

مطالعه موردی

ارزیابی رسوب گذاری، خوردگی و تغییر رنگ آب در سامانه توزیع آب آشامیدنی در یک واحد پالایشگاهی

محمد حسین خواجه محمدی^۱، بنیامین پیری^{۲*}، حسین نجفی محترم^۳، حسام عابدی^۴، مهدی باقر زاده^۵، محمد زیارتی^۶

^۱ رئیس بازرسی فنی، ^۲ و ^۳ کارشناسان خوردگی، ^۴ کارشناس ارشد خوردگی، ^۵ کارشناس بازرسی مکانیک، اداره بازرسی فنی پالایشگاه یازدهم پارس جنوبی، بوشهر ایران
^{*} نویسنده مسئول: Benyamin.piri@outlook.com

تاریخ ارسال: ۱۴۰۰/۱۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۰

چکیده

سالانه حجم بسیاری از آب به خاطر خوردگی خطوط انتقال هدر می رود در شرایطی که همواره با مشکل کمبود آب آشامیدنی و صنعتی مواجه هستیم. اهمیت انتقال و توزیع انواع آب های صنعتی نظیر آب آشامیدنی، آب یوتیلیتی، آب آتش نشانی، آب دیونیزه شده و آب خنک کننده بر کسی پوشیده نیست. خوردگی داخلی لوله های آب به عنوان یکی از معضلات صنعتی مطرح بوده و همواره کنترل آن ها با توجه به اهمیت موضوع مدنظر بوده است. عدم کنترل و نگهداری مناسب سیستم ها از دیدگاه خوردگی هزینه های هنگفتی را به صنعت و محیط زیست تحمیل می کند.

در این پژوهش میزان رسوب گذاری، خوردگی و ریشه یابی علت تغییر رنگ آب در شبکه توزیع و انتقال آب آشامیدنی یکی از پالایشگاه های کشور مورد ارزیابی واقع گردیده است. برای دست یابی به پاسخ این مسئله از روش هایی نظیر ارزیابی میدانی، نمونه برداری، ماکروگرافی، آنالیز شیمیایی آب، استفاده از روابط ریاضی محاسبه اندیس های آب و تجزیه و تحلیل آماری استفاده شده است.

کلیدواژه: ارزیابی رسوب گذاری و خوردگی آب، خوردگی لوله آب، خوردگی در سیستم انتقال و توزیع آب آشامیدنی، تغییر رنگ آب

Case Study

Evaluation of Sedimentation, Corrosion and Water Discoloration in the Drinking Water Distribution System in a Refinery Unit

M. H. Khajemohammadi¹, B. Piri^{2*}, H. Najafi Mohtaram³, H. Abedi⁴ M. Bagherzadeh⁵, M. Ziarati⁶,

¹ Head of technical inspection, ^{2,3,4} corrosion experts, ⁵ senior corrosion expert, ⁶ mechanical inspection expert, technical inspection department of the 11th South Pars Refinery, Bushehr, Iran.

* **Corresponding Author:** benyamin.piri@outlook.com

Submission: 2022, 03, 11 **Acceptance:** 2022, 06, 10

Abstract

Every year, a large amount of water is wasted due to corrosion of transmission lines, in a situation where we always face the problem of water shortage. The importance of transferring and distributing various types of industrial water such as drinking water, utility water, fire water, deionized water and cooling water is not hidden from anyone.

Internal corrosion of water pipes has been considered as one of the industrial problems and their control has always been considered according to the importance of the issue. Lack of proper control and maintenance of systems from a corrosion point of view imposes huge costs on humans, industry and the environment.

In this study, the amount of sedimentation, corrosion and root cause of water discoloration in the distribution and distributing network of drinking water in one of the refineries of Iran has been evaluated. Methods such as field evaluation, sampling, macrography, chemical analysis of water, mathematical relations, calculation of water indices and statistical analysis have been used to answer this question.

Keywords: Evaluation of sedimentation and water corrosion, water pipe corrosion, corrosion in drinking water transmission and distribution system, water discoloration.

۱- مقدمه

هزینه جهانی خوردگی در سال ۲۰۲۰ مبلغ ۲،۵۰۵ بلیون دلار (حدود ۳/۴٪ هزینه تولیدات ناخالص صنایع جهان) مربوط به معضلات تخمین زده می شود. ضمن اینکه این هزینه ها در برگیرنده صدمات جانی و پیامدهای زیست محیطی نیست. هزینه های خوردگی به صورت مستقیم و غیرمستقیم است. هزینه های مستقیم مثل خرید مواد مقاوم در برابر خوردگی، خرید مواد شیمیایی و بازدارنده های خوردگی، استفاده از تکنیک های کنترل خوردگی نظیر حفاظت کاتدی و اعمال رنگ، تعویض قطعات تخریب شده و غیره. هزینه های غیرمستقیم خوردگی شامل هزینه هایی مثل تعطیلی خط تولید کارخانه ها (خاموشی سرویس به دلیل تخریب یا خوردگی در یکی از تجهیزات کلیدی)، آلوده شدن سیال درون خطوط لوله انتقال به آثار خوردگی (محصولات اکسیدی)، هدر رفت آب، نفت و گاز در سیستم های انتقال و غیره. سالانه حجم بسیاری از آب به خاطر خوردگی خطوط انتقال هدر می رود در شرایطی که همواره با مشکل کمبود آب مواجه هستیم [۱ و ۲].

اهمیت انتقال و توزیع انواع آب های صنعتی نظیر آب آشامیدنی، آب یوتیلیتی، آب آتش نشانی، آب دیونیزه شده و آب خنک کننده بر کسی پوشیده نیست. خوردگی داخلی لوله های آب به عنوان یکی از معضلات صنعتی مطرح بوده و همواره کنترل آن ها با توجه به اهمیت موضوع مدنظر بوده است. عدم کنترل و نگهداری مناسب سیستم ها از دیدگاه خوردگی هزینه های هنگفتی را به انسان، صنعت و محیط زیست تحمیل می کند [۳]. در این پژوهش به ارزیابی میزان رسوب گذاری، خوردگی و ریشه یابی علت تغییر رنگ آب در شبکه توزیع و انتقال آب آشامیدنی یکی از پالایشگاه های کشور پرداخته شده است. جنس متریال شبکه توزیع و انتقال آب پالایشگاه مورد بررسی براساس اسناد طراحی فولاد گالوانیزه بوده ولیکن در زمان اجرا از فولاد ساده کربنی هم استفاده شده است. به همین منظور در این پژوهش به مکانیزم های فعال خوردگی در هر دو مورد متریال پرداخته می شود.

۱-۱ - خوردگی داخلی خطوط گالوانیزه

خوردگی داخلی محصولات گالوانیزه در سامانه های توزیع و ذخیره آب، عموماً منجر به ایجاد لایه های تشکیل شده توسط

محصولات خوردگی می شود که ممکن است محافظ باشند یا نباشند. از آن جا که پوشش فلز ایجاد شده توسط گالوانیزه گرم، یک لایه همگن شامل تنها فلز روی نمی باشد و از یک سیستم ترکیبی از فلز روی و فازهای آلیاژی مختلف روی - آهن تشکیل شده است، پس از مدتی، محصولات خوردگی شامل ترکیبات آهن خواهد شد [۴].

به دلیل قابلیت انحلال بیشتر ترکیبات فلز روی، لایه های انتهایی شامل محصولات خوردگی آهن (زنگ آهن) خواهند بود. در مورد لایه های غیر محافظ، خوردگی می تواند منجر به اختلال عملکرد سیستم شود. (عدم قابلیت بهره برداری به دلیل خسارت خوردگی)

انواع روش های خوردگی قابل توجه برای محصولات گالوانیزه، شامل موارد زیر می باشند [۴ و ۵]:

خوردگی یکنواخت^۱

خوردگی حفره ای^۲

خوردگی انتخابی^۳

خوردگی دو فلزی^۴

جدول شماره ۱ حالت های مختلفی که منجر به وقوع خوردگی یکنواخت با نرخ بالا و پایین می شود را نشان می دهد. همچنین جدول شماره ۲ به اثرات ناشی از وقوع خوردگی موضعی - به صورت حفره ای و انتخابی - را به صورت مجزا نمایش می دهد. در جدول ۳ عواملی که می توانند بر احتمال خوردگی یک ماده فلزی خاص در سامانه توزیع و ذخیره آب اثر بگذارند، بدون توجه به اهمیت آن ها آمده است.

احتمال خوردگی محصولات گالوانیزه، به تشکیل یک لایه محصول خوردگی بستگی دارد که به محض تماس سطح گالوانیزه با آب، شروع به تشکیل شدن می نماید. علاوه بر این، این لایه از تبادل یونی و الکتریکی بین فلز و آب جلوگیری نموده موجب محافظت بیشتر شده و دوام فلز را بیشتر می کند. به منظور ارزیابی احتمال خوردگی فولاد گالوانیزه غوطه وری گرم شده در یک سامانه توزیع و ذخیره آب، تمامی عوامل موثر در جدول ۳ آمده و توصیه می شود برهم کنش های ممکن بین آن ها، در نظر گرفته شود. به دلیل پیچیدگی عوامل موثر و برهم کنش بین آن ها، در اغلب موارد فقط یک ارزیابی کیفی امکان پذیر است [۴ و ۵].

1 - Uniform Corrosion

2 - Pitting Corrosion

3 - Selective Corrosion

4 - Bimetallic Corrosion

جدول ۱ - خوردگی یکنواخت و پیمدهای آن [۴].

اثرات	خوردگی یکنواخت با نرخ پایین	خوردگی یکنواخت با نرخ بالا
اثرات خوردگی بر پوشش فلز روی	تشکیل یک لایه محافظ بر روی پوشش فلز روی باقی مانده، که در کل طول عمر باقی می ماند	فقدان کامل پوشش فلز روی
اثرات خوردگی فلز پایه	ندارد	خوردگی یکنواخت، کاهش جرم کم، لایه زنگ محافظ
خسارت خوردگی ممکن (در طول عمر بهره برداری در نظر گرفته شده)	ندارد	غلظت اولیه بالای یون های فلزی در آب کاهش در سطح مفید لوله

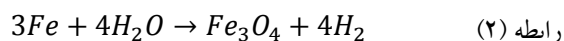
جدول ۲ - خوردگی موضعی و اثرات آن [۴].

اثرات	خوردگی حفره ای	خوردگی انتخابی
اثرات خوردگی بر پوشش	فقدان موضعی پوشش	خوردگی بین دانه ای و در نتیجه فقدان کامل فاز روی
اثرات خوردگی فلز پایه	حفره ها و برآمدگی ها	خوردگی عمومی غیر یکنواخت
خسارت خوردگی ممکن (در طول عمر بهره برداری در نظر گرفته شده)	کاهش در اندازه مفید سوراخ لوله، آلودگی آب با محصولات خوردگی آهن، انسداد اجزای سیستم، سوراخ شدن جداره	آزاد شدن اولیه محصولات جامد خوردگی فلز روی داخل آب، آلودگی آب با محصولات خوردگی آهن

جدول ۳ - عوامل موثر بر احتمال خوردگی [۴].

مشخصات مواد فلزی	مشخصات آب	طراحی و ساخت	آزمون فشار و راه اندازی	شرایط بهره برداری
- ترکیب - شیمیایی - ریز ساختار - شرایط سطحی	- ترکیب فلزی - ترکیب شیمیایی - ذرات جامد	- هندسه - سامانه های چند فلزی - اتصالات - تنش کششی	- تخلیه یک باره آب (Flushing) - تخلیه (Drainage) - گندزدایی (Disinfection) / شستشو	دما / تغییرات دمایی شرایط جریان گندزدایی

واکنش شیمیایی خوردگی آهن در جایی که ممکن است آب به صورت مایع و یا بخار باشد، به صورت زیر می باشد:



فیلم محافظ اکسید مغناطیسی Fe_3O_4 مهمترین عامل بازدارندگی آهن در مقابل خوردگی می باشد. این فیلم بسیار نازک است، از چسبندگی و مقاومت خوبی برخوردار است که می تواند سالیان زیاد تحت مراقبت و بهره برداری خوب، پایدار بماند. هرگونه شکندگی در فیلم چه به صورت مکانیکی و یا شیمیایی می تواند سبب حل شدن آهن در آب شود. عوامل مهمی که می تواند سبب شکسته شدن این لایه محافظ شوند عبارتند از: اکسیژن محلول، دما و فشار بالا، غلظت بالای نمک، شرایط انتقال حرارت، سایش موضعی به خصوص رسوبات داخل لوله، اکسید فلزات و گرم شدن موضعی بیش از حد [۶-۸].

میزان انحلال اکسیژن با افزایش دما کاهش یافته و در نقطه جوش به حد صفر می رسد. در یک سیستم بسته انحلال اکسیژن به فشار جزیی اکسیژن و دمای سیستم بستگی دارد. برای یک فشار جزیی مشخص مقدار اکسیژن حل شده تا دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد کاهش یافته و سپس افزایش می یابد، حلالیت اکسیژن در دمای ۲۰۰ درجه سانتی گراد با مقدار مشابه آن در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد برابر است [۶-۸].

۱-۲-۲- گاز کلر

گاز کلر در آب های طبیعی یافت نمی شود، ولی استفاده از این گاز برای گندزدایی در آب های آشامیدنی معمول می باشد. گاز کلر در آب تولید اسید $HClO$ (اسید هیپوکلرو) و اسید کلریدریک می کند که pH را کاهش می دهد [۳ و ۶-۸].



زمانی که pH کمتر از ۷ شود، خوردگی این اسید مورد توجه می باشد. در pH های بالاتر تاثیرات خوردگی آن تقلیل می یابد [۳].

۱-۲- خوردگی داخلی خطوط فولاد ساده کربنی

در سطح داخلی لوله های فولادی توزیع و انتقال محصولات حاصل از واکنش های شیمیایی و الکتروشیمیایی آهن / آب ایجاد شده و این محصولات به ترکیب آب اضافه شده و باعث تغییر رنگ آن گردیده است. در ادامه از نقطه نظر خوردگی به مهمترین احتمالات و پارامترهای موثر پرداخته شده است. موارد ذیل محتمل ترین مکانیزم های تخریب در نمونه مورد مطالعه می باشد [۴ و ۵]:

خوردگی زیر رسوبی^۱

خوردگی تاولی^۲

خوردگی اکسیژنی^۳

خوردگی حبابی^۴

خوردگی گالوانیکی^۵

خوردگی حفره ای

خوردگی یکنواخت

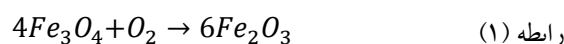
خوردگی میکروبی^۶

در ادامه مهم ترین پارامترهای مؤثر در خوردگی داخلی خطوط فولاد ساده کربنی به تفصیل اشاره می شوند.

۱-۲-۱- غلظت اکسیژن

غلظت اکسیژن محلول در آب تاثیر فراوانی بر نرخ خوردگی دارد. حلالیت گاز اکسیژن در آب نیز به پارامترهای مختلفی وابسته است، از جمله: درجه حرارت، فشار، غلظت الکترولیت (ناخالصی ها و مواد محلول در آب) [۶-۸]:

اکسیژن محلول نقش دوگانه ای دارد، از طرفی منجر به تسریع واکنش کاتدی شده که نتیجه آن افزایش سرعت خوردگی است. همچنین در غلظت های بالا اکسیژن و شرایط مساعد سبب ایجاد لایه رویین در سطح برخی فلزات می شود، که در این حالت خوردگی کاهشی محسوس یافته و به عنوان پلاریزه کننده آندی یا پسو شناخته می شود. اکسیژن حتی در مقادیر کم باعث خوردگی شدید می شود. غالباً اکسیژن حل شده سبب حفره دار شدن خواهد شد. اکسیژن محلول می تواند لایه محافظ مگنتیت (Fe_3O_4) را مطابق واکنش زیر از بین ببرد. [۳ و ۶-۸]:



1 - Under Deposit Corrosion

2 - Tuberculation Corrosion

3 - Oxygen Corrosion

4 - Cavitation

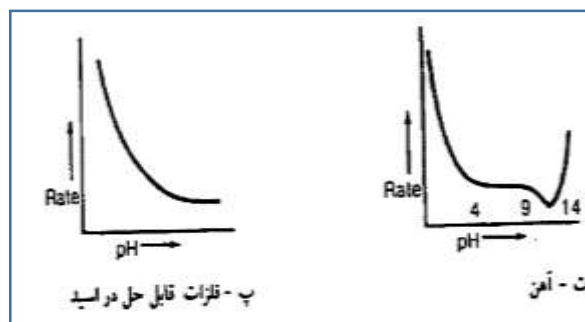
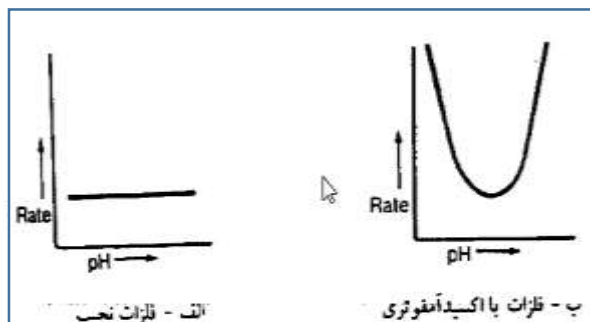
5 - Galvanic Corrosion

6 - Microbial Corrosion

۱-۲-۳- اثر pH

pH آب خاصیت اسیدی یا قلیایی بودن آن را نشان می‌دهد و لذا به غلظت H^+ و یا OH^- بستگی دارد و مقدار pH را می‌توان از رابطه $pH = -\log[H^+]$ بدست آورد. pH آب خالص در ۲۵ درجه سانتی‌گراد برابر ۱ است. محلول‌های اسیدی دارای pH کمتر از ۷ هستند. غلظت یون هیدروژن بر روی سرعت خوردگی فلزات تاثیر مهمی دارد. فلزات نجیب مثل طلا و پلاتین در محلول‌های اسیدی و بازی پایدار بوده و سرعت خوردگی آن‌ها به مقدار pH بستگی ندارد (شکل ۱. الف) از طرف دیگر در انتهای جدول الکتروشیمیایی فلزاتی مانند روی و آلومینیوم قرار دارند که در هر دو محیط اسید قوی و باز قوی

به ترتیب با تشکیل Zn^{2+} و Al^{3+} و یا ZnO_2^{2-} و AlO_2^- حل می‌شوند. (شکل ۱. ب) این فلزات در یک pH مشخص دارای کمترین میزان خوردگی هستند. اکسیدهای اکثر فلزات در محیط‌های اسیدی محلول بوده و در محیط‌های قلیایی نامحلول هستند و رفتار pH آن‌ها در شکل ۱. پ نشان داده شده است. فلزاتی نظیر نیکل و مس در این گروه قرار دارند. آهن در محدوده مشخص در این گروه قرار می‌گیرد که با افزایش pH در محدوده بین ۴ تا ۹ سرعت خوردگی کم می‌شود. (شکل ۱. ت) و در $pH=12$ به حداقل می‌رسد و سپس افزایش می‌یابد [۳].



شکل ۱ - ارتباط pH و سرعت خوردگی برای فلزات مختلف [۳].

جدول ۴ - تقسیم‌بندی شرایط آب بر اساس شاخص‌های پایداری.

خورنده	خنثی	رسوب گذار	
$LSI < 0$	$LSI = 0$	$LSI > 0$	LSI اندیس لانژلیر
$RSI > 7$	$6 < RSI < 7$	$RSI < 6$	RSI اندیس راینار
$PSI > 6$	-	$PSI < 6$	PSI اندیس پوکوریس
$2.LS > 1$	$2.LS = 1$	$2.LS < 1$	LS اندیس لارسون اسکولد

۲- مواد و روش تحقیق

مسئله مورد نظر در این پژوهش عبارت است از ارزیابی رسوب گذاری، خوردگی و تغییر رنگ آب در سامانه توزیع آب آشامیدنی در یک واحد پالایشگاهی. به همین منظور از روش های تحقیق و آزمایش ذیل جهت تجزیه و تحلیل استفاده شده است:

- نمونه برداری آب مصرفی از نقاط مختلف سیستم توزیع و انتقال آب مورد نظر به منظور مقایسه رنگ و ترکیب آب
- نمونه برداری از لوله و یا اتصال تخریب شده به منظور بررسی رسوبات خوردگی تشکیل شده در سطح داخلی لوله فلزی
- مطالعات تخصصی، بررسی اسناد و نقشه های فنی به منظور تعیین مکانیزم های تخریب فعال
- ارزیابی میدانی به منظور تطبیق دفترچه طراحی و شرایط عملیاتی سیستم توزیع و انتقال آب
- بررسی ماکروگرافی سطح خورده شده نمونه لوله به منظور بررسی رسوبات خوردگی
- آنالیز آب به منظور تعیین میزان انحراف پارامترهای موثر با محدوده ایمن مشخص شده در دفترچه طراحی
- مقایسه آماری نتایج آنالیز آب در طول سرویس به منظور تعیین مدت خارج بودن سرویس از محدوده ایمن عملیاتی
- ارزیابی خاصیت رسوب گذاری و خوردگی آب براساس روابط ریاضی

- ضخامت سنجی آلتراسونیک از نقاط بحرانی به منظور تعیین کاهش ضخامت دیواره لوله های انتقال و توزیع آب

۳- نتایج و بحث

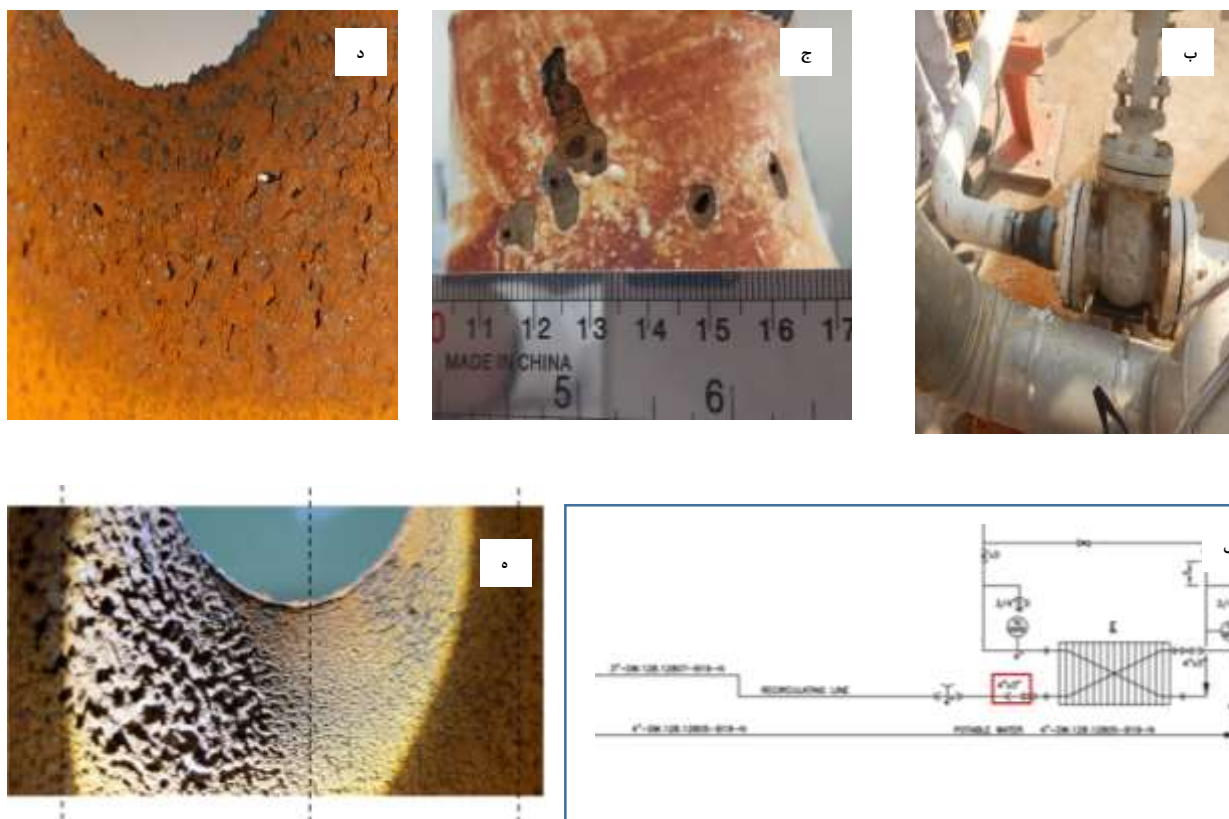
۳-۱ - مشاهدات میدانی و بازرسی چشمی

مطابق با شکل ۲ از نقاط مختلف شبکه لوله فولادی توزیع و انتقال آب آشامیدنی مورد بررسی نمونه برداری شده است. رنگ های قرمز افرا، زرد، سفید و بی رنگ به وضوح در نمونه ها مشخص است.

شکل ۳ الف و ب، موقعیت و تصویر یک اتصال کاهنده ۳ که در ابتدای شبکه توزیع آب قرار گرفته است را نشان می دهد. آثار خوردگی حبابی و خوردگی موضعی شدید در سطح داخلی با مورفولوژی حفرات در موقعیت ساعت گرد ۱۰ تا ۲ با عمق ۱ تا ۴ میلی متر در شکل ۳ ب قابل مشاهده است. همچنین شکل ۳ د گویای تشکیل رسوبات چسبنده و یکنواخت با ضخامت ۱-۳ میلی متر ناشی از تشکیل اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن در سطح داخلی لوله است. در شکل ۳ ه رسوبات چسبنده و یکنواخت (نیمه پایینی) و ناحیه اسفنجی (نیمه بالایی) (شکل ۳ ه) دیده می شود. این رسوبات چسبنده ناشی از وقوع هم زمان کاویتاسیون و خوردگی اکسیژنی می باشد.



شکل ۲ - نمونه های دریافتی از نقاط مختلف سایت



شکل ۳ - (الف) و (ب) جانمایی و تصویر اتصال کاهنده مورد بررسی، (ج) حفرات تشکیل شده در اتصال، (د) محصولات خوردگی تشکیل شده در سطح داخلی اتصال کاهنده و (ه) تاثیر خوردگی حبابی در یکنواختی محصولات خوردگی و میزان تخریب سطح داخلی نمونه

۳-۲- آنالیز آب

جدول ۵ داده‌های آنالیز آب را در سه نقطه نشان می‌دهد. انحراف از محدوده مجاز مطابق با استاندارد طراحی در پارامترهای مختلفی نظیر pH، HCO_3^- ، Ca^{2+} و Cl_2 مشخص است.

جهت ارزیابی نقش زمان در انحراف سرویس از دامنه قابل قبول طراحی، داده‌های آزمایشگاهی ۶ ماهه به صورت نمودارهای آماری تهیه شده‌اند. شکل ۴ (الف) رسانایی الکتریکی، (ب) pH، (ج) آهن کل، (د) Cl_2 ، (ه) Ca^{2+} ، (و) HCO_3^- ، (ز) Cl^- ، (ح) TH گویای این موضوع است.

رسانایی الکتریکی اعمداً خارج از مقدار قابل پذیرش قرار دارد (شکل ۴ الف). pH اعمداً در بازه مورد پذیرش (۸/۵-۶/۵) قرار داشته است ولیکن در چند بازه زمانی کمتر از ۶/۵ (اسیدی) و بالاتر از ۸/۵ (قلیایی) قرار گرفته است (شکل ۴ ب).

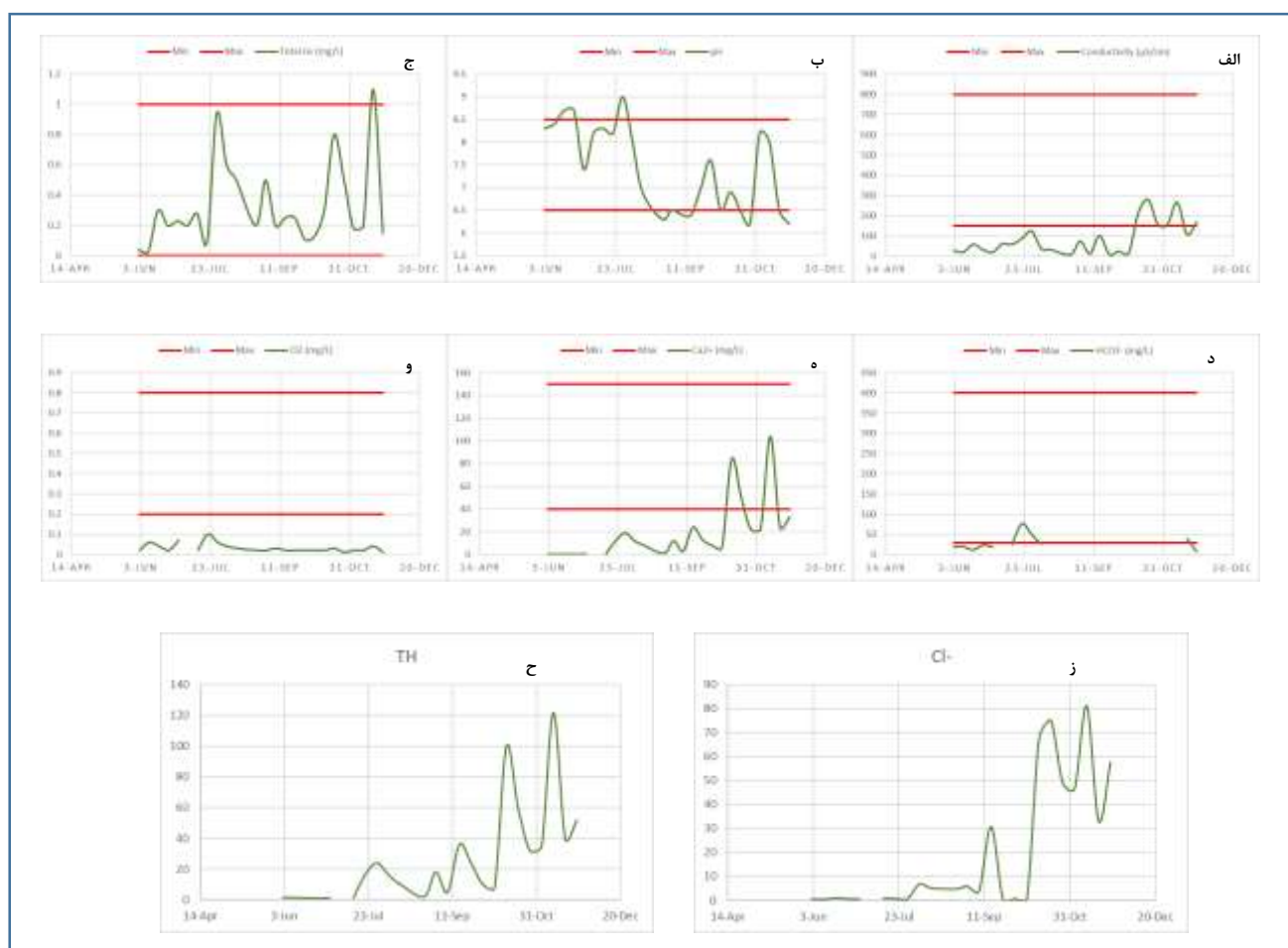
میزان آهن کل در محدوده قابل پذیرش قرار دارد (شکل ۴ ج). از میزان HCO_3^- به صورت منظم پایش نشده است و اطلاعات دقیقی از غلظت این یون در دوره ۶ ماهه مورد بررسی در دسترس نیست (شکل ۴ د). همچنین میزان Cl_2 کاملاً کمتر از میزان مورد پذیرش بوده است (شکل ۴ ه). طی ۶ ماه گذشته میزان Ca^{2+} تنها در طول سه هفته در محدوده قابل پذیرش بوده است (شکل ۴ و).

میزان یون Cl^- نیز از هیچ میزان و یا دامنه مشخصی در دوره ۶ ماهه مورد بررسی تبعیت نکرده است (شکل ۴ ز).

سختی آب (TH) قابل قبول در آب آشامیدنی معمولاً در بازه ۱۲۰ تا ۱۷۰ mg/L قرار دارد، اما نتایج نشان می‌دهد که در ۶ ماهه مورد بررسی سختی در دامنه مقادیر بسیار کمتر قرار داشته است (شکل ۴ ح).

جدول ۵ - نتایج آنالیز آب در سه نقطه

Analysis	Units	Spec.	Point 1	Point 2	Point 3
pH	-	6.5-8.5	6.2	7.7	8.4
Conductivity	$\mu\text{S/cm}$	150-800	167	152.2	161.9
HCO ₃ ⁻	mg/L	30- 400	8	-	-
Ca ²⁺	mg/L	40- 150	33	-	-
TH			52	-	-
Cl ⁻			57.7	-	-
Total Fe	mg/L	< 1.0	0.15	1.75	3.75
Cl ₂	mg/L	0.2-0.8	0.01	-	-
Temperature	° C	33° C maxi	30	28	29



شکل ۴ - مقادیر اندازه گیری شده در ۶ ماه اخیر در مقایسه با دامنه مورد پذیرش:

(الف) رسانایی الکتریکی، (ب) pH، (ج) آهن کل، (د) HCO₃⁻، (ه) Cl₂، (و) Ca²⁺، (ز) Cl⁻، (ح) TH

۳-۳- ارزیابی خاصیت رسوب گذاری و خوردگی آب

براساس آنالیز آب (که نتایج آن در جدول ۸ آمده است)، اندیس های لانتزیر و راینار محاسبه شدند. براساس نتایج بدست آمده در جدول ۶ آب مصرفی در وضعیت خورنده قرار دارد. در واقع ارزیابی آب مصرفی نشان می دهد چنانچه سطح داخلی لوله های توزیع آب عاری از هر گونه سیستم کنترل کننده خوردگی باشد، امکان وقوع واکنش های الکتروشیمیایی وجود داشته و به صورت پیوسته سطح فلز را به اکسیدها و هیدروکسیدهای فلزی تبدیل می کند.

۳-۴- ضخامت سنجی

از نقاط متعددی ضخامت سنجی صورت پذیرفت. جدول ۷ میانگین ضخامت های اندازه گیری شده در مقایسه با ضخامت اسمی را برای خطوط لوله ۳، ۴ و ۶ اینچی نشان می دهد. نرخ خوردگی بلند مدت^۱ در حدود ۰/۳ میلیمتر در سال گزارش می شود.

همچنین در زمان ساخت به جای لوله گالوانیزه از فولاد کربنی ساده استفاده گردیده است.

جدول ۶- وضعیت رسوب گذاری و خوردگی آب مصرفی پالایشگاه براساس آنالیز آب ارسالی

خورنده	خشی	رسوب گذار	
-1.9 (T = 25 °C) -1.7 (T= 40 °C)	-	-	LSI اندیس لانتزیر
10.4 (T = 25 °C) 9.6 (T = 25 °C)	-	-	RSI اندیس راینار

جدول ۷- داده های ضخامت سنجی

توضیحات	نرخ خوردگی (mm/y)	ضخامت اندازه گیری (mm)	ضخامت طراحی (mm)	جنس (ساخت)	جنس (کلاس طراحی)	مشخصات خط
عدم مطابقت Spec پالایشگاه با متریال کار شده در سایت	0.36	3.70	5.49	کربن استیل بدون پوشش گالوانیزه	لوله گالوانیزه (B19)	3" (4") DW-128-12806-B19-N Inlet Line 128-E-101
	0.31	3.91	5.49			3" (4") DW-128-12807-B19-N Recirculating Line to Tank
	0.36	4.20	6.02			4" DW-128-12805-19-N (Discharge lines 128-P-101 A&B)
	0.29	4.05	5.49			3" DW-128-12805-19-N (Drinking Water to Distribution)
	0.14	6.40	7.11			6" DW-128-12804-19-N (Suction lines 128-P-101 A&B)

نتیجه گیری

- بررسی نمونه های آب آشامیدنی و سطح داخلی لوله های توزیع آب آشامیدنی گویای وقوع واکنش های الکتروشیمیایی و تشکیل رسوبات خوردگی آهن می باشد که در نهایت منجر به تغییر رنگ آب شده است؛ لذا در همین خصوص به نتایج ذیل اشاره می شود:
- بازرسی چشمی و بررسی های میدانی نشان می دهد در سطح داخلی لاین های توزیع و انتقال آب، لایه ای ناپایدار از محصولات خوردگی آهن تشکیل شده که ماهیت آن شکننده و فاقد استحکام لازم است، بنابراین این رسوبات می توانند با جریان سیال همراه شده و موجب تغییر رنگ آب شوند.
 - رنگ محصولات خوردگی گویای تشکیل اکسیدها و هیدروکسیدهایی نظیر Fe_2O_3 ، Fe_3O_4 ، $\text{Fe}(\text{OH})_2$ ، $\text{Fe}(\text{OH})_3$ و... می باشد که با رنگ تعدادی از نمونه های آب نیز هم خوانی دارد.
 - نتایج آنالیز آب در دوره شش ماهه نشان می دهد ترکیب و خواص آب مصرفی خارج از محدوده قابل پذیرش می باشد. به گونه ای که ارزیابی رسوب گذاری و خوردگی آب مصرفی در اندیس های لائزلیر و رایزنار، خورنده بودن آن را تایید می کند.
 - به دلیل وجود اکسیژن غیر محلول، ایجاد حباب به دلیل تغییر ناگهانی فشار آب (پدیده کاویتاسیون)، طراحی نامناسب و عدم استفاده از متریال صحیح (استفاده از فولاد کربنی به جای فولاد گالوانیزه برخلاف دستورالعمل ساخت) رسوبات نیمه بالایی سطح داخلی کاهنده اسفنجی شده است. فعل و انفعالات ناشی از تشکیل رسوبات و ایجاد حباب ها تا جایی ادامه یافته است که منجر به تشکیل حفرات متعدد با اندازه های ۴-۱ mm در ساعت ۱۰ تا ۲ کاهنده شده اند.

مراجع

- [1] B. Christ, Corrosion control inside water-filled steel fire sprinkle piping, Journal of fire protection engineering, Vol.16, 2006, Pp. 105-130.
- [2] A. Baghbashi, M. Hamedian, M. Dinian Moghadam, Chemical protection of fire water pipes against corrosion in Bandar Imam Petrochemical Complex, 8th National Corrosion Congress of Iran, 2004.
- [3] A. Khaier, A. Quaid Amini, The Book of Corrosion for All, Eternal Forest Publications, 208.
- [4] Iranian National Standardization Organization/INSO 1952-1, "Protection of metallic materials against corrosion – Guidance on the assessment of corrosion likelihood in water distribution and storage systems - Part 1: General", First edition, 2016.
- [5] American Petroleum Institute/ API RP 571, "Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry" United States, Second Edition, April 2011.
- [6] R. Port, H. Herro, "Analyzing-Failures-of-Boilers-and-Cooling-Water-Systems", Nalco Chemical Company, McGraw-Hill, Inc., 1991.
- [7] L. Carpén, T. Ohlischäger, A Case Study on Corrosion of Stainless Steel in Firewater Mains Case Histories, VTT Technical Research Centre of Finland, Finland.
- [8] M. Flentje, Control of Red Water Due to Pipeline Corrosion, Journal AWWA Vol 53, Issue 12, 1961 Pp. 1461-1465.
- [9] F. N. Speller, V.V. Kendall, A New Method of Measuring Corrosion in Water, Ind. Eng. Chem. Vol. 15, No. 2, 1923, Pp 134-139.

