

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

ب ژئوفیزیک اکتشافی

ژئوفیزیک اکتشافی

تألیف: غلامحسین نوروزی

دانشیار دانشکده فنی - دانشگاه تهران



انتشارات دانشگاه تهران

شماره ۳۰۴۲

شماره مسلسل ۶۳۳۲

نوروزی، غلامحسین، ۱۳۳۰ - ژئوفیزیک اکتشافی / تألیف غلامحسین نوروزی. تهران: دانشگاه تهران. مؤسسه انتشارات، ۱۳۸۸. ۵۹۳ ص. (انتشارات دانشگاه تهران : شماره ۳۰۴۲).	
ISBN 978-964-03-5952-5	
فهرست نویسی بر اساس اطلاعات فیبا. اکتشافهای زیرزمینی - - روشهای ژئوفیزیکی. دانشگاه تهران. مؤسسه انتشارات.	
۱۳۸۸	۶۲۲/۱۵
۱۸۵۳۴۹۴	۹ ز ۹ ن / TN ۲۶۹
	شماره کتابشناسی ملی

عنوان: ژئوفیزیک اکتشافی

تألیف: دکتر غلامحسین نوروزی

نوبت چاپ: اول

تاریخ انتشار: ۱۳۸۸

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

چاپ و صحافی: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

شابک: ۵ - ۰۳ - ۹۶۴ - ۹۷۸

ISBN 978-964-03-5952-5

«مسئولیت صحت مطالب کتاب با مؤلف است»

«کلیه حقوق برای ناشر محفوظ است»

بها: ۸۵۰۰۰ ریال

خیابان کارگر شمالی - خیابان شهید فرشی مقدم - مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران

پست الکترونیک: press@ut.ac.ir - سایت: www.press.ut.ac.ir

پخش و فروش: تلفکس ۸۸۰۱۲۰۷۸

فهرست مطالب

پیشگفتار	ص
فصل اول : کلیات	۱
۱-۱- مقدمه	۱
۲-۱- روش‌های ژئوفیزیکی	۳
۳-۱- انطباق روش‌های ژئوفیزیکی در مسائل کاربردی	۷
۴-۱- برنامه ریزی برداشت‌های ژئوفیزیکی	۹
۵-۱- انتخاب روش ژئوفیزیکی و طراحی شبکه برداشت	۱۱
۱-۵-۱- تعیین هدف	۱۱
۲-۵-۱- طراحی شبکه برداشت	۱۳
۶-۱- ماهیت و ساختار داده‌های ژئوفیزیکی	۱۹
۱-۶-۱- نوفه‌های سفید	۲۰
۲-۶-۱- نوفه‌های حرارتی (دستگاهی)	۲۴
۳-۶-۱- نوفه‌های زمین‌شناختی	۲۴
۷-۱- تفسیر داده‌های ژئوفیزیکی	۲۵
فصل دوم : پردازش داده‌های ژئوفیزیکی	۲۹
۱-۲- مقدمه	۲۹
۲-۲- رقمی کردن داده‌های ژئوفیزیکی	۳۰
۳-۲- تحلیل طیفی	۳۴
۴-۲- پردازش فرم موجی	۳۹

ح	..... ژئوفیزیک اکتشافی
۴۰	..... ۲-۴-۱- کانونلوشن
۴۴	..... ۲-۴-۲- دیکانونلوشن
۴۵	..... ۲-۴-۳- همبستگی
۴۸	..... ۲-۵-۰- فیلتر کردن رقمی
۴۹	..... ۲-۵-۱- فیلترهای فرکانسی
۵۱	..... ۲-۵-۲- فیلترهای معکوس
۵۱	..... ۲-۶- تصویرسازی
۵۲	..... تمرین ها
۵۳	..... فصل سوم : روش گرانی
۵۳	..... ۳-۱- مقدمه
۵۴	..... ۳-۲- اصول فیزیکی میدان جاذبه
۵۴	..... ۳-۲-۱- قانون جاذبه عمومی
۵۶	..... ۳-۲-۲- واحدهای اندازه گیری میدان جاذبه
۵۷	..... ۳-۲-۳- محاسبه میدان جاذبه
۶۶	..... ۳-۳- میدان گرانی زمین
۶۸	..... ۳-۴- پتانسیل میدان گرانی زمین
۶۹	..... ۳-۴-۱- محاسبه پتانسیل شتاب جاذبه زمین
۷۰	..... ۳-۵- تغییرات میدان گرانی زمین بر حسب عرض جغرافیائی
۷۳	..... ۳-۶- اندازه گیری شتاب گرانی
۷۳	..... ۳-۶-۱- اندازه گیری مطلق
۷۷	..... ۳-۶-۲- اندازه گیری نسبی
۷۸	..... ۳-۷- گراویمترها
۷۹	..... ۳-۷-۱- گراویمترهای پایدار (استاتیکی)

فهرست	خ
گراویمترهای ناپایدار (دینامیکی)	۲-۷-۳ ۸۲
اندازه‌گیری‌های صحرایی میدان گرانی، تصحیحات و بیهنجاری بوگه	۸-۳ ۸۸
برداشت‌های گرانی	۱-۸-۳ ۸۸
تصحیحات داده‌های خام گرانی	۲-۸-۳ ۹۳
عوامل نوفه‌ای	۳-۸-۳ ۱۰۶
بیهنجاری بوگه	۴-۸-۳ ۱۰۶
ایزوستازی	۹-۳ ۱۰۹
چگالی سنگ‌ها و کانی‌ها و اندازه‌گیری آنها	۱۰-۳ ۱۱۲
سنگ‌های رسوبی	۱-۱۰-۳ ۱۱۳
سنگ‌های آذرین	۲-۱۰-۳ ۱۱۴
سنگ‌های دگرگونی	۳-۱۰-۳ ۱۱۴
کانی‌ها	۴-۱۰-۳ ۱۱۵
تخمین چگالی با استفاده از داده‌های صحرایی	۵-۱۰-۳ ۱۱۶
تفسیر بیهنجاریهای بوگه	۱۱-۳ ۱۲۲
جداسازی بیهنجاریهای منطقه‌ای و محلی	۱-۱۱-۳ ۱۲۲
تفسیر کیفی گرانی بازماند	۲-۱۱-۳ ۱۳۸
تفسیر کمی گرانی بازماند	۳-۱۱-۳ ۱۴۴
مثال‌های موردی از کاربرد روش گرانی	۱۲-۳ ۱۵۹
اکتشاف گنبد‌های نمکی	۱-۱۲-۳ ۱۵۹
اکتشاف کانسارها	۲-۱۲-۳ ۱۶۱
کاربردهای مهندسی	۳-۱۲-۳ ۱۶۶
کاربردهای هیدروژئولوژی	۴-۱۲-۳ ۱۷۱
کاربردهای روش گرانی	۱۳-۳ ۱۷۳
سوال‌ها و تمرین‌های گرانی	۱۷۵

.....	د ژئوفیزیک اکتشافی
۱۹۱	فصل چهارم: روش مغناطیسی
۱۹۱	۱-۴- مقدمه
۱۹۲	۲-۴- اصول فیزیکی روش مغناطیسی
۱۹۲	۱-۲-۴- قانون کولمب
۱۹۵	۲-۲-۴- میدان مغناطیسی و پتانسیل مغناطیسی
۱۹۶	۳-۲-۴- دوقطبی مغناطیسی
۲۰۰	۴-۲-۴- عمل میدان مغناطیسی خارجی H روی دوقطبی
۲۰۰	۵-۲-۴- اثر میدان H روی حجم کوچکی از مواد مغناطیسی
۲۰۱	۳-۴- چگونگی مغناطیدگی مواد
۲۰۱	۱-۳-۴- شدت مغناطیدگی
۲۰۲	۲-۳-۴- مغناطیس حقیقی و مغناطیس فرضی
۲۰۴	۳-۳-۴- خودپذیری مغناطیسی
۲۰۵	۴-۳-۴- القای مغناطیسی
۲۰۵	۵-۳-۴- شار مغناطیسی
۲۰۶	۶-۳-۴- واحدهای اندازه گیری پارامترهای مغناطیسی
۲۰۷	۷-۳-۴- مغناطیدگی القائی و بازمانده
۲۰۸	۸-۳-۴- مواد دیامغناطیس، پارامغناطیس و فرومغناطیس
۲۱۳	۴-۴- خواص مغناطیسی سنگها
۲۱۳	۱-۴-۴- خودپذیری مغناطیسی کانیها و سنگها
۲۱۶	۲-۴-۴- اندازه گیری آزمایشگاهی و صحرائی خودپذیری
۲۱۷	۳-۴-۴- مغناطیدگی بازمانده و نسبت کونیگس برگر
۲۲۰	۵-۴- میدان مغناطیسی زمین (ژئومغناطیس)
۲۲۲	۱-۵-۴- میدان اصلی زمین
۲۲۵	۲-۵-۴- مشخصات دوقطبی اصلی و منشا آن

.....	فهرست	ذ
.....	میدان غیردوقطبی	۳-۵-۴- ۲۲۹
.....	میدان متغیر با زمان	۴-۵-۴- ۲۳۱
.....	دستگاه‌های اندازه‌گیری میدان مغناطیسی	۶-۴- ۲۳۳
.....	واریومترهای پیچشی و ترازوئی	۱-۶-۴- ۲۳۵
.....	مگنتومترهای فلاکس گیت	۲-۶-۴- ۲۳۶
.....	مگنتومترهای تشدید	۳-۶-۴- ۲۳۸
.....	گرادیومترها	۴-۶-۴- ۲۴۵
.....	برداشت‌های مغناطیسی	۷-۴- ۲۴۶
.....	برداشت‌های صحرائی میدان مغناطیسی	۱-۷-۴- ۲۴۶
.....	برداشت‌های هوابرد مغناطیسی	۲-۷-۴- ۲۵۱
.....	تصحیحات برداشت‌های صحرائی مغناطیسی	۸-۴- ۲۵۹
.....	تصحیح عرض جغرافیائی	۱-۸-۴- ۲۵۹
.....	تصحیح ارتفاع	۲-۸-۴- ۲۶۳
.....	تصحیحات روزانه	۳-۸-۴- ۲۶۴
.....	تصحیحات توپوگرافی	۴-۸-۴- ۲۶۵
.....	تفسیر داده‌های مغناطیسی	۹-۴- ۲۷۱
.....	تفسیر کیفی	۱-۹-۴- ۲۷۳
.....	تحلیل الگوئی نقشه‌های هوابرد مغناطیسی	۲-۹-۴- ۲۸۱
.....	تفسیر کمی	۳-۹-۴- ۲۸۵
.....	پیشرفت‌های اخیر در پردازش، نمایش و تفسیر داده‌های مغناطیسی	۴-۹-۴- ۲۹۸
.....	کاربردها و مطالعات موردی مغناطیسی	۱۰-۴- ۳۰۶
.....	بررسی‌های هوابرد مغناطیسی منطقه‌ای	۱-۱۰-۴- ۳۰۶
.....	مطالعات اکتشافی کانسار آهن هرزند عتیق (آذربایجان شرقی)	۲-۱۰-۴- ۳۱۰
.....	مطالعات مغناطیسی کانسار تیتانیوم- فسفات قره آغاج (ارومیه)	۳-۱۰-۴- ۳۱۴

ر ژئوفیزیک اکتشافی

۴-۱۰-۴- مطالعات مغناطیسی کانسار سولفیدی ساراماکی (فنلاند) ۳۱۹

۴-۱۰-۵- کاربرد مغناطیس در اکتشاف زمین گرماب‌های سرعین (اردبیل) ۳۲۲

۴-۱۰-۶- شناخت اجسام فلزی مدفون (مطالعات مهندسی) ۳۲۶

سوال‌ها و تمرین‌های مغناطیس ۳۳۱

فصل پنجم: المان‌های برداشت‌های لرزه‌ای ۳۴۹

۱-۵- مقدمه ۳۴۹

۲-۵- مروری بر پارامترهای فیزیکی امواج ۳۵۰

۳-۵- تنش و تنجیدگی ۳۵۱

۴-۵- ضریب‌های کشسان ۳۵۳

۵-۵- امواج لرزه‌ای ۳۵۵

۱-۵-۵- امواج پیکری ۳۵۶

۲-۵-۵- امواج سطحی ۳۵۹

۳-۵-۵- امواج و شعاع انتشار آنها ۳۶۰

۶-۵- سرعت امواج لرزه‌ای در سنگ‌ها ۳۶۲

۷-۵- تلف انرژی لرزه‌ای در انتشار ۳۶۶

۸-۵- انتشار موج در محیط‌های لایه‌ای ۳۶۸

۱-۸-۵- بازتاب و عبور شعاع انتشار موج در تابش عمود بر فصل مشترک دولایه ۳۶۹

۲-۸-۵- بازتاب و شکست امواج در حالت کلی (تابش مایل) ۳۷۳

۳-۸-۵- شکست بحرانی ۳۷۵

۴-۸-۵- پراش ۳۷۶

۹-۵- سیستم‌های جمع‌آوری داده‌های لرزه‌ای ۳۷۶

۱-۹-۵- چشمه‌های لرزه‌ای ۳۷۸

۲-۹-۵- آشکارسازی و ثبت امواج لرزه‌ای ۳۹۲

فهرست	ز
تمرین ها	۳۹۸
فصل ششم: روش لرزه‌نگاری شکست مرزی	۴۰۱
۱-۶- مقدمه	۴۰۱
۲-۶- مسیر امواج شکست مرزی در طبقات تخت	۴۰۲
۱-۲-۶- مدل زمین دو لایه‌ای با فصل مشترک افقی	۴۰۴
۲-۲-۶- مدل زمین سه لایه‌ای با فصل مشترکهای افقی	۴۰۷
۳-۲-۶- مدل چند لایه‌ای با فصل مشترکهای افقی	۴۰۹
۴-۲-۶- لایه‌های شیبدار (مدل دو لایه‌ای)	۴۱۰
۵-۲-۶- لایه‌های شیبدار (مدل چند لایه‌ای)	۴۱۳
۶-۲-۶- فصل مشترکهای تخت پله‌ای (گسله قائم)	۴۱۵
۳-۶- آرایش نقاط شلیک و ژئوفون‌ها در مطالعه لایه‌های تخت	۴۱۷
۴-۶- لرزه‌نگاری شکست مرزی در فصل مشترکهای غیرتخت	۴۲۰
۵-۶- روش‌های تفسیر داده‌های لرزه‌نگاری شکست مرزی	۴۲۰
۱-۵-۶- شیب سازی	۴۲۱
۲-۵-۶- زمان تاخیر	۴۲۴
۳-۵-۶- روش باضافه- منهای‌هاگدورن	۴۲۷
۴-۵-۶- روش دوجانبه‌عام (GRM)	۴۳۱
۶-۶- مراحل مختلف برداشت و آماده‌سازی داده‌های لرزه‌نگاری شکست مرزی	۴۳۷
۱-۶-۶- چگونگی برداشت‌های لرزه‌نگاری شکست مرزی	۴۳۷
۲-۶-۶- ثبت داده‌های لرزه‌نگاری شکست مرزی	۴۴۰
۳-۶-۶- تصحیحات استاتیکی	۴۴۲
۷-۶- مسئله لایه‌های پنهان در مطالعات لرزه‌نگاری شکست مرزی	۴۴۵
۸-۶- اثر تغییرات پیوسته سرعت	۴۴۷

س ژئوفیزیک اکتشافی

۶-۹- آرایش‌های ویژه در برداشت‌های لرزه‌نگاری شکست مرزی ۴۴۸

۶-۹-۱- آرایش بادبزنی ۴۴۸

۶-۹-۲- آرایش قوسی ۴۴۸

۶-۱۰- توموگرافی لرزه‌ای ۴۴۹

۶-۱۱- کاربردها و مطالعات موردی لرزه‌نگاری شکست مرزی ۴۵۲

۶-۱۱-۱- مطالعه لرزه‌نگاری شکست مرزی ساختگاه سدچاکو(استان آذربایجان غربی) ۴۵۲

۶-۱۱-۲- تعیین سنگ بسترجهت محل دفن زباله ۴۶۱

سوال‌ها و تمرین‌های لرزه‌نگاری شکست مرزی ۴۶۸

فصل هفتم: لرزه‌نگاری بازتابی ۴۷۷

۷-۱- مقدمه ۴۷۷

۷-۲- مسیرهندسی موج بازتابی ۴۷۹

۷-۲-۱- مدل دو لایه افقی ۴۷۹

۷-۲-۲- مدل چند لایه افقی ۴۸۲

۷-۲-۳- مدل دولایه با فصل مشترک شیبدار ۴۸۴

۷-۲-۴- مسیر شعاع‌های بازتابی چندگانه ۴۸۶

۷-۳- انباشت نقطه میانی مشترک ۴۸۷

۷-۴- روش‌های برداشت دو بعدی ۴۹۱

۷-۴-۱- طراحی برداشت‌های امواج بازتابی چند کاناله ۴۹۴

۷-۴-۲- طراحی آرایه گیرنده‌ها ۴۹۵

۷-۵- برداشت‌های لرزه‌نگاری سه‌بعدی ۴۹۸

۷-۶- برداشت‌های لرزه‌نگاری بازتابی سه‌مولفه‌ای ۵۰۵

۷-۷- برداشت‌های لرزه‌نگاری چهاربعدی ۵۰۷

۷-۸- پروفیل‌زنی لرزه‌نگاری قائم ۵۰۹

فهرست	ش
۹-۷- پردازش داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی	۵۱۴
۱-۹-۷- پیش پردازش	۵۱۵
۲-۹-۷- کانولوشن و دیکانولوشن	۵۲۲
۳-۹-۷- تصحیحات دینامیکی، تحلیل سرعت و برانبارش	۵۲۶
۴-۹-۷- فیلتر کردن داده‌های لرزه‌ای	۵۳۱
۵-۹-۷- کوچ داده‌های لرزه‌ای	۵۳۵
۱۰-۷- همبسته کردن داده‌های لرزه‌ای با نگارهای چاه	۵۴۳
۱-۱۰-۷- نگارهای چگالی و صوتی و سائسموگرام‌های ساختمانی	۵۴۳
۱۱-۷- تفسیر داده‌های لرزه‌نگاری بازتابی	۵۴۵
۱-۱۱-۷- تحلیل ساختاری	۵۴۶
۲-۱۱-۷- تحلیل چینه‌شناسی (چینه شناسی لرزه‌ای)	۵۴۸
۳-۱۱-۷- شبیه‌سازی لرزه‌ای	۵۵۲
۴-۱۱-۷- تحلیل نشانگرهای لرزه‌ای	۵۵۴
۵-۱۱-۷- وارون‌سازی سه‌بعدی	۵۵۶
۱۲-۷- کاربردها و مطالعات موردی لرزه‌نگاری بازتابی	۵۵۷
۱-۱۲-۷- مثال‌های موردی از مطالعات لرزه‌نگاری بازتابی	۵۵۹
سوالها و تمرین‌های لرزه‌نگاری بازتابی	۵۶۵
واژه نامه	۵۷۱
فهرست مراجع	۵۷۷

پیش‌گفتار

یک قرن پیش از میلاد و از زمانی که چینی‌ها یکی از اولین قطب‌نماها را برای تعیین جهت شمال مغناطیسی ابداع کردند، فیزیک زمین برای ارضای حس کنجکاوی و پیشرفت بشر به کار گرفته شد. با گذشت زمان و پیشرفت فناوری‌ها به تدریج دانش ژئوفیزیک یعنی علم استفاده از مشخصات فیزیکی مواد برای آگاهی از دیگر ویژگی‌های آنها پا به عرصه وجود گذاشت. از آن زمان تاکنون ژئوفیزیک از نظر تنوع روش‌ها و کاربردها پا به پای انسان پیشرفت کرده است. امروزه کاربرد ژئوفیزیک طیف گسترده‌ای از مطالعات مربوط به فضا، دریا و زمین را تشکیل می‌دهد که بخشی از آن به اکتشاف منابع معدنی، هیدروکربوری، آب و شناسایی زمین و محیط زیست می‌پردازد. این بخش را می‌توان به عنوان ژئوفیزیک اکتشافی یا کاربردی در نظر گرفت که کتاب حاضر با این دید نگاشته شده است.

از میان روش‌های مختلف ژئوفیزیک این کتاب به روش‌های گرانی، مغناطیسی و لرزه‌ای پرداخته است که سرفصل‌های درس ژئوفیزیک اکتشافی ۱ دوره مهندسی اکتشاف معدن است. این کتاب برای دانشجویانی که اولین بار با مفاهیم ژئوفیزیک روبرو می‌شوند و همچنین کارشناسان و مهندسانی که در راستای فعالیت‌های خود نیاز به ژئوفیزیک دارند، مناسب است. در رابطه با هر روش سعی شده در حد مورد نیاز مبانی فیزیکی آن ارائه شود، ولی آشنایی قبلی با مباحث فیزیک پایه روش‌ها درک بهتری از مطالب کتاب را به دنبال خواهد داشت.

کتاب ژئوفیزیک اکتشافی به جز اکتشاف معدن در زمینه‌های اکتشاف نفت، زمین‌شناسی مهندسی، آب و زیست محیطی نیز قابل استفاده است که در این بین به دلیل اهمیت روش‌های لرزه‌ای در نفت بخش نسبتاً زیادی از کتاب به این روش‌ها اختصاص داده شده است. کتاب دومی که در واقع مکمل کتاب حاضر است نیز در دست تدوین است که به طور عمده مباحث مربوط به روش‌های ژئوالکتریکی را شامل می‌شود.

نظرات خوانندگان و کارشناسان ژئوفیزیک در تکمیل و بهتر شدن این کتاب برای چاپ‌های بعدی موثر است و موجب امتنان مؤلف خواهد شد.

غلامحسین نوروزی

دانشکده فنی دانشگاه تهران

پائیز ۱۳۸۸