

۲۰۹۸۳۴۱



طراحی ژئوتکنیکی سدهای خاکی

مؤلفین

دکتر محمد حسن بازاریار

مهندس جواد سعید عسگری

سرشناسه : بازیار، محمد حسن، ۱۳۳۵-
 عنوان و نام پدیدآور: طراحی ژئوتکنیکی سدهای خاکی / محمد حسن بازیار، جواد سعید عسگری.
 مشخصات نشر : تهران: دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۹۴.
 مشخصات ظاهری : ۵۷۰ص: مصور، جدول، نمودار.
 شابک : ۹۷۸-۹۶۴-۴۵۴-۲۹۹-۲
 فهرست نویسی : فیپا
 یادداشت : واژه نامه.
 یادداشت : کتابخانه: ص. ۵۳۷
 موضوع : سدهای خاکی - طرح و ساختمان
 شناسه افزوده : سعید عسگری، جواد، ۱۳۶۸ -
 شناسه افزوده : دانشگاه علم و صنعت ایران.
 رده بندی کنگره : ۹۴-ط۱۶ ب/۵۴۳ TC
 رده بندی دیودی : ۶۷/۸۱
 شماره کتابشناسی ملی: ۴۰۹/۸۰۱

• مرکز انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران - تهران - نارمک صندوق پستی ۱۶۸۴۶۱۳۱۱۴

تلفن: ۷۷۲۴۰۴۲۵-۷۷۲۴۰۲۲۵

• فروشگاه: میدان رسالت، خیابان هنگام، خیابان دانشگاه، دانشگاه علم و صنعت ایران.

تلفن ۷۷۲۴۰۳۸۳

وب سایت: publication.iust.ac.ir



نام کتاب: طراحی ژئوتکنیکی سدهای خاکی

مؤلف: محمد حسن بازیار و جواد سعید عسگری

چاپ اول: ۱۳۹۵

شمارگان: ۱۰۰۰ جلد

قیمت: ۳۹۰۰۰۰

شماره انتشارات: ۵۶۱

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: مرکز انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران

* حق چاپ برای دانشگاه علم و صنعت ایران محفوظ است.

ISBN: 978-964-454-299-2

شابک: ۹۷۸-۹۶۴-۴۵۴-۲۹۹-۲

پیشگفتار

طراحی و ساخت سدهای خاکی از جمله فنونی است که قدمت آن به زمانی که بشر توانست خاک زمین را جابجا کند برمی گردد. صنعت سدسازی یکی از مهم ترین فعالیت های زیربنایی و اساسی تمدن امروزی بشر است که علاوه بر پاسخ به نیازهای اولیه چون کشاورزی و مصارف ضروری آب شرب، در ایجاد مهار آب به منظور جلوگیری از سیلاب و تولید انرژی برق کمک به سزایی می نماید. با وجود پیشینه ای طولانی در فعالیت های سدسازی، تا اواسط قرن نوزدهم ساخت سد صرفاً از روی تجربه بوده است. در آغاز قرن بیستم با افزایش مطالعات تحقیقاتی انرژی های نو، تنافسی و در ادامه آن شرارد و سایر محققان، روندی نوین در این زمینه پدیدار شد. در ایران نیز تاریخ سدسازی قدمتی طولانی دارد. ساخت و مرمت سدها و سیستم های آبرسانی از جمله کارهای بزرگ و مردمی، در کشور سدها حکام و پادشاهان در دوره های مختلف تاریخی صورت می گرفت و باعث رونق اقتصادی و پیشرفت روستاها می شد. صنعت سدسازی به صورت مدرن و با مقیاس بزرگ در قرن بیستم میلادی در ایران آغاز شد. به این معنی که مطالعه و طراحی سدهای مخزنی بزرگ از حدود سال ۱۳۲۷ شروع و احداث آنها از اواخر دهه ۱۳۳۰، آغاز گردید. با پیروزی انقلاب اسلامی ایران، صنعت سدسازی وارد مرحله جدیدی از توسعه و پیشرفت سد و راین میان وزارت نیرو نقش به سزایی در توسعه این صنعت به عهده داشته است. آمار سدهای احداث شده در سه دهه پس از انقلاب اسلامی از ۲۷ سد به ۶۴۷ سد افزایش یافت. با پیشرفت روزافزون در این شاخه علمی و ساختارچه بیشتر این سازه ها توسط متخصصین ایرانی دامنه طراحی و ساخت آنها در کشور گسترده تر شده است، که این خود نیازمند بالابردن تجربه و دانش مهندسین و افزایش کارایی روش ها و ابزار تحلیل و طراحی می باشد. طراحی و ساخت سدهای خاکی با توجه به پیچیدگی و گستردگی پروژه، علمی بین رشته ای است که از مهندسی عمران و زمین شناسی تا اقتصاد را شامل می گردد. البته تخصص های مختلف مهندسی عمران به همراه سایر شاخه های مربوطه، لازم است تا در تیم طراحی سدها همکاری نمایند. البته یکی از مهم ترین زیر شاخه های عمرانی که نقش بسزایی در این پروژه ایفا می کند مهندسی ژئوتکنیک است. این شاخه که به شناخت علم مهندسی خاک می پردازد طراحی بدنه سد، پایدارسازی آن و سازه های جانبی مثل سرریزها و همچنین جلوگیری از تخریب

سدهای خاکی را به عهده دارد. در این کتاب تلاش شده است نکات کلیدی طراحی‌های ژئوتکنیکی سدهای خاکی که در واقع بخش مهم‌تر طراحی این سدها می‌باشد، ارائه گردد.

مطالب فصول مختلف کتاب با این فرض تدوین گردیده است که خواننده دارای زمینه اطلاعات پایه در ارتباط با مکانیک خاک و دینامیک خاک می‌باشد. این کتاب برای درس "سدهای خاکی" در مقطع کارشناسی ارشد رشته ژئوتکنیک مناسب است، که امید می‌رود مورد توجه دانشجویان کارشناسی ارشد و همچنین مهندسين علاقه مند به طراحی سدهای خاکی قرار گیرد. در گردآوری مطالب، سعی شده است که از منابع معتبر علمی همچون کرسیون بین‌المللی سدهای بزرگ، مهندسين ارتش آمریکا، سازمان عمران و احیاء اراضی آمریکا، انجمن مهندسين آمریکا و سایر سازمان‌ها و مؤسسات و محققين صاحب‌نظر در این حرفه بهره گرفته شود. چهارچوب اولیه کتاب براساس تجربیات مؤلف در ارتباط با سدهای خاکی در آمریکا و بیست و دو سال تدریس و تجربه در ایران در سیزده فصل تهیه شده است. کتاب حاضر در ابتدا به تاریخچه سدسازی و انواع سد در ایران و جهان و در فصل دوم به موضوع مراحل مطالعاتی (فازهای مختلف طراحی) پرداخته است. در فصل سوم مسائل مربوط به ضوابط طراحی (که یکی از موارد بنیادی در انتخاب نوع سد) و همچنین مشخصات هسته به همراه ماشین‌آلات مورد استفاده در اجرای سد ارائه می‌گردند. در فصل چهارم به مبانی جریان آب در خاک و نمونه‌هایی از رسم شبکه جریان در سدهای خاکی اشاره می‌شود و مسائل تراوش و عوامل مؤثر بر نفوذپذیری مورد بررسی خاص قرار گرفته‌اند. فصل پنجم و ششم به طراحی‌های لازم به منظور جلوگیری از تراوش و رگاب اعم از طراحی دیوار آب‌بند، خاکریز، پرده تزریق، چاه‌های فشارشکن، پوشش غیرقابل نفوذ بالادست و فیلتر می‌پردازند. در فصل هفتم نشست، تغیر شکل و ترک در سدهای خاکی که از نکات با اهمیت در طراحی سدهای خاکی می‌باشد، به همراه طرح روش‌های محاسبه در تخمین نشست (آنی و تحکیمی) مورد بحث قرار می‌گیرد. فصل هشتم به بحث سرریز شدن پرداخته و علل، بر طراحی ارتفاع آزاد، به شرح پوشش‌های محافظتی و طراحی‌های مربوطه در شیب بالادست می‌پردازد که خود موجب کاهش خرابی در اثر برخورد موج مخزن با بدنه سد می‌گردد. در فصل نهم پایداری استاتیکی سدهای خاکی و آزمایشات موردنیاز برای دستیابی به پارامترهای مربوطه به طور مفصل شرح داده می‌شود. فصل دهم نیز به مبحث پایداری دینامیکی سدهای خاکی که بسیار جدید و بعضاً پیچیده می‌باشد اختصاص داده شده است و بی‌شک برای اولین بار به صورت مجموعه‌ای از مهم‌ترین مطالب کاربردی ارائه می‌گردد. در این فصل به رفتار سدهای خاکی تحت بار زلزله می‌پردازد که علاوه بر ذکر روش‌های قدیمی و مورو بر ادبیات فنی مربوطه، به روش‌های نوین که در چند سال اخیر به منظور تخمین تغییرشکل ماندگار مورد استفاده قرار گرفته‌اند نیز می‌پردازد. به دنبال آن، فصل یازدهم یکی از مهم‌ترین پدیده‌های ناشی از زلزله در خاک علی‌الخصوص پی

سدهای خاکی، به نام روانگرایی مورد توجه قرار می‌گیرد و روش‌های بهسازی مربوطه با ذکر مطالعه موردی آن بیان می‌گردد. در فصل دوازدهم ایزار بندی سد که از مسائل مهم در حین ساخت و همچنین در دوران بهره‌برداری آن می‌باشد، مورد بحث قرار می‌گیرد. در فصل آخر نیز با توجه به محدودیت‌های احتمالی که در ساخت سدهای خاکی با هسته رسی (به علت کمبود منابع رسی در کشور) ممکن است وجود داشته باشد، به سه نوع سد شامل سدهای بتن غلتکی، هسته آسفالتی و رویه بتنی پرداخته می‌شود و در انتهای این فصل نیز توضیحاتی خاص در مورد سدهای ذخیره‌ای باطله و سدهای ساخته شده از مصالح سیمانی آورده شده است.

بدون شک هیچ کار انسانی، بدون خطا و کاستی نمی‌باشد. لذا نویسندگان از همکاران معظم دانشگاهی، متخصصان محترم در این حرفه و دانشجویان عزیز تقاضا می‌نمایند که نقطه نظرات اصلاحی خود را برای نویسندگان ارسال نمایند.

بازیار - سعید عسکری

زمستان ۹۴

فهرست مطالب

۱	فصل اول : معرفی سدها
۲	۱-۱. تقسیم‌بندی سدها
۲	۱-۱-۱. تقسیم‌بندی سدها براساس عملکرد
۳	۱-۱-۲. تقسیم‌بندی سدها براساس سازه و طراحی
۹	۱-۱-۳. تقسیم‌بندی سدها براساس اندازه، حجم مخزن و ارتفاع
۱۰	۲-۱. هنر آبیاری و سدسازی در ایران باستان
۱۳	۱-۲-۱. مشخصات عمومی سدهای قدیمی ایران
۱۳	۲-۲-۱. انواع سدهای قدیمی ایران
۱۶	۳-۲-۱. سدسازی طی دوران مختلف در ایران
۲۰	۴-۲-۱. سازه‌های چند منظوره ایران باستان
۲۲	۳-۱. اطلاعات آماری سدهای ایران و جهان
۳۱	۴-۱. تصاویری از سایر سدهای ایران
۳۵	فصل دوم : مراحل مختلف مطالعه و طراحی
۳۶	۱-۲. مراحل مختلف طراحی سد
۳۶	۱-۱-۲. مرحله شناسایی
۳۸	۲-۱-۲. مرحله مطالعه و امکان‌سنجی
۴۰	۳-۱-۲. مرحله طراحی و پیش‌ساخت
۴۲	۴-۱-۲. مرحله ساخت و اجرا
۴۴	۵-۱-۲. مرحله بهره‌برداری و نگهداری
۴۵	۲-۲. اقدامات ژئوتکنیکی لازم جهت احداث سد
۴۷	۱-۲-۲. روشی برای شناسایی ساختگاه سد
۴۸	۲-۲-۲. تکنیک‌های شناسایی ساختگاه
۵۴	۳-۲. معیارهای عمومی و اختصاصی طراحی سدهای خاکی
۵۵	۱-۳-۲. قسمت‌های مختلف سد

فصل سوم : منابع قرضه و هسته خاکی	۵۹
۱-۳. منابع قرضه	۶۰
۲-۳. خاک‌های واگرا	۶۲
۳-۳. هسته در سدهای خاکی	۶۴
۱-۳-۳. حداقل ضخامت هسته	۶۶
۲-۳-۳. هسته های آ و ودی و مایل	۶۸
۴-۳. ظهور فوری و نوبین در ژئوتکنیک	۷۱
۵-۳. تراکم و رطوبت مصالح	۷۲
۶-۳. ماشین آلات سدسازی	۷۵
فصل چهارم : مبانی جریان در سدهای خاکی	۸۷
۱-۴. جریان در حالت یک بعدی	۸۸
۱-۱-۴. قانون دارسی	۸۸
۲-۱-۴. ضریب نفوذپذیری	۹۰
۱-۲-۱-۴. عوامل مؤثر بر ضریب نفوذپذیری	۹۰
۲-۲-۱-۴. روش‌های اندازه‌گیری ضریب نفوذپذیری	۹۴
۳-۱-۴. تنش مؤثر در اثر جریان سیال در خاک	۹۶
۴-۱-۴. شبکه جریان در حالت یک بعدی	۹۹
۱-۴-۱-۴. جریان در مقطع همگن	۹۹
۲-۴-۱-۴. جریان در مقطع غیرهمگن	۱۰۲
۲-۴. جریان در حالت دوبعدی	۱۰۳
۱-۲-۴. معادله اصلی برای جریان در داخل خاک	۱۰۴
۲-۲-۴. محاسبه جریان با استفاده از رسم شبکه جریان	۱۰۶
۱-۲-۲-۴. خطوط هم‌پتانسیل و جریان	۱۰۶
۲-۲-۲-۴. شبکه جریان در حالت دوبعدی	۱۰۹
الف) مقاطع همگن و همسان	۱۰۹

۱۱۸.....	(ب) مقاطع غیرهمگن و غیرهمسان.....
۱۳۰.....	۳-۲-۴. محاسبه مقدار جریان بدون استفاده از رسم شبکه جریان.....
۱۳۲.....	۳-۴. روش حل مسائل.....
۱۳۵.....	فصل پنجم: روش های مقابله با تراوش.....
۱۳۶.....	۱-۵. روش های کنترل خروج تراوش.....
۱۳۷.....	۱-۱-۵. زهکش پایین دست.....
۱۴۷.....	۲-۱-۵. چاه های فشارشکن.....
۱۵۱.....	۲-۵. روش های ناهش تراوش.....
۱۵۱.....	۱-۲-۵. دیوار آببند.....
۱۵۳.....	۱-۱-۲-۵. ترانشه آببند سبیل شده از خاک.....
۱۵۳.....	۲-۱-۲-۵. ترانشه آببند دوزاب.....
۱۵۴.....	۳-۱-۲-۵. دیوار آببند با ملات سیمان - سنتونیت.....
۱۵۵.....	۴-۱-۲-۵. دیوار آببند با بتن سخت و بتن لاستیک.....
۱۵۷.....	۲-۲-۵. پرده تزریق.....
۱۵۹.....	۳-۲-۵. پوشش غیرقابل نفوذ بالادست.....
۱۶۱.....	۴-۲-۵. سپر کوبی.....
۱۶۳.....	فصل ششم: رگاب.....
۱۶۵.....	۱-۶. ساز و کار رگاب.....
۱۶۸.....	۲-۶. تراوش های متجر به رگاب.....
۱۷۱.....	۳-۶. فیلتر.....
۱۷۳.....	۱-۳-۶. ابعاد فیلتر.....
۱۷۴.....	۲-۳-۶. طراحی فیلتر با روش گام به گام.....
۱۷۹.....	۳-۳-۶. لوله های داخل فیلتر.....
۱۸۱.....	فصل هفتم: تغییر شکل، نشست و ترک.....
۱۸۲.....	۱-۷. تغییر شکل های ضمن ساخت.....

- ۱-۱-۷. پروفیل‌های نشست قائم ضمن ساخت ۱۸۳
- ۲-۷. تغییر شکل‌های بعد از ساخت ۱۸۵
- ۱-۲-۷. مکانیزم‌های ایجاد تغییر شکل ۱۸۵
- ۲-۲-۷. وقوع تحکیم در پی سد ۱۸۵
- ۳-۲-۷. تحکیم مصالح خاکریز در شرایط عدم تغییر نیروها ۱۸۶
- ۴-۲-۷. تغییر شکل ناشی از نوسانات تراز آب مخزن ۱۸۶
- ۵-۲-۷. جابجایی تاج ۱۸۷
- ۱-۵-۲-۷. جابجایی افقی ۱۸۸
- ۶-۲-۷. تغییر شکل‌های جانبی سد ۱۸۸
- ۳-۷. تحلیل نشست ۱۹۰
- ۴-۷. تغییر شکل‌ها و مسئله تکرار در ارتباط با آن ۱۹۱
- ۵-۷. مروری بر کارهای انجام شده ۱۹۵
- ۶-۷. نظریه تحکیم ۲۰۲
- ۱-۶-۷. معادله تحکیم ۲۰۳
- ۱-۱-۶-۷. تحکیم یک‌بعدی همراه با رابطه خطی تنش-کشش ۲۰۴
- ۲-۱-۶-۷. تحکیم دویبعدی مواد همسان کشايند (الاستیک) ۲۰۶
- ۳-۱-۶-۷. تحکیم شعاعی ۲۰۷
- ۲-۶-۷. راه‌حل‌های فشار منفذی اضافی یکنواخت ۲۰۸
- ۳-۶-۷. نشست تحکیم و تغییر شکل عرضی ۲۱۲
- ۴-۶-۷. نسبت متوسط تحکیم ۲۱۷
- ۵-۶-۷. فشار منفذی اضافی اولیه مثلثی ۲۱۹
- ۶-۶-۷. اثر مدت بارگذاری ۲۲۲
- ۷-۶-۷. ضریب فشار آب منفذی ۲۲۴
- ۸-۶-۷. چاه‌های زهکش ماسه‌ای ۲۲۴
- فصل هشتم: خرابی‌های شیب بالادست ۲۳۱
- ۱-۸. سرریز شدن ۲۳۲

۲۳۲.....	۱-۱-۸. ارتفاع آزاد خاکریز.....
۲۳۴.....	۱-۱-۱-۸. طراحی گام به گام ارتفاع آزاد نرمال و حداقل.....
۲۴۳.....	۲-۱-۱-۸. انحناء سد برای جلوگیری از خرابی ارتفاع آزاد.....
۲۴۴.....	۲-۱-۸. سرریز در سدهای خاکی.....
۲۴۷.....	۲. پوشش های محافظتی برای جلوگیری از خرابی ناشی از فرسایش.....
۲۴۸.....	۱-۲-۸. پوشش های محافظ سنگی یا ریپرپ.....
۲۵۳.....	۲-۲-۸. رویه بتنی بالادست.....
۲۵۵.....	۳-۲-۸. پوشش بتنی علتکی.....
۲۵۶.....	۴-۲-۸. پوشش خاک-سپار.....
۲۵۸.....	۵-۲-۸. پوشش آسفالت.....
۲۵۹.....	۶-۲-۸. پوشش ژئوسنتتیک.....
۲۶۰.....	۷-۲-۸. پوشش گابیون.....
۲۶۳.....	۸-۲-۸. پوشش گیاهی.....
۲۶۴.....	۹-۲-۸. پوشش فلزی و چوبی.....
۲۶۴.....	۳-۸. سایر خرابی های مستعد در شیب.....
۲۷۱.....	فصل نهم : پایداری استاتیکی.....
۲۷۲.....	۱-۹. شرایط بارگذاری سدهای خاکی.....
۲۷۴.....	۲-۹. اندازه گیری پارامترهای مورد نیاز.....
۲۸۱.....	۳-۹. ضریب اطمینان.....
۲۸۶.....	۴-۹. روش های تحلیل پایداری شیب.....
۲۸۶.....	۱-۴-۹. روش تعادل حدی.....
۲۸۶.....	۱-۱-۴-۹. شیب های نامحدود.....
۲۹۵.....	۲-۱-۴-۹. شیب های محدود.....
۳۲۵.....	۲-۴-۹. روش تنش - تغییر شکل در تحلیل سدهای خاکی.....
۳۲۶.....	۵-۹. نظریه های نهایی در مورد روش های تحلیل پایداری.....
۳۲۸.....	۶-۹. زمین لغزه های واقعی.....

- ۳۲۹..... ۱-۶-۹. زمین لغزه در رس‌های دست‌نخورده.
- ۳۳۰..... ۲-۶-۹. زمین لغزه در رس‌های دست‌خورده.
- ۳۳۱..... ۷-۹. طراحی شیب.

فصل دهم: پایداری دینامیکی..... ۳۳۵

- ۳۳۶..... ۱-۱۰. خرابی‌های مستند از سدهای خاکی تحت اثر زلزله.
- ۳۴۳..... ۲-۱۰. مطالعه رفتار سدهای خاکی تحت اثر زلزله.
- ۳۴۴..... ۱-۲-۱۰. تئریهٔ الاستیسیته.
- ۳۴۵..... ۲-۲-۱۰. نکات ایمنی در طرح سدهای خاکی.
- ۳۴۶..... ۳-۱۰. تعیین زلزله طراحی.
- ۳۴۷..... ۱-۳-۱۰. تخمین زمین‌لرزه به طرح (DBE).
- ۳۴۷..... ۲-۳-۱۰. تخمین زمین‌لرزه قبل انتظار (MCE).
- ۳۴۸..... ۴-۱۰. روش‌های آنالیز لرزه‌ای سدهای خاکی.
- ۳۴۹..... ۱-۴-۱۰. روش آنالیز شبه استاتیکی.
- ۳۵۲..... ۲-۴-۱۰. روش باریکه برشی.
- ۳۵۸..... ۱-۲-۴-۱۰. محدودیت‌های روش باریکه برشی.
- ۳۶۷..... ۳-۴-۱۰. روش نیومارک.
- ۳۷۴..... ۱-۳-۴-۱۰. روش سید و مارتین.
- ۳۷۴..... ۲-۳-۴-۱۰. روش سید-ماکدیس (مجزا).
- ۳۷۹..... ۳-۳-۴-۱۰. روش لین و ویتمن.
- ۳۸۰..... ۴-۳-۴-۱۰. روش سارما.
- ۳۸۲..... ۵-۳-۴-۱۰. روش غیرمجزا.
- ۳۸۶..... ۴-۴-۱۰. روش اجزاءمحدود و تفاضل محدود.
- ۳۸۸..... ۱-۴-۴-۱۰. مقایسه آنالیز دوبعدی و سه‌بعدی سدهای خاکی.

فصل یازدهم: روانگرایی و روش‌های بهسازی سد..... ۳۹۳

- ۳۹۴..... ۱-۱۱. روانگرایی.

۳۹۵.....	۲-۱۱. مکانیزم روانگرایی در ارتباط با شیب‌ها و خاکریزها
۳۹۸.....	۳-۱۱. ارزیابی مخاطرات روانگرایی
۳۹۸.....	۱-۳-۱۱. معیار تاریخی
۴۰۰.....	۲-۳-۱۱. معیار زمین‌شناسی
۴۰۱.....	۳-۳-۱۱. معیار ترکیبی
۴۰۴.....	۴-۱۱. مراحل ارزیابی شکست کلی
۴۰۵.....	۵-۱۱. اصلاح رفتار سد در برابر پدیده روانگرایی
۴۰۶.....	۱-۵-۱۱. مطالعه موردی سد ترتل کریک
۴۱۶.....	۲-۵-۱۱. مطالعه موردی سد سالودا
۴۲۲.....	۳-۵-۱۱. مطالعه موردی سد جکسون لیک
۴۲۷.....	فصل دوازدهم: ابزار دقیق در سدهای خاکی
۴۲۸.....	۱-۱۲. ابزار دقیق
۴۳۰.....	۲-۱۲. انواع ابزار اندازه‌گیری فشار آب منفذی
۴۳۱.....	۱-۲-۱۲. پیزومترهای سیستم باز
۴۳۱.....	۱-۱-۲-۱۲. پیزومترهای دارای لوله تخلخل (PTP)
۴۳۲.....	۲-۱-۲-۱۲. پیزومترهای دارای لوله شیاردار (SPP)
۴۳۴.....	۳-۱-۲-۱۲. چاه‌های مشاهده‌ای
۴۳۴.....	۲-۲-۱۲. پیزومترهای سیستم بسته
۴۳۴.....	۱-۲-۲-۱۲. پیزومترهای هیدرولیکی دو لوله‌ای
۴۳۵.....	۲-۲-۲-۱۲. پیزومترهای پنوماتیکی
۴۳۸.....	۳-۲-۲-۱۲. پیزومتر الکتریکی
۴۴۱.....	۳-۱۲. قرائت تراز آب در پیزومتر
۴۴۲.....	۴-۱۲. روش‌های اندازه‌گیری تراوش آب
۴۴۶.....	۵-۱۲. سلول‌های تنش کل
۴۴۷.....	۱-۵-۱۲. سلول‌های تنش کل هیدرولیکی
۴۴۹.....	۲-۵-۱۲. نصب سلول‌های تنش کل
۴۵۰.....	۶-۱۲. ابزارهای اندازه‌گیری تغییر شکل‌ها

۴۵۱	۱۲-۶-۱. انحراف سنج
۴۵۶	۱۲-۶-۲. نشست سنج
۴۶۰	۱۲-۶-۳. کشش سنج
۴۶۱	۱۲-۶-۳-۱. کشش سنج های اکتشافی
۴۶۳	۱۲-۶-۳-۲. کشش سنج های ثابت
۴۶۵	۱۲-۶-۴. درز سنج و ترک سنج
۴۶۶	۱۲-۷. لرزه سنج
۴۶۶	۱۲-۷-۱. ستاباز
۴۶۸	۱۲-۷-۲. لرزه نگار
۴۷۰	۱۲-۸-۸. کابل کشی ابزار دقیق
۴۷۰	۱۲-۸-۱. نصب و انتقال کابل در سدها
۴۷۲	۱۲-۹. نمونه هایی از اطلاعات ابزار دقیق در سدهای خاکی
۴۷۹	فصل سیزدهم: سایر سدهای خاکی
۴۸۰	۱۳-۱. سدهای بتن غلتکی
۴۸۱	۱۳-۱-۱. روند افزایش کاربرد بتن کوبیده غلتکی
۴۸۴	۱۳-۱-۲. مصالح
۴۸۸	۱۳-۱-۳. طرح نسبت اختلاط
۴۹۱	۱۳-۱-۴. ویژگی های بتن RCC
۴۹۶	۱۳-۱-۵. اطلاعات اجرایی سدهای RCC
۴۹۹	۱۳-۲. سدهای با هسته بتن آسفالتی
۵۰۰	۱۳-۲-۱. تاریخچه سدهای آسفالتی
۵۰۱	۱۳-۲-۲. ویژگی های عمومی سدهای خاکی/سنگریزه ای با هسته آسفالتی
۵۰۲	۱۳-۲-۳. اجزا سدهای خاکی با هسته آسفالتی
۵۰۳	۱۳-۲-۴. اصول طراحی بخش های مختلف سد با هسته آسفالتی
۵۰۳	۱۳-۲-۴-۱. طرح هسته آسفالتی
۵۰۳	۱۳-۲-۴-۲. طرح ناحیه انتقالی یا فیلتر

۵۰۴.....	۳-۴-۲-۱۳. طرح پوسته محافظ.....
۵۰۴.....	۴-۴-۲-۱۳. طرح اختلاط بتن آسفالتی و ویژگی های آن.....
۵۰۶.....	۵-۴-۲-۱۳. کیفیت مصالح سنگ دانه در مخلوط آسفالت.....
۵۰۷.....	۶-۴-۲-۱۳. تأثیر مقدار قیر و ویسکوزیته آن بر خواص آسفالت هسته.....
۵۰۷.....	۵-۲-۱۳. روش اجرای هسته آسفالتی.....
۵۰۹.....	۱-۵-۲-۱۳. آماده سازی پی در زیر هسته آسفالتی.....
۵۱۰.....	۶-۲-۱۳. رفتار، نامیکی سدهای خاکی با هسته آسفالتی.....
۵۱۵.....	۳-۱۳. سدهای بتنی با رویه بتنی CFRD.....
۵۱۷.....	۱-۳-۱۳. اصول طراحی.....
۵۲۶.....	۲-۳-۱۳. مقاومت در برابر زلزله.....
۵۲۹.....	۳-۳-۱۳. روش های عمومی برای سدهای CFRD.....
۵۳۰.....	۴-۱۳. سدهای ذخیره ای باطله.....
۵۳۰.....	۱-۴-۱۳. روش های ذخیره مواد باطله.....
۵۳۱.....	۲-۴-۱۳. انواع سازه های ذخیره باطله.....
۵۳۳.....	۵-۱۳. سدهای ساخته شده با مصالح سیمانی.....
۵۳۷.....	منابع مورد استفاده.....
۵۴۹.....	واژه نامه.....
۵۵۳.....	موضوعات مورد استفاده در کتاب.....