آب خنک‌کن وجود دارد که جنس آن با توجه به آلیاژهای موجود در سیستم مورد ارزیابی انتخاب می‌شود.

دما: با توجه به تأثیر مستقیم دما بر نرخ خوردگی معمولاً در صورتی که تنها یک کوپن در سیستم نصب می‌شود باید کوپن مذکور در ابتدای ورودی آب برگشتی از برج خنک‌کن نصب شود چرا که در این نقطه آب بالاترین درجه را داشته و خوردگی اندازه‌گیری شده بالاترین میزان خواهد بود.

ضمناً بهتر است کوپن‌ها در مناطقی که رسوب‌گذاری صورت می‌پذیرد نصب شوند تا میزان رسوب‌گذاری مشخص شود.

مدت زمان آزمایش: از آن جایی که با گذشت زمان و ایجاد لایه محافظ در روی کوپن، میزان خوردگی غالباً کاهش می‌یابد (شکل شماره ۸). لذا غالباً توصیه می‌شود تا مدت زمان کوپن‌گذاری ۶۰ تا ۹۰ روز باشد. معمولاً مدت زمان کوپن‌گذاری ۳۰ روزه می‌باشد. بهتر است تا همیشه از یک روش ثابت برای تعیین عملکرد بازدارنده‌ها استفاده شود.



شکل ۸- نمودار سرعت خوردگی بر حسب زمان

۳-۷- مزیت‌های و محدودیت‌های استفاده از این روش

بزرگ‌ترین مزیت استفاده از روش کوپن گذاری هزینه کم و نصب آسان آن می‌باشد. ضمناً با کمک این روش می‌توان عوامل مختلف نظیر میزان رسوب گذاری، مقدرات توده‌های لجن تشکیل شده در روی کوپن در اثر عملکرد مواد گندزدا و همچنین نوع خوردگی (حفره‌ای، موضعی و یا یکنواخت) را مورد ارزیابی قرار داد و عملکرد سیستم را بهبود بخشید. بزرگ‌ترین عیب این روش در نظر نگرفتن تأثیر شوک‌های موجود در سیستم می‌باشد. لازم به ذکر است که در بعضی مواقع با پوشانیدن سطح کوپن با روغن میزان خوردگی واقعی حاصل نمی‌شود که متأسفانه طی سال‌های اخیر این موضوع چندین بار گزارش شده است.

مطالعات موردی شماره ۵

علل زوال لوله‌های واتروال در یک نیروگاه بزرگ حرارتی

در یکی از نیروگاه‌های بزرگ کشور در فاصله کمی از مشعل‌ها، زوال لوله‌های Water Wall به دفعات متعدد رخ می‌داد، بررسی‌های انجام شده در مورد علت این زوال نشان داد که لوله‌های مذکور در نزدیکی مشعل‌ها تحت تنش شدید حرارتی و فشار بالا قرار داشتند و از قرار سازنده بویلر با افزایش ظرفیت آن سعی نموده است تا مقدار بخار بیشتری تولید نماید تا بتواند ظرفیت تولیدی در ژنراتور را افزایش دهد و زمانی که مقدار تولیدی ژنراتور به میزان ۱۵ درصد کاهش یافت، مشکل مذکور مرتفع گردید.

علت زنگ زدگی سریع ورق های تولیدی یک مجتمع فولاد در هوای آزاد

محصولات یک مجتمع تولید فولاد پس از مدت زمان کوتاهی که در هوای آزاد قرار می گرفت دچار زنگ زدگی شدیدی می گردید. مسئول مجتمع علت این زنگ زدگی را جویا شدند. بررسی های به عمل آمده نشان می داد که آب خنک کنی که در مراحل آخر به منظور خنک نمودن ورق ها، بر روی آنها ریخته می شد، حاوی نمک های بسیار زیاد (مخصوصاً NaCl) بوده و این مسئله سبب گردید بود که در روی ورق های آهن لایه ای بسیار نازک از نمک تشکیل گردد و به مجردی که این ورق ها در هوای مرطوب قرار می گرفتند، سبب زنگ زدگی فولاد می شدند. در این حالت بایستی با آب تمیز و پرفشار، نمک های مذکور از روی سطح قبل از خارج شدن محصول از کارخانه شستشو شوند و یا زود به زود نسبت به تعویض آب و جایگزینی آن با آب بهتر اقدام کنند.

مطالعات موردی شماره ۷

استفاده از آب RO در صنایع و نحوه کنترل خوردگی آن

در یکی از صنایع حمل و نقل کشور، به دلیل استفاده از آب با املاح بالا در رادیاتور دستگاه کشند، غالباً مشکل رسوب گذاری رخ می داد، با زحمات زیاد رادیاتور را از دستگاه کشنده جدا نموده و به شرکت های پیمانکار جهت رفع رسوب آن هم از نوع سیخ زنی اقدام می شد، با توضیحاتی که داده شد قرار شد قبل از آنکه لوله های رادیاتور مسدود شوند بهتر است زمانی که عقربه درجه حرارت رادیاتور بالا می رود، بدون آنکه رادیاتور را از دستگاه کشنده جدا نمایند، با مواد شوینده رادیاتورها را تمیز کنند، ضمن آنکه دقت لازم به عمل آید تا از آب با کیفیت خوب به همراه بازدارنده استفاده شود کیفیت آب مصرفی جهت استفاده در رادیاتور توسط سازنده به شرح اعلام شده است.

دقت شود که بازدارنده های پایه نیتريت نظیر نیتريت سدیم و یا ترکیبات نیتريت سدیم/ بوراکس مطلقاً نبایستی در مدارهای خنک کن بسته که از لوله های آهن گالوانیزه ساخته شده اند، استفاده شود حتی در فضای بسته که از آند فدا شونده از جنس روی می باشد نیز نبایستی این بازدارنده استفاده شود.

جدول ۱۱- کیفیت ارائه شده آب مصرفی توسط سازنده لوکوموتیو GM

pH	TH	Cl	SO4	SiO2
6.5-8	180 ppm	<50 ppm	<50 ppm	<25 ppm

ضمناً آب مذکور ناپیستی حاوی گاز کلر، آمونیاک و H_2S باشد.

مطالعات موردی شماره ۸

نحوه کنترل صدف‌ها در آب ورودی دریا به یک کندانسور حرارتی

یکی از نیروگاه‌های حرارتی کشور از آب دریای خزر جهت خنک‌کنندگی کندانسورها استفاده می‌نماید. در گذشته صدف‌های موجود در آب دریا، مشکلات زیادی را برای لوله‌های کندانسور ایجاد می‌کردند. آنها با ورود به مسیر کانال آب ورودی و محفظه جعبه آب کندانسور (waterbox) سبب گرفتگی توری‌های مسیر آب ورودی و همچنین گرفتگی لوله‌های آب کندانسور می‌شدند.

به منظور از بین بردن آنها، ابتدا هر ساعت، به صورت شوک از آب زاول استفاده می‌شد، که در این حالت به مدت ۵/۵ ساعت در حد ۱ ppm و ۳۰ دقیقه در حد ۷ ppm گاز کلر تزریق می‌گردید. این نحوه تزریق مؤثر واقع نشد، سپس نحوه تزریق به صورت مداوم در حد ۲/۵ ppm تغییر کرد که در این حالت نتایج بسیار خوب عاید گردید و مشکل مرتفع شد. نحوه تزریق در حالت شوک نشان می‌داد که صدف‌ها در زمان تزریق شوک دهان‌های خود را می‌بستند و زمانی که مقدار گاز کلر کم بود، مجدداً تنفس می‌کردند.

مطالعات موردی شماره ۹

خوردگی سایش در آب گردش یک نیروگاه حرارتی

در یکی از دیگ‌های بخار نیروگاه‌های کشور به دلیل طراحی غیرصحیح سرعت بالای آب در گردش سبب خوردگی سایشی در پیچ لوله‌های انتقال آب داغ شده بود در این حالت ذرات معلق ریز در داخل آب قابل مشاهده بودند که با قرار دادن یک آهن ربا در پایین بشری حاوی این آب و چرخاندن آن در زیر بشر به وجود ذرات آهن در محلول پی برده شد (گردش ذرات آهن در داخل بشر).

در اینجا ضرورت دارد که فرق فرسایش (erosion) و خوردگی فرسایشی (erosion-corrosion) توضیح داده شود:

فرسایش، سایش مکانیکی یک ماده در اثر تماس با یک سیال حاوی ذره جامد ساینده می‌باشد.

خوردگی فرسایشی

عمل همزمان خوردگی و فرسایش در حضور یک سیال خورنده، فرآیندی که در آن سیال در

حال حرکت سطح یک جامد را تخریب می کند و باعث تسریع در خوردگی می شود.

توضیح:

در حالتی که فرسایش در لوله های آب اتفاق می افتد، فلز آهن، به صورت مکانیکی و سایشی از سطح فلز کنده می شود در حقیقت آهن به صورت ذرات Fe در آب مشاهده می شود. در حالی که در پدیده خوردگی فرسایشی، عمل فرسایش سبب خوردگی آهن می شود و در این حالت آهن ابتدا به صورت Fe^{2+} وارد آب می شود و سپس به Fe^{3+} تبدیل می گردد. در حقیقت در پدیده خوردگی فرسایشی، سایش سبب واکنش الکتروشیمیائی جدا شدن Fe^{2+} از سطح فلز و ورود آن به داخل محلول می شود.

مطالعه موردی شماره ۱۰

پدیده انتقال آب به بخار در درام (Carry Over)

در یکی از نیروگاه های بزرگ کشور پدیده انتقال آب به بخار صورت می گرفت. در ابتدا تصور بر این بود که جداکننده های آب از بخار (Separator) خوب طراحی نشده اند. اما بررسی های به عمل آمده بعدی نشان داد که استفاده از فسفات باناخالصی های بیش از حد سبب می گردید که CO_2 متصاعد شده در درام انتقال ذرات آب از درام به سمت بخار را سبب شود که با خرید و تهیه فسفات سدیم با کیفیت خوب این مشکل مرتفع گردید.

مطالعات موردی شماره ۱۱

سوراخ شدن لوله های قدیمی مدفون در زمین

در بسیاری از صنایع، زمانی که لوله های قدیمی مدفون در زمین سوراخ می شوند (مخصوصاً لوله های انتقال آب)، معمولاً قسمتی از لوله که سوراخ شده است را بریده و به جای آن لوله نو کار گذاشته و با عملیات جوشکاری ترمیم لازم صورت می گیرد. غالباً عمر لوله های نو کوتاه تر بوده و پس از گذشت چند سال (بعضی اوقات ۳-۴ سال) دچار خوردگی می شود.

علت این امر آن است که لوله های قدیمی به دلیل اکسید شدن سطح، زمانی که در کنار لوله نو فاقد اکسید قرار می گیرند نقش کاتد را ایفا می نماید، در حالی که لوله نو نقش آند را داشته و نهایتاً سبب سوراخ شدن لوله نو می شود. برای رفع مشکل، توصیه می شود تا لوله های آب مدفون در زمین قبل از خورده شدن و چه بعد از آن، با حفاظت کاتدی، محافظت شوند. این آزمایش در جلد ۱ کتاب کنترل خوردگی در صنایع [۱۴] توضیح داده شده است.



شکل ۹- خوردگی گالوانیکی به علت اتصال لوله‌های نو و کهنه

مطالعه موردی شماره ۱۲

بالا بودن مقدار گاز کلر در آب اکثر شهرها و ضرورت اصلاح آن

همچنان که مطلع می‌باشید در اکثر تصفیه خانه‌های شهرهای کشور از گاز کلر و یا مشتقات آن به منظور گندزدایی آب استفاده می‌شود. مقدار استاندارد گاز کلر باقی مانده در آب آشامیدنی $0.3-0.1$ ppm می‌باشد و بر طبق دستورالعمل‌های موجود بایستی بیشتر گاز کلر موجود با ماده بی سولفیت سدیم خنثی شود که متأسفانه کمتر به این امر توجه می‌شود و مقدار گاز کلر در حد $0.5-1$ ppm می‌باشد. حضور این مقدار گاز کلر در آب آشامیدنی موجب از بین رفتن باکتری‌های مفید انسان که مسئولیت هضم غذا را بر عهده دارند، می‌گردد. لازم به ذکر است که روزانه بالغ بر ۲ میلیارد باکتری از طریق مدفوع از بدن هر انسان خارج می‌شود. حضور این باکتری‌های مفید سبب تسریع در فعل و انفعالات شیمیایی و هضم غذا می‌شود.

یکی از دلایل مرگ سریع ماهی‌های تزئینی که در ایام عید خریداری می‌شوند وجود بیش از حد گاز کلر در آب شرب می‌باشد. چنانچه آب شیر به مدت چند ساعت درون ظرفی ساکن شده و به کمک یک قاشق هم زده شود تا گاز کلر آن خارج شود، دیگر شاهد مردن ماهی‌ها پس از چند روز نخواهیم بود.

مراجع

- [1] L.L Shreir, corrosion ed.Neuines Butterworth, Vol 1 (1979)
- [2] H.M.Hervos, and R.D.Port. the NALCO Guide to Cooling Water Systems Failure Analysis. MC.Graw Hillinc New York (1991)
- [3] M.G Fontana N.D.Greene, Corrosion Engineering new York MC.Coraw-Hill (1978)
- [4] HVAC Water Chillers and Cooling Towers Herbert W.Stanford III 2003, world Wide Web <http://www.dekker.com>
- [5] ASTM Standard D4412-84 (1997) Standard Test Methods For Sulfate-Reducing Bacteria in Water and Water-Formed Deposits Magnetic Treatment.
- [6] Application of oxidizing Biocides cooling tower Institute WTP-141,2007.
- [7] Daniels, D., & Selby, T. (2007). Biofouling control options for cooling systems. Power, 151(9), 58-58.
- [8] Nickel Institute, "Fabricating Stainless Steel For the Water Industry", Guideline for achieving top performance,2005.
- [9] Mitsubishi Heavy Industries, PTA2 PROJECT DWG NO.3667B212-00200.
- [10] Technical information for cooling towers using recycled water, Santiago county water authority, CA92123.
- [11] Rosenfeld, I. L., and I. K. Marshakov. "Mechanism of crevice corrosion." Corrosion 20.4 (1964): 115t-125t.
- [12] Peter Cutler, Stainless steel and drinking water around the world, Nickel

Development institute (NiDi).

- [13] R.S timper, Investigation on The Corrosive Behavior of Water, J.Saint. Eng. Dir Proc. Am.Soc.86 (NOSA6) 27-45 (1960)

[۱۴] م. سیدرضی، کنترل خوردگی در صنایع، جلد اول، ویرایش دوم، پاییز ۹۴.

- [15] HANDBOOK OF WATER TREATMENT BY KURITA WATER INDUSTRIES LIMITED, JAPAN, second edition, 1999.

- [16] Cooling Tower Efficiency Guide Property Managres. Improving Cooling Tower Operation

- [17] European and National Drinking Water Quality Standards, Department of regional development , Northern Ireland Environment Agency, October 2011.

[۱۸] استاندارد کیفیت فاضلاب ایران.

[۱۹] مدارک فنی موجود در شرکت محافظان بهبود آب.

- [20] Method of inhibiting corrosion of copper and cuprous alloys in contact with water.,U.S. Patent 2,941,953, issued June 21, 1960.

- [21] Treatment and Corrosion Control of Cooling water, Rose Corrosion Services Limited, Technical Note 5.

- [22] ASTM, D. 2688-94. Corrosivity of Water in the Absence of Heat Transfer (Weight Loss Methods).