

مهندسی خوردگی در صنایع نفت و گاز  
(شاخص‌های تعیین نرخ خوردگی و انتخاب مواد)

مؤلف:

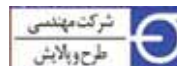
محمدرضا قصابی

سرپرست بخش مهندسی مواد و خوردگی

شرکت مهندسی طرح و پالایش

انتشارات پندار پارس

سرشناسه	: قصابی، محمدرضا، 1358 -
عنوان و نام پدیدآور	: مهندسی خوردگی در صنایع نفت و گاز: (شاخص‌های تعیین نرخ خوردگی و انتخاب مواد)/ مولف محمدرضا قصابی.
مشخصات نشر	: تهران: پندار پارس، 1395. به سفارش شرکت مهندسی طرح و پالایش
مشخصات ظاهری	: 586 ص: مصور، جدول، نمودار.
شابک	: 978-600-8201-23-6 : 750000 ریال
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
یادداشت	: واژه‌نامه .
موضوع	: خوردگی
موضوع	: Corrosion and anti-corrosives
موضوع	: نفت -- صنعت و تجارت -- وسایل و تجهیزات -- خوردگی
موضوع	: Petroleum industry and trade -- Equipment and supplies -- Corrosion
موضوع	: گاز -- صنعت و تجارت -- وسایل و تجهیزات -- خوردگی
موضوع	: Gas industry -- Equipment and supplies -- Corrosion
رده بندی کنگره	: 1395 9م6ق/TA462
رده بندی دیویی	: 620/11223
شماره کتابشناسی ملی	: 4449975



تهران، خیابان قائم مقام فراهانی، کوچه آزادگان، شماره 13، کد پستی 1586735514 پست الکترونیک

[info@tarhopalayesh.com](mailto:info@tarhopalayesh.com)



نام کتاب	: مهندسی خوردگی در صنایع نفت و گاز (شاخص‌های تعیین نرخ خوردگی و انتخاب مواد)
ناشر	: انتشارات پندار پارس، به سفارش شرکت مهندسی طرح و پالایش
تالیف	: محمدرضا قصابی
چاپ نخست	: آبان ماه 95
شمارگان	: 500 نسخه
طرح جلد	: رامین شکرالهی
لیتوگرافی، چاپ، صحافی	: ترامسنج، فرشویه، خیام

قیمت : 75000 تومان : شابک : 978-600-8201-23-6

\* تمامی حقوق اعم از چاپ و تکثیر، نسخه برداری، ترجمه و اقتباس، برای شرکت مهندسی طرح و پالایش محفوظ است.\*

## فهرست

9	فصل 1؛ مروری بر خوردگی در صنایع نفت و گاز.....
9	1-1- مقدمه.....
10	2-1- شرایط اقلیمی ایران.....
10	3-1- تسهیلات سطح الارضی.....
10	4-1- عوامل کلی تخریب‌های ناشی از خوردگی.....
11	1-4-1- طراحی، انتخاب مواد و فرایند.....
11	2-4-1- فقدان دستورالعمل‌های لازم.....
11	3-4-1- خطای انسانی.....
11	4-4-1- بازرسی ضعیف.....
12	5-4-1- چیدمان، نصب و هماهنگی ضعیف.....
12	6-4-1- بروز موارد ناخواسته.....
12	7-4-1- سایر موارد.....
13	فصل 2؛ انواع خوردگی در صنایع نفت و گاز.....
13	1-2- مقدمه.....
14	2-2- خوردگی یکنواخت.....
14	1-2-2- روش‌های جلوگیری.....
14	3-2- حفره‌دار شدن.....
15	1-3-2- روش‌های جلوگیری.....
15	4-2- خوردگی بین‌دانه‌ای.....
16	1-4-2- روش‌های جلوگیری.....
16	5-2- خوردگی سایشی.....
17	1-5-2- روش‌های جلوگیری.....
17	6-2- خوردگی گالوانیک.....
18	1-6-2- روش‌های جلوگیری.....
18	7-2- خوردگی توام با تنش.....
18	1-7-2- روش‌های جلوگیری.....
19	فصل 3؛ انواع چاه‌های نفت و گاز.....
19	1-3- مقدمه.....

20	2-3- تفاوت چاه‌های نفت و گاز .....
22	3-3- اسیدی کردن .....
22	4-3- تغییر ترکیب شیمیایی مخازن نفت و گاز .....
25	<b>فصل 4؛ عوامل خوردگی در محیط‌های هیدروکربنی .....</b>
25	1-4- مقدمه .....
26	2-4- تجهیزات سرچاهی .....
26	3-4- تجهیزات زیر سطحی .....
26	4-4- خطوط لوله جریان‌ی .....
26	5-4- تجهیزات خاص .....
27	6-4- استحکام تسلیم .....
27	7-4- شرایط ماده .....
28	8-4- سختی .....
28	9-4- جوشکاری .....
28	10-4- عوامل محیطی .....
28	1-10-4- آب .....
31	2-10-4- ترکیب شیمیایی آب .....
32	1-2-10-4- مقادیر پیش‌فرض گونه‌های کربوکسیلی آب همراه .....
33	3-10-4- سولفید هیدروژن - خوردگی ترش .....
34	4-10-4- دی‌اکسیدکربن - خوردگی شیرین .....
35	5-10-4- کلریدها .....
36	6-10-4- مقدار کل ذرات جامد حل شده .....
36	7-10-4- بی‌کربنات‌ها .....
37	8-10-4- اسیدهای ارگانیک و قدرت یونی محلول .....
38	9-10-4- حداکثر دمای عملیاتی .....
41	10-10-4- نسبت گاز به نفت .....
41	11-10-4- نسبت هیدروکربن‌ها به آب .....
42	12-10-4- نسبت آب (مایع) به گاز .....
42	13-10-4- درصد حجمی آب در نفت یا برش آب .....
44	14-10-4- گوگرد و اکسیژن .....
46	15-10-4- غلظت یون هیدروژن (pH) .....
47	16-10-4- نوع جریان .....

49	17-10-4 - خوردگی تحت تاثیر اکسیژن.....
49	18-10-4 - سرعت ظاهری گاز .....
52	19-10-4 - گرید API .....
52	20-10-4 - باکتری‌ها.....
54	21-10-4 - ماسه و ذرات جامد.....
56	22-10-4 - جیوه .....
56	23-10-4 - اثر واکس .....
57	24-10-4 - اثر نوع فولاد.....
59	<b>فصل 5؛ خوردگی ترش</b> .....
59	1-5-1 - مقدمه .....
62	2-5-2 - تاول هیدروژنی .....
64	3-5-3 - تردی هیدروژنی .....
64	4-5-4 - ترک خوردگی تحت تاثیر هیدروژن (HIC) .....
65	1-4-5-1 - فاکتورهای محیطی موثر بر HIC .....
66	2-4-5-2 - فاکتورهای موثر بر HIC .....
67	3-4-5-3 - روش‌های جلوگیری یا کنترل HIC .....
68	5-5-5 - خوردگی تنشی سولفیدی .....
70	6-5-6 - مقایسه HIC و SSC .....
72	7-5-7 - ترک خوردن تحت تاثیر هیدروژن و تنش (SOHIC/SZC) .....
73	1-7-5-1 - مسائل مطرح در پدیده SOHIC .....
75	<b>فصل 6؛ ارزیابی مواد برای کاربرد در محیط‌های ترش</b> .....
75	1-6-1 - مقدمه .....
76	2-6-2 - حساسیت به خوردگی سولفیدی تنشی (SSC).....
76	1-2-6-1 - استاندارد NACE MR0175/ISO15156 .....
78	2-2-6-2 - استاندارد EFC Publication No.16 .....
79	3-2-6-3 - استاندارد NACE MR0103 .....
81	4-2-6-4 - نحوه محاسبه فشار جزیی گازهای اسیدی .....
82	3-6-3 - حساسیت به ترک خوردگی تحت تاثیر هیدروژن (HIC).....
86	4-6-4 - تست‌های آزمایشگاهی .....
87	1-4-6-1 - آزمایش خوردگی تنشی سولفیدی (SSC).....
89	2-4-6-2 - آزمایش ترک خوردن تحت تاثیر هیدروژن (HIC).....

90.....	3-4-6- آزمایش ترک خوردگی تحت تاثیر هیدروژن و تنش (SOHIC)
91.....	4-4-6- فرکانس پیشنهادی انجام تست‌های خوردگی
95.....	<b>فصل 7: خوردگی شیرین</b>
95.....	1-7- مقدمه
97.....	2-7- سرعت خوردگی بر حسب نسبت $H_2S - CO_2$
99.....	3-7- محصولات خوردگی
99.....	1-3-7- سیستم‌های شیرین
99.....	2-3-7- سیستم‌های ترش
100.....	3-3-7- سیستم‌های متوسط
101.....	<b>فصل 8: مدل‌های محاسبه نرخ خوردگی</b>
101.....	1-8- مقدمه
103.....	2-8- مبانی مدل‌های پیشبینی نرخ خوردگی
106.....	3-8- صحت و دقت پارامترهای ورودی
107.....	4-8- سطح یا شدت خوردگی
107.....	1-4-8- مرحله اول: مطالعات امکان‌سنجی یا مفهومی
108.....	2-4-8- مرحله دوم: طراحی تفصیلی
111.....	5-8- احتمال خوردگی
113.....	6-8- مدل نیمه تجربی
116.....	1-6-8- محاسبه نرخ خوردگی نهایی
116.....	2-6-8- اثر گلايکول
117.....	3-6-8- اثر پوسته‌های خوردگی محافظ
118.....	4-6-8- اثر آب همراه
120.....	5-6-8- اثر ممانعت‌کننده
120.....	6-6-8- اثر فرایند میعان
121.....	7-6-8- اثر اسیدیته آب همراه
124.....	8-6-8- اثر سولفید هیدروژن
126.....	7-8- مدل نیمه تجربی
127.....	1-7-8- تاثیر دما بر تشکیل رسوب (محصولات خوردگی)
127.....	2-7-8- معادله تصحیح شده
128.....	3-7-8- تاثیرات رفتار بازدارندگی خوردگی و گلايکول
129.....	8-8- مدل Cassandra

129.....	Hydrocor مدل 9-8
130.....	Corplus مدل 10-8
130.....	KSC مدل 11-8
130.....	Multicorp مدل 12-8
130.....	ECE مدل 13-8
131.....	Predict مدل 14-8
133.....	Corpos مدل 15-8
133.....	Corprog مدل 16-8
133.....	SweetCor مدل 17-8
134.....	Tulsa مدل دانشگاه 18-8
134.....	OLI مدل 19-8
134.....	ULL مدل دانشگاه 20-8
134.....	Norsok مدل 21-8
137.....	CorPos <sup>TM</sup> مدل 22-8
137.....	1-22-8 - شبیه‌سازی جریان‌های چند فازی
137.....	2-22-8 - شبیه‌سازی فاز آبی
137.....	3-22-8 - pH و ترکیب شیمیایی آب
138.....	4-22-8 - شبیه‌سازی خوردگی نقطه‌های
139.....	23-8 - مدل سوکراتز
139.....	24-8 - تعیین اضافه ضخامت مربوط به جبران خوردگی
141.....	<b>فصل 9؛ تکنیک‌های کنترل خوردگی</b>
141.....	1-9 - مقدمه
143.....	2-9 - استفاده از آلیاژهای مقاوم به خوردگی
143.....	3-9 - تزریق بازدارنده‌های خوردگی
143.....	4-9 - توپکرانی
144.....	5-9 - روش تثبیت pH
144.....	1-5-9 - جنبه‌های تئوری حفاظت و کنترل روش تثبیت pH
144.....	2-5-9 - فاکتورهای کلیدی محافظت به روش تثبیت pH در سیستم‌های شیرین
145.....	3-5-9 - فاکتورهای کلیدی محافظت به روش تثبیت pH در سیستم‌های ترش
147.....	<b>فصل 10؛ انتخاب آلیاژهای مقاوم به خوردگی</b>
147.....	1-10 - مقدمه

151.....	2-10- مراحل ارزیابی فولادهای مقاوم به خوردگی
151.....	10-2-1- مرحله اول: ارزیابی مقاومت به خوردگی عمومی
152.....	10-2-2- مرحله دوم: ارزیابی مقاومت به ترک خوردگی تنشی (SCC)
157.....	10-2-3- مرحله سوم: ارزیابی مقاومت به خوردگی حفره‌ای
158.....	10-2-4- مرحله چهارم: ارزیابی مقاومت به ترک های تنشی سولفیدی SSC
159.....	10-2-5- مطالعات موردی
160.....	10-2-5-1- شیرین‌سازی نفت قبل از نمک‌زدایی
164.....	10-2-5-2- شیرین‌سازی نفت بعد از نمک‌زدایی
177.....	<b>فصل 11؛ ممانعت‌کننده‌های مورد استفاده در صنایع نفت و گاز</b>
177.....	11-1- مقدمه
178.....	11-2- دسته‌بندی ممانعت‌کننده‌ها
180.....	11-3- انواع رویین‌کننده‌ها
181.....	11-4- بررسی میزان بازدهی مواد بازدارنده خوردگی
182.....	11-5- روش‌های تزریق مواد بازدارنده
182.....	11-5-1- عدم تزریق
182.....	11-5-2- روش ناپیوسته یا منقطع
183.....	11-5-3- تزریق دوره‌ای
183.....	11-5-4- روش پیوسته
183.....	11-5-5- روش فشاری
184.....	11-6- راندمان بازدارندگی
185.....	11-7- کاربرد بازدارنده‌های خوردگی در چاه‌های نفت و گاز
185.....	11-8- بازدارنده‌های محیط‌های آبی
187.....	11-9- کاربرد بازدارنده‌ها
188.....	11-9-1- خوردگی در سیستم بالاسری برج تقطیر
193.....	11-9-2- روش‌های جلوگیری از خوردگی در سیستم‌های بالاسری
194.....	11-9-3- نم‌زدایی از نفت خام
195.....	11-9-4- خنثی‌سازی
200.....	11-9-5- بازدارنده‌های تشکیل دهنده فیلم
201.....	<b>فصل 12؛ پایش خوردگی</b>
201.....	12-1- مقدمه
202.....	12-2- نقش پایش خوردگی



203.....	3-12- تفاوت مفاهیم بازرسی خوردگی و پایش خوردگی
203.....	4-12- نقش پایش خوردگی در نظام مدیریت یکپارچه
204.....	5-12- انتخاب بهترین روش پایش خوردگی
205.....	6-12- روش‌ها و فنون پایش خوردگی
205.....	1-6-12- کوپن‌های خوردگی (روش نفوذی)
206.....	1-1-6-12- مزایا
206.....	2-1-6-12- محدودیت‌ها و معایب
207.....	2-6-12- پراب مقاومت الکتریکی (روش نفوذی)
207.....	1-2-6-12- مزایا
207.....	2-2-6-12- محدودیت‌ها و معایب
208.....	3-6-12- پراب‌های مقاومت القایی (نفوذی)
208.....	1-3-6-12- مزایا
208.....	2-3-6-12- محدودیت‌ها و معایب
208.....	4-6-12- پراب‌های مقاومت پلاریزاسیون خطی (روش نفوذی)
209.....	1-4-6-12- مزایا
209.....	2-4-6-12- محدودیت‌ها و معایب
209.....	3-4-6-12- کاربردهای اصلی
210.....	4-4-6-12- مقایسه روش‌های ER و LPR
211.....	5-6-12- روش نوین الکتروشیمیایی (روش نفوذی)
212.....	1-5-6-12- مزایا
213.....	2-5-6-12- محدودیت‌ها و معایب
213.....	6-6-12- پایش هیدروژن (روش نفوذی و غیر نفوذی)
214.....	1-6-6-12- مزایا
214.....	2-6-6-12- محدودیت‌ها و معایب
215.....	7-6-12- روش پایش pH یا ترکیب شیمیایی آب (روش نفوذی و غیر نفوذی)
215.....	1-7-6-12- مزایا
215.....	2-7-6-12- محدودیت‌ها و معایب
226.....	7-12- استقرار برنامه پایش خوردگی
237.....	<b>فصل 13؛ اصول انتخاب مواد در صنعت نفت و گاز</b>
231.....	1-13- مقدمه
233.....	2-13- روش کار

233.....	1-2-13- مرحله اول
233.....	2-2-13- مرحله دوم
233.....	3-2-13- مرحله سوم
234.....	4-2-13- مرحله چهارم
234.....	5-2-13- مرحله پنجم
234.....	6-2-13- مرحله ششم
234.....	3-13- نقشه‌های انتخاب مواد
<b>فصل 14؛ انتخاب مواد در کارخانه‌های تولید، جمع‌آوری و فراورش نفت و گاز..... 239</b>	
239.....	1-14- مقدمه
240.....	2-14- تعریف پارامترهای خوردگی
240.....	1-2-14- دمای نقطه شبنم
241.....	2-2-14- فوگاسیته
241.....	3-2-14- هیدروکربن
241.....	4-2-14- کسر مولی
241.....	5-2-14- نفت
241.....	6-2-14- نرخ خوردگی پیش‌بینی شده
242.....	7-2-14- مخزن
243.....	8-2-14- نرخ خوردگی باقی‌مانده
243.....	9-2-14- وزن مخصوص
243.....	10-2-14- فاکتورهای تبدیل
245.....	11-2-14- تر شدن سطوح با آب
245.....	12-2-14- سیستم‌های مایع و چند فازی
246.....	13-2-14- سیستم‌های گازی و گاز همراه با میعانات
247.....	3-14- پارامترهای خوردگی
247.....	1-3-14- دما
248.....	2-3-14- فشار
248.....	3-3-14- برش آب
248.....	4-14- انواع سیالات
249.....	5-14- کارخانه‌های جمع‌آوری و فراورش گاز
249.....	6-14- کارخانه‌های جمع‌آوری نفت و گاز
251.....	7-14- کارخانه‌های فراورش نفت

- 252..... 8-14- کارخانه‌های فراورش گاز
- 253..... 9-14- مواد فلزی
- 253..... 10-14- روش‌های کنترل خوردگی
- 253..... 11-14- کلاس خوردگی سیستم‌های فرایندی مختلف
- 254..... 1-11-14- سیستم‌های چند فازي و هیدروکربن‌های مایع (سیستم فرایندی نوع I.L.)
- 254..... 2-11-14- سیستم گازی همراه با میعانات گازی (سیستم فرایندی نوع I.G.)
- 255..... 3-11-14- گلايکول
- 256..... 4-11-14- آمین
- 257..... 1-4-11-14- غلظت محلول آمین
- 257..... 2-4-11-14- بارگیری گاز اسیدی
- 257..... 5-11-14- انواع آب‌ها
- 259..... 1-5-11-14- خوردگی در آب‌های شیرین
- 262..... 12-14- کارخانه‌های جمع‌آوری نفت و گاز
- 262..... 1-12-14- موارد عمومی
- 262..... 2-12-14- خطوط لوله جریانی نفت و خطوط چند فازي
- 265..... 3-12-14- خطوط لوله جریانی گاز
- 267..... 4-12-14- خط لوله جریانی آب همراه
- 267..... 5-12-14- تفکیک‌گر سرچاهی
- 268..... 6-12-14- خط لوله گلايکول
- 268..... 7-12-14- چند راهه‌ها
- 268..... 8-12-14- پیچ‌ها
- 269..... 13-14- کارخانه‌های فراورش نفت
- 269..... 1-13-14- موارد عمومی
- 269..... 2-13-14- خطوط چند فازي بین چند راهه و تفکیک‌گر
- 270..... 3-13-14- میدل‌های حرارتی
- 271..... 4-13-14- کولرهای هوایی
- 272..... 5-13-14- تفکیک‌گرها (یک، دو و سه فازي)
- 274..... 6-13-14- خطوط نفت مابین تفکیک‌گرها
- 274..... 7-13-14- خطوط جمع‌آوری گاز
- 275..... 8-13-14- خطوط آب همراه
- 277..... 9-13-14- تثبیت‌کننده
- 277..... 10-13-14- خطوط جریانی نفت

277.....	11-13-14- خطوط نفت.....
278.....	14-14- کارخانه‌های فراورش گاز .....
278.....	1-14-14- موارد عمومی .....
278.....	2-14-14- خطوط گاز اشباع از آب .....
278.....	3-14-14- کارخانه‌های تفکیک (جداسازی).....
281.....	4-14-14- خطوط لوله جریانی آب همراه.....
281.....	5-14-14- خطوط میعانات گازی .....
281.....	6-14-14- پیش گرم کن‌های گاز مرطوب .....
282.....	7-14-14- برج‌های نمزدایی .....
282.....	8-14-14- خطوط گاز خشک .....
282.....	9-14-14- خطوط جمع‌آوری گاز بعد از افت فشار .....
283.....	15-14- شیرها .....
283.....	1-15-14- علامت مشخصه .....
283.....	2-15-14- قطعات شیر .....
284.....	3-15-14- مواد پیشنهادی .....
286.....	16-14- پمپ .....
286.....	1-16-14- علامت مشخصه .....
286.....	2-16-14- قطعات پمپ .....
290.....	17-14- سرویس‌های جانبی (غیرهیدروکربنی).....
291.....	18-14- قوانین سرانگشتی در انتخاب مواد .....
291.....	1-18-14- تاسیسات پایین دستی .....
293.....	2- 18-14- تاسیسات بالا دستی .....
315.....	19-14- انتخاب مواد در دمای پایین .....
315.....	1-19-14- تعیین حداقل دمای طراحی .....
316.....	20-14- استفاده از تاسیسات قدیمی در طراحی تاسیسات جدید .....
317.....	<b>فصل 75؛ خوردگی در محیط‌های هیدروکربنی در دمای بالا</b> .....
317.....	1-15- مقدمه .....
318.....	2-15- اکسیداسیون .....
318.....	3-15- سولفیداسیون .....
319.....	4-15- کربوره شدن .....
320.....	5-15- دکربوره شدن .....

- 321..... 6-15- نیترووره شدن
- 322..... 7-15- خسارت‌های هیدروژنی دمای بالا
- فصل 16: مکانیزم‌های خوردگی عمومی در صنعت پالایش..... 325**
- 326..... 1-16- خوردگی ناشی از آمین
- 326..... 1-1-16- شرح خسارت
- 326..... 2-1-16- آلیاژهای مستعد به خوردگی
- 326..... 3-1-16- عوامل موثر در خوردگی
- 327..... 4-1-16- تجهیزات و واحدهای مستعد به خوردگی
- 328..... 5-1-16- ظاهر یا مورفولوژی خسارت
- 328..... 6-1-16- روش‌های پیش‌گیری یا کاهش خسارت
- 329..... 7-1-16- روش‌های بازرسی و پایش
- 330..... 2-16- خوردگی ناشی از بی‌سولفید آمونیوم
- 330..... 1-2-16- شرح خسارت
- 330..... 2-2-16- آلیاژهای مستعد به خوردگی
- 330..... 3-2-16- عوامل موثر در بروز خوردگی
- 331..... 4-2-16- تجهیزات و واحدهای مستعد به خوردگی
- 331..... 1-4-2-16- واحدهای هیدروپروسسینگ
- 332..... 2-4-2-16- واحدهای FCC
- 332..... 3-4-2-16- برج عریان‌ساز آب ترش
- 332..... 4-4-2-16- واحدهای آمین
- 332..... 5-4-2-16- دستگاه‌های Delayed Coker
- 332..... 5-2-16- ظاهر یا مورفولوژی خسارت
- 333..... 6-2-16- روش‌های پیش‌گیری یا کاهش خسارت
- 334..... 3-16- خوردگی کلرید آمونیوم
- 334..... 1-3-16- شرح خسارت
- 334..... 2-3-16- آلیاژهای مستعد به خوردگی
- 334..... 3-3-16- عوامل موثر در بروز خوردگی
- 335..... 4-3-16- تجهیزات و واحدهای مستعد به خوردگی
- 335..... 1-4-3-16- برج‌های بالاسری نفت خام
- 335..... 2-4-3-16- واحد هیدروپروسسینگ
- 335..... 3-4-3-16- واحد تبدیل کاتالیستی

- 336.....5-3-16- ظاهر یا مورفولوژی خسارت.....
- 336.....6-3-16- روش‌های پیش‌گیری یا کاهش خسارت.....
- 336.....1-6-3-16- روش پیش‌گیری در واحد نفت خام.....
- 336.....2-6-3-16- روش پیش‌گیری در واحد هیدروپروسسینگ.....
- 337.....3-6-3-16- روش پیش‌گیری در واحد تبدیل کاتالیستی.....
- 337.....7-3-16- روش‌های بازرسی و پایش.....
- 337.....4-16- خوردگی ناشی از اسیدکلریدریک.....
- 337.....1-4-16- شرح خسارت.....
- 338.....2-4-16- آلیاژهای مستعد.....
- 338.....3-4-16- عوامل موثر در بروز خوردگی.....
- 338.....4-4-16- تجهیزات و واحدهای مستعد به خوردگی.....
- 338.....1-4-4-16- واحد نفت خام.....
- 339.....2-4-4-16- واحدهای هیدروپروسسینگ.....
- 339.....3-4-4-16- واحدهای تبدیل کاتالیستی.....
- 339.....5-4-16- ظاهر یا مورفولوژی خسارت.....
- 340.....6-4-16- روش‌های پیش‌گیری یا کاهش خسارت.....
- 340.....1-6-4-16- واحد نفت خام.....
- 340.....2-6-4-16- واحدهای هیدروپروسسینگ.....
- 340.....3-6-4-16- واحدهای تبدیل کاتالیستی.....
- 341.....7-4-16- روش بازرسی و پایش.....
- 341.....5-16- خوردگی  $H_2/H_2S$  در دمای بالا.....
- 341.....1-5-16- شرح خسارت.....
- 341.....2-5-16- آلیاژهای مستعد.....
- 342.....3-5-16- عوامل موثر در بروز خوردگی.....
- 342.....4-5-16- تجهیزات و واحدهای مستعد به خوردگی.....
- 343.....5-5-16- ظاهر و مورفولوژی خسارت.....
- 343.....6-5-16- روش‌های پیش‌گیری و یا کاهش خسارت.....
- 343.....7-5-16- روش‌های بازرسی و پایش.....
- 344.....6-16- خوردگی اسید فلوریدریک.....
- 344.....1-6-16- شرح خسارت.....
- 344.....2-6-16- آلیاژهای مستعد.....
- 344.....3-6-16- عوامل موثر در بروز خوردگی.....

- 345.....تجهیزات و واحدهای مستعد به خوردگی 4-6-16
- 346.....ظاهر یا مورفولوژی خسارت 5-6-16
- 346.....روش‌های پیش‌گیری و یا کاهش خسارت 6-6-16
- 347.....روش‌های بازرسی و پایش خوردگی 7-6-16
- 347.....خوردگی ناشی از اسید نفتیک 7-16
- 347.....شرح خسارت 1-7-16
- 347.....آلیاژهای مستعد 2-7-16
- 348.....عوامل موثر در بروز خوردگی 3-7-16
- 349.....تجهیزات و واحدهای مستعد به خوردگی 4-7-16
- 350.....ظاهر یا مورفولوژی خسارت 5-7-16
- 350.....روش‌های پیشگیری و یا کاهش خسارت 6-7-16
- 350.....روش‌های بازرسی و پایش خوردگی 7-7-16
- 351.....مکانیزم‌های مرتبط با خوردگی 8-7-16
- 351.....خوردگی ناشی از فنل (اسیدکربونیک) 8-16
- 351.....شرح خسارت 1-8-16
- 351.....آلیاژهای مستعد 2-8-16
- 351.....عوامل موثر در بروز خوردگی 3-8-16
- 352.....تجهیزات و واحدهای مستعد به خوردگی 4-8-16
- 352.....ظاهر یا مورفولوژی خسارت 5-8-16
- 352.....روش‌های پیشگیری و یا کاهش خسارت 6-8-16
- 353.....روش‌های بازرسی و پایش 7-8-16
- 353.....خوردگی ناشی از اسید فسفریک 9-16
- 353.....شرح خسارت 1-9-16
- 353.....آلیاژهای مستعد 2-9-16
- 353.....عوامل موثر در بروز خوردگی 3-9-16
- 353.....تجهیزات و واحدهای مستعد به خوردگی 4-9-16
- 354.....ظاهر یا مورفولوژی خسارت 5-9-16
- 354.....روش‌های پیشگیری و یا کاهش خسارت 6-9-16
- 354.....روش‌های بازرسی و پایش 7-9-16
- 354.....خوردگی ناشی از آب‌های ترش (آب‌های اسیدی) 10-16
- 354.....شرح خسارت 1-10-16
- 355.....آلیاژهای مستعد 2-10-16

- 355.....3-10-16 عوامل موثر در بروز خوردگی
- 356.....4-10-16 تجهیزات و واحدهای مستعد به خوردگی
- 356.....5-10-16 ظاهر یا مورفولوژی خسارت
- 356.....6-10-16 روش‌های پیش‌گیری و یا کاهش خسارت
- 356.....7-10-16 روش‌های بازرسی و پایش خوردگی
- 357.....11-16 خوردگی ناشی از اسید سولفوریک
- 357.....1-11-16 شرح خسارت
- 357.....2-11-16 آلیاژهای مستعد
- 357.....3-11-16 عوامل موثر در بروز خوردگی
- 358.....4-11-16 تجهیزات و واحدهای مستعد به خوردگی
- 358.....5-11-16 ظاهر یا مورفولوژی خسارت
- 358.....6-11-16 روش‌های پیش‌گیری و یا کاهش خسارت
- 359.....7-11-16 روش‌های بازرسی و پایش

### فصل 17؛ مکانیزم‌های تخریب و محل بروز آنها در واحدهای پالایشگاهی..... 361

- 361.....1-17 مقدمه
- 364.....2-17 مکانیزم‌های تخریب و محل بروز آنها در واحد تقطیر نفت خام
- 366.....3-17 مکانیزم‌های تخریب و محل بروز آنها در واحدهای تصفیه هیدروژنی
- 368.....4-17 مکانیزم‌های تخریب و محل بروز آنها در واحد تبدیل کاتالیستی با بستر ثابت
- 370.....5-17 مکانیزم‌های تخریب و محل بروز آنها در واحد شکستن (کراکینگ) کاتالیستی با بستر سیال (FCC)
- 372.....6-17 مکانیزم‌های تخریب و محل بروز آنها در واحد تبدیل کاتالیستی مداوم CCR
- 374.....7-17 مکانیزم‌های تخریب و محل بروز آنها در واحد بازیابی فراورده‌های سبک خروجی از واحد FCC
- 376.....8-17 مکانیزم‌های تخریب و محل بروز آنها در واحد پیوند مولکولی با کاتالیزور اسید سولفوریک
- 378.....9-17 مکانیزم‌های تخریب و محل بروز آنها در واحد پیوند مولکولی با کاتالیزور اسید فلوریدریک
- 380.....10-17 مکانیزم‌های تخریب و محل بروز آنها در واحد ایزومریزاسیون بوتان
- 383.....11-17 مکانیزم‌های تخریب و محل بروز آنها در واحد تولید هیدروژن
- 385.....12-17 مکانیزم‌های تخریب و محل بروز آنها در واحد آمین
- 387.....13-17 مکانیزم‌های تخریب و محل بروز آنها در واحدهای تصفیه آب ترش
- 387.....14-17 مکانیزم‌های خوردگی در واحد تصفیه آب ترش
- 389.....15-17 مکانیزم‌های تخریب و محل بروز آنها در واحد بازیابی گوگرد از سولفید هیدروژن
- 391.....16-17 مکانیزم‌های تخریب و محل بروز آنها در واحد تولید کک



393.....	<b>فصل 18؛ طراحی برنامه‌های بازرسی فنی</b>
393.....	1-18- مقدمه
394.....	2-18- هدف از انجام بازرسی فنی تجهیزات
394.....	3-18- طراحی برنامه بازرسی
394.....	1-3-18- اطلاعات مورد نیاز برای طراحی برنامه بازرسی
395.....	2-3-18- شناسایی نوع خسارت‌ها و محل بروز آنها
400.....	3-3-18- انتخاب روش‌های مناسب برای انجام برنامه بازرسی
402.....	4-18- روش تعیین دوره زمانی انجام برنامه‌های بازرسی
417.....	<b>فصل 19؛ اقتصاد مهندسی خوردگی</b>
417.....	1-19- مقدمه
418.....	2-19- انواع هزینه‌های خوردگی
420.....	3-19- معرفی روش‌های تجزیه و تحلیل هزینه‌های خوردگی
421.....	1-3-19- نرخ بازگشت سرمایه داخلی (IROR)
421.....	2-3-19- ارزش فعلی درآمد آتی (PWRR)
421.....	3-3-19- بازپرداخت تنزیل شده (DPB) و نسبت سود - هزینه (BCR)
422.....	4-3-19- ارزش فعلی (PW) یا ارزش خالص فعلی (NPV)
423.....	<b>فصل 20؛ مدیریت خوردگی</b>
423.....	1-20- مقدمه
425.....	2-20- مفهوم مدیریت خوردگی
426.....	3-20- فرایند مدیریت خوردگی
429.....	4-20- نقش مهندس خوردگی در مدیریت خوردگی
433.....	<b>فصل 21؛ ضمایم</b>
433.....	ضمیمه شماره 1؛ فولادهای دما پایین (LT)
457.....	ضمیمه شماره 2؛ مواد فلزی - استانداردهای منتخب
460.....	2- مواد فلزی - غیرآلیاژی
460.....	1-2- ورق، شیت و تسمه
463.....	2-2- تیوب
464.....	3-2- لوله
467.....	4-2- اقلام آهنگری شده، فلنج‌ها و اتصالات لوله‌کشی
469.....	5-2- اقلام ریختگی

470.....	6-2- میلگرد، مقاطع و سیم .....
471.....	7-2- پیچها .....
472.....	3- فلزات آهنی - آلیاژی .....
472.....	3-1- ورق، شیت و تسمه .....
477.....	3-2- تیوب .....
482.....	3-3- لوله .....
488.....	3-4- اقلام آهنگری شده، فلنج و اتصالات لوله‌کشی .....
496.....	3-5- اقلام ریختگی .....
501.....	3-6- میلگرد، مقاطع و سیم .....
503.....	3-7- پیچها .....
507.....	4- فلزات غیر آهنی .....
507.....	4-1- ورق، شیت و تسمه .....
511.....	4-2- تیوب .....
515.....	4-3- لوله .....
520.....	4-4- اقلام آهنگری شده، فلنج و اتصالات لوله‌کشی .....
524.....	4-5- اقلام ریختگی .....
526.....	4-6- میلگرد، مقاطع و سیم .....
530.....	4-7- پیچها .....
531.....	ضمیمه شماره 3؛ ایندکس مقاومت به خوردگی حفره‌ای آلیاژهای مقاوم به خوردگی .....
538.....	ضمیمه شماره 4؛ اطلاعات مورد نیاز در ارزیابی خوردگی .....
545.....	<i>واژه‌نامه فارسی انگلیسی .....</i>
551.....	<i>تعاریف و اختصارات .....</i>
555.....	<i>مراجع برای مطالعه بیشتر .....</i>

---

## پیش‌گفتار اول

---

برای صنعت نفت ما کدام مهم‌تر است نگهداری از آنچه که داریم یا احداث آنچه که نداریم؟ شاید برای کشور ما با منابع هیدروکربوری فراوان و بیش از یک‌صد سال سابقه تولید نفت و گاز، نتوان جواب قاطعی به این سؤال داد ولی قطعاً می‌توان گفت چنانچه به حفظ سرمایه‌های ملی خود که تحت تاثیر دو عامل تعیین‌کننده طراحی با کیفیت و ساخت با دوام و سپس مراقبت و نگهداری همه جانبه است بها ندهیم حتی اگر برنامه‌های توسعه‌ای خود را به نتیجه برسانیم به توسعه پایدار دست نخواهیم یافت و این آفت یعنی توسعه ناپایدار منشاء بسیاری از گرفتاری‌ها از جمله مشکلات اجتماعی، اقتصادی، و ... شده که در شکل حاد خود حتی منجر به تهدید ملی خواهد شد.

با نگاه اجمالی به گذشته صنعت نفت کشورمان با این حقیقت تلخ روبه‌رو می‌شویم که در اکثر مواقع اولویت با توسعه لحظه‌ای و شتاب‌آلود صنعت بوده و عملاً نگاه بلند مدت به حفظ و مراقبت از آنچه که احداث می‌کنیم در غوغای اشتیاق به توسعه رنگ باخته است و این در حالی است که برای حفظ و نگهداری سرمایه‌گذاری‌های خود به‌خصوص در صنعت گران‌قیمت نفت، ضروری است از اولین جرقه‌های فکری برای یک کار توسعه‌ای تا زمان بهره‌برداری از آن، اصلی‌ترین دغدغه‌هایمان نگهداری آن باشد.

توجه به حفظ و نگهداری کارهای توسعه‌ای می‌بایست به‌عنوان اصلی‌ترین نگرانی در کلیه مراحل کار از اعلام نیاز گرفته تا شناسایی و امکان‌سنجی و مطالعات پایه و طراحی و تامین کالا و اجرا و راه‌اندازی و بهره‌برداری و ... مدنظر باشد به‌طوری‌که با پیش‌بینی راهکارهای دانش‌بنیان و مقرون به‌صرفه بتوان از تاسیسات و مستحدمات به‌وجود آمده به‌صورتی قابل قبول استفاده نمود و دست آخر هم نظیر آنچه که در کشورهای توسعه یافته مرسوم است چنانچه ارزش تاریخی داشته باشد آن را به‌عنوان سبقه صنعتی خود حفظ نمائیم.

به کوشش بخش مهندسی مواد و خوردگی شرکت مهندسی طرح و پالایش

جنبه‌های مختلف حفظ و نگهداری تاسیسات نفت و گاز، از طراحی گرفته تا احداث و نهایتاً مراقبت همه‌جانبه از آنها، آن‌چنان وسیع و متنوع است که در حوصله مطالعه حاضر نیست لیکن در کتاب پیش رو موضوع خوردگی داخلی به‌عنوان یکی از آفت‌های جدی نگهداری از تاسیسات نفتی به کوشش کارشناسان بخش مواد و خوردگی طرح و پالایش مورد مطالعه قرار گرفته و بررسی‌های انجام شده تحت عنوان شاخص‌های تعیین نرخ خوردگی و انتخاب مواد گردآوری و تدوین شده است که چنانچه در طراحی و ساخت تاسیسات نفت و گاز کشورمان مورد توجه قرار گیرد می‌توان با رویکردی دانش‌محور و با صرف هزینه‌های نسبتاً ناچیز از هدر رفتن بخش عظیمی از سرمایه‌های ملی جلوگیری نمود.

فرامرز ذوالریاستین

مدیر امور مهندسی و طرح‌ها  
شرکت مهندسی طرح و پالایش

---

## پیش‌گفتار دوم

---

خوردگی به‌عنوان یکی از زیان‌بارترین آفت‌های صنایع، در حقیقت یک واکنش فیزیکی شیمیایی بین فلزات و محیط اطراف می‌باشد که طی این واکنش، این عناصر از شرایطی که بشر استخراج نموده و در آن دخل و تصرف ایجاد کرده به حالت پایدار خود می‌رسند. در نتیجه، این مهم از مواردی است که در تمامی مراحل طراحی، ساخت، تولید و بهره‌برداری به‌منظور حفظ و جلوگیری از خسارت‌های اقتصادی، سلامت افراد، حفاظت از محیط‌زیست، منابع طبیعی و انرژی‌های کشورمان توجه ویژه‌ای را به خود اختصاص داده است.

در حال حاضر بخش عظیمی از پژوهش‌ها و تحقیقات کشورهای پیشرفته به سمت حوزه‌ای تحت عنوان مدیریت خوردگی جهت گرفته است. در کشور ما نیز به‌ویژه در صنایع نفت، گاز و پتروشیمی به دلیل ماهیت این سیالات و نیز موقعیت جغرافیایی این صنایع و قرارگیری در مناطق مستعد خوردگی، بررسی و مدیریت خوردگی از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است. در این زمینه مهندسين متالورژی و مواد نقش کارآمدی را در تمامی مراحل طراحی تا بهره‌برداری یک واحد صنعتی ایفا می‌کنند.

مدیریت خوردگی در گام اول در مرحله طراحی نیازمند به داده‌هایی از قبیل خصوصیات سیال، شرایط عملیاتی و شرایط محیطی می‌باشد. ارائه داده‌های جامع و دقیق آزمایشگاهی در مرحله طراحی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. زیرا به‌عنوان مبنای این مطالعات در پیش‌بینی نوع و محاسبه نرخ خوردگی، در بررسی‌های بعدی تاثیرگذار خواهد بود.

در مراحل بعدی با توجه به این اطلاعات، انواع تکنیک‌های کنترل و ممانعت از خوردگی مورد بررسی قرار گرفته و مناسب‌ترین ماده یا آلیاژ و کارآمدترین روش‌های کنترل خوردگی انتخاب می‌شوند. از جمله این روش‌ها می‌توان به افزایش ضخامت تجهیز با توجه به طول عمر واحد، انتخاب انواع پوشش‌های داخلی و خارجی، تزریق بازدارنده‌های خوردگی، حفاظت کاتدی، کنترل محیط و یا فرایند اشاره نمود. در صورت نیاز به تزریق بازدارنده‌های خوردگی، میزان تزریق این ماده می‌بایست با توجه

به کوشش بخش مهندسی مواد و خوردگی شرکت مهندسی طرح و پالایش

به انجام تست‌های آزمایشگاهی متناسب با نوع ماده شیمیایی تعیین گردد.

استفاده از روش‌های کنترل خوردگی احتمالاً می‌تواند تنها مشکل خوردگی را در یک زمان مشخص، کاهش داده یا رفع نماید. برای رسیدن به یک حالت با ثبات و پایدار در یک مجموعه که از واحدهای عملیاتی مختلف تشکیل شده است، نیاز به جمع‌آوری مداوم اطلاعات از سیستم وجود دارد. روش‌های مناسب مانیتورینگ و پایش خوردگی و انتخاب محل‌های مناسب جهت تعبیه این تجهیزات نیز از مواردی است که در مرحله طراحی می‌بایست مورد بررسی قرار گیرد.

علی هادی پور

مدیر گروه مکانیکال و فرایند  
شرکت مهندسی طرح و پالایش

---

## مقدمه مولف

---

با توجه به فرسودگی تاسیسات نفتی و خطوط لوله در ایران و همچنین تغییر تدریجی ترکیب شیمیایی و افزایش میزان سولفید هیدروژن در ترکیب شیمیایی مخازن نفت و گاز، ضروری است مهار و پایش خوردگی از اولین مراحل طراحی تاسیسات جدید تا آخرین مراحل بهره‌برداری از آن به صورت یکپارچه و دینامیک به گونه‌ای مدیریت شود که ضمن کاهش هزینه‌های ناشی از خوردگی، کلیه سازمان‌های ذینفع و ذیربط در طراحی، اجرا، خرید و بهره‌برداری شامل پیمانکاران، مشاوران و کارفرمایان در برابر آن مسئولیت‌پذیر و پاسخگو باشند تا به این ترتیب پاسخگویی در برابر مسائل خوردگی تنها برعهده واحدهای مهندسی خوردگی یا بازرسی فنی نباشد. بررسی‌ها نشان داده است که 36 درصد تخریب‌های صنعتی، ناشی از طراحی، انتخاب مواد و فرایند بوده است.

در کتاب حاضر تلاش شده است موضوعات موثر در مدیریت جامع خوردگی کارخانه‌های تولید، جمع‌آوری و فراورش نفت و گاز به صورت منسجم مورد بررسی قرار گیرند تا مهندسين متالورژی، خوردگی، فرایند، شیمی و مکانیک ضمن آشنایی کامل با روش‌های تفصیلی ارزیابی خوردگی و انتخاب مواد، قادر باشند با در اختیار داشتن اطلاعات موجود در مراحل نخستین طراحی، با روش‌هایی با کاربری راحت نسبت به انتخاب مواد، خوردگی مجاز و تکنیک کنترل خوردگی خطوط لوله، سامانه‌های لوله‌کشی و تجهیزات اقدام نمایند. بدین منظور، در مجموعه حاضر شاخص‌های مورد نیاز در بررسی عوامل محیطی موثر در خوردگی فولادهای کربنی در محیط‌های هیدروکربنی، با توجهی ویژه به تاسیسات بالادستی نفت و گاز بررسی شده‌اند.

مدل‌های مختلف محاسبه نرخ خوردگی، تکنیک‌های رایج در کنترل و پایش خوردگی، مشخصات مواد در محیط‌های ترش، مکانیزم‌های خوردگی تاسیسات پالایشی، روش‌های بازرسی و شناسایی

به کوشش بخش مهندسی مواد و خوردگی شرکت مهندسی طرح و پالایش

خسارت‌های خوردگی به‌همراه نقش مهندسی خوردگی در مدیریت جامع خوردگی کارخانه‌ها، از دیگر موضوع‌های مطرح در این نگارش است.

در این کتاب سعی شده است که با بررسی روش‌های متداول در ارزیابی و انتخاب آلیاژهای مقاوم به خوردگی، انتخاب آسترهای مقاوم به خوردگی تجهیزات کارخانه‌های تولید، تصفیه و نمک‌زدایی نفت و گاز براساس مشخصات منطقه‌ای نفت ایران تسهیل گردد.

در سایر فصول این مجموعه، کوشش شده است که با تشریح مفاهیم مهندسی خوردگی، بازرسی خوردگی و مدیریت خوردگی، نقش مهندسی خوردگی در مدیریت خوردگی به صورت روشن‌تری تبیین گردد. در بخش‌های انتهایی، مواد فلزی رایج در طراحی و ساخت تاسیسات مکانیکی کارخانه‌های نفت و گاز معرفی شده و توصیه‌هایی در به‌کارگیری یا عدم به‌کارگیری آنها در محیط‌های مختلف ارائه شده است. به‌طور کلی مجموعه حاضر با ارائه اطلاعات علمی و تجربی منسجم در زمینه‌های مختلف مهندسی، مدیریت و بازرسی خوردگی تاسیسات نفت و گاز، اهداف زیر را دنبال می‌کند:

- افزایش سطح آگاهی درون سازمانی؛
- افزایش دقت و صحت اطلاعات ورودی موثر بر ارزیابی خوردگی؛
- بالابردن سطح دانش خوردگی در بین کارشناسان ذیربط و صنعت‌گران این حوزه؛
- مدون‌سازی روش‌های ارزیابی خوردگی؛
- ارائه منسجم موضوعات مرتبط با مهندسی خوردگی از طراحی تا بهره‌برداری؛
- تعیین شاخص‌های مورد نیاز در تحلیل نقش عوامل محیطی بر سرعت خوردگی؛
- ایجاد هماهنگی بین واحدهای مهندسی در ارزیابی خوردگی تاسیسات نفت و گاز؛
- ارائه تعریفی دقیق‌تر از نقش سازمان‌های ذیربط و ذینفع در مهندسی، مدیریت و بازرسی خوردگی؛
- تشریح استانداردهای مطرح در ارزیابی شرایط مواد در محیط‌های ترش و تفاوت آنها؛
- گردآوری شاخص‌های مورد نیاز برای تهیه نرم‌افزار ملی ارزیابی سرعت خوردگی فولاد در محیط‌های هیدروکربنی؛



اگرچه در گردآوری متون این کتاب نهایت تلاش به عمل آمده، به دلیل بضاعت ناچیز مولف، این مجموعه نمی‌تواند تمام الزامات و روش‌های مورد نیاز در ارزیابی شدت خوردگی و انتخاب مواد در تمام شرایط را پوشش دهد. لذا مهندسین و طراحان باید علاوه بر اطلاعات ارائه شده در این مجلد، شرایط اقلیمی و عوامل محیطی مختص هر پروژه را در ارزیابی‌ها مدنظر قرار دهند. در هر حال مسئولیت نهایی کیفیت طراحی و تطابق مشخصات مواد با کدها و استانداردهای کاربردی هر پروژه بر عهده تامین‌کنندگان، مهندسین مشاور، پیمانکاران و بهره‌برداران خواهد بود.

مطالب مطرح شده در این کتاب از مراجع معتبر داخلی و بین‌المللی انتخاب شده و مولف وظیفه خود می‌داند که از کلیه محققین و اساتیدی که از نتایج تحقیقات آنها در گردآوری این کتاب استفاده شده است، تشکر نماید.

بدین وسیله از تمامی متخصصین و صاحب‌نظران آگاه و متعهدی که آرا، پیشنهادها و نظرهای اصلاحی و سازنده خویش را جهت تکمیل چاپ‌های آتی این کتاب ارائه فرمایند، صمیمانه سپاس‌گزاری می‌نماید.

در پایان از مدیریت محترم شرکت مهندسی طرح و پالایش به‌ویژه جناب آقای مهندس فرامرز ذوالریاستین رئیس محترم امور مهندسی و طرح‌ها و جناب آقای مهندس نادر داودی رئیس محترم امور مهندسی به‌دلیل حمایت‌های بی‌دریغ و مساعدت‌های به‌عمل آمده قدردانی می‌نماید.

همچنین از کارشناسان محترم بخش مهندسی مواد و خوردگی شرکت طرح و پالایش آقای مهندس مجتبی نعمتی‌زاد و خانم مهندس الهام لونی که در تدوین مطالب همکاری نموده‌اند، قدردانی می‌گردد.

محمد رضا قصابی

سرپرست بخش مهندسی مواد و خوردگی

شرکت مهندسی طرح و پالایش





---

## فصل اول

### مروری بر خوردگی در صنایع نفت و گاز

---



#### 1-1- مقدمه

پدیده مخرب خوردگی دارای قدمت زیادی است و بشر همواره با مشکلات ناشی از آن سر و کار داشته است. اما برخورد علمی و مطالعه در این زمینه سابقه زیادی ندارد. شاید اولین سند مکتوب درباره زنگ زدگی مطالبی باشد که پلینی فیلسوف بزرگ یونانی درباره ادوات جنگی ساخته شده از آهن و زنگ زدگی آن در قرن نوزدهم برای امپراطور زمان خویش نگاشت.

در کشور ما در سال 1348 آموزش خوردگی به صورت درسی مستقل در دانشگاه صنعتی شریف آغاز گردید. در سال 1362 بعد از تشکیل ستاد انقلاب فرهنگی، تدریس خوردگی در برنامه درسی رشته های مهندسی شیمی و متالورژی دانشگاه ها گنجانده شد و در سال 1371 انجمن ملی خوردگی ایران با همکاری متخصصین خبره و اساتید دانشگاه با هدف ارتقاء سطح دانش مهندسی خوردگی تاسیس گردید.

به کوشش بخش مهندسی مواد و خوردگی شرکت مهندسی طرح و پالایش

## 1-2- شرایط اقلیمی ایران

با توجه به شرایط اقلیمی و تنوع شرایط آب و هوایی در ایران، مناطق خورنده زیادی در کشور وجود دارد. آب خلیج همیشه فارس و دریای عمان، از خورنده‌ترین آب‌های دنیا محسوب می‌گردند و تجهیزاتی که در این نواحی مورد استفاده قرار می‌گیرد تحت تاثیر مکانیزم‌های مخرب و شرایط خوردگی شدیدی قرار دارند.

## 1-3- تسهیلات سطح‌الارضی

تجهیزات حفاری، خطوط لوله و سامانه‌های لوله‌کشی سطح‌الارضی، مخازن تحت فشار و ذخیره و ... تحت تاثیر خوردگی با آب همزاد (سازندی) نفت، دی‌اکسید کربن، سولفید هیدروژن، نمک، میکروارگانیزم‌ها، پلی‌سولفیدها، اسیدهای آلی و گوگرد و ... قرار دارند و وجود این اجزای خورنده باعث شده است که نفت ایران نسبت به نفت برنت شور، ترش و خورنده‌تر باشد.

پالایشگاه‌های نفت و گاز، از جمله صنایعی هستند که در کشورهای پیشرفته جهان، حساسیت زیادی از نظر ایمنی و محیط‌زیست در مورد آنها وجود دارد. آسیب‌دیدگی مخازن و تاسیسات اصلی هزینه‌های بالایی به پالایشگاه تحمیل می‌کند که بسیار بالاتر از هزینه‌های نگهداری و حفاظت آن خواهد بود. در حال حاضر ایران دارای 9 پالایشگاه نفت است. شرایط اقلیمی خاص، پیشینه پالایشگاه‌های کشور و نوع نفت خام تولیدی، عوامل اصلی تاثیرگذار در هزینه خوردگی در صنعت نفت کشور هستند. قیمت تمام شده محصولات به علت هزینه‌های بالای پالایشگاه، بالا رفته و سود نهایی پالایشگاه‌ها کاهش می‌یابد. یک پالایشگاه دارای بیش از 3000 مخزن عملیاتی با اندازه، شکل و عملکرد متفاوت است. هر پالایشگاه دارای حدود 3200 کیلومتر خط لوله است که اکثراً در زیر زمین کار گذاشته شده و دور از دسترس هستند. داخل این مخازن و لوله‌ها، مواد خورنده‌ای چون آب ترش قرار دارد. به‌ازای تصفیه هر بشکه نفت حدود 8 لیتر آب حاوی دی‌اکسید کربن و سولفید هیدروژن تولید می‌شود. علاوه‌بر این در طول فرایند پالایش اسید نفتتیک و اسید کلریدریک نیز تولید شده که خورنده هستند.

## 1-4- عوامل کلی تخریب‌های ناشی از خوردگی

عوامل مختلف موثر بر تخریب‌های ناشی از خوردگی در صنعت را می‌توان به‌صورت زیر دسته‌بندی کرد:

### 1-4-1- طراحی، انتخاب مواد و فرایند

طراحی، انتخاب مواد و فرایند غلط بیشترین سهم را در ایجاد تخریب دارند. موارد مهم طراحی عبارتند از:

- انتخاب صحیح تکنیک‌های فرایندی مورد نیاز در کنترل نرخ خوردگی (تزیق مواد بازدارنده، تثبیت pH و ...):
- انتخاب مواد صحیح با توجه به شرایط محیطی، مشخصات مکانیکی، ترکیب شیمیایی و تکنولوژیکی مواد؛
- تعیین صحیح مشخصات ابعادی و ضخامت با توجه به متغیرهایی مانند فشار و دمای طراحی.

### 1-4-2- فقدان دستورالعمل‌های لازم

فقدان دستورالعمل‌های مشخص و یا به‌کارگیری دستورالعمل‌های غلط، باعث سردرگمی در انجام فعالیت‌ها و یا انجام ضعیف کارهای اجرایی می‌گردد. دستورالعمل‌هایی که می‌بایست بعد از مراحل طراحی تهیه و تصویب شده و سپس مورد استفاده قرار گیرند عبارتند از:

- دستورالعمل‌های نصب صحیح؛
- دستورالعمل‌های تعمیر و نگهداری؛
- دستورالعمل‌های بهره‌برداری و فرایندی.

### 1-4-3- خطای انسانی

خطای انسانی در تمام مراحل از جمله طراحی، خرید، ساخت، نصب، تعمیر، نگهداری و بازرسی فنی تاثیرگذار است. بیشترین سهم خطای انسانی در مرحله نصب، تعمیر و نگهداری رخ می‌دهد که گاهی ناخواسته صورت می‌گیرد و گاهی نتیجه استفاده از نیروی انسانی بی‌تجربه و یا غیرمتخصص است. در این ارتباط خطای بهره‌برداری و فرایندی را نبایستی فراموش کرد.

### 1-4-4- بازرسی ضعیف

عدم شناسایی نوع خسارت‌ها، محل بروز آنها، عدم دسترسی به اطلاعات مربوط به طراحی و ساخت تجهیزات و سامانه‌ها، عدم اطلاع از ترکیب شیمیایی سیال و همچنین عدم دسترسی به تاریخچه عملیاتی تجهیزات، همه

به کوشش بخش مهندسی مواد و خوردگی شرکت مهندسی طرح و پالایش

و همه از عواملی هستند که می‌توانند منجر به انتخاب روش‌های نادرست برای انجام برنامه‌های بازرسی گردند.

#### 1-4-5- چیدمان، نصب و هماهنگی ضعیف

گاهی با وجود دستورالعمل‌های مناسب ساخت و نصب، به دلیل عدم مهارت نیروی انسانی و هماهنگی ضعیف در مدیریت فعالیت‌های مرتبط با ساخت و نصب ادوات و تجهیزات فرایندی، مشکلات خوردگی در مراحل بعدی تشدید می‌گردد.

#### 1-4-6- بروز موارد ناخواسته

تغییر شرایط طراحی و عملیاتی، شرایط محیطی و ... ناشی از طبیعت دینامیک سیستم‌های تولید و فراورش نفت و گاز از مشکلات پیش‌رو در طرح‌های مختلف بوده است.

#### 1-4-7- سایر موارد

مواردی نظیر سرعت سیال، تخریب پوشش یا آب‌بندی، عایق‌کاری و ... در بروز خسارت‌های خوردگی نقش چشم‌گیری دارند. میزان تاثیر عوامل مختلف در تخریب‌های ناشی از خوردگی، در جدول 1-1 نشان داده شده است.

جدول 1-1- میزان تاثیر عوامل مختلف در تخریب‌های ناشی از خوردگی.

عامل تاثیرگذار در تخریب	درصد تاثیر در تخریب
طراحی، انتخاب مواد و فرایند	36
فقدان دستورالعمل‌های لازم	16
خطای انسانی	12
بازرسی ضعیف	10
چیدمان، نصب و هماهنگی ضعیف	14
بروز موارد ناخواسته	8
سایر موارد	4



---

## فصل دوم

### انواع خوردگی در صنایع نفت و گاز

---



#### 2-1- مقدمه

به منظور درک بیشتر مهندسی خوردگی و طراح، انواع مختلف خوردگی به دو گروه اصلی و فرعی تقسیم شده‌اند. انواع اصلی عبارتند از؛ خوردگی عمومی، خوردگی حفزه‌ای، خوردگی مرزانه‌ای، خوردگی انتخابی، خوردگی تنشی. انواع فرعی، که تحت تاثیر طراحی قرار دارند، عبارتند از؛ خوردگی شکافی، خوردگی گالوانیک، خوردگی سایشی، خوردگی فرسایشی، خوردگی خستگی.