



بررسی رفتار خوردگی هادی ها و یراق آلات در مناطق نفتخیز گچساران و ارائه روشهای مناسب جهت کاهش آن

داور رضاخانی^۱ - فاطمه خبازی پور^۲

۱- پژوهشگاه نیرو - ۲- شرکت برق منطقه ای خوزستان

واژه کلیدی: خوردگی - هادی - یراق - مس - پوشش

مقدمه

در منطقه نفتخیز گچساران، چاههای نفت و گازهایی که در حین استخراج نفت متصاعد می گردند و یا سوزانده می شوند، موجب آلوده نمودن اتمسفر منطقه می گردند چرا که این گازها حاوی آلاینده هایی چون سولفید هیدروژن، دی اکسید گوگرد و سایر گازهای خورنده می باشند. حضور گازهای خورنده در اتمسفر باعث خوردگی و فرسودگی شدید تجهیزات شبکه توزیع گردیده است و این معضل در هادیهای مسی توزیع برق بمراتب ملموس تر و شدید تر است بطوریکه در اکثر مناطق، هادیهای برق در اثر خوردگی پاره شده و باعث قطعی برق گردیده است. شدت آثار خوردگی به حدی است که طبق گزارش کارشناسان ناحیه، طول عمر آنها بسیار محدود و حدود دو تا سه سال می باشد و همین مسئله باعث صرف خسارات مالی زیادی به شبکه توزیع برق شده است.

روش تحقیق

در این مقاله ابتدا رفتار خوردگی هادیها و یراق آلات شبکه توزیع برق مناطق نفتخیز گچساران با انجام آزمایشهای مختلف ریز ساختاری، آنالیز شیمیایی، آنالیز هوا از نقطه نظر

چکیده

تجهیزات شبکه توزیع مناطق نفت خیز گچساران در جنوب ایران در معرض خوردگی ناشی از ترکیبات گوگردار موجود در محیط می باشند. در این مقاله ابتدا با انجام آزمایشهای مختلف شامل آنالیز آلاینده های هوا و بررسی های ریزساختاری، مکانیزمهای خوردگی هادیها و یراق آلات شناسایی گردیدند. سپس با بکارگیری روشهای مختلف جلوگیری از خوردگی و انجام آزمایشهای مختلف رفتار خوردگی نمونه ها در شرایط شبیه سازی شده مورد مطالعه قرار گرفتند. سرانجام روشهای مناسب پیشگیری از خوردگی تعیین گردیدند. بررسیها نشان داد حضور SO_x موجب خوردگی میشود و اعمال پوشش قلع بطریقه آبکاری و غوطه وری گرم، استفاده از روکش XLPE و جایگزینی هادیهای آلومینیومی به جای هادیهای مسی روشهای بهینه برای کاهش خوردگی هادیهای مسی، اعمال پوشش قلع بطریقه آبکاری یراق آلات مسی مناسب ترین روش بهینه برای کاهش خوردگی این تجهیزات و در نهایت اعمال پوشش گالوانیزه گرم مناسبترین گزینه جهت کاهش خوردگی یراق آلات پایه آهنی می باشد.

نوع آلودگی ها و عوامل خورنده موجود در هوا، گرد و غبار معلق در هوا و ... مورد بررسی قرار گرفته است.

جهت تعیین مکانیزمهای غالب خوردگی نمونه هایی از تجهیزات تهیه گردید. پس از شستشوی آنها با آب مقطر، برش خورده و به ابعاد کوچکتر بریده شدند. پس از مانع کردن نمونه ها سطح مقطع آنها با کاغذ سمبادهای SiC از شماره ۲۰۰ تا ۴۰۰ سمباده زده شده و سپس با استفاده از خمیر آلومینای ۶μm پولیش شده و اچ گردیدند. قطعات مانع شده تحت بررسی ریزساختاری و بررسی بوسیله میکروسکوپ نوری و الکترونی قرار گرفتند. محصولات خوردگی تشکیل شده بر روی سطح نمونه ها به کمک روش XRD آنالیز گردیدند تا ترکیبات موجود در آنها شناسایی شود. محصولات تشکیل شده بر روی سطح نمونه ها و همچنین خود نمونه به کمک دستگاه EDAX نصب شده بر روی میکروسکوپ الکترونی آنالیز گردیدند. پس از بررسی رفتار خوردگی و تعیین مکانیزم خوردگی، پوششهای مناسب جهت جلوگیری از خوردگی این تجهیزات، انتخاب و بر روی نمونه ها اعمال گردیدند. همچنین نمونه هایی از هادیهای آلومینیومی جهت بررسی رفتار خوردگی آن و مقایسه با هادیهای مسی تهیه گردید. در ادامه با انجام آزمایشهای شتاب یافته و شبیه سازی شده در آزمایشگاه، روشهای مناسب جهت جلوگیری از خوردگی این تجهیزات تعیین گردید. از آنجائیکه گاز دی اکسید گوگرد ناشی از استخراج چاه های نفت و سوزاندن آن موجب خوردگی تجهیزات شده بود لذا از آزمون دی اکسید گوگرد در اتمسفر اشباع از رطوبت طبق ASTM G 87 استفاده گردید. از جمله تجهیزات مورد نیاز برای این آزمون عبارتند از اتاقک آزمون با ظرفیت داخلی ۳۰۰ لیتر، مخزن دی اکسید گوگرد با ابزار اندازه گیری، تجهیزات حرارت دادن و ابزار مناسب کنترل. برای انجام آزمایش در ابتدا 2 ± 0.2 L آب مقطر به محفظه وارد شد. بعد از قرار دادن نمونه ها و بستن در محفظه دی اکسید گوگرد به میزان ۰.۲L به درون آن تزریق گردید. آزمون در دمای $40 \pm 3^{\circ}\text{C}$ و فشار یک اتمسفر و به صورت ۶ چرخه ۲۴ ساعته پیوسته انجام گرفت. در این آزمایش نمونه در محفظه قرار گرفتند. از هر کدام از این نمونه ها هجده نمونه تهیه شد که در پایان هر چرخه سه عدد از آنها مورد بررسی قرار گرفتند. شکل ۱ تصویر محفظه آزمایش را نشان می دهد. نمونه ها پس از خروج از محفظه ابتدا در اتمسفر محیط خشک شدند و سطح نمونه ها به وسیله میکروسکوپ نوری و الکترونی مورد بررسی قرار گرفت و به کمک روش EDX

محصولات خوردگی تشکیل شده بر روی سطح نمونه ها آنالیز شدند و در نهایت روشهای بهینه کاهش خوردگی هادیهای مسی تعیین گردیدند.

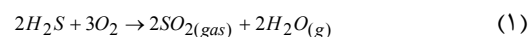
نتایج و بحث

گازها در حین استخراج حاوی آلاینده هایی چون سولفید هیدروژن می باشند و در اثر سوزاندن به SOx تبدیل می گردند. در اثر رطوبت و بارندگی در منطقه فیلم آبی بر روی سطوح فلزات تشکیل می گردد و این فیلم می تواند سبب خوردگی آنها شود. حضور گازهای آلاینده مانند H₂S و SO₂ سبب کاهش pH فیلم رطوبت تشکیل شده بر روی سطح می شود. در این حالت خوردگی اتمسفری بر روی سطح فلزات تشدید می گردد. بر اساس نمونه برداری انجام گرفته از اتمسفر منطقه، هوای منطقه آلوده بوده و دارای ترکیباتی حاوی سدیم، پتاسیم، کلسیم و گوگرد می باشد. بطوریکه در یکی از آنالیزها میزان $0.65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ سدیم، $0.21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ پتاسیم، $29.85 \mu\text{g}/\text{m}^3$ کلسیم و $0.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ گوگرد گزارش گردیده است. ترکیب گاز گوگرد دار فقط SO₂ در اتمسفر منطقه آنالیز گردید و میزان این ترکیب در اتمسفر منطقه از ۴ تا ۳۰ ppm متغیر بود. میانگین دمای هوای شهرستان گچساران در یک دوره ۱۲ ساله بر طبق داده های هواشناسی ۲۲ درجه سانتی گراد می باشد متوسط رطوبت هوا در شهرستان گچساران در دوره ۱۲ ساله، ۴۲/۱۳ درصد گزارش گردیده است.

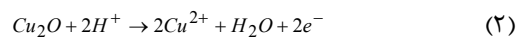
زنگار تشکیل شده بر روی نمونه هادی مسی تهیه شده از منطقه گچساران در شکل ۲ قابل مشاهده هستند. شکل ۳ آنالیز XRD انجام شده بر روی محصولات خوردگی روی سطح هادی و طیف XRD به دست آمده از این آنالیز ها را نشان می دهد. شکل ۴ آنالیز EDS نواحی لایه سبز رنگ و سیاه رنگ بر روی سطح هادی مسی را نشان می دهند. گوگرد در محصولات خوردگی قابل مشاهده است. لایه اول زنگاری که بر روی مس تشکیل می شود اساساً از اکسیدهای مس و غالباً از کوپرایت تشکیل می شود [۱]. ضخامت این لایه معمولاً بین ۵ تا ۱۵ میکرون تغییر می کند. لایه دوم به وجود آمده، متخلخل است و از نمک های بازی مس مانند بروکانتایت (سولفات بازی مس) تشکیل می شود، ضخامت این لایه غالباً در محدوده ۵ تا ۴۰ میکرون قرار دارد [۲]. شکل ۵-الف تصاویر محصولات خوردگی تشکیل شده بر روی سطح یراق پایه مسی را نشان می دهد. آنالیز محصولات خوردگی تشکیل

شده بر روی سطح این نمونه در شکل ۵-ب آورده شده است. این آنالیز حضور مس، آلومینیوم و گوگرد را نشان می دهد. در محصولات خوردگی تشکیل شده بر روی سطح مس، وجود گوگرد در آنالیز EDS و حضور بروکانتایت در آنالیز XRD مشخص گردید. لایه سبز رنگ از بروکانتایت تشکیل شده است که بر اثر واکنشهای بعدی اکسید مس (کوپرایت) با آلایندههای محیطی از جمله ترکیبات گوگردار مانند SO₂، یونهای کلر و... تشکیل می شود. ترکیب این لایه سبز رنگ می تواند با تغییر نوع اتمسفر محیط، تغییر کند.

گاز SO₂ موجود در اتمسفر مناطق آلوده، با اکسیژن اتمسفر واکنش می دهد و پس از تبدیل به SO₃ در آب باران یا لایه های آب جذب شده بر روی سطح به H₂SO₄ تبدیل می شود. از سوی دیگر سوختن H₂S حاصل از چاه های گاز منطقه گچساران می تواند سبب تشکیل SO₂ از طریق رابطه زیر شود [۳-۴]:



پس از تشکیل لایه کوپرایت (اکسید مس II) بر روی سطح، لایه آب با سطح کوپرایت در تماس خواهد بود. واکنشهای بعدی از طریق رابطه (۲) اتفاق می افتد:



مکانیزم سینتیک خوردگی مس در دو مرحله پیش می رود:



واکنش بین Cu⁺ و Cu²⁺ کنترل کننده سرعت است و Cu⁺ در تعادل برگشت پذیر بر روی سطح وجود خواهد داشت. اکسیداسیون کوپرایت در شرایط اتمسفری آهسته تر از مس است، زیرا در غیر این صورت لایه میانی کوپرایت بر روی سطح دیده نمی شد [۵-۷].

بر روی هادیهای که دچار شکست شده اند، حفراتی دیده شدند که عرض دهانه آنها بیشتر از عمق آنها بود. خطرناک ترین آسیب خوردگی، خوردگی موضعی و حفره دار شدن می باشد، زیرا حفره به وجود آمده ظرفیت تحمل بار را کاهش داده و سبب بالا رفتن تمرکز تنش می شود. به دلیل فاکتورهای متالورژیکی و محیطی که کاملاً شناخته شده نیستند، سطح های خورده شده تمایلی برای غیر یکنواختی نشان می دهند. حفره دار شدن به دلیل ناهمگنی در فلز یا محیط می تواند رخ دهد. از سوی دیگر وجود ذرات خاک یا آلودگی های دیگر جذب فیلم آب بر روی سطح را تسهیل می کنند و میزان آب جذب شده در این نواحی بیشتر خواهد بود.

این گونه آلودگی ها می توانند آب را در خود نگه دارند. ممکن است بتوان فرض کرد که حفرات در نواحی ایجاد شده اند که به دلیل تجمع ذرات خاک و گرد و غبار و دیگر آلودگی ها میزان رطوبت بیشتری بر روی سطح وجود داشته است و واکنش های خوردگی در آن مناطق سریع تر پیشرفت کرده اند. سسطح این حفرات نیز مانند بقیه قسمت های سطح با لایه سیاه رنگ اکسید مس و بعضاً لایه سبز رنگ بروکانتایت پوشیده شده است. سطح مقطع یکی از هادیهای مسی خطوط توزیع برق منطقه گچساران که دچار شکست شده است، در شکل ۶ نشان داده شده است. شکست این سیم در ناحیه حفره دار شده اتفاق افتاده است. هر چند که به نظر می رسد که سطح مقطع به دلیل در معرض اتمسفر قرار داشتن اکسید شده است. با این وجود در این شکل دو ناحیه قابل تشخیص هستند، یکی ناحیه ای که بر روی آن خطوطی موازی دیده می شوند و در وسط و لبه سیم قرار گرفته است و دیگری نواحی که به اصطلاح دارای پستی و بلندی می باشند و از محصولات خوردگی پوشیده اند.

اکسید شدن سطح مقطع شکست، تعیین نوع شکست را مشکل کرده است، اما با این وجود می توان احتمال داد که عامل اصلی شکست کاهش سطح مقطع سیم ناشی از به وجود آمدن حفره بر روی سطح آن باشد. در این حالت با کم شدن سطح مقطع سیم توانایی سیم جهت تحمل بارهای وارده ناشی از وزن سیم و همچنین نیروهای ناشی از وزش باد به شدت کاهش می یابد و در نهایت سیم دچار شکست می شود. به وجود آمدن حفره بر روی سطح سیم و کاهش سطح مقطع آن باعث می شود تا تمرکز تنش در آن ناحیه از سیم بالا رفته و به شکل موضعی تنش ناشی از نیروی وزن سیم ها از تنش تسلیم ماده بیشتر خواهد شد. همچنین وجود حفره تمایل به شکست ترد را به دلیل به وجود آمدن حالت سه محوری تنش کششی تسهیل می کند. تنش واقعی که در نواحی بدون حفره سیم به وجود می آید، بسیار کمتر از تنش است که در ناحیه حفره دار شده وجود دارد. بنابراین در حالی که قسمت حفره دار شده به دلیل تنش بالاتر از تنش تسلیم تمایل به تغییر شکل مومسان دارد، سایر نواحی سیم در منطقه تغییر شکل کشسان قرار داشته و تغییر شکل مومسان ناحیه حفره دار شده را محدود می کنند. در مقایسه با قسمت های بدون حفره سیم، نواحی حفره دار شده برای شکست به نیروی کمتری احتیاج دارند، به این ترتیب شکست پیش بینی نشده به دلیل وجود حفره در این مناطق اتفاق می افتد.

به طور کلی یراق آلات پایه مسی در محیط اتمسفری با آهنگی مشابه هادی مسی خورده می شوند. بر روی سطح این آلیاژها در ابتدا لایه ای قهوه ای رنگ از اکسید مس تشکیل می گردد که با گذشت زمان تیره تر شده و در نهایت به رنگ سیاه در می آید. زنگار به وجود آمده بر روی سطح یراق آلات پایه مسی شامل اکسیدهای مس و نمک های بازی سولفات مس خواهد بود. مهمترین اثر خوردگی اتمسفری در منطقه گچساران بر روی یراق آلات مسی خوردگی عمومی و تشکیل زنگار بر روی سطح آنهاست.

شکل ۷ تصاویر ریز ساختار یراق فولادی را که به کمک میکروسکوپ SEM تهیه شده است، پوشش روی در شکل ۷ مشخص است. جدول ۱ آنالیز EDS ناحیه های مشخص شده در شکل ۷ (از شماره ۱ تا ۴) را نشان می دهد. میانگین ضخامت لایه روی گالوانیزه شده برای ۱۰ بار اندازه گیری در قسمتهای مختلف نمونه ۳۸ میکرون است. این تصویر نشان می دهد که پوشش گالوانیزه مقاومت خوبی در برابر خوردگی در مدت بهره برداری یراق داشته است. خوردگی اتمسفری روی نیز مانند فلزات دیگر در اولین مرحله منجر به تشکیل اکسید و سپس هیدروکسید روی می شود. پس از آن هیدروکسید روی در تعادل با دی اکسید کربن که همیشه در اتمسفر موجود است، به کربنات بازی روی تبدیل می گردد. فیلم کربنات روی به وجود آمده در محیط آبی نامحلول است و تا حدی سبب حفاظت از خوردگی می گردد در منطقه گچساران حضور ترکیبات گوگردی در اتمسفر و انحلال آنها در آب باران یا فیلم های نازک آبی که بر روی سطوح فولاد گالوانیزه تشکیل می شوند، سبب کاهش pH آب می شود. در این حالت کربنات بازی نامحلول به سولفات محلول روی تبدیل می شود و از روی سطح شسته می شود اثر حفاظت کنندگی کاهش خواهد داشت.

بهترین روش برای جلوگیری از خوردگی هادیهای مسی اعمال پوشش مناسب بر روی آنها و یا جایگزینی آن با هادیهای آلومینیومی می باشد. روشهای انتخاب شده بر روی هادیهای مسی، اعمال پوششهای قلع بطریقه آبکاری و غوطه وری گرم، پوشش نیکل بطریقه آبکاری و استفاده از روکشهای XLPE بوده است. این روشها در دنیا در نقاط صنعتی بر روی هادیهای مسی مورد استفاده قرار گرفته است. ضخامت پوشش نیکل حدود $18 \mu\text{m}$ و پوشش قلع آبکاری حدود $20 \mu\text{m}$ و پوشش قلع غوطه وری گرم $50-75 \mu\text{m}$ بوده است. یکی دیگر از روشهای جلوگیری از خوردگی نیز استفاده از هادهای

آلومینیومی به جای هادیهای مسی بود. شکل ۸- الف تصویر SEM سطح نمونه پوشش دار با نیکل را در پایان سیکل ششم به همراه محصولات خوردگی نشان می دهد. شکل ۸- ب تصویر میکروسکوپی از سطح یراق مسی با پوشش آبکاری نیکل را در پایان چرخه ششم آزمایش نشان می دهد. بررسیها نشان داد که خوردگی نیکل مشخصاً به صورت حفره دار شدن است. بعد از پاک کردن محصولات خوردگی مشخص شد، که پوشش نیکل از چرخه سوم برای سیم به طور کامل از بین رفته است. شکل ۹ تصویر SEM از سطح هادی مسی با پوشش قلع به طریقه آبکاری و غوطه وری گرم را در پایان چرخه ششم آزمایش نشان می دهند. در این شکل بر روی سیم مسی با وجود پودری شدن پوشش آسیب خوردگی مشخصی دیده نمی شود. در پایان چرخه مختلف آزمایش، رنگ پوشش های قلع چه پوشش آبکاری و چه پوشش غوطه وری گرم تیره تر شده بود. پوشش غوطه وری گرم قلع بر روی سیم های مسی در بعضی از قسمتها از سیکل دوم به بعد از بین رفته بود. تصاویر میکروسکوپی مورفولوژی محصولات خوردگی بر روی هر دو نوع پوشش آبکاری و غوطه وری گرم را مشابه نشان داده اند. اما بر روی پوشش آبکاری قلع بر روی سیم مسی با وجود پودری شدن پوشش آسیب خوردگی مشخصی دیده نمی شود. شرایط خوردگی پوششهای اعمال شده برای یراق آلات مسی کاملاً مشابه با هادیهای مسی بود. بطوریکه پوشش قلع بطریقه غوطه وری گرم در طولانی مدت از بین رفته و یراق در معرض محیط خورنده قرار می گیرد.

تصویر SEM سطح هادی روکش دار با XLPE در شکل ۱۰ نشان داده شده است. اثری از تخریب روکش XLPE دیده نمی شود. این نتایج نشان می دهند که روکش XLPE اجازه نفوذ رطوبت و گازهای آلاینده را به سطح سیم ها نداده است. به عبارت دیگر این روکش از نفوذناپذیری مناسبی برخوردار است و با جدا کردن سیم های مسی از محیط خورنده سبب جلوگیری از تخریب آنها می شود. شکل ۱۱ تصویر SEM از سطح سیم آلومینیومی را در پایان چرخه ششم آزمایش نشان می دهد. در پایان چرخه های مختلف آزمایش بر روی سطح این نمونه محصولات خوردگی مشاهده نشده است. اثر خوردگی تنها به صورت کمی کدر شدن سطح مشخص است. در بررسی چشمی سطح نمونه ها، اثری از خوردگی موضعی و حفره ای مشاهده نشده است. فیلم اکسیدی به سرعت بر روی سطح آلومینیوم تشکیل و از

خوردگی محافظت کرده و سبب می‌شود که نرخ خوردگی اتمسفری آن ناچیز باشد.

نتیجه گیری

- خوردگی هادیها و یراق آلات مسی در اثر حضور ترکیبات گوگردار در اتمسفر منطقه گچساران اتفاق افتاده است.
- آثار خوردگی در هادیهای مسی بمراتب بیشتر از یراق آلات می باشد
- خوردگی در یراق آلات پایه آهنی به لحاظ وجود پوششهای گالوانیزه گرم بر روی آنها کمتر اتفاق افتاده است.
- پوشش نیکل حفاظت زیادی در برابر اتمسفر خورنده ایجاد نمی نماید.
- پوشش قلع بطریقه غوطه وری گرم در طولانی مدت از بین رفته و هادی و یراق در معرض محیط خورنده قرار می گیرد.
- اعمال پوشش قلع بطریقه آبکاری، استفاده از روکش XLPE و جایگزینی هادیهای آلومینیومی به جای هادیهای مسی بهترین گزینه و روش بسیار مناسب برای کاهش خوردگی هادیهای مسی می باشند
- اعمال پوشش قلع بطریقه آبکاری بهترین گزینه برای یراق آلات پایه مسی و اعمال پوشش گالوانیزه گرم مناسبترین روش جهت کاهش خوردگی یراق آلات پایه آهنی می باشد.

فهرست مراجع

- [1] J. P. Franey, T. E. Graedel and G. W. Kammlott, *the Sulfiding of Copper by Trace Amount of Hydrogen Sulfide*, The Journal of the Electrochemical Society, 158th Meeting, Hollywood, FL, 1980
- [2] T.T.M. Tran, C. Fiaud, E.M.M. Sutter, *Oxide and Sulphide Layers on Copper Exposed to H₂S Containing Moist Air*, Corrosion science, Vol. 47, 2005
- [3] K. P. Fitzgerald, J. Narin and A. Atrens, *The Chemistry of Copper Patination*, Corrosion Science, Vol. 40, 1998, p: 2029-2050
- [4] A. Kratschmer, I. O. Wallinder, C. Leygraf, *The Evolution of Outdoor Copper Patina*, Corrosion science, Vol. 44, 2002, p: 425-450
- [5] M. Watanabe, Y. Higashi and T. Ichino, *Atmospheric Corrosion of Copper in Urban Areas*, 15th International Corrosion Congress, Spain, 2002
- [6] M. Watanabe, Y. Higashi, T. Tohru, *Diferences Between Corrosion Products Formed on Copper Exposed in Tokyo in Summer and Winter*, Corrosion science, Vol. 45, 2003, p: 1439-1453
- [7] K. Barton, *Protection Against Atmospheric Corrosion: Theories and Methods*, Wiley Publication, 1976.

تشکر و قدردانی

این مقاله نتیجه بخشی از پروژه تحقیقاتی می‌باشد که توسط شرکت برق منطقه ای خوزستان مورد حمایت مالی قرار گرفته است لذا در اینجا از این شرکت محترم تشکر و قدردانی می گردد.

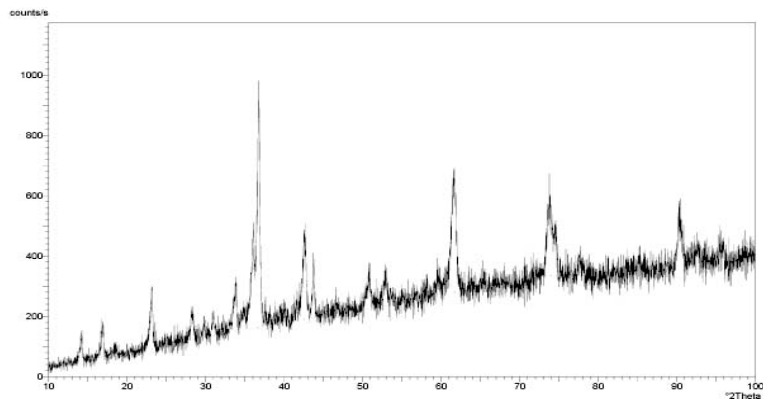


اشکال

شکل ۱- محفظه آزمون خوردگی دی اکسید گوگرد در اتمسفر مرطوب اشباع مطابق استاندارد ASTM

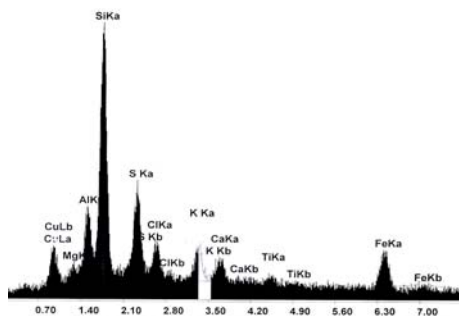


شکل ۲- نمای ظاهری هادی مسی استفاده شده در مناطق نفتخیز گچساران

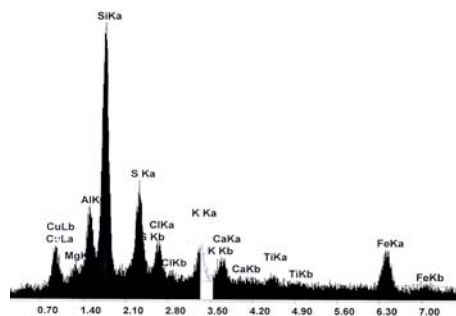


CuO	Tenorite	اکسید مس I
Cu_2O	Cuprite	اکسید مس II
$CuSO_4 \cdot 3Cu(OH)_2$	Brochantite	پروکانتایت

شکل ۳- طیف XRD محصولات خوردگی تشکیل شده بر روی سطح سیم های مسی منطقه گچساران

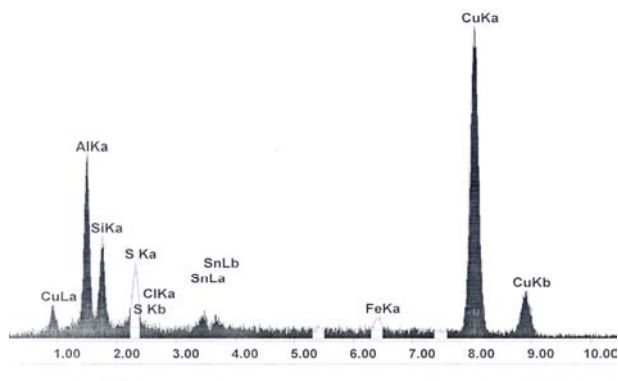


ب) منطقه سیاه رنگ

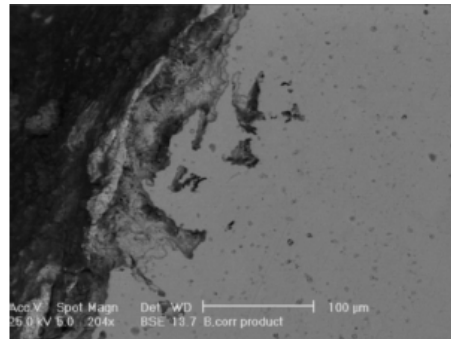


الف) منطقه سبز رنگ

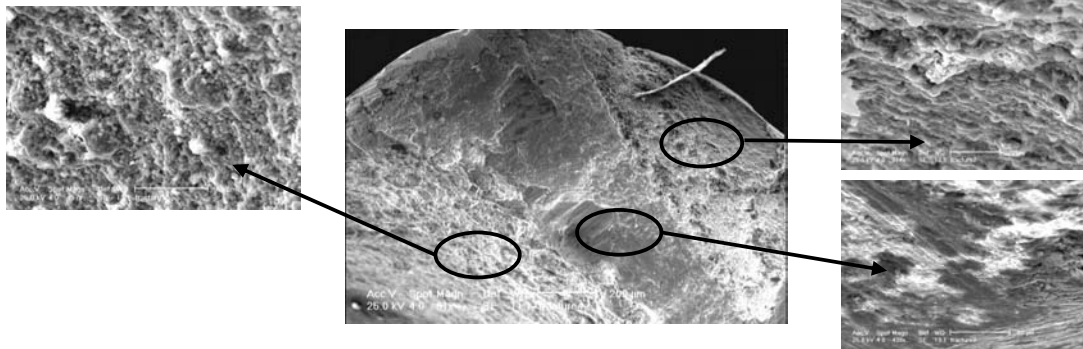
شکل ۴- آنالیز EDS از مناطق سبز رنگ و سیاه رنگ محصولات خوردگی تشکیل شده روی سطح سیم های مسی منطقه گچساران



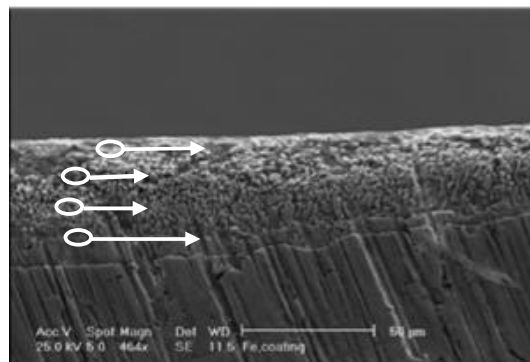
Element	Wt %	At %
AlK	20.77	34.02
SiK	9.19	14.46
S K	5.09	7.01
ClK	0.10	0.12
SnL	2.56	0.95
FeK	1.11	0.88
CuK	61.17	42.54
Total	100.00	100.00



شکل ۵- تصویر محصولات خوردگی تشکیل شده بر روی نمونه ای از یراق پایه مسی منطقه گچساران و آنالیز EDS این محصولات



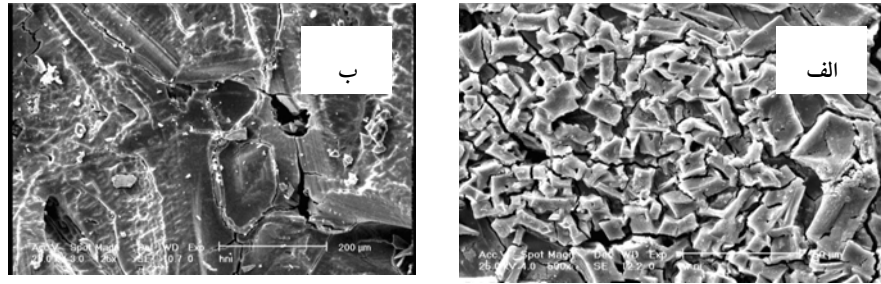
شکل ۶- تصاویر میکروسکوپ الکترونی از سطح مقطع یکی از سیم های مسی خطوط توزیع برق منطقه گچساران که دچار شکست شده است



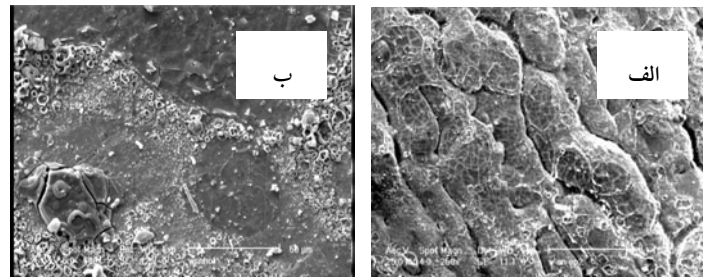
شکل ۷- پوشش گالوانیزه بر روی یراق فولادی منطقه گچساران

جدول ۱- آنالیز EDS ناحیه های مشخص شده بر روی پوشش گالوانیزه در شکل ۷

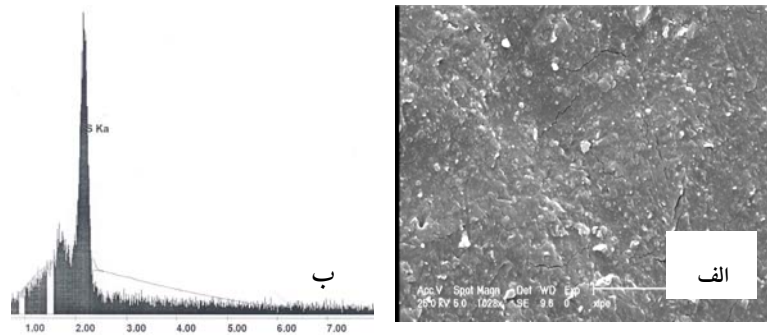
Zn(Wt%)	Fe (Wt%)	ناحیه مشخص شده در شکل ۷
89.77	10.23	۱
90.74	9.26	۲
92.95	7.05	۳
93.39	6.61	۴



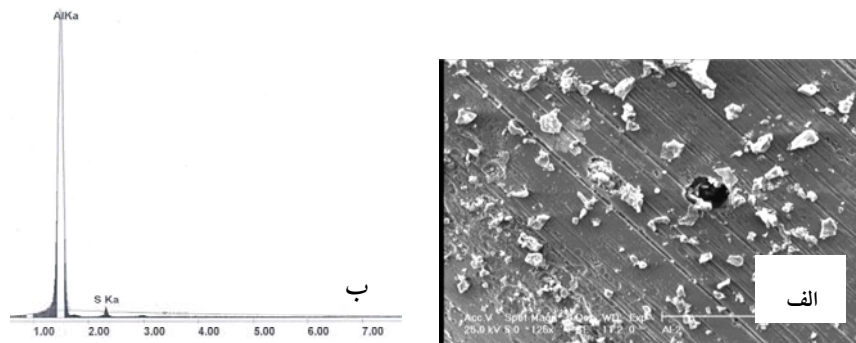
شکل ۸- تصویر میکروسکوپ الکترونی از سطح الف) سیم مسی و ب) یراق مسی با پوشش نیکل در پایان چرخه ششم آزمایش



شکل ۹- تصویر میکروسکوپ الکترونی از سطح سیم مسی و یراق مسی با پوشش قلع الف) ابقاری ب) غوطه وری در پایان چرخه ششم آزمایش



شکل ۱۰- سطح سیم مسی با روکش XLPE در پایان چرخه ششم آزمایش الف) تصویر میکروسکوپ ب) آنالیز EDX



شکل ۱۱- سطح سیم آلومینیم در پایان چرخه ششم آزمایش الف) تصویر میکروسکوپ ب) آنالیز EDX