

مجموعه کتاب‌های آموزشی صنعت گاز

# اصول خوردگی و روش‌های حفاظت از زنگ

مؤلفان:

امین صنعت‌پناه

میثم وحیدی فرد

سعید جمعه‌پور

۱۳۹۲

سرشناسه: رفعت پناه، امین  
عنوان و پدیدآور: اصول خوردگی و روش های حفاظت از زنگ / مؤلفین امین رفعت پناه، میثم وحیدی  
فردوسی، سعید جمعه پور.

مشخصات نشر  
مشخصات ظاهری: ۲۳۰ ص:، مصور، جدول.  
شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۳۲۴-۲۹۲-۳  
یادداشت: کتابنامه ۲۲۹- (۲۳۰)  
موضوع: خوردگی.  
رده افزوده: شرکت گاز خراسان رضوی.  
رده بندی کنگره: ۶۷۲۴، ۱۳۹۲ الف ۷۷ ر/ TA۴۶۲  
رده بندی دیسی: ۶۲۰/۳۲

### انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد

مشهد، میدان آزادی، پردیس دانشگاه، سازمان مرکزی جهاد دانشگاهی  
ص. پ. ۹۱۷۷۵ - ۱۳۷۶ تلفن: ۸۸۳۲۳۶۷ - ۸۸۴۲۲۳۰  
www.jdmpress.com info@jdmpress.com

### اصول خوردگی و روش های حفاظت

مؤلفین: امین رفعت پناه، میثم وحیدی فردوسی، سعید جمعه پور  
ویراستاران علمی: دکتر علی حائریان اردکانی، علی قاسم زاده، محمد جواد عین فشار، میثم وحیدی

لیتوگرافی مشهدلسکتر / چاپ و صحافی چاپخانه دانشگاه فردوسی

چاپ اول زمستان ۱۳۹۲ / ۱۱۰۰ نسخه

ISBN: 964-324-292-3

شابک ۹۶۴-۳۲۴-۲۹۲-۳

کلیه ی حقوق نشر برای ناشر محفوظ است.

قیمت: ۱۱۰,۰۰۰ ریال

## به نام خداوند جان و خرد

دنیای امروز پس از انقلاب دو عصر کشاورزی و صنعتی، در حال ورود به دوره‌ای است که به عصر اطلاعات معروف شده است. در حالی که در دو دوره گذشته زمین و ماشین‌آلات به ترتیب دارایی‌های اصلی محسوب می‌شدند، دانش به عنوان دارایی عصر اطلاعات در نظر گرفته می‌شود. لذا داشتن سازمانی دانش‌محور یکی از کدهای موفقیت در دنیای امروز محسوب می‌گردد. در این راستا، در استراتژی شرکت گاز خراسان رضوی، انتقال سطح دانش سازمانی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار بوده و شرکت به کارگیری الگوی مدیریت دانش به عنوان ابزاری جهت شناسایی، توسعه، تسهیم، نگهداری و استفاده دانش‌ها و مهارت‌های سازمانی در نظر گرفته است.

بدون شک یکی از مأموریت‌های سازمان برای حل آمدن به این هدف، ارتقای سطح پژوهش و آموزش است، چرا که پژوهش مرزهای دانش را توسعه داد و آموزش دانش را در سازمان نهادینه می‌گرداند. از این رو، شرکت گاز خراسان رضوی از طریق ایجاد دانش مرتبط با صنعت گاز، مجموعه‌ای از کتاب‌ها و نرم‌افزارهای آموزشی را تهیه و تولید نموده است، تا گامی مؤثر در جهت تجمیع و توزیع دانش در این حوزه برداشته شود. امید است به لطف خداوند سبحان همه ذی‌نفعان در صنعت گاز، در ایجاد صنعتی دانش‌محور تلاش نمایند، تا انشا... پویایی، نوآوری، خلاقیت و ابتکار در این صنعت مهم کشور و محور توسعه ایران اسلامی، همراه با بالاترین سطح کیفیت خدمت‌رسانی به مردم توسعه یابد.

علیرضا معراجی

مدیرعامل شرکت گاز خراسان رضوی

## پیش در آمد

امور پژوهش و فناوری شرکت گاز خراسان رضوی، با هدف ثبت و انتقال تجربیات و دانش سازمانی و توسعه سطح گاهی، نسبت به تعریف مجموعه‌ای از پروژه‌های پژوهشی به منظور تولید محتوای آموزشی در سرفصل‌های کاری صنعت گازرسانی اقدام نموده است. این مجموعه‌های آموزشی، در قالب بسته‌های نرم افزاری، در ۱۳ سرفصل حاوی مطالب پایه‌ای و تخصصی در زمینه ادوات صنعتی موجود، ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز و اصول خوردگی، عایق کاری، سیستم‌های حفاظت کاتدیک و HSE، ارائه گردیده است. همچنین با هدف بهره‌گیری از کلیه ابزارهای اطلاع‌رسانی، مقررات جدید حتمی نرم‌افزارها به صورت مبسوط و تکمیلی در قالب "مجموعه کتاب‌های آموزش صنعت گاز" منتشر شوند. این مجموعه‌های آموزشی، در سه بخش مبانی تئوری، بهره‌برداری، تعمیر و نگهداری، خوانندگان را با دانش کاربردی درباره تجهیزات آشنا می‌نمایند. با هدف بهره‌گیری از کتاب، به صورت خودآموز، در نگارش آن سعی شده تا ضمن ارائه اطلاعات مفید، در بیان مفاهیم تکنیکی از زبان ساده و قابل فهم استفاده گردد.

شایان ذکر است که کوشش شده تا با بررسی دقیق محتوا توسط نویسندگان، ویراستاران علمی و ناظرین پروژه، اشکالات حداقل گردند لیکن این مجموعه نیز مانند هر مستند علمی دیگری، عاری از نقص و کاستی نیست. در این راستا از خوانندگان گرامی، تقاضا دارد تا با نقد عالمانه و ارائه پیشنهادات سازنده، امور پژوهش و فناوری را در پربار نمودن این مجموعه یاری نموده و مطالب و نقطه نظرات خود را به آدرس الکترونیکی [rd@nigc-khrz.ir](mailto:rd@nigc-khrz.ir) ارسال نمایند.

در پایان امیدوارم نتیجه فعالیت همکارانم در شرکت گاز خراسان رضوی مورد استفاده خوانندگان گرامی قرار گیرد. بر خود لازم می‌دانم مراتب سپاس ویژه خود را از جناب آقای معراجی به خاطر حمایت همیشگی ایشان از فعالیت‌های پژوهشی اعلام نمایم. همچنین از تمام کسانی که در این فعالیت پژوهشی، نقش مؤثری داشته‌اند، به ویژه از انتشارات جهاد دانشی واحد مشهد، صمیمانه سپاسگزارم.

سید ایمان پیش‌بین  
رئیس امور پژوهش و فناوری  
شرکت گاز خراسان رضوی  
زمستان ۱۳۹۲

## فهرست

### بخش اول : اصول خوردگی لوله‌های مدفون

|    |                                                |
|----|------------------------------------------------|
| ۱۷ | ۱ مقدمه‌ای بر خوردگی                           |
| ۱۷ | ۱-۱ مقدمه                                      |
| ۱۷ | ۱-۲ تبیین اقتصادی خوردگی                       |
| ۲۰ | ۲ بار الکتریکی، جریان، مقاومت و اختلاف پتانسیل |
| ۲۴ | ۳ فلزات                                        |
| ۲۴ | ۱-۳ فلزات                                      |
| ۲۷ | ۴ انرژی نهفته                                  |
| ۲۷ | ۱-۴ انرژی آزاد                                 |
| ۲۷ | ۲-۴ متالورژی و نقش فلزات                       |
| ۲۹ | ۳-۴ نواقص بلوری و نقش آن بر سطح انرژی فلزات    |
| ۳۱ | ۴-۴ اندازه‌گیری انرژی آزاد                     |
| ۳۳ | ۵-۴ الکترودهای مرجع                            |
| ۳۵ | ۵ پیل و الکتروشیمی                             |
| ۳۵ | ۱-۵ پیل و شبیه‌سازی خوردگی فلز                 |
| ۳۸ | ۲-۵ اکسیداسیون و احیاء                         |
| ۴۰ | ۶ انواع پیل                                    |
| ۴۰ | ۱-۶ پیل با الکترودهای همنام                    |
| ۴۰ | ۱-۱-۶ مقدمه                                    |
| ۴۰ | ۲-۱-۶ پیل‌های غلظتی نمکی                       |
| ۴۱ | ۳-۱-۶ پیل‌های غلظتی اکسیژن، اختلاف دمشی        |
| ۴۳ | ۲-۶ پیل با الکترودهای غیر همنام                |
| ۴۵ | ۷ پلاریزاسیون                                  |
| ۴۶ | ۸ لوله‌های مدفون و مدار خوردگی                 |
| ۴۶ | ۱-۸ لوله، خاک، رطوبت                           |

## ۶ اصول خوردگی و روش‌های حفاظت از زنگ

|    |                                       |
|----|---------------------------------------|
| ۴۷ | ۸-۲- مدار خوردگی لوله‌های مدفون ..... |
| ۵۰ | ۹ انواع خوردگی .....                  |
| ۵۰ | ۹-۱- خوردگی یکنواخت .....             |
| ۵۱ | ۹-۲- خوردگی گالوانیک .....            |
| ۵۲ | ۹-۳- خوردگی حفره‌ای .....             |
| ۵۲ | ۹-۴- خوردگی .....                     |
| ۵۲ | ۹-۴-۱- خوردگی تنشی .....              |
| ۴۳ | ۹-۴-۲- خوردگی مرز دانه‌ای .....       |
| ۵۴ | ۱۰ راهکارها حاصل‌شده از خوردگی .....  |
| ۵۴ | ۱۰-۱- انتخاب بهینه .....              |
| ۵۵ | ۱۰-۲- پوشش و رنگ .....                |
| ۵۶ | ۱۰-۳- حفاظت کاتدیک .....              |
| ۵۷ | ۱۰-۴- حفاظت آنودیک .....              |
| ۵۸ | ۱۰-۵- کاهش خوردگی محیط .....          |

## بخش دوم: اصول و روش‌های عایق‌کاری

|    |                                                    |
|----|----------------------------------------------------|
| ۶۳ | ۱۱ کلیات .....                                     |
| ۶۳ | ۱۱-۱- مقدمه .....                                  |
| ۶۴ | ۱۱-۲- خصوصیات یک پوشش خوب .....                    |
| ۶۶ | ۱۱-۳- عوامل موثر در انتخاب نوع پوشش .....          |
| ۶۷ | ۱۲ درجات زنگ‌زدگی و استانداردهای تمیزی .....       |
| ۶۷ | ۱۲-۱- درجات زنگ‌زدگی .....                         |
| ۷۰ | ۱۲-۲- استانداردها و معیارهای قابل قبول تمیزی ..... |
| ۷۴ | ۱۳ آماده کردن سطح فلزات .....                      |
| ۷۴ | ۱۳-۱- مقدمه .....                                  |
| ۷۴ | ۱۳-۲- روش‌های آماده‌سازی سطح لوله‌های فلزی .....   |
| ۷۵ | ۱۳-۳- آماده‌سازی به روش دستی .....                 |

|    |                                                             |
|----|-------------------------------------------------------------|
| ۷۵ | ۱۳-۴- آماده سازی به روش پرتاب ساینده ها (پاششی) .....       |
| ۷۶ | ۱۳-۴-۱- روش پاششی با هوای فشرده .....                       |
| ۷۶ | ۱۳-۴-۲- روش پاششی گریز از مرکز .....                        |
| ۷۷ | ۱۳-۵- ویژگی های اکساینده مناسب .....                        |
| ۷۸ | ۱۴- پرایمر، آستری یا زیر رنگ .....                          |
| ۷۸ | ۱۴-۱- مقدمه .....                                           |
| ۷۸ | ۱۴-۲- نحوه پرایمر زنی لوله در شرکت ملی گاز .....            |
| ۷۸ | ۱۴-۲-۱- پرایمر زنی دستی .....                               |
| ۷۹ | ۱۴-۲-۲- پرایمر زنی توسط ماشین .....                         |
| ۷۹ | ۱۴-۳- نکاتی در مورد پرایمر زنی .....                        |
| ۸۰ | ۱۴-۴- نکاتی در مورد نگهداری استفاده از پرایمرها .....       |
| ۸۰ | ۱۴-۵- روش تشخیص پرایمر سالم یا خراب .....                   |
| ۸۰ | ۱۴-۵-۱- روش آزمایشگاهی .....                                |
| ۸۱ | ۱۴-۵-۲- روش صحرایی .....                                    |
| ۸۱ | ۱۴-۵-۳- به هم زدن پرایمر در یک ظرف کوچک .....               |
| ۸۲ | ۱۵- انواع پوشش های مورد استفاده در شرکت ملی گاز ایران ..... |
| ۸۲ | ۱۵-۱- پوشش نواری پلی اتیلن .....                            |
| ۸۲ | ۱۵-۲- پوشش قیر زغال سنگی .....                              |
| ۸۳ | ۱۵-۳- پوشش پلی اتیلن سه لایه .....                          |
| ۸۴ | ۱۵-۴- پوشش پلی یورتان .....                                 |
| ۸۴ | ۱۵-۵- پوشش قیر نفتی اصلاح شده .....                         |
| ۸۵ | ۱۵-۶- پوشش اپوکسی .....                                     |
| ۸۶ | ۱۶- عایق کاری سرد .....                                     |
| ۸۶ | ۱۶-۱- مقدمه .....                                           |
| ۸۶ | ۱۶-۲- روش کار عایق کاری سرد .....                           |
| ۸۸ | ۱۶-۳- آزمایشات عایق کاری سرد .....                          |
| ۸۸ | ۱۶-۳-۱- بازرسی عینی و ظاهر پوشش .....                       |

## ۸ اصول خوردگی و روش‌های حفاظت از زنگ

|     |                                                                   |
|-----|-------------------------------------------------------------------|
| ۸۸  | ..... ۱۶-۳-۲-آزمایش عدم منفذ با دستگاه                            |
| ۸۸  | ..... ۱۶-۳-۳-آزمایش چسبندگی                                       |
| ۹۰  | ..... ۱۶-۴-تعمیر پوشش لوله در عایق کاری سرد                       |
| ۹۰  | ..... ۱۶-۵-نگهداری نوارهای سرد                                    |
| ۹۱  | ..... ۱۶-۶-شرایط محیطی برای انجام عایق کاری سرد                   |
| ۹۱  | ..... ۱۶-۷-تشخیص سالم بودن نوارهای سرد                            |
| ۹۲  | ..... ۱۷-عایق کاری گرم                                            |
| ۹۲  | ..... ۱۷-۱-مقدمه                                                  |
| ۹۲  | ..... ۱۷-۲-پوشش گرم با کلاه                                       |
| ۹۳  | ..... ۱۷-۳-پوشش گرم با کلاه                                       |
| ۹۴  | ..... ۱۷-۴-پوشش دوبله                                             |
| ۹۴  | ..... ۱۷-۵-نکاتی در مورد عایق کاری گرم                            |
| ۹۵  | ..... ۱۷-۶-روش‌های شناخت سالم بودن پوشش گرم                       |
| ۹۵  | ..... ۱۷-۷-آزمایشات پوشش لوله در عایق کاری گرم                    |
| ۹۵  | ..... ۱۷-۱-۷-بازرسی عینی پوشش                                     |
| ۹۵  | ..... ۱۷-۲-۷-آزمایش عدم منفذ با دستگاه <i>Holiday Detector</i>    |
| ۹۶  | ..... ۱۷-۳-۷-آزمایش چسبندگی                                       |
| ۹۶  | ..... ۱۷-۸-تعمیر پوشش لوله در عایق کاری گرم                       |
| ۹۶  | ..... ۱۷-۹-نگهداری و حمل و نقل لوله‌های پوشش شده در عایق کاری سرد |
| ۹۸  | ..... ۱۸-عایق کاری شیرآلات و اتصالات مدفون در خاک                 |
| ۱۰۰ | ..... ۱۹-آزمایش کیفیت پوشش لوله‌های مدفون                         |
| ۱۰۲ | ..... ۲۰-معرفی و روش کار دستگاه <i>Holiday Detector</i>           |

## بخش سوم: حفاظت کاتدیک

|     |                                           |
|-----|-------------------------------------------|
| ۱۰۷ | ..... ۲۱-مقدمه ای بر کنترل خوردگی         |
| ۱۰۸ | ..... ۲۲-تاریخچه و اصول پایه (منطق اولیه) |

|     |                                                        |
|-----|--------------------------------------------------------|
| ۱۱۰ | ..... ۲۳ انواع سیستم‌های حفاظت کاتدیک                  |
| ۱۱۰ | ..... ۲۳-۱- روش آندهای فدا شونده                       |
| ۱۱۱ | ..... ۲۳-۲- روش تزریق جریانی                           |
| ۱۱۳ | ..... ۲۴ معیار حفاظت کاتدیک                            |
| ۱۱۳ | ..... ۲۴-۱- مدار جریان                                 |
| ۱۱۴ | ..... ۲۴-۲- نقش پوشش در حفاظت کاتدیک                   |
| ۱۱۵ | ..... ۲۴-۳- روش پلاریزاسیون در حفاظت کاتدیک            |
| ۱۱۸ | ..... ۲۴-۴- حداقل در حفاظتی                            |
| ۱۱۸ | ..... ۲۴-۴-۱- مقدمه                                    |
| ۱۱۸ | ..... ۲۴-۴-۲- حداقل ولتاژ - معیار اول                  |
| ۱۱۹ | ..... ۲۴-۴-۳- حداقل ولتاژ حفاظتی - معیار دوم           |
| ۱۲۱ | ..... ۲۵ جریان‌های سرگردان                             |
| ۱۲۱ | ..... ۲۵-۱- مقدمه                                      |
| ۱۲۲ | ..... ۲۵-۲- جریان‌های سرگردان مستقیم                   |
| ۱۲۴ | ..... ۲۵-۲-۱- جریان‌های سرگردان ناشی از رخدادهای رشیدی |
| ۱۲۴ | ..... ۲۵-۳- جریان‌های سرگردان با ماهیت جریان متناوب    |
| ۱۲۵ | ..... ۲۵-۴- پایش جریان‌های سرگردان                     |
| ۱۲۷ | ..... ۲۶ بسترهای آندی                                  |
| ۱۲۷ | ..... ۲۶-۱- انواع بسترهای آندی                         |
| ۱۳۴ | ..... ۲۶-۲- بسترهای آندی سطحی                          |
| ۱۳۴ | ..... ۲۶-۳- بسترهای آندی عمیق                          |
| ۱۳۵ | ..... ۲۶-۴- محوطه اثر و مقاومت بسترهای آندی            |
| ۱۳۶ | ..... ۲۶-۵- بستر آندی دور                              |
| ۱۳۷ | ..... ۲۶-۶- بستر آندی نزدیک                            |
| ۱۳۷ | ..... ۲۶-۷- پشت بند یا بک فیل                          |
| ۱۳۷ | ..... ۲۶-۷-۱- مقدمه                                    |
| ۱۳۸ | ..... ۲۶-۷-۲- پشت بند کربنی                            |

## ۱۰ اصول خوردگی و روش‌های حفاظت از زنگ

|     |                                                   |
|-----|---------------------------------------------------|
| ۱۳۸ | ..... ۳-۷-۲۶ - پشت بند شیمیایی                    |
| ۱۳۹ | ..... ۸-۲۶ - انواع آند به تفکیک روش‌های حفاظتی    |
| ۱۳۹ | ..... ۱-۸-۶۲ - آندهای سیستم تزریق جریان           |
| ۱۴۰ | ..... ۲-۸-۲۶ - آندهای فدا شونده                   |
| ۱۴۳ | ..... ۲۷ - سیستمات اعمال جریان                    |
| ۱۴۳ | ..... ۲۷ - یک کننده‌ها                            |
| ۱۴۳ | ..... ۱-۲۷ - تعیین ظرفیت                          |
| ۱۴۶ | ..... ۱-۱-۲۷ - کانال‌ها                           |
| ۱۵۲ | ..... ۳-۱-۲۷ - تجزیه‌ات                           |
| ۱۵۳ | ..... ۲-۲۷ - فلنج عایق                            |
| ۱۵۳ | ..... ۳-۲۷ - کوپلینگ عایقی                        |
| ۱۵۵ | ..... ۴-۲۷ - نقاط اندازه گیری                     |
| ۱۵۵ | ..... ۵-۲۷ - باند باکس                            |
| ۱۵۷ | ..... ۶-۲۷ - غلاف‌ها                              |
| ۱۵۹ | ..... ۲۸ - ملزومات طراحی                          |
| ۱۵۹ | ..... ۱-۲۸ - مقدمه                                |
| ۱۵۹ | ..... ۲-۲۸ - $PH$                                 |
| ۱۶۱ | ..... ۳-۲۸ - تعیین مقاومت‌های مسیر                |
| ۱۶۱ | ..... ۱-۳-۲۸ - مقاومت ویژه خاک                    |
| ۱۶۱ | ..... ۱-۳-۲۸ - مقدمه                              |
| ۱۶۱ | ..... ۲-۳-۲۸ - اندازه گیری مقاومت مخصوص           |
| ۱۶۲ | ..... ۳-۳-۲۸ - روش محفظه خاک                      |
| ۱۶۳ | ..... ۴-۳-۲۸ - روش و نر                           |
| ۱۶۵ | ..... ۲۹ - طراحی                                  |
| ۱۶۵ | ..... ۱-۲۹ - مقدمه                                |
| ۱۶۵ | ..... ۲-۲۹ - محاسبه مقاومت بین لوله و زمین (موثر) |
| ۱۶۶ | ..... ۳-۲۹ - مقاومت بستر                          |

|     |                                                                 |
|-----|-----------------------------------------------------------------|
| ۱۶۶ | ..... ۴-۲۹- تعیین حداقل جریان مورد نیاز                         |
| ۱۶۷ | ..... ۵-۲۹- انتخاب سیستم حفاظتی                                 |
| ۱۶۹ | ..... ۶-۲۹- طراحی سیستم‌های حفاظت کاتدیک به روش تزریق جریانی    |
| ۱۶۹ | ..... ۱-۶-۲۹- روش طراحی حالت اول                                |
| ۱۷۲ | ..... ۲-۶-۲۹- مثال                                              |
| ۱۷۶ | ..... ۳-۶-۲۹- روش طراحی حالت دوم                                |
| ۱۸۲ | ..... ۷-۶-۲۹- طراحی سیستم‌های حفاظت کاتدیک به روش آند فدا شونده |
| ۱۸۵ | ..... ۳۰- بررسی و نگهداری                                       |
| ۱۸۵ | ..... ۱-۳۰- مقدمه                                               |
| ۱۸۶ | ..... ۲-۳۰- ایستگاه‌های حفاظت کاتدیک تزریق جریانی               |
| ۱۸۶ | ..... ۱-۲-۳۰- گزارش مدانه                                       |
| ۱۹۰ | ..... ۲-۲-۳۰- گزارش سه ماهه                                     |
| ۱۹۱ | ..... ۳-۲-۳۰- گزارش شش ماهه                                     |
| ۱۹۴ | ..... ۴-۲-۳۰- گزارش سالیانه                                     |
| ۲۰۰ | ..... ۳-۳۰- ایستگاه‌های حفاظت کاتدیک آند فدا شونده              |
| ۲۰۲ | ..... ۳۱- تعمیر و نگهداری                                       |
| ۲۰۲ | ..... ۱-۳۱- تعمیر و نگهداری یکسو کننده‌ها                       |
| ۲۰۲ | ..... ۲-۳۱- تعمیر و نگهداری بستر آندی                           |
| ۲۰۳ | ..... ۳-۳۱- تعمیر و نگهداری آند فدا شونده                       |
| ۲۰۳ | ..... ۴-۳۱- تعمیر و نگهداری مکان‌های تست                        |
| ۲۰۵ | ..... ۵-۳۱- تعمیر و نگهداری مکان‌های غلاف                       |
| ۲۰۶ | ..... ۳۲- عیب‌یابی ایستگاه حفاظت کاتدیک تزریق جریانی            |
| ۲۰۶ | ..... ۱-۳۲- عدم عملکرد صحیح ترانس رکتیفایر                      |
| ۲۰۶ | ..... ۲-۳۲- عدم عملکرد صحیح کابل‌ها                             |
| ۲۰۷ | ..... ۳-۳۲- عدم عملکرد صحیح آندها                               |
| ۲۰۷ | ..... ۴-۳۲- خشک شدن بیش از حد بستر آندی                         |
| ۲۰۸ | ..... ۵-۳۲- حبس شدن گازهای تولید شده در اطراف آندها             |

## ۱۲ اصول خوردگی و روش‌های حفاظت از زنگ

|     |                                                                      |
|-----|----------------------------------------------------------------------|
| ۲۰۹ | ۳۳ تجهیزات اندازه‌گیری .....                                         |
| ۲۰۹ | ۳۳-۱- مقدمه .....                                                    |
| ۲۰۹ | ۳۳-۲- ولت‌متر .....                                                  |
| ۲۱۱ | ۳۳-۳- آمپر متر .....                                                 |
| ۲۱۲ | ۳۳-۴- دستگاه‌های ثبت‌کننده .....                                     |
| ۲۱۲ | ۳۳-۵- قطب‌کننده‌های جریان .....                                      |
| ۲۱۳ | ۳۴ مکان‌های اندازه‌گیری .....                                        |
| ۲۱۳ | ۳۴-۱- مقدمه .....                                                    |
| ۲۱۳ | ۳۴-۲- تست پتانسیل .....                                              |
| ۲۱۴ | ۳۴-۳- اتصالات عایقی .....                                            |
| ۲۱۵ | ۳۵ روش‌های ارزیابی روش‌ها .....                                      |
| ۲۱۵ | ۳۵-۱- مقدمه .....                                                    |
| ۲۱۵ | ۳۵-۲- اندازه‌گیری ولتاژ لوله نسبت به زمین در فواصل نزدیک .....       |
| ۲۱۶ | ۳۵-۳- $DCVG$ .....                                                   |
| ۲۱۶ | ۳۵-۳-۱- مقدمه .....                                                  |
| ۲۱۸ | ۳۵-۳-۲- روش عیب‌یابی توسط دستگاه $DCVG$ .....                        |
| ۲۲۱ | ۳۵-۳-۳- تشخیص عیب واقعی از عیب مجاز .....                            |
| ۲۲۲ | ۳۵-۳-۴- کاربرد $DCVG$ برای تشخیص حفاظت یا عدم حفاظت نقاط معیوب ..... |
| ۲۲۳ | ۳۵-۳-۵- کاربرد $DCVG$ برای تشخیص جریان‌های سرگردان .....             |
| ۲۲۴ | ۳۵-۳-۶- تشخیص اندازه عیب توسط دستگاه $DCVG$ .....                    |
| ۲۲۷ | ۳۶ روش‌های علامت‌گذاری نقاط معیوب .....                              |

## پیشگفتار

باید یا جریان را سودمند به کار بریم، یا جرأت خود را از دست بدهیم

ویلیام شکسپیر

تا کنون کتب و مقالات متعددی در خصوص خوردگی فلزات مدفون و روش‌های پیشگیری از آن به رشته تحریر درآمده‌اند که هر یک در حوزه‌های مطالعاتی مجزا به تشریح مباحث خود می‌پردازد. از این رو شکافی عمیق در بین مهندسين خوردگی و مهندسين برق ایجاد گردیده که بعضاً منجر به بروز چالش‌های عملیاتی در حوزه‌ی حفاظت کاتدیک لوله‌های مدفون گردیده است. در این راستا سعی شده است با نگاهی بنیادین و بیانی ساده، ضمن تبیین مبانی خوردگی به تفهیم عملکرد سیستم‌های حفاظت کاتدیک و نقش عایق در لوله‌های مدفون بر پایه علم الکتروشیمی پرداخته شود. بخش اول که تحت عنوان اصول و روش‌های خوردگی نام‌گذاری شده است با معرفی پدیده‌ی خوردگی آغاز می‌شود و وقوع آن را در ساختار بنیادی فلز جستجو می‌نماید در پایان بخشی اول با معرفی انواع خوردگی‌های خاص و روش‌های توقف آن نیز ارایه شده است. بخش دوم با عنوان اصول و روش‌های عایق کاری از محتوای تجربی بیشتری برخوردار بوده به گونه‌ی که مباحثی چون درجات زنگ‌زدگی آماده‌سازی سطح فلزی روش‌های زیر سازی فلز و روش‌های عایق کاری را در قالب استاندارد‌های قابل استناد بیان می‌نماید. در بخش سوم ضمن بیان مبانی و اصول حفاظت کاتدیک به خلاصه‌ی روش‌های طراحی و محاسبه اصول کلی کنترل و نگه داری ایستگاه‌های حفاظت کاتدیک پرداخته شده است.

در پایان امید است مطالعه کتاب حاضر بتواند تا حدودی پاسخگوی نیاز طبعین بوده و واحدهای مربوط را در جهت بهبود کنترل خوردگی رهنمون سازد.

و من الله توفیق

گروه مؤلفین

## مقدمه‌ای بر خوردگی

### ۱-۱ مقدمه

هر تکاپویی در جهان برای دستیابی در راستای حصول تعادلی نسبی است. تعادلی که پایداری را در مخلوقات و مصنوعات به ارمغان می‌آورد. آنچه در علوم مهندسی تحت عنوان پایداری شناخته می‌شود، عموماً به معنای تخلیه انرژی مازادی است که به نوعی به سیستم تحمیل شده است.

از این رو کلیه فعالیت‌هایی که در جهت پایداری پیش می‌روند، نیاز به مداخله و حمایت بیرونی نداشته و به صورت خودبه‌خودی رخ می‌دهد. سرد شدن فنجان چای و یا ذوب شدن یخ در محیط اتاق گواهی است بر این مدعی!

هنگامی که یک لوله فولادی مدفون پس از سال‌ها از خاک بیرون آورده می‌شود، آثار تخریب و تغییرات نامطلوب ساختاری در ظاهر آن به خوبی نمایان می‌شود. آنچه مشخصاً استنباط می‌شود، وجود پدیده‌ای خودبه‌خودی است که تنها دست‌خوش شرایط مطالعاتی واقع شده است.

اما این ناپایداری و انرژی مازاد محبوس در این سازه فلزی از کجا آمده است؟ بر رفته و چگونه تخلیه شده است، مبنای مطالعاتی است که امروزه تحت عنوان اصل خوردگی فلزات شناخته شده و نیازمند طرح مباحث بنیادی در علوم پایه و ساختار اتمی مواد می‌باشد.

در این فصل با خگاهی اجمالی به ماهیت الکتروشیمی مواد و برهم‌کنش آن‌ها، سعی بر تفهیم مبانی خوردگی فلزات در حوزه خطوط انتقال و توزیع گاز طبیعی شده است.

### ۱-۲ تبعات اقتصادی خوردگی

طبق گزارشات خبرگزاری ایسنا، خسارات ناشی از خوردگی در ایران و تنها در سال ۱۳۹۰، هجده هزار میلیارد تومان، برآورد گردیده، که معادل ۵۰ میلیارد تومان در روز است.

## ۱۸ اصول خوردگی و روش‌های حفاظت از زنگ

آنچه عنوان شد، مبین حساسیت مقوله خوردگی و جنبه‌های مالی و اقتصادی آن می‌باشد. از آنجایی که اثرات و نتایج واکنش‌های خوردگی در بسیاری از موارد، منجر به زیان‌های مالی و جانی تأسف‌باری می‌شود، لذا مراعات نکات ایمنی به طور دقیق، خصوصاً در موارد حساس، از قبیل ظروف تحت فشار، دیگ‌های بخار، دستگاه‌های حاوی مواد شیمیایی و رادیواکتیو، توربین‌ها، قطعات کشتی و هواپیما، پل‌ها و غیره، بسیار ضروری و حیاتی به نظر می‌رسد. زیان‌های مالی ناشی از خوردگی، به دو بخش تقسیم‌بندی می‌شوند:

بخش اول، تحت عنوان زیان‌های مستقیم نام‌گذاری شده است. هزینه‌های ناشی از تعویض قطعات و دستگاه‌ها، تعمیرات خوردگی حفاظتی از قبیل مخارج رنگ، نصب سیستم‌های حفاظت کاتدیک و غیره، از جمله زیان‌ها است که به صورت مستقیم، توسط خوردگی اعمال می‌گردد. از این میان، می‌توان به وجود صدمات خوردگی و مخارج تعویض میلیون‌ها مخزن آب گرم خانگی، آگزوز اتومبیل‌ها، مخارج اضافی ناشی از تعمیر نوع آلیاژها، گالوانیزه کردن و آب کاری فلزات، اشاره نمود.

ارزیابی خسارات بخش دوم نیز که تحت عنوان زیان‌های غیرمستقیم شناخته می‌شوند، به مراتب پیچیده تر و دشوارتر خواهد بود. در اینجا، به برخی از عواملی که در این نوع زیان‌های مالی تأثیر گذارند، اشاره شده است:

- از کار افتادن دستگاه‌ها و واحدهای عملیاتی
- اتلاف محصولات در اثر نشتی حاصل از خوردگی
- آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از نشتی
- خسارات مالی و جانی ناشی از تخریب پل‌ها، خطوط آب و منابع عمومی
- کاهش راندمان دستگاه‌های حرارتی ناشی از رسوبات خوردگی
- آلودگی محصولات
- ایجاد مسمومیت‌های گوناگون در صنایع غذایی و دارویی در اثر تماس با محصولات خوردگی
- مخارج تعمیرات دستگاه‌های خورده شده و ...

## مقدمه‌ای بر خوردگی ۱۹

بد نیست بدانیم، بر اساس آمارهای جهانی در هر ۹۰ ثانیه، یک تن فولاد در اثر خوردگی از بین می‌رود. انرژی مورد نیاز، جهت تولید این میزان فولاد، حدوداً معادل با انرژی مصرفی یک خانواده جمعیت و سطح رفاهی متوسط در مدت ۳ ماه می‌باشد. به بیان دیگر، در هر شش دقیقه، انرژی مصرفی سالانه یک خانواده، در اثر خوردگی، از دست می‌رود.

www.ketab.ir

## بار الکتریکی، جریان، مقاومت و اختلاف پتانسیل

هر اتم از هسته‌ای بار که چک با جرم نسبتاً زیاد و با بار مثبت، و یک یا چند الکترون بسیار سبک‌تر و با بار منفی تشکیل شده است. می‌توان فرض کرد که الکترون‌ها ناحیه‌ای تقریباً کروی در اطراف هسته اشعه‌ای منفی را تشکیل می‌دهند. بار مثبت هسته، الکترون‌های با بار منفی را می‌رباید و آن‌ها را در مدارهایی پایدار نگه می‌دارد. الکترون‌هایی که به هسته نزدیک‌ترند، ضمن برخورداری از سرعت گردش پایین‌تر، قویاً به مدار خود می‌چسبند، یعنی نمی‌توان آن‌ها را به آسانی از هسته جدا نمود. اما آن‌هایی که در فاصله دورتری نسبت به هسته قرار دارند، مقاومت کمتری از خود نشان داده و آسان‌تر جدا می‌شوند.

از این روست که در برخی مواد چون شیشه، می‌توان الکترون‌های نزدیک به سطح را با مالش مکانیکی به موادی نظیر ابریشم، منتقل کرده و آن‌ها را دارای بار مثبت نمود.

شارل آگوستین دوکولون<sup>۱</sup> در سال ۱۷۶۶ میلادی نشان داد که مادامی که میله شیشه‌ای که متأثر از مالش مکانیکی با ابریشم که دارای بار مثبت شده است را با مالش شل ۱-۲ به سیم واسط میان دو عدد چوب پنبه، اتصال دهیم، بار مثبت به آن‌ها منتقل شده و ناگهان در یکدیگر فاصله می‌گیرند، و این در حالی است که در غیاب یک سیم واسط، اتصال یک میله مجزای شیشه‌ای که خود در اثر مالش با یک سطح پشمی، دارای بار منفی شده است، با یکی از چوب پنبه‌ها، بار منفی را به آن منتقل نموده و منجر به نزدیکی آن دو چوب پنبه خواهد شد.

این آزمایش مبنایی بود بر تدوین قانون کولن:

(( بارهای همنام یکدیگر را دفع می‌کنند و بارهای نا همنام یکدیگر را جذب می‌نمایند ))

1. Charles Augustin De Coulomb (1736-1806)