

سیستم‌های لوله و اتصالات پلیمری آنالیز شکست و آسیب‌شناسی نقیصه

ترجمه

امید کوشکی - هانیه حدادی

تألیف

Mehdi Farshad

سرشناسه : فرشاد، مهدی، ۱۳۲۰-
عنوان و نام پدیدآور: سیستم‌های لوله و اتصالات پلیمری: آنالیز شکست و آسیب‌شناسی نقیصه / تألیف مهدی فرشاد؛ ترجمه امید کوشکی، هانیه حدادی.
مشخصات نشر: تهران : متالون، ۱۳۹۱.
مشخصات ظاهری: سی‌و‌دو، ۳۴۰ ص.: مصور، جدول .
شابک : 978-600-6374-09-3
وضعیت فهرست‌نویسی : فیبا
یادداشت : عنوان اصلی: Plastic pipe systems, 2006 : failure investigation and diagnosis.
عنوان دیگر: آنالیز شکست و آسیب‌شناسی نقیصه.
موضوع : خطوط لوله — خرابی
موضوع : لوله‌های پلاستیکی
موضوع : مکان‌یابی عیب (مهندسی)
شناسه افزوده : کوشکی، امید، ۱۳۵۲ -
شناسه افزوده : حدادی، هانیه، ۱۳۶۲ - مترجم
رده بندی کنگره : ۱۳۹۱ ۴۵۷/۴ TA۶۶۶
رده بندی دیویی : ۶۲۱/۸۶۷۲
شماره کتابشناسی ملی : ۲۹۶۸۹۳۶

متالون

• نام کتاب : سیستم‌های لوله و اتصالات پلیمری آنالیز شکست و آسیب‌شناسی نقیصه

• تألیف : مهدی فرشاد

• ترجمه : امید کوشکی - هانیه حدادی

• نوبت چاپ: اول

• سال چاپ : ۱۳۹۱

• شمارگان : ۱۰۰۰

• قیمت : ۱۵۰۰۰۰ ریال

• چاپخانه : اصیل

• شابک : ۹۷۸-۶۰۰-۶۳۷۴-۰۹-۳ ISBN: 978-600-6374-09-3

• آدرس مرکز پخش : تهران - خیابان حافظ - روبروی سمیه - دانشگاه صنعتی امیرکبیر

تلفن کتابفروشی: ۶۶۴۶۵۳۹۲ (دفتر) ۸۸۸۹۵۹۶۹ فاکس ۶۶۹۵۰۹۸۲

پیشگفتار

علم و دانش بشری روز به روز پله‌های ترقی را طی نموده و گام به گام در راستای تعالی خویش قدم برمی‌دارد. تنها سازمان‌هایی توان ادامه حیات را خواهند داشت، که بتوانند خود را با شرایط علم روز وفق داده و از قافله علم و دانش عقب نمانند.

شرکت‌های آب و فاضلاب نیز بنا بر رسالت خود نسبت به بروزرسانی علم و فن‌آوری عملیات‌های سازمانی خود اقدام می‌نمایند. در سال‌های اخیر این شرکت‌ها اقدام به حمایت در زمینه گسترش علم و دانش نیز نموده‌اند. شرکت آب و فاضلاب استان چهارمحال و بختیاری نیز در زمینه گسترش علم و دانش اقدامات زیادی نظیر انجام پژوهش‌های علمی - کاربردی، شرکت و حمایت از کنفرانس‌ها و سمینارهای علمی - پژوهشی، حمایت از پایان‌نامه‌های دانشجویی و ... را انجام داده است. یکی از موارد حمایت این شرکت از مبحث علم و دانش حمایت از چاپ کتب علمی می‌باشد.

با توجه به اینکه مواد پلاستیکی و پلیمری کاربردهای فراوانی را در زندگی انسان به خصوص در صنعت آب و فاضلاب دارد، این شرکت اقدام به حمایت از چاپ کتاب حاضر نموده است که بتواند به عنوان یک راهنما در اختیار متخصصان و متقاضیان مرتبط قرار

بگیرد. امیدواریم با حمایت از چاپ این کتاب بتوانیم گامی در راستای ارتقاء فن‌آوری
صنعت آب و فاضلاب کشور برداریم.

اصغر یزدانی

رئیس هیات مدیره و مدیرعامل

شرکت آب و فاضلاب چهارمحال و بختیاری

www.ketab.ir

پیشگفتار مترجمان

آنالیز شکست از جمله موارد بسیار مهم در فن آوری پلیمر به شمار می‌رود که از دو دهه گذشته بطور فزاینده‌ای مورد توجه قرار گرفته است. کسب اطلاعات دقیق پیرامون عوامل موثر در ایجاد و رشد نقیصه، به تدوین استاندارد و بهینه‌سازی شرایط تولید، شکل‌دهی و بهره‌برداری از محصولات پلیمری کمک می‌کند. علاوه بر این مهمترین دستاورد این اطلاعات یافتن راهی جهت افزایش طول عمر لوله می‌باشد.

سیستم‌های لوله و اتصالات جهت توزیع آب و گاز، فاضلاب و ره‌کشی، محافظت کابل و تاسیسات و ... به مانند رگ‌های حیاتی جوامع بشری می‌باشند. هزاران کیلومتر خطوط لوله پلیمری موجود در جهان نقش حیاتی خود را با بالاترین درجه ایمنی، انجام می‌دهند. با وجود این شماری از شبکه‌های لوله و اتصالات موجود، به صورت موضعی دچار شکست می‌شوند. برخی از آنها ممکن است به زمان سرویس خود رسیده‌اند و تعدادی هم در همان مراحل ابتدایی بهره‌برداری دچار نقیصه شده‌اند. این نقیصه‌ها در مواردی سبب آسیب‌های اقتصادی و حتی به خطر انداختن زندگی انسان‌ها می‌گردد.

لوله‌های پلیمری نشان داده‌اند به منظور عبور آب، گاز و فاضلاب و موارد بسیار دیگر قابل اطمینان‌ترین و مناسب‌ترین می‌باشند. اگرچه این لوله‌ها در موارد بسیاری نسبت به

سایر لوله‌ها برتری دارند لیکن ارزیابی ایمنی، طول عمر، بررسی ایجاد نقیصه در لوله و اتصال و بازنگری در استانداردها، بیش از هر چیز ضروری به نظر می‌رسد.

متأسفانه مبحث بررسی عوامل نقیصه‌زا و آنالیز شکست در محصولات پلیمری آنچنان که باید در کشور ما مورد توجه قرار نگرفته است. این در حالی است که ما همه ساله مقادیر قابل توجهی از انواع پلیمرها را در کشور تولید کرده و انواع بیشتری از این مواد را به مصرف می‌رسانیم. در نتیجه این ضعف ما، برای بسیاری از مسائل علمی و صنعتی مرتبط با تخریب و شکست زود هنگام پلیمرها پاسخی نداریم. به ویژه در مورد محصولات مهندسی نظیر لوله و اتصالات پلیمری که مصرف‌کننده انتظار طول عمر بالایی از آنها دارند.

طی سالها فعالیتیم در بخش‌های مختلف صنعت لوله و اتصالات پلیمری ایران، با وجودی که ملاحظه کردم اغلب لوله‌های پلیمری تحت استاندارد اجباری و بازرسی شدید مصرف‌کننده تولید می‌شوند، اما گزارش‌ها از افزایش آمار شکست در شبکه لوله و اتصالات حکایت می‌کرد. متأسفانه به دلیل نبودن سیستم جامع و یکپارچه در مدیریت مصرف لوله و اتصالات، هنوز استاندارد ملی اتصالات و مهم‌تر از آن استاندارد نحوه اجرا و کارگزاری به صورت کامل تدوین نشده است. این در حالیست که بیشتر نقیصه‌هایی که طی سال‌های اخیر توسط بهره‌برداران از شبکه لوله و اتصالات پلیمری گزارش شده ناشی از کیفیت پایین کارگزاری و نبود آزمون‌های طراحی شبکه و تست مجموعه بوده است.

در تمام این مدت در دوره‌های آموزشی مختلفی که تدریس می‌کردم مرتباً سوال از یک مرجع علمی مناسب می‌شد که بتواند به تمامی سوالها در رابطه با کل شبکه، لوله، اتصالات، شیرآلات، نصب و کارگزاری و ... پاسخ دهد.

لذا کتاب سیستم لوله و اتصالات پلیمری: آنالیز شکست و آسیب‌شناسی نقیصه را، با کمک خانم حدادی، به فارسی ترجمه کردیم تا درک مطالب آن به دور از مشکلات مربوط به زبان بیگانه آسانتر شود. نویسنده این کتاب، دکتر مهدی فرشاد، از اساتید و محققین مرکز تحقیقات سوئیس هستند. ایشان بر اساس نتایج حاصله از سالها بررسی

شکست در شبکه‌های لوله و اتصالات پلیمری در اروپا، مکانیسم‌های مختلف را در این کتاب تشریح و تفسیر نموده‌اند. در عین حال روش‌های موثری را برای افزایش طول عمر محصولات پلیمری ارائه داده‌اند، بطوریکه بسیاری از رهنمودهای ایشان را می‌توان عیناً جهت مقاصد علمی و عملی مورد استفاده قرار داد. از این رو کتاب حاضر به عنوان یک کتاب عملی در شبکه خطوط لوله و اتصالات پلیمری از اعتبار بالایی برخوردار است.

جا دارد از رحمت بی شائبه خانم دکتر گولیا نیک‌روان، خانم مهندس تبسم علیزادمنیر، آقای دکتر میلاد مهرانپور، آقای دکتر نجفی، آقای مهندس حسین عطائی‌فر که ما را در به ثمر رساندن این کتاب یاری رساندند تشکر و قدردانی نمائیم.

در پایان موجب امتنان خواهد بود چنانچه خوانندگان گرامی با راهنمایی و انتقادات خود پیرامون کتاب حاضر مترجمان را در اصلاح چاپ‌های بعدی کمک و یاری نمایند.

امید کوشکی - هانیه حدادی

پاییز ۱۳۹۱

مقدمه نویسنده

سیستم‌های لوله یکی از قابل اعتمادترین و سریعترین ابزار انتقال مواد و انرژی به شمار می‌روند. مواد جدید نظیر پلاستیک‌ها و کامپوزیت‌ها، دنیای جدیدی را در کاربرد مواد اولیه در لوله‌کشی باز نموده است. از جمله مزایای لوله‌های پلیمری می‌توان به وزن سبک، قابلیت اتصال آسان و مقاومت در برابر خوردگی اشاره نمود. همانند هر نصب دیگری، احتمال بروز نقیصه در سیستم لوله‌کشی وجود دارد لذا تحقیقات هدفمند در باب چنین وقایعی کمک شایانی به ایمنی، سلامت، نگهداری و مدیریت طول عمر لوله‌کشی می‌نماید. از این رو دانش بدست آمده از نقیصه‌های متعدد که از یک مبنای علمی برخوردار باشد در اختیار تولیدکنندگان، کارفرمایان، مصرف‌کنندگان و مهندسين قرار خواهد گرفت. به دلیل گذر زمان و افزایش عمر سیستم‌های لوله‌کشی، این موضوع در سال‌های اخیر از اهمیت بسزایی برخوردار شده است. بنابراین نیاز به یک روش تحقیقاتی سیستماتیک که شامل آسیب‌شناسی مناسب، نمایش سلامت و همچنین روش تعمیر و بازسازی باشد، به خصوص برای آیندگان، بسیار احساس می‌شود.

در این کتاب، یک راهنمای مرجع در ارتباط با آنالیز نقیصه انواع لوله‌ها به ویژه لوله‌های پلاستیک و کامپوزیتی ارائه شده است. مهمترین انگیزه جهت نگارش این کتاب عبارت است از: (۱) نیاز طیف وسیعی از مصرف‌کنندگان، تولیدکنندگان و کارفرمایان به یک سیستم ساده آسیب‌شناسی لوله، (۲) دسترسی مقادیر مناسبی تجربه و داده در ارتباط

با آنالیز نقیصه.

این کتاب نتیجه سال‌ها تحقیق، تدریس و تمرین و تجربه در تحقیقات نقیصه گوناگون می‌باشد. فصل اول این کتاب، مروری است بر مواد پلیمری، خواص آنها و لوله‌های پلیمری. فصل دوم به یک روش سیستماتیک جهت بررسی نقیصه لوله‌های پلیمری پرداخته است. در فصل ۳ تا ۹ عوامل بالقوه بروز نقیصه در لوله‌های پلیمری بحث شده است. این فصول شامل موارد پایه‌ای و مکانیزم‌های محتمل حالات نقیصه از جمله ترکچه‌ای شدن، ترک برداری، شکست، خم شدن، تغییر شکل‌های بزرگ، تغییر رنگ و ابعاد، آسیب موضعی، جدایش لایه‌ها، خوردگی و انسداد سیستم لوله‌کشی پلیمری می‌باشد. هرکدام از این فصول موارد نقیصه متعددی را که در عمل رخ داده بحث نموده است. فصل آخر یک مبنای دانش برای تحقیقات لوله پلیمری ارائه داده است. اسکلت این مبنای دانش می‌تواند برای یک سیستم تخصصی جهت آسیب‌شناسی سیستماتیک نقیصه در لوله به کار برده شود.

این کتاب از یک ساختار مرجع مانند و فشرده، شامل تصویر، جدول و نمودارهای متعدد برخوردار می‌باشد. علاوه بر این موارد بسیاری از شکست‌های واقعی، تصاویر این شکست‌ها و نیز تشریح و آسیب‌شناسی فشرده برای هر مورد در این کتاب گنجانده شده است. این مطالعات موردی می‌تواند راهنمایی برای موارد دیگر باشد. این کتاب می‌تواند به عنوان یک دستورالعمل مرجع برای طیف به نسبت وسیعی از کاربران مانند افراد متخصص جامعه که مسئولیتی در ارتباط با لوله‌کشی دارند، مهندسین و برنامه‌ریزها، تولیدکنندگان لوله، سازمان‌های مسئول در این ارتباط و سازمان‌های استاندارد به کار برده شود.

من در اینجا می‌خواهم از کارمندان و ادارات EMPA تشکر کنم. کسانی که مستقیم یا غیر مستقیم در جمع‌آوری اطلاعات، گزارشات تحقیقات شکست و نتیجه‌گیری‌های مفید نقش داشته‌اند. و نیز از دکتر پیتر ریچنر از EMPA برای حمایت از این کتاب.

M. Farshad

Zürich, Switzerland

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
پیشگفتار.....	I
پیشگفتار مترجمان.....	III
مقدمه نویسنده.....	VII
فصل اول: سیستم‌های لوله پلیمری.....	۱
۱-۱- مواد پلیمری.....	۳
۱-۱-۱- تعریف و منشأ مواد پلیمری.....	۳
۲-۱-۱- پلیمرها و پلاستیک‌ها.....	۴
۳-۱-۱- خواص فیزیکی پلاستیک‌ها.....	۵
۲-۱- لوله‌های پلیمری.....	۱۴
۳-۱- سیستم‌های لوله.....	۱۵
۴-۱- دسته‌بندی لوله‌های پلیمری.....	۱۸
۱-۴-۱- طبقه‌بندی بر اساس پارامترهای هندسی و مقاومت در برابر فشار داخلی.....	۱۹
۲-۴-۱- طبقه‌بندی بر اساس سفتی حلقوی.....	۲۰
۵-۱- شرایط سیستم‌های لوله‌کشی.....	۲۰
۶-۱- تأثیرات محیطی.....	۲۲
۷-۱- طول عمر لوله‌های پلیمری.....	۲۶
۱-۷-۱- بررسی مدت زمان بهره‌برداری.....	۲۶
۲-۷-۱- تئوری وان حمام.....	۲۸
۸-۱- تنش‌های اولیه در لوله‌های پلیمری.....	۳۱
۹-۱- فرسودگی لوله‌های پلیمری.....	۳۳
۱-۹-۱- رفتار دراز مدت لوله‌های پلیمری.....	۳۳
۲-۹-۱- عوامل فرسودگی در سیستم‌های لوله‌کشی.....	۳۷
۱۰-۱- اطمینان به خطوط لوله.....	۳۹

۱-۱۰-۱- مفاهیم و تعاریف.....	۳۹
۱-۱۰-۱- حالات حدی.....	۳۹
۱-۱۰-۲- تناوب نقیصه.....	۴۰
۱-۱۰-۳- تخمین بررسی ریسک ایجاد نقیصه.....	۴۱
۱-۱۰-۲- تحلیل هزینه- کاربرد.....	۴۲
۱-۱۰-۳- سیستم مدیریت ریسک خطوط لوله.....	۴۲
۱-۱۱- روند عمومی بررسی قابلیت اطمینان نمونه.....	۴۳
۱-۱۲- سؤالات رایج در مورد سیستم‌های لوله‌کشی.....	۴۵
فصل دوم: ارزیابی نقیصه لوله‌های پلیمری.....	۴۷
۱-۲- پدیده شکست.....	۴۹
۲-۲- منشاء نقیصه‌های بالقوه.....	۴۹
۱-۲-۲- ضعف در مواد اولیه.....	۵۰
۲-۲-۲- طراحی نامناسب.....	۵۰
۳-۲-۲- معضلات ناشی از شکل‌دهی.....	۵۰
۴-۲-۲- انبارداری، حمل و نقل و نصب نامناسب.....	۵۱
۵-۲-۲- شرایط کارکرد نامساعد.....	۵۲
۶-۲-۲- آسیب جزء سوم.....	۵۲
۷-۲-۲- فرسودگی و از کار افتادگی قطعه.....	۵۳
۳-۲- انواع نقیصه.....	۵۳
۱-۳-۲- نقیصه خطوط لوله.....	۵۳
۲-۳-۲- نقیصه مکانیکی.....	۵۴
۳-۳-۲- نقیصه حرارتی.....	۵۵
۴-۳-۲- نقیصه شیمیایی.....	۵۵
۵-۳-۲- نقیصه محیطی.....	۵۵
۶-۳-۲- شکست تَرْد و چقرمه.....	۵۵
۴-۲- مکانیسم نقیصه در محصولات پلیمری.....	۵۶

۵-۲- تحلیل نقیصه	۵۶
۶-۲- چرا تحلیل نقیصه؟	۵۸
۷-۲- شباهت میان آسیب‌شناسی مهندسی و پزشکی	۵۹
۸-۲- واژه‌شناسی تحلیل نقیصه	۵۹
۹-۲- مراحل ارزیابی نقیصه	۶۲
۱۰-۲- جزئیات مراحل ارزیابی نقیصه	۶۴
۱۱-۲- آزمون لوله‌های پلیمری	۷۲
۱۲-۲- مدهای نقیصه و دلایل بالقوه	۷۳
۱۳-۲- تخمین ریسک کیفی اتصالات لوله پلیمری	۸۵
۱۴-۲- درسهای آموخته شده از نقیصه‌های خطوط لوله	۸۶
۱۵-۲- مطالعه موردی نقیصه	۸۷
فصل سوم: شکست لوله‌های پلیمری	۹۱
۱-۳- شکست لوله‌ها	۹۳
۲-۳- انواع شکست	۹۳
۳-۳- فرآیند شکست	۹۴
۱-۳-۳- ترکچه‌ای شدن	۹۵
۲-۳-۳- ترک‌برداری	۹۶
۳-۳-۳- ترک‌برداری چقرمه و شکننده (ترد)	۹۷
۴-۳- شکست در اثر تنش نرمال	۹۹
۵-۳- بررسی ماکروسکوپی سطح شکست	۱۰۰
۶-۳- انواع ترک	۱۰۱
۷-۳- رشد سریع ترک (RCP) در لوله‌های پلیمری	۱۰۲
۸-۳- انواع شکست در لوله‌ها	۱۰۵
۱-۸-۳- انواع ترک‌های سطحی	۱۰۶

۳-۸-۲- انواع ترکهای چقرمه.....	۱۰۸
۳-۹- راهنمای تشخیص لوله‌هایی که دچار شکست شده‌اند.....	۱۰۹
۳-۱۰- بررسی موردی شکست.....	۱۳۷
۳-۱۱- موارد پیشگیری برای جلوگیری از شکست لوله‌های پلیمری.....	۱۶۲
فصل چهارم: امیدگی لوله‌های پلیمری.....	۱۶۵
۴-۱- پایداری و ناپایداری.....	۱۶۷
۴-۲- مدهای ناپایداری الاستیک.....	۱۶۸
۴-۲-۱- دوگانگی تعادلی.....	۱۶۸
۴-۲-۲- ناپایداری تعادلی محدود.....	۱۶۹
۴-۲-۳- ناپایداری دینامیک و سریع.....	۱۷۱
۴-۳- تغییر شکل بیش از حد.....	۱۷۳
۴-۴- دلایل عمومی له‌شدگی لوله‌های پلیمری.....	۱۷۳
۴-۵- له‌شدگی لوله‌های دفن شده.....	۱۷۴
۴-۶- له‌شدگی در طول نصب.....	۱۷۶
۴-۷- له‌شدگی به واسطه دماهای بسیار بالا.....	۱۷۷
۴-۸- له‌شدگی لوله دفن شده در بتن.....	۱۷۸
۴-۹- له‌شدگی روکش لوله.....	۱۸۰
۴-۱۰- له‌شدگی موضعی به واسطه نیروهای متمرکز.....	۱۸۰
۴-۱۱- انواع له‌شدگی و تغییر شکل بیش از حد.....	۱۸۱
۴-۱۲- ارزیابی لوله‌های له‌شده.....	۱۸۳
۴-۱۳- ارزیابی تغییر شکل بیش از حد.....	۱۸۳
۴-۱۴- موارد نقیصه له‌شدگی.....	۱۹۵
۴-۱۵- اقدامات پیشگیرانه در برابر له‌شدگی و تغییر شکل بیش از حد.....	۲۱۱
فصل پنجم: فرسایش در اثر عوامل جوی.....	۲۱۳

۱-۵- فرسایش در اثر عوامل جوی.....	۲۱۵
۲-۵- تغییر رنگ.....	۲۱۸
۳-۵- تغییر ابعاد.....	۲۱۹
۴-۵- ارزیابی تغییر رنگ و ابعاد.....	۲۳۳
۵-۵- بررسی موردی تغییرات رنگ و ابعاد.....	۲۳۳
۶-۵- اندازه‌گیری‌های پیشگیرانه در برابر فرسودگی جوی و تغییرات رنگ و ابعاد.....	۲۳۷
فصل ششم: حفرات، تاول زدگی و جدایی لایه‌ای.....	۲۳۹
۱-۶- دسته‌های نقیصه موضعی در مواد.....	۲۴۱
۲-۶- ارزیابی آسیب موضعی.....	۲۴۱
۳-۶- بررسی موارد نقیصه.....	۲۴۹
۴-۶- بررسی‌های پیشگیرانه در برابر حفرات، تاولها و جدا شدن لایه‌ها.....	۲۵۲
فصل هفتم: خستگی، خوردگی و فرسایش.....	۲۵۵
۱-۷- مقدمه.....	۲۵۷
۲-۷- خستگی.....	۲۵۷
۱-۲-۷- خستگی تناوبی.....	۲۵۷
۲-۲-۷- خستگی ساکن یا پارگی خزشی.....	۲۵۹
۳-۷- خوردگی.....	۲۶۰
۴-۷- فرسایش.....	۲۶۲
۵-۷- ارزیابی خستگی، خوردگی و فرسایش.....	۲۶۲
۶-۷- بررسی موردی یک نقیصه.....	۲۸۱
۷-۷- اندازه‌گیری خستگی، خوردگی و فرسایش.....	۲۸۳
فصل هشتم: انسداد سیستم لوله.....	۲۸۵
۱-۸- دلایل انسداد.....	۲۸۷
۲-۸- انواع انسداد.....	۲۸۹

۳-۸- ارزیابی انسداد.....	۲۸۹
۴-۸- بررسی موردی یک نقیصه.....	۲۹۵
۵-۸- اندازه‌گیری‌های پیشگیرانه در برابر انسداد.....	۲۹۸
فصل نهم: مبنای دانش یک سیستم تخصصی برای آسیب‌شناسی نقیصه.....	۲۹۹
۱-۹- مقدمه.....	۳۰۱
۲-۹- شرح کدهای از سیستم تخصصی EFAP.....	۳۰۳
۱-۲-۹- ساختار سیستم تخصصی.....	۳۰۳
۲-۲-۹- حوزه‌های برنامه تخصصی.....	۳۰۶
۳-۹- روند آنالیز نقیصه به روش EFAP.....	۳۱۷
۴-۹- آنالیز نقیصه.....	۳۱۸
۵-۹- ارزیابی نقیصه.....	۳۲۶
۶-۹- EFAP: یک سیستم نرم‌افزار تخصصی.....	۳۳۶

فهرست شکلها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱: طرحی از انواع ساختارهای مولکولی پلیمری.....	۴
شکل ۲-۱: طرحی از رفتار کششی کلی مواد مختلف.....	۷
شکل ۳-۱: وابستگی کیفی خواص کششی مواد گرمانرم نسبت به دما.....	۸
شکل ۴-۱: تعریف دمای انتقال شیشه‌ای.....	۹
شکل ۵-۱: رفتار خزشی مواد پلیمری.....	۱۰
شکل ۶-۱: خواص وابسته به زمان مواد پلیمری. (الف) انحراف خزشی در تنش های ثابت گوناگون ($\sigma_1 > \sigma_2$)، (ب) نمودارهای همزمان ($t_1 > t_2$) (تنش در برابر کرنش در زمان بارگذاری خزش مشخص).....	۱۱
شکل ۷-۱: تاثیر دما و رطوبت بر خواص کششی پلیمرها.....	۱۱
شکل ۸-۱: سیستم و زیر سیستم.....	۱۶
شکل ۹-۱: سیستم و محیط اطراف آن.....	۱۷
شکل ۱۰-۱: عوامل موثر بر سیستم های لوله.....	۲۱
شکل ۱۱-۱: عوامل محیطی اصلی موثر بر سیستم لوله.....	۲۶
شکل ۱۲-۱: لوله های پلیمری، زمینه های کلی، کاربرد و پدیده های موثر در ایجاد نقیصه به صورت خودبخودی.....	۲۷
شکل ۱۳-۱: نمودار هندسی تئوری وان حمام مربوط به شکست احتمالی سیستم لوله.....	۳۰
شکل ۱۴-۱: رینگ نازک از یک لوله PE-HD با ضخامت ۲mm (قطر ۲۲۵ mm، SDR11، سری لوله ۵) بعد از ۱۰۰۰ ساعت. دو تصویر بالایی عکس های پی در پی از حلقه های تهیه شده از قسمت بیرونی ضخامت دیواره لوله می باشد. دو تصویر پایینی عکس های پی در پی از حلقه های تهیه شده از قسمت درونی ضخامت دیواره لوله می باشد. ضخامت هر حلقه ۱۰٪ ضخامت دیواره لوله است. لبه های جدا شده حلقه های	

بیرونی در حدود ۱۲۷ mm بر روی یکدیگر قرار گرفته‌اند. در حالی که حلقه‌های داخلی در حدود ۵/۳ mm از یکدیگر دور شده‌اند.....	۳۳
شکل ۱-۱۵: مثالی از رفتار شکست خزشی دراز مدت تحت فشار هیدرواستاتیک داخلی برای لوله PE-HD در دمای ۴۰ درجه سانتیگراد مطابق نرم افزار ADAP (طراحی و تحلیل خودکار خطوط لوله) و روش برون‌یابی استاندارد (SEM) بر پایه استاندارد بین المللی ISO 9080.....	۳۶
شکل ۱-۱۶: طرحی از نمودار P-F.....	۴۰
شکل ۱-۱۷: شبکه ارزیابی ریسک معمول.....	۴۱
شکل ۱-۱۸: شبکه آنالیز مصرف هزینه.....	۴۲
شکل ۲-۱: مکانیزم‌های بقیه ذاتی در سیستم‌های لوله.....	۵۴
شکل ۲-۲: مقایسه بین آسیب‌شناسی مهندسی و پزشکی.....	۶۰
شکل ۲-۳: مراحل یک فرایند ارزیابی بقیه.....	۶۳
شکل ۳-۱: (الف) حالت اول شکست: نیروهای عمود بر ترک، (ب) حالت دوم شکست: یک ترک برشی داخل صفحه، (ج) حالت سوم شکست: حالت پارگی.....	۹۴
شکل ۳-۲: یک ترک چقرمه با ظاهری شبیه نوک قناری در لوله PE-HD تحت فشار هیدرواستاتیک داخلی.....	۹۸
شکل ۳-۳: رشد ترک شکننده در ضخامت دیواره لوله F-۷۰. پایین شکل مربوط به داخل لوله و بالای آن مربوط به خارج لوله می‌باشد. فلش‌ها جهت رشد ترک را نشان می‌دهد. ناحیه قرار گرفته پیش از بخش لوله کاملاً ترک خورده، ناحیه سفید رنگ ترک برداری در سطح خارجی لوله را نشان می‌دهد. آنطرف ناحیه بیضوی سفید رنگ در دیواره لوله، نشان داده شده در شکل، یک ترک سریع رشد کننده در هر دو جهت، در امتداد لوله رخ داده است (شکست مورد F-1 در این فصل).....	۹۹
شکل ۳-۴: نمودار تاثیر دما روی شکست دینامیک در لوله‌های ترموپلاستیک بخصوص در سرعت رشد ترک، تنش بحرانی و فشار درونی بحرانی.....	۱۰۳

شکل ۳-۵: نتیجه بررسی RCP توسط آزمون S4 بر روی لوله PE-HD (نسبت ابعاد استاندارد (SDR) ۱۱ و قطر خارجی ۲۲۵) در دمای صفر درجه سانتیگراد و فشار داخلی ۱/۷۵ بار. شکل مسیر موجی ترک در امتداد لوله را نشان می‌دهد. ۱۰۴

شکل ۳-۶: نتیجه بررسی RCP توسط آزمون S4 بر روی لوله PE-HD (نسبت ابعاد استاندارد (SDR) ۱۱ و قطر خارجی ۲۲۵) در دمای صفر درجه سانتیگراد و فشار داخلی ۱/۷۵ بار. شکل مسیر موجی ترک در امتداد لوله در شکل ۳-۵ را که از داخل نگاه شده است، نشان می‌دهد. ۱۰۵

شکل ۳-۷: نتیجه بررسی RCP توسط آزمون S4 بر روی لوله PE-HD (نسبت ابعاد استاندارد (SDR) ۱۱ و قطر خارجی ۲۲۵) در دمای صفر درجه سانتیگراد و فشار داخلی ۱/۷۵ بار. شکل ترک را در نگاه از روبرو و در امتداد ضخامت دیواره نشان می‌دهد. ۱۰۶

شکل ۳-۸: پارگی لوله PVC-U در گودال. خاک پوشانی گودال از بین رفته است. ۱۳۹

شکل ۳-۹: تصویر با جزئیات از پارگی لوله PVC-U در گودال. خاکپوشانی گودال از بین رفته است. ۱۴۰

شکل ۳-۱۰: تصویر یک لوله حفاری شکسته شده در محل. شکل نشان‌دهنده قطعات لوله و محل اتصال در یک انتهای آن می‌باشد. ۱۴۰

شکل ۳-۱۱: قطعات کنار هم گذاشته شده لوله شکسته شده PVC که بعضی قطعات به منظور آزمون مواد بریده شده‌اند. ۱۴۱

شکل ۳-۱۲: بخشی از ضخامت دیواره لوله در ناحیه‌ای که امکان شروع ترک در هر دو طرف ضخامت دیواره وجود دارد. در این تصویر نواحی سفیدرنگ و هسته‌های ناخالصی که منشا شروع ترک می‌باشند، نشان داده شده است. ضخامت دیواره لوله ۱۶/۷mm و طول نواحی سفید رنگ در حدود ۱۵۰ mm می‌باشد. ۱۴۱

شکل ۳-۱۳: بخشی از ضخامت دیواره لوله در ناحیه‌ای که امکان شروع ترک در یک طرف ضخامت دیواره وجود دارد. در این تصویر نواحی سفیدرنگ و هسته‌های ناخالصی که منشا شروع ترک می‌باشند، نشان داده شده است. ضخامت دیواره لوله ۱۶/۷mm و طول نواحی سفید رنگ در حدود ۱۵۰ mm می‌باشد. ۱۴۲

- شکل ۳-۱۴: تصویر میکروسکوپی از ناحیه شروع ترک در ضخامت دیواره لوله. شکل، یک ناخالصی در قسمت داخلی ضخامت دیواره لوله نشان می‌دهد. ۱۴۲
- شکل ۳-۱۵: تصویر میکروسکوپی با جزئیات از هسته ناخالصی مواد در ضخامت دیواره لوله. ۱۴۳
- شکل ۳-۱۶: ترک بر روی لوله PVC. ۱۴۴
- شکل ۳-۱۷: تصویر شکست لوله همراه با چند پاره شدن لایه‌ها. ۱۴۵
- شکل ۳-۱۸: نگاه از انتهای لوله شکسته شده در ناحیه بیرونی همراه با جداسازی لایه‌ها. ۱۴۶
- شکل ۳-۱۹: نگاه همراه با جزئیات از جداسازی لایه‌ها که در ناحیه انتهایی دیده می‌شود. ۱۴۶
- شکل ۳-۲۰: قسمت رویی بخش جدا شده. ۱۴۷
- شکل ۳-۲۱: آزمون فشار هیدرواستاتیک داخلی بر روی قسمت دست نخورده لوله GFRP (با قطر ۱۴۰۰ mm). ۱۴۷
- شکل ۳-۲۲: تصویر از انتهای لوله GFRP. ۱۴۸
- شکل ۳-۲۳: (الف) ترک بر روی سطح لوله GFRP و (ب) ترک در ناحیه انتهایی لوله. ۱۴۹
- شکل ۳-۲۴: قسمت ترک خورده در نمونه لوله بیرون آمده پلی پروپیلن در آزمون فشار طولانی مدت در دمای 80°C ۱۵۰
- شکل ۳-۲۵: تصویری از ناحیه شکسته شده در نمونه‌های از ضخامت دیواره لوله شکل ۳-۲۴ که اکسیداسیون حرارتی را نشان می‌دهد. ۱۵۰
- شکل ۳-۲۶: ناحیه نقیصه نشان داده شده در لوله اصلی GFRP و عبور لوله‌های محافظت کننده کابل. ۱۵۲
- شکل ۳-۲۷: تصویر طولی قسمتی از لوله اصلی GFRP که ناحیه شکست را نشان می‌دهد. ۱۵۲
- شکل ۳-۲۸: ناحیه جدا شده از تاج لوله. ۱۵۳

- شکل ۳-۲۹: سطح مقطع عرضی خط لوله در مجاورت ناحیه نقیصه ۱۵۴
- شکل ۳-۳۰: طرحواره‌ای از دید از بالای سیستم لوله در ناحیه شکست ۱۵۵
- شکل ۳-۳۱: تصویری از سیستم لوله که از سمت پایین دست گرفته شده است. رودخانه در سمت راست تصویر قرار دارد. در وسط تصویر، لوله GFRP شکسته شده نزدیک به ناحیه اتصال روشن دیده می‌شود. سمت چپ یک لوله PE و سمت راست دو لوله محافظت کننده کابل PVC قرار گرفته است. ۱۵۵
- شکل ۳-۳۲: تصویر از سمت پایین دست ناحیه شکست در خط لوله، رودخانه در سمت راست تصویر می‌باشد. ۱۵۶
- شکل ۳-۳۳: تصویر به همراه جزئیات از ناحیه شکست. لوله PE و لوله های محافظ کابل در دو سمت لوله شکسته شده دیده می‌شود. ۱۵۶
- شکل ۳-۳۴: تصویر با جزئیات از لوله پاره شده. ترک و شرایط بستر در پایین تصویر دیده می‌شود، قسمتی از سنگها احتمالا از اطراف شسته شده است، سایر سنگ ها باید زیر خط لوله قرار گرفته باشد. ۱۵۷
- شکل ۳-۳۵: فرضیات نقیصه: مرحله‌ای که منجر به شکست لوله می‌گردد. اشکال طرحی از سطح مقطع لوله را در ناحیه نقیصه نشان می‌دهد. الف) لوله روی بستر زبری از تخته سنگ قرار گرفته و تحت فشار عمودی خاک می‌باشد. نیروهای متمرکز از طرف سنگها به لوله وارد می‌شود. ب) تغییر شکل لوله تحت نیروی متمرکز نقطه‌ای و فشار عمودی خاک. ج) جابه جایی طولی شیب خاک محافظت نشده مجاور رودخانه. د) پارگی لوله در قسمت انتهایی به واسطه ترکیبی از نیروی عمودی، نیروی متمرکز نقطه‌ای و نیروهای اصطکاکی ناشی از جابه جایی محوری زمین. ۱۵۷
- شکل ۳-۳۶: الف) قسمتی از سیستم لوله‌کشی؛ ب) اتصال T شکل ۱۵۹
- شکل ۳-۳۷: دو سطح ترک در اتصال T شکل ۱۵۹
- شکل ۳-۳۸: تصویر با جزئیات از یک یا دو سطح ترک ۱۶۰
- شکل ۳-۳۹: تصویر توموگرافی کامپیوتری از مقطع اتصال T شکل نشان دهنده سوراخ در ضخامت دیواره ۱۶۰

- شکل ۳-۴۰: یک تصویر توموگرافی کامپیوتری با جزئیات از داخل سوراخ در ضخامت دیواره..... ۱۶۰
- شکل ۳-۴۱: قطعات شکسته شده لوله پلی اتیلنی..... ۱۶۱
- شکل ۳-۴۲: موقعیت‌های مختلف لوله پاره شده..... ۱۶۲
- شکل ۳-۴۳: دو تکه جدا از لوله شکسته شده..... ۱۶۲
- شکل ۴-۱: انواع له‌شدگی الاستیک پایا..... ۱۶۸
- شکل ۴-۲: رفتار له‌شدگی یک کامپوزیت اپوکسی تقویت شده با الیاف کربن به شکل پوسته سیلندر شکل تحت فشار محوری. شکل سمت چپ post-buckling سیلندر CFRP را تحت فشار محوری نشان می‌دهد و شکل سمت راست طرحی شماتیک از فشار محوری بصورت تابعی از کاهش طول سیلندر ارائه داده است..... ۱۷۰
- شکل ۴-۳: له‌شدگی snap-through لوله تحت فشار هیدرواستاتیک خارجی. شکل بالا سمت چپ پدیده snap-through را نشان داده در حالیکه شکل سمت راست نتیجه آن بر روی یک لوله پلی‌وینیل کلراید است. نمودار وسط فشار را در برابر کوتاه شدن یک پوسته نازک و طرحی از پدیده snap-through نشان می‌دهد..... ۱۷۱
- شکل ۴-۴: انواع له‌شدگی در لوله‌های دفن شده. تصویر شماتیک سمت چپ شکل snap-through از ناپایداری و شکل سمت راست دو پهنی لوله را تحت فشار زمین و بار ترافیکی نشان می‌دهد..... ۱۷۵
- شکل ۴-۵: فرایند له‌شدگی در یک لوله ترموپلاستیک در حین بتن ریزی..... ۱۷۵
- شکل ۴-۶: شعاع خمش بحرانی یک لوله؛ لوله از داخل یک لوله دیگر داخل گودال بیرون کشیده شده و به سطح آورده شده..... ۱۷۶
- شکل ۴-۷: له‌شدگی طولی بخشی از سیستم لوله بین دو نقطه اتصال و به واسطه افزایش دما..... ۱۷۶
- شکل ۴-۸: تصاویری از شکل تخریب شده از نمونه لوله ترموپلاستیک در آزمون آتش..... ۱۷۷
- شکل ۴-۹: ترک در بتن پیرامون یک لوله پلیمری..... ۱۷۹

- شکل ۴-۱۰: (a) ایجاد فشار هیدرواستاتیک خارجی در فضای بین بتن اطراف یک لوله پلیمری و لوله بدلیل عدم فیلتر نمودن آب. (b) له شدگی لوله دفن شده در بتن به واسطه فشار هیدرواستاتیک بین لوله و محیط اطراف از میان درز و شکاف..... ۱۷۹
- شکل ۴-۱۱: له شدگی موضعی لوله به واسطه اعمال نیروی نقطه‌ای..... ۱۸۱
- شکل ۴-۱۲: سطح مقطع عرضی لوله استیل خارجی به همراه سه لوله پلیمری داخل آن؛ فضای بین این لوله‌ها با بتن پر شده است. (ابعاد به سانتیمتر هستند)..... ۱۹۷
- شکل ۴-۱۳: موقعیت لوله‌های پلیمری داخل لوله استیل؛ شکل قطعات مربوط به نصب را نشان داده که در فواصل ۲۲۵۰ mm در طول خط لوله نصب شده‌اند..... ۱۹۸
- شکل ۴-۱۴: لوله‌های ترموپلاستیک له شده و احاطه شده با بتن که داخل لوله استیل قرار دارند..... ۱۹۸
- شکل ۴-۱۵: ناحیه له شده از لوله‌های ترموپلاستیک حامل گل..... ۲۰۰
- شکل ۴-۱۶: جزئیات لوله له شده..... ۲۰۰
- شکل ۴-۱۷: سکانسهای ضبط ویدئویی از عملیات له شدگی که چند متر از لوله را تحت تاثیر قرار داده است..... ۲۰۲
- شکل ۴-۱۸: لوله له شده که توسط عملیات حفاری از گودال بیرون آورده شده؛ این تغییر شکل تا اندازه‌های قابلیت بازیابی است..... ۲۰۲
- شکل ۴-۱۹: تصویری از لوله حفاری شده پس از بازیابی تغییر شکل له شدگی؛ مطابق شکل همچنان درصدی از تغییر شکل پلاستیک باقی مانده است..... ۲۰۳
- شکل ۴-۲۰: تصویری شماتیک از فرضیات مربوط به دلایل له شدگی..... ۲۰۳
- شکل ۴-۲۱: پروفیل طولی از تونل و سیستم لوله‌کشی..... ۲۰۵
- شکل ۴-۲۲: مقطع عرضی از یک تونل با لوله‌های ترموپلاستیک دفن شده در بتن..... ۲۰۶
- شکل ۴-۲۳: لوله له شده که از یک مقطع برش دیده می‌شود. جریان آب از محیط بتنی اطراف به داخل لوله جریان یافته است..... ۲۰۷
- شکل ۴-۲۴: لوله له شده از یک مقطع برش..... ۲۰۷

- شکل ۴-۲۵: (a) مقطع تونل با چهار لوله محافظ کابل در ناحیه انتهایی؛ (b) تصویر بزرگ شده با جزئیات از چهار لوله محافظ کابل ۲۰۹
- شکل ۴-۲۶: تغییر شکل جدایش لایه‌ها برای یک لوله چند لایه خم شده ۲۰۹
- شکل ۴-۲۷: تصویر مقطعی یک لوله چندلایه، تغییر شکل لایه داخلی ۲۱۱
- شکل ۵-۱: دو لوله پلی‌پروپیلنی بر روی حمایت کننده‌های موضعی که تغییر رنگ در ناحیه تاج لوله دیده می‌شود ۲۳۵
- شکل ۵-۲: تغییر رنگ در ناحیه تاج لوله در محل جوش سر به سر ۲۳۶
- شکل ۵-۳: داخل یکی از لوله‌های پلی‌پروپیلنی که تغییر رنگ در تاج لوله را نشان می‌دهد ۲۳۷
- شکل ۶-۱: یکی از تاولهای بزرگ که در داخل لوله پلیاستری تقویت شده با الیاف شیشه مشاهده می‌شود ۲۵۰
- شکل ۶-۲: فواره زدن آب از داخل یک تاول سوراخ شده ۲۵۰
- شکل ۶-۳: تاول بر سطح داخلی لوله پلی‌اتیلنی ۲۵۱
- شکل ۶-۴: تصویر میکروسکوپی از تاول که مواد خارجی را نشان می‌دهد ۲۵۲
- شکل ۷-۱: رفتار معمول خستگی تناوبی پلیمرها ۲۵۸
- شکل ۷-۲: طرحی از پارگی خزشی لوله‌های پلیمری ۲۶۰
- شکل ۷-۳: گرم کردن کفپوش سطح زمین توسط سیستم لوله‌کشی پلیمری (قطر در حدود ۱۷ mm، ضخامت دیواره ۲/۲ mm) ۲۸۰
- شکل ۷-۴: ترکهای حلقوی در لوله خم شده به کار رفته در سیستم گرمایش کف ۲۸۲
- شکل ۷-۵: جزئیات ترک در لوله به کار رفته در سیستم گرمایش کف ۲۸۲
- شکل ۸-۱: تغییر شکل بزرگ لوله PVC ثبت شده توسط ویدئو ۲۹۷
- شکل ۸-۲: تصویر ویدئویی دیگری که نشان دهنده تغییر شکل بزرگ و خمیدگی لوله است ۲۹۸
- شکل ۹-۱: نگاه کلی بر ارتباط بین انواع نقیصه و مدول آنالیز نقیصه ۳۱۹

www.ketab.ir

فهرست جدولها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱: دسته‌بندی انواع پلیمرهای مصنوعی.....	۵
جدول ۱-۲: افزودنی‌ها و عملکرد آنها بر روی مواد پلیمری.....	۶
جدول ۱-۳: خواص کوتاه مدت و معمول مکانیکی و حرارتی برخی پلاستیک‌ها در دمای ۲۳ °C.....	۱۲
جدول ۱-۴: نرخ شکست بر طبق تئوری وان حمام.....	۲۹
جدول ۱-۵: پدیده‌های مسئول برای تغییر استحکام و سختی پلاستیک‌ها.....	۳۴
جدول ۱-۶: عوامل موثر بر فرسودگی و از بین رفتن قطعات پلیمری.....	۳۸
جدول ۱-۷: مراحل عملکرد خطوط لوله.....	۴۱
جدول ۱-۲: تاثیر عوامل مختلف بر نقیصه مواد پلیمری.....	۵۷
جدول ۲-۲: جزئیات مراحل در یک ارزیابی نقیصه (مراحل نشان داده شده در شکل ۲-۲-۳).....	۶۵
جدول ۲-۳: مستندات رویداد نقیصه.....	۶۸
جدول ۲-۴: پرسش‌های راهنما در خصوص ارزیابی پایداری و نقیصه لوله‌ها.....	۷۰
جدول ۲-۵: لیستی از آزمون‌های انجام شده بر روی پلیمرها، پلاستیک‌ها و لوله‌های پلیمری.....	۷۳
جدول ۲-۶: اطلاعات فشرده از مکانیزم‌های گوناگون نقیصه و دلایل احتمالی آنها.....	۷۸
جدول ۲-۷: خصوصیات اتصالات لوله‌های مختلف و نقطه ضعف بالقوه آنها.....	۸۳
جدول ۲-۸: نقیصه بالقوه و منشاء نقیصه سیستم لوله.....	۸۷
جدول ۳-۱: طبقه‌بندی ترکهای سطحی در لوله‌های پلیمری.....	۱۰۶
جدول ۳-۲: طبقه‌بندی ترکهای حلقوی در لوله‌های پلیمری.....	۱۰۷
جدول ۳-۳: طبقه‌بندی ترکهای محوری در لوله‌های پلیمری.....	۱۰۷
جدول ۳-۴: طبقه‌بندی ترکهای مرکب در لوله‌های پلیمری.....	۱۰۸
جدول ۳-۵: دسته‌بندی پارگی لوله‌های پلیمری.....	۱۰۹

جدول ۳-۶: ارزیابی ترک‌برداری ریز.....	۱۱۰
جدول ۳-۷: ارزیابی ترک‌برداری حلقوی.....	۱۱۵
جدول ۳-۸: ارزیابی ترک‌برداری محوری.....	۱۲۱
جدول ۳-۹: ارزیابی ترک‌برداری مرکب.....	۱۲۶
جدول ۳-۱۰: ارزیابی پارگی لوله‌های پلیمری.....	۱۳۲
جدول ۳-۱۱: لوله PVC تامین آب شرب.....	۱۳۸
جدول ۳-۱۲: بررسی ترک‌برداری لوله PVC.....	۱۴۳
جدول ۳-۱۳: لوله GFRP تحت فشار برای توربین آبی.....	۱۴۴
جدول ۳-۱۴: لوله GFRP مورد استفاده در زه‌کشی تونل.....	۱۴۸
جدول ۳-۱۵: آزمون فشار هیدرواستاتیک داخلی در ارتباط با افت چقرمگی در یک لوله پلی‌پروپیلنی مورد استفاده در زه‌کشی صنعتی.....	۱۴۹
جدول ۳-۱۶: لوله تحت فشار GFRP پاره شده.....	۱۵۱
جدول ۳-۱۷: لوله تحت فشار GFRP.....	۱۵۳
جدول ۳-۱۸: نشستی در زانویی T- شکل PE-HD مورد استفاده در خط لوله اصلی آب شرب.....	۱۵۸
جدول ۳-۱۹: شکست لوله ترموپلاستیک غوطه‌ور در آب.....	۱۶۱
جدول ۴-۱: انواع ناپایداری له‌شدگی در لوله‌ها.....	۱۸۲
جدول ۴-۲: انواع تغییر شکل بیش از حد در لوله‌ها.....	۱۸۲
جدول ۴-۳: ارزیابی له‌شدگی لوله‌های پلیمری.....	۱۸۴
جدول ۴-۴: ارزیابی تغییر شکل بیش از حد در لوله‌ها.....	۱۹۰
جدول ۴-۵: لوله PE دفن شده در بتن.....	۱۹۶
جدول ۴-۶: له‌شدگی لوله PE دفن شده در بتن.....	۱۹۹
جدول ۴-۷: له‌شدگی لوله PE مورد استفاده در زه‌کشی.....	۲۰۱
جدول ۴-۸: له‌شدگی لوله PE زه‌کشی در بستر تونل.....	۲۰۴

عنوان	صفحه
جدول ۴-۹: له‌شدگی لوله‌های محافظ کابل.....	۲۰۸
جدول ۴-۱۰: له‌شدگی لوله چند لایه.....	۲۱۰
جدول ۵-۱: تاثیر عوامل گوناگون بر فرسایش جوی پلیمر و محصولات پلیمری شامل لوله‌های پلیمری.....	۲۱۶
جدول ۵-۲: انواع تغییر رنگ در لوله‌های پلیمری.....	۲۱۸
جدول ۵-۳: انواع تغییرات ابعادی در لوله‌های پلیمری.....	۲۱۹
جدول ۵-۴: ارزیابی تغییر رنگ در لوله‌های پلیمری (نا کامل).....	۲۲۰
جدول ۵-۵: ارزیابی تغییر ابعاد در لوله‌های پلیمری (نا کامل).....	۲۲۷
جدول ۵-۶: بررسی موردی یک سیستم لوله کشی تحت فشار از جنس پلی‌پروپیلن (جهت مطالعه مورد مشابه به فصل ۳ بخش شکست لوله مراجعه نمایید).....	۲۳۴
جدول ۶-۱: نقص مواد یا آسیب‌های موضعی ایجاد شده در لوله‌های پلیمری.....	۲۴۲
جدول ۶-۲: ارزیابی آسیب‌های موضعی در لوله‌های پلیمری.....	۲۴۳
جدول ۶-۳: مورد تاولهای بزرگ و جداشدن لایه‌ها در سیستم لوله GFRP.....	۲۴۸
جدول ۶-۴: مورد تاول بر سطح داخلی یک لوله پلی‌اتیلنی.....	۲۵۱
جدول ۷-۱: انواع خستگی در مواد پلیمری و لوله‌های پلیمری.....	۲۵۸
جدول ۷-۲: انواع خوردگی.....	۲۶۱
جدول ۷-۳: انواع فرسایش و خراشدر لوله‌های پلیمری.....	۲۶۳
جدول ۷-۴: ارزیابی خستگی.....	۲۶۴
جدول ۷-۵: ارزیابی خوردگی.....	۲۶۹
جدول ۷-۶: ارزیابی فرسایش و سایش.....	۲۷۵
جدول ۷-۷: گرم کردن کفپوش زمین توسط سیستم لوله کشی پلیمری.....	۲۸۱
جدول ۸-۱: انواع انسداد.....	۲۸۸
جدول ۸-۲: ارزیابی ارزیابی انسداد در لوله‌های پلیمری.....	۲۹۰

جدول ۸-۳: بررسی موردی انسداد جزئی یک لوله پلی‌وینیل کلراید فاضلابی در یک تاسیسات شیمیایی.....	۲۹۶
جدول ۹-۱: روند انجام یک ارزیابی نقیصه و دوام مشخص.....	۳۰۵
جدول ۹-۲: مکانیزم‌های بالقوه نقیصه خطوط لوله پلیمری در اثر مشکلات ناشی از کاربرد.....	۳۰۷
جدول ۹-۳: انواع نقیصه بالقوه به واسطه برنامه‌ریزی و اندازه‌گیری نامناسب.....	۳۰۹
جدول ۹-۴: انواع نقیصه بالقوه به واسطه مشکلات موادی.....	۳۰۹
جدول ۹-۵: انواع نقیصه بالقوه خطوط لوله پلیمری به واسطه مشکلات تولید.....	۳۱۰
جدول ۹-۶: انواع نقیصه بالقوه خطوط لوله پلیمری به واسطه مشکلات انبارداری و حمل و نقل.....	۳۱۱
جدول ۹-۷: انواع نقیصه بالقوه خطوط لوله پلیمری به واسطه مشکلات اتصال.....	۳۱۲
جدول ۹-۸: انواع نقیصه بالقوه خطوط لوله پلیمری به واسطه مشکلات نصب.....	۳۱۳
جدول ۹-۹: انواع نقیصه بالقوه خطوط لوله پلیمری به واسطه اثرات محیطی.....	۳۱۴
جدول ۹-۱۰: ارزیابی اساس نقیصه بالقوه.....	۳۱۵
جدول ۹-۱۱: ماتریس آنالیز نقیصه.....	۳۲۰
جدول ۹-۱۲: ماتریس ارزیابی نقیصه-اثرات محیطی مسئول در بروز نقیصه.....	۳۲۸
جدول ۹-۱۳: ارزیابی نقیصه مربوط به مراحل طول عمر خطوط لوله.....	۳۳۴