مجله آموزش مهندسی ایران، شماره ۴، جلد ۱، ص. ۲۱-۱

# مسئله خوردگی و اهمیت آن در صنعت، اقتصاد و آموزش مهندسی معطوف به صنعت در ایران

**رضا جواهر دشتی**

**دبیر انجمن خوردگی ایران**

**چکیده :** خوردگی یکی از مهمترین معضلات صنعت در ایران است. برآورد شده که فقط در سال ۱۳۷۵ ضرر و زیان مستقیم اقتصادی صنایع ایران از خوردگی حدود سی‌برابر سرمایه گذاری دولت در بخش صنعت در همان سال بوده است. در این مقاله با مقایسه ایران و جهان از نظر مسائل مربوط به زیانهای خوردگی و سابقه علم و مهندسی خوردگی، پیشنهاداتی برای بهبود جایگاه واقعی آموزش خوردگی در نظام مهندسی ایران ارائه گردیده است.

**واژه‌های کلیدی:** خوردگی، زیانهای اقتصادی، زیانهای زیست محیطی، تاریخچه، مدیریت.

## ۱. مقدمه

یکی از واحدهایی که در بعضی از رشته‌های مهندسی بخصوص مهندسی شیمی و مهندسی متالورژی تدریس می‌گردد، خوردگی [۱] می‌باشد. این درس که از نظر ظاهر همانند دیگر دروس به‌نظر می‌رسد و گاه به سبب جنبهٔ الکتروشیمی خود موجبات "زدگی" دانشجویان را فراهم می‌آورد، از اهمیت بسیار زیادی در صنعت برخوردار است. تجارب نویسنده در تدریس چندین دوره بازآموزی صنعتی مهندسین شاغل، این نکته را به او اثبات نموده که متأسفانه نه تنها در دانشگاه بلکه حتی در گوشه گوشه صنایع به‌جای درک اهمیت مسئله خوردگی به‌عنوان یک کل منسجم، فقط به گونه‌ای مقطعی به‌منظور حل مشکل [۲] به این رشته از علوم مهندسی پرداخته می‌شود. گرچه در بیش از سیزده دانشگاه و مرکز تحقیقاتی در ایران، به تدریس و تحقیق در مورد خوردگی پرداخته می‌شود، اما هنوز این رشته از مهندسی نه تنها در بین تحصیلکردگان بلکه در بین متخصصان نیز از شناخت کامل برخوردار نیست. امروزه برای ما تعجب‌آور نیست که بشنویم فلان‌کس مهندس نرم‌افزار یا محیط زیست است اما هنوز هم قشر تحصیلکرده ما وقتی واژه "مهندسی خوردگی" را می‌شنود با نوعی سردرگمی با آن روبرو می‌شود. از طرف دیگر، دیده می‌شود که در اغلب صنایع یا از وجود مهندسان خوردگی بهره گیری نمی‌شود، یا آنکه کسانی که دوره تخصصی خوردگی را نگذرانیده‌اند، عهده‌دار مسئولیت خطیر حل مسائل خوردگی می‌باشند که جز اتلاف وقت، هزینه و انرژی حاصل دیگری ندارد. فارغ‌التحصیلان دانشگاهی با تخصص خوردگی نیز عموماً به‌دلیل عدم شناخت وضعیت موجود جامعه صنعتی در برابر مسئله خوردگی و ابعاد فاجعه‌آمیز آن، عموماً در شغل مرتبط با تخصص خود جذب نمی‌گردند. در این میان چاره چیست؟ تجارب نگارنده به او این نکته را اثبات نموده که چاره این کار "فرهنگ سازی" در بستر مهندسی در ایران و جهت دادن تحقیقات بخصوص در مقطع کارشناسی ارشد به سمت بررسی‌های موردی و حل مشکل می‌باشد. از طرف دیگر، وظیفه دانشگاه و نهادهای دانشگاهی - تحقیقاتی، معرفی هر چه بیشتر و گسترده‌تر مهندسی خوردگی به صنعت از طریق نشان دادن موارد قابل حل در صنعت توسط روشها و فنون مهندسی و علم خوردگی می‌باشد. در این مقاله به بررسی اجمالی و مقایسه علم و مهندسی خوردگی در ایران و جهان می‌پردازیم و از این لحاظ نه تنها برخی ملاحظات

---

۱. Corrosion

۲. Trouble-shooting

تاریخی، بلکه جنبه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی خوردگی را نیز به‌طور مشروح توضیح می‌دهیم تا دست‌اندرکاران با درک اهمیت این مسئله، کمر همت بسته و با برنامه‌ریزیهای اصولی و اجرایی، جایگاه شایسته علم و مهندسی خوردگی را در آموزشهای مهندسی در ایران به آن باز گردانند.

## ۲. خوردگی چیست

برای بیشتر مردم، خوردگی با مصادیق آن شناخته می‌شود، مثل زنگ‌زدگی قطعات آهنی [۱] یا سیاه شدن قاشقهای نقره‌ای [۲] و غیره. در واقع خوردگی همه اینها هست اما به تنهایی هیچکدام نیست. به‌طور مثال زنگ‌زدگی فقط به خوردگی آلیاژهای آهن اطلاق می‌شود و نه به دیگر آلیاژها. اصطلاح خوردگی در زبان فارسی و معادل آن در عربی، تأکل، هر دو ترجمه اصطلاح لاتینی هستند که به معنای "گازگرفته شده" یا "جویده شده" می‌باشد [۱]. برای خوردگی در کتب مختلف تعاریف گوناگون ذکر گردیده، تعریف استاندارد ISO 8044 از خوردگی عبارت است از: "واکنش فیزیکی - شیمیایی بین فلز و محیط اطرافش که معمولاً دارای طبیعت الکتروشیمیایی بوده و نتیجه‌اش تغییر در خواص فلز می‌باشد. این تغییرات خواص ممکن است منجر به از دست رفتن توانایی عملکرد فلز، محیط یا سیستمی شود که این دو، قسمتی از آنرا تشکیل می‌دهند" [۱]. اگر خوردگی را میل ترمودینامیکی فلز برای بازگشت به حالت اصلی خود یعنی ترکیبات معدنی اولیه بدانیم، در واقع مبارزه با خوردگی به منظور تقلیل اثرات آن، مبارزه با طبیعت است و مثل هر مبارزه‌ای از این دست، نیازمند انرژی و هزینه است که به زبان مهندسی یعنی بهبود روشهای طراحی، ساخت و تولید و آموزش نیروی انسانی به‌عنوان اجزاء چهارگانه فناوری.

گرچه بعضی از نویسندگان [۲] از فواید خوردگی نظیر استفاده در ساخت باطریها و غیره بحث نموده‌اند اما واقعیت آن است که خیر قلیل خوردگی نباید مانع از توجه به شر کثیر آن گردد.

## ۳. مثالهایی از زیانهای خوردگی

طبق روش استاندارد یولیش [۳] ضرر و زیانهای ناشی از خوردگی را می‌توان در سه گروه اصلی

---

۱. Rust

۲. Tarnish

۳. Uhlig

"اتلاف ماده و انرژی"، "ضررهای مستقیم و غیرمستقیم اقتصادی" و "زیانهای وارده بر محیط زیست و ایمنی" جای داد [۳]. ما نیز بر همین اساس، به بررسی مثالهایی از زیانهای خوردگی می‌پردازیم.

### ۱.۳. اتلاف ماده و انرژی

بر اساس آمارهای بین‌المللی، در هر ۹۰ ثانیه یک تن فولاد در اثر زنگ‌زدگی از بین می‌رود. از طرف دیگر انرژی مورد نیاز تولید یک تن فولاد نیز حدوداً معادل انرژی مصرفی یک خانواده متوسط در عرض سه ماه می‌باشد [۴]. یعنی به عبارت دیگر، در سطح بین‌المللی تقریباً هر ۶ دقیقه انرژی مصرفی سالانه یک خانواده متوسط در اثر خوردگی به هدر می‌رود. این در حالی است که از هر تن فولاد تولیدی، در سطح جهانی، حدوداً پنجاه درصد آن برای جایگزین شدن به‌جای فولادهای زنگ زده بکار می‌رود [۴]. به مثال دیگری توجه کنید [۳]، اگر یک لوله ۸ اینچی به طور تقریبی فاصلهٔ تهران - همدان به ضخامت ۰/۳۳۲ اینچ در مقابل خوردگی محافظت گردد، ضخامت آن می‌تواند به ۰/۲۵۰ اینچ تقلیل یابد که این به معنای صرفه‌جویی ۳۷۰۰ تن فولاد و اضافه نمودن گنجایش داخلی لوله به میزان پنج درصد خواهد بود. طبق بررسی‌های مؤسسه تحقیقات برق ایالات متحده [۵]، خوردگی، مسئول ۵۵ درصد خاموشیهای ناگهانی شناخته شده است.

### ۲.۳. خسارات اقتصادی

خسارات اقتصادی ناشی از خوردگی را می‌توان به دو دسته "خسارات مستقیم" و "خسارتهای غیرمستقیم" طبقه‌بندی نمود. از طرف دیگر، "خسارتهای غیرمستقیم" نیز شامل مواردی مانند کاهش راندمان، بدشکلی ظاهری، اتلاف محصولات و غیره می‌شود. لازم به ذکر است که بخش عمده خسارات ناشی از خوردگی، خسارات غیرمستقیم است که اگر در این مورد آموزش کافی وجود نداشته باشد، به تدریج این بخش از خسارات به قدری رشد خواهد کرد که هزینه ناشی از آن، ممکن است حتی هزینه ناشی از خسارات مستقیم را تحت تأثیر قرار دهد. در جدول شماره (۱) خسارتهای مستقیم اقتصادی خوردگی در سالهای مختلف در چند کشور جهان، از جمله ایران ملاحظه می‌گردد [۶].

**جدول ۱ ضرر و زیان مستقیم خوردگی در چند کشور جهان در سالهای مختلف**

| کشور | سال | زیان مستقیم اقتصادی خوردگی | |
|---|---|---|---|
| ایالات متحده | ۱۹۴۹ | ۵/۵ | میلیارد دلار |
| | ۱۹۶۶ | ۱۰ | میلیارد دلار |
| | ۱۹۶۷ | ۸ | میلیارد دلار |
| | ۱۹۷۵ | ۷۰-۸۲ | میلیارد دلار |
| | ۱۹۷۹ | ۲۰۰ ±٪۳۰ | میلیارد دلار |
| | ۱۹۹۴ | ۳۰۰ | میلیارد دلار |
| آلمان | ۱۹۶۸-۱۹۶۹ | ۱۹ | میلیارد مارک |
| | ۱۹۷۸ | ۴۵ | میلیارد مارک |
| | ۱۹۸۸ | ۸۵ | میلیارد مارک |
| | ۱۹۹۴ | ۱۱۷ | میلیارد مارک |
| کانادا | ۱۹۷۹ | ۱۰ | میلیارد دلار |
| استرالیا | ۱۹۷۳ | ۴۷۰ | میلیون دلار استرالیا |
| بریتانیا | ۱۹۷۱ | ۱۳۶۵ | میلیون پاوند |
| هند | دهه هفتاد میلادی * | سالانه ۱ | میلیون دلار |
| پاکستان | دهه هفتاد میلادی * | سالانه ۱/۵ | میلیون دلار |
| مصر | دهه هفتاد میلادی * | سالانه ۱ | میلیون دلار |
| ژاپن | دهه هفتاد میلادی * | سالانه ۳ | میلیون دلار |
| ایران | دهه هفتاد میلادی * | تخمیناً حداقل ۱۰ | میلیون ایران ریال |
| | ۱۳۷۳ شمسی | تخمیناً حداقل ۵۰۰۰ | میلیارد ریال |
| | ۱۳۷۵ شمسی | تخمیناً حداقل ۹۰۰۰ | میلیارد ریال |

* مقدار متوسط سالیانه

### ۱.۲.۳. مثالهایی از خسارات اقتصادی خوردگی در جهان

هزینه‌ها و خسارات ناشی از خوردگی حدود ۱ تا ۵ درصد تولید ناخالص ملی (GNP) را تشکیل

می‌دهد که در حدود ۱/۵ الی ۲۵ درصد آن (و در بسیاری حتی بیشتر از این مقدار) ممکن است با اعمال روشهای مناسب کاهش داده شود [۷]. بر اساس گزارشها [۵] فقط در سال ۱۹۹۵ میلادی ضرر و زیان کمپانی معروف شل از خوردگی چهارصد میلیون دلار بوده است و کمپانی نفت انگلیس نیز، خوردگی را مسئول به هدر رفتن شش درصد کل ارزش دارایی خالص خود اعلام نموده است. زیان صنعت نفت و برق آمریکا از خوردگی، سالانه ده میلیارد دلار گزارش شده است [۸]. بر اساس تحقیقات مؤسسه تحقیقات برق ایالات متحده [۵]، معلوم شده است که خوردگی، مسئول اضافه شدن بیش از ۱۰ درصد به هزینه‌های سالانه برق خانگی می‌باشد. ضرر و زیان سالانه صنعت چوب و کاغذ کانادا از خوردگی بالغ بر ۴۰۰ میلیون دلار می‌باشد که این هزینه، شامل مواردی از قبیل هزینه‌های ناشی از تعطیل کار، از بین رفتن محصول، تعمیرات و مانند آن نمی‌گردد و این، در حالی است که ضرر و زیان صنعت چوب و کاغذ در سطح جهانی، سالیانه سه میلیارد دلار تخمین زده می‌شود [۹]. مطالعات نشان می‌دهد [۱۰] که به‌عنوان مثال در صنایع دریایی، هزینه کنترل خوردگی یک سکوی دریایی می‌تواند تا ده درصد هزینه کل سکو برسد. برآورد شده است [۱۱] که تنها در سال ۱۹۹۳ میلادی، شصت درصد کل هزینه‌های تعمیرات و نگهداری سکوهای تولید و استخراج نفت در دریای شمال (انگلستان)، مستقیماً یا غیرمستقیم به‌دلیل خوردگی بوده به‌طوری که از کل موارد مشاهده شده، ۳۵ درصد در ارتباط با خوردگی سازه‌ها، ۳۳ درصد موارد مربوط به خوردگی در سیستم فرآیند و ۲۵ درصد خوردگیها مربوط به خط لوله و تأسیسات دریایی بوده است. بر اساس گزارشهای شرکت سهامی نفت ترکیه، تقریباً هر سال در خطوط لوله مسئله خوردگی موجب تعویض لوله‌ها می‌شود، برای جایگزینی خط لوله جدید، روند تولید حداقل ۵ روز متوقف می‌شود: تعویض خط لوله توسط ماشین Work-Over Tower انجام می‌شود و هزینه‌ای معادل ۲۵۰ دلار در ساعت، به نرخهای سال ۱۹۹۲، در کنار دیگر هزینه‌ها، به سیستم مالی تحمیل می‌نماید [۱۲].

### ۲.۲.۳. مثالهایی از خسارتهای اقتصادی خوردگی در ایران

نشت[۱] سیالات که در اثر خوردگی حفره‌ای[۲] به‌وجود می‌آید، باعث می‌شود که واحدهای صنعتی

---

۱. Leakage

۲. Pitting

برای انجام تعمیرات برای مدتی تعطیل شوند که این عمل خسارات مالی فراوانی را به‌دنبال دارد: به ازای هر ۲۴ ساعت توقف در هر واحد در صنایع نفت، به‌طور متوسط یک میلیارد تومان خسارت وارد می‌شود [۱۳].

به‌غیر از صنایع نفت و نیرو، یکی از مهمترین صنایع دچار خوردگی، صنعت آب می‌باشد: همه ساله به علت پوسیدگیهای ناشی از خوردگی در شبکه آبرسانی و توزیع آب در تهران، حداقل ۳۰ درصد آبهای توزیعی - یعنی معادل حدود ۹۰۰ میلیون متر مکعب آب شهری در سال [۱۴] - در تهران [۱۵] و در استان آذربایجان شرقی حداقل ۲۰ درصد آبهای توزیعی به هدر می‌رود [۱۶]. این گونه خسارتها افزون بر ضرر و زیان ناشی از تعویض لوله‌های خورده‌شده می‌باشد. به این معنا که مثلاً در تهران، سی درصد آب تصفیه شده قبل از آنکه به‌دست مصرف‌کنندگان برسد به دلیل خوردگی در شبکه‌های آبرسانی اتلاف شده و به هدر می‌رود.

در استان آذربایجان شرقی، سالانه یکصد کیلومتر از شبکه لوله گذاری آب آشامیدنی تعویض می‌گردد [۱۶] که این، بار مالی سالانه‌ای در حدود هفتصدمیلیون تومان را به سیستم مالی کشور تحمیل می‌کند. به دلیل کمبود منابع مالی در سال ۱۳۷۷ از مبلغ فوق‌الذکر فقط پانصد و پنجاه میلیون تومان اختصاص داده شده است [۱۶]. در استان کرمان، گزارش معلوم کرده است که [۱۷]: اولاً، اکثر اتفاقات شبکه آب در بخش انشعابات اتفاق می‌افتد، ثانیاً، در لوله‌های فرعی حدود هشت درصد و در انشعابات حدود بیست درصد از اتفاقات به‌دلیل خوردگی رخ می‌دهند.

از شاخصهای اقتصادی مهم برای سنجش قدرت اقتصادی (و نیز زیانهای اقتصادی)، تولید ناخالص ملی (GNP) و تولید داخلی (GDP) می‌باشد. همانطور که قبلاً نیز عنوان گردید، معمولاً بین یک تا پنج درصد GNP به‌عنوان شاخصی برای محاسبه زیان اقتصادی خوردگی در کشورهای جهان به کار می‌رود. حال اگر فرض کنیم که این شاخص برای صنایع ایرانی تنها چهاردرصد تولید ناخالص ملی را تشکیل دهد (یعنی مقداری که حد استاندارد برای کشورهای صنعتی است [۱۸]). برای چند سال نمونه، می‌توان ضرر و زیان مستقیم اقتصادی خوردگی به صنایع ایران را - با فرض ثابت ماندن درصد ضرر از GNP - به شکل جدول شماره (۲) ارائه نمود، با تذکر این نکته که مقادیر GNP از گزارشهای اقتصادی مربوط استخراج شده‌اند [۱۹].

جدول ۲ برآورد زیان مستقیم خوردگی در صنایع ایران در چند سال نمونه [۲۰]

(ارقام به میلیارد ریال)

| سال | تولید ناخالص ملی (GNP) | | برآورد زیان حاصله بر حسب چهاردرصد GNP | |
|---|---|---|---|---|
| | به قیمتهای جاری | به قیمتهای ثابت ۱۳۶۱ | به قیمتهای جاری | به قیمتهای ثابت ۱۳۶۱ |
| ۱۳۶۵ | ۱۸۱۰۶/۸ | ۱۲۰۰۰/۷ | ~ ۷۲۰ | ~ ۴۸۰ |
| ۱۳۷۰ | ۵۰۵۶۹/۹ | ۱۲۳۷۷/۹ | ~ ۲۰۰۰ | ~ ۴۹۰ |
| ۱۳۷۳ | ۱۲۵۳۶۶/۶ | ۱۳۱۶۳/۵ | ~ ۵۰۰۰ | ~ ۵۳۰ |
| ۱۳۷۵* | ۲۲۹۹۲۲/۴ | ۱۴۵۰۶/۲ | ~ ۹۰۰۰ | ~ ۵۸۰ |

* برآورد بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران، گزارش اقتصادی و ترازنامه سال ۱۳۷۵

اگر رقم ۸۱/۵ میلیارد دلار را برای تولید ناخالص ملی ایران در سال ۱۹۹۸ میلادی معتبر بدانیم [۲۱]، با احتساب معیار چهاردرصد و نرخ تسعیر ۵۷۰۰ ریال برای هر دلار، در سال ۱۳۷۷ شمسی، برآورد می‌کنیم که ضرر و زیان مستقیم اقتصادی ناشی از خوردگی وارده به صنایع ایران، بیش از هیجده‌هزار میلیارد ریال باشد، یعنی در حدود کسر بودجه دولت در آن سال، و یا بسته به نرخ تسعیر، بیش از آن. در همین رابطه، بد نیست بدانیم که [۱۹] در سال ۱۳۷۵، پرداخت از محل اعتبارات عمرانی دولت به بخش صنعت و معدن مبلغ ۵۴۶/۵ میلیارد ریال بوده است که سهم صنعت از این پرداخت، مبلغ ۳۸۵/۹ میلیارد ریال بوده است. با رجوع به رقم تقریبی خسارات خوردگی به صنایع ایران در همان سال (نهصد میلیارد تومان) می‌توان برآورد نمود که حدود سی برابر آنچه در سال ۱۳۷۵ از طرف دولت در بخش صنعت سرمایه‌گذاری شده، توسط خوردگی به شکل زیان انباشته، از بین رفته است. این زیان انباشته از ناحیه خوردگی ضرر و خسارتی است که به‌دلیل آموزش نامناسب و ناکافی خود را در مراحل نامناسب، ساخت و تولید غلط و غیراصولی، بهره‌برداری بی‌رویه و حفاظت و نگهداری ضعیف نمایان می‌سازد. برای تأکید هرچه بیشتر زیان ناشی از خوردگی در صنایع، بگذارید مسئله را از زاویه دیگری بنگریم.

بنابرگزارش ساپکو (شرکت طراحی مهندسی و تأمین قطعات خودرو داخلی)، صنعت خودروسازی در ایران ۲/۵ درصد تولید داخلی (GDP) را به‌خود اختصاص می‌دهد [۲۲]. ابتدا بین GDP و GNP اقتصاد ایران، در دوره یازده ساله ۱۳۷۵-۱۳۶۵ مقایسه‌ای می‌کنیم.

جدول ۳ مقایسه GDP و GNP ایران در چند سال مختلف [۱۹]

(ارقام به میلیارد ریال)

| سال | تولید ناخالص ملی (GNP) | | برآورد زیان حاصله بر حسب چهاردرصد GNP | |
|---|---|---|---|---|
| | به قیمتهای جاری | به قیمتهای ثابت ۱۳۶۱ | به قیمتهای جاری | به قیمتهای ثابت ۱۳۶۱ |
| ۱۳۶۵ | ۱۷۵۱۲/۶ | ۱۱۵۹۳/۱۱ | ۱۸۱۰۶/۸ | ۱۲۰۰۰/۷ |
| ۱۳۶۶ | ۲۰۶۰۵/۴ | ۱۱۳۷۰/۱ | ۲۱۲۳۱/۱ | ۱۱۷۲۸/۱ |
| ۱۳۶۷ | ۲۳۰۴۸/۲ | ۱۰۷۲۶/۰ | ۲۳۵۳۳/۸ | ۱۰۹۶۹/۰ |
| ۱۳۶۸ | ۲۷۵۶۷/۵ | ۱۱۱۱۱/۴ | ۲۸۲۲۳/۱ | ۱۱۴۰۶/۲ |
| ۱۳۶۹ | ۳۵۷۵۵/۰ | ۱۰۶۶۴/۹ | ۳۶۳۸۱/۲ | ۱۰۹۹۷/۵ |
| ۱۳۷۰ | ۴۸۶۷۲/۶ | ۱۱۸۲۴/۸ | ۵۰۵۶۹/۹ | ۱۲۳۷۷/۹ |
| ۱۳۷۱ | ۶۴۴۰۰/۸ | ۱۲۴۷۷/۸ | ۶۶۳۹۵/۹ | ۱۲۹۸۵/۶ |
| ۱۳۷۲ | ۹۳۵۱۸/۰ | ۱۳۰۷۱/۰ | ۹۱۱۲۴/۶ | ۱۳۳۷۰/۸ |
| ۱۳۷۳ | ۱۲۹۳۵۰/۸ | ۱۳۲۸۰/۴ | ۱۲۵۳۶۶/۶ | ۱۳۱۶۳/۵ |
| ۱۳۷۴ | ۱۸۰۸۰۰/۱ | ۱۳۸۸۴/۰ | ۱۷۷۰۶۵/۶ | ۱۳۷۱۰/۷ |
| ۱۳۷۵ | ۲۳۳۶۵۰/۶ | ۱۴۶۰۵/۰ | ۲۲۹۹۲۲/۴ | ۱۴۵۰۶/۲ |

با توجه به ارقام جدول شماره (۳)، دیده می‌شود که مقادیر تولید ناخالص داخلی و تولید ناخالص ملی از نظر مرتبه بزرگی، کم و بیش، مشابه هستند. حال اگر فرض کنیم [۲۲]:

۱. با توجه به مشابهت GNP و GDP در ایران، نُرم چهاردرصد GNP به‌عنوان شاخص تخمین زیان حاصل از خوردگی به شکل نُرم چهاردرصد GDP به‌عنوان شاخص تخمین زیان حاصل از خوردگی نیز بتواند به کار گرفته شود؛

۲. سهم صنعت خودرو در GDP ایران در سال ۱۳۷۵ نیز، همان ۲/۵ درصد باشد؛

در این صورت، سهم صنعت خودرو در تولید ناخالص داخلی سال ۱۳۷۵، به قیمتهای جاری (با احتساب تورم) در حدود ۵۰۰۰ میلیارد ریال خواهد بود. با توجه به زیان کل صنایع کشور از خوردگی در سال ۱۳۷۵، که حدود ۹۰۰۰ میلیارد ریال تخمین زده می‌شود، به این نتیجه می‌رسیم که در سال ۱۳۷۵ در حدود ۱/۸ برابر آنچه صنعت خودرو عاید مملکت نموده، این سرمایه‌های

ملی از طریق خوردگی، اتلاف شده‌اند.

### ۳.۳. زیانهای ایمنی و زیست - محیطی ناشی از خوردگی

از موارد بسیار مهمی که در رابطه با خوردگی می‌توان بر شمرد مسائل مربوط به جنبه‌های ایمنی و زیست‌محیطی آن است. برای نمونه، خوردگی تنشی - نوعی از خوردگی در اثر عمل توأمان محیط خورنده، تنش کششی و حساسیت جنس ماده معروض به محیط خورنده - به‌وجود آورنده حوادث مختلفی، به‌طور مثال در خطوط لوله کانادا شده که شامل ۱۲ مورد ترکیدگی و ۱۰ مورد نشتی در لوله‌های نفت و گاز (با پوشش نوارهای پلی‌اتیلین) بوده است [۲۳]. درصد بسیاری از این آسیبها را می‌توان پیشگیری نمود و با اعمال مدیریت ریسک و عنایت به قانون ۸۰-۲۰ (حدود هشتاد درصد اتفاقات خطرناک در بیست درصد تأسیسات اتفاق می‌افتد [۲۴]) به‌همراه اصول مدیریت خوردگی [۲۷-۲۵] منطبق با استانداردهای ایزو ۱۴۰۰۰ [۲۸]، می‌توان از اتلاف جان و مال و وارد آمدن زیان و خساتهای شدید به محیط زیست جلوگیری نمود.

در جدول شماره (۴) برخی از خسارات ایمنی و زیست محیطی ناشی از خوردگی در کشورهای مختلف ارائه می‌گردد [۶].

**جدول ۴ بعضی از نتایج زیست - محیطی خوردگی**

| سال | محل | حادثه | دلیل احتمالی | نتایج |
|---|---|---|---|---|
| ۱۹۴۷ | آمریکا | غرق کشتی | خوردگی حفره‌ای در ته کشتی | انهدام کشتی |
| ۱۹۷۰ | حوزه نفتی دریای شمال | انهدام سکوهای نفتی | خوردگی تنشی | خسارات هنگفت مالی و جانی |
| ؟ | رودخانه اوهایو در ایالات متحده | تخریب و سقوط پل روی رودخانه | خوردگی تنشی | کشته‌شدن چهل انسان و وارد آمدن میلیونها دلار خسارت هنگفت مالی |
| ۱۹۷۴ | فلکس برو | انفجار راکتورهای بدنه‌فولادی (فولاد کربنی ساده) به ضخامت ۱۲/۳ میلیمتر با پوشش فولاد ضدزنگ به ضخامت ۳ میلیمتر | خوردگی تنشی | کشته و مجروح شدن تعدادی کثیر و وارد آمدن خسارات هنگفت مالی |

ادامه جدول ۴ بعضی از نتایج زیست - محیطی خوردگی

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| ؟ | نیروگاه هنکلی | انهدام توربین بخاری و تخریب ژنراتور | شکست ترد خودبه‌خودی ناشی از خوردگی تنشی در یکی از دیسکهای توربین از جنس فولاد ۳ درصد کروم و ۰/۵ درصد مولیبدن که تحت عملیات سریع و بازپخت قرار گرفته بود. | خسارات هنگفت مالی |
| ۱۹۸۵ | سوئیس | فروریختن سقف ۲۰۰ تنی بتنی سالن یک استخر سرپوشیده | خوردگی تنشی در میله‌های ساخته شده از فولاد ضدزنگ نگهدارنده سقف در اثر وجود یون کلر در فضای سالن | کشته شدن ۱۲ نفر و مجروح شدن تعدادی دیگر |
| ۱۹۹۶ | بلغارستان | آتش‌سوزی | نشت خطوط گاز مایع LGP در یک پالایشگاه | سه نفر از کارکنان پالایشگاه کشته و ۹ نفر نیز دچار سوختگی شدید شدند. |
| ۱۹۹۷ | کانادا | آلودگی محیط زیستی | نشت ۳۵ هزار لیتر نفت از خطوط لوله معیوب متعلق به شرکت Mobil Oil | نشت این مقدار نفت در عرض یک شب باعث آلودگی بسیار زیاد زیست‌محیطی در منطقه گردید |
| ۱۹۹۷ | روسیه | آلودگی محیط زیستی | نشت ۱۲۰۰ تن نفت از یک خط لوله معیوب | در حدود ۴۰۰ تن از این نفت به رود ولگا وارد شد. برای جلوگیری از پیشرفت آلودگی یک سد اضطراری بر روی رودخانه احداث گردید. |

## ۴. وضعیت خوردگی به‌عنوان علم و مهندسی در جهان و ایران [۱، ۲۹، ۳۰ و ۳۱]

مطالعات تاریخی، این نکته را آشکار ساخته که احتمالاً اولین سند مکتوب در باره زنگ‌زدگی مطالبی باشد که پلینی فیلسوف و دانشمند بزرگ یونانی (۷۹-۲۳ میلادی) در باره ادوات جنگی

ساخته شده از آهن و زنگ‌زدگی آن برای امپراطور معاصر خود نگاشت. همفری دیوی، دانشمند بزرگ انگلیسی به بررسی اصول خوردگی در اثر تماس فلزات غیرهمنام (= خوردگی گالوانیکی) پرداخته و نتایج آزمایشهای خود در باره چگونگی حفاظت کاتدی بدنه کشتیها با نصب آندهای فداشونده را در سال ۱۸۲۴ میلادی منتشر ساخت. اقدامات این دانشمند پایه‌های علمی و اجرایی حفاظت کاتدی را به‌وجود آورد و سبب توسعه و گسترش کاربرد آهن گالوانیزه گردید. مایکل فارادی دانشمند دیگر نامدار انگلیسی در سالهای ۴۰-۱۸۳۰ میلادی رابطه بین فعالیتهای شیمیایی و جریانات الکتریکی (نسبت به مقدار فلز حل شده و جریان برق) را کشف نمود و با اعلام این مطلب که انحلال فلزات ماهیت الکتروشیمیایی دارد، قدم بزرگی در شناخت خوردگی و ماهیت آن برداشت (جالب است در اینجا به این نکته اشاره کنیم که اولین قدمها در راه شناخت خوردگی میکروبی - نوعی از خوردگی الکتروشیمیایی متأثر از فعالیتهای متابولیکی میکروارگانیسمهای خاص - نیز در همین سالها یعنی سالهای میانی قرن نوزدهم برداشت شد). مطالعات و بررسیهای سازماندهی شده جهت بررسیهای خوردگی اولین بار توسط "انجمن ترویج علوم بریتانیا" در سالهای دهه ۱۸۳۰ میلادی صورت گرفت. نتایج قسمتی از این تحقیقات که برای مطالعه خوردگی آهن و چدن بود در سالهای ۱۸۳۸ تا ۱۸۴۳ میلادی منتشر گردید. در سال ۱۸۴۷ میلادی، ریچارد آدی [1] نشان داد که خوردگی ناشی از اثر اکسیژن بر روی آهن و در معرض سیالی در حال حرکت، سبب ایجاد جریان الکتریکی می‌شود. بعد از این سالها، مشعل این علم به قاره جدید منتقل شد و در ایالات متحده در سال ۱۹۰۳ میلادی پرفسور ویتنی نتایج مطالعات خود را به صورت مقاله‌ای کلاسیک تحت عنوان "ماهیت الکتروشیمیایی خوردگی" منتشر نمود که اصول علمی پدیده خوردگی را توضیح می‌داد.

تعلیم و آموزش رسمی در باره خوردگی اولین بار در آمریکا و در سال ۱۹۰۳ میلادی تحت عنوان "مقاومت شیمیایی مواد" توسط پروفسور واکر آغاز شد. این دانشمند در پیگیری فعالیتهای پروفسور ویتینی، آزمایشگاه شیمی کاربردی را تأسیس نمود. در سال ۱۹۱۲ میلادی عنوان موضوع به "مواد ساختمانی [2]" تغییر نمود و توسط پروفسور لوئیس تدریس آن انجام شد. در سال ۱۹۲۲ میلادی در انستیتوی تکنولوژی ماساچوست (MIT) برای اولین بار این موضوع تحت

---

۱. R. Adie

۲. Materials of construction

عنوان خوردگی[۱] توسط پروفسور ویتمن تدریس شد و سپس در سال ۱۹۳۱ میلادی پروفسور ویلیامز از اعضاء دانشکده متالورژی این دانشگاه تدریس موضوع "خوردگی و آلیاژهای مقاوم در برابر حرارت" را شروع نمود که تا سال ۱۹۴۲ میلادی ادامه یافت. از سال ۱۹۳۸ میلادی پروفسور اوهلیش ارائه درس قبلی پروفسور ویتمن را پی گرفت که پس از یک دوره فترت در طی جنگ جهانی دوم، مجدداً از سر گرفته شد و تا به‌حال نیز توسط شاگردان و همکاران ایشان ادامه دارد.

همگام با پیشرفتهای علمی در تبیین هرچه بیشتر اصول خوردگی، در سال ۱۹۰۶ میلادی در "انجمن آمریکایی آزمایش و مواد" (ASTM) کمیته‌ای جهت هماهنگی و اجرای آزمایشهای مخصوص خوردگی تشکیل شد که همزمان با شروع این اقدامات، سازمانهای دیگری نیز فعالیتهای خود را در زمینه بررسی مسائل خوردگی و چگونگی تدوین راههای جلوگیری یا کنترل آن آغاز نمودند. از بین پیشگامان در مطالعه اثرات خوردگی "کمیته آمریکایی الکترولیز" را می‌توان نام برد که اولین گزارش خود را در سال ۱۹۱۶ میلادی منتشر نمود. این کمیته که متشکل از نمایندگان ارگانهایی مانند:

- انیستیتو آمریکایی مهندسین برق (AIEE)
- انجمن آمریکایی برق (AEA)
- انجمن آمریکایی مهندسی راه آهن (AREA)
- دفتر ملی استانداردها (NBS)

و عده‌ای دیگر از سازمانها بود، فعالیتهای خود را بیشتر بر روی مسائل جدی و بسیار خطرناک ناشی از جریانات سرگردان[۲] که متوجه لوله‌ها و تأسیسات فلزی و کابلهای مخابرات در زیرزمین می‌شد، متمرکز ساخت. به موازات این پیشرفتها، در انگلستان "کمیته خوردگی انستیتوی آهن و فولاد" اولین گزارش خود را در سال ۱۹۳۱ میلادی و ششمین گزارش خود را در سال ۱۹۵۹ میلادی منتشر نمود. در سال ۱۹۳۸ میلادی "کمیته آمریکایی هماهنگی برای مسئله خوردگی" با شرکت نمایندگان ۱۷ سازمان و انجمن فنی تشکیل گردید. این گروه که هدف آن هماهنگ‌سازی فعالیتهای سازمانها و انجمنهای مختلف و جلوگیری از دوباره کاریها و پراکندگی اقدامات بود در سال ۱۹۸۴ میلادی در سازمانی به نام "انجمن ملی مهندسین خوردگی" (NACE) ادغام گردید. در

---

۱. Corrosion

۲. Stray Current

آمریکا، علاوه بر انجمن NACE که فعالیتهایش منحصراً بر روی خوردگی و روشهای کنترل آن متمرکز است تشکیلات و سازمانهای علمی - مهندسی زیادی به صورت دولتی و تجاری در زمینه خوردگی به فعالیت اشتغال دارند که از آن میان می‌توان:

- انجمن آمریکایی فلزات (ASM)
- انجمن آمریکایی آزمایش و مواد (ASTM)
- انجمن شیمی آمریکا
- انجمن الکتروشیمی

و از ارگانهای دولتی این کشور که در مورد خوردگی فعالند، می‌توان "دفتر ملی استانداردها" (NBS) را نام برد که فعالیتهای خود را بر روی مسائل مربوط به خوردگی و روشهای کنترل یا جلوگیری از آن از سال ۱۹۲۲ میلادی آغاز نموده است. همچنین تشکیلات دولتی دیگری که اغلب در اختیار سرویسهای نظامی می‌باشد نظیر:

- کمیسیون انرژی اتمی
- مدیریت فدرال مسکن
- سازمان ملی هوا و فضا (ناسا)

و نیز عده‌ای از دوایر و ادارات داخلی در سازمانها و تشکیلات گوناگون، به مطالعه و بررسی مسائل مربوط به خوردگی و کنترل آن مشغولند.

در شوروی سابق پروفسور توماشف و پروفسور چرنوا از پیشگامان و پایه‌گذاران تحقیقات خوردگی بوده‌اند. توماشف که ریاست آزمایشگاه خوردگی فلزات در انستیتوی شیمی - فیزیک مسکو را عهده‌دار بوده مطالعات بسیار ارزشمندی در باره روئین‌سازی[1] فلزات، رفتارهای الکتروشیمیایی و خوردگی فولادها و مانند آن انجام داده است. در آلمان نیز بررسیهای وسیع در این زمینه در مجله‌ای به نام Korrosion und Metall Schutz قبل از جنگ جهانی دوم منتشر می‌گردید که در سالهای جنگ انتشار جهانی آن متوقف گردید، ولی بعد از آن با نام جدید Werkstoffe und Korrosion فعالیتهای خود را مجدداً ادامه داد و اینک نیز یکی از معتبرترین مجلات علمی دنیا در این زمینه می‌باشد.

---

۱. Passivation

از سال ۱۹۴۵ میلادی دو مجله معتبر خوردگی یعنی Corrosion و Materials Performance(MP) از طرف NACE آمریکا منتشر شد. هم‌اینک در دنیا بیش از ۱۷ مجله تخصصی خوردگی به زبانهای اصلی انگلیسی، آلمانی، روسی و ژاپنی منتشر می‌شوند و تقریباً هر ساله در سراسر دنیا دهها کنگره و کنفرانس تخصصی خوردگی برگزار می‌شود که در آن محققان با عرضه دستاوردهای خود به باروری هرچه بیشتر این رشته از علوم مهندسی کمک می‌نمایند.

و اما در ایران، تدریس خوردگی به صورت درسی مستقل و تحت عنوان "خوردگی" از سال ۱۳۴۸ شمسی توسط مهندس رحیم زمانیان (از اعضاء مؤسس انجمن خوردگی و عهده‌دار ریاست آن در دو دوره) در دانشگاه صنعتی شریف آغاز شد که همزمان با آن اولین آزمایشگاه نیز دایر گردید. پس از تشکیل ستاد انقلاب فرهنگی و بازگشایی دانشگاهها در سال ۱۳۶۲، تدریس خوردگی در برنامه درسی رشته‌های مهندسی شیمی و متالورژی کلیه دانشگاهها گنجانده شد. در رابطه با تأکید بر اهمیت مسئله خوردگی، در قبل و بعد از انقلاب، کنگره‌ها، سمینارها و گردهماییهایی در مراکز دانشگاهی، تحقیقاتی و صنعتی کشور تشکیل گردید تا اینکه در سال ۱۳۶۵ در دانشکده فنی دانشگاه تهران برنامه‌ریزی معینی به‌صورت برپایی کنگره‌های ملی خوردگی به شکل دوسالانه صورت گرفت. به دنبال آن، اولین کنگره ملی خوردگی در سال ۱۳۶۷، دومین کنگره در سال ۱۳۶۹، سومین کنگره در سال ۱۳۷۲ در دانشکده فنی دانشگاه تهران، چهارمین کنگره در سال ۱۳۷۴ در دانشکده مهندسی دانشگاه صنعتی اصفهان، پنجمین کنگره در سال ۱۳۷۶ در دانشکده مهندسی متالورژی دانشگاه صنعتی شریف و ششمین کنگره ملی خوردگی در سال ۱۳۷۸ در دانشگاه صنعتی امیرکبیر برگزار شد.

در سال ۱۳۷۱ اقدامات رسمی جهت تأسیس "انجمن خوردگی ایران" به‌عمل آمد به‌طوری که در آبانماه همان سال اولین مجمع عمومی تشکیل و اولین هیئت مدیره انجمن انتخاب شد. انجمن خوردگی ایران تا قبل از سال ۱۳۷۱ به‌طور غیررسمی و از آن سال به بعد به‌طور رسمی با همکاری دانشگاهها برگزارکننده کنگره‌های ملی خوردگی بوده است. از دیگر فعالیتهای این انجمن علاوه بر انتشار خبرنامه، برگزاری سمینارها و دوره‌های آموزشی در مراکز صنعتی را می‌توان نام برد. علاوه بر انجمن خوردگی ایران، بعضی از مهمترین مراکز آموزشی - تحقیقاتی که در زمینه خوردگی در ایران فعال هستند عبارتند از:

۱. پژوهشگاه صنعت نفت
۲. بخش پژوهش شرکت صنایع پتروشیمی
۳. آموزشکده نفت اصفهان
۴. مرکز تحقیقات نیرو
۵. دانشکده مهندسی متالورژی دانشگاه صنعتی شریف
۶. دانشکده مهندسی مواد دانشگاه صنعتی اصفهان
۷. دانشگاه صنعتی امیرکبیر
۸. دانشکده مهندسی مواد دانشگاه فردوسی مشهد
۹. مرکز علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی
۱۰. دانشکده مهندسی مواد دانشگاه شهید باهنر کرمان
۱۱. دانشکده فنی دانشگاه شیراز
۱۲. دانشکده فنی دانشگاه تهران
۱۳. دانشگاه شهید چمران اهواز

**جدول ۵ مقایسه وضعیت علم و مهندسی خوردگی در ایران و جهان**

| | جهان | ایران |
|---|---|---|
| مطالعه منظم در مورد خوردگی | دهه اول قرن نوزدهم، مشخصاً در سال ۱۸۲۴ با آزمایشات همفری دیوی در مورد خوردگی گالوانیکی، حفاظت کاتدی، ... | دهه چهل شمسی، همزمان با ایجاد اولین آزمایشگاه خوردگی |
| تدریس درسی مستقل تحت عنوان خوردگی | سال ۱۹۲۲ میلادی توسط پروفسور واکر در انستیتوی تکنولوژی ماساچوست | سال ۱۳۴۶ شمسی توسط مهندس رحیم زمانیان در دانشگاه صنعتی شریف |
| تشکیل انجمن حرفه‌ای در مورد خوردگی | سال ۱۹۴۸ میلادی، انجمن ملی مهندسی خوردگی (NACE) | سال ۱۳۷۱ شمسی، انجمن خوردگی ایران |
| مجلات تخصصی در مورد خوردگی | بیش از ۱۷ مجله به زبانهای اصلی انگلیسی، آلمانی، روسی و ژاپنی | - |

بعلاوه، باید خاطرنشان کرد که تا آنجا که نگارنده اطلاع دارد، در حال حاضر انجمن خوردگی ایران تنها انجمن علمی است که در شهرستانها (از جمله اهواز و اصفهان) دارای شعب فعال می‌باشد. البته در سالهای اخیر به برکت افزایش نسبی آگاهی در مورد خوردگی و خطرات بالقوه و بالفعل آن، دیگر دانشگاهها و مؤسسات تحقیقاتی نیز به ایجاد و فعال نمودن واحدهای تحقیقاتی در باره خوردگی پرداخته‌اند که البته باید اذعان نمود هنوز تا کمال نسبی، راه درازی در پیش است.

همان طور که ملاحظه می‌شود، علم و مهندسی خوردگی و به تبع آن ارگانها و نهادهای مرتبط با آن در جهان از قدمتی نسبتاً طولانی برخوردارند. در جدول شماره (۵) به مقایسه برخی از اینگونه موارد در ایران و جهان پرداخته شده است.

## ۵. جایگاه خوردگی در آموزش مهندسی در ایران باید چگونه باشد؟

در بخشهای ۳ و ۴ این نوشته، تا حدودی به تفصیل، به ارائه آمار و اطلاعات پرداختیم و سعی کردیم که نشان دهیم:

۱. مسئله خوردگی و سهم آن در صنایع کشور به‌هیچ وجه موضوعی نیست که بتوان آن را نادیده گرفت. با توجه به اینکه محاسبات روی کاغذ اثبات می‌کنند که حداقل زیان وارد به صنایع کشور از این بابت، سالانه حداقل سی برابر سهم سرمایه گذاری دولت در بخش صنعت است، پس در عمل با فاجعه‌ای روبرو هستیم که به تدریج سرمایه‌های ما را می‌بلعد و آنها را مصروف هزینه‌هایی می‌کند که بعضی اثرات آن در درازمدت، شکنندگی سرمایه گذاریهای صنعتی، پایین‌بودن نسبی حاشیه سود به‌دلیل تحمیل هزینه‌های غیرضروری و تقلیل کیفیت می‌باشد.

۲. از نظر علم و مهندسی خوردگی نسبت به نرمهای استاندارد، وضعیت چندان مطلوبی نداریم و لازم است با عنایت به این حقیقت به بررسی دوباره برنامه‌های آموزشی مهندسی بپردازیم.

اما در اینجا این نکته مهم مطرح می‌شود که راهکارها (یا راهکارهای) اجرایی در این مورد چیست و چگونه باید برنامه‌ریزی نمود تا بتوان اهمیت مسئله خوردگی را در حد شایسته معرفی نمود.

در حال حاضر، در ایران علم و مهندسی خوردگی در گرایشهای شیمی (مهندسی شیمی) و متالورژی تدریس می‌گردد. این در حالی است که تمامی رشته‌های مهندسی (اعم از گرایشهای ریخته گری، شکل‌دادن فلزات، جوشکاری، مهندسی مواد، گرایشهای مختلف مهندسی مکانیک،

...) به روشهای "ساختن" می‌اندیشند در حالی که مهندسی خوردگی به روشها و راههای حفاظت در مقابل "تخریب" می‌اندیشد. از طرف دیگر برنامه‌های مدیریت انرژی - بر حسب احساس نیاز یا به پیروی از مدهای جهانی و در هر حال مشکور و مورد نیاز - توسط سازمانها و وزارتخانه‌های مختلف حمایت می‌شوند، اما کسی به اهمیت مدیریت ماده - استفاده بهینه از مواد از طریق مبارزه با خوردگی - عنایتی نمی‌کند و "صاحب عزا" در این میان کسی جز چند استاد دلسوخته دانشگاه و از نظر اجرایی و هماهنگی فعالیتها، نهادی جز انجمن خوردگی ایران نیست. در ابتدا باید "چشمها را شست" و "جور دیگری باید دید". آموزش مهندسی معطوف به صنعت در وهله اول بر اساس احساس نیاز از جانب صنعت به‌وجود می‌آید و سپس برنامه‌ریزیهای دوره‌های کارشناسی و بالاتر انجام می‌گیرد. در مورد خوردگی، ابتدا باید با همکاری وزارتخانه‌های مرتبط، برنامه‌ای فراگیر جهت به‌دست آوردن آمار مستند در مورد ابعاد فاجعه خوردگی در زندگی صنعتی به‌دست آورد و با الهام‌گیری از نیازهای واقعی صنعتی، به برنامه‌ریزی ایجاد رشته "مهندسی خوردگی" به‌عنوان رشته‌ای مستقل دست یازید. درکنار آن، با همفکری با متخصصان دیگر رشته‌ها، دروس خوردگی مرتبط با رشته تحصیلی در سطوح کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکترا در هر رشته مهندسی باید تعریف شوند. خوردگی و انواع آن - به‌خصوص نوع کمتر شناخته شده آن یعنی خوردگی میکروبی [۳۲] - در تمامی رشته‌های صنعتی وجود دارند و ایجاد مشکل می‌کنند، از صنعت هواپیمایی گرفته تا آب و فاضلاب و از ساختمان‌سازی گرفته تا جوشکاری‌های صنعتی، بدیهی است هدف اصلی چنین برنامه‌ای باید عبارت باشد از تربیت مهندسانی که علاوه بر داشتن معلومات نظری از خوردگی، بتوانند اینگونه موارد را در صنعت خود حداقل "تشخیص" بدهند و برای یافتن چاره به متخصصان کار مراجعه نمایند. جزئیات دروس و دیگر موارد مربوط را می‌توان، همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد، با همفکری استادان مربوط تنظیم و تدوین نمود، مشکل اصلی، تعریف بستر مناسب برای درک اهمیت واقعی مسئله خوردگی در تمامی رشته‌های صنعتی و حوزه‌های مهندسی است که با الهام‌گرفتن از مشکلات واقعی صنعت ایران تدوین و تنظیم شده باشد.

## ۶. نتیجه گیری

خوردگی یکی از مهمترین معضلات صنعت می‌باشد. برآورد شده که فقط در سال ۱۳۷۵ ضرر و زیان مستقیم اقتصادی صنایع ایران از خوردگی حدود سی برابر سرمایه گذاری دولت در بخش

صنعت در همان سال باشد. از نظر علم و مهندسی خوردگی، ایران در مقایسه با جهان دارای فاصله بسیار زیادی است که بالطبع این فاصله در زیانهای ناشی از خوردگی در صنایع منعکس می‌شود. در این مقاله با ذکر تفصیلی تاریخچه علم و مهندسی خوردگی در ایران و جهان و نیز زیانهای خوردگی از نظر اتلاف ماده و انرژی، زیانهای مستقیم و غیرمستقیم اقتصادی و مسائل زیست‌محیطی و ایمنی ناشی از خوردگی سعی شده به اهمیت غیرقابل انکار آن در صنعت اشاره شود. سپس به منظور بهبود جایگاه واقعی آموزش خوردگی در نظام مهندسی ایران پیشنهاد شد:

۱. هرگونه برنامه‌ریزی تدریس و آموزش در این مورد باید با الهام از نیازهای واقعی صنایع ایران باشد. راهکار چنین هدفی به‌دست آوردن آمار مستند در حوزه‌های صنعتی ایران با انجام هماهنگیهای لازم می‌باشد.

۲. در تمامی دانشگاههای ایران، رشته مستقل مهندسی خوردگی تعریف شود، زیرا بر خلاف تمامی رشته‌های مهندسی که به روشهای "ساختن" می‌پردازند مهندسی خوردگی به روشهای پیشگیری و مقابله با "تخریب" می‌پردازد و لذا از نظر موضوعی تفاوت بنیادی با بسیاری از آموزه‌های مهندسی دارد.

۳. برای تمامی رشته‌های مهندسی در ایران در سطوح کارشناسی و بالاتر با همفکری با متخصصان دانشگاهی و صنعتی هر رشته دروس و واحدهای مربوط به علم و مهندسی خوردگی تدوین، تنظیم و تدریس شود.

## مراجع


1. E. Mattson, Basic Corrosion Technology for Scintists and Engineers, Ellis Horwood, Publishers, 1989.

۲. سیدرضی، سیدمحمد، کنترل خوردگی در صنایع، چاپ دوم، انجمن خوردگی ایران، ۱۳۷۶.

3. Herbert H. Uhlig, Corrosion and Corrosion Control, 2nd edition, John Wiley and Sons Inc. 1971.

4. Materials Performance (MP), Vol. 36, No. 7, pp. 68, July 1997.

5. W.M. Cox, Integrated Managment of plant Equipment


سخنرانی ایراد شده توسط ریاست انجمن خوردگی انگلستان در شرکت ملی پتروشیمی، ۲۵ مهر ۱۳۶۷، تهران

۶. جواهر دشتی، رضا، نگاهی به معضل خوردگی از دریچه آمار و ارقام، مجموعه مقالات ششمین کنگره ملی خوردگی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، خرداد ۱۳۷۸.

۷. زمانیان، رحیم، خوردگی و اهمیت آن، مجموعه مقالات اولین کنگره ملی خوردگی، دانشگاه تهران، آبان ۱۳۶۷.

8. , MP, Vol. 37, No. 11, November 1998.

9. G. Rodden, Closure and Corrosion, Pulp & Paper, Canada, Vol. 99, No. 5, pp. 17, May 1998.

۱۰. ویلیام گراف، مقدمه‌ای بر سازه‌های دریایی، ترجمه سهیل مهری و علی‌اکبر گل‌افشانی، وزارت نفت، ۱۳۶۵.

11. Paolo Cavassi, Massimo Cornago and Roberto Malfanti, Corrosion Cost Impact on the Oil & Gas Production Industry, Protective Coatings Europe, Vol. 3, No. 10, October 1998.

12. Reza Javaherdashti, "Corrosion of N-80 Steel in an Environmental Containing Sulphate-reducing Bacteria", M.Sc. Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 1993.

۱۳. روش جدید رفع نشت سیالات بدون توقف تولید، جستار، نشریه خبری انجمن مهندسین شیمی ایران، سال سوم، شماره سیزدهم، اردیبهشت ۱۳۷۸.

۱۴. نکته‌هایی از سخنرانی دکتر سیدآهنگ کوثر مبتکر طرحهای آبخوان داری در جهاد سازندگی، هفته نامه باور، شماره ۲۶، صفحه ۸، ۲۳ تیرماه ۱۳۷۵.

۱۵. حسینیان، سیدمرتضی - میرصادقی، جواد، خوردگی و کنترل آن در لوله‌های آبرسانی، آب و محیط زیست، شماره ۲۸، تیرماه ۱۳۷۷.

۱۶. میزان پرت آب در آذربایجان شرقی به‌طور متوسط ۲۰ درصد است، روزنامه جمهوری اسلامی، سال بیستم، شنبه ۲۸ شهریور ۱۳۷۷.

۱۷. تربتی، محمد، اتفاقات در شبکه آب آشامیدنی شهر کرمان، آب و محیط زیست، شماره ۲۸، تیرماه ۱۳۷۷.

18. A Working Party Report on Microbiological Degradation of Materials and Methods of Protection, section 4.3.2. European Federation of Corrosion publication, No. 9, The Institute of Materials, 1992.

۱۹. گزارش اقتصادی سال ۱۳۷۵، جلد اول، سازمان برنامه و بودجه، معاونت امور اقتصادی و هماهنگی، دفتر اقتصاد کلان، آذر

.۱۳۷۶

۲۰. جواهر دشتی، رضا، مدیریت خوردگی: چگونه بدون دانستن علم خوردگی مسائل خوردگی را مدیریت نماییم؟ در دست چاپ.

۲۱. امامی خویی، ارسطو، مدیریت خوردگی: صادرات و بخش صنعت در ایران، اطلاعات سیاسی - اقتصادی، شماره ۱۳۰-۱۲۹.

۲۲. جواهر دشتی، رضا، اهمیت خوردگی در صنایع، گسترش صنعت، سال دهم، شماره‌های ۴۷۳ الی ۴۷۷، آبانماه ۱۳۷۸.

۲۳. مک‌کارتی، جان، ترک‌خوردگی تنشی در خطوط لوله نفت و گاز کانادا، ترجمه رحیم زمانیان، نشریه انجمن نفت ایران، شماره ۵۱، بهار ۱۳۷۸.

24. R.J. Hovarth, The Role of The Corrosion Engineer in the Development and Application of Risk-based Inspection for Plant Equipment, MP, July 1998.

۲۵. جواهر دشتی، رضا، مدیریت خوردگی: CM، مؤسسه مطالعات و برنامه‌ریزی آموزشی، سازمان گسترش و نوسازی صنایع ایران، زمستان ۱۳۷۶.

۲۶. جواهر دشتی، رضا، مروری بر اصول مدیریت خوردگی، نشریه انجمن نفت ایران، شماره ۴۸، تابستان ۱۳۷۷.

27. D. Williams, K. Van Gelder, Corrosion Management, MP. Vol. 35, No. 11, November 1996.

۲۸. جواهر دشتی، رضا، روش مطالعه اثرات زیست‌محیطی خوردگی، سخنرانی در مرکز تحقیقات و بهبود بهره‌وری صنعت آب و فاضلاب، سوم مردادماه ۱۳۷۸.

۲۹. زمانیان، رحیم، خوردگی و روشهای کنترل آن، دانشگاه تهران، چاپ دوم، ۱۳۷۴.

۳۰. سیدرضی، سیدمحمد، فرهنگ خوردگی، انجمن خوردگی ایران، ۱۳۷۶.

۳۱. خبرنامه انجمن خوردگی ایران، شماره ۱، ۱۳۷۴.

۳۲. جواهر دشتی، رضا، خوردگی میکروبی، انتشارات بهروزان، چاپ اول، ۱۳۷۸.

(تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۷۸/۱۱/۳۰)