

# معرفی گرایش خوردنگی



نغمه آتش نژاد ،

دانشجوی کارشناسی مهندسی مواد و متالورژی دانشگاه تهران





## مقدمه

خوردگی<sup>۱</sup>، پدیده‌ی مخبری است که موجب اتلاف مواد، انرژی و سرمایه می‌شود. در واقع همان‌طور که فلزات طی مراحل مختلف از طبیعت جدا شده‌اند، توسط این پدیده مجدداً به طبیعت باز می‌گردند. رسالت علم خوردگی بر آن است که با شناسایی و تغییر عوامل مؤثر، این برگشت را به تأخیر اندازو و خسارات ناشی از آن را کنترل نماید.

## تعريف خوردگی

خوردگی، تخریب یا اضمحلال یک ماده در اثر واکنش با محیط اطراف آن است. باور عمومی بر این است که فرایند خوردگی محدود به فلزات می‌شود اما این پدیده ممکن است علاوه بر فلزات، در غیرفلزات نیز مانند مواد نسوز، کامپوزیت‌ها و سایر مواد رخ دهد. به عنوان مثال می‌توان به از بین رفتن رنگ‌ها و تخریب لاستیک توسط نور خورشید و تخریب دیواره‌ی کوره‌ی فولادسازی اشاره کرد.



شکل ۱ - نمونه‌ای از تخریب خودبه‌خودی (خوردگی) چرخ‌دنده‌ها

پدیده‌ی خوردگی، از سطح ماده‌ای که در معرض محیط خورنده قرار گرفته است شروع می‌شود. از دیدگاه ترمودینامیکی، خوردگی فرایندی خودبه‌خودی است که در جهت کاهش انرژی آزاد انجام می‌شود. به بیان دیگر، فرایند خوردگی موجب تبدیل مواد از حالت ناپایدار (سطح انرژی بیشتر) به حالت پایدارتر (سطح انرژی کمتر) می‌شود.

بر اساس قوانین ترمودینامیک، هیچ عاملی نمی‌تواند از این فرایند طبیعی (تخریب خودبه‌خود ماده) کاملاً جلوگیری کند ولی با استفاده از روش‌های موجود، می‌توان این فرایند را به تعویق اندخته و یا نرخ انجام آن را در حدی کاهش داد که بتوان ماده مورد نظر را از لحاظ صنعتی تقریباً مقاوم در برابر خوردگی دانست.

## مهندسی خوردگی چیست؟

مهندسی خوردگی<sup>۲</sup>، علمی کاربردی و فنی برای جلوگیری یا کاهش خسارات ناشی از پدیده‌ی خوردگی با استفاده از روش‌هایی مقتول به صرفه و مورد اعتماد است.

پیش‌زمینه‌ی لازم برای مهندس خوردگی، آگاهی از اصول خوردگی و عملیات مبارزه با آن، داشتن علم کافی در زمینه‌ی خواص شیمیایی، متالورژیکی، فیزیکی و مکانیکی آلیازها، تسلط بر آزمون‌های خوردگی و الکتروشیمیایی است. همچنین یک مهندس خوردگی باید انواع محیط‌های خورنده و روش‌های مقابله با آن‌ها را در جهت کاهش سرعت خوردگی بشناسد. به عنوان مثال باید بداند که فلزات در اغلب محیط‌های شیمیایی در معرض خوردگی هستند و در تماس با آب، رطوبت، اسیدها، بازها، نمک‌ها، روغن‌ها، مواد گازی و سایر مواد شیمیایی خورده می‌شوند.

<sup>1</sup>Corrosion

<sup>2</sup>Corrosion Engineering

## اهمیت پیشگیری از وقوع خوردگی شدید

پدیده‌ی خوردگی، یک زیان اقتصادی عظیم برای همه‌ی کشورهای صنعتی به‌شمار می‌رود. به‌دلیل گسترش صنایع مختلف و به‌وجود آمدن محیط‌های خورنده‌ی جدید، هزینه‌ی تحمیلی ناشی از خوردگی نیز افزایش می‌یابد. در سال ۲۰۱۶، هزینه‌های سالانه ناشی از خوردگی در ایالات متحده بیش از ۱/۱ تریلیون دلار برآورد شده است. با وجود اینکه نمی‌توان پدیده‌ی خوردگی را به‌طور کامل حذف کرد، ولی با انتخاب مواد اصولی و طراحی مناسب

و استفاده از روش‌هایی مانند حفاظت کاتدی<sup>۳</sup> (یکی از روش‌های محافظت از خوردگی فلزات توسط کاتد با قراردادن سطح فلز در یک سلول الکتروشیمیایی)، می‌توان سرعت خوردگی را محدود و هزینه‌های ناشی از آن را به‌مقدار زیادی کاهش داد. وظیفه‌ی اصلی یک مهندس خوردگی، کنترل شرایط در محیط‌های مختلف برای جلوگیری از وقوع خوردگی به‌خصوص در قطعات حساس است. خوردگی می‌تواند بر عمر تجهیزات، بهره‌برداری از آن‌ها، بازگشت سرمایه، کیفیت محصولات تولیدشده و غیره مؤثر باشد. از طرف دیگر، خسارت‌های خوردگی می‌تواند اثرات مستقیم یا غیرمستقیم داشته باشد. از جمله خسارت ای مستقیم خوردگی می‌توان به تخریب یا انهدام تجهیزات اشاره کرد؛ به عنوان مثال تخریب پل، انفجار خط لوله گاز، غرق شدن کشتی، تخریب سکوهای نفتی، خوردگی بدنه اتموبیل و غیره.

برخی از خسارت‌های غیرمستقیم خوردگی عبارتند از آلوده شدن محصولات، هدر رفتن محصولات و همچنین هزینه‌های تعمیرات و نگهداری از تجهیزات. علاوه بر خسارت‌های مالی هنگفت، خوردگی می‌تواند باعث خسارت‌های جانی زیادی نیز شود. از این رو، بازررسی و ردیابی خوردگی و نظارت و کنترل آن امری لازم و ضروری است.

## گرایش خوردگی و حفاظت از مواد در مقطع کارشناسی ارشد

گرایش خوردگی و حفاظت از مواد از زیرشاخه‌های رشته مهندسی مواد به‌حساب می‌آید که در مقطع کارشناسی ارشد در این رشته ارائه می‌شود؛ اما در برخی از دانشگاه‌ی دنیا به‌دلیل ارتباط نزدیکی که به علم شیمی دارد، به عنوان زیرشاخه مهندسی شیمی نیز دسته‌بندی شده است.

لازم به ذکر است، اگرچه مهندسی خوردگی و مهندسی سطح مواد مشترکی با یکدیگر دارند اما به‌هیچ عنوان این دو تخصص را نباید با یکدیگر اشتباه گرفت. مهندسی سطح شامل کاربرد فناوری‌های سنتی یا نوین عملیات حرارتی یا دیگر عملیات سطحی نظیر انواع روش‌های پوشش‌دهی بر روی مواد و قطعات حساس مهندسی، به‌منظور دستیابی به یک ماده مرکب با خواصی است که در هیچ‌یک از مواد تشكیل‌دهنده داخل یا سطح قطعه به هایی وجود ندارد. در صورتی که مهندسی خوردگی یک تخصص برای به‌کارگیری علم، دانش و قوانین فیزیکی به‌منظور طراحی و اجرای روش‌هایی برای مدیریت یک پدیده‌ی طبیعی به نام خوردگی است.

<sup>۳</sup>Cathodic Protection

دروس تخصصی این گرایش به شرح زیر است:

نام درس	تعداد واحد	نام درس	تعداد واحد
خوردگی پیشرفت	۲	آزمایشگاه خوردگی پیشرفت	۱
حافظت کاتدی و آندی	۲	الکتروشیمی پیشرفت	۲
سینتیک پیشرفت	۲	اکسیداسیون و خوردگی داغ	۲
روش ای نوین مطالعه‌ی مواد و آزمایشگاه	۲+۱	آزمایشگاه اصول حفاظت	۱
جنبه‌های مکانیکی خوردگی	۲	ترمودینامیک پیشرفت	۲

دروس اختیاری:

نام درس	تعداد واحد	نام درس	تعداد واحد
رنگ و پوشش‌های تبدیل	۲	مانع کننده خوردگی	۲
آزمایش‌های بررسی علل تخریب مواد	۱	خطار اندازه‌گیری	۱
خوردگی در اردهای صنعتی	۲	خوردگی در محیط‌های طبیعی	۲
مهندسی سطح	۲	پدیده‌های انتقال پیشرفت	۲

## فرصت‌های شغلی مناسب مهندسان خوردگی

امروزه با رشد صنایع و استفاده از آلیاژ‌های جدید، انتظارات از مهندسان خوردگی بیشتر شده است. لازم است که مهندسان خوردگی و طراحان ارتباط نزدیکتری داشته باشند. یک پرورش بدون حضور مهندس خوردگی معمولاً شروع نمی‌شود؛ چرا که تمام نقشه‌ها و مواد مورد نظر در پرورش باید از نظر خوردگی به تأیید مهندس خوردگی برسد. همچنین مهندس خوردگی باید جنبه‌های مکانیک شکست و روش‌های بازرسی و بررسی‌های غیرمخرب را بداند. منظور از آزمون‌های غیرمخرب، مجموعه‌ای از روش‌های ارزیابی و تعیین خواص دستگاه‌ها و قطعات ساخته شده که هیچ‌گونه آسیب یا تغییری در سامانه ایجاد نکند. با خوردگی و این آزمون‌ها در شماره‌ی چهارم نشریه‌ی فراسوی مواد با عنوان «خوردگی و آزمون غیرمخرب» آشنا شده‌ایم.

به طور کلی خوردگی در تمام صنایع پدیده‌ی شایعی است. هیچ ماده‌ی صنعتی وجود ندارد که به طور کامل از آسیب خوردگی در امان باشد. به همین دلیل فارغ‌التحصیلان این رشته می‌توانند در صنایع مختلفی مانند صنایع هوایی، دریایی شامل اسکله‌ها و بنادر، صنعت کشتی‌سازی، نیروگاه‌های هسته‌ای و نیروگاه‌های سیکل ترکیبی، صنایع پتروشیمی، چاه‌های استخراج و خطوط انتقال نفت و گاز مشغول به کار شوند.





زمینه‌های فعالیت متخصصان گرایش خوردگی به پنج گروه کلی زیر تقسیم‌بندی می‌شود:

- بهبود ترکیب شیمیایی آلیاژها در جهت بهبود مقاومت به خوردگی
- مطالعه و استفاده از ممانعت کننده ابهمنظور کاهش سرعت خوردگی در محیط‌های مختلف
- طراحی و اجرای سیستم‌های حفاظت کاتدی و آندی در سازه‌های صنعتی
- کاربرد پوشش محافظ مختلف مانند آبکاری، رنگ و غیره
- بازرگانی و پایش سیستم‌های در معرض خوردگی مانند خطوط انتقال نفت و گاز

شرکت ای بزرگ نفتی اهداف خوبی برای اشتغال مهندسان خوردگی در سراسر دنیا هستند؛ چرا که اکثر تجهیزات نفت و گاز به شدت تحت تأثیر پدیده خوردگی قرار می‌گیرند. به همین جهت مناطق نفت‌خیز کشور بیشترین تجمع مهندسان گرایش خوردگی را دارند. شرکت‌های فعال در منطقه اقتصادی پارس جنوبی به‌طور گسترده از وجود متخصصان خوردگی استفاده می‌کنند.

در خارج از کشور نیز چنین است، میزان درآمد مهندسان خوردگی، به ترتیب از زیاد به کم، مربوط به صنایع نفتی، صنایع پلاستیک‌سازی، صنایع شیمیایی بوده و در نهایت کمترین دستمزد به استادی مهندسی خوردگی در مرکز علمی پرداخت می‌شود. مطابق با تحقیقات انجام گرفته توسط انجمن بین‌المللی مهندسان خوردگی<sup>۱</sup>، میانگین درآمد سالیانه مهندسان خوردگی با سابقه کار ۱۵ سال، بیش از **۱۰۳ هزار دلار** تخمین زده است. بر اساس همین تحقیقات یک روند پایدار افزایشی برای دستمزد سالیانه مهندسان خوردگی پیش‌بینی شده است.

## مصالحه

اصحابه‌ای با جناب **مهندس عبدالهی** یکی از کارشناسان موفق خوردگی داشتیم تا نگاهی تجربی‌تر و صنعتی‌تر به این علم داشته باشیم.

• با سلام جناب مهندس، ممنون که قبول زحمت کردید. ممکن است معرفی مختصری از خودتان بفرمایید تا مخاطبان بیشتر با شما آشنا شوند؟

سلام، بنده مصطفی عبدالهی کوتیانی هستم و به عنوان کارشناس ارشد خوردگی و حفاظت فلزات در شرکت پتروشیمی فجر ماهشهر مشغول به کار می‌باشم و در چند شرکت دیگر در زمینه‌های خوردگی، انتخاب مواد، حفاظت کاتدی و پوشش به عنوان مشاور و پارهوقت مشغول هستم.

• ممنون، ممکن است دیدگاه کلی خودتان را از این گرایش بفرمایید؟ آیا از اینکه این حوزه فعالیتی را انتخاب کرده‌اید، رضایت دارید؟

گرایش خوردگی و حفاظت مواد یکی از بهترین گرایش‌های کاربردی مهندسی مواد است که تقریباً در تمام صنایع کاربرد دارد. من با توجه به اینکه گرایش ارشد خوردگی خواندم و در همین زمینه هم مشغول به کار هستم از این گرایش خیلی راضی هستم.

<sup>۱</sup> National Association of Corrosion Engineers (NACE)



• راجع به پژوهه‌های مربوط به گرایش خودگی که تابه‌حال انجام داده‌اید، به‌طور خلاصه توضیح می‌دهید؟

در مورد پژوهه‌ها، برای پایان‌نامه بر روی بازدارنده‌های شیفیس<sup>۵</sup> در واحدهای نمک‌زدایی کار کردم که نتایج عالی‌ای داشت و در محل کار هم بر روی خودگی و ارزیابی طول عمر خطوط آب آتش‌نشانی به‌عنوان تیم نظارت همکاری کردم. همچنین در چندین پژوهه‌ی دانشجویی به‌عنوان مشاور کاملاً رایگان همکاری داشتم که این پژوهشگران در حال حاضر با عنایت خداوند دانشجوی دکتری هستند.

• برای شما و ایشان آرزوی موفقیت داریم. شما که در صنعت فعال هستید، بازار کار را برای گرایش خودگی چگونه ارزیابی می‌کنید؟

الان بازار کار بسیار رقابتی شده است و شرکت‌های دانش‌بنیان زیادی به وجود آمده‌اند و خوشبختانه تولید بسیاری از محصولات و نمونه‌های خارجی در کشور انجام می‌شود؛ اما شرکت‌های وابسته به نفت، علاوه بر اینکه اهمیت بیشتری به علم خودگی می‌دهند، از نظر مالی هم بهتر هستند.

• پیشنهاد شما برای صاحبان ایده چیست؟ آیا شرایط کاری این گرایش در ایران به ما اجازه‌ی راه‌اندازی شرکت‌های نوپا<sup>۶</sup> و استارت‌آپ‌ها را می‌دهد؟

بله، اگر ایده‌ها خوب باشند شرکت‌ها حمایت می‌کنند اما به شرطی که نمونه‌ی عینی آن عرضه نشده باشد و ایده به‌نوعی کپی کاری نباشد. اتفاقاً یکی از زمینه‌های خوب مهندسی معکوس، مواد‌های تک<sup>۷</sup> هستند. به‌عنوان مثال، دوستانی چسب ای پایه‌فلزی بسیار کاربردی و گران را با یک‌هشتم قیمتی که برنده معروف انگلیسی تولید می‌کند، می‌سازند. بدون شک این قبیل استارت‌آپ‌ها در خودکفا شدن کشورمان نیز تأثیرگذار است.

• بعد از فارغ‌التحصیلی توانست د بهراحت کار پیدا کنید و در صنعت مشغول به کار شوید؟ و مدرک دانشگاهی به‌چه میزان در پیدا کردن کار حائز اهمیت است؟ تفاوتی بین دانشگاه دولتی و غیردولتی است؟

به‌نظرم برای کار خوب باید زحمت کشید و با توجه به اینکه بازار کار خیلی رقابتی شده است، الان تعداد فارغ‌التحصیل زیاد و به‌تبع بازار کار محدود است و پیدا کردن شغل مناسب بسیار به توانایی فرد بستگی دارد.

از نظر من مدرک دانشگاه دولتی یا آزاد تأثیری ندارد، بلکه مهم‌تر از آن هوش و استعداد فرد است؛ اما یک سختی این قبیل گرایش‌ها این است که دانشجویان علاوه بر تحصیلات دانشگاهی، برای شروع به کار باید تخصص‌های دیگری نیز بلد باشند و دوره‌های زیادی را گذرانده باشند تا برای کار راحت‌تر انتخاب شوند.

<sup>۵</sup> Schiff Base

<sup>۶</sup> Start-up Companies

<sup>۷</sup> High-tech



- چندتا از این دوره‌ها که برای ورود به بازار کار لازم هستند را معرفی می‌فرماید؟  
به عنوان مثال، دوره‌ی بازرسی رنگ و پوشش دهی<sup>۸</sup> که دوره‌ای فشرده مربوط به فناوری‌های اصلی پوشش دهی می‌باشد، دوره‌ی انتخاب مواد، دوره‌ی بازرسی حفاظت کاتدی و دوره بازرسی API که دوره‌ای جهت آشنایی با بازرسی ظروف تحت فشار حین بهره‌برداری، محاسبات مربوط به بازه‌ی زمانی بازرسی و تعمیرات و تغییرات به همراه رویکرد یکپارچگی مکانیکی تجهیزات است.
- به عنوان سوال آخر، دیدگاه شخص شما نسبت به تحصیل و کار در این گرایش در خارج از کشور چیست؟ آیا تابه‌حال برای مهاجرت اقدام کرده‌اید؟  
من مورد های پیشنهادی جذابی برای کار در خارج از کشور داشتم که به خاطر برخی مسائل، امکان آن برایم فراهم نشد اما در برنامه سال‌های آتی خود دارم. لازم به ذکر است که مهندسی خورده‌گی یکی از بهترین شغل‌های خارج کشور از نظر دریافت حقوق است و دوستان زیادی می‌شناسم که در شرکت‌های معروفی از جمله شل<sup>۹</sup>، توtal<sup>۱۰</sup>، بی‌پی<sup>۱۱</sup> یا غیره مشغول به کار هستند.
- ان شاء الله شاهد موفقیت‌های بیشتر شما باشیم. ممنون جناب مهندس از اینکه وقت خود را در اختیار ما قرار دادید.

## منابع ◀

[1] Book: Introduction to Corrosion Science by E. McCafferty

[۲] لینک: معرفی گرایش خورده‌گی و حفاظت از مواد توسط انجمن علمی مهندسی مواد و متالورژی فولاد شهر اصفهان

<sup>۸</sup>Painting and Coating Inspector Level

<sup>۹</sup>Royal Dutch Shell (Multinational oil and gas company)

<sup>۱۰</sup>TotalEnergies (Petroleum refining company)

<sup>۱۱</sup>BP (Oil industry company)