

خوردگی 1

اهمیت مطالعه خوردگی

خوردگی یک مشکل بسیار جدی در سراسر جهان می باشد. خوردگی یک پدیده مخرب بوده و سالیانه صدمات مالی و جانی زیادی را از خود بجای می گذارد. از این رو تاکنون کشورهای زیادی برای برآورد هزینه های ناشی از خوردگی تلاش نموده اند. خوردگی پدیده ای بسیار ناخوشایند است؛ پدیده ای که سرمایه های یک صنعت، انرژی یک کشور و اقتصاد یک ملت را خورده و از بین می برد. خوردگی پدیده ای است با ابعاد گسترده؛ چراکه هر جا هوا یا مایعی وجود داشته باشد، خوردگی نیز وجود خواهد داشت. پدیده ای که بر اساس آمار رسمی کشورهای پیشرفته معادل دو تا پنج درصد درآمد ناخالص ملی، به اقتصاد آنها زیان وارد می کند. میزان این خسارت به حدی است که اگر استراتژی معقولی در برابر آن اتخاذ نشود، می تواند یک کشور را با مشکل مواجه کند. در حادثه بوپال هند که به دلیل خوردگی مخزن رخ داده بود، بیش از سه هزار و ۵۰۰ نفر از مردم بوپال جان خود را از دست دادند. در کشور ما نیز موارد متعددی از پدیده خوردگی در صنایع نفت و گاز رخ داده است. بنابراین پرداختن به مقوله خوردگی و توجه ویژه به آن باید مدنظر همگان قرار بگیرد.

چرا باید خوردگی را جدی بگیریم؟

اهمیت خوردگی را می توانیم در سه کلمه خلاصه کنیم: **اقتصاد، ایمنی و حفاظت**. در صورتی که از بروز این پدیده جلوگیری نکنیم، هزینه های مستقیم و غیر مستقیم سنگینی به ما تحمیل خواهد شد. مثلاً فرض کنید لوله ای در یک پالایشگاه در اثر خوردگی دچار از کار افتادگی شده و باید تعویض گردد. در این شرایط ممکن است هزینه تعویض لوله در نگاه اول چندان زیاد به نظر نرسد، اما در نظر داشته باشید که تعطیلی خط تولید در هر ساعت، هزاران برابر هزینه تعویض لوله به آن مرکز خسارت وارد می کند. به همین دلیل، **ملاحظات اقتصادی همواره یکی از مهم ترین انگیزه های بشر برای گسترش علم خوردگی بوده است.**

علاوه بر جنبه های اقتصادی، انهدام ناگهانی سازه ها در اثر وقوع انواع خوردگی می تواند جان هزاران نفر را به خطر بیندازد. ریزش پل های بزرگ در طول تاریخ به خاطر خوردگی، بارها باعث سقوط افراد و مرگ آنها شده است. در سال 1988 کابین یک هواپیما در کانادا در آسمان متلاشی شد و تمامی مسافران آن جان خود را از دست دادند. انفجار لوله های گاز در اثر خوردگی نیز از جمله حوادث فاجعه باری است که متأسفانه هنوز هم سهم بسیار زیادی را در حوادث به خود اختصاص می دهد. تمام این دلایل باعث می شوند مهندسين حوزه خوردگی با درک هر چه بیشتر مکانیزم های وقوع خوردگی در شرایط مختلف، از وقوع حوادث و هدر رفتن هزینه ها جلوگیری کنند. در همین راستا، کشورهای صنعتی سالانه میلیاردها دلار صرف هزینه های جلوگیری از وقوع خوردگی می کنند.

1) پنج دلیل خوب برای مطالعه خوردگی :

1- مواد فلزی منابع ارزشمند یک کشور هستند. منابع موادی مانند آهن، آلومینیم، مس، کرم، منگنز، تیتانیوم، و غیره به سرعت در حال کم شدن هستند و روزی فرا خواهد رسید که کمبود این مواد مشهود باشد.

بنابراین به نظر می رسد به وجود آمدن بحران کمبود فلز در هر کجای دنیا احتمالی دور از واقعیت نباشد. هشدارهای اولیه در مورد بحران فلز وجود دارد. با ذخیره کردن این منابع ارزشمند، لازم است به چگونگی تخریب آنها توسط خوردگی پرداخته شود و روشهایی برای رسیدن به تکنولوژی حفاظت آنها در برابر خوردگی ابداع شود.

2- دانش مهندسی بدون دانستن خوردگی کامل نیست. هواپیماها، کشتی ها، اتوموبیلها و دیگر وسایل حمل و نقل بدون در نظر گرفتن بدون در نظر گرفتن رفتار خوردگی موادی که در سازه ها استفاده می شوند نمی توانند طراحی شوند. نمی توانند طراحی شوند.

3- چندین فاجعه مهندسی، مانند شکست در سازه های عمرانی، هواپیماهای نظامی، سیستم های دریانوردی، کشتی های مسافری، انفجار در خطوط لوله، انفجار در مخازن ذخیره، ریزش پلها، شکست مته های حفاری و تانکر های حمل سوخت در سالهای اخیر شواهدی هستند که نشان می دهند خوردگی عامل مهمی در به وجود آمدن فجایع مذکور می باشد. اعمال دانش حفاظت در برابر خوردگی می تواند این وقایع ناگوار را حداقل کند.

4- در ایالات متحده دو میلیون مایل خط لوله نیاز به حفاظت در برابر خوردگی دارند. طراحی وسیله هایی برای بدن انسان نیاز به آگاهی کاملی در مورد دانش و مهندسی خوردگی دارد. به دلیل ماهیت خوردگی اجزاء خون در بدن انسان باید در برابر خوردگی مقاوم باشند.

5- خوردگی یک رفتار محیطی است. برای مثال آب می تواند به وسیله محصولات خوردگی آلوده شود. و غیر قابل مصرف شوند. پیشگیری از خوردگی به نوعی جلوگیری از آلودگی هوا، آب و خاک است. انجمن آبرسانی/کارهای آبی آمریکا (AWWA)¹ مبلغی معادل 325 میلیارد دلار آمریکا جهت سیستم توزیع آب در 20 سال آینده نیاز دارد.

کاهش هزینه های خوردگی

مطالعات متعددی در نقاط مختلف دنیا انجام شده و نشان دهنده این است که می توان هزینه های خوردگی را با به کارگیری روش های پیشگیرانه و اتخاذ رویکردهای مناسب تا حدود 70 درصد کاهش داد. چنین مطالعاتی در ایران صورت نگرفته است، میزان هزینه های خوردگی در ایران مشابه اغلب کشورهای دیگر بین 3 تا 5 درصد تولید ناخالص داخلی کشور برآورد می شود، اگر تولید ناخالص داخلی ایران را حدود 600 میلیارد دلار در سال در نظر گرفته شود بر مبنای 3 درصد حدود 18 میلیارد دلار در سال هزینه خوردگی خواهد بود.

هزینه های مستقیم و غیرمستقیم خوردگی در تأسیسات و خطوط لوله شرکت های تابعه شرکت ملی نفت ایران که در سال های 1395 تا 1397 محاسبه شده است، به طور میانگین سالانه حدود 450 میلیون دلار بوده که از این رقم، حدود 165 میلیون دلار مربوط به

¹ American Water Works Association

هزینه‌های مستقیم خوردگی و بقیه یعنی حدود ۲۸۵ میلیون دلار مربوط به هزینه‌های غیرمستقیم خوردگی است. بیشتر هزینه‌های مستقیم خوردگی مربوط به هزینه‌های استفاده از مواد مقاوم در برابر خوردگی، رنگ و پوشش، مواد شیمیایی کنترل خوردگی، توپکرانی‌های هوشمند و... و هزینه‌های غیرمستقیم ناشی از خوردگی مربوط به توقف تولید و هدررفت سیالات هیدروکربوری به دلیل حوادث خوردگی است.

برآورد هزینه های خوردگی

سرمایه گذاری در کنترل خوردگی نوعی سودآوری است. عدم توجه به مشکلات خوردگی در هر واحد صنعتی و تولیدی هزینه های پنهانی به دنبال دارد که اجتناب از آن غیر ممکن است. اولین قدم در اقتصاد خوردگی انتخاب روشی مناسب به منظور حداکثر کاهش هزینه های خوردگی است. این هزینه ها می تواند شامل: مخارج تولید و تجهیزات، از بین رفتن محصولات با ارزش، ظاهر نامطلوب محصول، هزینه های زیست محیطی و... باشد.

اهمیت آمار در تعیین خسارات خوردگی

بدون دسترسی به آمار و اطلاعات، اولویت بندی و تدوین سیاست کلان مبارزه با خوردگی در راستای حفظ و صیانت از تجهیزات صنعتی امکان پذیر نمی باشد.

طبق اعلام انجمن ملی مهندسان خوردگی، خسارات ناشی از بلایای طبیعی در ایالات متحده امریکا شامل: سیل، طوفان، زمین لرزه و غیره سالانه ۱۷ میلیارد دلار اعلام شده است. ملاحظه می شود که خسارات ناشی از خوردگی بیش از ۱۶ برابر خسارات ناشی از بلایای طبیعی بوده است. اگر مقایسه ای برای روند طبیعی و اقتصادی خوردگی انجام شود، می توان آن را با پدیده هایی مانند زلزله، طوفان، سیل و آتشفشان قیاس کرد با این تفاوت که در پذیرش پدیده های مذکور اجبار هست ولی خوردگی قابل پیش بینی و کنترل است. این مسئله اهمیت و ضرورت توجه به پدیده خوردگی و انتخاب روش های مناسب مقابله با آن را نشان می دهد. عدم آگاهی نسبت به عوامل ایجاد کننده خوردگی و آشنا نبودن با روش های حفاظتی تجهیزات و تاسیسات صنعتی باعث گشته که انهدام و نابودی فلزات در صنایع به عنوان یک واقعیت مسلم و یک پدیده اجتناب ناپذیر مطرح باشد. بی اطلاعی از اهمیت و نقش خوردگی در زندگی و محیط کار، سالانه میلیاردها دلار به اقتصاد جهان ضرر می زند.

در این قسمت به عنوان مثال نمونه هایی از هزینه های سالانه خوردگی در چند کشور بصورت خلاصه آمده است

- انگلستان ۱/۳ میلیارد پوند
- سوئیس ۱۵ میلیارد فرانک
- فنلاند ۳۰۰ میلیون دلار (تنها در صنعت اتومبیل)
- آمریکا بیش از ۲۷۰ میلیارد دلار

با توجه به اینکه در کشور، آمار مستندی از هزینه های خوردگی به صورت مستقیم و غیر مستقیم وجود ندارد و هرگونه ارقام و اعدادی که در گزارش ها، فصل نامه ها و... ارائه می شود، صرفا براساس استفاده از روش های معمول در کشورهای صنعتی نظیر آمریکا، ژاپن و... محاسبه گردیده اند، که بر مبنای درصدی از تولید ناخالص ملی است، پس می توان گفت هزینه خوردگی در ایران ۳ تا ۵ درصد تولید ناخالص ملی داخلی کشور، معادل ۳۲۰۰ میلیارد تومان در سال بر آورد شده است. خوردگی به آرامی، اما به طور مداوم ثروت های ملی را هدر می دهد و لذا ابعاد فاجعه برانگیز خوردگی از نظر اتلاف ماده، انرژی و خسارت زیست محیطی به

طور دقیق مشخص نیست. اما با شناخت مشکلات و موانع و راه های کاهش اثرات سوء خوردگی و جلوگیری از هدر رفتن منابع مالی و انسانی میتوان هزینه ی صدمات ناشی از خوردگی در صنایع را به حداقل ممکن رساند.

روش های عمده برای ارزیابی هزینه های خوردگی

- روش اولیگ که تخمین ها را بر پایه روش های حفاظت از خوردگی قرار می دهد.
- روش هور که تخمین ها براساس بخش های مختلف صنعتی ارائه می کند.
- روش in/out که از ماتریکس input- output برای ارائه تخمین های اولیه استفاده می کنند .

استخراج آمار هزینه های خوردگی چه فوایدی دارد؟

- سه دلیل مهم کشورهای پیشرفته را قانع کرده تا این آمار را استخراج کنند .
- 1- ایجاد پتانسیل هایی برای کاهش هزینه ها و کاهش مصرف منابع و انرژی
بر اساس گزارشی در انگلستان، می توان هزینه های خوردگی صنعت حمل و نقل این کشور را حدود 29 درصد کاهش داد. این رقم در صنایع دریایی به میزان 20 درصد و در صنعت نفت و مواد شیمیایی این کشور 8 درصد است. با توجه به آمار ارایه شده در سال 1970، کل هزینه های خوردگی در این کشور سالانه حدود 1/3 میلیارد پوند است که می توان حدود 310 میلیون پوند آن را کاهش داد .
 - 2- به دست آوردن فاکتورهایی برای کاهش هزینه ها
با استفاده از گزارش ارایه شده در مورد خوردگی در انگلستان، 16 فاکتور مختلف برای کاهش هزینه های خوردگی استخراج شده است. که بعضی از آن فاکتورها عبارتند از :
 - الف- بهبود طراحی با استفاده از روشهای کنونی؛
 - ب- افزایش آگاهی صنایع از خطرات خوردگی؛
 - پ- استفاده از مواد جدید برای کاهش هزینه های خوردگی؛
 - ت- استانداردسازی تجهیزات .
 - 3- اتخاذ استراتژی هایی برای کنترل خوردگی
با تکیه بر این آمار می توان با تدوین استراتژی برای مبارزه با خوردگی، هزینه های خوردگی را به مقدار زیادی کنترل کرد و کاهش داد .

متولی استخراج آمار هزینه های خوردگی کیست؟

ایران کشوری با اتمسفر خورنده و نیمه صنعتی است و به احتمال زیاد، درصد هزینه های خوردگی نسبت به تولید ناخالص ملی در کشور ما در مقایسه با سایر کشورها بالاست .متاسفانه در کشوری که دارای ذخایر نفتی زیاد و صنایع مختلف مرتبط با آن است (با توجه به خورندگی بالای نفت ایران)، هنوز آمار رسمی در مورد خوردگی نمی توان یافت. انجمن خوردگی که می تواند یکی از متولیان این امر (استخراج آمار هزینه های خوردگی) باشد، نتوانسته است به وظیفه خود به خوبی عمل کند و فقط در یک تحلیل

ساده، آماری ارایه کرده که آن آمار خود جای تأمل و بحث دارد. استخراج آمار خوردگی در ایران کاری فراتر از این است که فقط از عهده یک سازمان و حتی یک وزارتخانه برآید .

در این میان وظیفه وزارت نفت، که حدود 10 تریلیون تومان سهم در درآمد ناخالص ملی دارد، بسیار سنگین است. از طرف دیگر، وظیفه وزارت صنایع و معادن نیز که حدود 11 تریلیون تومان تولید ناخالص ملی را تحت پوشش دارد نیز بسیار سنگین است؛ ضمن آنکه این وزارتخانه متولی کل صنعت کشور نیز هست. وظیفه وزارت کشاورزی که تولید ناخالص ملی معادل 8 تریلیون تومان را تحت پوشش دارد نیز سنگین است . اما شاید هیچیک از این دستگاهها را به تنهایی نتوان متولی این مهم نمود و همکاری این سه وزارتخانه و حتی ارگانهای دیگر مورد نیاز باشد. به نظر می‌رسد که سازمانی همچون سازمان بهینه‌سازی مصرف انرژی نیز باید ایجاد شود که البته با اعمال مدیریت کارآمد و با استفاده از روشهای ترویجی، در جهت کاهش هزینه‌های خوردگی تلاش کنند؛ این سازمان نیز می‌تواند در تهیه آمارهای خوردگی کشور نقش مهمی ایفا کند.

10-1 جنبه های گوناگون تاثیر خوردگی

1- جلوگیری از نفوذ محتویات محیط : برای کم کردن میزان احتمال خوردگی باید ورود عناصر محیطی به لوله ها، تجهیزات , ظروف , مخازن و غیره را تا حد امکان کم کرد.

2- استحکام مکانیکی: خوردگی نباید به حدی باشد که مقاومت سازه را در برابر یک نیرو تعریف شده کاهش دهد. و استحکام نباید به وسیله خوردگی تحت تاثیر قرار بگیرد.

3- یکپارچگی ابعادی : برای مهندسین طراح عدم تغییر ابعاد , (حین کار) مورد بسیار مهمی است . این مورد نباید به وسیله خوردگی تحت تاثیر قرار گیرد.

4- خواص فیزیکی: برای یک طرح با بازدهی مناسب , خواص فیزیکی مانند هدایت گرمایی و الکتریکی تجهیزات , مواد و اجزا طرح نباید توسط خوردگی به گونه ای تحت تاثیر قرار گیرد , که از حالت مطلوب و مورد نظر دور شود.

5- آلودگی خوردگی به شکلی پیشرفت کند که سطوح تجهیزات , محصولات غذایی, داروها را پوشانده و سلامت و ایمنی محیط را به خطر بیندازد

6- تخریب تجهیزات : ممکن است تنظیم تجهیزاتی که در معرض خطر شکست ناشی از خوردگی هستند به هم بخورد.

تشخیص اینکه خوردگی موثر یک قطعه و یا اندازه تخریب فلز , طرح یا تجهیز , اندازه مرتبط به آنها باید به شکلی تطبیق داده شوند که میزان خسارات یا بازده خوردگی حداقل شود.

سلامتی , ایمنی محیطی و عمر محصولات

این موارد به شرح زیر است.

1- ایمنی: شکست ناگهانی می تواند مسبب انفجار، آتش سوزی، ورود مواد مصول سمی به محیط و ریزش سازه ها شود. موارد زیادی از آتش سوزی های ناشی از نشت گاز و نفت از خط لوله هایی که در معرض خوردگی بوده اند گزارش شده است. شکست سازه ها و حوادث مربوط به آن نشان داده که سازه و اجزای آن به شدت تحت تاثیر خوردگی هستند. بسیاری از مرگ و میر های ناشی از تصادفات اتوموبیل های فرسوده به دلای ضعیف شدن اجزای تشکیل دهنده ماشین به وسیله تخریبهای ناشی از خوردگی می باشد. در حوادث مربوط به کار های عمرانی، سیستمهای حمل و نقل، نظامی و هوایی نیز خوردگی آثاری از خود به جا گذاشته است. پل ها، کشتی ها، هواپیماها و تا حدود زیادی استادیومهای ورزشی می توانند در ردیف مواردی قرار گیرند که در معرض شکستهای ناشی از خوردگی بوده و ممکن است منجر به حوادث و فجایع مهندسی شوند.

2- سلامتی: اثر نامطلوب روی سلامتی ممکن است از آنجا حادث شود که در اثر تجهیزات و سازه های خورده شده کیفیت آب تحت الشعاع قرار بگیرد. و این تخریب توسط محصولات رها شده از تجهیزات خورده شده انجام می شود.

3- تحلیل رفتن منابع: خسارت های ناشی از خوردگی سبب ایجاد محدودیت های اجباری روی منابع طبیعی می شوند. تضعیف منابع و جستجو برای منابع جدید در آینده منجر به بحران فلز برای و کمبود نفت خواهد شد.

4- تمیزی و ظاهر کار: از آنجایی که حس زیبایی یک حس فطری است. و برخاسته از علاقه انسان است. حس ظاهری زیبایی ناشی از جاذبه آن است. و یک محصول طراحی شده باید در ظاهر جذاب باشد. خوردگی مانند یک جانور مخرب آفت زیبایی است. و باعث تخریب ظاهر محصولات می شود. صورت ظاهر محصولاتی که ارزش بالایی دارند باید مناسب باشد. بنابراین با روشهایی مانند الکتروپلیتینگ، اندوزینگ، پالیش مکانیکی، پالیش الکتریکی، رنگ کردن، پوشش دادن، اچ و بافتهای ویژه روی سطح پردازش انجام می دهیم. تمام روشهای مذکور به این منظور است که کیفیت ظاهر را بالا برده و یکپارچگی سطح حفظ شود.

5- عمر محصول: خوردگی به طور جدی عمر پیش بینی شده در طراحی ها را کاهش می دهد. می توان زمان مفید را با جایگزینی قطعات افزایش داد. عموماً در طراحی ها عمر مفید ماشینها در حدود دوازده سال در نظر گرفته می شود. اما برای بعضی حالات خاص بیشتر در نظر گرفته می شود. عمر مفید طراحی برای برج ایفل دو سال است. اما بیش از صد سال است که به عنوان نماد قدمت پاریس همچنان پابرجاست. دلیل این بقا ابتکار مهندسی در طراحی، مقاومت مواد در برابر محیط و اندازه گیری به موقع خوردگی در تعمیر و نگهداری می باشد. تشخیص و ارزیابی طراحی باعث افزایش عمر کاری می شود. در صورتی که طراحی موقت و بد باعث کاهش زمان کاری قطعه با زمان می شود. عمر مفید طراحی مرحله ای است که بستگی به مواردی مانند ابتکار، انتخاب صحیح مواد و تعمیر و نگهداری دارد.

6- نگهداشتن اشیاء خورده شده: نگهداری اشیاء با نشانه های برجسته تاریخی طبیعی ضرورت دارد. بسیاری از بناهای تاریخی در اثر تخریب های ناشی از خوردگی در حال نابود شدن هستند. این بحث در حوزه میراث فرهنگی و حفاظت از آثار باستانی کشورها از اهمیت بالایی برخوردار است.

بررسی خسارات خوردگی

صدمات ناشی از خوردگی دارای ابعاد وسیعی است که در صورت عدم توجه به این امر خسارات جانی و مالی زیادی را می تواند به بار آورد. خوردگی در کارخانجات و صنایع مختلف باعث نشت مواد با ارزش، توقف بی مورد روند تولید، کاهش بازده تولید، تعویض زود هنگام قطعات و سبب آسیب های زیست محیطی می گردد که ایمنی تجهیزات را نیز با تهدید رو به رو می کند.

جنبه های خسارت اقتصادی

برآورد دقیق زیان های خوردگی به دلیل وسعت و دامنه ی مسائل، میزان خسارت های وارده، مخارج لازم جهت کنترل خوردگی و... کاری بسیار دشوار است. هزینه های خوردگی را می توان به دو بخش تقسیم نمود:

الف) هزینه های مستقیم

هزینه های مستقیم کنترل خوردگی شامل بازرسی، استفاده از بازدارنده ها، پایش خوردگی، نگهداری پوشش، تعویض قطعات پوسیده، تعمیر، نگهداری و بازسازی ماشین آلات است. در ارزیابی های اقتصادی خوردگی، اکثر تحقیقات و مطالعات بر هزینه های مستقیم متمرکز شده است.

ب) هزینه های غیر مستقیم

هزینه های غیر مستقیم شامل افزایش تعداد دفعات تعمیر یا افزایش سطح تغییرات، تاخیر در تولید و توقف غیر منطقی واحدهای تولیدی است.

در واقع هزینه های واقعی شکست قطعات و تجهیزات صنعتی، بسیار بیشتر از هزینه های جایگزینی قسمت های تخریب شده است. هزینه های غیر مستقیم شکست قطعات می تواند بسیار سنگین تر از هزینه های مستقیم باشد. متأسفانه تخمین هزینه های غیر مستقیم در بخش های مختلف صنعتی بسیار مشکل است.

پاره ای از عواملی که باعث ایجاد هزینه های غیر مستقیم می شوند عبارتند از:

- خواباندن ماشین آلات و تجهیزات خط تولید به دلیل نیاز به تعویض و بازسازی بخش هایی که دچار خوردگی شده اند.
- نشست مواد سمی و آلودگی محیط زیست
- از دست رفتن مواد در نتیجه خوردگی مخازن نگهداری آن ها
- تعمیرات غیر قابل پیش بینی و تعویض زود رس قطعات
- کاهش کیفیت در بهره وری تجهیزات و ماشین آلات

تعاریف خوردگی

اگر بخواهیم مقایسه ای برای روند طبیعی و اقتصادی خوردگی انجام دهیم. می توان آن را با پدیده هایی مانند زلزله، طوفان، سیل و آتشفشان قیاس کرد با این تفاوت اساسی که ما اجبار در پذیرش پدیده های مذکور داریم ولی خوردگی قابل پیش بینی و کنترل است. تعاریف متعددی از خوردگی بصورت زیر ارائه شده است:

الف - خوردگی آشکار شدن ضایعات سطحی ناشی از واکنش فلز با محیط است.

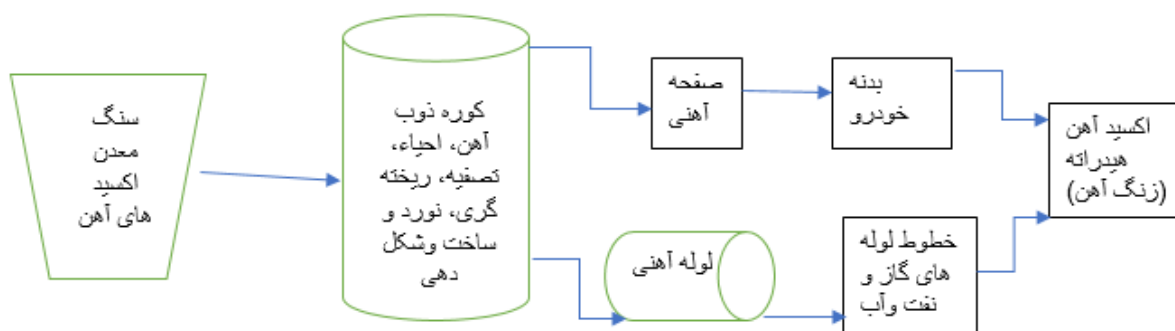
ب- خوردگی منتج از فعل و انفعالات یک فلز و محیط است که منجر به تخریب تدریجی فلز می شود.

پ- خوردگی تخریب ظاهری فلز به وسیله واکنشهای شیمیایی یا زیست محیطی می باشد.

ت- خوردگی تخریب یا ضعیف شدن کیفیت مواد در نتیجه واکنش با محیط می باشد.

ث- خوردگی حمله شیمیایی و الکتروشیمی محیط به فلز است و نهایتاً "منجر به تخریب می شود.

ج- خوردگی تعریفی برعکس متالورژی دارد. برای مثال، آهن از گرمایش هماتیت در برابر کربن به دست می آید. آهن خورده می شود و دوباره به زنگ آهن تبدیل می شود. و این خود یک چرخه کامل است. هماتیت و زنگ آهن از نظر ترکیب شیمیایی یکسان هستند (شکل 1-1).



شکل 1-1 استخراج فلز از معدن، شکل دهی آن و زنگ زدن محصولات فلزی- معکوس متالورژی استخراجی.

علی رغم تعاریف متفاوت، قابل مشاهده است که خوردگی نتیجه تماس بین مواد و محیط اطراف است. تا سال 1960 بحث خوردگی در مورد فلزات و آلیاژهای آنها بود و به صورت مدون شده سرامیکها، کامپوزیتها، پلیمرها و نیمه هادی ها را شامل نمی گشت. ولی امروزه بحث خوردگی همه مصنوعات ساخت بشر و طبیعی اعم از فلز، غیرفلز و بیومتریال را شامل می شود. و فقط مختص فلزات و آلیاژهای آنها نیست. در سالهای اخیر پیشرفت بحث خوردگی همراه با توسعه و تغییر در مواد بسیار مشهود است.

محیط های خورنده

همه محیط ها به نوعی خورنده هستند. ولی میزان خوردگی آنها متفاوت است. فهرست زیر نمونه هایی از محیطهای خورنده هستند.

- 1- هوا و رطوبت و خاک
- 2- آب مقطر، آب دریا، آب نمک
- 3- اتمسفرهای صنعتی، دریایی، شهری و طبیعی
- 4- بخار و گاز، گازهای سوختی
- 5- آمونیاک، سولفید هیدروژن، دی اکسید گوگرد و اکسید نیتروژن، الکل ها

بنابراین مشاهده شد که خوردگی یک نیروی پتانسیل مخرب در اقتصاد، مخرب و کاهنده بازدهی در منابع، مسبب شکست طرحها و تجهیزات و اجرای آنها می باشد.

پیامدهای خوردگی

تعدادی از پیامدهای خوردگی در زیر به طور خلاصه آمده است.

- از کار افتادن طرحها . یکی از عوامل و مسائل جدی در توقف کار صنایع تولیدی , نیروگاه های هسته ای , پالایشگاه ها خوردگی می باشد
- از دست رفتن محصولات . نشتی در ظروف , مخازن ذخیره , خطوط انتقال آب و نفت سبب از دست رفتن محصولات می باشد . که بسیار مضر و خطرناک است. مشخص شده است که حداقل 25٪ آب با سوراخ شدن از بین می رود.
- کاهش بازدهی . پوشانده شدن سطوح تیوبهای مبدل و لوله ها با محصولات خوردگی باعث کاهش انتقال حرارت و نهایتاً ظرفیت می شود.
- آلودگی. محصولات خوردگی ممکن است باعث ایجاد آلودگی در صنایع شیمیایی, دارویی , رنگی , کالاهای با پیامدهای بسیار مخرب شود.
- خطرات هسته ای . فاجعه " چرنوبیل " مثالی فراموش نشدنی از انتقال مواد رادیو اکتیو به داخل آب می باشد . که عامل اصلی این فاجعه خوردگی بود. این مسئله برای زندگی انسان , حیوان و محیط زیست بسیار مرگبار بود.

میزان خوردگی بستگی به حساسیت فلز یا آلیاژ به محیطی خاص دارد. برای مثال مس به شدت در محیط های آمونیاکی خورده می شود . و مشکلات بزرگی را در محیط های کشاورزی به وجود می آورد. اسناد تاریخی وجود دارند که نشان می دهد برنز در معرض آمونیاک ناشی از کود شیمیایی تخریب گشته است. شرایط محیطی روش کنترل خوردگی را مشخص می کند . مانند استفاده از بازدارنده های خوردگی و خطوط انتقال نفت.

ارتباط دانش خوردگی و مهندسی خوردگی

دانش خوردگی مشاهدات موضوعی یا تجربی بخش تئوری , قوانین و توضیح پدیده های خوردگی را پوشش می دهد. به عنوان مثال توضیحات حالت های مختلف خوردگی , سرعت خوردگی و مکانیزمهای خوردگی بخشهایی هستند که به وسیله دانش خوردگی بررسی می شوند. به نوعی دانش خوردگی پاسخ به چرا های خوردگی است .

بر خلاف " دانش خوردگی " , " مهندسی خوردگی " اهداف خاص تحت قوانین و جهت های مشخصی را پیگیری می کند . که به چگونگی این عمل می پردازد. مهندسی خوردگی اعمال اصول تکامل یافته ای از دانش خوردگی است که به دنبال حداقل کردن خوردگی یا پیشگیری از آن با در نظر گرفتن ملاحظات اقتصادی می باشد.

مهندسی خوردگی , انجام طراحی جهت پیشگیری از خوردگی و اعمال کد ها و شیوه های مشخص و تعریف شده ای می باشد. اندازه و نوع روشهای پیشگیری از خوردگی , مانند حفاظت کاتدی , طراحی برای جلوگیری از خوردگی و پوشش دادن سازه ها مجموعه هایی هستند که در حیطه مهندسی خوردگی هستند.

هر چند , دانش و مهندسی خوردگی به هم مرتبط بوده و نمی توانند از یکدیگر جدا باشند. ارتباط پایدار بین این دو موضوع منجر به خلق روشهای جدید و بهتری برای حفاظت در برابر خوردگی در همه زمینه ها می باشد.

وابستگی ماهیت خوردگی به سایر علوم

موضوع خوردگی به سایر شاخه علوم ارتباط دارد و همه علوم پایه را در بر می گیرد. دانش‌های مانند فیزیک، شیمی و زیست‌شناسی و همه شاخه‌های مهندسی مانند مهندسی شیمی، عمران، مکانیک، الکترونیک و متالورژی را فرا می گیرد.

مدیریت خوردگی

مدیریت خوردگی بعنوان بخشی از سیستم مدیریتی یکپارچه در ارتباط با توسعه، اجرا، بازبینی و نگهداری از تجهیزات خوردگی می باشد. از مهمترین ابزارهایی که می توان بوسیله آن داده های مطمئنی بدست آورد ارزیابی ریسک حوادث احتمالی می باشد. در مدیریت خوردگی بر پایه ریسک نیز محاسبات لازم برای اقدامات کنترلی و بازرسی ها بر اساس ریسکی است که همراه با هر یک از وقایع احتمالی خوردگی وجود دارد .

مدیریت ریسک و جایگاه آن در مدیریت خوردگی

مدیریت خوردگی به مجموعه مدون و مکتوبی از روش‌ها و فرایندهایی گفته می‌شود که هدف آن‌ها برنامه‌ریزی، اجرا و بهبود مستمر توانایی سیستم در مدیریت خطر خوردگی برای تجهیزات فعلی و آتی سیستم است. خوردگی و تخریب تجهیزات، فرایندی غیر قابل اجتناب است اما تاثیر مدیریت خوردگی در کنترل شدت و ابعاد تخریب نیز امر غیر قابل انکاری بنظر می‌رسد. کنترل و مدیریت خطر خوردگی نیازمند دید درستی از احتمال تخریب و شدت تخریب متعاقب دارد و لذا از منظر منطقی می‌باید ارزیابی دقیقی در خصوص تعادل بین هزینه‌ها و فایده‌ها وجود داشته باشد.

روش‌های نوین بازرسی تجهیزات در کنار روش‌های پیشرفته مقابله با خوردگی در صنایع مختلف و از جمله نفت، گاز و پتروشیمی امکان پایش، ارزیابی و کاهش شدت خوردگی را برای صاحبان این صنایع فراهم کرده است. از سوی دیگر اما، حتی با استفاده از کامل‌ترین روش‌ها نیز امکان صفر کردن خطر خوردگی وجود ندارد و لذا در خصوص سازه‌ها و تجهیزات حساس، استفاده سودمند از موارد مذکور نیازمند یک سیستم مدیریت خوردگی CMS² فعال و پویا بوده که در آن عمر بهره‌وری سیستم تا حد ممکن افزایش و خطرات ایمنی و محیط زیستی به کمترین مقدار کاهش یافته است و بنابراین قابلیت اطمینان فرایندهای حساس بهبود می‌یابد . یک سیستم مدیریت خوردگی CMS که گاهی به آن برنامه مدیریت خوردگی CMP³ نیز گفته می‌شود، در حالت کلی دارای دو هدف عمده است: هدف اول بهینه‌سازی برنامه‌های کنترل خوردگی و کمینه کردن⁴ هزینه‌های کنترل خوردگی طی عمر بهره برداری و هدف دوم برآوره کردن اهداف و استانداردهای ایمنی و محیط زیستی. برای نیل به چنین اهدافی یک سیستم مدیریت خوردگی می‌باید شامل بخش‌های زیر باشد:

- **برنامه‌ای برای تعیین و تخمین عمر کاربری مطلوب تجهیز:** جهت تعیین عمر کاربری تجهیز یکی از روش‌های مورد قبول در سطح بین‌المللی، انجام ارزیابی‌های قابلیت سرویس دهی⁵ است. در این روش با تشخیص مکانیزم تخریب و انجام بازرسی‌های مرتبط در خصوص آسیب وارد شده، عمر باقیمانده و متعاقباً دوره بازرسی بعد مشخص می‌شود.
- **روش‌ها و دستورالعمل‌هایی برای مقابله با خوردگی:** تهیه و اعمال روش‌ها و دستورالعمل‌های مقابله با خوردگی ارتباط تنگاتنگی با شناسایی درست مکانیزم‌های تخریب، ارزیابی شدت پیشروی آن‌ها و همچنین شناخت درست پارامترهای موثر

² Corrosion Management System (CMS)

³ Corrosion Management Program (CMP)

⁴ Minimize

⁵ <https://pamco.ir/corrosion-management>

بر این تخریبات دارد. در این خصوص با انجام ارزیابی مبتنی بر ریسک می توان نسبت به این سه عامل درک صحیحی پیدا نمود. همچنین از ارزیابی های خاصی نیز می توان در بررسی و کنترل پارامترهای موثر بر تخریبات استفاده کرد.

- **بازرسی و پایش تجهیزات موجود:** انجام موثر و دقیق بازرسی و پایش تجهیزات نیازمند انجام بازرسی بر مبنای ریسک بوده که در آن اطلاعات کاملی در خصوص شناسایی تجهیز، نوع بازرسی، محل بازرسی، گستره بازرسی و در نهایت بازه انجام مجدد بازرسی به دست می آید.
- **استراتژی، اهداف و شیوه نامه های سازمان**

دسته بندی کلی خوردگی

خوردگی را میتوان به روشهای مختلفی از نظر دمایی، واکنشی و نوع محلول الکترولیتی دسته بندی نمود. از نظر دمایی خوردگی در دمای بالا و دمای پایین مطرح میشود. خوردگی از منظر نوع واکنشی به واکنشهای الکتروشیمیایی و اکسیداسیون یا ترکیب مستقیم طبقه بندی میگردد. همچنین، خوردگی را میتوان از نظر نوع محلول خورنده به خوردگی مرطوب⁶ و خوردگی خشک⁷ مورد مطالعه قرار داد. خوردگی مرطوب در حضور یک مایع مانند خوردگی آهن در آب اتفاق می افتد. ولی خوردگی خشک زمانی مطرح است که محیط خورنده فاقد محلول مایع و یا بالاتر از نقطه شبنم⁸ باشد. در این حالت خوردگی توسط بخارات و گازها انجام شده و مثال آن خوردگی آلیاژهای فلزی در کوره ها توسط گازهای کوره میباشد.

علل ایجاد خوردگی

خوردگی فلزات یک واکنش الکتروشیمیایی بین فلز و محیط اطراف میباشد که بصورت خود به خود بوجود می آید. فرآیند اکسیداسیون فلز منجر به خورده شدن آن می شود و خواص فیزیکی و شیمیایی آن را تحت تاثیر قرار می دهد.

فلزات به صورت یکسری ترکیبات شیمیایی در سنگ های موجود در سطح زمین یافت می شوند. این فلزات پایدار هستند و اگر از محیط پیرامون سنگ به آنها نیرویی وارد نشود ترکیب اولیه خود را حفظ می نماید. اما پس از آنکه فلزات از سنگ های معدنی استخراج شدند به فلز خالص تبدیل شده و برای مصارف گوناگون مورد استفاده قرار می گیرند. از نظر شیمیایی استخراج فلز از سنگ نوعی فرآیند الکترون گیری است. بدین صورت که ترکیبات فلزی درون سنگ با جذب الکترون به فلز خالص تبدیل می شوند. این الکترون ها نقش عنصری میهمان را برای فلز ایفا می کنند و فلز با دریافت آنها خود را از سنگ جدا می کند اما پس از تبدیل به فلز خالص به دنبال فرصت برای بیرون کردن الکترون ها از خود می گردد. اگر این الکترون ها از فلز خارج شوند، فرآیند اکسیداسیون رخ می دهد که همان خوردگی و تغییر رنگ فلز می باشد. فلز پس از خورده شدن به حالت پایدار اولیه بازگشته و ترکیبی همانند زمانی که در سنگ بوده به خود می گیرد.

علل متعدد خوردگی به تفصیل در فصل های بعدی این کتاب بررسی خواهد شد. در این فصل مقدماتی، دو پارامتر ذکر شده است:

- تغییر در انرژی آزاد گیبس
- نسبت پیلینگ – بدورث⁹

⁶ Wet corrosion

⁷ Dry corrosion

⁸ Dew point

⁹ N. Pilling and R. Bedworth, *J. Inst. Metals* 29, 529 (1923).

شاخص انجام واکنش شیمیایی با تغییر در انرژی آزاد گیبس

تغییر انرژی آزاد گیبس، ΔG ، برای هر واکنش شیمیایی نشان دهنده تمایل آن واکنش به حرکت است. واکنش ها در جهتی رخ می دهند که انرژی آزاد گیبس را کاهش می دهد. هر چه مقدار ΔG منفی تر باشد، تمایل به حرکت واکنش بیشتر است.

نسبت پیلینگ – بدورث^{۱۰}

اگرچه عوامل زیادی نرخ اکسیداسیون یک فلز را کنترل می کنند، نسبت پیلینگ – بدورث پارامتری است که می تواند برای پیش بینی میزان اکسیداسیون استفاده شود. نسبت پیلینگ – بدورث برابر $(M_d / n m D)$ است که در آن (M_d) به ترتیب وزن و چگالی مولکولی محصول خوردگی هستند که در طول اکسیداسیون روی سطح فلز ایجاد می شود. (D) به ترتیب وزن و چگالی اتمی فلز هستند و n تعداد اتم های فلز در فرمول مولکولی است. به عنوان مثال، برای Al_2O_3 ، $(n = 2)$. نسبت پیلینگ – بدورث نشان می دهد که آیا حجم محصول خوردگی بیشتر یا کمتر از حجم فلزی است که محصول خوردگی از آن تشکیل شده است. اگر $(M_d / n m D < 1)$ باشد، حجم محصول خوردگی کمتر از حجم فلزی است که محصول از آن تشکیل شده است. انتظار می رود که یک لایه از چنین محصول خوردگی حاوی ترک ها و منافذ باشد و نسبتاً غیر محافظ باشد. از طرف دیگر، اگر $(M_d / n m D > 1)$ باشد، حجم مقیاس محصول خوردگی بیشتر از حجم فلزی است که مقیاس از آن تشکیل شده است، به طوری که مقیاس در حالت فشرده قرار دارد و از فلز زیرین محافظت می کند. نسبت پیلینگ – بدورث بیشتر از 1 برای پیش بینی مقاومت در برابر خوردگی کافی نیست. اگر $(M_d / n m D > 1)$ باشد، مقیاسی که تشکیل می شود ممکن است به دلیل تنش های بالاتری که ایجاد می شود، کماتش کند و از سطح جدا شود. برای آلومینیوم، که یک اکسید محافظ تشکیل می دهد و در اکثر محیط ها بسیار آهسته خورده می شود، نسبت پیلینگ – بدورث 1.3 است، در حالی که برای منیزیم، که تمایل به تشکیل یک اکسید غیر محافظ دارد، این نسبت 0.8 است. با این وجود، استثنائات و محدودیت هایی برای پیش بینی نسبت پیلینگ – بدورث وجود دارد^{۱۱}.

¹⁰ Pilling – B edworth

¹¹ R. Winston Revie, Herbert H. Uhlig, Corrosion and Corrosion Control: An Introduction to Corrosion Science and Engineering, Fourth Edition, Copyright © 2008 John Wiley & Sons, Inc.

پرسشها

- 1- مطالعه خوردگی در کدام حوزه ها اهمیت دارد؟ چرا؟
- 2- موارد سلامتی، ایمنی محیطی و عمر محصولات در ارتباط با خوردگی را شرح دهید.
- 3- خسارتهای خوردگی شامل چه هزینه هایی می شود؟
- 4- هزینه های مستقیم خوردگی شامل چه مواردی خواهد شد؟
- 5- انواع تعاریف خوردگی را بیان کنید. کدام تعریف را منطقی تر می دانید؟
- 6- مدیریت ریسک و جایگاه آن در مدیریت خوردگی را توضیح دهید.
- 7- فرایند خوردگی را از نظر دمای، واکنشی و نوع محلول الکترولیتی با ذکر مثال شرح دهید.

مراجع

- 1- R. Winston Revie, Herbert H. Uhlig, Corrosion and Corrosion Control: An Introduction to Corrosion Science and Engineering, Fourth Edition, Copyright © 2008 John Wiley & Sons, Inc.
- 2- Mars G. Fontana, Corrosion Engineering, 3rd Edition, McGraw-Hill Book Company, 1985.
- 3- مجموعه مقالات دومین کنگره خوردگی در صنایع نفت 29 - 30 بهمن ماه 1381 تهران؛ مؤلفان: محمدرضا شیشه‌ساز، هیات مؤلفان.