

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

مبانی مهندسی خوردگی

تالیف

دکتر احمد ساعتچی
استاد دانشکده مهندسی مواد
دانشگاه صنعتی اصفهان

دکتر آرش فتاح الحسینی
استاد گروه مهندسی مواد
دانشگاه بوعلی سینا

فتحاح الحسینی، آرشی	TA
مبانی مهندسی خوردگی/تألیف: آرشی فتحاح الحسینی، احمد ساعتچی.	۴۱۸/۷۴
همدان: انتشارات دانشگاه بوعلی سینا، ۱۴۰۱	م ۲۵ ف/
۳۳۸ ص: شابک: ۰-۰۸۷-۱۲۸-۶۰۰-۹۷۸	۱۴۰۱
۱. خوردگی. الف. ساعتچی، احمد. ب. عنوان	



عنوان: مبانی مهندسی خوردگی

مولفان: دکتر آرشی فتحاح الحسینی، دکتر احمد ساعتچی

ناشر: مرکز نشر دانشگاه بوعلی سینا

مدیر مرکز نشر: دکتر محمدجواد یداللهی فر

چاپخانه: پیام رسانه

صفحه و قطع: ۳۳۸ وزیری

نوبت چاپ: سوم

تیراژ: ۱۰۰۰

قیمت: ۱۷۰۰۰۰۰ ریال

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱

شماره کتاب: ۲۵۶-م

شابک: ۰-۰۸۷-۱۲۸-۶۰۰-۹۷۸

کلیه حقوق برای مرکز نشر دانشگاه بوعلی سینا محفوظ است

مراکز فروش در همدان: ۱. دانشگاه بوعلی سینا، مرکز نشر دانشگاه تلفکس: ۰۸۱۱-۸۲۹۱۲۷۶

۲. خیابان شهید حسین فهمیده، روبروی پارک مردم فروشگاه مرکز نشر

۳. خیابان مهدیه روبروی خانه معلم- انتشارات دانشجو

نمایندگی فروش در تهران: ۱. موسسه کتابیران، میدان انقلاب، خیابان لبافی‌نژاد غربی (بعد از چهار راه کارگر جنوبی)، بعد از

فروشگاه شیلات، پلاک ۲۳۷ تلفن: ۶۶۹۲۶۶۸۷-۶۶۴۲۳۴۱۶

۲. نوپردازان، میدان انقلاب، خیابان لبافی‌نژاد، بین ۱۲ فروردین و اردیبهشت، پلاک ۲۰۶ تلفن: ۶۶۴۹۴۴۰۹-۶۶۴۱۱۱۷۳

پیش‌گفتار

خوردگی، پدیده ویرانگری است که باعث تخریب مواد، اتلاف انرژی و سرمایه می‌شود. نتایج ارزیابی‌ها نشان می‌دهد که زیان‌های مالی ناشی از پدیده خوردگی سالانه، برای کشورهای صنعتی، تا حدود ۵ درصد تولید ناخالص ملی است. کشور ما نیز هر سال هزینه‌های فراوانی در این زمینه متحمل می‌شود. به‌همین دلیل لزوم رشد و ارتقا دانش خوردگی امری ضروری به‌نظر می‌رسد و بی‌تردید در این میان، ارتقا دانش خوردگی در دوره کارشناسی و دانشجویان این مقطع از اهمیت بیش‌تری برخوردار است.

گفتنی است به‌طور طبیعی بررسی تمام جنبه‌های مختلف پدیده خوردگی در این کتاب امکان‌پذیر نیست و هدف آموزش مبانی علمی مورد نیاز برای شناخت این پدیده و کنترل آن است که در این راستا کتاب به سیزده فصل تقسیم شده است:

فصل اول: شامل تعریف ساده‌ای از خوردگی، محیط‌های خورنده، اهمیت خوردگی در انتخاب مواد و روش‌های بیان سرعت خوردگی است.

فصل دوم: در این فصل ماهیت الکتروشیمیایی خوردگی آبی شامل واکنش‌های الکتروشیمیایی، فصل مشترک فلز-الکتrolیت، انواع سل‌های خوردگی و در نهایت پدیده پلاریزاسیون بررسی می‌شود.

فصل سوم: به ترمودینامیک خوردگی و مطالبی مانند پتانسیل یک سل الکتروشیمیایی، جدول نیروی الکتروموتوری و معادله نرنست اختصاص یافته است که در ادامه آن به لحاظ اهمیت نمودارهای پوربه در خوردگی، نمودار پوربه آهن، آلومینیم و منیزیم به‌طور کامل توضیح داده شده است.

فصل چهارم: مروری است بر سینتیک خوردگی که مهم‌ترین و کاربردی‌ترین بخش کتاب است که در آن ابتدا مفاهیم مهمی مانند سینتیک الکترو، چگالی جریان تبدلی، پلاریزاسیون اکتیواسیون و غلظتی تشریح شده است. سپس مهم‌ترین بخش که همان تئوری پتانسیل مختلط و الکترودهای مختلط می‌باشد، به‌طور کامل ارائه شده است.

فصل پنجم: به‌دلیل اهمیت پدیده رویین شدن در صنعت و ضرورت آشنایی با این موضوع، مدل‌های اولیه و سپس مدل عیوب نقطه‌ای مطرح شده است.

فصل ششم: به ارزیابی و پیش‌بینی رفتار خوردگی با تکیه بر مطالب آموخته‌شده در فصل چهارم پرداخته است که در این فصل تاثیر مواد اکسیدکننده، سرعت حرکت و اتصال به یک فلز دیگر روی رفتار خوردگی مورد بررسی قرار گرفته است.

فصل هفتم: انواع خوردگی به همراه بررسی مکانیزم‌ها و هم‌چنین روش‌های جلوگیری از آن‌ها تشریح شده است. طبیعی است که بررسی انواع خوردگی برای انواع فلزات و آلیاژهای گوناگون امکان‌پذیر نبوده و فقط مطالب بسیار مهم از مراجع معتبر جمع‌آوری شده است.

فصل هشتم: به دلیل اهمیت روش‌های جلوگیری از خوردگی، این موضوع در شش بخش شامل انتخاب صحیح مواد، کنترل محیط خوردنده، اصول طراحی صحیح، پوشش‌ها و حفاظت کاتدی و آندی مورد بررسی قرار گرفته است.

فصل نهم: با توجه به گستردگی روش‌های الکتروشیمیایی برای تعیین سرعت خوردگی و هم‌چنین ارزیابی آن، تنها روش‌های الکتروشیمیایی با جریان مستقیم، که شامل آزمون‌های پلاریزاسیون می‌شود، به طور اختصار ارایه شده‌اند.

فصل دهم: به بررسی اجمالی اکسیداسیون در دمای بالا و مطالب مهمی مانند ترمودینامیک و سینتیک آن پرداخته شده است.

در ویرایش دوم کتاب، سه فصل جدید اضافه شده است. فصل یازدهم: خوردگی اتمسفری، فصل دوازدهم: خوردگی در خاک و فصل سیزدهم: خوردگی در صنایع نفت و گاز. علت افزوده شدن این سه فصل، کاربردی بودن مطالب و اهمیت این سه بخش از خوردگی در صنعت است که امیدواریم برای دانشجویان و محققان سودمند باشد.

از آن جاکه به طور حتم این کتاب نمی‌تواند خالی از نقص باشد، امید است دانشجویان، محققان، همکاران و دیگر عزیزان آگاه و نکته‌سنجی که این کتاب را مطالعه می‌کنند، در صورت برخورد با لغزش‌ها و کاستی‌های آن، به منظور اصلاح آن در چاپ‌های بعدی، اینجانبان را از رهنمودهای خود آگاه نمایند.

در پایان از مدیریت محترم انتشارات دانشگاه بوعلی سینا، جناب آقای دکتر محمد جواد یداللهی‌فر به دلیل در اختیار گذاشتن امکانات چاپ و نشر کتاب و سرکار خانم فاطمه خانی به دلیل صفحه‌آرایی تشکر و قدردانی می‌شود.

آرش فتاح الحسینی - احمد ساعتچی

آبان‌ماه ۱۴۰۱

پیش‌گفتار -----

فصل اول: تعریف و اهمیت خوردگی

- ۱ - ۱. مقدمه ----- ۱
- ۲ - ۲. محیط‌های خوردنده ----- ۲
- ۳ - ۳. تقسیم‌بندی خوردگی ----- ۳
- ۴ - ۱. اهمیت خوردگی ----- ۳
- ۵ - ۵. مدیریت ریسک ----- ۷
- ۶ - ۱. اهمیت خوردگی در انتخاب مواد ----- ۸
- ۷ - ۱. روش‌های بیان سرعت خوردگی ----- ۹
- ۸ - ۱. مراجع ----- ۱۳

فصل دوم: ماهیت الکتروشیمیایی خوردگی آبی

- ۱ - ۲. مقدمه ----- ۱۵
- ۲ - ۲. فصل مشترک فلز-الکتrolیت ----- ۲۰
- ۳ - ۲. انواع سل‌های خوردگی ----- ۲۴
- ۴ - ۲. پلاریزاسیون ----- ۲۷
- ۵ - ۲. مراجع ----- ۳۰

فصل سوم: ترمودینامیک خوردگی

- ۱ - ۳. مقدمه ----- ۳۱
- ۲ - ۳. تغییرات در انرژی آزاد ----- ۳۱
- ۳ - ۳. پتانسیل سل ----- ۳۳
- ۴ - ۳. جدول نیروی الکتروموتوری ----- ۳۶
- ۵ - ۳. معادله نرنست ----- ۳۹
- ۶ - ۳. کاربردهای ترمودینامیک در خوردگی فلزات ----- ۴۲
- ۷ - ۳. نمودارهای پوربه ----- ۴۳
- ۸ - ۳. نمودار پوربه برای آب ----- ۴۴
- ۹ - ۳. نمودار پوربه آهن ----- ۴۶
- ۱۰ - ۳. نمودار پوربه آلومینیم ----- ۴۹
- ۱۱ - ۳. نمودار پوربه منیزیم ----- ۵۰

- ۳- ۱۲. کاربرد نمودارهای پوربه-----۵۱
- ۳- ۱۳. مراجع-----۵۲

فصل چهارم: سینتیک خوردگی

- ۴- ۱. مقدمه-----۵۳
- ۴- ۲. سینتیک الکتروود-----۵۳
- ۴- ۳. چگالی جریان تبدلی-----۵۵
- ۴- ۴. پلاریزاسیون اکتیواسیون-----۵۸
- ۴- ۵. پلاریزاسیون غلظتی-----۶۰
- ۴- ۶. دو نوع پلاریزاسیون توام با هم-----۶۲
- ۴- ۷. تئوری پتانسیل مختلط-----۶۴
- ۴- ۸. الکترودهای مختلط-----۶۴
- ۴- ۹. مراجع-----۷۱

فصل پنجم: رویین شدن

- ۵- ۱. مقدمه-----۷۳
- ۵- ۲. رویین شدن-----۷۴
- ۵- ۳. رفتار خوردگی فعال - رویین-----۷۵
- ۵- ۴. مدل‌های ارائه شده برای رویین شدن-----۷۹
- ۵- ۵. مدل مات- کابرا-----۸۰
- ۵- ۶. مدل فلتر- مات-----۸۲
- ۵- ۷. مدل ساتو - کوهن-----۸۳
- ۵- ۸. مدل عیوب نقطه‌ای-----۸۵
- ۵- ۹. مراجع-----۹۴

فصل ششم: پیش‌بینی رفتار خوردگی

- ۶- ۱. مقدمه-----۹۷
- ۶- ۲. تاثیر مواد اکسیدکننده-----۹۷
- ۶- ۳. تاثیر سرعت حرکت-----۱۰۰
- ۶- ۴. تاثیر اتصال به یک فلز-----۱۰۳
- ۶- ۵. ارزیابی آلیاژها-----۱۰۹
- ۶- ۶. مراجع-----۱۱۳

فصل هفتم: انواع خوردگی

- ۷-۱. مقدمه ----- ۱۱۵
- ۷-۲. خوردگی یکنواخت ----- ۱۱۵
- ۷-۲-۱. راه‌های جلوگیری از خوردگی یکنواخت ----- ۱۱۶
- ۷-۳. خوردگی گالوانیکی ----- ۱۱۶
- ۷-۳-۱. سری گالوانیکی ----- ۱۱۷
- ۷-۳-۲. تاثیر محیط خورنده بر خوردگی گالوانیکی ----- ۱۱۹
- ۷-۳-۳. تاثیر فاصله دو الکترود بر خوردگی گالوانیکی ----- ۱۲۰
- ۷-۳-۴. تاثیر نسبت سطحی دو الکترود بر خوردگی گالوانیکی ----- ۱۲۰
- ۷-۳-۵. کاربردهای مفید خوردگی گالوانیکی ----- ۱۲۲
- ۷-۳-۶. راه‌های جلوگیری از خوردگی گالوانیکی ----- ۱۲۳
- ۷-۳-۷. خوردگی شیاری ----- ۱۲۳
- ۷-۳-۸. مکانیزم خوردگی شیاری ----- ۱۲۴
- ۷-۳-۹. راه‌های جلوگیری از خوردگی شیاری ----- ۱۲۶
- ۷-۳-۱۰. خوردگی فیلامنتی ----- ۱۲۷
- ۷-۳-۱۱. تاثیر رطوبت محیط بر خوردگی فیلامنتی ----- ۱۲۹
- ۷-۳-۱۲. مکانیزم خوردگی فیلامنتی ----- ۱۳۰
- ۷-۳-۱۳. راه‌های جلوگیری از خوردگی فیلامنتی ----- ۱۳۱
- ۷-۴. حفره‌دار شدن ----- ۱۳۱
- ۷-۴-۱. مکانیزم حفره‌دار شدن ----- ۱۳۴
- ۷-۴-۲. تاثیر ترکیب شیمیایی محلول بر حفره‌دار شدن ----- ۱۳۷
- ۷-۴-۳. تاثیر سرعت حرکت محلول بر حفره‌دار شدن ----- ۱۳۷
- ۷-۴-۴. تاثیر متغیرهای متالوژیکی بر حفره‌دار شدن ----- ۱۳۸
- ۷-۴-۵. ارزیابی حفره‌دار شدن ----- ۱۳۹
- ۷-۴-۶. راه‌های جلوگیری از حفره‌دار شدن ----- ۱۴۰
- ۷-۵. خوردگی بین دانه‌ای ----- ۱۴۱
- ۷-۵-۱. خوردگی بین دانه‌ای فولادهای زنگ‌زن آستینیتی ----- ۱۴۱
- ۷-۵-۲. راه‌های جلوگیری از خوردگی بین دانه‌ای فولادهای زنگ‌زن آستینیتی ----- ۱۴۳
- ۷-۶. جدایش انتخابی ----- ۱۴۳
- ۷-۶-۱. زدایش روی ----- ۱۴۳

- ۷-۶-۲. مکانیزم زدایش روی ----- ۱۴۵
- ۷-۶-۳. روش‌های جلوگیری از زدایش روی ----- ۱۴۵
- ۷-۶-۴. جدایش انتخابی در آلیاژهای دیگر ----- ۱۴۶
- ۷-۷. خوردگی سایشی ----- ۱۴۷
- ۷-۷-۱. تاثیر لایه‌های سطحی بر خوردگی سایشی ----- ۱۴۸
- ۷-۷-۲. تاثیر سرعت حرکت بر خوردگی سایشی ----- ۱۴۹
- ۷-۷-۳. تاثیر تلاطم بر خوردگی سایشی ----- ۱۵۰
- ۷-۷-۴. تاثیر برخورد بر خوردگی سایشی ----- ۱۵۱
- ۷-۷-۵. تاثیر نوع فلز یا آلیاژ بر خوردگی سایشی ----- ۱۵۱
- ۷-۷-۶. روش‌های مبارزه با خوردگی سایشی ----- ۱۵۲
- ۷-۷-۷. خسارت حبابی ----- ۱۵۳
- ۷-۷-۸. مکانیزم وقوع خسارت حبابی ----- ۱۵۴
- ۷-۷-۹. روش‌های مبارزه با خسارت حبابی ----- ۱۵۵
- ۷-۷-۱۰. خوردگی فرسایشی ----- ۱۵۶
- ۷-۷-۱۱. مکانیزم خوردگی فرسایشی ----- ۱۵۷
- ۷-۷-۱۲. روش‌های مبارزه با خوردگی فرسایشی ----- ۱۵۸
- ۷-۸. خوردگی توام با تنش ----- ۱۵۹
- ۷-۸-۱. شکل ترک‌ها ----- ۱۶۱
- ۷-۸-۲. تاثیر تنش ----- ۱۶۲
- ۷-۸-۳. زمان شکست ----- ۱۶۳
- ۷-۸-۴. تاثیر عامل‌های محیطی بر خوردگی توام با تنش ----- ۱۶۵
- ۷-۸-۵. مکانیزم خوردگی توام با تنش ----- ۱۶۶
- ۷-۸-۶. روش‌های جلوگیری از خوردگی توام با تنش ----- ۱۶۷
- ۷-۸-۷. خوردگی - خستگی ----- ۱۶۸
- ۷-۸-۸. تاثیر عامل‌های محیطی بر خوردگی - خستگی ----- ۱۷۰
- ۷-۸-۹. مکانیزم خوردگی - خستگی ----- ۱۷۰
- ۷-۸-۱۰. روش‌های جلوگیری از خوردگی - خستگی ----- ۱۷۱
- ۷-۸-۱۱. خسارت هیدروژنی ----- ۱۷۱
- ۷-۸-۱۲. تاول زدن هیدروژنی ----- ۱۷۲
- ۷-۸-۱۳. روش‌های جلوگیری از تاول زدن هیدروژنی ----- ۱۷۴

- ۷- ۸- ۱۴. تردی هیدروژنی ----- ۱۷۵
- ۷- ۸- ۱۵. روش‌های جلوگیری از تردی هیدروژنی ----- ۱۷۵
- ۷- ۹. مراجع ----- ۱۷۷

فصل هشتم: روش‌های جلوگیری از خوردگی

- ۸- ۱. مقدمه ----- ۱۷۹
- ۸- ۲. انتخاب صحیح مواد ----- ۱۷۹
- ۸- ۲- ۱. انتخاب صحیح فلزات و آلیاژها ----- ۱۷۹
- ۸- ۲- ۲. کاهش ناخالصی‌ها ----- ۱۸۰
- ۸- ۲- ۳. آلیاژسازی با فلز نجیب ----- ۱۸۱
- ۸- ۲- ۴. استفاده از غیرفلزات ----- ۱۸۳
- ۸- ۳. کنترل محیط خوردنده ----- ۱۸۴
- ۸- ۴. اصول طراحی صحیح ----- ۱۸۶
- ۸- ۵. پوشش‌ها ----- ۱۸۸
- ۸- ۶. حفاظت کاتدی ----- ۱۸۸
- ۸- ۶- ۱. حفاظت کاتدی با استفاده از جریان الکتریکی ----- ۱۸۹
- ۸- ۶- ۲. حفاظت کاتدی با استفاده از آندهای فداشونده ----- ۱۹۰
- ۸- ۶- ۳. چگالی جریان لازم برای حفاظت ----- ۱۹۱
- ۸- ۶- ۴. جریان‌های سرگردان ----- ۱۹۴
- ۸- ۷. حفاظت آندی ----- ۱۹۵
- ۸- ۸. مراجع ----- ۲۰۰

فصل نهم: اندازه‌گیری سرعت خوردگی

- ۹- ۱. مقدمه ----- ۲۰۱
- ۹- ۲. سل الکتروشیمیایی ----- ۲۰۲
- ۹- ۳. آزمون پلاریزاسیون خطی ----- ۲۰۳
- ۹- ۳- ۱. مزیت‌های آزمون پلاریزاسیون خطی ----- ۲۰۵
- ۹- ۳- ۲. محدودیت‌های آزمون پلاریزاسیون خطی ----- ۲۰۵
- ۹- ۴. روش برون‌یابی تافل ----- ۲۰۶
- ۹- ۴- ۱. مزیت‌های روش برون‌یابی تافل ----- ۲۰۷
- ۹- ۴- ۲. محدودیت‌های روش برون‌یابی تافل ----- ۲۰۷
- ۹- ۵. آزمون پلاریزاسیون پتانسیودینامیک ----- ۲۰۸

- ۹-۵-۱. مزیت‌های و محدودیت‌های آزمون پلاریزاسیون پتانسیودینامیک ----- ۲۰۸
- ۹-۶. آزمون پلاریزاسیون چرخه‌ای ----- ۲۰۹
- ۹-۶-۱. مزیت‌های و محدودیت‌های آزمون پلاریزاسیون چرخه‌ای ----- ۲۱۱
- ۹-۷. مراجع ----- ۲۱۲

فصل دهم: اکسیداسیون در دمای بالا

- ۱۰-۱. مقدمه ----- ۲۱۳
- ۱۰-۲. ترمودینامیک اکسیداسیون در دمای بالا ----- ۲۱۳
- ۱۰-۳. نسبت پیلینگ- بدورت ----- ۲۱۵
- ۱۰-۴. الکتروشیمی اکسیداسیون در دمای بالا ----- ۲۱۶
- ۱۰-۵. مورفولوژی اکسیدها ----- ۲۱۸
- ۱۰-۶. ساختمان اکسیدها ----- ۲۲۰
- ۱۰-۷. سینتیک اکسیداسیون ----- ۲۲۳
- ۱۰-۸. تاثیر عناصر آلیاژی ----- ۲۲۷
- ۱۰-۹. اکسیداسیون ناگهانی ----- ۲۲۹
- ۱۰-۱۰. اکسیداسیون داخلی ----- ۲۳۰
- ۱۰-۱۱. خواص مکانیکی در دماهای بالا ----- ۲۳۱
- ۱۰-۱۲. مراجع ----- ۲۳۲

فصل یازدهم: خوردگی اتمسفری

- ۱۱-۱. مقدمه ----- ۲۳۳
- ۱۱-۲. انواع اتمسفرها ----- ۲۳۳
- ۱۱-۳. نقشه‌های خوردگی اتمسفر ----- ۲۳۴
- ۱۱-۴. اهمیت و هزینه خوردگی اتمسفری ----- ۲۳۶
- ۱۱-۵. تئوری خوردگی اتمسفری ----- ۲۳۷
- ۱۱-۵-۱. لایه‌های نازک الکترولیتی ----- ۲۳۷
- ۱۱-۵-۲. واکنش‌های کاتدی و آندی در خوردگی اتمسفری ----- ۲۳۸
- ۱۱-۶. متغیرهای مهم در خوردگی اتمسفری ----- ۲۴۰
- ۱۱-۶-۱. زمان خیس بودن ----- ۲۴۰
- ۱۱-۶-۲. دی‌اکسید گوگرد ----- ۲۴۱
- ۱۱-۶-۳. کلریدها ----- ۲۴۲
- ۱۱-۶-۴. سایر آلوده‌کننده‌های اتمسفری ----- ۲۴۲

۱۱- ۶- ۵. دما-----	۲۴۳
۱۱- ۷. ماهیت و سرعت خوردگی اتمسفری-----	۲۴۴
۱۱- ۷- ۱. متدلوژی سازمان جهانی استاندارد (ISO)-----	۲۴۵
۱۱- ۷- ۲. طبقه‌بندی خوردگی بر طبق الگوریتم PACER LIME-----	۲۴۷
۱۱- ۷- ۳. سرعت‌های خوردگی اتمسفری به‌عنوان تابعی از زمان-----	۲۴۸
۱۱- ۷- ۴. اندازه‌گیری مستقیم خوردگی اتمسفری-----	۲۴۹
۱۱- ۷- ۴- ۱. نمونه‌های آزمایش-----	۲۵۰
۱۱- ۷- ۴- ۲. حس‌گرهای الکتروشیمیایی خوردگی اتمسفری-----	۲۵۲
۱۱- ۷- ۴- ۳. تکنولوژی‌های دیگر برای حس کردن خوردگی اتمسفری-----	۲۵۲
۱۱- ۸. مراجع-----	۲۵۴

فصل دوازدهم: خوردگی در خاک

۱۲- ۱. مقدمه-----	۲۵۷
۱۲- ۲. خاک-----	۲۶۰
۱۲- ۲- ۱. طبقه‌بندی بافت-----	۲۶۱
۱۲- ۲- ۲. نفوذپذیری-----	۲۶۲
۱۲- ۳. فاکتورهای موثر بر خوردگی در خاک-----	۲۶۳
۱۲- ۳- ۱. نوع خاک-----	۲۶۳
۱۲- ۳- ۲. مقدار رطوبت و موقعیت سفره‌های آب زیرزمینی-----	۲۶۵
۱۲- ۳- ۳. مقاومت مخصوص خاک و مقدار یون‌های محلول-----	۲۶۶
۱۲- ۳- ۴. pH خاک-----	۲۶۷
۱۲- ۳- ۵. پتانسیل اکسیداسیون- احیا (ORP)-----	۲۶۹
۱۲- ۳- ۶. نقش میکروب‌ها در خوردگی خاک‌ها-----	۲۶۹
۱۲- ۴. مشاهدات میدانی-----	۲۷۱
۱۲- ۵. مشخص کردن خاک‌ها-----	۲۷۲
۱۲- ۵- ۱. پروب‌های خاک-----	۲۷۲
۱۲- ۶. مدل‌های ارزیابی ریسک-----	۲۷۵
۱۲- ۷. اثرات خاک بر حفاظت کاتدی و پوشش‌ها-----	۲۷۶
۱۲- ۸. مراجع-----	۲۷۷

فصل سیزدهم: خوردگی در صنایع نفت و گاز

۱۳- ۱. مقدمه-----	۲۸۱
-------------------	-----

- ۱۳- ۲. انواع خوردگی در صنایع نفت و گاز----- ۲۸۲
- ۱۳- ۲- ۱. خوردگی دی اکسید کربن----- ۲۸۲
- ۱۳- ۲- ۲. خوردگی سولفید هیدروژن----- ۲۸۴
- ۱۳- ۲- ۳. خوردگی اسید کلریدریک----- ۲۸۶
- ۱۳- ۲- ۴. خوردگی در حضور همزمان دی اکسید کربن و سولفید هیدروژن----- ۲۸۶
- ۱۳- ۳. عامل های مؤثر بر خوردگی در صنایع نفت و گاز----- ۲۸۷
- ۱۳- ۴. روش های کاهش خوردگی در صنایع نفت و گاز----- ۲۸۸
- ۱۳- ۴- ۱. انتخاب مواد----- ۲۸۸
- ۱۳- ۴- ۲. بازدارنده های خوردگی----- ۲۸۹
- ۱۳- ۵. نکات قابل توجه در انتخاب بازدارنده----- ۲۹۱
- ۱۳- ۶. میزان بازده بازدارنده----- ۲۹۱
- ۱۳- ۶- ۱. پایداری بازدارنده ها----- ۲۹۲
- ۱۳- ۷. بازدارنده ها در محیط های مختلف----- ۲۹۲
- ۱۳- ۷- ۱. رفتار بازدارنده در محلول های اسیدی----- ۲۹۲
- ۱۳- ۷- ۲. رفتار بازدارنده ها در محلول های خنثی----- ۲۹۳
- ۱۳- ۷- ۳. رفتار بازدارنده ها در محیط های قلیایی----- ۲۹۳
- ۱۳- ۸. بازدارندگی در صنایع نفت و گاز----- ۲۹۴
- ۱۳- ۹. خصوصیات بازدارنده ها----- ۲۹۷
- ۱۳- ۱۰. بازدارنده های جذب شونده----- ۲۹۷
- ۱۳- ۱۰- ۱. جذب فیزیکی----- ۲۹۹
- ۱۳- ۱۰- ۲. جذب شیمیایی----- ۳۰۰
- ۱۳- ۱۰- ۳. فاکتورهای شیمیایی مؤثر در جذب شیمیایی بازدارنده----- ۳۰۳
- ۱۳- ۱۰- ۴. ایزوترم جذب----- ۳۰۴
- ۱۳- ۱۰- ۵. ترمودینامیک جذب----- ۳۰۷
- ۱۳- ۱۱. بازدارنده های تشکیل دهنده----- ۳۰۸
- ۱۳- ۱۱- ۱. بازدارنده های روپین کننده----- ۳۰۸
- ۱۳- ۱۱- ۲. بازدارنده های رسوب کننده----- ۳۰۹
- ۱۳- ۱۲. روش های اعمال بازدارنده----- ۳۰۹
- ۱۳- ۱۳. فاکتورهای مؤثر بر راندمان بازدارندگی----- ۳۰۹
- ۱۳- ۱۳- ۱. تأثیر غلظت----- ۳۱۰

- ۳۱۲-----۱۳-۱۳-۲. اثر دما
- ۳۱۲-----۱۳-۱۳-۳. اثر ساختار بازدارنده
- ۳۱۳-----۱۳-۱۳-۴. تأثیر شرایط هیدرودینامیکی
- ۳۱۳-----۱۳-۱۴. روش‌های ارزیابی عملکرد بازدارنده
- ۳۱۴-----۱۳-۱۴-۱. روش‌های الکتروشیمیایی
- ۳۱۶-----۱۳-۱۴-۲. روش کاهش وزن
- ۳۱۷-----۱۳-۱۵. مراجع