Investigation of Problems Caused by Microorganisms in Cooling Towers

Pakshir, M. (Ph.D),Dept. of Materials Engineering,
Nazarboland, A. (Ph.D), Ahmadi, A. (M.Sc)
Shiraz University

Abstract

Cooling water systems, particularly cooling towers, provide a favorable environment for growth of microbial forms leading to deposition fouling and corrosion within the system. The growth of microorganisms can foul pipeline, increase pumping costs, reduce heat transfer, cause corrosion of metal and attach wood.

In this paper, the presence of microbiologically problems in a cooling tower was investigated. The results indicated the presence of many microbial groups in water of cooling tower. The presence of sulphate reducing bacteria (SRB) were recognized by different tests. The microorganisms of water caused corrosion and scaling. The water treatment of cooling tower was ineffective and should be changed.

بررسی مشکلات ناشی از میکروارگانیسم‌ها در برج‌های خنک کننده

(دریافت ۸۰/۱۰/۱ پذیرش ۸۱/۲/۱۵)

محمود پاکشیر * عباسعلی نظربلند* علی‌رضا احمدی**

چکیده

میکروارگانیسم‌هایی که در آب برج‌های خنک کننده وجود دارند، با تشدید خوردگی و رسوب‌گذاری، باعث افزایش ضایعات و کاهش راندمان در واحدهای صنعتی می‌شوند. لذا کنترل آن‌ها در برج‌های خنک کننده اهمیت ویژه‌ای دارد. در این مقاله احتمال وجود منشأ میکروبیولوژیک برای خوردگی و رسوب‌گذاری در برج‌های خنک کننده یک واحد صنعتی بررسی می‌شود. نتایج حاصل از آنالیز آب نشان دهنده شرایط مناسب فیزیکی برای وجود میکروارگانیسم‌ها در آب برج بوده و آنالیز رسوبات و آنالیز میکروبیولوژیک آب برج نشان دهنده وجود میکروارگانیسم‌ها به میزان $۱/۵\times۱۰^{۶}$ و تأثیر آن‌ها در خوردگی می‌باشد. در پایان با توجه به شرایط سیستم پیشنهادهایی برای کاهش مشکلات ارائه شده است.

مقدمه

در اکثر واحدهای صنعتی، نیاز به خارج کردن حرارت اضافی و خنک کردن سیستم می‌باشد. از جمله سیستم‌های خنک کننده که در واحدهای صنعتی به طور وسیعی استفاده می‌شود، برج‌های خنک کننده است که در آن‌ها آب پس از جذب حرارت اضافی به برج‌هایی هدایت می‌شود و در این برج‌ها از طریق تبخیر و فن‌های موجود، خنک شده و دوباره در سیستم گردش می‌کند. مشکلات عمده‌ای در کار برج‌های خنک کننده وجود دارد که یکی از آن‌ها وجود میکروارگانیسم‌ها می‌باشد. میکروارگانیسم‌ها می‌توانند باعث خوردگی و رسوب‌گذاری شده و سبب کاهش راندمان واحد صنعتی شوند. ارگانیسم‌های موجود در آب برج‌های خنک کننده، عموماً شامل جلبک‌ها، قارچ‌ها و باکتری‌ها می‌باشند که از طریق آب ورودی یا هوایی که از میان برج می‌گذرد وارد سیستم می‌شوند. جلبک‌ها و قارچ‌ها تحت عنوان ماکروارگانیسم، باعث خوردگی ماکروبیولوژیک و باکتری‌ها تحت عنوان میکروارگانیسم، باعث خوردگی میکروبیولوژیک می‌شوند [۲ و ۶].

میکروارگانیسم‌ها

میکروارگانیسم‌ها شامل انواع مختلف باکتری‌ها هستند که به صورت سلول‌های منفرد یا کلنی‌های چند سلولی در برج‌های خنک کننده وجود دارند. انواع باکتری‌های مزاحم در برج‌های خنک کننده را می‌توان به سه گروه عمده زیر تقسیم کرد [۳، ۷ و ۸].

الف- باکتری‌های آهن یا اکسید کننده آهن[1]

ب- باکتری‌های گوگرد یا اکسید کننده گوگرد[2]

ج- باکتری‌های احیا کننده سولفات[3]

مشکلات ناشی از میکروارگانیسم‌ها

همان طور که اشاره شد، میکروارگانیسم‌ها باعث ایجاد خوردگی، رسوب‌گذاری و تخریب قسمت‌های چوبی در برج‌های خنک کننده شده و از این طریق خسارات سنگینی را به صنایع وارد می‌کنند. خسارات مستقیم ناشی از خوردگی میکروبی در صنایع

* استادیار بخش مهندسی مواد دانشگاه شیراز
** کارشناس ارشد مهندسی خوردگی و حفاظت

[1] Iron oxidizing Bacteria
[2] Sulfur Oxidizing Bacteria
[3] SRB یا (Sulphate Reducing Bacteria)

غرب سالانه بین ۳۰ تا ۵۰ میلیارد دلار برآورد می‌شود[۹]. این رقم در کشور ما در سال ۱۳۷۵ حداقل ۱۸۰ میلیارد تومان برآورد شده است [٤]. این مشکلات با رشد و تکثیر میکروارگانیسم‌ها به شدت افزایش می‌یابد که در ادامه به طور خلاصه این مشکلات را مرور می‌کنیم.

- خوردگی

خوردگی ناشی از میکروارگانیسم‌ها تحت عنوان اختصاری MIC[1] شناخته شده است. میکروارگانیسم‌ها با توجه به نقش شرایط محیطی و نوع فرایند، به روش‌های زیر می‌توانند بر رفتار خوردگی موثر باشند:

الف- تأثیرات سوء مواد شیمیایی ایجاد شده (اسید سولفوریک و اسیدهای آلی، سولفیدهای آلی و معدنی و دیگر ترکیبات خورنده)

ب- تشکیل سل‌های الکتروشیمیایی و ایجاد خوردگی موضعی با ایجاد تغییرات در مقدار اکسیژن، غلظت نمک‌ها و pH و ...

ج- دپلاریزه کردن کاتد، که در نتیجه رشد باکتری‌های غیر هوازی صورت می‌گیرد.

د- حذف و تقلیل ممانعت کننده‌های خوردگی (نظیر اکسیداسیون نیتریت‌ها و آمین‌ها) [۵].

- رسوب‌دهی

میکروارگانیسم‌ها به روش‌های مختلف تولید رسوب می‌کنند. مثلاً باکتری‌های آهن خوار تولید رسوبات هیدرات فریک می‌کنند که نسبتاً حجیم هستند. وجود این رسوبات شرایط را برای رشد دیگر میکروارگانیسم‌ها فراهم می‌کند. رسوب‌گذاری بیش از حد موجب انسداد لوله‌ها، کاهش انتقال حرارت و در نهایت کاهش راندمان واحد صنعتی می‌شود [۱۰].

- تخریب قطعات چوبی

قطعات چوبی موجود در برج‌های خنک کننده به سه طریق شیمیایی، فیزیکی و بیولوژیک مورد تهاجم قرار می‌گیرد. تهاجم شیمیایی و بیولوژیک چوب‌ها در ارتباط مستقیم با میکروارگانیسم‌ها می‌باشد. میکروارگانیسم‌ها جهت ادامه حیات و تکثیر خود احتیاج به کربن داشته و جهت تأمین آن به سلولز چوب از طریق ترشح آنزیمی حمله می‌کنند، هم‌چنین استفاده بیش از حد از مواد میکروب‌کش جهت کنترل میکروارگانیسم‌ها می‌تواند سبب تخریب شیمیایی چوب شود [۱۰].

کنترل میکروارگانیسم‌ها در برج‌های خنک کننده

با توجه به حضور میکروارگانیسم‌ها در هوا، آب و خاک، ایجاد شرایطی که در آن میکروارگانیسم‌ها وجود نداشته باشند، بسیار مشکل است. لذا هدف از کنترل میکروارگانیسم‌ها نگه داشتن تعداد آن‌ها در حد قابل قبول می‌باشد. حد مجاز میکروارگانیسم‌ها به عوامل مختلفی بستگی دارد. به عنوان نمونه دما، غلظت اکسیژن، مقدار سولفات و وجود ترکیبات آلی کربنی از عوامل تأثیرگذار می‌باشد. دستورالعمل‌های متفاوتی در این زمینه ارائه شده است. به عنوان نمونه برای برج‌های خنک کننده تعداد مجاز باکتری‌ها در یک میلی‌لیتر حداکثر ۱۰۰۰۰۰ و برای سیستم‌های بسته حداکثر ۱۰۰۰۰ توصیه شده است.

هم‌چنین عدم وجود باکتری‌های احیا کننده سولفات در برج‌های خنک کننده به عنوان شرایط مناسب عنوان شده است [۵]. برای کنترل و حذف میکروارگانیسم‌ها، از مواد شیمیایی موسوم به میکروب‌کش[2] استفاده می‌شود. میکروب‌کش‌ها به دو گروه اکسید کننده و غیراکسید کننده تقسیم می‌شوند که از نوع اول می‌توان به کلرو ترکیبات آن و از نوع دوم به آلدئیدها و ترکیبات گوگردی اشاره کرد [۱۱].

روش تحقیق

در برج‌های خنک کننده یک واحد صنعتی تولید مواد شیمیایی، خوردگی و رسوب‌دهی وجود داشت. این امر باعث سوراخ شدن متوالی لوله‌ها و رسوب‌گذاری در سیستم و کاهش راندمان سیستم خنک کننده شده بود. در این پروژه این مسأله که آیا خوردگی و رسوب‌دهی در این واحد صنعتی منشأ میکروبیولوژیک دارد یا خیر مورد بررسی قرار گرفت ، که در ادامه به بعضی از موارد انجام شده اشاره می‌شود.

[1] Microbiological Influenced Corrosion

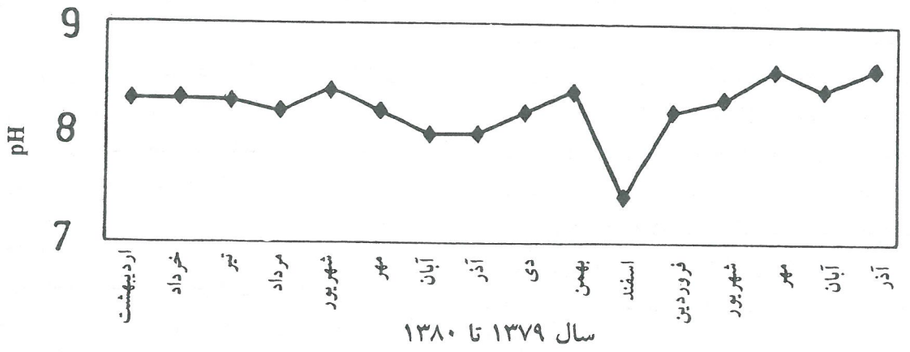
[2] Biocide

بررسی وضعیت شیمیایی آب برج خنک کننده

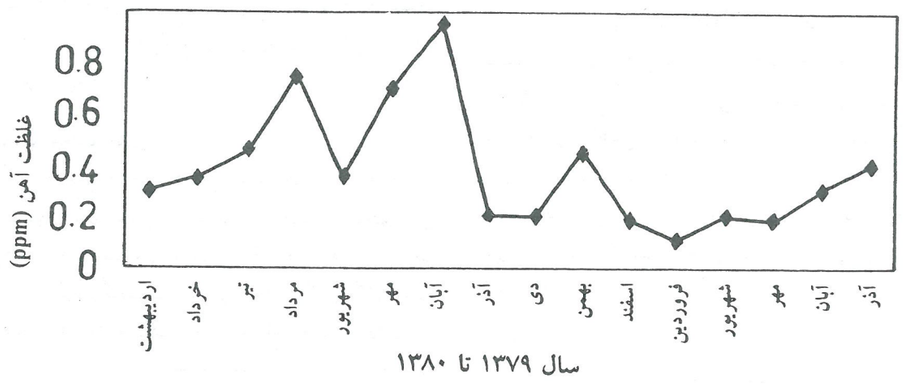
در این مرحله ۱۸ مورد آنالیز شیمیایی آب انجام شد و تغییرات فاکتورهای مختلف از جمله سختی، pH، هدایت الکتریکی، دما، غلظت یون کلسیم، غلظت یون آهن و اندیس پایداری رسوبات در فصول مختلف بررسی شد. تغییرات دما متغیر و عموماً زیر ۳۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. یک نمونه از آنالیز آب در جدول ۱ و تغییرات pH، غلظت آهن و اندیس پایداری رسوبات در شکل‌های ۱، ۲ و ۳ دیده می‌شود. اندیس‌های پایداری تمایل آب به خوردگی و رسوب‌دهی را نشان می‌دهند. محدوده مناسب اندیس رایزنر بین ۵/۵ تا ۶/۵ می‌باشد. روش محاسبه اندیس‌های پایداری در مراجع ۱ و ۵ ذکر شده‌اند. مواد شیمیایی تزریقی به آب برج، شامل ممانعت کننده خوردگی و رسوب از تولیدات یک شرکت داخلی، ماده پخش کننده رسوب کلر می‌باشد. کلر به صورت آب ژاول به آب برج اضافه می‌شود.

جدول ۱- نمونه آنالیز شیمیایی آب (غلظت‌ها بر حسب ppm).

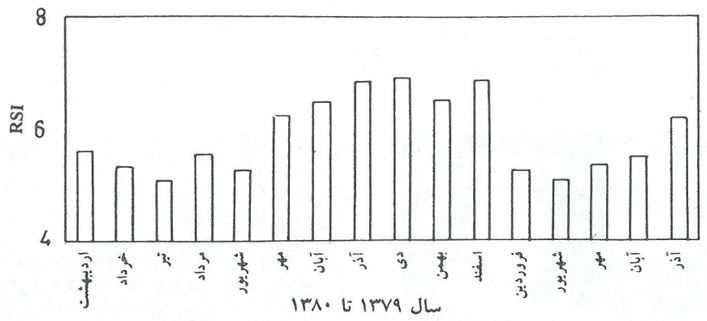
دما (سانتی‌گراد)	PH آب	آهن	هدایت الکتریکی (میکروموس)	مواد معلق	سختی کل	سختی کلسیم	قلیائیت کل	کلر
۲۵	۸/٤	۰/٤	۲۹۷۰	۲۲۲۷	۱۲۳۰	٦۷۰	۱۹۰	۲۷۰



شکل ۱- تغییرات pH آب برج در ماه‌های مختلف.



شکل ۲- تغییرات غلظت آهن آب برج در ماه‌های مختلف.



شکل ۳- تغییرات اندیس پایداری رسوب رایزنر (محدوده مناسب ۵/۵ تا ۶/۵ است).

بررسی و آنالیز رسوبات تشکیل شده

در این مرحله، در سه نوبت، نمونه‌برداری از رسوبات تشکیل شده انجام شد و رسوبات، به روش EDX با میکروسکوپ الکترونی (SEM) مورد آنالیز عنصری و به کمک دستگاه پراش اشعه ایکس (XRD) مورد آنالیز فازی قرار گرفتند.

بررسی آنالیز میکروبیولوژیک آب برج

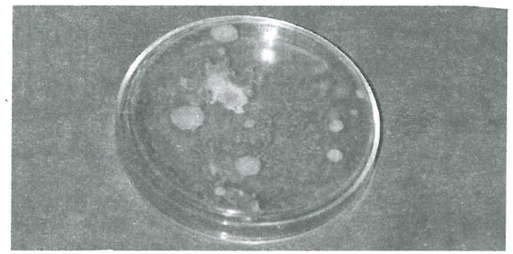
در این مرحله حضور میکروارگانیسم‌ها در آب برج به روش کشت باکتری‌ها مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا آزمایش وجود باکتری‌های احیا کننده سولفات (SRB) در آب برج مطابق استاندارد API-RP-38 انجام شد [۲]. به این ترتیب که از آب برج نمونه‌برداری شد، سپس با سرنگ‌های استریل، ۱cc از آب برج به کیت‌های استریل شده شامل ۹cc از محیط کشت با پایه لاکتات، تزریق شد. ظروف کشت در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت چهار هفته نگه داشته شدند. طبق استاندارد تشکیل رسوبات سیاه رنگ دلیل وجود باکتری‌های احیا کننده سولفات در آب مورد آزمایش است. در مرحله بعد شمارش کل باکتری‌های موجود در آب برج (TBC) براساس استاندارد NACE Standard TM0194-94 در محیط کشت نوترینت آگار انجام شد. برای انجام آزمایش نیاز به چهار ظرف کوچک درب‌دار استرلیزه شده مخصوص کشت باکتری[1]، شش عدد بطری یا لوله آزمایش استرلیزه شده با ظرفیت حدود ۲۰cc، ده عدد سرنگ استرلیزه شده، کوره برای کنترل دما و ماده غذایی محیط کشت نوترینت آگار می‌باشد.

با استفاده از سرنگ ۲cc از نمونه مورد آزمایش، آب برداشته شده و در داخل یک بطری حاوی ۱۸cc آب مقطر تزریق شد. رقت این محلول یک دهم است که با عدد ۱۰ علامت زده شد. بطری ۱۰ به مدت یک دقیقه تکان داده شده، سپس به وسیله یک سرنگ ۲cc از محلول با رقت یک دهم به یک بطری حاوی ۱۸cc آب مقطر اضافه شد. رقت این محلول یک صدم بوده و با عدد ۱۰۰ علامت زده شد. به همین ترتیب رقت‌های یک هزارم، یک ده هزارم و یک صدهزارم تهیه شد. در مرحله بعد ماده غذایی کشت که مطابق استاندارد و به شکل دی هیدراته خریداری شده بود، همراه با آب، حرارت داده شد تا به صورت مایع درآمد. مقدار ۱cc از محلول بطری‌هایی که با رقت‌های مختلف تهیه شده بود، در ظروف کشت شماره‌گذاری شده ریخته شد و سپس ۱۰cc از مواد غذایی کشت به ظروف کشت اضافه شد. دمای مناسب برای اضافه کردن ماده غذایی کشت بین ٤۰ تا ٤۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد، پس از اضافه کردن ماده غذایی کشت، ظروف کشت به طور افقی و با دقت تکان داده شدند، پس از منجمد شدن محتویات ظروف کشت برگردانده شده و داخل کوره با دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد به مدت ٤۸ ساعت قرار داده شدند. پس از ٤۸ ساعت ظروف کشت از کوره خارج و کلنی‌های تشکیل شده روی ظروف کشت شمارش شد. بر طبق استاندارد تعداد باکتری‌های موجود در هر میلی‌لیتر از حاصل ضرب تعداد کلنی‌های شمارش شده در معکوس عدد رقت مربوط به ظرف کشت به دست می‌آید.

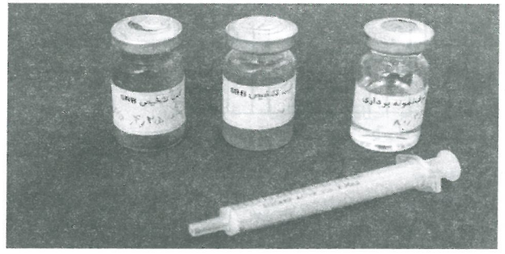
[1] Petri Dish

جدول ۲- درصد عناصر در نمونه‌ای از رسوبات.

سیلیسیم	فسفر	گوگرد	اهن	اکسیژن و کلرو...
۹	۵	٦	٤٥	۳٥



شکل ٤- تست شمارش کل باکتری‌ها (TBC).



شکل ٥- تست تشخیص SRB
(باکتری‌های احیا کننده سولفات).

شمارش‌های انجام شده اعداد بالای 10^6 باکتری در میلی‌لیتر را نشان داد (شکل‌های ٤ و ٥ نمونه‌هایی از این نتایج آزمایش را نمایش می‌دهد).

نتایج و بحث

بررسی آنالیز شیمیایی آب برج در دوره‌های مختلف با توجه به تغییرات pH و اندیس پایداری رسوبات، نشان دهنده مناسب بودن وضعیت آب به لحاظ رسوب‌دهی ناشی از سختی و خوردگی شیمیایی می‌باشد. pH آب عموماً بین ۸ تا ۸/٥ بوده که با توجه به پایین بودن دما سرعت خوردگی فولاد باید پایین باشد [۱۰]، اندیس پایداری رسوبات (اندیس رایزنر) به طور متوسط بین ٥/٥ تا ٦/٥ و انحراف از این مقدار ناچیز است. این امر نشان دهنده این واقعیت است که رسوب‌دهی و خوردگی از نظر شیمیایی در حد قابل قبولی است و پس رسوب‌دهی و خوردگی باید عامل غیرشیمیایی هم داشته باشد و لذا احتمال این که عوامل میکروبی در آن دخیل باشند تقویت می‌شود. محدوده دما و pH نیز برای رشد باکتری‌های احیا کننده سولفات و باکتری‌های آهن مناسب است. آنالیز رسوبات، نشان دهنده میزان بالای آهن همراه با گوگرد و فسفر است. وجود مقدار آهن بالا، نشان دهنده سرعت خوردگی زیاد است و با توجه به وجود گوگرد و فسفر در رسوبات، که از مشخصات وجود باکتری‌های احیا کننده سولفات می‌باشد، احتمال وجود این باکتری‌ها و تأثیر آن‌ها بر خوردگی وجود دارد. وجود هیدروکسیدهای آهن که در آنالیز به وسیله پراش اشعه ایکس وجود آن‌ها اثبات شده است، می‌تواند دلیل وجود باکتری‌های آهن در آب باشد(جدول ۲). رنگ نارنجی رسوبات هم این نظر را تقویت می‌کند.

نتایج حاصل از آنالیز میکروبی آب برج، نشان دهنده وجود باکتری های احیاکننده سولفات در آب برج می‌باشد. هم‌چنین تعداد حدود $1/5\times10^6$ باکتری در هرسی سی بسیار بالاتر از محدوده توصیه شده در مراجع است. نتایج فوق نشان دهنده عدم کارایی میکروب‌کش مورد مصرف است. در این واحد از کلر به عنوان میکروب‌کش استفاده می‌شود. کلر در آب مطابق واکنش زیر تولید اسید هیپوکلرو و اسید کلریدریک می‌کند:

$$Cl_2 + H_2O \rightarrow HOCl + HCl$$

اسید هیپوکلرو که یک عامل اکسید کننده قوی است که به آسانی در دیواره سلولی میکروارگانیسم‌ها نفوذ کرده و باعث نابودی آن می‌شود. اما این اسید در آب مطابق واکنش زیر یونیزه می‌شود:

$$HOCl \rightarrow H^+ + OCl^-$$

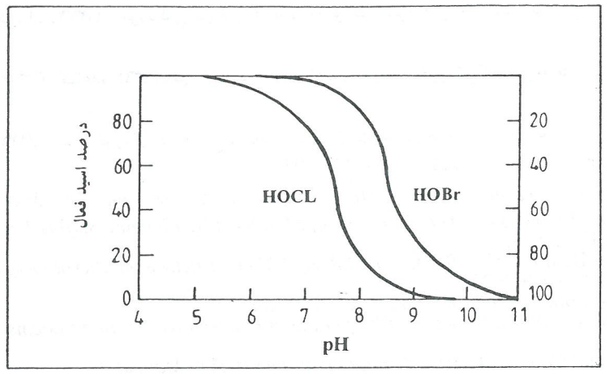
مقدار اسید هیپوکلرو در مقابل یون هیپوکلریت قدرت میکروب‌کشی را تعیین می‌کند. میزان موثر بودن HOCl در مقایسه با OCl^- در جدول ۳ دیده می‌شود [۱۲]. دما و pH آب تعیین کننده میزان یونیزه شدن اسید هیپوکلرو است. شکل ٦ و جدول ٤ تغییرات دما و pH را با میزان HOCl نشان می‌دهد [۱۲]. در این واحد صنعتی pH آب بین ۸ تا ۸/٥ و دما زیر ۳۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد، که به طور

جدول ۳- نسبت قدرت تأثیر HOCl به OCl^-.

دما (سانتی‌گراد)	نسبت قدرت تأثیر HOCl به OCl^-
۳	۱٥۰
۱۰	۲۰۰
۱۸	۲٥۰
۲۳	۳۰۰

جدول ٤- تغییرات میزان HOCl با تغییرات دما و pH.

PH / دما (c°)	درصد HOCl موجود						
	۰	٥	۱۰	۱٥	۲۰	۲٥	۳۰
٥	۹۹/۸٥	۹۹/۸۳	۹۹/۸۰	۹۹/۷۷	۹۹/۷٤	۹۹/۷۱	۹۹/٦۸
٥/٥	۹۹/٥۳	۹۹/٤٥	۹۹/۳٦	۹۹/۲۷	۹۹/۱۸	۹۹/۰۹	۹۹/۰۱
٦	۹۸/٥۳	۹۸/۲۸	۹۸/۰۱	۹۷/۷۳	۹۷/٤٥	۹۷/۱۸	۹٦/۹۲
۷	۸۷/۰٥	۸٥/۰٥	۸۳/۱۱	۸۱/۱۷	۷۹/۲۳	۷۷/٥۳	۷٥/۹۰
۸	٤۰/۱۹	۳٦/۳۲	۳۲/۹۸	۳۰/۱۲	۲۷/٦۲	۲٥/٦٥	۲۳/۹٥
۹	٦/۳۰	٥/٤۰	٤/٦۹	٤/۱۳	۳/٦۸	۳/۳٤	۳/۰٥
۱۰	۰/٦۷	۰/٥۷	۰/٤۹	۰/٤۳	۰/۳۸	۰/۳٤	۰/۳۱



شکل ٦- درصد یونیزه شدن HOCl و HOBr.

متوسط نشان دهنده وجود کمتر از ۲۰ درصد HOCl می‌باشد. این امر معرف پایین بودن شدید قدرت میکروب‌کشی است. مقایسه میکروب‌کش‌های دیگر از جمله ترکیبات برم دار نظیر HOBr نشان دهنده کارایی بالاتر آن‌ها می‌باشد. در شکل ٦ مقایسه‌ای بین میزان یونیزه شدن HOBr و HOCl انجام شده است [۱۱]. به عنوان مثال در pH برابر با ۸ میزان HOBr برابر ۸۰ درصد است، در صورتی که HOCl برابر ۲۰ درصد می‌باشد. در عمل، در کشور ما، استفاده از ترکیبات برم‌دار، اقتصادی نبوده و می‌توان از دی اکسید کلر یا میکروب‌کش‌های غیر اکسید کننده به عنوان مکمل ترکیبات کلردار در pHهای قلیایی استفاده کرد. مزیت دی اکسید کلر آن است که کارایی آن وابسته به pH آب نیست [۲].با توجه به این که در این واحد صنعتی شست و شوی شیمیایی به مدت طولانی انجام نشده است، میزان رسوبات زیاد شده و علاوه بر این که محل‌های مناسب برای رشد میکروارگانیسم‌ها را فراهم کرده است، باعث کاهش نفوذپذیری میکروب‌کش به داخل لجن‌های میکروبی نیز شده است. لذا شست و شوی شیمیایی واحد باید در اولویت قرار گیرد.

در مورد استفاده از کلر، نکته مهم این است که در هنگام تزریق به آب برج، کلر با ناخالصی‌های موجود در آب نظیر ترکیبات نیتروژنی، واکنش داده و نمی‌تواند صرف از بین بردن میکروارگانیسم‌ها شود. در این حالت لازم است تا میزان تزریق کلر افزایش پیدا کند. مراجع میزان کلر آزاد را در pH بین ۸ تا ۹ تا حد ۰/٤ppm توصیه کرده‌اند تا کلر بتواند عمل میکروب‌کشی را به نحو مطلوب انجام دهد [۱]. در دو مورد اندازه‌گیری مقدار کلر آزاد در آب در حد بسیار پایین و کمتر از ۰/۱ppm بوده است، که با توجه به تغییرات pH آب باید مقدار کلر آزاد در این واحد به حداقل ۰/٤ppm افزایش یابد.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق، نشان دهنده وجود مشکلات میکروبیولوژیک در آب برج‌های خنک کننده این واحد صنعتی، و مناسب نبودن روش مورد استفاده جهت کنترل میکروارگانیسم‌ها می‌باشد. برای کاهش مشکلات موجود شست و شوی شیمیایی سیستم خنک کننده و استفاده از میکروب‌کش‌های دیگر به جای کلر به خصوص دی اکسید کلر توصیه می‌شود، که بر خلاف کلر کارایی آن به pH آب وابسته نبوده و از نظر اقتصادی نیز مقرون به صرفه است. نکته مهم دیگر نگهداری مقدار کلر آزاد آب در حداقل ۰/٤ppm است.

منابع و مراجع

۱- پیشنمازی، س.ا.، (۱۳۷۷). " نقش آب و کنترل خوردگی در صنایع"، انتشارات انجمن خوردگی ایران، چاپ اول.

۲- جواهر دشتی، ر.، (۱۳۷۸). "خوردگی میکروبی"، انتشارات بهروزان، چاپ اول.

۳- قربانی، م.، و ساعتچی، ا.، (۱۳۷۲). "خوردگی بیولوژیک فولادها توسط باکتری‌های احیا کننده سولفات"، مجموعه مقالات سومین کنگره خوردگی، دانشگاه تهران.

٤- جواهر دشتی، ر.، (۱۳۸۰). "قاعده ۳٦٥، روشی نو برای کاربرد اصول مدیریت خوردگی"، مجموعه مقالات هفتمین کنگره ملی خوردگی، دانشگاه صنعت نفت.

۵- سید رضی، س.م.، (۱۳۷۵). "کنترل خوردگی در صنایع"، جلد اول، انتشارات انجمن خوردگی ایران، ۱۳۷۵.

6- ASM. (1987). *"Metals Hand Book"*, Vol. 13, pp. 492-495.

7- Stott. A.D. (1988). *"Assecment and Control of Micorbially Induced Corrosion"*, Metals & Materials, p.224.

8- Hardly J.A, and Bown , J.L. (1984). *"The Corrosion of Mild Steel By Biogenic Sulfide Exposed To Air"*, Corrosion, Vol. 40, No. 12, P.650.

9- Walsh, D. Pop, D. and Danford, M. (1993). *"The Effect of Microstructure on Microbiologically Influenced Corrosion"*, JOM, Vol. 45, No. 9, P.22

10- BETZ, (1980). *"Hand Book of Industrial Water Conditioning"*, 8th.

11- Buecker, B. and Post. R. (1998). *"Control of Biofouling in Evaporative Cooling Systems"*, Chem. Eng. Progr., No. 9, pp. 45-51.

12- Daeil Aquaco. (2001). *"Cooling Water Chlorination System Design Manual "*.