

به نام خداوند جان و خرد      کزین برتر اندیشه برنگذرد  
خداوند نام و خداوند جای      خداوند روزی ده رهنمای

# پایپینگ و مهندسی خطوط لوله

## مرجع طراحی و نت

مؤلف : George A. Antaki

مترجم : دکتر رضا سپاهی سامیان

مهندس ابراهیم طاووسی

|                     |                                                                                                              |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| سرشناسه             | : انتاکی، جورج ا. (Antaki, G. A. (George A.))                                                                |
| عنوان و نام پدیدآور | : پایپینگ و مهندسی خطوط لوله، مرجع طراحی و نت/مؤلف [جورج ا. انتاکی]؛ مترجم رضا سپاهی سامیان، ابراهیم طاووسی. |
| مشخصات نشر          | : تهران : طراح، ۱۳۹۷.                                                                                        |
| مشخصات ظاهری        | : ۴۵۰ ص.                                                                                                     |
| شابک                | : 978-600-8666-04-2                                                                                          |
| وضعیت فهرست نویسی   | : فیپا                                                                                                       |
| یادداشت             | : عنوان اصلی : Piping and pipeline engineering : desingn, construction, maintenance, integrity, and repir    |
| موضوع               | : لوله‌کشی - - طرح و ساختمان - - نگهداری و تعمیر - - خطوط لوله                                               |
| موضوع               | : Piping - - Desgn an construction - - Maintenance and repair - Pipelines                                    |
| شناسه افزوده        | : سپاهی سامیان، رضا، ۱۳۶۱- ، مترجم                                                                           |
| شناسه افزوده        | : طاووسی، ابراهیم، ۱۳۹۶- ، مترجم                                                                             |
| رده‌بندی کنگره      | : ۱۳۹۷ پ۲/الف۸/تج۹۳۰                                                                                         |
| رده‌بندی دیویی      | : ۶۲۱/۸۶۷۲                                                                                                   |
| شماره کتابشناسی ملی | : ۵۱۲۷۵۳۵                                                                                                    |

این اثر، مشمول قانون حمایت مؤلفان و مصنفان و هنرمندان مصوب ۱۳۴۸ است، هرکس تمام یا قسمتی از این اثر را بدون اجازه مؤلف (ناشر) نشر یا پخش یا عرضه کند مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

شابک ۹۷۸-۶۰۰-۸۶۶۶-۰۴-۲

ISBN 978-600-8666-04-2



**نشر طراح**

- نام کتاب : پایپینگ و مهندسی خطوط لوله، مرجع طراحی و نت
- مؤلف : George A. Antaki
- مترجمین : دکتر رضا سپاهی سامیان، مهندس ابراهیم طاووسی
- ناشر : طراح
- صفحه آرای : فاطمه نیکبختیان
- تیراژ : ۲۰۰ جلد
- نوبت چاپ : اول، بهار ۱۳۹۷

**کلیه حقوق برای نشر طراح محفوظ است.**

آدرس انتشارات : خیابان انقلاب - روبه‌روی دانشگاه تهران - ساختمان فروزنده - طبقه دوم واحد ۵۰۶  
 آدرس پخش : خیابان انقلاب - روبه‌روی دانشگاه تهران - ساختمان فروزنده - طبقه منفی یک واحد ۲۰۸  
 (تلفن : ۷۹۹۹ ۶۶۴۶ و ۶۶۹۵۱۸۳۲ و ۶۶۹۵۱۸۳۱-۰۲۱ - فکس : ۳۶۲۶ ۶۶۹۵-۰۲۱ و ۳ ۱۱۲ ۱۱۲ ۹۱۲-۰۲۱)

# پیشگفتار مولف

**فصل اول** کدها و استانداردها و قواعد زیادی را شرح می‌دهد که برای کار در این صنعت ضروری است. این فصل مانند باقی کتاب به کدهای مورد استفاده در ایالات متحده، به ویژه کد بی ۳۱ انجمن مهندسان مکانیک آمریکا می‌پردازد. اما این کاربرد از بسیاری جهات مشابه سایر کدها و استانداردهای اجرا شده در سراسر جهان است.

**فصل ۲** هفت بخش اساسی مهندسی لوله‌کشی و خط انتقال با کیفیت را معرفی می‌کند. به صورت فهرست‌وار این فصل یک نقشه راه برای پروژه‌ها و عملیات‌های مهندسی لوله و خطوط انتقال است.

**فصل ۳** خواص و ویژگی‌های مواد لوله و اتصالاتی را شرح می‌دهد که اساس قوانین طراحی، روش‌های ساخت، بازرسی و نگهداری و تحلیل یکپارچگی تشکیل می‌دهد.

**فصل‌های ۴ تا ۱۲** طراحی و یکپارچگی مکانیکی را معرفی می‌کند که با شرایط عملکرد متداول (فشار، وزن، دما) شروع می‌شود و به شرایط اتفاقی شامل (ارتعاشات، ضربه قوچ، فشارهای گذرا) می‌رسد و در انتها شرایط بارهای حدی (باد شدید، زلزله و انفجارها) معرفی می‌شود. فصل ۱۳ و ۱۴ مفاهیم منحصر به فرد طراحی خطوط انتقال زیر آب و زیرزمین را ارائه می‌کند.

**به صورت** منطقی گام پس از طراحی ساخت کارگاهی و نصب در سایت می‌باشد. این‌ها در فصل‌های ۱۵

این کتاب جهت ارائه گام به گام مطالب و به گونه‌ای نوشته شده است که جنبه تئوری و کاربردی را به صورت متناسب پوشش دهد، اصول اساسی مواد، طراحی، ساخت، بازرسی، تست، عملکرد، تعمیر و بررسی سالم بودن سیستم‌های لوله‌کشی نیروگاه و خطوط لوله.

این کتاب برای استفاده طراحان، مهندسان ساخت و بازرسان، مهندسان پروژه، مهندسان سیستم و تعمیر می‌باشد. این کتاب در سیستم‌های لوله‌کشی نیروگاه و خطوط انتقال توان، تأسیسات، کارهای آبی، صنایع فرآیند شیمیایی و همچنین خطوط انتقال نفت و گاز کاربرد دارد.

نویسنده این کتاب را با دو هدف تألیف کرده است: نخست برای اینکه تصویر بزرگی از مراحل کیفی اساسی برای هر کار لوله‌کشی و خط انتقال موفق بسازد، خواه این کار یک بسته تعمیر متداول است یا یک پروژه چند میلیون دلاری. هدف دوم تشریح کمی جزئیات، محاسبات و تکنیک‌های ضروری در حمایت تصمیم‌گیری‌های با صلاحیت.

**پس** از سال‌ها، هر صنعتی کارشناسان و فناوری توسعه یافته‌ای دارد تا چالش‌های منحصر به فرد خود را حل کند. با این حال مفاهیم مهندسی اساسی (مواد، طراحی، ساخت و بررسی سالم بودن) همان هستند و بیشتر کار این است که فهمی از چگونگی برخورد صنایع مختلف و حل مسائل مشابه به دست آورد. این دلیلی است که این کتاب هر دو سیستم لوله‌کشی و خطوط انتقال را پوشش می‌دهد.

تا ۱۹ ارائه شده‌اند و شامل جوشکاری، اتصال مکانیکی، بازرسی غیر مخرب، تست فشار و نشتی اتصالات، اجزا و کل سیستم می‌باشد.

**سیستم** لوله‌کشی یا خط انتقال طراحی و ساخته شده که اکنون در حال استفاده می‌باشد، در حین کار سیستم فرسوده می‌شود. فصل ۲۰ سؤال پیچیده مکانیزم‌های خوردگی و فرسودگی را به صورت کاربردی جهت کمک به مهندسان سایت جهت درک، طبقه‌بندی و رفع عوامل و اثرات خوردگی و فرسودگی در حین کار پوشش می‌دهد. با شناخت مکانیزم‌های فرسودگی غیر قابل اجتناب که در حین کار وجود دارد سؤال مطرح می‌شود که شاید حساس‌ترین تصمیم کارکنان بهره‌برداری، بازرسان تعمیر و مهندسان واحد است: تعیین قابلیت استفاده مستمر بخش یا سیستم فرسوده. دانش به دست آمده در فصل‌های گذشته (کدها، مواد، طراحی، ساخت، بازرسی، تست،

خوردگی) در فصل ۲۱ استفاده می‌شود تا در مورد قابلیت استفاده (fitness-for-service) و اجرا یا تعمیر (run-or-repair) گرفته شود.

**فصل ۲۲** تکنیک‌ها و روش‌های تعمیر و بازرسی در حین کار شامل مقدمه‌ای بر تحلیل خرابی را پوشش می‌دهد. چندین استراتژی اساسی تعمیر در فصل ۲۲ تشریح شده است که شامل روش تعمیر برنامه‌ریزی شده (برای مثال در صنعت نیروگاه هسته‌ای یا صنایع خطوط انتقال نفت و گاز) و نیز تعمیری که با صلاحدید شرکت‌های بهره‌بردار انجام می‌شود، می‌باشد. فصل ۲۳ طیف گسترده‌ای از تکنیک‌های تعمیر لوله و خطوط انتقال به همراه مزایا و محدودیت‌های هر یک را شرح می‌دهد.

**فصل ۲۴** مفاهیم منحصر به فرد لوله و اتصالات پلاستیک و فصل ۲۵ مقدمه‌ای بر انتخاب و ابعاد شیر است.

## جرج آنتاکی

# پیشگفتار مترجمین

در سال ۹۲ هنگامی که از من برای تدريس دوره پایپینگ برای یکی از شرکتهای پیمانکار پایپینگ در استان بوشهر دعوت شد، مراجع مختلف موجود در این زمینه را با دقت بیشتری بررسی کردم. به دنبال مرجعی بودم که هم نیاز مخاطبان تازه کار را پاسخگو باشد و در عین حال بتواند به عنوان زیربنای دانش فنی محکمی برای ایشان گردد. با جست و جوی مراجع مختلف یکی از بهترین کتابها در این زمینه را کتاب حاضر یافتیم.

**ویژگی** جالب دیگری که در کتاب نظر مرا به خود جلب کرد بررسی علمی سوانح و حوادث ناشی از عدم اجرای درست کار ناشی از نادیده گرفتن برخی استانداردها بود.

نویسنده با ارائه این مثال ها، خواننده را با اهمیت طراحی و اجرای درست پایپینگ و خطراتی که ممکن است در اثر سرپیچی از آنها روی دهد آشنا می کند. این داستان ها خواننده را برای خواندن دقیق تر مباحث و مراجعه به استانداردها تشویق می کند.

**اما** هنگامی که در خصوص کتاب با دانشجویانم در دانشگاه آزاد بوشهر با سال ها تجربه در شرکت گاز، یا فازهای پارس جنوبی صحبت کردم، نظر مثبت آنها در این زمینه دیدم و آن چه ایشان با سال ها تجربه کار اجرایی و بازرسی در این کتاب یافتند مرا بیشتر در ترجمه

**چند** ویژگی مهم در این کتاب مرا بر آن داشت که ترجمه آن را در اختیار علاقه مندان به ورود به عرصه مهندسی پایپینگ قرار دهم. اولین ویژگی که در این کتاب یافتیم این بود که نویسنده کتاب با تجربه چندین سال فعالیت در زمینه پایپینگ، این کتاب را به عنوان راهنمایی جامع در این عرصه نوشته است. در هر موضوعی نویسنده با استناد به استانداردهای مختلف، خواننده را با مفاهیم آشنا می کند و او را بدون این که در استانداردها و کدهای

این کتاب تشویق کرد. جناب آقای مهندس یعقوب طاوسی از بازرسان منطقه ده انتقال گاز ایران این کتاب را برای مهندسین، طراحان، بازرسان، اجراکنندگان، بهره‌برداران و تعمیرکاران در حوزه نفت، گاز، پتروشیمی و پالایشگاهی مناسب دیده و ترجمه آن را به من پیشنهاد داد و مهندس ابراهیم طاوسی از دیگر متخصصان پروژه‌های مناطق نفت‌خیز جنوب و منطقه ۱۰ شرکت انتقال گاز ایران برای همکاری در ترجمه این کتاب اعلام آمادگی کردند.

از مدیریت نشر طراح که انتشار آن را تقبل کردند و نیز از سرکار خانم فاطمه نیکبختیان که زحمت صفحه‌آرایی کتاب را کشیدند تشکر می‌گردد. امید است این کتاب بتواند سهمی در افزایش دانش خوانندگان ایفا نماید. چند بار کتاب مرور و بررسی شد تا حد امکان ایرادهای کمتری داشته باشد ولی به هر روی در صورتی که ایراداتی می‌یابید سپاسگزار خواهیم بود که ما را از نظرات سازنده خود بهره‌مند سازید.

با آرزوی پیروزی و سربلندی  
رضا سپاهی سامیان، ابراهیم طاوسی  
بهار ۹۷

|    |                          |
|----|--------------------------|
| ۳۶ | ۴-۲-۲ تست‌های آماده‌سازی |
| ۳۶ | ۵-۲-۲ تعمیر و نگهداری    |
| ۳۷ | ۶-۲-۲ بهره‌برداری        |
| ۳۸ | ۳-۲ در سطح همکاری        |

### فصل ۳ مواد ..... (۴۱-۷۴)

|    |                               |
|----|-------------------------------|
| ۴۱ | ۱-۳ لوله آهنی                 |
| ۴۲ | ۱-۱-۳ آهن‌گری                 |
| ۴۳ | ۲-۱-۳ چدن ریخته‌گری           |
| ۴۴ | ۳-۱-۳ لوله و اتصالات فولادی   |
| ۴۸ | ۴-۱-۳ لوله خط فولاد           |
| ۴۸ | ۲-۳ لوله غیر آهنی             |
| ۴۸ | ۱-۲-۳ آلیاژهای آلومینیوم      |
| ۴۸ | ۲-۲-۳ آلیاژهای نیکل           |
| ۴۸ | ۳-۲-۳ آلیاژهای مس             |
| ۴۹ | ۳-۳ ساخت لوله‌های فولادی      |
| ۴۹ | ۱-۳-۳ ابعاد لوله              |
| ۵۰ | ۲-۳-۳ لوله بدون درز           |
| ۵۰ | ۳-۳-۳ لوله جوش درز            |
| ۵۱ | ۴-۳-۳ مستندسازی               |
| ۵۲ | ۵-۳-۳ ریزساختار               |
| ۵۵ | ۴-۳ ساخت اتصالات و اجزای لوله |
| ۵۵ | ۱-۴-۳ فرجینگ                  |
| ۵۵ | ۲-۴-۳ ریخته‌گری               |
| ۵۷ | ۳-۴-۳ ورق فلز                 |
| ۵۷ | ۴-۴-۳ مشخصات لوله             |
| ۵۸ | ۵-۴-۳ ماشین‌کاری و پرداخت     |
| ۵۸ | ۶-۴-۳ نواقص فلز پایه          |
| ۵۹ | ۵-۳ خواص مکانیکی              |
| ۵۹ | ۱-۵-۳ مقاومت                  |

### فصل ۱ کدها، استانداردها و دستورالعمل‌ها ..... (۱-۳۲)

|     |                                       |
|-----|---------------------------------------|
| ۱   | ۱-۱ تاریخچه مختصری از فناوری لوله‌کشی |
| ۱۱  | ۲-۱ کدها، استانداردها و راهنماهای ملی |
| ۱۴  | ۳-۱ کدهای لوله و خطوط انتقال          |
| ۱۵  | ۴-۱ قلمروی کدهای ASME B31             |
| ۱۵  | ۵-۱ کد بویلر و مخازن تحت فشار         |
| ۱۷  | ۶-۱ قوانین فدرال و ایالتی             |
| ۲۲  | ۷-۱ هیأت کدها و استانداردهای ASME     |
| ۲۲  | ۸-۱ استانداردهای ASME B16             |
| ۹-۱ | استانداردهای API و رویه‌های توصیه شده |
| ۲۳  | ۱۰-۱ جامعه استانداردسازی تولیدکنندگان |
| ۲۶  | ۱۱-۱ استانداردهای مؤسسه ساخت لوله     |
| ۲۸  | ۱۲-۱ مؤسسه ساخت فولاد آمریکا          |
| ۲۹  | ۱۳-۱ مؤسسه بتون آمریکا                |
| ۲۹  | ۱۴-۱ NACE                             |
| ۳۱  | ۱۵-۱ مؤسسات مواد                      |
| ۳۱  | ۱۶-۱ کمیته ملی                        |
| ۳۱  | ۱۷-۱ استانداردهای کمیته کنترل جریان   |
| ۳۲  | ۱۸-۱ استانداردهای پمپ مؤسسه هیدرولیک  |
| ۳۲  | ۱۹-۱ مراجع                            |

### فصل ۲ مفاهیم اساسی ..... (۳۳-۳۹)

|    |                   |
|----|-------------------|
| ۳۳ | ۱-۲ شایستگی       |
| ۳۳ | ۲-۲ در سطح مهندسی |
| ۳۴ | ۱-۲-۲ مواد        |
| ۳۴ | ۲-۲-۲ طراحی       |
| ۳۵ | ۳-۲-۲ ساخت        |

|     |                               |    |                           |
|-----|-------------------------------|----|---------------------------|
| ۸۷  | ۴-۵-۶ شیرها                   | ۶۱ | ۳-۵-۲ سختی                |
| ۸۸  | ۴-۵-۷ قطعه لیست نشده          | ۶۳ | ۳-۵-۳ چقرمگی              |
| ۸۸  | ۴-۶-۶ تنش فشاری در اتصالات    | ۶۹ | ۳-۵-۴ مقاومت خستگی        |
| ۸۸  | ۴-۶-۱ زانویی‌ها و خم‌های لوله | ۶۹ | ۳-۵-۵ خواص فیزیکی         |
| ۸۹  | ۴-۶-۲ نازل‌ها و انشعابات      | ۶۹ | ۳-۶-۶ خرید                |
| ۹۰  | ۴-۶-۳ تقویت انشعاب‌ها         | ۶۹ | ۳-۶-۱ مشخصات خرید         |
| ۹۳  | ۴-۶-۴ فیلتهای انتهایی         | ۷۲ | ۳-۶-۲ ارزیابی تأمین‌کننده |
| ۹۴  | ۴-۷-۷ طراحی فشار بالا         | ۷۳ | ۳-۷-۷ مراجع               |
| ۹۴  | ۴-۸-۸ فشار طراحی              |    |                           |
| ۹۴  | ۴-۸-۱ سناریوهای طراحی         |    |                           |
| ۹۶  | ۴-۸-۲ اضافه فشار موقت         |    |                           |
| ۹۷  | ۴-۹-۹ محافظت از اضافه فشار    |    |                           |
| ۹۹  | ۴-۱۰-۱ انرژی انفجار           |    |                           |
| ۱۰۰ | ۴-۱۱-۱ مشخصات لوله            |    |                           |
| ۱۰۵ | ۴-۱۲-۱ مشخصات شیر             |    |                           |
| ۱۰۶ | ۴-۱۳-۱ مراجع                  |    |                           |

## فصل ۴ فشار داخلی ..... (۱۰۲-۷۵)

|    |                                      |
|----|--------------------------------------|
| ۷۵ | ۴-۱ طراحی فشار لوله‌کشی              |
| ۷۵ | ۴-۱-۱ تقریب دیواره نازک              |
| ۷۵ | ۴-۱-۲ معادله طراحی خط لوله           |
| ۷۸ | ۴-۱-۳ تسلیم و ضخامت دیوار            |
| ۷۸ | ۴-۲ طراحی فشار لوله‌کشی کارخانه      |
| ۷۸ | ۴-۲-۱ فرمول لام                      |
| ۷۹ | ۴-۲-۲ معادلات طراحی اولیه            |
| ۷۹ | ۴-۲-۳ طراحی لوله‌کشی                 |
| ۸۱ | ۴-۲-۴ تنش مجاز                       |
| ۸۱ | ۴-۲-۵ ضخامت دیوار مجاز               |
| ۸۲ | ۴-۳ فشار تسلیم و انفجار              |
| ۸۲ | ۴-۳-۱ فشار تسلیم ون میسر             |
| ۸۳ | ۴-۳-۲ فشار انفجار                    |
| ۸۳ | ۴-۴ طراحی فشاری لوله پلاستیک         |
| ۸۳ | ۴-۵ طراحی فشاری اتصالات              |
| ۸۳ | ۴-۵-۱ درجه‌بندی فشار                 |
| ۸۵ | ۴-۵-۲ اتصالات رزوه‌دار چدن نرم       |
| ۸۵ | ۴-۵-۳ اتصالات با جوش لب‌به‌لب فولادی |
| ۸۶ | ۴-۵-۴ درجه‌بندی‌های فلنج فولادی      |
| ۸۶ | ۴-۵-۵ اتصالات جوش سوکتی و رزوه‌دار   |

## فصل ۵ فشار خارجی ..... (۱۱۲-۱۰۹)

|     |                   |
|-----|-------------------|
| ۱۰۹ | ۵-۱ فشار کمانش    |
| ۱۱۱ | ۵-۲ طراحی کد ASME |
| ۱۱۲ | ۵-۳ مراجع         |

## فصل ۶ ساختار و تکیه‌گاه‌ها .. (۱۳۴-۱۱۳)

|     |                                    |
|-----|------------------------------------|
| ۱۱۳ | ۶-۱ فاصله بین تکیه‌گاه‌های لوله‌ها |
| ۱۱۵ | ۶-۲ تنش دائمی                      |
| ۱۱۶ | ۶-۳ اندیس‌های تنش                  |
| ۱۱۷ | ۶-۴ استانداردهای طراحی             |
| ۱۱۸ | ۶-۵ انتخاب تکیه‌گاه‌های لوله       |
| ۱۱۸ | ۶-۵-۱ فنرهای متغیر                 |

|     |                                   |     |                              |
|-----|-----------------------------------|-----|------------------------------|
| ۱۴۶ | ۵-۷ خستگی اجزای لوله              | ۱۲۰ | ۲-۵-۶ آویز بار ثابت          |
| ۱۴۸ | ۶-۷ مقاومت خستگی جوش‌های سوکتی    | ۱۲۱ | ۳-۵-۶ قاب‌های صلب            |
| ۱۴۹ | ۷-۷ مقاومت خستگی جوش‌های لب‌به‌لب | ۱۲۲ | ۴-۵-۶ آویزهای میله‌ای        |
| ۱۴۹ | ۸-۷ قوانین خستگی ASME B31         | ۱۲۲ | ۵-۵-۶ غلطک‌های لوله          |
| ۱۵۱ | ۹-۷ رویکرد مکانیک شکست            | ۱۲۳ | ۶-۵-۶ پایه‌های صلب           |
| ۱۵۲ | ۱۰-۷ خستگی خوردگی                 | ۱۲۳ | ۷-۵-۶ دمپرهای ارتعاشی        |
| ۱۵۲ | ۱۱-۷ محدود شدن (shakedown)        | ۱۲۳ | ۸-۵-۶ کمک فنرها              |
| ۱۵۲ | ۱۲-۷ فنر سرد                      | ۱۲۴ | ۹-۵-۶ مهارها                 |
| ۱۵۴ | ۱۳-۷ گرادیان دما در دیواره        | ۱۲۴ | ۱۰-۵-۶ پایه‌ها               |
| ۱۵۵ | ۱۴-۷ خرابی خزش                    | ۱۲۵ | ۶-۶ طراحی تکیه‌گاه استاندارد |
| ۱۵۶ | ۱۵-۷ عایق لوله                    | ۱۲۵ | ۷-۶ طراحی قاب‌های فولادی     |
| ۱۵۷ | ۱۶-۷ رابط‌های انبساطی             | ۱۲۵ | ۱-۷-۶ طراحی                  |
| ۱۶۰ | ۱۷-۷ مراجع                        | ۱۲۶ | ۲-۷-۶ ساخت                   |

## فصل ۸ ارتعاشات لوله ..... (۱۶۳-۱۸۴)

|     |                                 |
|-----|---------------------------------|
| ۱۶۳ | ۱-۸ عامل بنیانی                 |
| ۱۶۴ | ۲-۸ ارتعاشات القایی مکانیکی     |
| ۱۶۶ | ۳-۸ تحلیل ارتعاشات              |
| ۱۶۸ | ۴-۸ ارتعاشات القای هیدرولیکی    |
| ۱۶۹ | ۱-۴-۸ حرکت پره و پیستون         |
| ۱۷۰ | ۲-۴-۸ ارتعاشات القایی توربولانس |
| ۱۷۲ | ۳-۴-۸ کاویتاسیون و حباب‌های هوا |
| ۱۷۳ | ۴-۴-۸ تشدید صوتی                |
| ۱۷۵ | ۵-۴-۸ نویز شیر                  |
| ۱۷۵ | ۵-۸ اندازه‌گیری ارتعاشات        |
| ۱۷۶ | ۱-۵-۸ اندازه‌گیری جابه‌جایی     |
| ۱۷۶ | ۲-۵-۸ اندازه‌گیری سرعت          |
| ۱۷۶ | ۳-۵-۸ اندازه‌گیری شتاب          |
| ۱۷۷ | ۴-۵-۸ کرنش‌سنج‌ها               |

|     |                                        |
|-----|----------------------------------------|
| ۱۲۶ | ۸-۶ مهار به بتون                       |
| ۱۳۰ | ۹-۶ قوانین جانمایی به عنوان رویه مناسب |
| ۱۳۰ | ۱-۹-۶ سطح تجهیزات                      |
| ۱۳۱ | ۲-۹-۶ فاصله تجهیزات                    |
| ۱۳۱ | ۳-۹-۶ لوله‌کشی                         |
| ۱۳۱ | ۴-۹-۶ شیرها                            |
| ۱۳۱ | ۵-۹-۶ لوله‌کشی پمپ                     |
| ۱۳۲ | ۶-۹-۶ لوله‌کشی کمپرسور                 |
| ۱۳۳ | ۱۰-۶ مراجع                             |

## فصل ۷ انعطاف‌پذیری و خستگی ..... (۱۳۵-۱۶۱)

|     |                                     |
|-----|-------------------------------------|
| ۱۳۵ | ۱-۷ جانمایی مناسب برای انعطاف‌پذیری |
| ۱۳۸ | ۲-۷ تحلیل انعطاف‌پذیری ساده شده     |
| ۱۳۹ | ۳-۷ خستگی                           |
| ۱۴۲ | ۴-۷ خستگی نمونه صاف                 |

|     |                                  |                                    |
|-----|----------------------------------|------------------------------------|
| ۱۹۷ | ۴-۲-۹ چیدمان سیستم بخار          | ۵-۵-۸ اصلاح‌کننده‌ها و تحلیل‌گرهای |
| ۱۹۹ | ۳-۹ ضربه قوچ دو فاز چگالش ناپذیر | سیگنال                             |
| ۱۹۹ | ۱-۳-۹ رژیم‌های جریان             | ۶-۸ اندازه‌گیری شدت ارتعاشات       |
| ۲۰۰ | ۲-۳-۹ تحلیل جریان اسلاگ          | ۱-۶-۸ نمودارهای شدت                |
| ۲۰۱ | ۳-۳-۹ هوای محبوس                 | ۲-۶-۸ تحلیل ارتعاشات لوله          |
| ۲۰۳ | ۴-۹ تحلیل تنش                    | ۷-۸ پیشگیری و کاهش                 |
| ۲۰۴ | ۵-۹ مراجع                        | ۱-۷-۸ حذف منبع                     |

### فصل ۱۰ طراحی باد ..... (۲۰۵-۲۰۸)

|     |                             |
|-----|-----------------------------|
| ۲۰۵ | ۱-۱۰ آسیب باد               |
| ۲۰۶ | ۲-۱۰ فشار باد               |
| ۲۰۷ | ۳-۱۰ جاری شدن گرداب         |
| ۲۰۷ | ۴-۱۰ پرتابه‌های ناشی از باد |
| ۲۰۸ | ۵-۱۰ مراجع                  |

### فصل ۱۱ طراحی و مقاوم‌سازی در برابر زلزله ..... (۲۰۹-۲۲۸)

|     |                                       |
|-----|---------------------------------------|
| ۲۰۹ | ۱-۱۱ چالش مربوط به زلزله              |
| ۲۰۹ | ۲-۱۱ مشخصات مربوط به زلزله            |
| ۲۱۰ | ۱-۲-۱۱ مشخصات پروژه                   |
| ۲۱۰ | ۲-۲-۱۱ ورودی مربوط به زلزله           |
| ۲۱۰ | ۳-۲-۱۱ کیفیت‌سنجی مربوط به زلزله      |
| ۲۱۳ | ۴-۲-۱۱ شرایط مواد                     |
| ۲۱۳ | ۵-۲-۱۱ برهم‌کنش‌ها                    |
| ۲۱۳ | ۶-۲-۱۱ مستندسازی                      |
| ۲۱۳ | ۷-۲-۱۱ نگهداری                        |
| ۲۱۳ | ۸-۲-۱۱ تعریف عبارت‌های متداول         |
|     | ۳-۱۱ دستورالعمل‌هایی مناسب برای طراحی |
| ۲۱۵ | لرزه‌ای                               |

### فصل ۴ . پدیده‌های گذرا در جریان سیال ..... (۱۸۵-۲۰۴)

|     |                                    |
|-----|------------------------------------|
| ۱۸۶ | ۱-۹ مایع تک‌فاز                    |
| ۱۸۶ | ۱-۱-۹ جریان توده                   |
| ۱۸۸ | ۲-۱-۹ تغییرات فشار در توده سیال    |
| ۱۸۹ | ۳-۱-۹ ضربه قوچ                     |
| ۱۹۱ | ۴-۱-۹ مشخصات شیر                   |
| ۱۹۱ | ۵-۱-۹ گذار یک به دو فاز            |
| ۱۹۲ | ۶-۱-۹ نرخ پر کردن پمپ              |
| ۱۹۲ | ۷-۱-۹ جلوگیری از ضربه قوچ مایع     |
| ۱۹۳ | ۲-۹ ضربه قوچ دوفاز بخار مایع       |
| ۱۹۳ | ۱-۲-۹ ضربه قوچ بخار-آب             |
| ۱۹۴ | ۲-۲-۹ تاریخچه                      |
| ۱۹۶ | ۳-۲-۹ پیش‌بینی اثرات گذارهای دوفاز |

**فصل ۱۳ خطوط لوله زیردریا**  
(۲۴۱-۲۵۱) .....

|     |                               |
|-----|-------------------------------|
| ۲۴۱ | ۱-۱۳ ایمنی خطوط لوله زیر دریا |
| ۲۴۲ | ۲-۱۳ فرآیند طراحی             |
| ۲۴۳ | ۳-۱۳ فشار داخلی               |
| ۲۴۳ | ۴-۱۳ فشار خارجی               |
| ۲۴۵ | ۵-۱۳ پایین دادن لوله          |
| ۲۴۶ | ۶-۱۳ پایداری در کف            |
| ۲۴۶ | ۱-۶-۱۳ هدف                    |
| ۲۴۷ | ۲-۶-۱۳ تحلیل استاتیک          |
| ۲۴۹ | ۷-۱۳ شناور شدن خط لوله        |
| ۲۴۹ | ۸-۱۳ طراحی خستگی              |
| ۲۵۰ | ۹-۱۳ هوک و کشیدن              |
| ۲۵۰ | ۱۰-۱۳ مراجع                   |

**فصل ۱۴ لوله مدفون ..... (۲۵۳-۲۵۹)**

|     |                                |
|-----|--------------------------------|
| ۲۵۳ | ۱-۱۴ مدفون کردن یا مدفون نکردن |
| ۲۵۴ | ۲-۱۴ فشار داخلی                |
| ۲۵۴ | ۳-۱۴ بارهای خاک                |
| ۲۵۵ | ۴-۱۴ بارهای سطحی               |
| ۲۵۵ | ۵-۱۴ انبساط و انقباض حرارتی    |
| ۲۵۷ | ۶-۱۴ حرکت زمین                 |
| ۲۵۸ | ۷-۱۴ لرزه‌ای                   |
| ۲۵۹ | ۸-۱۴ مراجع                     |

**فصل ۱۵ جوشکاری ..... (۲۶۱-۲۷۷)**

|     |                              |
|-----|------------------------------|
| ۲۶۱ | ۱-۱۵ جوش کارخانه‌ای و میدانی |
| ۲۶۲ | ۲-۱۵ فرآیند جوشکاری          |

|     |                                              |
|-----|----------------------------------------------|
| ۲۱۶ | ۴-۱۱ تکنیک‌های تحلیل لرزه‌ای                 |
| ۲۱۷ | ۵-۱۱ ورودی لرزه‌ای بر مبنای IBC              |
| ۲۲۰ | ۶-۱۱ طیف پاسخ لرزه‌ای                        |
| ۲۲۰ | ۱-۶-۱۱ ورودی لرزه‌ای                         |
| ۲۲۲ | ۲-۶-۱۱ ترکیب‌های مدال و جهتی                 |
| ۲۲۲ | ۷-۱۱ کیفیت‌سنجی لرزه‌ای                      |
| ۲۲۳ | ۸-۱۱ آزمایش میز لرزان                        |
| ۲۲۴ | ۹-۱۱ برهم‌کنش‌های لرزه‌ای                    |
| ۲۲۴ | ۱-۹-۱۱ تشریح                                 |
| ۲۲۵ | ۲-۹-۱۱ مرور برهم‌کنش                         |
| ۲۲۵ | ۳-۹-۱۱ برهم‌کنش‌های افتادن                   |
| ۲۲۶ | ۴-۹-۱۱ برخورد در اثر تاب خوردن یا تکان خوردن |
| ۲۲۶ | ۵-۹-۱۱ برخورد قابل توجه                      |
| ۲۲۷ | ۱۰-۱۱ مراجع                                  |

**فصل ۱۲ انفجارها ..... (۲۲۹-۲۴۰)**

|     |                           |
|-----|---------------------------|
| ۲۲۹ | ۱-۱۲ احتراق و کوبش انفجار |
| ۲۳۰ | ۲-۱۲ بارهای دینامیک       |
| ۲۳۱ | ۳-۱۲ خواص دینامیک         |
| ۲۳۲ | ۴-۱۲ حدود فشار            |
| ۲۳۳ | ۵-۱۲ معیارهای طراحی       |
| ۲۳۳ | ۱-۵-۱۲ بار شبه استاتیک    |
| ۲۳۵ | ۲-۵-۱۲ بار تکانه‌ای       |
| ۲۳۶ | ۳-۵-۱۲ شکست               |
| ۲۳۶ | ۶-۱۲ حفاظت از انفجار      |
| ۲۳۷ | ۷-۱۲ انفجارهای بیرونی     |
| ۲۳۹ | ۸-۱۲ مراجع                |

**فصل ۱۶ آزمون ..... (۲۷۹-۲۹۴)**

۱۶-۱ آزمون چشمی ۲۷۹

|     |                                    |
|-----|------------------------------------|
| ۳۳۱ | ۱۹-۴-۲ اجرای تست                   |
| ۳۳۱ | ۱۹-۴-۳ برنامه‌ای برای نشتی‌ها      |
| ۳۳۲ | ۱۹-۴-۴ زهکشی و خشک کردن            |
| ۳۳۲ | ۱۹-۵ جداسازی                       |
| ۳۳۳ | ۱۹-۶ تعیین محل نشتی‌ها در زیر زمین |
| ۳۳۴ | ۱۹-۷ مراجع                         |

### فصل ۲۰ فرسایش در طول مدت استفاده ..... (۳۳۵-۳۵۳)

|     |                            |
|-----|----------------------------|
| ۳۳۵ | ۲۰-۱ یک تصمیم حساس         |
| ۳۳۶ | ۲۰-۲ خوردگی کلی            |
| ۳۳۷ | ۲۰-۱-۱ وردگی پیش‌رونده     |
| ۳۳۸ | ۲۰-۲-۲ پوشش خنثی‌کننده     |
| ۳۴۰ | ۲۰-۳ خوردگی محلی           |
| ۳۴۱ | ۲۰-۴ خوردگی گالوانیک       |
| ۳۴۲ | ۲۰-۵ خوردگی رفتگی          |
| ۳۴۳ | ۲۰-۶ اثرات محیطی           |
| ۳۴۵ | ۲۰-۷ خوردگی میکروبیولوژیکی |
| ۳۴۶ | ۲۰-۸ اثرات دمای بالا       |
| ۳۴۸ | ۲۰-۹ آسیب مکانیکی          |
| ۳۴۹ | ۲۰-۱۰ پوشش داخلی و خارجی   |
| ۳۴۹ | ۲۰-۱۰-۱ خواص               |
| ۳۴۹ | ۲۰-۱۰-۲ مایعات آلی         |
| ۳۵۱ | ۲۰-۱۰-۳ پوشش چند لایه      |
| ۳۵۱ | ۲۰-۱۰-۴ پوشش‌های فلزی      |
| ۳۵۱ | ۲۰-۱۱ بازدارنده خوردگی     |
| ۳۵۲ | ۲۰-۱۲ انتخاب ماده          |
| ۳۵۲ | ۲۰-۱۳ مراجع                |

|     |                               |
|-----|-------------------------------|
| ۳۱۰ | ۱۷-۸-۲ بستن فاصله             |
| ۳۱۰ | ۱۷-۹ مهره‌ها و پیچ‌ها         |
| ۳۱۰ | ۱۷-۹-۱ تعریف‌ها               |
| ۳۱۰ | ۱۷-۹-۲ ساخت پیچ               |
| ۳۱۱ | ۱۷-۹-۳ مشخصات پیچ             |
| ۳۱۳ | ۱۷-۹-۴ مشخصات مهره، واشر      |
| ۳۱۳ | ۱۷-۹-۵ محدودیت‌ها             |
| ۳۱۴ | ۱۷-۹-۶ حفاظت از خوردگی        |
| ۳۱۴ | ۱۷-۱۰ تعمیر                   |
| ۳۱۴ | ۱۷-۱۰-۱ ترتیب سوارکردن فلنج   |
| ۳۱۵ | ۱۷-۱۰-۲ جایگزین کردن یک گسکت  |
| ۳۱۵ | ۱۷-۱۰-۳ جوشکاری یک فلنج لغزشی |
| ۳۱۶ | ۱۷-۱۰-۴ تشخیص نشتی            |
| ۳۱۶ | ۱۷-۱۰-۵ پرداخت مجدد سطوح فلنج |
| ۳۱۶ | ۱۷-۱۱ مراجع                   |

### فصل ۱۸ رابط‌های مکانیکی . (۳۱۹-۲۳۲)

|     |                    |
|-----|--------------------|
| ۳۲۱ | ۱۸-۱ اتصالات قالبی |
| ۳۲۲ | ۱۸-۲ اتصالات شیاری |
| ۳۲۲ | ۱۸-۳ جمع‌بندی      |

### فصل ۱۹ تست فشار و نشتی ..... (۳۲۳-۳۳۴)

|     |                              |
|-----|------------------------------|
| ۳۲۳ | ۱۹-۱ تست نشتی و تست فشار     |
| ۳۲۴ | ۱۹-۲ روش‌های تست فشار و نشتی |
| ۳۲۹ | ۱۹-۳ انتخاب روش تست          |
| ۳۲۹ | ۱۹-۴ اجرای تست               |
| ۳۳۰ | ۱۹-۴-۱ برنامه‌ریزی تست       |

|     |                                         |
|-----|-----------------------------------------|
| ۳۷۸ | ۵-۲۲ تعمیر اصلاحی                       |
| ۳۷۹ | ۶-۲۲ مدهای خرابی                        |
| ۳۸۰ | ۷-۲۲ تعمیر کنشی                         |
| ۳۸۰ | ۱-۷-۲۲ تعمیر پیش‌گیرانه یا پیش‌بینی شده |
| ۳۸۱ | ۲-۷-۲۲ فهرست بازرسی                     |
| ۳۸۳ | ۸-۲ تکنیک‌های PDM                       |
| ۳۸۶ | ۹-۲۲ قابلیت اطمینان                     |
| ۳۸۸ | ۱۰-۲۲ کدهای تعمیر و ساخت                |
| ۳۸۹ | ۱۱-۲۲ المان‌های تحلیل خرابی             |
| ۳۸۹ | ۱-۱۱-۲۲ جمع‌آوری داده                   |
|     | ۲-۱۱-۲۲ بازرسی چشمی،                    |
| ۳۹۱ | ماکروفرکتوگرافی و NDE                   |
| ۳۹۱ | ۳-۱۱-۲۲ متالوگرافی و میکروفرکتوگرافی    |
| ۳۹۳ | ۴-۱۱-۲۲ تحلیل شیمیایی                   |
| ۳۹۳ | ۵-۱۱-۲۲ تست‌های مکانیکی                 |
| ۳۹۳ | ۶-۱۱-۲۲ تحلیل تنش و شکست                |
| ۳۹۳ | ۷-۱۱-۲۲ بهبودها                         |
| ۳۹۴ | ۱۲-۲۲ مراجع                             |

### فصل ۲۳ تکنیک‌های تعمیر . (۳۹۷-۴۱۲)

|     |                         |
|-----|-------------------------|
| ۳۹۷ | ۱-۲۳ استراتژی تعمیر     |
| ۳۹۷ | ۲-۲۳ جایگزینی           |
| ۴۰۱ | ۳-۲۳ سنگ‌زنی عیوب       |
| ۴۰۲ | ۴-۲۳ پوشش جوش           |
| ۴۰۳ | ۵-۲۳ غلاف محیطی کامل    |
| ۴۰۴ | ۶-۲۳ وصله با جوش فیلت   |
| ۴۰۵ | ۷-۲۳ وصله جوش فلاش      |
| ۴۰۶ | ۸-۲۳ جعبه نشستی جوش شده |
| ۴۰۶ | ۹-۲۳ گیره مکانیکی       |
| ۴۰۷ | ۱۰-۲۳ پوشش کامپوزیتی    |

### فصل ۲۱ قابلیت استفاده .. (۳۷۴-۳۵۵)

|     |                             |
|-----|-----------------------------|
| ۳۵۵ | ۱-۲۱ قابلیت استفاده         |
| ۳۵۶ | ۲-۲۱ نازک شدن دیوار         |
| ۳۵۶ | ۱-۲-۲۱ اندازه‌گیری          |
| ۳۵۷ | ۲-۲-۲۱ شروع شکست نرم        |
| ۳۵۷ | ۳-۲-۲۱ نازک شدن طولی        |
| ۳۶۱ | ۴-۲-۲۱ نازک‌شدگی محیطی      |
| ۳۶۱ | ۵-۲-۲۱ احتیاط‌ها            |
| ۳۶۱ | ۳-۲۱ نواقص ترک              |
| ۳۶۲ | ۱-۳-۲۱ شکست نرم و ترد       |
| ۳۶۳ | ۲-۳-۲۱ روش اصلی             |
| ۳۶۳ | ۳-۳-۲۱ شدت تنش              |
| ۳۶۶ | ۴-۳-۲۱ تخمین قابلیت استفاده |
| ۳۶۸ | ۵-۳-۲۱ توقف ترک             |
| ۳۶۹ | ۶-۳-۲۱ خستگی                |
| ۳۷۰ | ۴-۲۱ آسیب مکانیکی           |
| ۳۷۱ | ۱-۴-۲۱ موج                  |
| ۳۷۲ | ۲-۴-۲۱ کمان و چروک          |
| ۳۷۲ | ۳-۴-۲۱ دندان                |
| ۳۷۳ | ۴-۴-۲۱ دندان و شکاف         |
| ۳۷۳ | ۵-۲۱ مراجع                  |

### فصل ۲۲ تعمیر، قابلیت اطمینان و

### تحلیل خرابی ..... (۳۷۵-۳۹۵)

|     |                           |
|-----|---------------------------|
| ۳۷۵ | ۱-۲۲ تاریخچه              |
| ۳۷۶ | ۲-۲۲ هدف نگهداری          |
| ۳۷۷ | ۳-۲۲ برنامه نگهداری       |
| ۳۷۷ | ۴-۲۲ استراتژی‌های نگهداری |

|     |                           |
|-----|---------------------------|
| ۴۲۲ | ۲۴-۹-۸ رابط‌های فلنجی     |
| ۴۲۲ | ۲۴-۱۰-۱ کیفیت‌سنجی چسبیدن |
| ۴۲۲ | ۲۴-۱۱-۱ مراجع             |

### فصل ۲۵ شیرها ..... (۴۲۵-۴۴۰)

|     |                                     |
|-----|-------------------------------------|
| ۴۲۵ | ۲۵-۱ مرور                           |
| ۴۲۷ | ۲۵-۲ شیرهای کشویی                   |
| ۴۲۸ | ۲۵-۳ شیرهای سوپاپی                  |
| ۴۲۹ | ۲۵-۴ شیر سماوری                     |
| ۴۲۹ | ۲۵-۵ شیر توپی                       |
| ۴۳۰ | ۲۵-۶ شیر پروانه‌ای                  |
| ۴۳۰ | ۲۵-۷ شیرهای دیافراگمی               |
| ۴۳۱ | ۲۵-۸ شیر یک‌طرفه                    |
| ۴۳۲ | ۲۵-۹ شیرهای ایمنی و تخلیه           |
| ۴۳۵ | ۲۵-۱۰ شیرهای کنترل                  |
| ۴۳۷ | ۲۵-۱۱ تعیین اندازه شیرهای کنترل گاز |
| ۴۳۷ | ۲۵-۱۲ عملگرهای شیر                  |
| ۴۳۸ | ۲۵-۱۳ تست بسته بودن                 |
| ۴۴۰ | ۲۵-۱۴ مراجع                         |

### پیوست ..... (۴۴۱-۴۴۶)

|     |                                     |
|-----|-------------------------------------|
| ۴۰۸ | ۲۳-۱۱ بازسازی لوله مدفون            |
| ۴۰۹ | ۲۳-۱۲ آستر و پوشش با قلم‌مو و اسپری |
| ۴۱۰ | ۲۳-۱۳ صاف کردن لوله                 |
| ۴۱۱ | ۲۳-۱۴ مراجع                         |

### فصل ۲۶ لوله پلاستیکی ..... (۴۱۳-۴۲۳)

|     |                                        |
|-----|----------------------------------------|
| ۴۱۳ | ۲۶-۱ فرم پلاستیک                       |
| ۴۱۴ | ۲۶-۲ اندازه                            |
| ۴۱۴ | ۲۶-۳ مقاومت شیمیایی                    |
| ۴۱۵ | ۲۶-۴ خواص فیزیکی و مکانیکی             |
| ۴۱۶ | ۲۶-۵ طراحی فشار                        |
| ۴۱۸ | ۲۶-۶ خستگی ناشی از تغییرات متناوب فشار |
| ۴۱۸ | ۲۶-۷ طراحی فشار اتصالات                |
| ۴۱۹ | ۲۶-۸ فاصله تکیه‌گاه‌ها                 |
| ۴۲۰ | ۲۶-۹ ساخت و آزمایش                     |
| ۴۲۱ | ۲۶-۹-۱ حلال چسب                        |
| ۴۲۱ | ۲۶-۹-۲ چسب پوشش‌دار                    |
| ۴۲۱ | ۲۶-۹-۳ نوار چسبنده لب به لب            |
| ۴۲۱ | ۲۶-۹-۴ اتصال صفحه گرم گداخت لب‌به‌لب   |
| ۴۲۱ | ۲۶-۹-۵ اتصال صفحه داغ سوکتی            |
| ۴۲۱ | ۲۶-۹-۶ جوشکاری هوای گرم                |
| ۴۲۱ | ۲۶-۹-۷ گداخت الکتریکی                  |