

محدودیت‌های شاخص‌های میزان خوردگی و رسوب‌گذاری آب در سیستم‌های صنعتی

شهرام عباسی ****

عباسعلی نظربلند ***

علی معلم **

محمود پاکشیر *

(دریافت ۸۲/۴/۱۰ پذیرش ۸۲/۱۲/۱۸)

چکیده

در این مقاله در ابتدا اهمیت اطلاع از میزان رسوب‌گذاری و خوردگی آب در سیستم‌های خنک‌کننده به صورت خلاصه تشریح شده و در این رابطه اندیس‌های رایزنر و لانگلیر که معمولاً در بیشتر صنایع برای تعیین وضعیت آب‌های خنک‌کن به کار می‌روند، معرفی می‌شوند. سپس محدودیت‌های کاربردی این عوامل بررسی شده و محاسن استفاده از اندیس پوکوریوس برای پیش‌بینی میزان خوردگی و رسوب‌گذاری آب‌های صنعتی ارائه می‌گردد. هم‌چنین برای روشن شدن کامل موضوع، به یک مثال واقعی از ناکارآمدی اندیس‌های رایزنر و لانگلیر در تعیین وضعیت شیمیایی آب در سیستم خنک‌کننده نورد گرم مجتمع فولاد مبارکه اشاره می‌شود.

واژه‌های کلیدی: سیستم خنک‌کننده، رسوب‌گذاری، خوردگی، اندیس‌های رایزنر، لانگلیر و پوکوریوس، نمودار پلاریزاسیون

Limitations of Precipitation and Corrosivity Indices in the Cooling Water Systems

*Pakshir, M. Moalem, A., Nazarboland, A., and Abbasi, Sh.
Shiraz University, Shiraz, Iran*

Abstract

This paper explains the importance of measuring the precipitation and water corrosivity in cooling water systems. The limitations of Raisner and Langlier indexes have been explained. Then the benefits of Puchorius index in determining the precipitation and water corrosivity have been investigated. Finally, as a case study, the limitations of Raisner and Langlier indexes against Puchorius index have been discussed for the cooling water system of hot rolling of Mobarake Steel Complex.

مقدمه

مشکل مشترک در همه سیستم‌های خنک‌کننده وجود دارد. یکی خوردگی شیمیایی قطعات و اجزای مجموعه و دیگری راسب شدن مواد، که در قسمت‌هایی از سیستم خنک‌کننده مثل لوله‌ها و مبدل‌های حرارتی می‌تواند سبب بروز مشکلاتی از جمله انسداد لوله‌ها و کاهش بازده حرارتی دستگاه‌ها و در نهایت کاهش کارایی سیستم خنک‌کننده گردد. به همین دلیل لازم است در این سیستم‌ها برنامه دقیقی برای کنترل وضعیت آب از لحاظ خوردگی و رسوب‌گذاری وجود داشته باشد تا

خارج کردن حرارت اضافی و خنک کردن ماشین‌ها و قطعات، نیاز مشترک بسیاری از کارخانه‌ها و واحدهای صنعتی است. از این رو سیستم خنک‌کننده، نقطه مشترکی است که بسیاری از صنایع آن را دارا هستند. مهم‌ترین هدف یک سیستم خنک‌کننده، سرد کردن قسمتی از اجزای یک واحد صنعتی است که به هر دلیل گرم شده و باقی ماندن این حرارت سبب تخریب ماشین‌ها یا افت خواص و بازده آن‌ها می‌شود. دو

* استادیار دانشکده مهندسی دانشگاه شیراز
** بخش مواد - دانشکده مهندسی دانشگاه شیراز
*** استادیار دانشکده مهندسی دانشگاه شیراز
**** واحد تحقیق و توسعه - مجتمع فولاد مبارکه

بتوان به طور مرتب مجموعه را از این لحاظ تحت بررسی قرار داد و در صورت لزوم با اعمال روش‌هایی، مشکلات فوق را به حداقل رسانید. در این راستا، چند عامل مقایسه‌ای از جمله شاخص‌های رایزنر، لانگلیر و پوکوریوس برای سنجش وضعیت شیمیایی آب از نقطه نظر تمایل به خوردگی یا رسوب‌گذاری، مورد استفاده قرار می‌گیرد. دو اندیس اول به دلیل قدیمی‌تر بودن کاربرد بیشتری در صنایع ایران پیدا کرده است، اما در شرایط خاصی این اندیس‌ها برای مقایسه مناسب نبوده و پاسخ‌های آن قابل استناد نمی‌باشد. در این شرایط استفاده از اندیس پوکوریوس راه‌گشا است، ولی متأسفانه به دلیل عدم آشنایی کافی اکثر صنایع با این شاخص جدید، کاربرد آن در ایران بسیار محدود است. این مقاله به طور مختصر به معرفی این شاخص‌ها پرداخته و سپس نقاط ضعف اندیس‌های رایزنر و لانگلیر را مورد بررسی قرار داده و با یک مثال عملی مزیت اندیس پوکوریوس در آب خنک‌کننده نورد گرم مجتمع فولاد مبارکه را نشان داده می‌شود.

مسأله خوردگی و رسوب‌گذاری آب‌های خنک‌کننده

عموماً از آب شیرین به عنوان سیال اصلی در سیستم‌های خنک‌کننده استفاده می‌شود. منابع تأمین این آب، رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و در مواردی چاه‌ها هستند. با توجه به تنوع منابع تأمین آب، طبیعی است که این آب‌ها دارای کیفیت متفاوتی به ویژه از لحاظ نمک‌های محلول در آن باشند. عموماً آب‌های خنک‌کننده دارای کاتیون‌های فلزات قلیایی خاکی و آنیون‌های گوناگون از جمله بی‌کربنات، کربنات، کلرید و سولفات هستند [۴]. با توجه به کیفیت آب خنک‌کننده و نیز تنوع مواد سازنده یک سیستم خنک‌کننده (از جمله چدن، فولاد کربنی، مس و آلیاژهای آن، فولاد گالوانیزه، فولاد زنگ نزن، آلومینیوم و آلیاژهای آن، پلاستیک‌های مختلف، سیمان آزبستی، بتن و مواد آب‌بندی [۵])، دو مشکل عمده می‌تواند در سیستم خنک‌کننده به وجود آید؛ یکی مشکل خوردگی الکتروشیمیایی است، که ناشی از عوامل خورنده موجود در آب می‌باشد. مشکل عمده دیگر رسوب‌گذاری در این سیستم‌هاست. رسوبات در این حالت تحت شرایط خاصی ایجاد می‌شوند. نوع و مقدار رسوب، متأثر از عواملی نظیر کیفیت آب جبرانی، کیفیت مواد افزودنی به آب، pH آب، درجه حرارت، سرعت جریان آب، تعداد سیکل تغلیظ و عوامل

میکروبیولوژیکی است [۶]. رسوباتی که در سیستم‌های خنک‌کننده آب تشکیل می‌شوند، معمولاً شامل ترکیبات معدنی (CaCO_3 , CaSO_4 , Fe_2O_3 , ...)، مواد ذره‌ای، گل و لای (خاک رس) و رسوبات بیولوژیکی می‌باشد. این رسوبات، ممکن است باعث کاهش راندمان انتقال حرارت یا افزایش موضعی انتقال حرارت در مبدل‌های حرارتی، انسداد لوله‌ها و کاهش سرعت جریان آب در داخل سیستم، خوردگی موضعی شدید، رشد میکروارگانیسم‌ها و در نهایت تخریب قسمت‌هایی از سیستم خنک‌کننده شوند. این رسوبات معمولاً در نواحی که سرعت گردش آب پایین است، تشکیل می‌شوند [۷]. مشکل اساسی در برخورد با این دو مسئله، یکنواخت نبودن بروز و ظهور آن‌هاست. بعضی از این مسائل به صورت تدریجی و بخشی ناگهانی ظاهر می‌شوند. لذا کنترل خوردگی و رسوب‌گذاری در سیستم‌های خنک‌کننده ضروری است و باید مطابق برنامه‌های مدونی انجام پذیرد. عموماً جلوگیری از خوردگی در سیستم‌های خنک‌کننده از طریق کنترل ترکیب شیمیایی آب و با استفاده از ممانعت‌کننده‌ها صورت می‌گیرد. ممانعت‌کننده‌ها مواد شیمیایی هستند که هرگاه در غلظت‌های کم به یک محیط خورنده اضافه شوند، واکنش فلز با محیط را کاهش داده یا از آن پیش‌گیری می‌کنند. چگونگی عملکرد یک ممانعت‌کننده را می‌توان به این صورت بیان کرد که، یا به صورت یک فیلم نازک بر روی سطح ماده در حال خورده شدن جذب می‌شود، یا موجب تشکیل یک محصول خوردگی ضخیم بر سطح فلز می‌شود و یا با تغییر خصوصیات محیط، تولید رسوبات محافظ و حذف یا غیر فعال کردن گونه مهاجم، از خوردگی جلوگیری می‌کند [۸]. برای جلوگیری از ایجاد رسوب در این سیستم‌ها، از روش‌های تصفیه شیمیایی آب و کاربرد ممانعت‌کننده‌های رسوب که از سمیت کمی برخوردارند، استفاده می‌شود [۱]. که تفصیل آن‌ها در این مختصر نمی‌گنجد.

بررسی عملی خوردگی و رسوب‌گذاری آب

روش‌های متفاوتی برای پیش‌بینی این که آب در یک سیستم خنک‌کننده رسوب‌گذار است یا تمایل به ایجاد خوردگی دارد، وجود دارد. ذکر این نکته ضروری است که این روش‌ها معمولاً بر مبنای تعادلات شیمیایی استوار شده‌اند و فقط می‌توانند مشخص کنند که چه اتفاقی خواهد افتاد، ولی دینامیک مسأله را بررسی نمی‌کنند. ساده‌ترین روش‌ها برای بررسی این مسئله به کارگیری آنالیز آب در تعیین تمایل به

رسوب‌گذاری یا خوردگی با استفاده از روابط لانگلیر، رایزنر و پوکوریوس است [۶ و ۸]. این روابط به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$(۱) \quad \text{pH} - \text{pH}_s = \text{اندیس لانگلیر}$$

$$(۲) \quad 2\text{pH}_s - \text{pH} = \text{اندیس رایزنر}$$

$$(۳) \quad 2\text{pH}_s - \text{pH}_{\text{eq}} = \text{اندیس پوکوریوس}$$

لانگلیر یک روش برای پیش‌گویی pH اشباع (pH_s) هر نوع آب ارائه داد. در این روش اگر pH واقعی، کمتر از مقدار pH_s محاسبه شده باشد، آب دارای شاخص لانگلیر منفی بوده و باعث حل شدن کربنات کلسیم خواهد شد که در این حالت آب خورنده است. چنانچه pH واقعی آب بیشتر از pH_s باشد، آب دارای شاخص لانگلیر مثبت بوده و از کربنات کلسیم اشباع خواهد شد که در این حالت آب رسوب‌گذار است. باید توجه داشت که انحراف بیشتر pH واقعی از مقدار pH_s ، بیان‌کننده ناپایداری بیشتر آب می‌باشد. شاخص لانگلیر بیشتر در سیستم‌هایی با سرعت کم جریان آب کاربرد دارد. رایزنر برای پیش‌گویی در مورد چگونگی وضعیت رسوب‌گذار یا خورنده بودن آب یک سیستم براساس pH و pH_s ، اقدام به اصلاح شاخص لانگلیر نمود. با کاربرد این شاخص، آب موقعی خورنده است که شاخص پایداری آن از مقدار ۶ تجاوز نماید و تمایل به رسوب‌گذاری وقتی است که شاخص پایداری از مقدار ۶ کمتر باشد. شاخص رایزنر در سیستم‌های در حال جریان که سرعت آب در آن‌ها بیشتر از ۲ فوت بر ثانیه و یا ۰/۶ متر بر ثانیه باشد، کاربرد داشته و یک شاخص مبتنی بر تجربه است [۱].

مدت زمان زیادی است که در کارخانه‌ها و پالایشگاه‌هایی که با سیستم خنک‌کننده سروکار دارند، از شاخص پوکوریوس استفاده می‌شود. باید توجه داشت که در بسیاری از موارد شاخص لانگلیر رسوب‌گذاری آب را نشان می‌دهد، در صورتی که شاخص پوکوریوس نشانگر خورنده بودن همان آب است و آزمایش‌های انجام شده در این موارد نیز، موید تناقض بین شاخص‌هاست. در بیشتر مواقع مناسب‌تر بودن شاخص پوکوریوس نسبت به شاخص لانگلیر و شاخص رایزنر برای آب‌هایی که pH آن‌ها بیشتر از ۸ می‌باشد، مشاهده شده است. علت این امر آن است که pH سیستم بافری می‌شود و با قلیائیت رابطه صحیح نخواهد داشت، لذا در محاسبه شاخص

پوکوریوس از pH تعادل (pH_{eq}) استفاده می‌شود که براساس قلیائیت و توسط رابطه زیر به دست می‌آید [۹]:

$$(۴) \quad \text{pH}_{\text{eq}} = 1.465 (\text{Total Alkalinity}) + 4.54$$

در موقع به کارگیری شاخص پوکوریوس، اگر عدد به دست آمده بزرگ‌تر از ۶ باشد، موید خورنده بودن آب و اگر کوچک‌تر از ۶ باشد، موید رسوب‌گذار بودن آن است. استفاده از شاخص پوکوریوس باعث کم کردن میزان اسید مصرفی، افزایش سیکل تغلیظ، صرفه جویی در آب جبران‌کننده و از همه مهم‌تر حفاظت بهتر لوله‌ها و تجهیزات سیستم‌های خنک‌کننده می‌شود [۱]. برای محاسبه شاخص لانگلیر و شاخص رایزنر می‌بایست آنالیز آب مورد نظر و مقدار pH_s مشخص باشد. برای تعیین pH_s ، از نمودارهای مرجع موجود در کتب استاندارد استفاده می‌شود که به دلیل مجال اندک این مقاله از ذکر روش تعیین آن خودداری شده و خوانندگان محترم را به مراجع علمی مانند مرجع شماره یک این مقاله ارجاع می‌دهیم.

مواد و روش‌ها

در این تحقیق از اطلاعات دو دسته آزمایش‌های شیمیایی استفاده شد. برای اطمینان از دقت و تکرارپذیری روش‌ها، کلیه آزمایش‌ها براساس استانداردهای بین‌المللی و حداقل در سه نوبت انجام گرفته که برای رعایت اختصار از شرح کامل روش‌ها صرف نظر شده و صرفاً شماره استاندارد آزمایش‌ها در قسمت منابع ذکر گردیده است. این آزمایش‌ها عبارتند از: اندازه‌گیری دما و آنالیز شیمیایی آب خنک‌کننده شامل تعیین مجموع جامدات محلول، اسیدیته، سختی کلسیم و قلیائیت کل آب (Ca, pH, TDS) [۱۱ و ۱۲] و آزمایش تعیین سرعت خوردگی در آب خنک‌کننده در حالت ساکن با روش پلاریزاسیون [۱۳]. هم‌چنین برای شبیه‌سازی کامل در تعیین سرعت خوردگی از قسمتی از پروانه چدنی پمپی که در سیستم خنک‌کننده مشغول به کار بوده استفاده گردید [۳].

نتایج و بحث

جدول ۱ نتایج مربوط به آنالیزهای شیمیایی آب تانک ۱۱۵ سیستم خنک‌کننده نورد گرم مجتمع فولاد مبارکه را نشان می‌دهد. برای تحلیل وضعیت شیمیایی آب، در ابتدا شاخص‌های لانگلیر و رایزنر برای آب خنک‌کننده در طول دوره آزمایش براساس روابط (۱) و (۲) محاسبه شد. به این

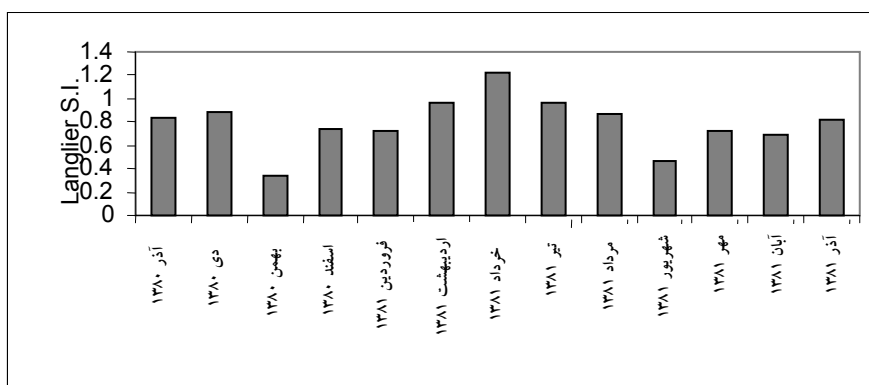
ترتیب شکل‌های ۱ و ۲ به دست آمد. مطابق تعریف دیده می‌شود اگر شاخص لانگلیر مثبت باشد، دلیل بر رسوب‌گذار بودن آب، و بزرگ‌تر بودن شاخص رایزنر از عدد ۶، دلیل بر خورنده بودن آب است. براساس الگوی لانگلیر، آب تانک ۱۱۵، نسبتاً رسوب ده بوده و رسوب‌دهی آب بیش از خورندگی آن است. حال آن که براساس الگوی رایزنر، آب تانک ۱۱۵، نسبتاً خورنده بوده و رسوب‌دهی کمتری نسبت به خورندگی دارد. در اینجا یک تناقض آشکار در تحلیل اطلاعات دیده می‌شود که عمده‌ترین دلیل آن ناکارآمدی شاخص‌های رایزنر و لانگلیر در شرایط شیمیایی و فیزیکی آب مورد مطالعه هستند. روش تعیین شاخص لانگلیر وقتی اعتبار کامل دارد که آب ساکن بوده، یا سرعت آن حداکثر ۰/۶ متر در ثانیه باشد [۱]. هم‌چنین به خاطر این که pH آب بالای ۸ است و آب در این pH یک حالت بافری پیدا می‌کند، رابطه صحیحی با قلیائیت نداشته و لذا شاخص رایزنر هم از اعتبار بالایی برخوردار نیست. در این وضعیت استفاده از شاخص پوکوریوس کاملاً مناسب و در شرایط صنعتی توصیه شده است [۱۰] و از سال ۱۹۹۱ میلادی به طور عملی در صنایع کاربرد پیدا کرده است [۹]. لذا نمودار تغییرات شاخص پوکوریوس آب با استفاده از روابط (۳) و (۴) ترسیم می‌شود.

بررسی تغییرات شاخص پوکوریوس در شکل ۳ نشان می‌دهد که آب تانک به خوردگی تمایل داشته و از نظر شیمیایی مقداری خورنده است. هم‌چنین با توجه به تغییرات pH آب که مقدار آن عموماً بین ۸ تا ۸/۵ است و نیز با توجه به دمای آب، انتظار می‌رود که آب خورندگی کمی روی پروانه ایجاد کند [۳]. به طور کلی در وضعیتی که آب قلیایی است، مراجع علمی، محدوده قلیائیت حدود ۱۵۰ ppm و سختی کلسیم بین ۱۰۰ تا ۸۰۰ (ppm) را برای ایجاد تعادل مناسب بین خورندگی و رسوب‌گذاری پیشنهاد کرده‌اند [۱۴]. این مطلب در آب تانک ۱۱۵ دیده می‌شود و لذا انتظار می‌رود که سرعت خوردگی پروانه در آب تانک به لحاظ شیمیایی بسیار کم باشد. از سوی دیگر نتایج آزمون پلاریزاسیون که برای تعیین سرعت خوردگی پروانه در آب در حال سکون انجام شد، سرعت خوردگی بین ۱ تا ۲ (mpy) را نشان می‌داد. اعداد به دست آمده، نشان دهنده سرعت خوردگی کم یا به عبارت دیگر خاصیت خورندگی ضعیف آب خنک‌کن می‌باشد. شکل ۴ یک نمونه از نتایج این آزمایش‌ها را که به صورت نمودار پلاریزاسیون ترسیم شده نشان می‌دهد.

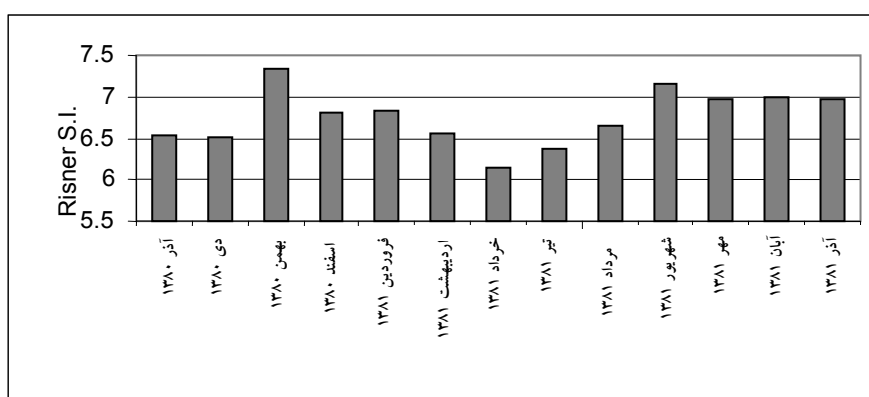
^۱ یک واحد خوردگی است به معنای هزار اینچ در سال

جدول ۱- نتایج آنالیز مربوط به خورنده بودن یا رسوب‌گذار بودن آب

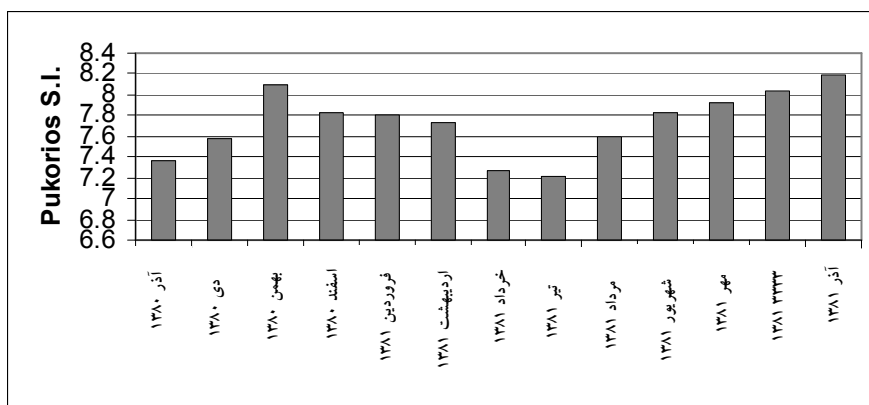
تاریخ نمونه‌برداری	دمای آب (°C)	کل مواد جامد معلق (ppm)	سختی کلسیم (ppm)	pH	قلیائیت کل (ppm)
۱۳۸۰/۹/۱۷	۳۰	۱۴۲۱	۳۰۰	۸/۲	۸۵
۱۳۸۰/۱۰/۲۲	۲۸	۱۵۲۶	۳۶۵	۸/۳	۷۰
۱۳۸۰/۱۱/۲۷	۲۷	۱۰۲۰	۲۱۵	۸	۷۰
۱۳۸۰/۱۲/۱۸	۳۰	۹۷۴	۲۲۵	۸/۳	۷۵
۱۳۸۱/۱/۱۷	۳۰	۸۳۵	۲۰۵	۸/۳	۸۰
۱۳۸۱/۲/۱۴	۳۲	۹۴۷	۲۱۰	۸/۳	۸۰
۱۳۸۱/۳/۱۸	۳۴	۱۰۰۰	۲۲۰	۸/۵	۱۰۰
۱۳۸۱/۴/۲۲	۳۵	۸۹۵	۱۷۵	۸/۶	۱۰۰
۱۳۸۱/۵/۱۹	۳۲	۷۸۹	۱۵۵	۸/۳	۱۰۰
۱۳۸۱/۶/۱۶	۳۱	۵۱۵	۱۲۳	۸/۴	۱۰۰
۱۳۸۱/۷/۲۰	۳۱	۵۸۰	۱۲۰	۸/۱	۹۵
۱۳۸۱/۸/۱۸	۳۰	۵۷۹	۱۳۵	۸/۴	۸۵
۱۳۸۱/۹/۱۷	۳۰	۵۳۸	۱۱۵	۸/۶	۸۵



شکل ۱- تغییرات شاخص لانگلیتر در آب تانک ۱۱۵



شکل ۲- تغییرات شاخص رایزنر در آب تانک ۱۱۵

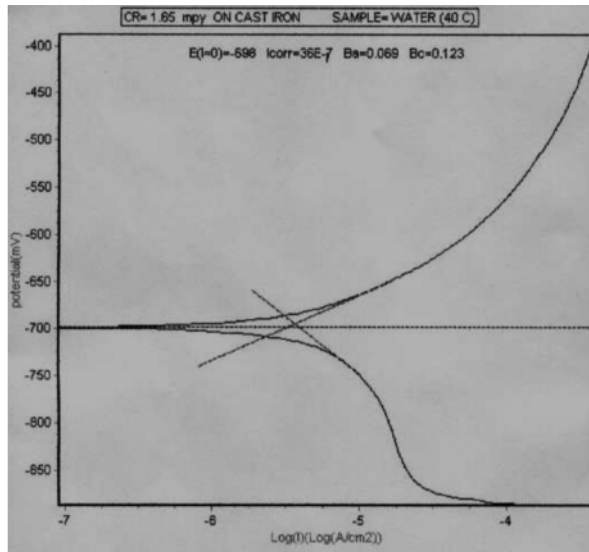


شکل ۳- تغییرات شاخص پوکوریوس در آب تانک ۱۱۵

نتیجه‌گیری

از مرور مباحث تئوری و دستاوردهای آزمایش‌های انجام گرفته نتایج زیر حاصل می‌شود:
با توجه به اهمیت موضوع تشکیل رسوب و خوردگی در سیستم‌های خنک کننده، لازم است کیفیت آب‌های خنک‌کن

دائماً تحت کنترل باشد. به همین جهت استفاده از شاخص‌های تعیین وضعیت آب، ضروری به نظر می‌رسد. شاخص لانگلیتر وقتی اعتبار کامل دارد که آب ساکن بوده یا سرعت آن حداکثر ۰/۶ متر در ثانیه باشد. هم‌چنین در شرایطی که pH آب بالای ۸ است و آب حالت بافوری پیدا کرده و رابطه



شکل ۴- نمودار پلاریزاسیون قطعه‌ای از پروانه چدنی مورد آزمایش در آب تانک

آب خنک کننده نورد گرم مجتمع فولاد مبارکه، از نظر شیمیایی، خوردگی بسیار کمی داشته و در وضعیت مناسبی است و این موضوع از بررسی نتایج آزمایش‌های شیمیایی و پلاروگرافی تأیید می‌شود.

صحیحی با قلیائیت ندارد، شاخص رایزور در این وضعیت معتبر نیست. به علت سرعت بالای آب در سیستم خنک کننده نورد گرم و نیز بالا بودن pH آب، استفاده از شاخص پوکوریوس مناسب‌تر است. با توجه به محاسبات به عمل آمده،

مراجع

- ۱- پیشنهادی، س.ا.، (۱۳۷۷). "نقش آب و کنترل خوردگی در صنایع"، انتشارات ارکان اصفهان.
- ۲- سید رضی، س.م.، (۱۳۷۶). "کنترل خوردگی در صنایع"، انجمن خوردگی ایران.
- ۳- معلم، ع.، (۱۳۸۲). "بررسی علل تخریب پروانه پمپ‌های آب خنک کننده ناحیه نورد گرم مجتمع فولاد مبارکه و روش‌های کاهش آن". پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی، دانشگاه شیراز.
- 4- Handbook of Industrial Water Conditioning, (1981). BETZ Pub.
- 5- Weber, J., (1979). "Inhibition of the Corrosion of Industrial Cooling System", Br. Corr. Jour., Vol. 14, No.2, pp: 69-77.
- 6- Franco, R.J., (1980). "Successful Use of Nonchromate Cooling Water Treatment", Industrial Water Engineering Vol. 17, No.5, pp: 55-60.
- 7- Troscinski, E.S., and Waston, R.G., (1970). "Controlling Deposits in Cooling Water Systems", Chemical Engineering, Vol. 72, pp: 125-132.
- 8- Farooqi, I.H., Nasir, M.A., and Quraishi, M.A., (1997). "Environmentally Friendly Inhibitor Formulation for Industrial Cooling Systems", Corr. Preven. & Cont., Vol. 46, No.5, pp: 129-134.
- 9- Puchorius, P.R. and Broke, J.M., (1991). "A New Practical Index for Calcium Carbonate Scale Prediction in Cooling Tower Systems", Corrosion, Vol. 47, No. 4, pp. 280-284.
- 10- Shelden and Pukorius, (1984). "Cooling Water Treatment for Control of Scaling, Fouling, Corrosion", Power pub.
- 11- D106-88, Annula Book of ASTM Standards, (1989). "Standard Test Method for Acidity or Alkalinity", Vol. 11.01, ASTM Pub.
- 12- Hardnes, A.E., Greenberg, L.S., and Clesceri, A.D. Eaton, (1992). "Standard Test Methods for the Examination of Water and Wastewater", American Public Health Association, Standard No. 2340.
- 13- D2776-79, Annual Book of ASTM Standards, (1991). "Standard Test Method for Corrosivity of Water in the Absense of Heat Transfer (Electrical Methods)", Vol. 11.01, ASTM Pub.
- 14- Ascose, C.R. and Bain, D.I., (1998). "Take Advantage of Effective Cooling Water Treatment Programs", Chemical Engin. Progress, Vol. 94, No. 3, pp: 49-54.