بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

مدل‌سازی وارون غیرخطی سه بعدی داده های گرانی سنجی به منظور مطالعهٔ توپوگرافی سنگ بستر

دانشجو:

مجتبی توکلی

استاد راهنما:

دکتر علی نجاتی کلاته

استاد مشاور:

دکتر شهاب قمی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد جهت دریافت درجه کارشناسی ارشد

۱۳۹۲

مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۶)

بسمه تعالی

شماره :

تاریخ :

ویرایش :

فرم صورتجلسه دفاع پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای مجتبی توکلی رشته ژئوفیزیک گرایش گرانی‌سنجی تحت عنوان مدل‌سازی وارون غیرخطی سه بعدی داده های گرانی سنجی به منظور مطالعهٔ توپوگرافی سنگ بستر که در تاریخ ۹۲/۰۶/۱۹ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح زیر است :

قبول (با درجه : ..... امتیاز .....) ☐ دفاع مجدد ☐ مردود ☐

۱ـ عالی (۲۰ ـ ۱۹) ۲ـ بسیار خوب (۱۸/۹۹ ـ ۱۸)

۳ـ خوب (۱۷/۹۹ ـ ۱۶) ۴ـ قابل قبول (۱۵/۹۹ ـ ۱۴)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

a عضو هیأت داوران	نام ونام خانوادگی	مرتبهٔ علمی	امضاء
۱ـ استادراهنما	دکتر علی نجاتی کلاته		
۲ـ استاد مشاور	دکتر شهاب قمی		
۳ـ نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر امین روشندل کاهو		
۴ـ استاد ممتحن	دکتر حمید آقاجانی		
۵ ـ استاد ممتحن	دکتر رضا قوامی ریابی		

تأیید رئیس دانشکده :

این پایان‌نامه تحت حمایت مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران تهیه شده است.

تقدیم به

پدر و مادر مهربانم

و تقدیم به

ریحانه

عزیزتر از جانم

تقدیر و تشکر:

خداوند منان را شاکرم که توفیق نگارش این پایان‌نامه را به من عطا فرمود. وظیفه خود می‌دانم مراتب سپاسگذاری خود را از استاد گرانقدر دکتر علی نجاتی به عنوان استاد راهنما و جناب آقای دکتر شهاب قمی به عنوان استاد مشاور به خاطر تجارب ارزشمندشان و کمک به این جانب در نگارش این پایان‌نامه اعلام نمایم. همچنین از مجموعهٔ شرکت ملی نفت ایران و به طور خاص مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران به دلیل در اختیار قرار دادن داده‌ها و حمایت‌های همه‌جانبه کمال تشکر را دارم. از زحمات اساتید گرانقدر خود در طول دوره تحصیلی فوق لیسانس دکتر پیروز، دکتر کامکار روحانی، دکتر آقاجانی، دکتر عرب امیری و دکتر دولتی که با مساعدت‌های علمی خود به اینجانب لطف شایانی داشتند، قدردانی می‌کنم. در پایان از همسر عزیزم که علاوه بر مساعدت‌های روحی در کار ویرایش و تایپ این پایان‌نامه نیز کمک شایانی به اینجانب نمودند تشکر می‌کنم.

در ادامه از جناب آقایان دکتر حمید آقاجانی و دکتر رضا قوامی ریابی، به عنوان اساتید داور، که نقش به سزایی در به سرانجام رساندن این پایان نامه داشته‌اند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

چکیده:

هدف نهایی در روش‌های ژئوفیزیک تفسیر و تعیین خصوصیات ساختارهای زمین‌شناسی از روی داده-های اندازه گیری شده است، اما در حالت کلی تقریب ساختارهای زمین‌شناسی با مدل‌های فیزیکی بسیار مشکل است. معمولاً در روش‌های مدل‌سازی خصوصیات فیزیکی مانند چگالی یا خودپذیری مغناطیسی و خصوصیات هندسی مانند عمق مربوط به ساختار به عنوان پارامترهای مدل و اندازه-گیری‌های ژئوفیزیکی به عنوان مفروضات (داده ها)، تلقی می‌گردند. با توجه به وجود ساختارهای رسوبی فراوان در ایران که اغلب از اهمیت اقتصادی بالایی برخوردارند (مانند تله‌های نفتی)، مدل-سازی سنگ بستر در تفسیرهای تکمیلی از داده‌های گرانی‌سنجی و مغناطیس‌سنجی، می‌تواند اطلاعات ارزشمندی در اختیار مفسر قرار دهد.

مدل‌سازی وارون، یکی از جالب‌ترین ابزارهای عددی به‌منظور به‌دست آوردن تصاویر دوبعدی و سه-بعدی از ساختارهای زمین‌شناسی است. در این مطالعه از مدل‌سازی وارون غیرخطی داده‌های گرانی-سنجی و مغناطیس جهت تعیین توپوگرافی سنگ بستر استفاده می‌شود. در این فرآیند مدل‌سازی، یک سنگ بستر عموما بوسیلهٔ یک سری از بلوک‌های راست‌گوشهٔ کنارهم چیده شده، مدل شده و سپس ضخامت آنها محاسبه می‌شود. در ابتدا با استفاده از ابزار ریاضی سری تیلور مسأله غیر خطی به یک مسأله خطی در نزدیکی مدل اولیه تبدیل می‌شود. الگوریتم تهیه شده بر مبنای روش مارکوارت-لونبرگ، طی تکرارهای مختلف با مقایسه داده‌های واقعی و داده‌های مدل تعدیل یافته، مدل اولیه را بهبود می‌دهد.

به منظور نشان دادن کارایی برنامه‌های رایانه‌ای ارائه شده، ابتدا مدل‌سازی وارون برای داده‌های مصنوعی بدون نوفه و حاوی نوفه صورت گرفت. در پایان مدل‌سازی روی قسمتی از داده‌های گرانی-سنجی و مغناطیس ابردژ در جنوب ورامین انجام شد که نتایج به دست آمده با دیگر مطالعات و زمین‌شناسی منطقه هم‌خوانی دارد.

تعهد نامه

اینجانب مجتبی توکلی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته ژئوفیزیک دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه مدل‌سازی وارون غیرخطی سه بعدی داده های گرانی سنجی به منظور مطالعهٔ توپوگرافی سنگ بستر تحت راهنمائی جناب آقای دکتر علی نجاتی کلاته متعهد می شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

فهرست مطالب

فصل اول ۱

کلیات ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- جایگاه روشهای گرانی‌سنجی و مغناطیس‌سنجی در اکتشاف ذخایر هیدروکربوری ۳

۱-۲-۱- جایگاه گرانی‌سنجی ۳

۱-۲-۲ جایگاه مغناطیس‌سنجی ۴

۱-۳- چگالی و خودپذیری مغناطیسی در سنگ‌ها و کانی‌ها ۴

۱-۳-۱ چگالی ۴

۱-۳-۲ خودپذیری مغناطیسی ۶

۱-۴- سابقه مطالعات انجام شده ۸

۱-۵- ضرورت انجام پایان نامه ۹

۱-۶ هدف از انجام پایان نامه ۱۰

۱-۷ ساختار پایان نامه ۱۰

فصل دوم ۱۲

معرفی و فرمول‌بندی مسائل وارون ۱۲

۲-۱ مقدمه‌ای بر مسائل وارون ۱۳

۲-۲ فرمول بندی مسائل پیشرو و وارون در ژئوفیزیک ۱۵

۲-۲-۱ میدان گرانی ۱۸

۲-۲-۲ میدان مغناطیسی ۲۱

۲-۳ مسائل وارون خطی ۲۳
۲-۴ مسائل وارون گسسته خطی ۲۳
۲-۵ حل مسائل وارون خطی فرابرآورد ۲۵
۲-۶ حل مسائل وارون خطی فروبرآورد ۲۶
۲-۷ تحلیل داده‌ها و پارامترها در مسائل وارون ۲۸
۲-۷-۱ ماتریس تحلیل داده‌ها ۲۸
۲-۷-۲ ماتریس تحلیل پارامترهای مدل ۳۰
۲-۸ روش حداقل مربعات وزن داده شده ۳۱
۲-۹ مسائل وارون غیرخطی ۳۳
۲-۱۰ روشهای تکرار ۳۷
۲-۱۱ خطی‌سازی مسائل غیرخطی ۴۱
فصل سوم ۴۵
تئوری روش وارون‌سازی، الگوریتم و زیربرنامه‌های رایانه‌ای ۴۵
۳-۱ مقدمه ۴۶
۳-۲ مدل‌سازی وارون سه بعدی داده‌های گرانی‌سنجی ۴۶
۳-۳ مدل‌سازی وارون سه بعدی داده‌های مغناطیسی ۵۲
فصل چهارم ۵۸
وارون‌سازی داده‌های مصنوعی و کارایی برنامه‌های رایانه‌ای ۵۸
۴-۱ مقدمه ۵۹
۴-۲ مدل مصنوعی بدون نوفه گرانی‌سنجی ۵۹
۴-۳ مدل مصنوعی به همراه نوفه گرانی‌سنجی ۶۲
۴-۳-۱ مدل مصنوعی گرانی‌سنجی به همراه چهار درصد نوفه ۶۲

۴-۳-۲ مدل مصنوعی گرانی‌سنجی به همراه هفت درصد نوفه ۶۴
۴-۴ مدل مصنوعی بدون نوفه مغناطیسی ۶۷
۴-۵ مدل مصنوعی به همراه نوفه مغناطیسی ۷۰
۴-۵-۱ مدل مصنوعی مغناطیسی به همراه چهار درصد نوفه ۷۰
۴-۵-۲ مدل مصنوعی مغناطیسی به همراه هفت درصد نوفه ۷۳
فصل پنجم ۷۶
وارون‌سازی داده‌های واقعی ۷۶
۵-۱ مقدمه ۷۷
۵-۲ موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه ۷۷
۵-۳ مدل‌سازی سه بعدی داده‌های واقعی گرانی‌سنجی ۷۹
۵-۴ مدل‌سازی سه بعدی داده‌های واقعی مغناطیس‌سنجی ۸۳
فصل ششم ۸۸
نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۸۸
۶-۱ نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۸۹
منابع ۹۱

فهرست اشکال

شکل ۱-۱. مقایسهٔ چگالی در سنگ‌های مختلف..... ۶

شکل ۱-۲. مقایسهٔ خودپذیری مغناطیسی در سنگ‌های مختلف..... ۸

شکل ۲-۱. میدان گرانی بی‌هنجار روی یک کانسار معدنی با چگالی بالا (ژادونوف ۲۰۰۲)..... ۲۱

شکل ۲-۲. میدان مغناطیسی بی‌هنجار روی یک توده با خودپذیری مغناطیسی بالا (تلفورد، ۱۹۹۰)..... ۲۲

شکل ۲-۳. رسم ردیفهای ماتریس N که بیانگر معیاری از تطابق داده‌های پیشبینی شده توسط مدل و داده‌های واقعی است. بیشینه‌های تیز در نزدیکی قطر اصلی N نشانگر این است که وارون‌سازی به درستی انجام شده است. (منکه،۱۹۸۹)..... ۲۹

شکل۲-۴. رسم ردیفهای ماتریس R به عنوان معیاری از تطابق پارامترهای واقعی مدل و پارامترهای تخمینی توسط وارون‌سازی، بیشینه‌های تیز در نزدیک قطر اصلی R نشانگر صحت عملیات وارون‌سازی است.(منکه، ۱۹۸۹)..... ۳۱

شکل ۲-۵. مقطع یک حوضه‌ی رسوبی که به وسیله بلوک‌های مستطیل شکل از یک سو نامتناهی مدل‌سازی شده است. (بلکلی، ۱۹۹۶)..... ۳۸

شکل ۲-۶ مدل سه بعدی استفاده شده در روش کوردل و هریسن (بلکلی، ۱۹۹۶)..... ۳۹

شکل ۲-۷ تقسیم گرانی بازماند به دو مولفه، مولفه ایجاد شده ناشی از تغییرات چگالی در داخل پی‌سنگ و مولفه ایجاد شده ناشی از پر شدن حوضهٔ رسوبی. خط‌چین، اندازه‌گیریهای انجام شده در روی رخنمون پی‌سنگ و دایره‌ها اندازه-گیریهای انجام شده در روی پوشش رسوبی را نشان میدهد. (بلکلی، ۱۹۹۶)..... ۴۱

شکل۳-۱. نمایش مدل حوضه رسوبی توسط مجموعه‌ای از بلوک‌های راست‌گوشه..... ۴۷

شکل ۳-۲. نمایش یک بلوک راست گوشه که جهت انجام مدل‌سازی استفاده می‌شود..... ۴۸

شکل ۳-۳ . الگوریتم برنامه وارون‌سازی داده‌های گرانی‌سنجی..... ۵۱

شکل ۳-۴. الگوریتم برنامه وارون‌سازی داده‌های مغناطیسی ۵۶

شکل۴-۲. میزان خطای RMS در هر تکرار برای مدل مصنوعی بدون نوفه ۶۱

شکل ۴-۳. ماتریس تحلیل داده‌ها و ماتریس تحلیل پارامترهای مدل برای مدل مصنوعی بدون نوفه، به قطری و نـواری بودن ماتریس‌ها که نشانگر دقت مدل‌سازی است توجه شود. ۶۱

شکل۴-۵. میزان خطای RMS در هر تکرار برای مدل مصنوعی با چهار درصد نوفه ۶۴

شکل ۴-۶. ماتریس تحلیل داده‌ها و ماتریس تحلیل پارامترهای مدل برای مدل مصنوعی با چهار درصد نوفه، به قطـری و نواری بودن ماتریس‌ها که نشانگر دقت مدل‌سازی است توجه شود. ۶۴

شکل ۴-۷. الف) مدل مصنوعی و بی‌هنجاری گرانی ناشی از آن باضافه هفت درصد نوفه، ب) نتیجـه مـدل‌سـازی وارون برای مدل مصنوعی با هفت درصد نوفه ۶۵

شکل۴-۸) میزان خطای RMS در هر تکرار برای مدل مصنوعی با هفت درصد نوفه ۶۶

شکل ۴-۹) ماتریس تحلیل داده‌ها و ماتریس تحلیل پارامترهای مدل برای مدل مصنوعی با هفت درصد نوفه، به قطری و نواری بودن ماتریس‌ها که نشانگر دقت مدل‌سازی است توجه شود. ۶۶

شکل۴-۱۰. الف) مدل مصنوعی بدون نوفه یک حوضه رسوبی و بی‌هنجاری مغناطیسی ناشی از آن، ب) نتیجـه مـدل-سازی وارون برای مدل مصنوعی بدون نوفه و بی هنجاری مغناطیسی پیش‌بینی شده ۶۸

شکل۴-۱۱. میزان خطای RMS در هر تکرار برای مدل مصنوعی بدون نوفه مغناطیسی ۶۹

شکل ۴-۱۲. ماتریس تحلیل داده‌ها و ماتریس تحلیل پارامترهای مدل برای مـدل مصـنوعی بـدون نوفـه، بـه قطـری و نواری بودن ماتریس‌ها که نشانگر دقت مدل‌سازی است توجه شود. ۶۹

شکل ۴-۱۳. الف) مدل مصنوعی و بی‌هنجاری مغناطیسی ناشی از آن باضافه چهار درصـد نوفـه، ب) نتیجـه مدلسـازی وارون برای مدل مصنوعی با چهار درصد نوفه ۷۱

شکل۴-۱۴. میزان خطای RMS در هر تکرار برای مدل مصنوعی مغناطیسی با چهار درصد نوفه ۷۲

شکل ۴-۱۵. ماتریس تحلیل داده‌ها و ماتریس تحلیل پارامترهای مدل برای مدل مصنوعی مغناطیسی بـا چهـار درصـد نوفه ۷۲

شکل ۴-۱۶. الف) مدل مصنوعی و بی‌هنجاری مغناطیسی ناشی از آن باضافه هفت درصد نوفه، ب) نتیجه مدلسازی وارون برای مدل مصنوعی مغناطیسی با هفت درصد نوفه ۷۳

شکل۴-۱۷) میزان خطای RMS در هر تکرار برای مدل مصنوعی مغناطیسی با هفت درصد نوفه ۷۴

شکل ۴-۱۸) ماتریس تحلیل دادهها و ماتریس تحلیل پارامترهای مدل برای مدل مصنوعی مغناطیسی با هفت درصد نوفه ۷۴

شکل ۵-۱. محدودهٔ انتخاب شده جهت انجام وارونسازی بر روی نقشهٔ زمینشناسی سطحی منطقه (سازمان زمینشناسی و اکتشافات معدنی ایران)..... ۷۹

شکل ۵-۲. نقشهٔ گرانی بوگه مربوط به محدودهٔ انتخاب شده جهت انجام وارونسازی..... ۸۰

شکل ۵-۳. الف) دادههای واقعی گرانیسنجی، ب) نتیجه مدلسازی وارون روی دادههای واقعی..... ۸۱

شکل ۵-۴. میزان خطای RMS در هر تکرار در وارونسازی دادههای واقعی گرانیسنجی..... ۸۲

شکل ۵-۵. الف) ماتریس تحلیل دادهها، ب) ماتریس تحلیل پارامترهای مدل برای مدل سازی دادههای واقعی گرانیسنجی. به قطری بودن ماتریسها که نشانگر دقت مدلسازی است توجه شود..... ۸۳

شکل ۵-۶. نقشهٔ بیهنجاری مغناطیسی مربوط به محدودهٔ انتخاب شده جهت انجام وارونسازی..... ۸۳

شکل ۵-۹. الف) دادههای واقعی مغناطیسسنجی، ب) نتیجه مدلسازی وارون روی دادههای واقعی..... ۸۶

شکل ۵-۱۰. میزان خطای RMS در هر تکرار در وارونسازی دادههای واقعی مغناطیس..... ۸۶

شکل ۵-۱۱. الف) ماتریس تحلیل دادهها، ب) ماتریس تحلیل پارامترهای مدل برای مدل سازی دادههای واقعی مغناطیسسنجی. به قطری بودن ماتریسها که نشانگر دقت مدلسازی است توجه شود..... ۸۷

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

به طور کلی ژئوفیزیک به مطالعه خصوصیات فیزیکی زمین و محیط اطراف آن می‌پردازد. تقاضای مداوم و فزاینده بهره‌برداری از فلزات و کانی‌ها و افزایش شدید مصرف هیدروکربورها، در طول سال‌های گذشته موجب توسعه بسیاری از روش‌های ژئوفیزیکی با دقت‌های زیاد برای آشکارسازی نهشته‌ها و ساختارهای غیرقابل رویت شده است. در امر اکتشاف نفت ژئوفیزیک دو وظیفه دارد که یکی پیشنهاد حفر چاه در مناطقی که وجود نفت‌گیر در آن به ثبت رسیده و دیگری جلوگیری از اقدام به حفر چاه در مناطقی که علی‌الظاهر مناسب به نظر می‌رسد، می‌باشد. به این ترتیب ملاحظه می‌شود که اقدام به انجام مطالعات ژئوفیزیکی صرف نظر از نوع نتایج حاصله از نظر اقتصادی کاملاً قابل توجیه است.

روش متداول در تحلیل داده‌های ژئوفیزیکی مشتمل بر ساخت مدل‌های زمین شناسی مصنوعی مختلف و مقایسه داده‌های نظری به دست آمده از این مدل‌ها با داده‌های اندازه‌گیری شده است. بر این اساس، مدل‌سازی عددی داده‌های ژئوفیزیکی به ازای پارامترهای یک مدل فرضی اصطلاحاً مسئلهٔ پیشرو[1] نامیده می‌شود. بنابراین حل یک مسئلهٔ پیشرو امکان پیش‌بینی داده‌های ژئوفیزیکی را با دانستن ساختارهای زمین‌شناسی مفروض، فراهم می سازد. هدف نهایی روش های مختلف ژئوفیزیکی تعیین خصوصیات ساختارهای زمین شناسی از روی داده‌های بدست آمده است. دستیابی به این امر به خاطر پیچیدگی ساختارهای درون زمین بسیار مشکل می‌نماید. در این راستا، روش معمول شامل تقریب ساختار زمین شناسی مربوطه با مدل‌های ریاضی ساده و سعی در تعیین پارامترهای این مدل فرضی از روی داده‌های حاصل شده است، به این گونه مسائل اصطلاحاً مسائل وارون[2] اطلاق می گردد. در این روش، موفقیت تفسیر ژئوفیزیکی بدست آمده به توانایی در تقریب ساختارهای زمین شناسی با مدل-های منطقی و نیز راه‌کار موثر ارائه شده برای حل مسأله وارون مورد نظر، بستگی دارد.

[1] forward
[2] Inverse problem

۱-۲- جایگاه روش‌های گرانی‌سنجی و مغناطیس‌سنجی در اکتشاف ذخایر هیدروکربوری

۱-۲-۱- جایگاه گرانی‌سنجی

روش گرانی‌سنجی در ابتدا برای مکان‌یابی گنبدهای نمکی در آمریکا و مکزیک و بعدها برای یافتن ساختارهای زمین‌شناسی زیرسطحی از جمله طاقدیس‌ها در جنوب‌غرب آمریکا به کار می‌رفته است. امروزه نیز روش گرانی‌سنجی در شناسایی انواع مختلفی از ساختارهای زیرسطحی که سهمی در تله انداختن مواد هیدروکربوری دارند به نحو مؤثری به کار برده می‌شود. اختلاف زیاد چگالی بین این ساختارهای زیرسطحی و تشکیلات اطراف منجر به شناسایی آنها به وسیله روش گرانی‌سنجی می‌شود. به طوری که در بعضی موارد تنها به وسیله این روش می‌توان محل حفاری‌ها را معین نمود (دوبرین و ساویت، ۱۹۸۸).

در اکتشاف نفت در یک منطقه اکتشاف نشده که هیچ نوع اطلاعات زمین‌شناسی از آن موجود نمی‌باشد، اولین سؤالی که مطرح می‌باشد این است که آیا حوضه رسوبی به اندازه کافی بزرگ و ضخیم است یا نه؟ اگر شرایط زمین‌شناسی مناسب باشد به وسیله روش گرانی‌سنجی با سرعت نسبتاً زیاد و هزینه کم می‌توان اطلاعات مفیدی را در این مورد به دست آورد. دانسیته غالب سنگ‌های رسوبی کمتر از پی‌سنگ می‌باشد. بنابراین به کمک روش گرانی‌سنجی می‌توان مرز بین آن‌ها و در نتیجه ضخامت کل سنگ‌های رسوبی را مشخص کرد. روش گرانی‌سنجی را معمولاً می‌توان در کنار روش‌های لرزه‌ای با هزینه‌ای جزئی انجام داد. ترکیب اطلاعات حاصله از کارهای لرزه‌ای و گرانی‌سنجی می‌تواند در تعیین وضعیت و موقعیت ساختارهای زمین‌شناسی مور نظر بسیار مفید واقع شود (دوبرین و ساویت، ۱۹۸۸).

۱-۲-۲ جایگاه مغناطیس‌سنجی

مغناطیس‌سنجی قدیمی‌ترین شاخه ژئوفیزیک و عملاً سرآغازی بر ژئوفیزیک کاربردی است. در مقایسه با اغلب روش‌های ژئوفیزیکی اندازه‌گیریهای صحرایی این روش راحت و ارزان بوده و در مقیاس اکتشافی نیاز به اعمال تصحیح در داده‌ها نیست. در اکتشاف نفت و گاز در مناطقی که کارهای اکتشافی قبلی در آن صورت نگرفته بوسیله روش مغناطیس‌سنجی می‌توان عمق سنگ بستر و وسعت حوضه رسوبی را تعیین کرد. به عبارت دیگر یک برنامه اکتشاف هیدروکربوری بدون کاربرد روش مغناطیسی در آن، حداقل در مرحله شناسایی، به سختی قابل قبول است.

۱-۳- چگالی[1] و خودپذیری مغناطیسی[2] در سنگ‌ها و کانی‌ها

روش‌های ژئوفیزیکی براساس مطالعهٔ خصوصیات میدان‌های فیزیکی قابل انتشار در داخل زمین بنیان نهاده شده‌اند که مهمترین این میدان‌ها عبارتند از گرانی، مغناطیسی، الکترومغناطیسی و میدان‌های امواج لرزه‌ای. مقادیر مشاهده‌ای مربوط به هر یک از این میدان ها بستگی به ویژگی‌های فیزیکی سنگ-های دربرگیرندهٔ منطقهٔ مورد مطالعه دارد. در روش‌های گرانی‌سنجی و مغناطیسی این خصوصیات به ترتیب عبارتند از چگالی و خودپذیری مغناطیسی. بنابراین شایسته است که مروری بر مقدار و اندازه این کمیت‌ها در سنگ‌ها و کانی‌های مختلف شود.

۱-۳-۱ چگالی

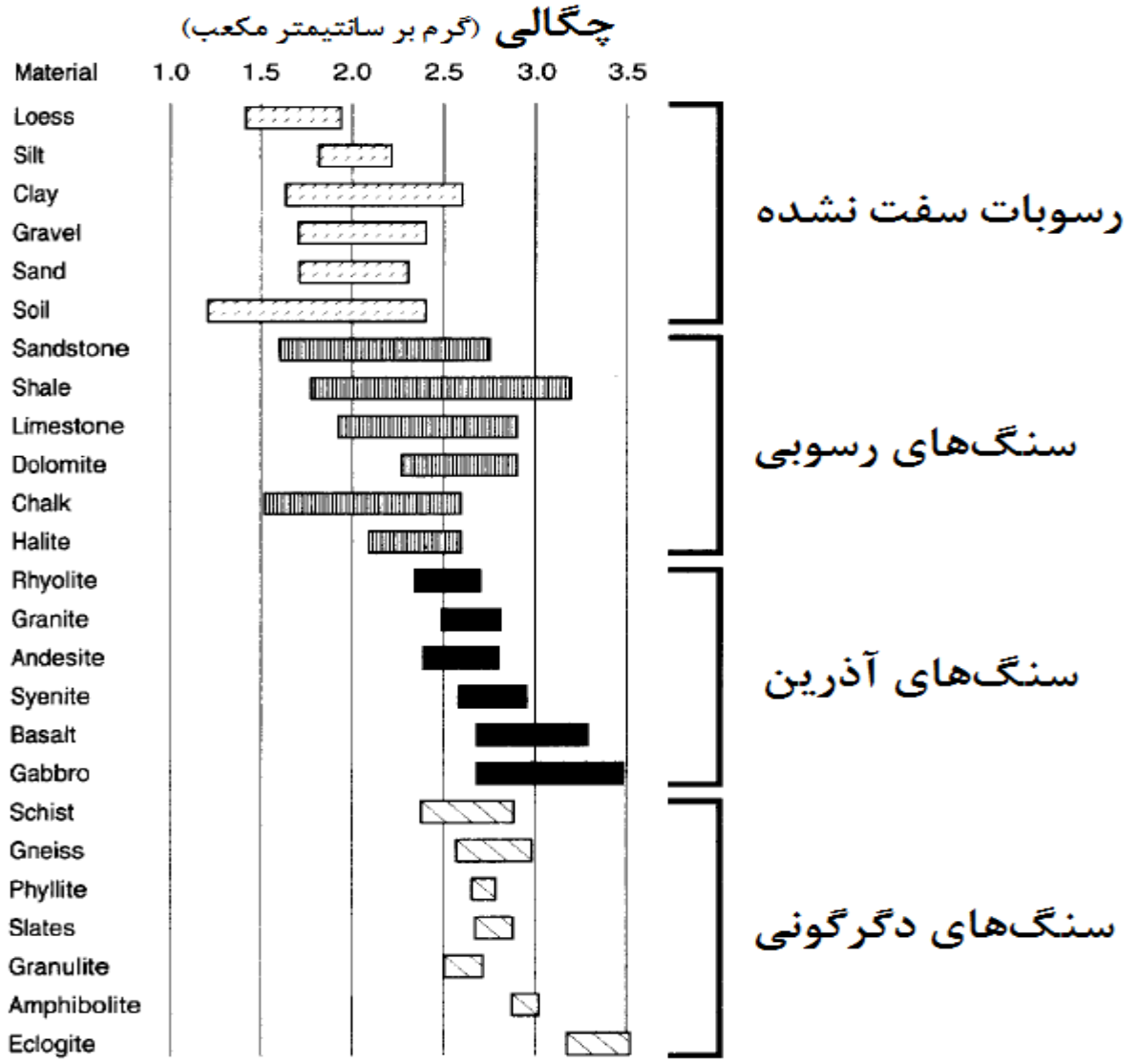
سنگ‌های رسوبی به طور متوسط دارای چگالی‌های کمتر از سنگ‌های آذرین و دگرگونی هستند. در میان سنگ‌های رسوبی کمترین چگالی را کنگلومرا و ماسه‌سنگ دارند و پس از آنها به ترتیب شیل، سنگ‌آهک و دولومیت قرار دارند. دولومیت و شیل از لحاظ چگالی، یکنواخت‌ترین انواع سنگ‌ها می-

[1] density
[2] magnetic susceptibility

باشند. در سنگ‌های رسوبی گستره‌ی چگالی تقریباً بین ۱,۵ تا ۳,۰ گرم بر سانتیمتر مکعب است که این عموماً به دلیل تغییرات تخلخل در این نوع سنگ‌ها می‌باشد.

سنگ‌های آذرین به طور متوسط چگالتر از سنگ‌های رسوبی هستند. در میان سنگ‌های آتشفشانی، گدازه چگالی به نسبت کمی دارد در حالی که سنگ‌های نفوذی چگالی بیشتری دارند. عموماً سنگ-های آذرین بازی از انواع اسیدی چگالتر هستند. تخلخل که در تعیین چگالی سنگ‌های رسوبی بسیار مؤثر است، اهمیت چندانی در سنگ‌های آذرین و دگرگونی ندارد.

در مورد سنگ‌های دگرگونی یک قانون کلی وجود دارد. به طور معمول چگالی با درجه‌ی دگرگونی رابطه مستقیم دارد و با افزایش درجه‌ی دگرگونی، چگالی نیز افزایش می‌یابد، زیرا این فرآیند باعث پر شدن فضاهای خالی و تبلور مجدد سنگ به نوع چگال‌تر می‌شود. نظیر سنگ‌های آذرین، معمولاً چگالی انواع سنگ‌های دگرگونی با کم شدن خاصیت اسیدی افزایش می‌یابد. در نمودار زیر مقایسه‌ای بین مقادیر چگالی در سنگ‌های مختلف آمده است (رینولدز، ۱۹۹۷):



شکل ۱-۱. مقایسهٔ چگالی در سنگ‌های مختلف

۱-۳-۲ خودپذیری مغناطیسی

آن دسته از کانی‌ها که دارای خودپذیری منفی هستند دیامغناطیس[1] و آنهایی که دارای خودپذیری مثبت هستند پارامغناطیس[2] نامیده می‌شوند. به عبارت دیگر، در کانی‌های دیامغناطیس میدان

[1] diamagnetic
[2] paramagnetic