

فصل (۱)

مقدمه

۱-۱ هزینه‌های خوردگی

تخمین‌های هزینه‌های سالانه خوردگی در ایالات متحده بین ۸ میلیارد دلار تا ۱۲۶ میلیارد دلار می‌باشد. من معتقدم که ۳۰ میلیارد دلار واقعی‌ترین رقم باشد. بهر ترتیب، خوردگی زیان اقتصادی عظیمی است و برای کاهش دادن به آن کارهای زیادی می‌توان انجام داد. اگر این نکته را در نظر بگیریم که هر جا فلز و مواد دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند خوردگی با درجه و شدت‌های متفاوتی واقع می‌گردد، این رقم‌های بزرگ دلاری چندان غیرمنتظره نخواهند بود. به مثال‌های زیر توجه کنید.

بر طبق آمارهای وال استریت جورنال (۱۱ سپتامبر ۱۹۸۱) هزینه خوردگی در صنعت نفت و گاز حدود ۲ میلیارد دلار است. این هزینه‌ها در حال افزایش هستند زیرا چاه‌ها عمیق‌تر و محیط‌ها خورنده‌تر می‌شوند - دماهای بالا و گازهای سولفوری خورنده

(مثلاً ۵۰۰ درجهٔ فارنهایت و سولفور هیدروژن)

خوردگی پلها با گذشت زمان یک مشکل اساسی است و تعویض آنها بیلونها دلار هزینه در بر دارد. سقوط پل سیلور بریج (به خاطر خوردگی توام با تنش) در رودخانهٔ اوهایو به قیمت جان ۴۰ انسان و میلیونها دلار تمام شد. خوردگی پلها حدود ۵۰۰ میلیون دلار هزینه در بر دارد. طراحی صحیح و استفاده از حفاظت کاتدی هزینه‌ها را به مقدار زیادی کاهش می‌دهد. یک کمپانی بزرگ مواد شیمیایی سالیانه بالغ بر ۴۰۰/۰۰۰ دلار صرف تعمیرات و نگهداری در رابطه با خوردگی در واحدهای اسیدسولفوریک می‌کند، در حالی که شرایط خوردگی چندان حاد نبود. در یک کارخانهٔ دیگر هزینهٔ رنگ آمیزی برای جلوگیری از زنگ زدن در آتمسفر دریایی ۲ میلیون دلار در سال است. در یک پالایشگاه که فرآیند جدیدی را شروع کرده بود بعد از فقط ۱۶ هفته مشکل حادی بوجود آمد؛ بعضی قطعات به میزان تا $\frac{1}{8}$ اینچ خورده شده بودند. صنعت نفت برای حفاظت خطوط لولهٔ زیرزمینی روزانه یک میلیون دلار خرج می‌کند. در صنعت کاغذ پیش بینی می‌شود که خوردگی باعث افزایش قیمت کاغذ به میزان ۶ تا ۷ دلار در هر تن می‌شود. تبدیل ذغال سنگ به گاز و نفت مشتمل است بر دماهای بالا، ذرات ساینده، گازهای خورنده، و لذا مشکلات خوردگی حادی در بر دارد که بایستی راه‌های آنها پیدا شود.

هزینه‌های خوردگی در اتومبیل‌ها - سیستم سوخت، رادیاتور، اگزوز، و بدنه - در حد بیلونها دلار است. من شخصاً ۵۰۰ دلار هزینهٔ تعویض سیستم سوخت اتومبیل را پرداخت نمودم زیرا مخلوط آب و بنزین وارد آن شده بود! (عکس تانک بنزین در روی جلد مجلهٔ متریال پرفورمانس^(۱)، مارس ۱۹۸۲ نشان داده شده است). تقریباً ۳ میلیون آبرگر مکن خانگی سالانه به علت خوردگی بایستی تعویض گردند. خوردگی در همه جا وجود دارد - در داخل و خارج از منزل، در جاده، در دریا، در کارخانه، و در وسائل هوا - فضایی.

کل هزینه سالانهٔ سیلها، گردبادها، آتش سوزیها، رعد و برقها و زمین لرزه‌ها کمتر از هزینهٔ خوردگی می‌باشند. هزینه‌های خوردگی در دههٔ آینده به دلیل کمبود جهانی مواد ساختمانی، هزینهٔ بالاتر انرژی، محیطهای خورنده‌تر در فرآیندهای تبدیل ذغال سنگ، افزایش وسیع در تعداد و محدوده‌های کاری کارخانجات و فاکتورهای دیگر به

مقدار قابل ملاحظه‌ای افزایش خواهد یافت.

ملاحظات سیاسی نیز یک عامل مهم هستند. ما در مورد بعضی فلزات عمدتاً وابسته به کشورهای خارجی هستیم: ۹۰ درصد کرم (عنصر آلیاژی اصلی برای فولادهای زنگ نزن) و ۱۰۰ درصد کلومیم (نیویم) که در آلیاژهای مورد استفاده در دماهای بالا مورد استفاده قرار می‌گیرد. این منابع را ممکن است قطع کنند یا قیمت‌ها را افزایش دهند. مثلاً در یک بحران اخیر، قیمت کلومیم از ۵ دلار به ۵۰ دلار برای هر پوند افزایش یافت. تولید فلزاتی که برای مقابله با خوردگی یا برای جایگزینی قطعات خورده شده بکار می‌روند، مقادیر انرژی بالایی لازم دارند، و در نتیجه مشکل انرژی مملکت را حادتر می‌کنند.

جامع‌ترین بررسی هزینه سالانه خوردگی فلزات در ایالات متحده بوسیله اداره ملی استاندارد NBS^(۱) و انستیتو بتل^(۲) در پاسخ به کنگره انجام شد. نتایج در یک سری هفت قسمتی به چاپ رسیده است. اولین قسمت این گزارش تحت عنوان "بررسی هزینه های خوردگی بوسیله اداره ملی استاندارد - انستیتو بتل (۷۰ بیلیون دلار) قسمت اول - مقدمه" در متریال پرفورمانس، ماه مه ۱۹۸۰ به چاپ رسیده است. شش قسمت بعدی در شماره‌های بعدی آن مجله به چاپ رسیدند: "ژوئن - نوامبر ۱۹۸۰". رقم ۷۰ بیلیون دلار^(۳) هزینه خوردگی فلزات (غیر فلزات شامل نشده‌اند) در سال ۱۹۷۵ می‌باشد. اگر خوردگی وجود نداشته باشد، این مقدار از نظر عملی کاربردی ندارد، ولی اهمیت مسئله را می‌رساند. متأسفانه، در مقالات بعدی، ۷۰ بیلیون دلار را "هزینه خوردگی" بیان نموده‌اند و این گمراه کننده است. (این مفهوم را بیان می‌کند که ۷۰ بیلیون دلار می‌تواند صرفه جویی گردد) زیرا در مورد کاهش اکثر این هزینه‌ها هیچ راه حل اقتصادی وجود ندارد. تا حدودی شبیه این است که سؤال شود در مورد بودجه مواد غذایی چقدر صرفه جویی خواهد شد اگر از خوردن غذا خودداری کنید. لکن، گزارش حاکی از آن است که حدود ۱۰ بیلیون دلار از هزینه فوق‌الذکر را می‌توان با اعمال بهترین روشهای موجود مبارزه با خوردگی صرفه جویی نمود. صنایع مواد شیمیایی متحمل هزینه‌های بالایی می‌گردند علیرغم اینکه این صنعت در زمینه روشهای کنترل خوردگی در خط اول

1- National Bureau of Standards

2- Battelle Memorial Institute

۳ - وزارت اقتصاد ایالات متحده اظهار داشته است "خوردگی در ۱۹۸۲ حدود ۱۲۶ بیلیون دلار برای ایالات متحده هزینه خواهد داشت." (متریال پرفورمانس، فوریه ۱۹۸۳)

قرار دارد.

در حقیقت اگر خوردگی وجود نداشت اقتصاد جامعه ما بشدت تغییر می کرد. مثلاً اتومبیلها، کشتیها، خطوط لوله های زیرزمینی و وسایل خانگی احتیاج به پوشش نداشتند، صنایع فولاد زنگ نزن از بین می رفتند و مس فقط برای مقاصد الکتریکی بکار می رفت. اکثر کارخانجات و محصولات که از فلز ساخته می شوند از فولاد یا چدن ساخته می شدند.

اگر چه خوردگی اجتناب ناپذیر است، ولی هزینه آنرا به مقدار زیادی می توان کاهش داد. مثلاً یک آند ارزان قیمت منیزیم می تواند عمر تانک آب گرم خانگی را دو برابر کند. شستشوی اتومبیل برای زدودن نمکهایی که برای یخ بندان روی جاده می پاشند مفید است. انتخاب صحیح مواد و طراحی خوب، هزینه های خوردگی را کاهش می دهد. یک برنامه صحیح تعمیرات و نگهداری رنگ چندین برابر مخارجش را صرفه جویی می کند. اینجاست که مهندسی خوردگی وارد صحنه می شود و می تواند مؤثر باشد - مأموریت اصلی او مبارزه با خوردگی است.

جدا از مخارج مستقیم دلاری، خوردگی یک مشکل جدی است زیرا بطور روشنی باعث تمام شدن منابع طبیعی ما می گردد. مثلاً فولاد از سنگ آهن بدست می آید، و میزان تولید داخلی سنگ آهن پر عیار که مستقیماً قابل استفاده باشند بشدت کاهش یافته است. توسعه صنعتی سریع بسیاری از کشورها نشان می دهد که رقابت برای و قیمت منابع فلزی افزایش خواهد یافت. ایالات متحده دیگر مصرف کننده اصلی منابع معدنی نیست.

۱-۲ مهندسی خوردگی

مهندسی خوردگی کاربرد دانش و فن یا هنر جلوگیری یا کنترل خسارات ناشی از خوردگی به روش اقتصادی و مطمئن می باشد.

برای اینکه مهندس خوردگی به خوبی از عهده وظایف خود برآید، بایستی با اصول خوردگی و عملیات مبارزه با آن، خواص شیمیائی، متالورژیکی، فیزیکی و مکانیکی مواد^(۱)، آزمایشات خوردگی، ماهیت محیط های خورنده، قیمت مواد اولیه،

نحوه ساخت و تولید، کامپیوتر^(۱) و طراحی قطعات آشنا باشد. او همچنین بایستی خصوصیات معمول یک مهندس که عبارت است از: توانائی ارتباط برقرار کردن با دیگران، صداقت^(۲) توانائی تفکر و تجزیه و تحلیل کردن، آگاهی عمیق از اهمیت خطرات در عمل، عقل سلیم یا^(۳) شعور، منظم و مرتب بودن، و مهمتر از همه احساس عمیق و صحیح مسائل اقتصادی را دارا باشد. در حل مسائل خوردگی، مهندس خوردگی بایستی روشی را انتخاب نماید که بیشترین بهره را در برداشته باشد.

مقالات زیر کاربردهایی از تکنولوژی کامپیوتر در مهندسی خوردگی را نشان می‌دهد:

ماشینهای متفکر (هوش مصنوعی) در ژورنال مهندسی شیمی، سپتامبر ۱۹۸۱، صفحات ۴۵ - ۵۱ به بررسی مثالهای متعددی در مورد پیش بینی خوردگی توام با تنش پرداخته است. همچنین از دیگر کاربردهای تکنولوژی کامپیوتر در خوردگی می‌توان به مقالات زیر اشاره کرد.

S. N. Smith and F.E. Rizzo, Computer Assisted Corrosion

Engineering, *Materials Performance*, 19:21 - 23 (Oct 1980)

C. Edeleanu, the Effect of the Microprocessors on Corrosion

Technology, *Materials Performance*, 22: 82 - 83 (Oct 1983)

در گذشته تعداد نسبتاً کمی از مهندسين با آموزش رسمي در خوردگی وجود داشتند. اکثراً افرادی که در این رشته کار می‌کردند دارای زمینه‌های شیمی، برق یا متالورژی بودند. خوشبختانه این وضعیت امروزه تغییر کرده است.

از فقط ۳ دانشگاه در ۱۹۴۶، امروزه ۶۵ دانشگاه در ایالات متحده دروس رسمی در زمینه خوردگی ارائه می‌کنند^(۴). کتاب حاضر، کتاب معروفی برای این دروس می‌باشد. مفهوم اینها آن است که امروزه صدها مهندس در صحنه وجود دارند که درس رسمی در زمینه خوردگی گذرانده‌اند. در گذشته، و حتی امروزه، خوردگی را به عنوان "معضلی" که بایستی آنرا تحمل کرد در نظر می‌گیرند. غفلت علت بسیاری از انهدام‌های

۱ - برای آشنایی با دگرگونی بوجود آمده در اثر وارد شدن تجهیزات الکترونیکی در علم و مهندسی خوردگی، به فصل ۴ مراجعه گردد.

2- Integrity

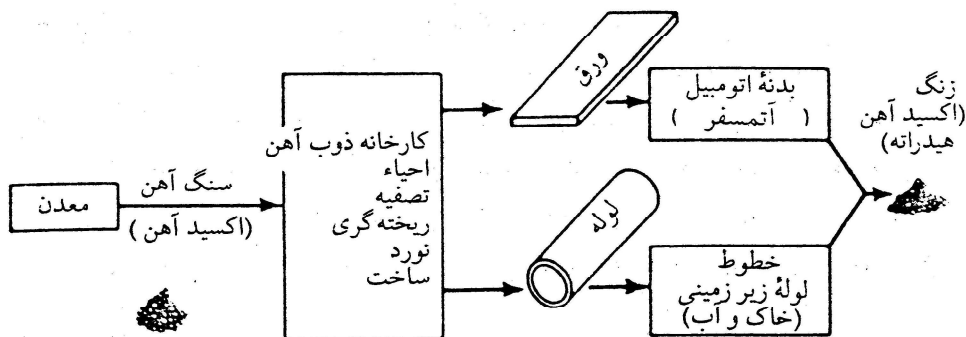
3- Common sense

۴ - من در ۱۹۳۲ در دانشگاه میشیگان یک درس خوردگی گذراندم. اگر خواننده از یک درس دانشگاهی خوردگی قدیمی‌تری آگاه است مایلم از آن آگاه شوم.

زودرس، غیر منتظره و گران می باشد - غفلت بوسیله افرادی که بایستی اطلاعات بهتری داشته باشند بطور مثال، دو فروشنده آندهای قریانی شونده، سیستمهای خود را حفاظت آندی می نامند! در حقیقت این سیستم حفاظت کاتدی است که کاملاً متفاوت است.

۳-۱ تعریف خوردگی

خوردگی را تخریب یا فاسد شدن یک ماده در اثر واکنش با محیطی که در آن قرار دارد تعریف می کنند. بعضی ها اصرار دارند که این تعریف بایستی محدود به فلزات باشد، ولی غالباً مهندس خوردگی بایستی برای حل یک مسئله هم فلزات و هم غیر فلزات را در نظر بگیرد. در این کتاب سرامیکها، پلاستیکها، لاستیک و مواد غیر فلزی دیگر نیز منظور شده اند. مثلاً، تخریب رنگ و لاستیک بوسیله نور خورشید یا مواد شیمیایی، خورده شدن جداره کوره فولادی سازی، و خورده شدن یک فلز جامد بوسیله مذاب یک فلز دیگر تماماً خوردگی نامیده می شوند. خوردگی می تواند سریع یا کند صورت گیرد. فولاد زنگ نزن ۱۸۸ در حالت حساس شده بوسیله اسیدپلی تیونیک ظرف چند ساعت بشدت خورده می شود. ریل های راه آهن معمولاً به آهستگی زنگ می زنند - ولی سرعت زنگ زدن آنقدر نیست که بر کارایی آنها در طول سالهای زیاد اثری بگذارد. ستون آهنی معروف دهلی در هندوستان حدود ۲۰۰۰ سال پیش ساخته شده و هنوز به خوبی روز اول است. ارتفاع آن ۳۲ فوت و قطر آن ۲ فوت است. لکن بایستی



شکل ۱ - ۱ متالورژی استخراجی و برعکس آن

توجه شود که این ستون آهنی عموماً در شرایط جوی خشک قرار داشته است.

خوردگی فلزات را همانطور که در شکل ۱-۱ نشان داده شده است می توان برعکس متالورژی استخراجی در نظر گرفت. در متالورژی استخراجی، هدف عمدتاً بدست آوردن فلز از سنگ معدن و تصفیه یا آلیاژ سازی آن برای مصارف مختلف می باشد. اکثر سنگ معدنهای آهن حاوی اکسیدهای آهن هستند و زنگ زدن فولاد بوسیله آب و اکسیژن منجر به تشکیل اکسید آهن هیدراته می گردد. اگرچه اکثر فلزات موقعی که خورده می شوند تشکیل اکسیدهایشان را می دهند ولی لغت زنگ زدن فقط در مورد آهن و فولاد بکار می رود. بنابراین می گوئیم فلزات غیر آهنی خورده می شوند و نمی گوئیم زنگ می زنند.

۱-۴ محیطهای خورنده

عملاً کلیه محیطها خورنده هستند، لکن قدرت خوردنگی آنها متفاوت است. مثالهایی در این مورد عبارتند: از هوا و رطوبت، آبهای تازه، مقطر، نمکدار، و معدنی، آتمسفرهای روستائی، شهری، و صنعتی، بخار و گازهای دیگر مثل کلر، آمونیاک، سولفور هیدروژن، دی اکسید گوگرد، و گازهای سوختنی، اسیدهای معدنی مثل اسید کلریدریک، سولفوریک، و نیتریک، اسیدهای آلی مثل اسید نفتیک، استیک، و فرمیک، قلیائی ها، خاکها، حلالها، روغنهای نباتی و نفتی، و انواع و اقسام محصولات غذایی. بطور کلی مواد "معدنی" خورنده تر از مواد "آلی" می باشند. مثلاً خوردگی در صنایع نفت بیشتر در اثر کلور سدیم، گوگرد، اسید سولفوریک و کلریدریک و آب است تا بخاطر روغن، نفت و بنزین. کاربرد درجه حرارتها و فشارهای بالا در صنایع شیمیائی باعث امکان پذیر شدن فرآیندهای جدید یا بهبود فرآیندها قدیمی شده است، به عنوان مثال راندمان بالاتر، سرعت تولید بیشتر، یا تقلیل قیمت تمام شده. این مطلب همچنین در مورد تولید انرژی از جمله انرژی هسته ای، صنایع فضائی و تعداد بسیار زیادی از روشها و فرآیندها صادق است. درجه حرارتها و فشارهای بالاتر معمولاً باعث ایجاد شرایط خوردگی شدیدتری می گردند. بسیاری از فرآیندها و عملیات متداول امروزه بدون استفاده از مواد مقاوم در برابر خوردگی غیر ممکن یا غیر اقتصادی می باشند.

۱-۵ خسارات ناشی از خوردگی

در چند پاراگراف بعدی بعضی اثرات زیان بار خوردگی تشریح خواهد شد. لکن

قبل از شروع باین مطلب بعضی کاربردهای مفید آن ذکر می شود. مثلاً ماشینکاری بوسیله مواد شیمیائی^(۱) یا سوراخکاری بوسیله ماشینکاری بطور وسیعی در صنایع هواپیماسازی و صنایع دیگر مورد استفاده قرار می گیرد. نواحی بدون روکش فلزی در معرض اسید قرار داده شده و مقدار لازم فلز اضافی در اسید حل می شود. این روش در مواردی اقتصادی تر است و در مواردی که قطعات سخت بوده و بوسیله روشهای معمول بسختی ماشینکاری می شوند، بکار می رود. آندیزه کردن آلومینیم نیز یک فرآیند مفید خوردگی است که برای بدست آوردن ظاهر مطلوب و پوسته اکسیدی مقاوم در برابر خوردگی، روی سطح این فلز مورد استفاده قرار می گیرد.

ظاهر: رنگ کردن اتومبیلها باین علت است که سطوح زنگ زده خوشایند نیستند. تجهیزات زنگ زده یا بشدت خورده شده در یک کارخانه تاثیر بدی روی بیننده خواهد گذاشت. در بسیاری از محیطهای روستائی و بیرون شهری ضخیمتر اختیار کردن فلز (بخطرات مسئله خوردگی) ارزاتر از رنگ کاری و تعمیرات و نگهداری آن می باشد. برای زیبایی، سطوح خارجی یازههای خارجی ساختمانها از فولاد زنگ زن، آلومینیم، یا مس ساخته می شوند. این مطلب در رستورانها و تاسیسات تجارتي دیگر نیز صادق است. اینها مثالهایی از هزینه هائی است که برای حفظ ظاهر در مقابل خوردگی متحمل می شویم.

مخارج تعمیرات و نگهداری و بهره برداری: کاربرد مواد مقاوم در برابر خوردگی باعث صرفه جوئی های عمده ای در بعضی کارخانجات می شود. در این زمینه یک مثال کلاسیک وجود دارد. در یک کارخانه صرفاً با تغییر جنس پیچ های مورد استفاده به یک فلز مقاومتر در شرایط کار، سالانه ۱۰،۰۰۰ دلار صرفه جوئی شد. هزینه این تغییر جنس ناچیز بود. یک کارخانه بازیابی اسید چندین ماه ضرر می داد تا اینکه یک مسئله خوردگی حاد آن حل شد. کاربرد حفاظت کاتدی در مورد خطوط لوله های زیرزمینی از سوراخ شدن آنها جلوگیری نموده و در نتیجه صرفه جوئی بزرگی در مخارج تعمیراتی به عمل آید. مخارج نیروی انسانی ایجاب می کند که بمنظور کم کردن قیمت تمام شده محصول، هزینه های تعمیرات و نگهداری بدقت بررسی شوند.

همکاری نزدیک بین مهندس خوردگی و پرسنل بهره برداری و طراحی، قبل از ساخت یک کارخانه باعث حذف یا کاهش عمده مخارج تعمیرات و نگهداری می شود.

تغییرات جزئی در فرایندها غالباً بدون تاثیر بر خود فرایند باعث تقلیل خوردندگی محلولهای مورد استفاده شده و در نتیجه امکان استفاده از مواد ارزاتر را مقدور می سازند. غالباً این تغییرات را بعد از ساخت کارخانه نیز می توان انجام داد، ولی در نظر گرفتن اقدامات اولیه مطلوب تر است، مشکلات خوردگی را اغلب می توان در مرحله طراحی سیستم کاهش داد یا حذف نمود و زمان اینکار در مرحله طراحی اولیه کارخانه می باشد.

وقتی که من در ۱۹۳۴ در دویانت شروع به کار کردم، می بایست هر ماهه میزان صرفه جویی هایی که در اثر تلاشهای مابوجود آمده بود را گزارش می دادیم. بعد از یکی دو سال مدیریت را متقاعد کردیم که اقدامات باز دارنده ضروری و اقتصادی بود. طراحان و مهندسین خوردگی در شروع پروژه دست بدست هم دادند و بسیاری از موارد خوردگی را با طراحی حذف کردند. پاک کردن یک خط روی نقشه ارزاتر و راحتتر است تا تعمیر و تعویض یک وسیله در یک کارخانه.

خواباندن کارخانه: غالباً بخاطر انهدامهای غیر منتظره خوردگی واحدی را متوقف می سازند یا قسمتی از یک سیستم را می خوابانند. گاهی اوقات این توقفها در اثر خوردگی است بدون آنکه تغییری در شرایط سیستم داده شود. ولی گاهی اوقات این توقفها در اثر تغییراتی در روشهای بهره برداری است که اشتباهاً از نظر خوردگی بدون تاثیر تلقی می شوند.

گاهی اوقات تغییرات جزئی در پروسه یا افزودن یک ماده جدید می تواند مسئله خوردگی را کاملاً دگرگون سازد. برای افزایش تولید، درجه حرارت محیط سرد کننده در سیستم مبدل حرارتی^(۱) تقلیل داده شد و در نتیجه زمان لازم برای سیکل عملیات کم شد. لکن پائین آوردن درجه حرارت محیط خنک کننده باعث ایجاد شیبهای حرارتی شدیدتری در دیواره فلز شده و تنشهای بالاتری در فلز بوجود آمد. ترک خوردن در اثر خوردگی و تنش (SCC) بسرعت واقع شده و منجر به خواباندن کارخانه گردید. نظارت دائمی بر فرایند و محیط خورنده در جلوگیری از انهدامهای غیر منتظره و خواباندن کارخانه نقش بسزائی دارد.

قرار دادن نمونه هائی از فلزی که تجهیزات از آن ساخته شده، در معرض پروسه و کنترل و بازرسی متناوب آنها با استفاده از یک الکتروود که دائماً سرعت خوردگی را ثبت

1- Heat - exchanger

می‌نماید از این قبیل می‌باشند. بازرسی متناوب تجهیزات در مواقعی که کارخانه به دلایل دیگری کار نمی‌کند، نیز از انهدامهای غیر منتظره جلوگیری می‌نماید.

آلوده شدن محصول: در اکثر موارد قیمت یک محصول در بازار به خلوص و کیفیت آن بستگی دارد. عاری بودن از آلودگی‌های جزئی فاکتور حیاتی در تولید و حمل و نقل پلاستیکهای شفاف، رنگها، مواد غذایی، داروها و نیمه هادیهاست. در بعضی موارد مقدار کمی خوردگی که باعث وارد شدن یونهای فلزی بداخل محلول می‌گردد ممکن است باعث تجزیه کاتالیزوری یک محصول گردد، بعنوان مثال در تولید وانتقال پراکسید تیدروژن غلیظ و یا هیدرازین. در مواردی که با آلودگی و تجزیه محصول مواجه هستیم عمر قطعه فاکتور مهمی نخواهد بود با وجود اینکه فولاد معمولی ممکن است سالها دوام بیاورد، ولی فلز گرانتری بکار برده می‌شود تا از آلودگی محصول به زنگ ناشی از فولاد معمولی اجتناب گردد.

نشت یا از بین رفتن محصولات با ارزش: نشت جزئی اسید سولفوریک به فاضلاب نگرانی حادی ایجاد نمی‌کند، زیرا اسید سولفوریک ماده ارزان قیمتی است. لکن، نشت یا از بین رفتن ماده‌ای که گالنی چند صد دلار ارزش دارد بایستی سریعاً متوقف گردد. نشت جزئی ترکیبات یا محلولهای اورانیم خطرناک است و می‌تواند خیلی گران تمام بشود. در چنین مواردی استفاده از طراحی گرانتر و مواد بهتر برای ساخت تجهیزات بخوبی قابل توجیه هستند.

اثرات بر امنیت و قابلیت اعتماد: کار کردن با مواد خطرناک مثل گازهای سمی، اسیدکلرئیدریک، اسید سولفوریک و اسید نیتریک غلیظ، مواد منفجره و قابل اشتغال، مواد رادیو اکتیو، و مواد شیمیائی در دماها و فشارهای بالا مستلزم استفاده از نوعی مواد ساختمانی است که خطر انهدامهای خوردگی به حداقل برسد. ترک خوردن در اثر خوردگی توام با تنش در دیواره فلزی که سوخت و عامل اکسید کننده را در یک موشک از هم جدا می‌سازد، می‌تواند باعث اختلاط زودرس شده و باعث از بین رفتن میلیونها دلار و جراحات انسانی گردد. شکست یک قطعه کوچک ممکن است باعث انهدام یا تخریب تمام ساختمان گردد. تجهیزاتی که در حال خورده شدن هستند می‌توانند باعث تبدیل شدن ترکیبات نسبتاً بی خطر به مواد منفجره شوند. صرفه جویی در مواد ساختمانی در مواردی که امنیت بخطر افتد، مطلوب نیست.

ملاحظات دیگر بهداشتی نیز می‌توانند مهم باشند مثل آلودگی آب آشامیدنی.

محصولات خوردگی می‌توانند باعث شوند که ضد عفونی کردن تجهیزات مشکلتر گردد. یک مثال جالب توجه در این رابطه در مورد کارخانجات شیر و محصولات لبنیاتی دیگر است. در کارخانجات تولید مواد لبنیاتی و شیر در گذشته از فولادهای زنگ نزن فریتی استفاده می‌شد و دستگاهها طوری طراحی می‌شدند که براحتی قابل باز کردن برای تمیز کردن و ضد عفونی کردن باشند^(۱). در کارخانجات مدرن تجهیزات در جا تمیز و ضد عفونی می‌شوند. در این روش از مواد شیمیایی قوی و خورنده (از نقطه نظر یونهای کلر و ایجاد خوردگی حفره‌ای) استفاده می‌شود. این محلولها را داخل سیستم سیرکوله می‌کنند بدون اینکه تجهیزات را باز نمایند و بدین ترتیب در نیروی انسانی صرفه جویی‌های زیادی می‌شود. در این کارخانجات بایستی از فولاد زنگ‌نزن مقاوم در برابر خوردگی حفره‌ای یعنی نوع ۳۱۶ محتوی نیکل و مولیبدن استفاده شود.

خوردگی همچنین نقش مهمی در فلزاتی که در داخل بدن بکار می‌روند بازی می‌کند. در فلزاتی که در اتصال مفصلها، پیچها، ورقه‌ها و دریچه‌های قلب به کار می‌روند قابلیت اعتماد از اهمیت والایی برخوردار است.

یک تجربه غیر عادی^(۲) بر اهمیت ملاحظات امنیتی تاکید می‌کند. یک تانک فولاد کربنی بزرگ تمیز و شسته شده و یک کارگر برای تعمیرات وارد آن شد. این کارگر در اثر خفگی جان سپرد زیرا مقدار اکسیژن هوای داخل تانک در اثر "زنگ زدن سریع تانک" کاهش یافت (به حدود ۱٪ اکسیژن) اگر یک دریچه دیگر باز گذاشته شده بود، جریان طبیعی هوا را عوض می‌کرد.

مسئولیت عملکرد محصول: یک روند مهم و نگران کننده‌ای که در این مملکت در جریان است، این است که مسئولیت قانونی انهدام قطعات در اثر خوردگی یا هر دلیل دیگری را به عهده تولید کننده یا سازنده می‌اندازند. وزارت بازرگانی ایالات متحده گزارشی در زمینه افزایش ادعاهای قانونی در مورد مسئولیت عملکرد محصول انتشار داده است و اشاره می‌کند که این گونه ادعاها در صد افزایش بسیار بالایی پیدا کرده و در حال رسیدن به ادعاهای بیمه در زمینه خطاهای پزشکی می‌باشند. یک تخمین نشان می‌دهد که در سال ۱۹۶۵ غرامت متوسط ادعاهای قانونی در مورد عملکرد محصول ۱۱۶۴۴ دلار بوده است و تا سال ۱۹۷۳ این رقم به ۷۹۹۴۰ دلار افزایش یافته است، (۶۸۶٪ افزایش). عدم وجود "قرارداد"، یا "غفلت" دیگر دلایل موجهی برای دفاع

نیستند.

یک مثال مضحک (برای روشن کردن مسئله) شکایت از سازنده اتومبیل بخاطر خورده شدن اتومبیل در اثر رانندگی در دریاچه‌ای از اسید کلریدریک می‌باشد اتومبیل را می‌توان از تاتال ساخت. ولی قیمت آن سر به آسمان می‌زند، و هیچکس آنرا نمی‌تواند بخرد، و بعد کمپانی سازنده بایستی برای سلب مسئولیت از خود کتباً اعلام کند که اسید فلوریدریک نبایستی در محیط وجود داشته باشد.

منظور این است که تولیدکننده یا سازنده یک محصول بایستی مطمئن باشد که از مواد مناسب استفاده شده و کنترل کیفیت خوب وجود داشته است. با طراحی که تا حد امکان بی خطر است، و بازرسی دقیقاً انجام شده (قسمت ۲-۱۲) مهندس خوردگی بایستی مطمئن باشد که انهدام در محیط مورد نظر اتفاق نخواهد افتاد. او همچنین بایستی از جنبه‌های قانونی نیز اطلاع داشته باشد. گذشت زمان مسئولیت در قبال محصول را از بین نمی‌برد، مثلاً دادخواستهایی در مورد انهدام یک پل که پس از ۴۰ سال کار صورت گرفت، تسلیم دادگاهها شدند.

اعدادی که در پاراگراف سوم لیست شده‌اند بمیزان بسیار زیادی افزایش یافته‌اند^(۱). فقط در محدوده مسئولیت عملکرد محصول غرامتهایی که توسط دادگاهها تعیین شده‌اند " در حال حاضر بالغ بر ۱۰۰ بیلیون دلار در سال شده‌اند " هزینه های حقوقی شرکتها برای دفاع از اعلام جرمها حدود ۵۰ بیلیون دلار در سال شده است. یک دلیل برای این افزایش سریع آن است که در این کشور حدود ۶۰۰،۰۰۰ حقوقدان وجود دارد، یعنی یک وکیل برای هر ۴۰۰ نفر، در ژاپن رقم مربوطه یک وکیل برای هر ۱۶۰۰۰ نفر می باشد. در ۱۹۸۴ دانشکده های حقوق در امریکا حدود ۳۵،۰۰۰ حقوقدان فارغ التحصیل داشتند - یعنی بیشتر از مجموع فارغ التحصیلان کارشناسی و بالاتر در مهندسی شیمی، فیزیک، و بیولوژی.

۱-۶ طبقه بندی خوردگی

خوردگی را به روشهای مختلف طبقه بندی می‌کنند. در یک روش، خوردگی به دو گروه خوردگی در درجه حرارتهای بالا و درجه حرارتهای پائین تقسیم می‌گردد. در یک روش دیگر خوردگی به ترکیب مستقیم (یا اکسیداسیون) و خوردگی الکتروشیمیائی

1- Chem. Eng. Progr (1984).

تقسیم‌بندی می‌گردد. در اینجا طبقه بندی عبارتست از (۱) خوردگی تر، (۲) خوردگی خشک، خوردگی تر در حضور یک مایع انجام می‌شود. معمولاً مایع شامل محلولها یا الکترولیتهائی بوده و عامل قسمت اعظم خوردگی است. یک مثال در این مورد خوردگی فولاد بوسیله آب می‌باشد. خوردگی خشک فوقی است که فاز مایع وجود نداشته باشد یا بالای نقطه شبنم محیط باشیم. در این موارد بخارات و گازها عمل خورنده بوده و غالباً این نوع خوردگی در درجه حرارتهای بالا صورت می‌گیرد. یک مثال در این حالت خوردگی فولاد بوسیله گازهای کوره می‌باشد.

وجود حتی مقادیر کم رطوبت می‌تواند شکل خوردگی را بکلی دگرگون سازد. مثلاً کلر خشک باعث خوردگی فولاد معمولی نمی‌شود، لکن کلر مرطوب یا کلر حل شده در آب، بشدت خورنده بوده و باعث خوردگی اکثر فلزات و آلیاژها می‌گردد. در مورد تیتانیوم عکس این مطلب صادق است. گاز کلر خشک خورنده تر از گاز کلر مرطوب برای این فلز می‌باشد.

۷-۱ دورنمای آینده

در آینده مهندسين خوردگی بایستی جوابگوی انتظارت بیشتر و بیشتری باشند. مهندسين خوردگی بایستی با تخصص و کاربرد نبوغ خود جوابگوی مشکلات جدید بوده و آنها را حل نمایند. مسئله انرژی، کمبود مواد، و جنبه های سیاسی فاکتورهای پیچیده کننده نسبتاً جدیدی هستند. شرایط غیر عادی امروز، فردا عادی خواهد بود. در گذشته تأکید بر توسعه آلیاژها و مواد بهتر و وسیع تر بود. در آینده ممکن است آلیاژهای قابل قبولی جایگزین گردند. مثلاً ممکن است هنگامی که مقاومت کامل فولاد زنگ نزن ۱۸٪ کرم - ۸٪ نیکل ضروری نباشد بجای آن از آلیاژ آهن - ۶٪ کرم - ۶٪ آلومینیم استفاده کرد. امروزه وسایل تحقیقاتی جدیدی وجود دارند و در آینده نیز انواع بهتری بوجود خواهند آمد تا در مطالعه و درک خوردگی و جلوگیری از آن بکار روند. همکاری نزدیک بین مهندسين خوردگی و محققين خوردگی اجباری است. همکاریهای بیشتری بین ممالک مختلف انجام خواهد شد.

همکاری نزدیکتر بین مهندسين خوردگی (و مهندسين مواد) و مهندسين طراح یک اجبار است. مهندس خوردگی بایست از شروع پروژه بایست عضوی از تیم طراحی باشد. او نیز بایست نقشه ها و دستورالعمل ها را تأیید نماید. مهندسين خوردگی و

طراحی بایستی جنبه‌های مکانیک شکست و همچنین روشهای بازرسی و بررسی های غیر مخرب را بدانند.

نسبت به دهه قبل آگاهی ملی بیشتر شده است. شاهدی براین مدعا مطالعه هزینه خوردگی تحت در خواست کنگره (قسمت ۱-۱) می باشد. این آگاهی افزایش خواهد یافت^(۱). وان دوورده در مقاله "مواد مهندسی برای تکنولوژی پیشرفته در زمینه انرژی - نقطه نظرات اروپایی ها"^(۲) بر بسیاری از نکاتی که در این قسمت در این فصل آمده است تاکید می کند.

بعنوان مثال سرمایه گذاری در تحقیقات در مهندسی مواد برای بقای تامین انرژی در اروپا و نوآوریهای صنعتی حیاتی است. همچنین درباره مهندسی و علم مواد بایستی تجدید نظر شده و پتانسیل عظیم آن بعنوان یک حرفه در آینده را بایستی اعتراف نمود. "انستیتو تکنولوژی مواد برای صنایع شیمیایی" در ۱۹۷۷ تاسیس گردید. مصرف کنندگان و تولیدکنندگان برای مطالعه دستورات عملیاتی که خسارات خوردگی در زمینه‌های مورد علاقه مشترک را کاهش دهد، مثل یکدیگر به این مؤسسه کمک می کنند. بعضی از نتایج بدست آمده در این کتاب ارائه خواهند شد. گروههای صنعتی دیگر نیز بایستی تشکیلات مشابهی بوجود آورند. این تلاشهای مشترک از نظر هزینه مقرون بصرفه تر و مؤثرتر از تلاشهای فردی و پراکنده می باشد. در آینده تعداد زیادی کارخانجات که با محیطهای خورنده سر و کار دارند ساخته خواهد شد. اینها شامل کارخانجات تبدیل ذغال سنگ، برق، پالایشگاهها، سوختهای مصنوعی، چاههای نفت و گاز، هزاران مایل خطوط لوله، و تعداد زیادی واحدهای دیگر می باشند. تعداد سیستمهای کنترل محیط زیست با قیمتهای گزاف بشدت افزایش خواهند یافت. در بسیاری از موارد مشکلات خوردگی شدیدتر خواهند شد.

تقاضاهای بسیار زیادی از دانشگاهها و کالج ها برای آموزش در زمینه خوردگی وجود دارد. همکاری نزدیکتر بین دانشگاهها و صنایع بایستی صورت گیرد. بهترین راه کاهش هزینه‌های خوردگی این است که تکنیسینها و مهندسين خوردگی بیشتری داشته باشیم. دورنمای شغلی جالب و فوق العاده درخشانی برای مهندسين خوردگی وجود دارد.

۱- در بودجه فدرال در سال ۱۹۸۵ بالغ به ۱ بیلیون دلار برای تحقیق و توسعه (R&D) در مهندسی و علم مواد بودجه در خواست شده (متریال پر فورمانس، مه ۱۹۸۴)
2- Journal of Metals, July(1983).