

ژئوفیزیک مهندسی

(کاربرد ژئوفیزیک در مهندسی ژئوتکنیک، مهندسی زلزله،

مهندسی نفت، مهندسی معدن و مهندسی زمین شناسی)

مؤلف:

دکتر علیرضا حاجیان

عضو هیئت علمی تمام وقت

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

سرشناسه	حاجیان، علیرضا، ۱۳۵۹-
عنوان و پدیدآور	ژئوفیزیک مهندسی (کاربرد ژئوفیزیک در مهندسی ژئوتکنیک، مهندسی زلزله، مهندسی نفت، مهندسی معدن و مهندسی زمین‌شناسی) / مؤلف: علیرضا حاجیان.
مشخصات نشر	اصفهان: ارکان دانش، ۱۳۹۴.
مشخصات ظاهری	۲۸۰ ص: جدول، نمودار
شابک	978-600-287-061-2
وضعیت فهرست‌نویسی	فیا
یادداشت	کتابنامه: ص. [۲۵۵] - ۲۶۲.
موضوع	زمین‌شناسی مهندسی
موضوع	ژئوفیزیک
موضوع	زمین‌شناسی ساختاری
رده‌بندی کنگره	۱۳۹۴ ژ ۲ ح / ۷۰۵ TA
رده‌بندی دیویی	۶۲۴/۱۵۱
شماره کتابشناختی ملی	۳۹۶۶۱۴۱

«انتشارات ارکان دانش ناشر برگزیده سال ۱۳۸۷ استان اصفهان»



«ناشر برگزیده نمایه‌گاه بین‌المللی کتاب تهران در سال ۱۳۸۹»

انتشارات ارکان دانش

نام کتاب	ژئوفیزیک مهندسی (کاربرد ژئوفیزیک در مهندسی ژئوتکنیک، مهندسی زلزله، مهندسی نفت، مهندسی معدن و مهندسی زمین‌شناسی)
مؤلف	دکتر علیرضا حاجیان
ناشر	انتشارات ارکان دانش
چاپ اول	پاییز ۱۳۹۴
شمارگان	۱۰۰۰ جلد
مدیر تولید	نسرین مختاری
تنظیم و صفحه‌آرایی	انتشارات ارکان دانش
طراحی جلد	کانون آگهی و تبلیغات نقشینه
لیتوگرافی	صدف
چاپ متن	چاپ ایرانیان
چاپ جلد	اندیشه
صحافی	پیمان گستر
قطع و شمارش صفحات	وزیری، ۲۸۰ صفحه
قیمت	۱۵۰۰۰۰ ریال

ISBN: 978-600-287-061-2

شابک: ۲ - ۰۶۱ - ۲۸۷ - ۶۰۰ - ۹۷۸

اصفهان: خیابان شیخ بهایی، چهارراه سرتیپ، کوی شهید مهرداد انصاری (سرتیپ)، نرسیده به طالقانی، پلاک ۹۲.

تلفن: ۳۲۳۴۱۳۳۹، ۳۲۳۵۶۸۵۹، ۳۲۳۴۱۳۳۹، ۳۲۳۴۱۳۳۹، کدپستی: ۶۵۶۳۱-۸۱۳۵۸

مراکز فروش: اصفهان: ۳۲۲۱۹۹۷۸ - ۳۲۳۵۶۸۵۹، ۰۳۱ - تهران: ۶۶۹۶۳۵۵۴ - ۶۶۴۹۲۲۶۶ - ۰۲۱

دکتر علیرضا حاجیان



استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجفآباد می‌باشد. ایشان دارای مدرک دکتری تخصصی ژئوفیزیک بوده و تاکنون بیش از ده‌ها مقاله ISI و ISC در ژورنال‌های معتبر، ۷۵ مقاله در کنفرانس‌های ملی و بین‌المللی، تدریس ۲۱ کارگاه آموزشی تخصصی در دانشگاه و صنعت، هدایت پایان‌نامه‌های ارشد در موضوعات میان رشته‌ای نظیر مهندسی عمران- ژئوتکنیک، مهندسی اکتشاف نفت، زمین‌شناسی نفت و ژئوفیزیک و بیش از ۴

ثابت اختراع داشته و جوایز متعددی را در زمینه‌های پژوهشی اخذ نموده که از آن جمله می‌توان به: افتخار دریافت تقدیرنامه از معاون پژوهشی بعثه مقام معظم رهبری ۱۳۸۹، مدال طلای مسابقات بین‌المللی اختراعات ۲۰۱۴ شیراز، سبب جایزه طرح برتر در جشنواره ملی ایده‌های نو و کارآفرین اصفهان ۱۳۸۹، رتبه دوم پژوهشگر برتر در بین دانشگاه‌های آزاد منطقه چهار کشور ۱۳۸۸، نماینده انجمن سیستم‌های فازی ایران در دانشگاه آزاد واحد نجفآباد از سال ۱۳۸۹ تاکنون، رتبه دوم مسابقات ملی موشک‌های آبی ۱۳۹۲ به عنوان استاد راهنمای تیم، افتخار پذیرش بیش از چهار طرح کارآفرینی در مرحله اول مسابقات ملی کارآفرینی شیخ‌بهایی ۱۳۸۹، عضو افتخاری هیئت اساتید انجمن زمین‌شناسی آمریکا ۲۰۱۲، عضو انجمن مهندسی نفت آمریکا SPE از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۱ و دریافت گواهی سطح بالای دانشجویان همکار دوره دکتری از دانشگاه کیل انگلستان اشاره نمود. وی در سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ برای دو سال متوالی به عنوان Session Chairman در کنفرانس بین‌المللی انجمن علوم زمین آسیا-اقیانوسیه AOGS به ترتیب در کشورهای کره جنوبی و تایوان و نیز داور ژورنال‌های تخصصی در زمینه ژئوفیزیک شامل

Environmental & Engineering Geophysics (ISI) در آمریکا در سال ۲۰۱۴، داور African Journal of Geosciences (ISI) در سال ۲۰۱۳ انتخاب شد. ایشان از مبدعان کاربرد روش‌های عصبی- فازی در میکروگراویمتری می‌باشند. پرفسور و تر استایلز در کتاب معروف خود با نام Environmental Geophysics از دکتر حاجیان به عنوان بنیانگذار استفاده از روش‌های نوین عصبی فازی در گرانی‌سنجی یاد نموده است. شایان ذکر است ایشان تاکنون بیش از سی طرح پژوهشی را در زمینه ژئوفیزیک مهندسی به اتمام رسانده و از اواسط سال ۹۳ تاکنون نیز در طرح ملی زمین‌سازی تولید و ازدیاد برداشت مخازن نفت که بین دانشگاه آزاد اسلامی و وزارت نفت به مرحله اجرایی قرار گرفته پژوهشی وارد شده است به عنوان عضو شورای راهبری طرح، عضو کارگروه علوم زمین - ژئوفیزیک و نیز مسئول هماهنگ کننده اجرایی طرح، همکاری دارند.

ژئوفیزیک مهندسی یا Engineering Geophysics یکی از پرکاربردترین گرایش‌های ژئوفیزیک است که متأسفانه حتی در برخی محیط‌های آکادمیک میهن‌مان نیز آشنایی و شناخت درستی از این گرایش بین چند رشته‌ای یا چند نظمی (Multi-interdisciplinary) وجود ندارد. بیشتر افراد به خصوص از رشته‌های دیگر اطلاعات کمی در خصوص این شاخه از علم فیزیک زمین (ژئوفیزیک) دارند، به گونه‌ای که ژئوفیزیک را صرفاً به عنوان بخشی از علوم پایه که بیشتر دارای جنبه نظری و بدون کاربردهای مهندسی است، می‌شناسند حال آن که ژئوفیزیک کاربردی (Applied Geophysics) دارای شاخه‌ای به نام ژئوفیزیک مهندسی با کاربردهای متنوعی در رشته‌های مهندسی به خصوص مهندسی عمران در گرایش‌های ژئوتکنیک و مهندسی زلزله می‌باشد و البته در سایر شاخه‌های مهندسی نظیر مهندسی معدن، مهندسی نفت و مهندسی محیط‌زیست کاربردهای زیادی از آن وجود دارد این موضوع دلیل اصلی و مشوق مهمی برای مؤلف در نگارش این کتاب بوده است تا خوانندگان را با کاربردهای مختلف ژئوفیزیک مهندسی آشنا سازد و علاوه بر آن، نگرش برخی افراد که تنها ژئوفیزیک را به عنوان ژئوفیزیک محض یا (Pure Geophysics) می‌شناسند، اصلاح بخشد.

اهمیت این شاخه از ژئوفیزیک به حدی است که در حال حاضر ژورنال‌های معتبر و مهمی در سطح بین‌المللی در این میدان منتشر می‌شوند، از آن جمله می‌توان به ژورنال Engineering Geophysics اشاره نمود که دارای ضریب تأثیر (IF) بالایی در حوزه تخصصی علوم زمین می‌باشد و همه ساله در کشورهای پیشرفته جهان همایش‌های بین‌المللی معتبر در این زمینه برگزار می‌شود.

در اکتشافات ژئوفیزیک مهندسی، ارزیابی و ارزش‌گیری پارامترها و مشخصه‌های فیزیکی زمین (توده خاک و سنگ) مورد توجه می‌باشد. این مشخصه‌ها به‌ایستادگی در شناسایی خصوصیات زیر سطحی و شناخت عوامل فنی در گستره‌های اصلی مهندسی ژئوتکنیک، شناسایی محیط طبیعی و محیط‌زیست زیرزمینی، بررسی‌های زمین‌شناسی مهندسی، آب‌های زیرزمینی، باستان‌شناسی و... در پروژه‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند. به عنوان مثال در مهندسی زلزله بحث زلزله‌شناسی و شناخت زلزله‌های منطقه مورد نظر نظیر پیشینه شتاب لرزه‌ای، بزرگای امواج، فواید لرزه‌ها، عمق زلزله، کانون زلزله و شدت زلزله و... یکی از پایه‌های اساسی و اصلی جهت طراحی سازه‌ها و مقاوم در برابر زلزله می‌باشد زیرا بدون داشتن شناخت لرزه‌ای از ساختمان سازه - و در واقع لایه‌های زیرزمینی که پی ساختمان‌ها و سازه‌ها بر آن استوار می‌گردد - این امکان وجود نخواهد داشت و یا در مهندسی ژئوتکنیک در مراحل ابتدایی طراحی سدها، تونل‌ها، پیاده‌سازی سازه‌های سنگین نظیر تجهیزات پالایشگاه‌های نفت و سازه‌های حساس نظیر نیروگاه‌های برق و نیروگاه‌های هسته‌ای، و به طور کلی در مهندسی خاک و پی، ژئوفیزیک مهندسی به عنوان تکمیل‌کننده و در کنار این روش‌ها به ویژه در عملیات صحرایی کاربرد وسیعی یافته است.

در مهندسی ژئوتکنیک بیشتر از گمانه‌ها و حفاری‌ها برای کسب اطلاعات از زیرزمین استفاده می‌شود و از آن‌جا که امکان حفاری کلیه نقاط روی زمین عملاً امری ناممکن و کاملاً غیراقتصادی است، نیاز به روش‌های غیرمستقیم و بدون نیاز به حفاری است که در این خصوص روش‌های ژئوفیزیکی برترین و مورد تأییدترین روش محسوب می‌شود. در ژئوفیزیک مهندسی از وجود تغییرات در سیگنال‌های ژئوفیزیکی که در سطح زمین برداشت می‌گردد پی به پارامترهای فیزیکی لایه‌های زیرزمینی خاک می‌برند. در واقع روند کاری یک مهندس ژئوتکنیک مشابه روند کاری پزشکی است که برای تشخیص بیماری شخص نیازمند به جراحی باز و مشاهده مستقیم عارضه بدنی در محل مورد نظر درون بدن وی است، در صورتی که مهندس ژئوفیزیک نظیر پزشکی است که از روی سیگنال‌هایی نظیر ضربان قلب، سیگنال امواج مغز، سونوگرافی یا MRI بدون نیاز به جراحی با به بررسی درون بدن بیمار می‌پردازد. البته باید اذعان کرد که دقت روش‌های ژئوتکنیکی به دلیل ساده یا برداشت‌های مستقیم نسبت به روش‌های ژئوفیزیکی بالاتر است ولی در عین حال روش‌های ژئوفیزیکی مکمل روش‌های ژئوتکنیکی هستند و معمولاً در کنار هم و در تکمیل یکدیگر به کار می‌روند به خصوص در برآورد خواص فیزیکی خاک در فاصله بین دو حفاری متوالی که می‌تواند دربرگیرنده تغیرات غیر قابل ردیابی به وسیله الگوریتم‌هایی نظیر درون‌یابی پارامترهای ژئوتکنیکی باشد.

در نگارش این کتاب تا حد امکان سعی شده، کلیه فصل‌ها به دور از هرگونه روابط پیچیده ریاضی و به صورت کاربردی و عملی به بررسی روش‌های جذاب باشد. علاوه بر این در هر فصل تا جایی که مقدور بوده، شرحی از دستگاه‌ها و تجهیزات مربوطه ارائه شده است تا خوانندگان به خصوص دانشجویان تحصیلات تکمیلی را با ساختار و اجزای عملکرد آنها آشنا ساخته و مشوقی برای انجام عملیات فیلد توسط آنها باشد. در هر فصل ابتدا یکی از روش‌های منتخب ژئوفیزیک مهندسی به طور مجزا و کاربردی شرح داده شده و در ادامه مثال‌های کاربردی که عملاً توسط محققان و مهندسان مختلف انجام پذیرفته است، مورد بررسی قرار گرفته است.

این کتاب می‌تواند برای کلیه دانشجویان علاقه‌مند به خصوص دانشجویان تحصیلات تکمیلی در رشته‌های مختلف نظیر مهندسی عمران (ژئوتکنیک، مهندسی زلزله)، مهندسی معدن (اکتشافات معدنی)، مهندسی محیط‌زیست (بررسی انواع آلودگی‌های زیرزمینی)، مهندسی نفت (اکتشاف نفت، ازدیاد برداشت نفت، ذخیره‌سازی زیرزمینی نفت و گاز، ژئومکانیک نفت و زمین‌شناسی مهندسی) قابل استفاده باشد.

امیدوارم نگارش این کتاب گامی در راستای اعتلای سطح دانش علاقه‌مندان علوم زمین کاربردی و چند منظری به خصوص ژئوفیزیک مهندسی باشد و با شناساندن توانایی‌ها و پتانسیل‌های این رشته به جامعه مهندسی کشور در اعتلا و رونق آن نقشی - هر چند کوچک - ایفا نماید.

در دوران تحصیل خود در رشته ژئوفیزیک و نیز در حین تألیف و نگارش کتاب از نظرات ارزشمند اساتید و همکاری دوستان زیادی بهره جستیم که جا دارد از آنها به خصوص استاد عزیزم جناب آقای پروفسور حسین زمردیان استاد محترم گروه ژئوفیزیک دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات که هم در دوره ارشد در دانشگاه تهران و هم در دوره دکتری در رشته ژئوفیزیک در محضرشان افتخار تلمذ داشتیم و مفاهیم پایه و پیشرفته گرانی‌سنجی را نزد ایشان آموختم، جناب آقای دکتر وحید ابراهیم‌زاده اردستانی استاد محترم مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران که در مقطع ارشد نزد ایشان مفتخر به آموختن بودم و مشوق بنده در استفاده از شبکه‌های عصبی در گرانی‌سنجی بودند، مرحوم پروفسور ولی‌اله طحانی استاد محترم دانشگاه صنعتی اصفهان و از شاگردان پروفسور زاده بی‌گذار منطق فازی در جهان، که بنده در مقطع کارشناسی مهندسی کنترل افتخار شاگردیشان را داشتم و به من سیستم‌های کنترل فازی را آموختند، مرحوم مغفور جناب آقای پروفسور کارولوس استاد دانشکده مهندسی برق دانشگاه تهران که در مقطع ارشد نزد ایشان با سیستم‌های فازی و تدریس عمیق‌تر آشنا شده و افتخار شاگردیشان را در رساله دکتری داشتم و در زمینه اخلاق مهندسی و مهندسی اخلاق، پژوهش‌های کاربردی چند نظم‌ی و بسط و توسعه تفکر فازی در صنعت و زندگی از محضرشان بهره‌ای داشتم، جناب آقای پروفسور پیترو استابلیز استاد محترم دانشگاه کیل انگلستان که همواره راهنمایی‌های بی‌دریغ و همکاری‌های بین‌المللی ایشان چه در دوران دکتری و چه پس از آن برخوردار بوده‌ام، دوست گرامی جناب آقای دکتر نوید امینی استادیار محترم مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران که در رساله دکتری افتخار هم‌نشینی و هم‌اندیشی با ایشان را داشتم و به طور ویژه از راهنمایی‌های کلیدی، دلسوزانه، دلگرمی‌ها و تشویق‌های پرمهر استاد بزرگوار جناب آقای پروفسور ابراهیم واشقانی فراوان استفاده کردم. استاد محترم دانشگاه تربیت مدرس که نه تنها همواره امیدبخش و الهام‌بخش بنده در پیمودن مسیر پژوهش و فناوری بوده‌اند، بلکه از محضر ایشان درس‌های مفید بسیار زیادی در زندگی آموختم. نهایتاً با روحیه انرژی‌بخش و تواضع علمی‌شان همواره بارقه‌های امید را در وجودم پرفروغ فرمودند. نهایتاً، قد، دانی و سپاس را داشته باشم و نیز تشکر ویژه و قدردانی از جناب آقای دکتر داود ثمری دانشیار محترم دانشگاه آزاد واحد کرج دارم که همواره با آغوش باز همراهی و راهنمایی‌ام کرده‌اند. همچنین بر خود لازم می‌دانم از دانشجویان فعال دانشکده مهندسی عمران مقطع ارشد مهندسی ژئوتکنیک در واحد نجف‌آباد که با پرسش‌ها و کنجکاو‌های عمیق‌شان در دوران تدریس دروس زمین‌شناسی مهندسی پیشرفته و آبهای زیرزمینی در ارتقای مثال‌های کاربردی این کتاب نقش داشته‌اند، از زحمات ارزنده جناب آقای مهندس پوریا جندقیان در تهیه و اسکن برخی شکل‌ها و جدول‌ها و ارتباط ایشان با صنعت، و نیز کلیه دست‌اندرکاران انتشارات ارکان دانش از جمله آقای مهندس ترابیان ریاست محترم و خانم مختاری مدیر داخلی انتشارات ارکان دانش و همچنین سرکار خانم‌ها فاطمه جلمقانی که ادیت و

صفحه‌آرایی کتاب را به عهده داشتند و نفیسه اورک شیرانی به خاطر طراحی روی جلد کتاب تشکر و قدردانی نمایم.

در پایان بر خود لازم می‌دانم از همسر و دخترم به خاطر صبوری‌ها و بردباری‌هایشان و این که وقت‌های طلایی بیشتر بودن در کنارشان را صرف نگارش و تهیه این کتاب نموده‌ام، کمال تشکر را داشته باشم و همچنین با خضوع بردستان پرمهر پدر و مادر گرامی‌ام - که همواره دعای خیرشان منشاء برکات بی‌نظیری در زندگی‌ام بوده است - بوسه زده و برایشان از درگاه هستی‌بخش لطیف، آرزوی صحت، سلامتی و شادکامی روزافزون دارم.

از خوانندگان گرامی خواهشمند است نظرات و پیشنهادات ارزنده خود را درباره این کتاب به آدرس رایانامه: Wulf@rsal دارند تا در تجدید چاپ یا ویراست‌های آینده مدنظر قرار گیرد.

دکتر علیرضا حاجیان

پاییز ۱۳۹۴

A.hajian@iaun.ac.ir

فهرست مطالب

سفر	عنوان	
۱	فصل اول: کلیات	
۴	۱-۱- خواص فیزیکی	
۱۰	۱-۲- هدف در مطالعات ژئوفیزیکی	
۱۴	۱-۳- ماهیت داده‌های ژئوفیزیکی	
۱۴	الف) نوفه‌های سفید	
۱۶	ب) نوفه‌های حرارتی	
۱۶	ج) نوفه‌های زمین‌شناسی	
۱۹	فصل دوم: گرانی‌سنجی	
۲۰	۱-۲- اصول نظری گرانی‌سنجی	
۲۰	۲-۲- پتانسیل گرانی	
۲۱	۳-۲- گرانی نرمال	
۲۱	۴-۲- کره‌وار مرجع	
۲۲	۵-۲- تصحیح‌های گرانی	
۲۳	تصحیح عرض جغرافیایی	
۲۳	تصحیح هوای آزاد	
۲۴	تصحیح بوگه	
۲۴	تصحیح توبوگرافی	
۲۶	تصحیح جزر و مد	
۲۷	تصحیح ایزوستازی	
۲۷	تصحیح رانه	
۲۸	بی‌هنجاری بوگه کامل	
۲۹	تصحیح اتووش	
۳۰	۶-۲- جداسازی گرانی محلی از منطقه‌ای	
۳۰	۷-۲- تفسیر داده‌های گرانی	
۳۲	۸-۲- عملیات تفسیر	
۳۲	۹-۲- کاربردهای گرانی‌سنجی	
۳۳	۱۰-۲- دستگاه‌های اندازه‌گیری گرانی	

۳۷	۱۱-۲- کاربردهای ژئوفیزیک در مهندسی زیرسطحی
۳۸	تعیین معادن قدیمی مدفون به روش گرانی سنجی
۳۹	کاربرد روش های گرانی سنجی در تعیین حفرات مدفون
۳۹	کاربرد روش گرانی سنجی در اکتشاف حفرات مدفون
۴۰	اکتشاف تله های هیدروکربوری منطقه طبس به کمک داده های گرانی
۴۳	تعیین عمق سنگ بستر با استفاده از روش گرانی سنجی در منطقه جنوب زاگرس
۴۹	فصل سوم: ژئو الکتریک
۵۱	۱-۳- روش ژئو الکتریک
۵۲	۲-۳- روش خود پتانسیل (SP)
۵۴	۳-۳-۱- عملیات صحرایی SP
۵۶	۳-۳-۲- عمل های انباشت زیاله
۵۷	۳-۳-۳- آشکارسازی مایعات نشسته در خاکریزها
۵۸	۳-۳-۴- پیش نهادگر رزله
۵۹	۳-۳-۵- روش مقاومت ویژه
۶۰	سنگ بستر
۶۱	گسل ها و شکستگی ها
۶۲	حفرة های زیرسطحی
۶۲	زمین لغزش ها
۶۳	بررسی آلودگی خاک و آب زیرزمینی توسط روش های ژئوالکتریک
۶۶	۱-۳-۳- مقاومت ویژه الکتریکی مواد
۶۸	۲-۳-۳- اندازه گیری اختلاف پتانسیل در محیط های همگن
۶۹	۳-۳-۳- تک الکترود جریان در عمق
۷۰	۴-۳-۳- تک الکترود جریان در سطح
۷۱	۵-۳-۳- دو الکترود جریان در سطح
۷۴	۶-۳-۳- اندازه گیری اختلاف پتانسیل در محیط های ناهمگن
۷۷	۷-۳-۳- مقاومت ویژه ظاهری
۷۹	۸-۳-۳- چگونگی تأثیرات زمین شناسی زیرسطحی بر مقاومت ویژه ظاهری
۸۲	۹-۳-۳- مزایا و محدودیت های روش های مقاومت ویژه
۸۲	۴-۳-۴- آرایه های الکترودی
۸۶	۵-۳- برداشت های سونداژزنی

۸۷	۳-۶- سونداژزنی با آرایه شلومبرژر و تفسیر آن
۸۹	۳-۷- دستگاه‌های صحرایی
۹۰	۳-۸- تفسیر داده‌های سونداژ مقاومت ویژه
۹۴	۳-۹- کاربردهای روش مقاومت ویژه
۹۵	کاربرد روش ژئوالکتریک در اکتشاف کانسار بوکسیت همدان
۹۵	کانسار بوکسیت آبگرم
۹۶	هدف از انجام مطالعات
۹۶	برنامه‌ریزی برداشت‌های ژئوفیزیکی
۹۸	مطالعه گسل قطر - کازرون با استفاده از روش مغناطیس‌سنجی و ...
۹۹	ویژگی‌های زمین‌شناسی، ژئوتکنیکی و ...
۱۰۱	علائم لرزه‌نگاری و ژئوالکتریک در ساختگاه سد نازلو - ارومیه
۱۰۲	روش‌های ژئوالکتریک در شناسایی ساختارهای زیرسطحی تونل انتقال آب
۱۰۳	بررسی‌ها، لرزه‌خیزی و ژئوالکتریک در مطالعات اولیه سدسازی
۱۰۹	فصل چهارم: لرزه‌نگاری
۱۱۱	۴-۱- اساس تئوری انتشار امواج لرزه‌ای
۱۱۳	۴-۲- روش‌های لرزه‌ای اکتشافی
۱۱۸	۴-۳- به دست آوردن اطلاعات لرزه‌ای
۱۱۹	۴-۴- چشمه‌های لرزه‌ای
۱۲۱	۴-۵- موج‌های لرزه‌ای
۱۲۶	۴-۶- امواج و شعاع انتشار آن‌ها
۱۲۷	۴-۷- سرعت امواج لرزه‌ای در سنگ‌ها
۱۳۱	۴-۸- انتشار امواج
۱۳۱	۴-۹- انعکاس و انکسار موج در برخورد عمودی
۱۳۳	۴-۱۰- انعکاس و انکسار موج در برخورد مایل
۱۳۵	۴-۱۱- پراش (پراکندگی)
۱۳۶	۴-۱۲- اتلاف انرژی لرزه‌ای
۱۳۶	۴-۱۳- واگرایی کروی (انتشار هندسی)
۱۳۷	۴-۱۴- افت درونی
۱۳۸	۴-۱۵- پراکندگی
۱۳۹	۴-۱۶- منابع تولید انرژی لرزه‌ای

۱۴۰	.....	۱۷-۴- آشکارسازی و ثبت امواج لرزه‌ای
۱۴۵	.....	۱۸-۴- طرز کار لرزه‌نگار
۱۴۵	.....	۱۹-۴- اجزای لرزه‌نگار
۱۴۸	.....	۲۰-۴- تفسیر داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی
۱۴۹	.....	۲۱-۴- شبیه‌سازی لرزه‌ای
۱۵۰	.....	۲۲-۴- تحلیل لرزه‌ای
۱۵۱	.....	۲۳-۴- کاربردهای روش لرزه‌نگاری و مطالعات موردی

فصل پنجم: ژئومغناطیس ۱۶۹

۱۷۰	.....	۱-۵- مقایسه روش گرانی‌سنجی و مغناطیس‌سنجی
۱۷۱	.....	۲-۵- تک‌قطبی‌های مغناطیسی
۱۷۲	.....	۳-۵- خود-پیری مغناطیسی
۱۷۳	.....	۴-۵- اصول مغناطیس، تمهیدن به روش القایی
۱۷۴	.....	۵-۵- خودپذیرش سنگ‌ها و کانی‌ها
۱۷۶	.....	۶-۵- مغناطیدگی پدید
۱۷۷	.....	۷-۵- میدان مغناطیسی زمین
۱۸۰	.....	۸-۵- تغییرات جهانی میدان مغناطیسی کره زمین
۱۸۱	.....	۹-۵- تغییرات روزانه میدان مغناطیسی کره زمین
۱۸۲	.....	۱۰-۵- طوفان‌های مغناطیسی
۱۸۳	.....	۱۱-۵- اندازه‌گیری میدان مغناطیسی زمین
۱۸۸	.....	۱۲-۵- روش‌های برداشت مشاهدات مغناطیسی
۱۸۹	.....	۱۳-۵- برداشت‌های مغناطیسی
۱۹۳	.....	۱۴-۵- راهبردهای مواجهه با تغییرات موقتی
۱۹۴	.....	۱۵-۵- تصحیحات تغییرات مکانی
۱۹۵	.....	۱۶-۵- تصحیحات مرتبط با تغییرات میدان اصلی
۱۹۶	.....	۱۷-۵- مقایسه مابین آنومالی‌های گرانشی و مغناطیسی
۱۹۷	.....	۱۸-۵- مطالعات موردی

فصل ششم: روش رادار نفوذ به زمین ۲۱۱

۲۱۴		مطالعات ژئوتکنیکی در گستره سد خاوسار به روش رادار نفوذی به زمین تقویت شده
-----	-------	---

فصل هفتم: ژئومکانیک نفت ۲۲۵

۲۲۶		۱-۷- مطالعات مربوط به پایداری چاه‌ها
-----	-------	--------------------------------------

۲۲۷	۲-۷- مطالعات مربوط به موقعیت‌یابی و حفاری
۲۲۷	۳-۷- مطالعات مربوط به رفتار مقاومتی - دمای
۲۲۷	۴-۷- مطالعات مربوط به نوع تکمیل چاه
۲۲۸	۵-۷- مطالعات مربوط به تراکم‌پذیری و نشست مخزن
۲۲۸	۶-۷- مطالعات مربوط به کنترل تولید جامد یا ماسه
۲۲۹	۷-۷- مطالعات مربوط به تحریک چاه
۲۲۹	۸-۷- مطالعات مربوط به اجرای فرآیند شکافت هیدرولیکی و انتخاب چاه‌کاندید
۲۲۷	۹-۷- مطالعات مربوط به تزریق گاز جهت افزایش بازیافت و یکپارچگی پوش سنگ
۲۳۰	۱۰-۷- مطالعات مربوط به مکان‌یابی ذخیره‌سازی گاز
۲۳۱	۱۱-۷- مطالعات مربوط به انتخاب سرسته حفاری
۲۳۱	۱۲-۷- ارزیابی نوین مخازن با روش پایشگری ناحیه‌ای مخزن
۲۳۳	۱۳-۷- مدل‌سازی سریع و مکانیکی
۲۳۴	۱۴-۷- تغییرات سطح زمین و از تغییرات سیال مخزن
۲۳۵	۱۵-۷- برداشت‌های ریزش‌های - کنشی بر سلامتی مخزن

۲۳۷ فصل هشتم: کاربرد ژئوفیزیک در کاوش‌های صحرایی ژئوتکنیک

۲۳۸	۱-۸- هدف از کاوش‌های صحرایی
۲۴۰	۲-۸- اهمیت کاوش‌های صحرایی
۲۴۲	۳-۸- بازدید صحرایی
۲۴۳	۴-۸- برنامه کاوش صحرایی
۲۴۴	۵-۸- جایگاه و نقش مطالعات ژئوفیزیک
۲۴۵	۶-۸- ترتیب و توالی فعالیت‌ها در کاوش صحرایی
۲۴۵	۷-۸- کاربرد روش‌های ژئوفیزیک در ژئوتکنیک
۲۴۸	۸-۸- مزایای روش‌های ژئوفیزیک
۲۴۸	۹-۸- معایب روش‌های ژئوفیزیک
۲۴۹	۱۰-۸- بررسی‌های ژئوتکنیک

۲۵۵ مراجع