

بررسی اثر استفاده از یک محلول جدید رسوب زدای غیرخورنده در تاسیسات

سرمايشی

محمد کجوری منش¹، رضا طاهرزاده موسویان²

¹: کارشناس ارشد مهندسی مکانیک دانشگاه شیراز

²: دانشجوی دکتری مهندسی مواد دانشگاه صنعتی سهند تبریز

Email: r_taherzadeh@sut.ac.ir

چکیده

در بسیاری از دستگاههای صنعتی مسئله انتقال حرارت یک موضوع مهم و تاثیر گذار در بازدهی آن دستگاه می باشد. فرآیند تبادل گرما بین دو سیال با دماهای متفاوت که توسط دیواره جامدی از هم جدا شده اند در بسیاری از کاربردهای مهندسی روی می دهد. با توجه به کاربرد وسیع مبدل های حرارتی، تحقیق درباره آنها سابقه ای طولانی دارد. بسیاری از محققین خوش ذوق در پی یافتن راههایی برای بهبود طراحی و عملکرد مبدل های حرارتی و افزایش بازده انتقال حرارت در این مبدل ها هستند. این فعالیت ها با توجه به بحران انرژی بطور مستمر رو به افزایش است و کانون آن تقویت انتقال حرارت می باشد. از جمله مشکلات بسیار مهم و پرهزینه ای که هر صنعت با آن روبروست بحث تشکیل رسوبات روی سطوح مبدل حرارتی در ضمن کار می باشد که باعث افزایش مقاومت در برابر انتقال حرارت بین دو سیال و ایجاد خوردگی در سیستم ها می باشد. در صنعت جهت کاهش این رسوبات از روش ها و مواد متفاوتی استفاده می شود که برخی از این مواد در راستای جلوگیری از ایجاد رسوب، برخی جهت رسوب برداری و برخی جهت ایجاد لایه های نازکی برای محافظت از فلز جداره استفاده می گردد. در این پژوهش اثر استفاده از محلولی جدید با نام تجاری میتره، که فاقد هر گونه اثرات مخرب روی بدن انسان است، در تاسیسات سرمایشی یک مجتمع ساختمانی مورد بررسی قرار گرفته است. ابتدا محلول میتره به تاسیسات اضافه و بعد از ده و بیست روز از آب موجود آنالیز شیمیایی گرفته شد و نتایج با نتایج آنالیز شیمیایی آب قبل از اضافه شدن میتره مقایسه گردید. بر اساس این تحقیق، این محلول بر خلاف محلول های مورد استفاده در اسید شویی که خوردگی را به شدت افزایش می دهند، یک محلول غیر خوردنده به نظر میرسد. همچنین نتایج حاصل از تست خوردگی پلاریزاسیون حاکی از این مساله بود که وجود میتره با تشکیل یک لایه نازک روی سطح در حال انتقال حرارت از وقوع خوردگی بیشتر جلوگیری خواهد کرد. نتایج حاصل از آزمایشات آنالیز آب نشان دادند که مقدار ذرات جامد معلق و محلول در آب بعد از ده و بیست روز به بیش از ده برابر شده است که نشان از قدرت بسیار بالای این محلول در حل کردن رسوبات دارد. بررسی های انجام شده نشان از افزایش محسوس انتقال حرارت پس از استفاده از محلول میتره را دارد. نکته مهم دیگر استفاده از پسماند این محلول در آبیاری فضای سبز می باشد.

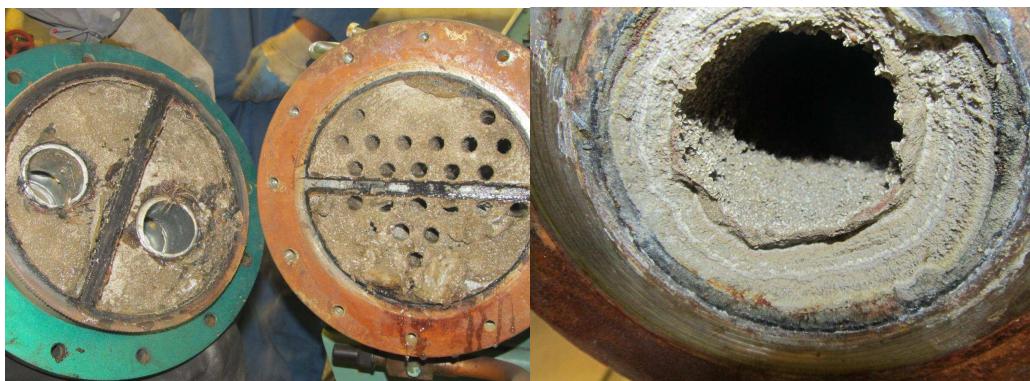
واژه های کلیدی: محلول رسوب زدا، مبدل حرارتی، انتقال حرارت، خوردگی

1- مقدمه

در دستگاههای صنعتی جهت تبادل گرما استفاده از مبدل های حرارتی امری اجتناب ناپذیر می باشد. در این مبدل ها موادی با ضریب انتقال حرارت بالا مانند آلومینیوم و مس بصورت لوله و یا صفحاتی مسطح قرار داده می شود تا علاوه بر جلوگیری از اختلاط دو سیال، انتقال حرارت لازمه بین آن دو سیال در مدت زمان کوتاهی صورت گیرد. سطوح مبدل حرارتی در ضمن کار، اغلب در معرض رسوبات ناشی از ناخالصی های سیال، زنگ زدگی، یا سایر واکنش های بین سیال و دیواره قرار می گیرند. این رسوبات باعث کاهش انتقال حرارت بین دو سیال می شوند. در صنعت جهت مبارزه با تشکیل این رسوبات از روش ها و مواد متفاوتی استفاده می شود که برخی از این مواد و روش ها در راستای جلوگیری از ایجاد رسوب، برخی جهت رسوب برداری و برخی جهت ایجاد لایه های نازکی برای محافظت از فلز جداره در مقابل خوردگی استفاده می گردد. رسوبی که بر روی لوله ها می نشیند از لحاظی همچون کاهش انتقال حرارت بین دو سیال، کاهش قطر لوله ها و در نتیجه کاهش دبی جریان سیال درون لوله، افزایش میزان توان پمپ و کمپرسور جهت به جریان انداختن سیال و... مضر بوده ولی از برخی جهات مانند جلوگیری از ارتباط مستقیم بین سیال و فلز جداره و در نتیجه جلوگیری از واکنش شیمیایی بین آنها مفید بوده که باعث کاهش خوردگی، عدم نیاز به تعویض لوله و اسیدشویی، عدم سوراخ شدن فلز و مختلط شدن دو سیال می گردد [1-8].

2- مروری بر روشهای پیشین

در صنعت معمول ترین روش استفاده از رزین جهت ته نشین شدن جامدات معلق در منابع سختی گیر می باشد. در صورتی که منبع سختی گیر بدرستی کار نکند میزان رسوب در مبدل های حرارتی و بویژه در لوله های ارتباطی افزایش یافته و بشدت بر روی میزان انتقال حرارت و دبی سیال درون لوله تاثیر گذار است. به عنوان نمونه برخی از موارد عدم استفاده از عوامل پیشگیری از ایجاد رسوب و رسوب برداری در شکل 2 دیده می شود.



شکل 2- نمونه ای از یک کندانسور و سر پشتی آن و یک لوله همراه با رسوب زیاد

از دیگر روش هایی که در موضوع رسوب برداری از جدارهای داخلی لوله ها می توان عنوان نمود، استفاده از اسیدهایی مانند دی اسکرها جهت اسید شویی مبدل های حرارتی می باشد. نمونه ای از این روش در شکل 3 آورده شده است.

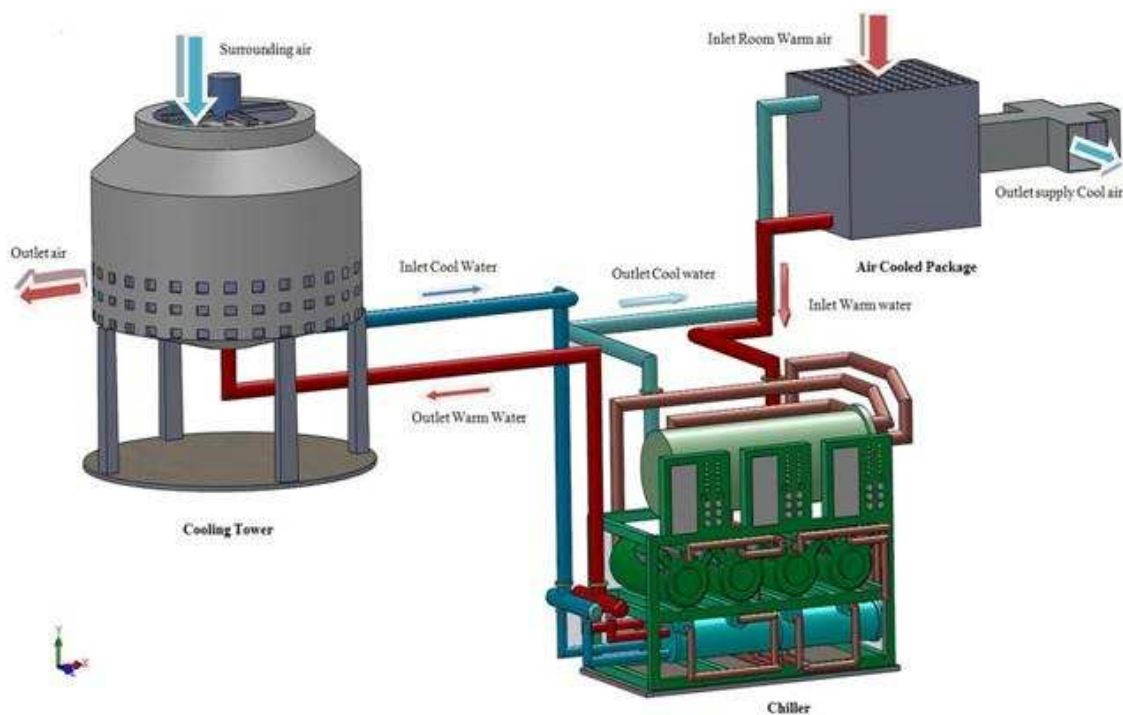


شکل 3- نمونه ای از یک چیلر در هنگام اسید شویی کندانسور مربوطه

در این روش بمدت چند دقیقه مسیره‌های ورودی و خروجی سیال درون لوله را بسته و به کمک یک پمپ سیار محلول اسیدی را وارد سیستم نموده تا رسوبات موجود روی جداره داخلی لوله ها را از بین ببرد. متأسفانه این روش خطرناک بوده و دارای مضراتی همچون از بین برنده پوست در هنگام تماس احتمالی اسید با بدن انسان، احتمال کور شدن انسان در هنگام پاشش آن بر روی صورت، از بین برنده دستگاه گوارش در صورت شرب، احتمال ایجاد اثرات منفی بر روی محیط زیست، خوردگی و از بین برنده دیواره های فلز در صورت استفاده در مدت زمان طولانی و در نتیجه احتمال اختلاط سیال دو طرف لوله که در برخی مواقع باعث انجام واکنش های نامطلوب شیمیایی می گردد، می باشد. علاوه بر موارد فوق در این روش تنها مبدل حرارتی شستشو داده می شود و جهت این کار نیاز به خاموشی سیستم است که در برخی مواقع از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نبوده و حتی باعث متضرر شدن کارخانه نیز می گردد. با توجه به این دلایل استفاده از این روش توصیه نمی گردد و لذا در صنعت از روش های جدید تری مبتنی بر کاربرد موادی جدید برای رسوب برداری در حین عملکرد سیستم پیشنهاد شده است. اما یکی از مهمترین عیب های این روش ها استفاده از مواد اسیدی و بازی است که هم ایمنی محیط کار و هم محیط زیست را بخطر می اندازد که این نقیصه تاکنون برطرف نشده است.

3- طرح موضوع

به منظور بررسی نقش محلول جدید میتره در افزایش انتقال حرارت و بهینه سازی مصرف انرژی در نمونه ای از تاسیسات سرمایشی مانند شکل 4 برخی از آزمایشات لازم قبل و بعد از استفاده از این محلول انجام شده و نتایج آن مورد نقد و بررسی قرار داده شد.



شکل 4- شماتیکی از یک سیستم سرمایشی شامل چیلر، برج خنک کننده، هواساز و لوله های رابط

همانطور که در شکل 4 مشخص است این سیستم شامل چیلر (Chiller)، برج خنک کننده (Cooling Tower)، هواساز (Air cooled Package) و لوله های ارتباطی می باشد. روند کار این سیستم بدین صورت می باشد که گاز خروجی از کمپرسور چیلر با دمای 105 درجه سانتی گراد و فشار 1447 کیلو پاسکال وارد کندانسور شده تا توسط آب برگشتی برج خنک کننده با دمای 20 درجه خنک شود و سپس فشار آن در شیر انبساط (Expansion Valve) کاهش یافته تا به میزان 482 کیلو پاسکال برسد. بعد از این مرحله گاز با دمای کم و فشار کم وارد اواپراتور شده تا آب در گردش فن کوئل ها (Fan Coils) را از دمای 13 درجه به میزان 3 درجه سانتی گراد خنک نماید و آب درون فن کوئل ها نیز به نوبه خود هوای درون اطاق را با گذر آن هوا از روی رادیاتور فن کوئل خنک می نماید. گاز گرم شده در اواپراتور وارد کمپرسور شده تا فشار از دست رفته را بدست آورد و به حالت اولیه برگردد. اما آب برگشتی از برج خنک کننده به دلیل تبادل حرارت در کندانسور با گاز، گرم شده و بایستی خنک شود تا بتواند در یک چرخه کار کند. بنابراین وارد برج خنک کننده شده تا با تبخیر مقداری از این آب دمای آن از 27 درجه سانتی گراد به 20 درجه برسد و توانایی جذب حرارت را از گاز دوباره بدست آورد. در تمام قسمت های بیان شده نوعی از مبدل های حرارتی بکار گرفته شده است تا انتقال حرارت سریع و راندمان بالا صورت گیرد. مسئله مهم نشست رسوب در مسیرهایی است که در آن آب برج خنک کننده و آب صنعتی فن کوئل در جریان هستند که این امر باعث کاهش راندمان انتقال حرارت می گردد. آب برج خنک کننده بدلیل در معرض بودن هوای آزاد علاوه بر سختی های آب، دارای ناخالصیهایی موجود در هوا نیز می باشد که به مرور زمان بروی جداره های لوله های ارتباطی و کندانسور نشست می نماید. ولی آب فن کوئل ها در یک مسیر بسته در جریان می باشد و از این نوع ناخالصی در امان است اما با گذشت زمان باعث زنگ زدگی لوله های این مسیر توسط آب گشته و در نتیجه آب قسمت های کنده شده را با خود حمل کرده و در فن کوئل ها که دارای افت فشار شدید و لوله های با قطر کوچک می باشند

انباشته می کند که باعث انسداد قسمتهایی از سطح عبور سیال می گردد و انتقال حرارت بین آب و هوای اطاق کم شده بکندی صورت می پذیرد.

لذا جهت بررسی تاثیر این محلول مسیر آب در گردش بین کندانسور چیلر و برج خنک کننده را انتخاب و محلول میتره را به میزان 10 درصد آب موجود، درون سیستم در حال فعالیت ریخته و پس از گذشت 20 روز آب همراه با محلول میتره را تخلیه و از آن جهت آزمایش نمونه برداری نموده و سپس آبیگری مجدد کرده و در این مرحله بمیزان 0.1 درصد جهت پیشگیری از ایجاد رسوب، دورن این مسیر می ریزیم. در هر یک از مراحل از قسمت های مختلف سیستم جهت بررسی عملکرد محلول عکسبرداری لازم انجام شده است.

4- آزمایشات و بررسی نتایج

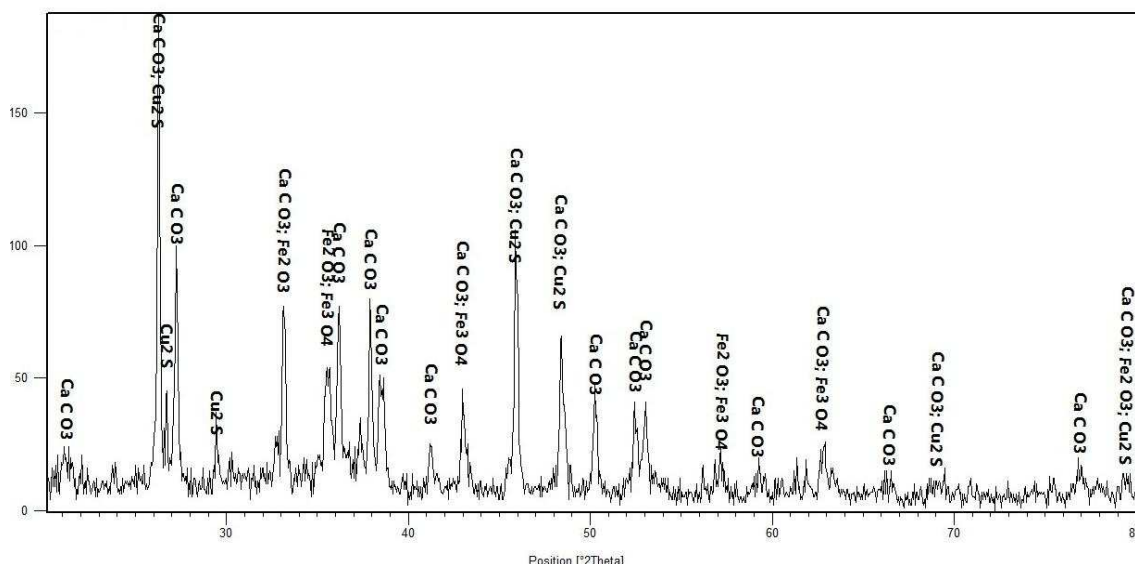
در ابتدا قبل از استفاده از میتره، رسوبات موجود در لوله ها مورد آنالیز شیمیایی و میکروساختاری قرار گرفتند. تصاویر میکروسکوپ نوری میکروساختار این رسوبات را نشان میدهند. همچنین به منظور بررسی تعیین جنس رسوبات از آنالیز فازی XRD موجود در بخش فیزیک دانشگاه شیراز استفاده شد. آب چرخشی موجود در سیستم قبل از اضافه شدن میتره و بعد از ده روز و بیست روز بعد از اضافه شدن میتره مورد آنالیز شیمیایی در آزمایشگاه اداره آب شیراز قرار گرفت. در نهایت به منظور بررسی رفتار میتره در آب و اثر آن بر نرخ خوردگی فلزات مختلف تست خوردگی پلاریزاسیون در مرکز تحقیقاتی شرکت نفت گرفته شد.

شکل 5 تصویر نمونه ای از رسوبات تشکیل شده در جداره های لوله ها را نشان میدهد.



شکل 5- تصویری از رسوبات شکل گرفته در تاسیسات که باعث کاهش انتقال حرارت می شوند.

این رسوبات به دلیل ضریب پایین انتقال حرارت (2.9 W/m.K) نسبت به مس بکار رفته در لوله ها با ضریب رسانندگی گرمایی (401 W/m.K) باعث کاهش راندمان و عملکرد مبدل ها میشود. اصولاً جنس رسوبات فاکتور بسیار مهمی از لحاظ شدت چسبندگی به سطح فلز، ضریب انتقال حرارت و حل شونده‌گی توسط محلول های ضد رسوب تلقی می شود. عموماً رسوبات سیلیکاتی از چسبندگی بالایی برخوردارند و حل شونده‌گی کمی دارند. به منظور بررسی جنس رسوبات شکل بالا، آنها را در هاون کوبیده و تحت آنالیز فازی (XRD) قرار گرفته داده شدند. شکل 6 نتایج آنالیز فازی محصولات بالا را نشان می دهد.



شکل 6- نتایج آنالیز فازی محصولات شکل گرفته در لوله ها

همانگونه که از شکل بالا مشخص است کربنات کلسیم قسمت عمده محصولات بالا را در بر می گیرد. وجود اکسیدهای آهن به همراه سولفید مس حاکی از وجود مقدار قابل توجهی اکسیژن و سولفور که هر دو عامل خوردگی هستند دارد. کنده شدن لایه های اکسیدی روی سطح فلزات مس و آهن که هر دو در تماس مستقیم با آب هستند دور از انتظار نیست. سرعت حرکت آب همزمان است با تشکیل لایه های ترد و ورم کرده اکسیدی روی سطح فلزات که نهایتاً منجر به کنده شدن و شکل گیری این محصولات در مناطق و جداره های دیگر سیستم می شود. مخصوصاً در مناطقی که دما بالاتر باشد شکل گیری این رسوبات بسیار ساده تر خواهد بود. همانگونه که از شکل بالا مشخص است اثری از رسوبات سیلیکاتی دیده نمی شود. در واقع این نتیجه دور از انتظار نبوده چراکه این رسوبات چسبندگی زیادی به سطح دارند و کنده شدن و حل کردن آنها کار آسانی نمی باشد.

شکل 7 میکروساختار رسوبات شکل گرفته در بالا را نشان میدهد.



شکل 7- نمایی از میکروساختار رسوبات شکل گرفته در بالا توسط میکروسکوپ نوری

همانگونه که در شکل بالا دیده می شود ذرات معلق و متفاوتی در حین شکل گیری این رسوبات به مجموعه اضافه شده و نهایتاً فازی سخت و با ضریب انتقال حرارت پایین شکل می گیرد. نتایج آنالیز آب قبل و بعد از اضافه شدن میتره فاکتور بسیار مهمی در تعیین عملکرد میتره محسوب می شود. جدول 1 این نتایج را نشان میدهد.

جدول 1- نتایج آنالیز آب موجود در تاسیسات قبل و بعد از اضافه شدن میتره

Items	Without Mitreh	After 10 days using Mitreh	After 20 days using Mitreh
Cl ⁻ (mg/l)	55.97	1019.49	2758.62
HCO ³⁻ (mg/l)	272.56	937.53	1191.3
Na ²⁺ (mg/l)	177	267.4	285
PH	7.93	7.12	7.21
Total Hardness (mg/l)	68.88	991.87	1172.92
Total Alkali (mg/l)	238.82	768.47	976.48
SiO ₂ (mg/l)	5	6	5
Total Solid (mg/l)	510	6796	7516
Total Dissolved Solid (mg/l)	481	4720	4800

همانگونه که از جدول بالا مشخص است مقدار ذرات جامد در آب بعد از اضافه شدن میتره بعد از 10 و 20 روز به بیش از ده برابر افزایش پیدا میکند. نکته دیگر اینکه میتره بعد از ده روز نیز مجدداً کارایی داشته و مقدار ذرات جامد بعد از 20 روز نیز بیش از مقدار آن بعد از 10 روز شده است. مقدار سیلیس نیز بعد از ده روز اندکی بیشتر شده است. بنابراین میتره تا حدودی توانایی حل کردن رسوبات سیلیکاتی را نیز دارد. با حل شدن رسوبات کربناتی مقدار کل سختی و قلیائیت به طور بسیار محسوسی افزایش پیدا کرده است. بعد از اضافه شدن میتره ترکیبات هیدروکسیدی افزایش پیدا می کند که نشان می دهد میتره با ترکیبات کربناتی واکنش داده و هیدروکسیدها که ذرات معلق در آب خواهند شد شکل گرفته و نهایتاً از سیستم خارج می شوند. میتره نمک کلیه فلزات که 85٪ CaCO_3 می باشد را طبق قانون الکترون دهی به فلزات به Ca چون در محیط آب معلق است بلافاصله به یعنی Ca(OH)_2 هیدرواکسید کلسیم و سایر هیدرواکسیدها تبدیل می شود. هیدروکسید کلسیم و سایر هیدروکسیدها بصورت محلول و به رنگ آب هستند و قدرت چسبندگی و رسوب گذاری ندارند بنابراین بدون هیچ گونه عوارضی در آب سیستم به صورت محلول و معلق باقی می ماند. در حین فرآیند احیاء مقدار زیادی از اکسیژن نیز از بین می رود که از خوردگی و زنگ زدگی تاسیسات جلوگیری می کند. همچنین خوردگی و زنگ زدگی های قدیمی را نیز به سرعت ترمیم می کند. استفاده از میتره باعث حذف اکسیژن که مهمترین عامل خوردگی در آب می باشد شده و سپس باعث حذف رسوبات ناشی از چسبندگی املاح می شود. نکته جالب در جدول بالا مقدار بالای کلر آب است که در واقع این یون ها به دلیل ریز بودن در لابلای رسوبات پنهان بوده و به محض حل شدن رسوبات وارد آب سیستم می شوند.

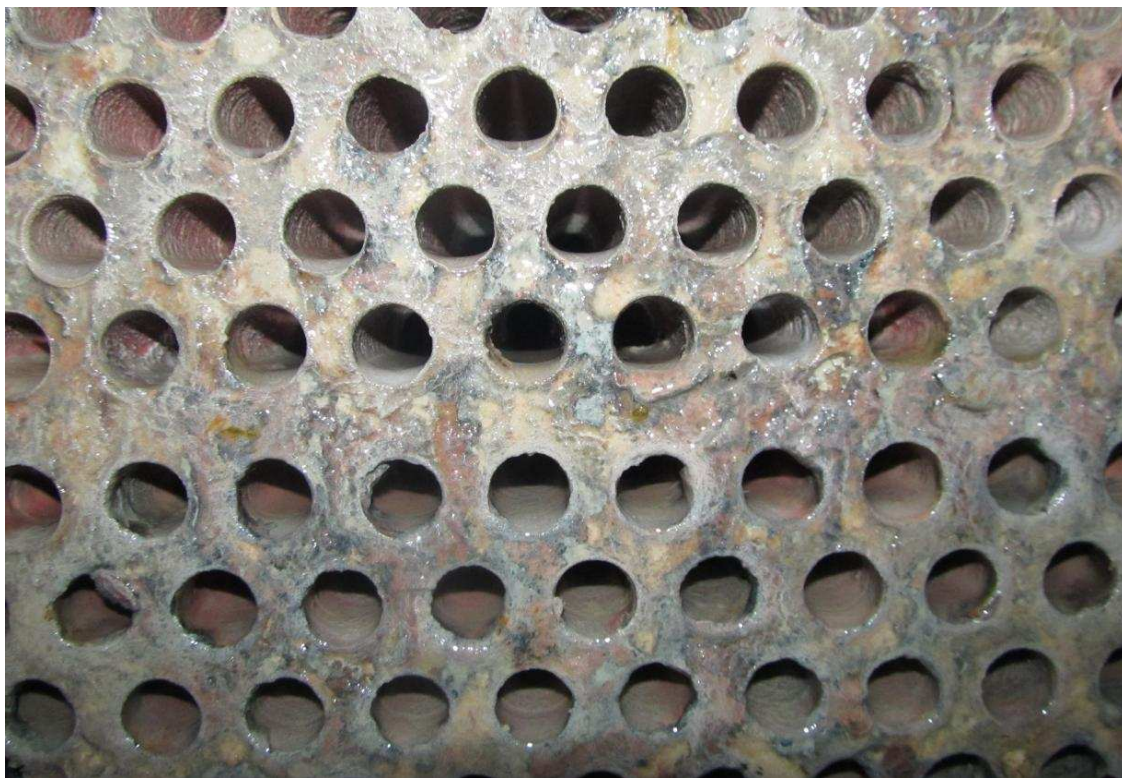
از جمله بحث های مهم دیگری که بعد از اضافه شدن میتره به سیستم مطرح میشود اثر این محلول بر خوردگی می باشد. در واقع مقدار 10 درصد آب سیستم میتره به سیستم اضافه میشود تا عمل رسوب بردای انجام شود. بعد از ایم مرحله مقادیر زیر 1 درصد میتره به سیستم اضافه میشود تا عمل تشکیل لایه محافظ و جلوگیری از خوردگی صورت گیرد. نتایج حاصل از تست خوردگی غوطه وری (استاندارد ASTM G31) و تست عملکرد میتره در برابر محافظت از رسوب گذاری که در پژوهشگاه شرکت نفت انجام شده است بیانگر نکات زیر است: 1- مقدار نرخ خوردگی برای فولاد ساده کربنی بدون استفاده از میتره 9.3 mpy محاسبه شده است و مشاهدات حاکی از وقوع خوردگی موضعی در این فولاد بوده است. 2- بعد از استفاده از 0.1 درصد میتره این مقدار به 0.1 mpy رسیده و درصد محافظت به حدود 98.9 رسیده است که مقدار بسیار قابل توجهی می باشد. لازم به ذکر است که مشاهدات حاصل از سطح در معرض تماس حاکی از وقوع خوردگی یکنواخت بوده است. 3- با افزایش مقدار میتره از 0.1 به 0.5 و یک درصد، مقدار نرخ خوردگی افزایش پیدا کرده و به 1.5 و 4.3 واحد رسیده است که نشان میدهد که مقدار بهینه ای از این محلول باید در مرحله بعد از رسوب برداری اضافه شود. 4- قابلیت رسوب برداری محلول میتره طبق استاندارد NACE 0374 در دو محیط کربنات کلسیم و سولفات کلسیم مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاکی از مقدار درصد ممانعت کنندگی 77.7 درصد برای مقدار 0.1 درصد میتره در محیط سولفات کلسیم و 73.1 درصد در محیط کربنات کلسیم می باشد. 5- این مقدار برای نیم درصد میتره به 70.9 و 33.5 در محیط های سولفات کلسیم و کربنات کلسیم کاهش پیدا میکند. همچنین برای یک درصد میتره این مقدار مجدداً به حدود 64.9 و صفر درصد میرسد در محیط های سولفات کلسیم و کربنات کلسیم میرسد. بنابراین میتره در مقدار یک درصد در محیط کربناتی قابلیت رسوب برداری را ندارد. این موضوع نشان میدهد که عملکرد میتره در رابطه با تشکیل لایه محافظ بر روی فلز و همچنین حل کردن رسوبات به مقدار این محلول بستگی قابل توجهی دارد. نکته جالبی که وجود دارد این است که اصولاً حل کردن کل لایه های رسوباتی کار درستی نمی باشد چراکه فلز را در معرض

سیال قرار میدهد. بنابراین با کنترل مقدار میتره و تغییر اصولی آن میتوان شرایط مناسبی را در سیستم های در حال انتقال حرارت بدست آورد.

شکل 8 تصویری از فیلترهای مورد استفاده در تاسیسات را نشان می دهد. همانگونه در شکل قابل مشاهده می باشد میتره اثر بسیار محسوسی را در از بین بردن رسوبات و ترکیبات کربناتی داشته است. بعلاوه شکل 9 نمایی از لوله های درون کندانسور چیلر را پس از گذشت هفت ماه استفاده از محلول میتره جهت بازدید از نحوه کار این محلول در جلوگیری از نشست رسوب را نشان می دهد.



شکل 8- فیلترهای مورد استفاده در صافی مکش پمپ بعد و قبل از استفاده از محلول میتره



شکل 9- نمونه ای از لوله های کندانسور چیلر پس از گذشت هفت ماه استفاده از محلول متیوره

5- نتیجه گیری

با توجه به نتایج و بحث های عنوان شده در این مقاله می توان چنین بیان نمود که محلول میتره علاوه بر رسوب برداری در حین عملکرد سیستم قادر به ایجاد یک لایه محافظ جهت پیشگیری از نشست رسوب بر روی جدار داخلی لوله و جلوگیری از خوردگی جدار داخلی لوله می باشد و در مقایسه با روش های قبلی می توان بعنوان یک محلول غیر خورنده آن را شناخت. با توجه به موارد دیده شده در حین آزمایش این محلول طبیعی بر روی بدن انسان تاثیر سویی نداشته و مشکلات مربوط به ایمنی محیط کار را مرتفع نموده و علاوه بر رعایت موارد مربوط به حفاظت از محیط زیست، بدلیل وجود املاح معدنی قابل جذب گیاهان و ترکیبات هیدروکسیدی بر خلاف ترکیبات کربناتی و سیلیکاتی در پسماند این محلول، می توان با اضافه نمودن مواد کلر زدا میزان کلر آن را کم و برای فضای سبز از آن استفاده نمود. استفاده از این محلول بدلیل حذف رسوبات کاهنده انتقال حرارت باعث افزایش راندمان مبدل حرارتی و در نتیجه بهینه شدن مصرف انرژی دستگاه و تولید سرمایه مورد نیاز می گردد و نیاز به مواردی همچون اسیدشویی و یا تعویض لوله بر اثر رسوب گرفتگی را از بین می برد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله تشکر خود را از شرکت آبریزان تولید کننده محلول میتره جهت در اختیار گذاردن این محلول و همکاری در انجام این پروژه تحقیقاتی را اعلام می دارند.

- [1] Bott, T. R., "Fouling of Heat Exchangers", Elsevier Science & Technology Books, 1995.
- [2] Kuppan, T., "Heat Exchanger Design Handbook", Marcel Dekker, Inc., New York, 2000.
- [3] Shah, R. K. and D. P. Sekulić, "Fundamentals of Heat Exchanger Design", John Wiley & Sons, Inc., 2003.
- [4] Pritchard, A. M, ."The Economics of Fouling", in Fouling Science and Technology, (L. F. Melo et al, eds.), Kluwer Academic Publishers, Netherlands, pp 31-45, 1988.
- [5] Tay S. N. and C. Yang, "Assessment of The Hydro-Ball Condenser Tube Cleaning System", Hydro-Ball Technics Sea Pte. Ltd, Singapore, 2006.
- [6] Puckorius, P. R., "Controlling Deposits in Cooling Water Systems", Mater. Protect. Perform., November, pp19-22, 1972.
- [7] Chenoweth, J. M., "Final Report of the HTRI/TEMA Joint Committee to Review the Fouling Section of the TEMA Standards", Heat Transfer Research, Inc., Alhambra, Calif., 1988.
- [8] Mukherjee, R., "Conquer heat exchanger fouling", Hydrocarbon Processing, January, pp 121-127, 1996.