

بسم الله الرحمن الرحيم

لرزه‌نگاری مهندسی

تألیف:

دکتر - سیدرضا محضی

عضو هیأت علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

پاییز ۱۳۹۵

۱۳۳۷: رمضی، حمیدرضا.

لرزه‌نگاری مهندسی / تألیف حمیدرضا رمضی

تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، ۱۳۹۵

۲۴۴ ص

978-964-463-625-3

فیبا

لرزه‌نگاری

Seismometry

زمین‌شناسی مهندسی

Engineering geology

زلزله -- مهندسی

Earthquake engineering

ژئوفیزیک

Geophysics

دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

QE۵۴۱/۸ل۴ ۱۳۹۵

۵۵۱/۲

۴ ۸۵۱۰

سرشناسه

عنوان و نام پدیدآور

مشخصات نشر

مشخصات ظاهری

شابک

وضعیت فهرست‌نویسی

موضوع

موضوع

موضوع

موضوع

موضوع

موضوع

موضوع

شناسه افزوده

شناسه افزوده

رده‌بندی کتب

رده‌بندی دیویی

شماره کتابشناسی ملی

این کتاب در جلسه مورخ ۱۳۹۵/۶/۷ شورای چاپ و نشر
دانشگاه صنعتی امیرکبیر به تصویب رسیده است.



انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)

لرزه‌نگاری مهندسی

عنوان کتاب

دکتر حمیدرضا رمضی

تألیف

انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

ناشر

انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)

لیتوگرافی، چاپ و صحافی

پاییز ۱۳۹۵

چاپ اول

۳۰۰ نسخه

تیراژ

۱۶۰۰۰ تومان

قیمت

ISBN : 978-964-463-625-3

۹۷۸-۹۶۴-۴۶۳-۶۲۵-۳

شابک

آدرس مرکز پخش: خیابان ولیعصر، روبروی خیابان بزرگمهر، فروشگاه کتاب مرکز نشر

دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) - تلفن: ۶۶۴۹۸۸۶۸

وبسایت: [www. http://publication.aut.ac.ir](http://publication.aut.ac.ir)

حق چاپ برای ناشر محفوظ است.

پیش‌نوشتار

فصل یکم: مبانی لرزه نگاری

۱-۱- آشنایی	۱
۲-۱- زمین لرزه	۲
۳-۱- انواع امواج	۷
۱-۳-۱- امواج دگر	۷
۲-۳-۱- امواج سطحی	۹
۴-۱- ناپیوستگی‌های سرتی	۱۲
۵-۱- سرعت گسترش امواج	۱۴
۶-۱- سرعت نوسان ذره‌ها	۱۷
۷-۱- چشمه لرزه‌ای	۱۸
۱-۷-۱- چکش	۱۸
۲-۷-۱- رها کردن وزنه	۲۰
۳-۷-۱- مواد منفجره	۲۲
۴-۷-۱- ویراتورها	۲۴
۵-۷-۱- تفنگ بادی	۲۵
۶-۷-۱- ایجاد امواج برشی	۲۵
۸-۱- گیرنده لرزه‌ای (ژئوفون)	۲۷

- ۹-۱- دستگاه لرزه‌نگار ۳۱
- ۱-۹-۱- لرزه‌نگارهای تک کاناله ۳۳
- ۲-۹-۱- لرزه‌نگارهای چند کانالی ۳۳
- ۱۰-۱- تئوری امواج کش‌سان ۳۵
- ۱۱-۱- ویژگی مکانیکی مواد ۳۶
- ۱۲-۱- سرعت گسترش امواج لرزه‌ای در سنگ‌ها و خاک‌ها ۳۸
- ۱-۲-۱- سردگی (جرم مخصوص) ۳۸
- ۱-۱۲-۱- آب درون حفرها (آب زیر زمینی) ۳۸
- ۳-۱۲-۱- نمدها- محال در آب ۳۸
- ۴-۱۲-۱- ترکیب کانوشناسی ۳۸
- ۵-۱۲-۱- تخلخل ۳۸
- ۶-۱۲-۱- خردشدگی ۳۸
- ۷-۱۲-۱- هوازدگی و پوک‌شدگی ۳۹
- ۸-۱۲-۱- دگرسانی ۳۹
- ۹-۱۲-۱- تنش همه جانبه ۳۹
- ۱۰-۱۲-۱- دما ۳۹
- ۱۱-۱۲-۱- تبلور دوباره ۳۹
- ۱۳-۱- دامنه سرعت گسترش امواج در سنگ‌ها و خاک‌ها ۳۹
- ۱۴-۱- ارتباط سرعت گسترش امواج با ویژگی‌های مکانیکی مواد ۴۰
- ۱۵-۱- گسترش امواج لرزه‌ای در محیط‌های لایه‌ای ۴۱
- ۱-۱۵-۱- امواج مستقیم ۴۲

- ۴۳ ۱-۱۵-۲- امواج تبدیلی
- ۴۴ ۱-۱۶- اصل اسنل
- ۴۶ ۱-۱۷- پرسش و تمرین

فصل دوم: لرزه‌نگاری شکست مرزی

- ۴۹ ۱-۲- آشنایی
- ۵۰ ۲-۲- اساس روان شکست مرزی
- ۵۰ ۳-۲- ناپیوستگی‌های لرزه‌ای و سطح‌های شکست
- ۵۲ ۴-۲- سطح‌های شکست اصلی
- ۵۲ ۵-۲- شکست بحرانی و موج
- ۵۳ ۶-۲- برداشت‌های لرزه‌نگاری شکست مرزی
- ۵۶ ۷-۲- پروفیل‌های لرزه‌نگاری
- ۵۶ ۸-۲- چشمه‌های دور
- ۵۸ ۹-۲- پروفیل‌های غیر خطی
- ۵۸ ۱۰-۲- مدل سازی پیش‌رو
- ۵۹ ۱۱-۲- پردازش داده‌های شکست مرزی
- ۵۹ ۱۲-۲- تفسیر داده‌های شکست مرزی
- ۶۰ ۱-۱۲-۲- تفسیر ساختاری
- ۶۰ ۲-۱۲-۲- تفسیر زمین‌شناسی
- ۶۰ ۱۳-۲- پروفیل‌های لرزه‌نگاری شکست مرزی بر روی مدل‌های ساده ساختاری زمین

۶۱	۱۴-۲- مدل تک لایه‌ای.....
۶۳	۱-۱۴-۲- مدل سازی پس رو
۶۵	۱۵-۲- مدل دو لایه‌ای
۶۸	۱-۱۵-۲- مدل سازی پس رو
۷۴	۱۶-۲- مدل چند لایه‌ای
۷۸	۱۶-۲- سرعت موثر
۸۰	۶-۲- مدل سازی پس رو داده‌های مربوط به زمین‌های چند لایه‌ای.....
۸۲	۱۷-۲- مدل دو لایه‌ای شیب دار
۸۷	۱-۱۷-۲- مدل سازی پس رو داده‌های دو لایه‌ای شیب دار
۸۹	۱۸-۲- پروفیل‌های لرزه‌نگاری شکست مرزی- همبندی‌های ناصاف
۹۲	۱-۱۸-۲- مدل سازی پس رو
۹۷	۱۹-۲- پروفیل‌های لرزه‌نگاری شکست مرزی در زمین‌های ناهموار
۹۷	۲۰-۲- تصحیح ارتفاع
۱۰۲	۲۱-۲- تاثیر شرایط ساختاری زمین بر نمودارهای زلزله
۱۰۵	۲۲-۲- برتری‌های روش شکست مرزی
۱۰۶	۲۳-۲- کاستی‌های روش شکست مرزی
۱۱۰	۲۴-۲- مقایسه نتایج شکست مرزی با حفاری
۱۱۱	۲۵-۲- پرسش و تمرین

فصل سوم: روش بازتابی

- ۱۱۵-۱-۳-۱-۳ آشنایی
- ۱۱۶-۲-۳-۲-۳ اساس روش بازتابی
- ۱۱۶-۳-۳-۳-۳ ضریب بازتاب و امیدانس صوتی
- ۱۱۷-۴-۳-۴-۳ سطح‌های بازتاب کننده اصلی
- ۱۱۸-۵-۳-۵-۳ نقطه ژرفایی مشترک
- ۱۱۹-۶-۳-۶-۳ چندگانه ۱
- ۱۲۰-۶-۳-۶-۳ شناسایی چندگانه‌های مرتبه نخست
- ۱۲۲-۷-۳-۷-۳ برداشت‌های لرزه نگاری بازتابی
- ۱۲۲-۸-۳-۸-۳ پروفیل‌های بازتابی
- ۱۲۳-۹-۳-۹-۳ مدل سازی پیش‌رو
- ۱۲۳-۱۰-۳-۱۰-۳ پروفیل‌های بازتابی بر روی مدل‌های داده ساختاری زمین
- ۱۲۳-۱۱-۳-۱۱-۳ مدل دو لایه‌ای افقی
- ۱۲۵-۱۱-۳-۱۱-۳ مدل سازی پس‌رو
- ۱۲۹-۱۲-۳-۱۲-۳ مدل دو لایه ای شیب‌دار
- ۱۳۲-۱۲-۳-۱۲-۳ مدل سازی پس‌رو
- ۱۳۳-۱۳-۳-۱۳-۳ برآورد زاویه شیب حقیقی
- ۱۳۴-۱۴-۳-۱۴-۳ مسیر امواج بازتابی و نقطه‌های ژرفایی مشترک در حالت شیب‌دار
- ۱۳۵-۱۵-۳-۱۵-۳ مدل چند لایه‌ای
- ۱۴۰-۱۵-۳-۱۵-۳ مدل سازی وارون چند لایه‌ای
- ۱۴۲-۱۶-۳-۱۶-۳ برون راند نرمال

- ۱۷-۳-کوچ مکانی داده‌ها ۱۴۵
- ۱۸-۳-تداخل ردهای لرزه‌ای ۱۴۸
- ۱۹-۳-روش‌های افزایش نسبت دامنه سیگنال به نوفه ۱۴۹
- ۱۹-۳-۱-آرایه‌ها ۱۴۹
- ۱۹-۳-۲-آرایه‌های چشمه‌ای ۱۴۹
- ۱۹-۳-۳-برانبارش داده‌ها با نقطه میانی مشترک ۱۵۰
- ۲۰-۳-تبدیل نیمرخ‌های زمانی به ژرفایی ۱۵۲
- ۲۱-۳-برتری‌های روش ازتابی ۱۵۳
- ۲۱-۳-۱-تمرکز بر به وفیل‌های خیلی دراز ۱۵۳
- ۲۱-۳-۲-نبود مشکلاتی، نام‌های کور ۱۵۳
- ۲۱-۳-۳-به‌دست آوردن سرعت امواج از نقاط مختلف لایه‌ها ۱۵۳
- ۲۱-۳-۴-نگاشت شکل کامل ۱۵۴
- ۲۱-۳-۵-امکان استفاده از روش‌های مختلف افزایش نسبت سیگنال ۱۵۴
- ۲۲-۳-کاستی‌های روش بازتابی ۱۵۴
- ۲۲-۳-۱-نیاز به دستگاه‌ها و ابزار پیشرفته و پرهزینه ۱۵۴
- ۲۲-۳-۲-هزینه زیاد عملیات ۱۵۴
- ۲۲-۳-۳-ثبت نوفه‌های زیاد و دشواری تشخیص ردهای لرزه‌ای ۱۵۵
- ۲۲-۳-۴-دشواری پردازش داده‌ها ۱۵۵
- ۲۳-۳-نوفه‌ها در روش بازتابی ۱۵۵
- ۲۳-۳-۱-چندگانه‌ها ۱۵۵
- ۲۳-۳-۲-امواج پراش ۱۵۶

- ۱۵۸ ۳-۲۳-۳- نوفه‌های دیگر
- ۱۵۹ ۳-۲۴- پرسش و تمرین

فصل چهارم: روش‌های ویژه لرزه نگاری مهندسی

- ۱۶۳ ۴-۱- آشنایی
- ۱۶۴ ۴-۲- زیر مجموعه‌های مهم روش‌های ویژه
- ۱۶۴ ۴-۳- پروفیل‌های کم‌شرفا برای بررسی‌های کیفی
- ۱۶۴ ۴-۳-۱- بررسی کیفیت سنگ‌ها
- ۱۶۶ ۴-۳-۲- بررسی کیفیت بتن و سازه‌های بتنی
- ۱۶۶ ۴-۳-۳- بررسی کیفیت پی‌ها، حراک ریزها و سازه‌های خاکی
- ۱۶۷ ۴-۴- لرزه نگاری در شرایط لرزه‌خیزی زمین
- ۱۷۰ ۴-۵- خرد لرزه نگاری
- ۱۷۲ ۴-۶- لرزه‌نگاری درون گمانه‌ای
- ۱۷۳ ۴-۶-۱- لرزه‌نگاری از سطح به گمانه
- ۱۸۰ ۴-۶-۲- لرزه‌نگاری از گمانه به سطح
- ۱۸۰ ۴-۶-۳- لرزه‌نگاری از گمانه به گمانه
- ۱۸۲ ۴-۷- گرادیان سرعت
- ۱۸۵ ۴-۷-۱- پردازش و تفسیر داده‌های گرادیان سرعت
- ۱۸۹ ۴-۸- پتیت سائز میک
- ۱۹۱ ۴-۹- توموگرافی لرزه‌ای
- ۱۹۲ ۴-۹-۱- نمونه‌ای از توموگرافی لرزه‌ای زمان سیر

- ۴-۹-۲- توموگرافی لرزه‌ای کاهیدگی ۱۹۶
- ۴-۹-۳- توموگرافی لرزه‌ای بازتابی ۱۹۷
- ۴-۹-۴- روش‌های دیگر توموگرافی لرزه‌ای ۱۹۸
- ۴-۱۰- روش لرزه‌نگاری در هنگام حفر تونل‌ها ۱۹۸
- ۴-۱۱- پرسش و تمرین ۱۹۹

فصل پنجم: طراحی برداشت‌های لرزه‌نگاری مهندسی

- ۵-۱- آشنایی ۲۰۵
- ۵-۲- نکته‌های مشترک در طراحی برداشت‌های لرزه‌نگاری مهندسی ۲۰۶
- ۵-۲-۱- هدف از مطالعات ۲۰۶
- ۵-۲-۲- اطلاعات از محدوده مورد مطالعه ۲۰۸
- ۵-۲-۳- بازدید و برداشت‌های محلی ۲۰۹
- ۵-۲-۴- امکانات دستگاهی ۲۱۰
- ۵-۲-۵- دانش فنی و امکانات کارشناسی ۲۱۱
- ۵-۲-۶- نکته‌های فنی و اقتصادی ۲۱۱
- ۵-۳- طراحی برداشت‌های مربوط به بررسی کیفیت سنگ و خاک‌ها ۲۱۲
- ۵-۴- طراحی برداشت‌های مربوط به پی‌ها و سازه‌های بتنی ۲۱۳
- ۵-۵- طراحی مربوط به پی‌های خاکی، خاک‌ریزها و سازه‌های خاکی ۲۱۴
- ۵-۶- طراحی پروفیل‌ها در شرایط لایه‌بندی پرشیب ۲۱۴
- ۵-۷- طراحی پروفیل‌ها در شرایطی که لایه‌ها افقی یا موازی سطح زمین باشد ۲۱۵
- ۵-۸- طراحی پروفیل‌های لرزه‌نگاری شکست مرزی در زمین‌های لایه‌ای شکل ۲۱۶

۲۱۸	۹-۵- طراحی پروفیل‌ها (لایه‌های شیب‌دار)
۲۱۹	۱۰-۵- طراحی پروفیل‌ها در شرایطی که همبری لایه‌ها ناصاف باشد
۲۲۴	۱۱-۵- مثال
۲۲۶	۱۲-۵- طراحی پروفیل‌های خرد لرزه‌نگاری
۲۲۷	۱۳-۵- طراحی برداشت‌های درون چاهی
۲۲۷	۱-۱۳-۵- برداشت‌های سطح به گمانه
۲۲۸	۲-۱۳-۵- نمونه‌ای از برداشت‌های سطح به گمانه
۲۲۹	۱-۱۳-۵- برداشت‌های از گمانه به سطح
۲۳۰	۴-۱۳-۵- برداشت‌های گمانه به گمانه
۲۳۳	۱۴-۵- برداشت‌های از فضای زیرزمینی
۲۳۳	۱۵-۵- طراحی پروفیل‌ها: لرزه‌نگاری در مطالعات آبخوان‌های نرم
۲۳۴	۱۶-۵- طراحی برداشت‌ها برای مطالعات آبخوان‌های سخت
۲۳۶	۱۷-۵- طراحی پروفیل‌های گرادیان سرعت
۲۳۷	۱۸-۵- طراحی برداشت‌های لرزه‌نگاری پتیت
۲۳۸	۱۹-۵- طراحی پروفیل‌های غیر خطی
۲۳۹	۲۰-۵- طراحی برداشت‌های لرزه‌نگاری در ساخت‌گاه سد
۲۳۹	۲۱-۵- طراحی برداشت‌های مربوط به ریز پهنه‌بندی لرزه‌ای
۲۴۰	۲۲-۵- طراحی برداشت‌های بازتابی
۲۴۲	۲۳-۵- پرسش و تمرین
۲۴۹	۶- فهرست منابع
۲۵۳	۷- فهرست راهنما

۸- واژه نامه فارسی به انگلیسی..... ۲۶۳

۹- واژه نامه انگلیسی به فارسی..... ۲۷۳

۱۰- فهرست نمادها..... ۲۸۱

۱۱- فهرست نامها..... ۲۸۵

www.ketab.ir

پیش‌نوشتار

روش‌های لرزه‌نگاری از زیرمجموعه‌های مهم روش‌های ژئوفیزیک کاربردی هستند که گسترش روزافزونی در مطالعات منابع نفت و گاز، آبخوان‌ها، منابع معدنی، مطالعات ساخت‌گاهی و حتی کاوش‌های باستان‌شناسی یافته‌اند. کارایی این روش‌ها در کاوش‌های زیرزمینی به حدی است که افزون بر حدود ۹۰٪ هزینه‌های مطالعات ژئوفیزیک اکتشافی و کاربردی صرف کاوش‌های لرزه‌نگاری به‌ویژه لرزه‌نگاری مخازن نفتی می‌شود.

از سوی دیگر کاربرد روش‌های لرزه‌ای در مطالعات مهندسی ازجمله مطالعات مکانیک سنگی، مطالعات ساخت‌گاهی، کاوش‌های منابع معدنی، کاوش‌های ژئوتکنیکی، مطالعه آبخوان‌ها، ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای شهرها، کاوش‌های باستان‌شناسی و حتی ارزیابی خاک‌ریزها، سازه‌های خاکی و ابر سازه‌های بتنی به حدی گسترش یافته که زیرمجموعه ویژه‌ای از روش‌های لرزه‌ای را به نام "لرزه‌نگاری مهندسی" به‌خرد اختصاص داده است.

در مطالعات لرزه‌نگاری مهندسی، معرود ژرفای مورد کاوش، کم و در حد چندین ۱۰ متر و معمولاً کمتر از ۱۰۰ متر است. هدف از به‌دست‌گیری این روش افزون بر تعیین ویژگی‌های هندسی (ابعاد، ژرفا، شیب و نحوه گسترش) پیکره‌های دردم‌العه، رآورد ویژگی‌های مهندسی آن‌ها، مانند ضریب یانگ، ضریب برشی و ضریب پواسون نیز است. این ویژگی‌ها تابعی از سرعت گسترش امواج فشاری، برشی و جرم مخصوص سنگ‌ها و خاک‌ها می‌باشند. تعیین این ویژگی‌ها به‌صورت برجا و با صرف هزینه و زمان کم، می‌تواند کمک شایان توجهی در انجام مطالعات مهندسی نماید. در این کتاب به زیرمجموعه‌های مختلف روش لرزه‌نگاری مهندسی پرداخته شده است.

در فصل یکم واژه‌های کلیدی، تعریف‌ها و دیگر پایه‌های روش لرزه‌نگاری، مراد بحث و بررسی قرار گرفته و کاربران کتاب می‌توانند با آن‌ها آشنا شوند.

فصل دوم به روش شکست مرزی اختصاص یافته و با ارائه مدل‌های مختلف از شرایط زمین، کوشش شده است تا این روش، به‌صورت خلاصه بیان شود.

فصل سوم به لرزه‌نگاری بازتابی به‌صورت فشرده می‌پردازد که ضمن بیان پایه‌های این روش، با ارائه مدل‌های مختلف از شرایط زمین این روش به‌صورت خلاصه بیان شود.

فصل چهارم به روش‌های ویژه لرزه‌نگاری اختصاص یافته است. این روش‌های ویژه زیرمجموعه هیچ‌یک از روش‌های شکست مرزی و بازتابی نیستند و کاربردهای گسترده‌ای در مطالعات مهندسی به‌ویژه در مهندسی عمران و معدن دارند. از مهم‌ترین این روش‌ها می‌توان به روش‌های درون گمانه‌ای، توموگرافی لرزه‌ای، گرادیان سرعت، پتیت سائیزمیک و... اشاره کرد.

سرانجام در فصل پنجم به طراحی برداشت‌های مختلف در کاربردهای متفاوت اشاره شده است و کوشش شده تا با ارائه مثال‌هایی در زمینه‌های مختلف، نحوه طراحی و برداشت مطالعات لرزه‌نگاری مهندسی ارائه شود.

این کتاب صرف‌فصل‌های بخش لرزه‌نگاری مربوط به درس‌های دوره کارشناسی مهندسی معدن، مهندسی نفت، زمین‌شناسی و فراتر از آن را پوشش می‌دهد و مجموعه‌ای گسترده‌تر از بحث‌های مطرح‌شده در سرفصل‌های بخش لرزه‌نگاری درس طراحی پروژه‌های اکتشافی کارشناسی ارشد مهندسی اکتشاف معدن است.

امید است این کتاب از بین دانشجویان و کارشناسان مهندسی معدن، مهندسی نفت و ژئوفیزیک، بتواند مورد استفاده دانشجویان و مهندسان مکانیک سنگ، عمران-خاک‌وپی، ژئوتکنیک، زمین‌شناسی و آب‌های زیرزمینی نیز قرار گیرد.

بدون تردید این کتاب دارای کاستی‌هایی است. از اساتید و کارشناسان محترمی که نکته نظرهای سازنده خود را برای این‌جانب ارسال نمایند پیاپی سپاس‌گزاری می‌شود و در چاپ‌های بعدی از آن‌ها استفاده خواهد شد.

حمیدرضا دهنی

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

تهران

پاییز ۱۳۹۵