

بررسی علل تخریب لوله فولادی با جنس API 5L Gr.B حاوی بخار میعان‌ات گازی فشار پایین در یک واحد پالایش گاز

بنیامین پیری^{۱*}، حسام عابدی^۲، مهدی باقرزاده^۳، محمد حسین خواجه محمدی^۴

^{۱، ۲، ۳} کارشناس ارشد خوردگی، ^۴ رئیس بازرسی فنی، اداره بازرسی فنی پالایشگاه یازدهم پارس جنوبی، کنگان، ایران

* نویسنده مسئول: Benyamin.piri@outlook.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۳۱

چکیده

کیفیت بخار میعان‌ات گازی کم فشار^۱ که از جمله سیال‌های فرآیندی مهم در صنایع پالایش گاز محسوب می‌شود، در این پژوهش علل خوردگی لوله تخریب شده با جنس API 5L Gr.B حامل بخار میعان‌ات گازی کم فشار مربوط به یکی از واحدهای فرآیندی در یکی از پالایشگاه‌های گاز کشور مورد ارزیابی قرار گرفته است. برای این منظور ضمن بررسی اسناد فنی و از تکنیک‌های مختلف مشخصه‌یابی نظیر استریوگرافی، آنالیز اسپکترومتری نشری، میکروسکوپ نوری، میکروسکوپ الکترونی روبشی، آنالیز محصولات خوردگی به روش طیف سنجی پراش انرژی پرتو ایکس و سنجش اکسیژن محلول در سیال صورت گرفت، همچنین نتایج آنالیز مربوط به محصولات خوردگی باقیمانده بر روی سطح داخلی لوله و در داخل حفره‌های ایجاد شده، حضور اکسید آهن را نشان داد لذا در نهایت مشخص گردید لوله مورد بحث دچار خوردگی ناشی از اکسیژن شده است.

کلیدواژه: پالایشگاه گاز، بخار میعان‌ات گازی کم فشار، خوردگی اکسیژنی

¹ Low Pressure Steam Condensate

Failure Analysis of API 5L Gr.B Steel Pipe Containing Low Pressure Condensate Steam in a Gas Refining Unit

B. Piri^{1*}, H. Abedi², M. Bagherzadeh³, M. H. Khajemohammadi⁴

^{1,2,3} Senior Corrosion Expert, ⁴ Head of technical inspection, Corrosion Specialists of Technical Inspection Department of 11th Refinery of South Pars Gas Complex (SPGC), Kangan, Iran

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

Submission: 2023, 03, 21 **Acceptance:** 2023, 07, 22

Abstract

The quality of low-pressure condensate steam, which is one of the important process fluids in the gas refining industry, in addition to its effect on the continuity and quality of refinery products, can be effective on the health and mechanical integrity of equipment and piping systems. The presence of destructive elements such as oxygen and carbon dioxide in the consumed steam and selected steam leads to severe corrosion in the piping system and equipment made of carbon steel.

In this research, the causes of corrosion of the destroyed pipe with API 5L Gr.B material carrying low-pressure gas condensate steam related to one of the process units in one of Iran gas refineries have been evaluated. For this purpose, while reviewing technical documents and various characterization techniques such as stereography, spark emission spectrometry analysis, optical microscope, scanning electron microscope, analysis of corrosion products by X-ray fluorescence and measurement of dissolved oxygen in the fluid was carried out.

The appearance of the created corrosion is similar to the corrosion caused by oxygen. Also, the results of the analysis of the remaining corrosion products on the inner surface of the pipe and inside the created holes showed the presence of iron oxide. Therefore, it was finally determined that the pipe in question suffered from corrosion caused by oxygen.

Keywords: Gas refinery, low pressure gas condensate steam, oxygen corrosion

۱- مقدمه

براساس آمار جهانی هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم ناشی از پدیده خوردگی ۳ تا ۴ درصد هزینه تولیدات ناخالص مربوط به صنایع جهانی را در می‌گیرد. در سال ۲۰۲۰ میلادی رقمی معادل با ۲,۵۰۵ بلیون دلار تخمین زده می‌شود. علاوه بر این، صدمات جانی و عواقب زیست محیطی نیز جزو معضلات ایجاد شده ناشی از پدیده خوردگی می‌باشند [۱].

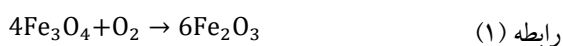
با عنایت به این مهم، کنترل و پایش خوردگی در صنایع مختلف به ویژه صنایع نفت، پالایش گاز و پتروشیمی ناگفته پیداست. عدم توجه کافی به خوردگی، علاوه بر آسیب به تجهیزات و سیستم‌های لوله کشی فولادی، باعث توقف در تولید مستمر آن واحد صنعتی می‌شود.

کیفیت بخار میعانات گازی کم فشار که از جمله سیال‌های فرآیندی مهم در صنایع پالایش گاز محسوب می‌شود، علاوه بر اثری که بر استمرار و کیفیت محصولات تولیدی پالایشگاه دارد، می‌تواند بر سلامت و یکپارچگی مکانیکی تجهیزات و سیستم لوله‌کشی مؤثر باشد. حضور عناصر مخربی مانند اکسیژن و دی اکسید کربن در بخار مصرفی و بخار معیان شده منجر به خوردگی‌های شدید در سیستم لوله کشی و تجهیزاتی که از جنس فولاد کربنی ساخته شده‌اند ایجاد می‌نماید [۲و۱].

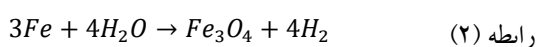
یکی از مکانیزم‌های اصلی وقوع تخریب در لوله‌های فولادی حاوی بخار میعانات گازی کم فشار، احتمال بروز خوردگی اکسیژنی با ظاهر حفره‌های پراکنده ناشی از وجود اکسیژن محلول است. به طوری که حد مجاز اکسیژن محلول برای جلوگیری از وقوع خوردگی اکسیژنی، کمتر از ۱۰ ppb^۱ و به تعبیر محافظه کارانه برخی از منابع به میزان کمتر از ۷ ppb بیان شده است [۳].

غلظت اکسیژن محلول در آب تأثیر فراوانی بر نرخ خوردگی دارد. حلالیت گاز اکسیژن در آب نیز به پارامترهای مختلفی وابسته است، از جمله: درجه حرارت، فشار، غلظت الکترولیت (ناخالصی‌ها و مواد محلول در آب) [۳]:

اکسیژن محلول نقش دوگانه‌ای دارد، از طرفی منجر به تسریع واکنش کاتدی شده که نتیجه آن افزایش سرعت خوردگی است. همچنین در غلظت‌های بالا اکسیژن و شرایط مساعد سبب ایجاد لایه روپین در سطح برخی فلزات می‌شود، که در این حالت خوردگی کاهشی محسوس یافته و به عنوان پلاریزه کننده آندی یا پسو شناخته می‌شود. اکسیژن حتی در مقادیر کم باعث خوردگی شدید می‌شود. غالباً اکسیژن حل شده سبب حفره‌دار شدن خواهد شد. اکسیژن محلول می‌تواند لایه محافظ مگنتیت (Fe₃O₄) را مطابق واکنش زیر از بین ببرد. [۴و۳].



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



فیلم محافظ اکسید مغناطیسی Fe₃O₄ مهمترین عامل بازدارندگی آهن در مقابل خوردگی می‌باشد. این فیلم بسیار نازک است، از چسبندگی و مقاومت خوبی برخوردار است که می‌تواند سالیان زیاد تحت مراقبت و بهره برداری خوب، پایدار بماند. هرگونه شکندگی در فیلم چه به صورت مکانیکی و یا شیمیایی می‌تواند سبب حل شدن آهن در آب شود. عوامل مهمی که می‌تواند 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 [۵-۳].

میزان انحلال اکسیژن با افزایش دما کاهش یافته و در نقطه جوش به حد صفر می‌رسد. 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

¹ Part Per Billions

۲- مواد و روش تحقیق

به منظور آنالیز تخریب نمونه مورد بحث در این پژوهش، بررسی‌ها و آزمایشات ذیل صورت گرفته است:

- بررسی مشخصات فنی خط لوله براساس استاندارد های پالایشگاه یازدهم
- بررسی استریوگرافی^۵ حفرهای ایجاد شده در سطح داخلی خط لوله
- آنالیز اسپکترومتری نشری^۶ (OES) جهت بررسی ترکیبات شیمیایی نمونه لوله تخریب شده
- آنالیز میکروسکوپ نوری^۷ (OM)
- آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی^۸ (SEM) جهت بررسی ریزساختار آلیاژی لوله
- آنالیز طیف سنجی پراش انرژی پرتو ایکس^۹ (EDX) برای تعیین آنالیز شیمیایی محصولات خوردگی و رسوبات تشکیل شده بر روی سطح داخلی لوله کاندانس برگشتی
- آنالیز پرتابل سنجش اکسیژن محلول^{۱۰} (DO meter) در سال های مختلف بهره برداری

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی مشخصات فنی

نمونه تخریب شده، لوله ۲ اینچ با جنس API 5L Gr.B و سیال آن بخار میعانات کم فشار می‌باشد. اطلاعات مربوط به جنس لوله و شرایط کاری آن در جدول ۱ ارائه شده است. شکل ۱ موقعیت لوله مورد نظر را در ایزومتریک و نمای سه بعدی نشان می‌دهد. این لوله در نمای سه بعدی با رنگ آبی مشخص شده است. همچنین محل دقیق تخریب نیز در این دو شکل علامت گذاری گریده است.

دمای ۱۰۰ درجه سانتی گراد کاهش یافته و سپس افزایش می‌یابد، حلالیت اکسیژن در دمای ۲۰۰ درجه سانتی گراد با مقدار مشابه آن در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد برابر است [۳]. جهت حذف اکسیژن از روش مکانیکی هوا زدایی^۱ استفاده می‌شود. جهت اطمینان از عدم نفوذ اکسیژن در سیستم‌ها از روش های حذف شیمیایی استفاده از اکسیژن زدا^۲ مورد توجه قرار گرفته است. از طرفی مواد شیمیایی می‌توانند واکنش های دیگری نیز با مواد استفاده شده در ساخت سیکل بخار داشته باشند. لذا شناخت کلیه واکنش های یک ماده شیمیایی از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است که در صورت عدم دقت کافی می‌تواند نتایج زیان باری را به دنبال داشته باشد. نکته دیگر این که انجام واکنش های شیمیایی، فشار عملیاتی سیکل از اهمیت بالایی برخوردار است. مواد شیمیایی در فشار و دمای معینی شکسته شده^۳ که در این صورت ماده مزبور توانایی واکنش با اکسیژن را نخواهد داشت. از طرفی ممکن است ماده جدید تولید شده بر اثر شکسته شدن مشکلات خوردگی را تشدید نماید و یا تاثیر خاصی در کنترل pH که یکی از مهمترین عوامل کنترل کننده خوردگی اسیدی است نماید. با انتخاب ماده اکسیژن زدای مناسب می‌توان میزان آب جبرانی^۴ سیستم را کاهش داده و علاوه بر کاهش دور ریز آب و آلودگی منابع در راستای کاهش هدر روی انرژی برنامه ریزی نمود [۶].

در این پژوهش علل خوردگی لوله تخریب شده با جنس API 5L Gr.B حامل بخار میعانات گازی کم فشار مربوط به یکی از واحدهای فرآیندی در یکی از پالایشگاه‌های گاز کشور مورد ارزیابی قرار گرفته است.

¹ Deaerator

² Oxygen scavenger

³ Decompose

⁴ Blow down

⁵ Stereographic

⁶ Optical emissions spectrometry

⁷ Optical microscopy analysis

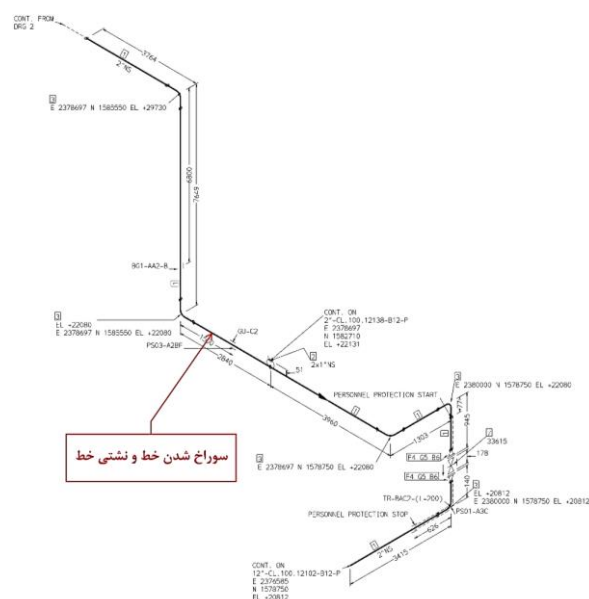
⁸ Scanning electron microscopy analysis

⁹ Energy-dispersive X-ray spectroscopy analysis

¹⁰ Portable dissolved oxygen (DO) meter analysis

جدول ۱ - اطلاعات طراحی و فرآیندی مربوط به لوله

سیال	بخار میعانات کم فشار (Low Pressure Steam Condensate)
جنس لوله	ASME B36.10M PSL 1 S-80 API 5L Gr.B SMLS
فشار کاری (bar)	3/1
فشار طراحی (bar)	8
دمای کاری (°C)	148
دمای طراحی (°C)	270



شکل ۱ - موقعیت لاین مورد نظر در ایزومتریک و نقشه سه بعدی

- در سطح خارجی اثری از خوردگی مشاهده نمی شود.

۳-۲ - بررسی استریوگرافی

در شکل ۴ نمای نزدیک حفره های ایجاد شده بر روی سطح داخلی نشان داده شده است که حفره هادارای لبه های تیز هستند که مشخصه اصلی حفره های ناشی از خوردگی اکسیژنی می باشد.

شکل های ۲ و ۳ سطح داخلی و خارجی نمونه لوله بریده شده جهت آنالیز تخریب و بررسی آزمایشگاهی را نشان می دهد. به طور کلی اولین نکات در خصوص تخریب حادث شده موارد ذیل می باشد:

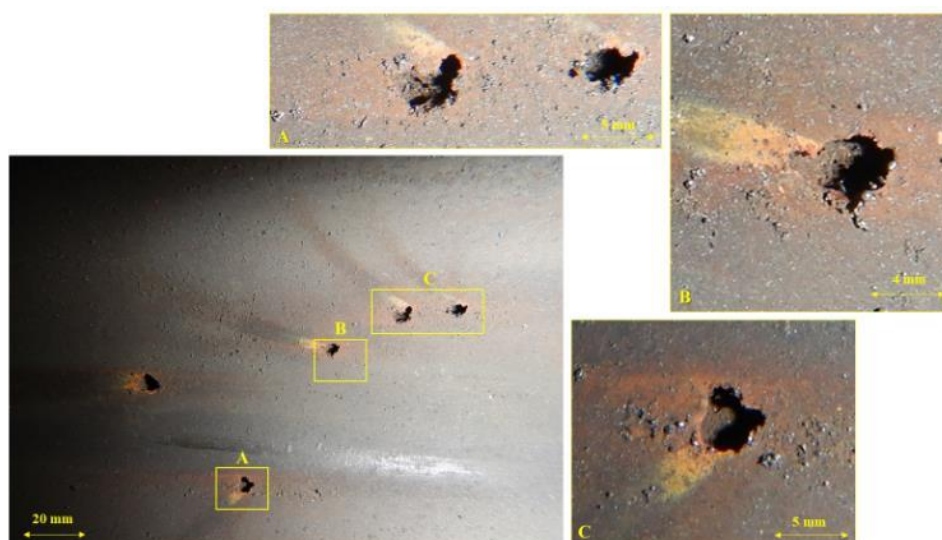
- حفرات پراکنده در سطح داخلی لوله با موقعیت ساعت گرد ۱۱ تا ۱ دهانه حداکثر ۵ میلیمتر مشاهده می شود.
- پوشش سطح داخلی با لایه ای نازک و سیاه رنگ پوشیده شده است.



شکل ۲ - سطح خارجی نمونه لوله



شکل ۳ - سطح داخلی نمونه لوله



شکل ۴ - سطح داخلی نمونه لوله و تشکیل حفره‌های عمیق با لبه‌های تیز (نمای نردبک)

است. ریزساختار نمونه شامل دانه‌های فریت و پرلیت می‌باشد. بررسی متالوگرافی نشان می‌دهد که ساختار آلیاژ بصورت فریتی-پرلیتی است و اثری از تغییرات ساختاری وجود ندارد. در شکل ۶ بخشی از مقطع یکی از حفره‌های ایجاد شده بر روی سطح داخلی لوله نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود رشد محصولات خوردگی و رخنه آن هابه داخل آلیاژ باعث جدایش بخش‌هایی از آلیاژ از فلز پایه شده است.

۳-۳- آنالیز اسپکترومتری نشری

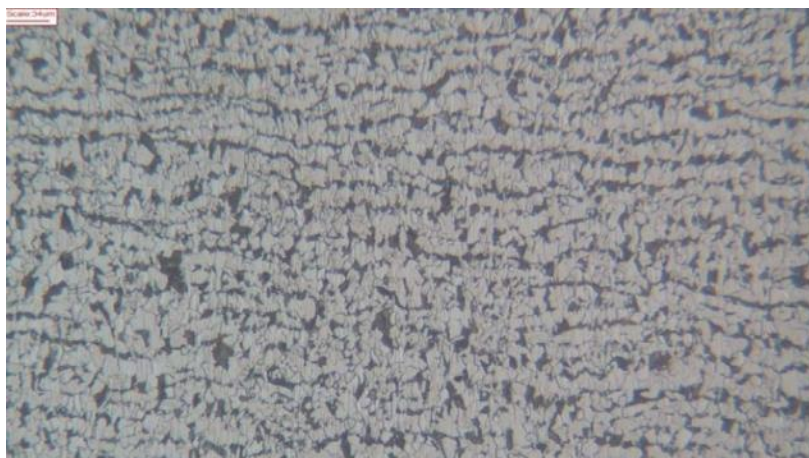
ترکیب شیمیایی آلیاژ نمونه لوله با استفاده از روش اسپکترومتری نشری (کوانتومتری) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از این بررسی در جدول ۲ ارائه شده است. با توجه به نتایج حاصل ترکیب شیمیایی آلیاژ لوله با استاندارد آن مطابقت دارد [۷].

۳-۴- آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی

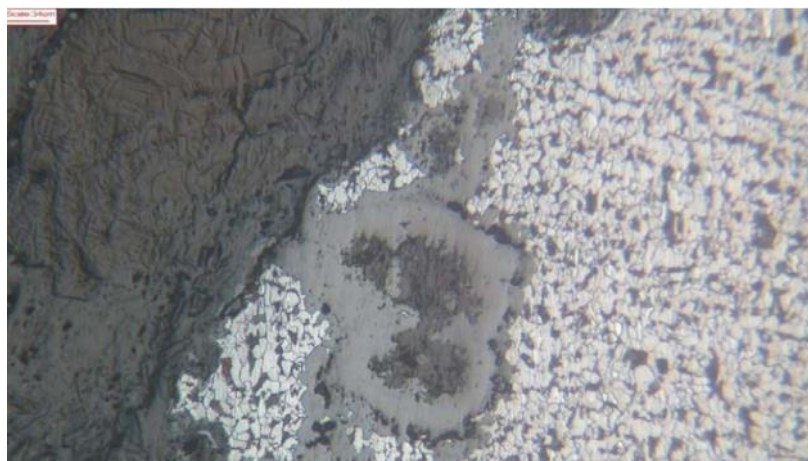
تصویر ریزساختار آلیاژ نمونه لوله در شکل ۵ نشان داده شده

جدول ۲ - نتایج آنالیز لوله و مقایسه آن با استاندارد API 5L Gr.B [۷]

Fe	Ti	Nb	V	S	P	Mn	C	%Wt
Base	Trace	0.014	0.002	0.007	0.016	1.06	0.18	Sample
Rem	$Nb + V \leq 0.06\%$ $Nb + V + Ti \leq 0.15\%$			0.030 Max	0.030 Max	1.2 Max	0.28 Max	API 5L Gr.B



شکل ۵ - ریزساختار آلیاژ لوله (بزرگنمایی 200X)

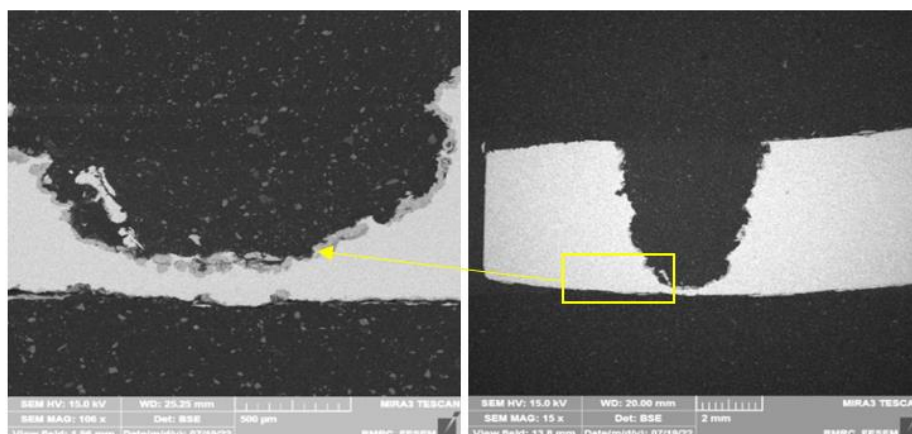


شکل ۶ - نفوذ محصولات خوردگی به داخل آلیاژ و جدایش بخشی از آلیاژ از قسمت جداره (200X)

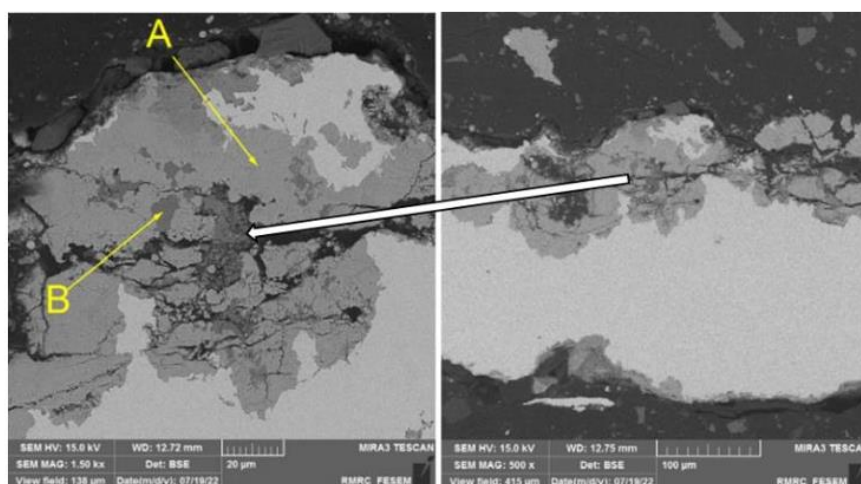
۳-۵ - آنالیز طیف سنجی پراش انرژی پرتو ایکس

برای تعیین آنالیز شیمیایی محصولات خوردگی و رسوبات تشکیل شده بر روی سطح داخلی لوله کاندانس برگشتی، از آنالیزر EDS میکروسکوپ الکترونی (SEM) استفاده شده است. تصویر مقطع نمونه بررسی شده در شکل ۷ سمت راست و در شکل ۷ سمت چپ قسمت انتهایی حفره در بزرگنمایی بیشتر نشان داده شده است. حضور یک لایه

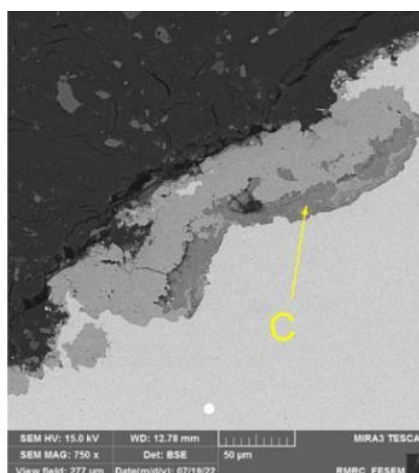
خاکستری رنگ بر روی سطح داخل حفره قابل مشاهده می‌باشد. ترکیب شیمیایی قسمت‌هایی از این لایه خاکستری رنگ مورد بررسی قرار گرفت. تصویر نقاط بررسی شده، در شکل‌های ۸ و ۹ نشان داده شده است. تصاویر طیف حاصل از آنالیز EDS نقاط بررسی شده در شکل ۱۰ و نتایج آنالیز شیمیایی انجام گرفته در جدول ۳ ارائه شده است.



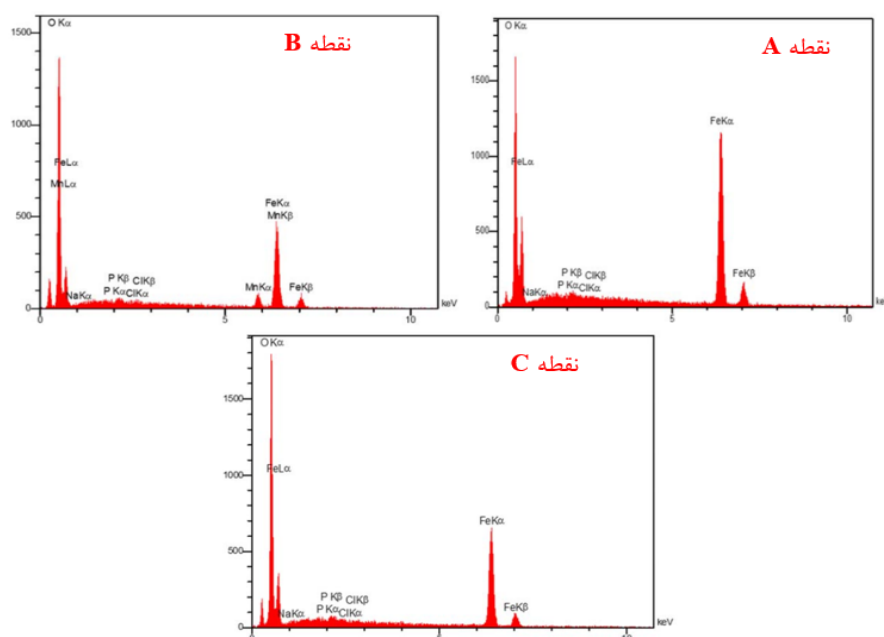
شکل ۷ - سمت راست: مقطع یکی از حفره های ایجاد شده در سطح داخلی لوله (15X).
 سمت چپ: مقطع انتهای حفره نشان داده شده در شکل مجاور (106X).



شکل ۸ - بخشی از انتهای حفره و رخنه محصولات خوردگی به داخل آلیاژ



شکل ۹ - تصویر محل انجام آنالیز شیمیایی لایه های تشکیل شده درون حفره



شکل ۱۰ - طیف آنالیز شیمیایی انجام شده بوسیله روش EDS بر روی نقاط A، B و C

جدول ۳ - Wt% عناصر موجود در نقاط بررسی شده مربوط به نمونه لوله بر اساس نتایج EDS

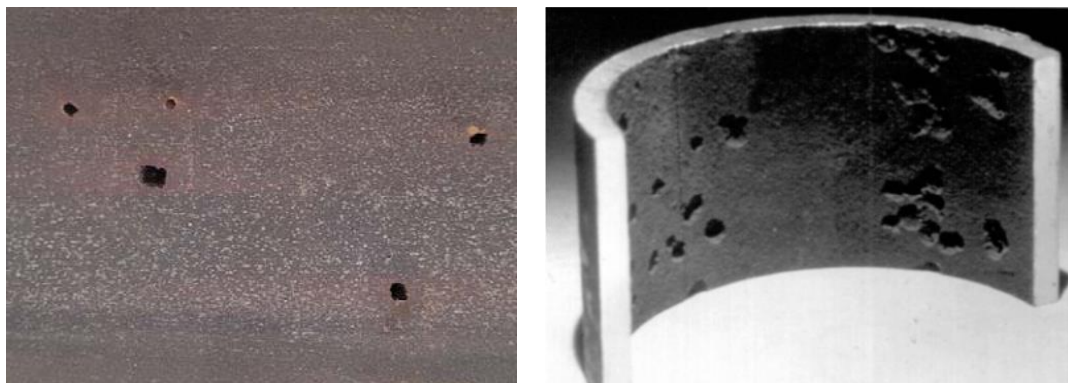
Elements	A (Wt%)	B (Wt%)	C (Wt%)
O	34.9	49.5	49.2
Na	0	0.1	0.3
P	0.1	0.5	0.2
Cl	0.2	0.3	0.1
Mn	-	5.1	-
Fe	64.8	44.5	50.1

محصولات خوردگی باقیمانده بر روی سطح داخلی لوله و در داخل حفره‌های ایجاد شده، حضور اکسید آهن را نشان داد. لذا به نظر می‌رسد لوله مورد بحث با تگ دچار خوردگی ناشی از اکسیژن شده است.

در شکل ۱۱ حفره‌های ایجاد شده در سطح داخلی لوله یک بوئیلر که در اثر خوردگی ناشی از اکسیژن ایجاد شده است [۷] را در مقایسه با نمونه تخریب شده مورد بحث نشان می‌دهد.

نتایج حاصل از آنالیز شیمیایی محصولات خوردگی تشکیل شده بر روی سطح داخلی لوله، حضور اکسید آهن را بر روی سطح آلیاژ و در داخل حفره، نشان می‌دهد. بعلاوه مقدار عناصر فسفر و سدیم در محصولات خوردگی تشکیل شده بسیار کم می‌باشد.

شکل ظاهری خوردگی ایجاد شده مشابه خوردگی ناشی از اکسیژن می‌باشد. همچنین نتایج آنالیز EDS مربوط به



شکل ۱۱ - حفره های ناشی از خوردگی اکسیژنی در نمونه مشابه و مقایسه با نمونه خوردگی حادث شده. سمت راست: حفره های اکسیژنی ایجاد شده در نمونه مشابه در منابع [۶]؛ و سمت چپ: حفره های اکسیژنی ایجاد شده در نمونه مورد بحث در این مقاله.

اصلی حفره های ناشی از خوردگی اکسیژنی می باشد. نتایج حاصل از آنالیز شیمیایی محصولات خوردگی تشکیل شده بر روی سطح داخلی لوله، حضور اکسید آهن را بر روی سطح آلیاژ و در داخل حفره، نشان می دهد.

۳-۶- بررسی وضعیت کوپن پایش خوردگی

در مسیر لوله فرایندی مورد بحث (بخار میعانات کم فشار) کوپن خوردگی از نوع دیسکی با جنس SA1018 در ساعتگرد ۶ نصب شده است. در هر دوره تعویض کوپن خوردگی، با محاسبه وزن آن و در نظر گرفتن مدت زمان قرارگیری در سرویس، نرخ خوردگی براساس کاهش وزن محاسبه می گردد. جدول ۴ نرخ خوردگی برحسب mpy برای کوپن مذکور را در سال های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۱ نشان می دهد. توجه شود که تخریب مورد بحث نیز در سال ۱۴۰۱ رقم خورده است. تفسیر میزان خوردگی فولاد کربنی براساس استاندارد NACE MR 0775 در سرویس های نفت و گاز در جدول ۵ نشان داده شده است و براساس آن نرخ خوردگی محاسبه شده در محدوده Moderate قرار می گیرد [۸].

با توجه به شکل ظاهری کوپن های پایش خوردگی (شکل ۱۲)، وجود خوردگی به صورت موضعی بر روی کوپن ها مشهود می باشد.

خوردگی اکسیژنی با ظاهر حفره های تیز و با وجود اکسیژن بیش از حد در آب رخ می دهد. این آسیب می تواند در اثر نفوذ هوا در پمپ ها هنگام سرویس آن و یا عملکرد نامناسب تجهیزات در مسیر آب تا پیش از بویلر رخ دهد. در صورت عدم رعایت مناسب دستورالعمل های نگهداری، ممکن است این مساله در دوره های طولانی خارج از سرویس بودن نیز رخ دهد. سطوح مرطوب در معرض خوردگی اکسیژنی هستند زیرا آب با آهن واکنش نشان می دهد تا اکسید آهن را تشکیل دهد [۶].

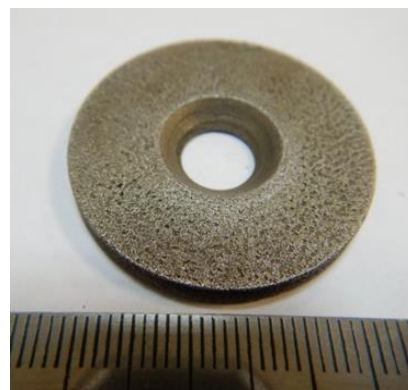
زمانی که لوله هادر سرویس نیستند، سطوح آب گرفته یا غیر قابل تخلیه، مانند تیوب کویل های سوپر هیتز یا لوله های شکم داده به سمت پایین در سوپر هیتز و سایر خطوط تأمین، بیشترین حساسیت را دارند. همچنین، در صورت استفاده از آب هوازایی نشده برای راه اندازی و یا برای خنک سازی سریع بویلر، این مساله ممکن است روی دهد. در هنگام فعالیت بویلر، این پدیده بیشتر در مراحل گرمایش اولیه آب و اکونومایزر روی می دهد. به طور خاص در مورد بویلرها، رعایت دستورالعمل های مناسب نگهداری در هنگام خاموشی بویلر و بهبود روشهای کنترل اکسیژن در هنگام راه اندازی و فعالیت بویلر می تواند از بروز این پدیده جلوگیری نماید [۶]. بررسی ماکروسکوپی حفره های ایجاد شده بر روی سطح داخلی، حفره های لبه های تیز را نشان می دهد که مشخصه

جدول ۴ - نرخ خوردگی کوپن پایش خوردگی

نرخ خوردگی کوپن در سال ۱۳۹۹	نرخ خوردگی کوپن در سال ۱۴۰۱
3/54 mpy	2/31 mpy

جدول ۵ - تفسیر میزان خوردگی [۸]

Status	Average Corrosion rate (mpy)	Maximum Pitting rate (mpy)
Low	<1	5<
Moderate	1-4.9	5-7.9
High	5-10	8-15
Severe	>10	>15

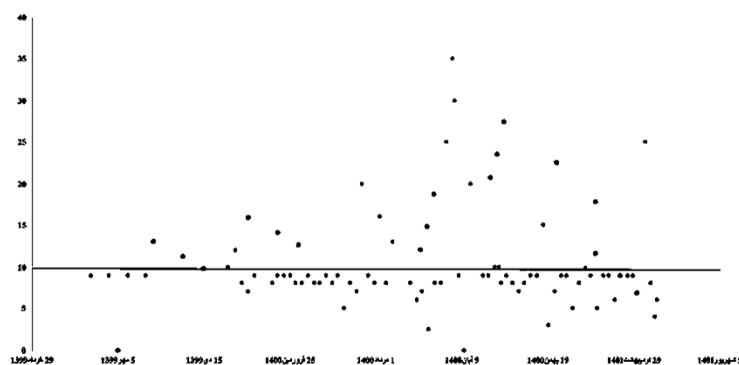


شکل ۱۲ - شکل ظاهری کوپن های پایش خوردگی

۳-۲ - آنالیز پرتابل سنجش اکسیژن محلول

۱۰ ppb است که با نشان قرمز رنگ مشخص شده است. پراکندگی اعداد خوانده شده نشان می دهد که میزان اکسیژن محلول بالاتر از حد مجاز می باشد.

شکل ۱۳ داده های بدست آمده مربوط به مقدار اکسیژن حل شده (برحسب ppb) در طی دو سال را نشان می دهد. میزان بهینه جهت حذف مشکلات ناشی از وجود اکسیژن محلول،



شکل ۱۳ - میزان اکسیژن محلول در جریان فرایندی مورد بحث

نتیجه گیری

جهت بررسی علل خوردگی، بررسی های ماکروسکوپی، میکروسکوپی نوری و الکترونی و آنالیز محصولات خوردگی بوسیله تکنیک EDS، بررسی کوپن های پایش خوردگی و داده های آزمایشگاهی بر روی نمونه لوله تخریب شده انجام گرفت. شکل ظاهری خوردگی ایجاد شده مشابه خوردگی ناشی از اکسیژن می باشد. همچنین نتایج آنالیز EDS مربوط به محصولات خوردگی باقیمانده بر روی سطح داخلی لوله و در داخل حفره های ایجاد شده، حضور اکسید آهن را نشان داد. لذا به نظر می رسد لوله فوق دچار خوردگی ناشی از اکسیژن شده است.

پیشنهادهای

- کنترل و در صورت نیاز اصلاح و یا تعویض عملکرد تجهیزات اکسیژن زدا و همچنین مواد اکسیژن زدای مصرفی
- در صورت امکان نصب و بهره برداری از ابزارهای برخط اندازه گیری اکسیژن موجود در آب کندانس
- اطمینان از عملیاتی بودن و کارکرد مناسب سامانه تزریق نیتروژن^۱ مخازن ذخیره و آب بند پمپ هابه منظور جلوگیری از نفوذ اکسیژن به سیستم
- تزریق مواد شیمیایی و پایش اثر بخشی آن مطابق با مشخصه فنی
- انجام آنالیز آزمایشگاهی آب مطابق با برنامه تدوینی آزمایشگاه حسب جدول زمان بندی و منطبق با معیارهای پذیرش و مشخصه فنی تجهیز

مراجع

- [۱] بنیامین پیری، "خوردگی و تبعات صنعتی و اقتصادی آن"، روزنامه شرق، پنجشنبه ۹ بهمن ۱۳۹۹، شماره ۳۹۲۷.
- [2] P. Haribhakti, P.B. Joshi, R. Kumar, " Failure Investigation of Boiler Tubes: A Comprehensive Approach", ASM International, 2018.
- [3] The NALCO guide to boiler failure analysis. McGraw-Hill Publication; 2011.
- [4] Daneshvar-Fatah, F., Mostafaei, A., Hosseinzadeh-Taghani, R., and Nasirpour, F., Eng. Failure Anal., 2013, vol. 28, p. 69.
- [5] M.R. Khajavi, , A.R. Abdolmaleki, N. Adibi, , and S. Mirfendereski, , Eng. Failure Analysis, 2007, vol. 14, Pp. 731.
- [6] American Petroleum Institute/ API RP 571, "Damage Mechanisms Affecting Fixed Equipment in the Refining Industry" United States, Second Edition, April 2011.
- [7] API 5L – Specification for Line Pp, 2013.
- [8] NACE SP0775 "Preparation, Installation, Analysis, and Interpretation of Corrosion Coupons in Oilfield Operations", 2018.

¹ Nitrogen Blanketing

