

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

رشته ژئوفیزیک گرایش گرانی سنجی

پایان نامه کارشناسی ارشد

مقایسه عملکرد سیگنال های فازی و سیگنال مونوژنیک (تک منشایی) در آشکارسازی

لبه های آنومالی های میدان پتانسیل

مریم قره شیرازی

استاد راهنما:

دکتر حمید آفاجانی

بهمن ۱۳۹۶

چه خوش گفت حکیم فردوسی

به رنج اندر تبت رارواست، که خود رنج بردن به دانش سزااست

یاموز و بشوز هردانشی، بیایی ز هردانشی رامشی

ز خوردوز بخش میسای بیچ، همه دانش و داد دادن بیچ

فزون است از آن دانش اندر جهان، که بشود کوش آشکار و نهان

میسای از آموختن یک زمان، زدانش میسکن دل اندر گمان

هر آن که که گوئی که دانا شدم، به هردانشی بر، توانا شدم

چنان دان که نادان تری آن زمان، مشو بر تن خویش بر، بد گمان

شکر و قدردانی از

پدر بزرگوار و مادر مهربانم

آن دو فرشته‌ای که از خواسته‌هایشان گذشتند، سختی‌ها را به جان خریدند و خود را سپر برای مشکلات و ناملایمات

کردند تا من در جایگاهی که اکنون در آن ایستاده‌ام قدم بردارم.

تقدیم به او که آموخت مرا تا بیا موزم

از استاد با کمال و شایسته؛ جناب آقای دکتر حمید آقا جانی که در کمال سه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از

بیچ لکلی در این عرصه بر من دریغ نمودند و زحمت راهنمایی این پایان نامه را بر عهده گرفتند؛

و همچنین ساکنزاد دوستانی، مستم که با محبت‌های بی‌دریغشان در به ثمر رساندن این پایان نامه امید بخش جانم

بودند حامی راهم.

مریم قره شیرازی - بهمن ۹۶

تعهد نامه

اینجانب مریم قره شیرازی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته ژئوفیزیک گرایش گرانی سنجی از دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه شاهرود نویسنده پایان نامه کارشناسی ارشد تحت عنوان: مقایسه عملکرد سیگنال‌های فازی و سیگنال مونوژنیک (تک منشایی) در آشکارسازی لبه‌های آنومالی‌های میدان پتانسیل تحت راهنمایی جناب آقای دکتر حمید آقاجانی متعهد می‌شوم:

- 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 گونه مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه شاهرود» و یا «sharood university» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تاثیرگذار بوده اند، در مقالات مستخرج از این پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آنها) استفاده شده است، ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- 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 اخلاقی انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

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

چکیده

استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی و بررسی خصوصیات فیزیکی سنگ‌های زیرسطحی راه حل مناسبی برای اکتشاف ذخایر مدفون در زیر زمین می‌باشند. کاوش‌های گرانی‌سنجی و مغناطیسی به دلیل سادگی و کم هزینه بودن از جمله روش‌های پرکاربرد ژئوفیزیکی هستند که برای اکتشافات مقدماتی به کار می‌روند. برای تفسیر خودکار داده‌های برداشت شده با این دو روش تاکنون روش‌های متعددی ارائه شده است. یکی از اهداف در روش‌های میدان پتانسیل شناسایی ساختارهای زیرسطحی به لحاظ گسترش افقی، قائم و حدود آن‌ها (لبه‌های بی‌هنجاری) است و بارزسازی لبه‌ها در داده‌های میدان پتانسیل می‌تواند در مدل‌سازی داده‌ها و تغییر مناسب نتایج کمک نماید. در این تحقیق با استفاده از فیلترهای دامنه و فاز محلی سیگنال مونوژنیک در مقیاس فضا به شناسایی مرز چشمه‌های بی‌هنجار پرداخته شده است و نتایج به دست آمده، با فیلترهای دیگر مانند سیگنال تحلیلی و زاویه تمایل مقایسه می‌گردد.

برای این منظور ابتدا کدها و توابع مورد نیاز با استفاده از نرم افزار متلب تهیه و سپس این فیلترها بر روی مدل‌های مصنوعی اعمال شده‌اند تا قابلیت هر کدام از این فیلترها در شناسایی مرز چشمه‌های بی‌هنجار مشخص گردد. با اعمال این فیلترها بر روی داده‌های گرانی و مغناطیس حاصل از مدل‌های مصنوعی مشاهده می‌شود که فیلتر دامنه و فاز محلی سیگنال مونوژنیک در مقیاس فضا توانایی بیشتری در آشکارسازی مرزهای توده‌های بی‌هنجاری دارد و نسبت به فیلتر زاویه تمایل و سیگنال تحلیلی ساده مفیدتر عمل می‌کند. در انتها این فیلترها بر روی داده‌های واقعی حوضه نفتی قم، معدن مس مسیو سولفاید موبرون و کانسار آهن اُجت آباد اعمال شده است و نتیجه‌ی آن با نتایج روش‌های سیگنال تحلیلی و زاویه تمایل مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفت.

کلمات کلیدی: تشخیص لبه، سیگنال مونوژنیک، دامنه سیگنال تحلیلی، فیلتر زاویه تمایل

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

فصل اول: کلیات

۱-۱	مقدمه	۲
۲-۱	سابقه مطالعات در زمینه‌ی سیگنال‌های فازی و سیگنال مونوژنیک	۵
۳-۱	طرح مسئله و ضرورت انجام تحقیق	۷
۴-۱	اهداف مطالعه و روش تحقیق	۹
۵-۱	ساختار پایان نامه	۱۰

فصل دوم: اصول و مبانی گرانی سنجی و معرفی سیگنال تحلیلی و فیلتر زاویه تمایل

۱-۲	مقدمه	۱۲
۲-۲	شتاب گرانی	۱۳
۳-۲	تصحیح داده‌های گرانی	۱۵
۱-۳-۲	تصحیح عرض جغرافیایی	۱۶
۲-۳-۲	تصحیح رانه دستگاه و جزر و مد	۱۷
۳-۳-۲	تصحیح بوگه	۱۹
۴-۳-۲	تصحیح توپوگرافی	۲۰
۵-۳-۲	تصحیح هوای آزاد	۲۵
۴-۲	فیلترهای تشخیص لبه	۲۶
۱-۴-۲	سیگنال تحلیلی	۲۷
۲-۴-۲	فیلتر زاویه تمایل	۲۸

فصل سوم: سیگنال مونوژنیک و تبدیل ریتز

۱-۳	مقدمه	۳۲
۲-۳	معرفی سیگنال مونوژنیک	۳۳

<u>عنوان</u>	<u>صفحه</u>
۳-۳ تبدیل هیلبرت.....	۳۴
۴-۳ تبدیل ریتز.....	۳۴
۱-۴-۳ تبدیل ریتز در حوزه عدد موج.....	۳۷
۵-۳ سیگنال مونوژنیک در مقیاس فضا.....	۳۸
۶-۳ تفسیر سیگنال مونوژنیک.....	۴۰
۷-۳ روابط بین تبدیل ریتز و مولفه‌های میدان پتانسیل.....	۴۲
۸-۳ مقایسه دامنه و فاز سیگنال مونوژنیک با سیگنال تحلیلی و زاویه تمایل.....	۴۳

فصل چهارم: بررسی داده‌های مصنوعی و واقعی

۱-۴ مقدمه.....	۴۶
۲-۴ اعمال فیلترها بر مدل‌های مصنوعی.....	۴۶
۱-۲-۴ مدل مصنوعی سطح شیب‌دار مغناطیسی.....	۴۶
۲-۲-۴ مدل مصنوعی ۵ توده بی‌هنجار.....	۵۱
۳-۲-۴ مدل مصنوعی هورست و گرابن.....	۵۸
۴-۲-۴ مدل مصنوعی دایک (سطح شیب‌دار).....	۶۶
۳-۴ اعمال فیلترها روی داده‌های واقعی.....	۷۰
۱-۳-۴ اعمال فیلترها روی داده‌های گرانی حوضه نفتی قم.....	۷۰
۲-۳-۴ اعمال فیلترها روی داده‌های گرانی ناشی از معدن مس مسیو سولفاید موبرون.....	۷۶
۳-۳-۴ اعمال فیلترها روی بی‌هنجاری‌های مغناطیسی کانسار آهن أجت‌آباد.....	۸۰

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۱-۵ نتیجه‌گیری.....	۸۸
۲-۵ پیشنهادات.....	۸۹
منابع.....	۹۱

فهرست اشکال

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱۵	شکل ۱-۲: نمایش یک جسم سه بعدی با چگالی $\rho(x', y', z')$ و نقطه‌ی مشاهده‌ای دلخواه.....
۱۷	شکل ۲-۲: تصویری شماتیک نیروی گریز از مرکز در عرض‌های جغرافیایی متفاوت بر روی زمین.....
۱۸	شکل ۳-۲: نمایش محاسبه میزان رانه‌دستگاه.....
۱۸	شکل ۴-۲: محاسبه تغییرات عوامل وابسته به زمان در اندازه‌گیری مقدار گرانی زمین.....
۲۰	شکل ۵-۲: تصحیح بوگه الف: ایستگاه زمینی و ب: ایستگاه زیرزمینی.....
۲۱	شکل ۶-۲: نمایش اثر توپوگرافی بروی داده‌های برداشتی.....
۲۱	شکل ۷-۲: تصحیح توپوگرافی داده‌های گرانی.....
۲۲	شکل ۸-۲: زون بندی ناحیه مورد مطالعه برای محاسبه اثر توپوگرافی.....
۲۳	شکل ۹-۲: هرم مورد استفاده در زون نزدیک.....
۲۴	شکل ۱۰-۲: مکعب‌های مورد استفاده در زون میانه.....
۲۴	شکل ۱۱-۲: نمایش زون دور.....
۳۶	شکل ۱-۳: نمایش شماتیک بردار M (سیگنال مونوژنیک) در دستگاه مختصات سه بعدی.....
۴۸	شکل ۱-۴: مدل مصنوعی سطح شیب‌دار مغناطیسی.....
۴۸	شکل ۲-۴: نقشه بی‌هنجاری مغناطیس محاسبه شده حاصل از مدل مصنوعی سطح شیب‌دار.....
۴۹	شکل ۳-۴: نمایش سه بعدی اثر اعمال فیلتر تشخیص لبه بر روی اثر مغناطیس مدل مصنوعی سطح شیب‌دار.....
۴۹	شکل ۴-۴: نمایش سه بعدی اثر اعمال فیلتر تشخیص لبه بر روی اثر مغناطیس مدل مصنوعی سطح شیب‌دار.....

عنوان

صفحه

- شکل ۴-۵: اعمال نوفه تصادفی بر مدل مصنوعی سطح شیب‌دار مغناطیسی جهت بررسی دامنه ۵۰
- شکل ۴-۶: اعمال نوفه تصادفی بر مدل مصنوعی سطح شیب‌دار مغناطیسی جهت بررسی فاز ۵۱
- شکل ۴-۷: نقشه بی‌هنجاری گرانی محاسبه شده حاصل از مدل مصنوعی با ۵ توده بی‌هنجار ۵۲
- شکل ۴-۸: اعمال فیلتر دامنه سیگنال تحلیلی بر روی اثر گرانی مدل مصنوعی ۵ توده بی‌هنجار ۵۳
- شکل ۴-۹: اعمال دامنه سیگنال مونوژنیک در مقیاس فضا بر روی اثر گرانی مدل مصنوعی با ۵ توده بی‌هنجار ۵۳
- شکل ۴-۱۰: اعمال فاز محلی سیگنال مونوژنیک بر روی اثر گرانی مدل مصنوعی با ۵ توده بی‌هنجار ۵۴
- شکل ۴-۱۱: اعمال فیلتر زاویه تمایل بر روی اثر مدل مصنوعی با ۵ توده بی‌هنجار ۵۴
- شکل ۴-۱۲: اعمال فیلتر دامنه سیگنال تحلیلی بر اثر گرانی روی مدل مصنوعی با ۵ توده بی‌هنجار به همراه نوفه ۵۵
- شکل ۴-۱۳: اعمال فیلتر دامنه سیگنال مونوژنیک در مقیاس فضا بر روی اثر گرانی روی مدل مصنوعی ۵۶
- شکل ۴-۱۴: اعمال فیلتر فاز محلی سیگنال تحلیلی در مقیاس فضا بر روی اثر گرانی روی مدل مصنوعی ۵۶
- شکل ۴-۱۵: اعمال فیلتر زاویه تمایل بر روی اثر گرانی روی مدل مصنوعی با ۵ توده بی‌هنجار ۵۷
- شکل ۴-۱۶: نقشه اثر بی‌هنجاری گرانی حاصل از مدل مصنوعی هورست و گرابن ۵۸
- شکل ۴-۱۷: اعمال فیلتر دامنه سیگنال تحلیلی بر روی اثر گرانی مدل مصنوعی هورست و گرابن ۵۹
- شکل ۴-۱۸: اعمال فیلتر دامنه سیگنال مونوژنیک بر روی اثر گرانی مدل مصنوعی هورست و گرابن ۵۹
- شکل ۴-۱۹: اعمال فیلتر فاز سیگنال مونوژنیک بر روی اثر گرانی مدل مصنوعی هورست و گرابن ۶۰
- شکل ۴-۲۰: اعمال فیلتر زاویه تمایل بر روی اثر گرانی مدل مصنوعی هورست و گرابن ۶۰
- شکل ۴-۲۱: اعمال فیلتر دامنه سیگنال تحلیلی بر روی اثر گرانی مدل مصنوعی هورست و گرابن ۶۱
- شکل ۴-۲۲: اعمال فیلتر دامنه سیگنال مونوژنیک بر روی اثر گرانی مدل مصنوعی هورست و گرابن ۶۲
- شکل ۴-۲۳: اعمال فیلتر فاز محلی سیگنال مونوژنیک بر روی اثر گرانی مدل مصنوعی هورست و گرابن ۶۲
- شکل ۴-۲۴: اعمال فیلتر زاویه تمایل بر روی اثر گرانی مدل مصنوعی هورست و گرابن به همراه نوفه تصادفی ۶۳

عنوان

صفحه

- شکل ۴-۲۵: نمایش سه بعدی نقشه اثر گرانی بی‌هنجاری ناشی از مدل مصنوعی هورست و گرابن..... ۶۳
- شکل ۴-۲۶: نمایش سه بعدی اعمال فیلتر دامنه سیگنال تحلیلی بر روی اثر گرانی مدل مصنوعی..... ۶۴
- شکل ۴-۲۷: نمایش سه بعدی اعمال فیلتر دامنه سیگنال مونوژنیک بر روی اثر گرانی مدل مصنوعی..... ۶۴
- شکل ۴-۲۸: اعمال فیلتر فاز سیگنال مونوژنیک بر روی اثر گرانی مدل مصنوعی..... ۶۵
- شکل ۴-۲۹: نمایش سه بعدی اعمال فیلتر زاویه تمایل بر روی اثر گرانی مدل مصنوعی..... ۶۵
- شکل ۴-۳۰: نقشه اثر بی‌هنجاری گرانی ناشی از مدل مصنوعی دایک..... ۶۷
- شکل ۴-۳۱: اعمال فیلتر دامنه سیگنال تحلیلی بر روی اثر گرانی مدل مصنوعی دایک..... ۶۷
- شکل ۴-۳۲: اعمال فیلتر دامنه سیگنال مونوژنیک بر روی اثر گرانی مدل مصنوعی دایک..... ۶۸
- شکل ۴-۳۳: اعمال فیلتر فاز سیگنال مونوژنیک بر روی اثر گرانی مدل مصنوعی دایک..... ۶۸
- شکل ۴-۳۴: اعمال فیلتر زاویه تمایل بر روی اثر گرانی مدل مصنوعی دایک..... ۶۹
- شکل ۴-۳۵: موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به حوضه نفتی البرز قم..... ۷۰
- شکل ۴-۳۶: نقشه زمین‌شناسی حوضه نفتی البرز- سراج، نیمه شرقی..... ۷۱
- شکل ۴-۳۷: نقشه بی‌هنجاری باقیمانده گرانی در حوضه نفتی قم..... ۷۳
- شکل ۴-۳۸: نقشه اعمال فیلتر سیگنال تحلیلی بر روی اثر گرانی داده‌های قم..... ۷۴
- شکل ۴-۳۹: اعمال فیلتر دامنه محلی سیگنال مونوژنیک بر روی اثر گرانی داده‌های قم..... ۷۴
- شکل ۴-۴۰: اعمال فیلتر فاز محلی سیگنال مونوژنیک بر روی اثر گرانی داده‌های قم..... ۷۵
- شکل ۴-۴۱: اعمال فیلتر زاویه تمایل روی بر روی اثر گرانی داده‌های قم..... ۷۵
- شکل ۴-۴۲: نقشه بی‌هنجاری باقیمانده گرانی معدن موبرون..... ۷۷
- شکل ۴-۴۳: نمایش سه بعدی نقشه بی‌هنجاری باقیمانده گرانی معدن موبرون..... ۷۷
- شکل ۴-۴۴: اعمال فیلتر دامنه سیگنال تحلیلی بر روی داده‌های معدن موبرون..... ۷۸

عنوان

صفحه

- شکل ۴-۴۵: اعمال فیلتر دامنه مونوژنیک سیگنال بر روی داده‌های معدن موبرون..... ۷۹
- شکل ۴-۴۶: اعمال فیلتر دامنه سیگنال تحلیلی بر روی داده‌های معدن موبرون..... ۷۹
- شکل ۴-۴۷: اعمال فیلتر دامنه سیگنال تحلیلی بر روی داده‌های معدن موبرون..... ۸۰
- شکل ۴-۴۸: نقشه بی‌هنجاری باقی‌مانده مغناطیسی و مقاطع انتخاب شده..... ۸۲
- شکل ۴-۴۹: نقشه زمین‌شناسی اجت‌آباد..... ۸۳
- شکل ۴-۵۰: نقشه اثر بی‌هنجاری داده‌های اجت‌آباد..... ۸۴
- شکل ۴-۵۱: اعمال فیلتر دامنه سیگنال تحلیلی روی داده‌های اجت‌آباد..... ۸۴
- شکل ۴-۵۲: اعمال فیلتر دامنه سیگنال مونوژنیک روی داده‌های اجت‌آباد..... ۸۵
- شکل ۴-۵۳: اعمال فیلتر فاز سیگنال مونوژنیک روی داده‌های اجت‌آباد..... ۸۵
- شکل ۴-۵۴: اعمال فیلتر زاویه تمایل روی داده‌های اجت‌آباد..... ۸۶

فهرست جداول

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۴۷	جدول ۴-۱: مشخصات مدل مصنوعی سطح شیبدار مغناطیسی.....
۵۲	جدول ۴-۲: مشخصات مدل مصنوعی شامل ۵ توده بی‌هنجار.....

فصل اول: کلیات

۱-۱ مقدمه

به جز حفاری، برداشت‌های ژئوفیزیکی تنها راهی است که می‌توان به کمک آن موقعیت قرارگیری توده‌های بی‌هنجار واقع در اعماق زیاد و در زیر سطح زمین را تعیین کرد. با به‌کارگیری آن‌ها می‌توان مناطق وسیعی را در زمان کم برداشت نمود، در حالی که هزینه‌ی آن‌ها نسبت به حفاری بسیار کمتر است. علاوه بر مشخص کردن مشخصات ساختارهای عمیق و کم‌عمق، ژئوفیزیک می‌تواند به سؤالات مهم دیگر در جهت مطالعه ساختار داخلی زمین، از قبیل شیب و عمق توده‌ها، چگونگی دگرشکلی ساختارها و ناپیوستگی لایه‌ها پاسخ دهد [خالدزاده، ۱۳۹۴].

تاکنون بیشترین کاربرد روش‌های ژئوفیزیکی در صنعت نفت برای شناخت حوضه‌های نفتی جدید و نیز اکتشاف معادن برای تعیین موقعیت کانسارهای فلزی بوده است. به‌همین دلیل قسمت اعظم کارهای پژوهشی و توسعه دستگاه‌های ژئوفیزیکی در راستای اهداف این دو زمینه اکتشافی حرکت کرده است. ژئوفیزیک در مطالعات اکتشافی، از روش‌های غیرمستقیم محسوب می‌شود، که می‌تواند باعث کارایی و کاهش هزینه‌های اکتشافی شود [نوروزی، ۱۳۹۲].

از آنجا که اکثر ذخایر معدنی مدفون در زیر سطح زمین، به‌وسیله یک روباره پوشیده شده‌اند، کشف این ذخایر به ویژگی‌هایی که آن‌ها را از محیط اطرافشان متمایز می‌نماید بستگی دارد. در صورتی که تفاوت ویژگی‌های فیزیکی بین ماده معدنی و سنگ درونگیر آن وجود داشته باشد، می‌توان از ژئوفیزیک سطحی برای کشف ماده معدنی مربوطه استفاده کرد. با توجه به نوع ویژگی‌های فیزیکی، روش‌های مختلف ژئوفیزیکی ایجاد می‌شوند و بر این اساس روش‌های ذیل شکل گرفته‌اند:

- روش‌های مغناطیسی با ویژگی‌های مغناطیس‌پذیری سنگ‌ها در ارتباط است.
- روش‌های گرانی‌سنجی در ارتباط با ویژگی‌های چگالی سنگ‌ها می‌باشند.
- روش‌های لرزه‌ای مبتنی بر ویژگی‌های الاستیک (کشسانی) سنگ‌ها در محیط مورد مطالعه‌اند.

- روش‌های الکتریکی وابسته به ویژگی‌های الکتریکی زمین مورد مطالعه می‌باشند.
- روش‌های رادیومتری با خاصیت رادیو اکتیو سنگ‌ها مرتبط هستند [کازمی و ضیاء، ۱۳۹۵].

گرانی‌سنجی به‌عنوان شاخه‌ای قدیمی از علوم کلاسیک، برای اندازه‌گیری و مطالعه نظری و تجربی میدان جاذبه اطراف زمین است که شامل ابداع روش‌های اندازه‌گیری تغییرات شتاب گرانی به‌طور دقیق در زمان و مکان است. گاليله^۱ در اوایل سده شانزدهم (سال ۱۵۸۹) قانون سقوط آزاد اجسام را کشف، و برای اولین بار تاثیر شتاب جاذبه زمین بر روی اجسام با وزن‌های مختلف را بیان و محاسبه کرد. پس از او نیز کپلر^۲ قوانین حرکت سیارات را اثبات کرد و به‌دنبال او اسحاق نیوتون^۳ قوانین عمومی جاذبه زمین را در سال ۱۶۸۵ گزارش نمود. پیر بوگر^۴ طی سال‌های (۱۷۳۵-۴۵) بسیاری از روابط اساسی گرانی‌سنجی از جمله تغییرات شتاب جاذبه با ارتفاع و عرض جغرافیایی را به‌دست آورد [ابراهیم زاده اردستانی، ۱۳۸۹].

روش گرانی‌سنجی و مغناطیس‌سنجی از روش‌های مستقیم ژئوفیزیکی هستند که شامل اندازه‌گیری نیرویی در زمین است که انسان نه قادر است آن را بوجود آورد و نه تغییری در آن ایجاد کند. اساس روش گرانی‌سنجی و مغناطیس‌سنجی تغییرات شتاب ثقل و مغناطیس زمین می‌باشد؛ که اولی چگونگی تغییر جرم مخصوص مواد تشکیل دهنده لایه‌ها و سنگ‌ها و دومی مقدار خودپذیری مغناطیسی را تعیین می‌نماید. هرگونه تغییر در چگالی سنگ‌ها و رسوبات، به‌عنوان یک بی‌هنجاری گرانی در این روش قابل شناسایی است. بی‌هنجاری‌های گرانی می‌توانند حاوی اطلاعات ارزشمندی از بی‌هنجاری‌های چگالی زیر سطحی در اختیار پژوهشگران قرار دهند که ممکن است مربوط به کانسارهای فلزی، پدیده‌های زمین‌شناسی و حفرات زیرسطحی باشند.

^۱ Galileo Galilei

^۲ Johannes Kepler

^۳ Issac Newron

^۴ Pierre Bouger

از قابلیت‌های روش گرانی‌سنجی در تعیین مشخصات توده‌های معدنی نیز می‌توان به تعیین محل و گسترش توده، تشخیص موقعیت لبه‌های بی‌هنجاری، شناخت عمق قرارگیری، شیب، عمق روباره، ضخامت ماده‌ی معدنی و همچنین در مطالعات مهندسی و باستان‌شناسی اشاره کرد. استفاده‌ی جامع از اطلاعات حاصله راجع به موقعیت لبه‌های توده‌ها و محتویات زمین‌شناسی می‌تواند تفسیر داده‌ها را در مقایسه با حالتی که تنها از داده‌های میدانی استفاده می‌شود، اطمینان بخش‌تر کند. از آنجا که همواره معادن و ذخایر زیرزمینی برای بشر دارای اهمیت زیادی بوده است و از آن برای بقاء در چرخه هستی استفاده می‌کند، بنابراین تحقیق در زمینه‌ی شناسایی موقعیت قرارگیری مرز توده‌های بی‌هنجار گرانی و مغناطیس همواره برای ژئوفیزیکدانان جذاب بوده است [Jiang and Gao, ۲۰۱۲].

معمولاً بر اساس مشتق‌های بی‌هنجاری‌های میدان پتانسیل و با استفاده از مقادیر بیشینه و کمینه، مقادیر صفر یا سایر مقادیر منحصر به فرد مشتق‌های قائم و افقی و ترکیبات آن‌ها، لبه‌های توده‌ها شناسایی می‌شوند. در گرانی‌سنجی فیلترهای متعددی برای شناسایی مرزهای افقی توده‌های بی‌هنجار وجود دارد.

این فیلترها می‌توانند مرز بین واحدهای زمین‌شناسی را با وضوح بیشتری مشخص کنند و ساختمان‌های سطحی و عمیق را برجسته نمایند و یا عوارض را از زوایای مختلف نمایش دهند. از جمله‌ی این فیلترها می‌توان مشتق قائم^۱، مشتق افقی^۲، مشتق افقی کل^۳، سیگنال تحلیلی^۴ و فیلترهای فاز محلی^۵ را نام برد. این روش‌ها بر اساس مکان نقاط بیشینه^۶ و یا صفر حاصل از به‌کارگیری این فیلترها عمل می‌کنند. اگرچه روش‌های مذکور به‌طور گسترده‌ای در شناسایی لبه‌های

^۱ Vertical derivative

^۲ Horizontal derivative

^۳ Total horizontal derivative

^۴ Analytic Signal

^۵ Phase based filters

^۶ Maximum

منابع و تعیین موقعیت آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، هر کدام محدودیت‌هایی دارند در نتیجه بین لبه‌های به‌دست آمده و لبه‌های واقعی تفاوت‌هایی به وجود می‌آید [Cameron and Gousses, ۲۰۱۰; Beamish, ۲۰۱۲].

پیشرفت در علم ریاضیات و معرفی فیلترهای کاربردی‌تر با درصد خطای کمتر، همواره راه را برای گسترش این بخش از علم گرانی‌سنجی باز گذاشته است. از آنجایی که در مواجهه با توده‌های معدنی و برداشت‌های صحرایی همواره نوفه وجود دارد، بنابراین فیلترهایی که نسبت به نوفه حساسیت کمتری داشته باشند دارای اهمیت زیادی هستند. از جمله این فیلترها می‌توان به سیگنال مونوژنیک در مقیاس فضای پواسون^۱ اشاره کرد، که به‌طور مفصل‌تر به معرفی آن در فصل‌های آینده پرداخته شده است.

۱-۲ سابقه مطالعات در زمینه‌ی سیگنال‌های فازی و سیگنال مونوژنیک

فیلترهای فاز محلی گوناگونی برای تشخیص مرز بی‌هنجاری‌ها معرفی شده‌اند. میلر و سینگ (۱۹۹۴) معتقد بودند که بهتر است برای جلوگیری از ابهام در فاز داده‌ها در روش‌های معمول از ادامه فراسو قبل از اعمال فیلتر استفاده شود و همچنین از فیلتر فاز محلی به منظور بهبود کیفیت تصاویر داده‌های میدان پتانسیل تحت عنوان فیلتر فازی زاویه تمایل^۲ استفاده کردند و مشخص شد که برای بی‌هنجاری‌های عمیق کارایی ندارد. فیلتر جerald^۳ (۱۹۹۷) مشخص کرد که فیلتر فاز محلی یکی دیگر از ابزارهایی است که می‌تواند به منظور آشکارسازی دقیق لبه میدان پتانسیل مورد استفاده قرار می‌گیرد.

^۱ Poisson Scale-space Monogenic Signal

^۲ Tilt angle

^۳ Gerald

ژانگ و همکاران (۲۰۰۰) برای افزایش دقت محاسبات مربوط به مشتقات میدان گرانی، روش تبدیل کسینوس را پیشنهاد کردند و رابطه مشتقات مؤلفه‌های مختلف میدان گرانی را به ازای درجات متفاوت به دست آوردند. فلسبرگ و سامر (۲۰۰۱) تعریف جامعی از سیگنال مونوژنیک را ارائه دادند. فلسبرگ و سامر^۱ (۲۰۰۱) مونوژنیک را ابزاری برای پردازش تصویر معرفی کردند، که می‌تواند بر هر نوع داده‌ی تصویر عمل کند. برخلاف فیلترهای تشخیص لبه‌ی کلاسیک که در کاربردهای ژئوفیزیک استفاده می‌شدند، سیگنال مونوژنیک بر روی داده‌ها به شکل مستقیم و بدون وابستگی به مشتقات اعمال می‌شود. پیلکینتون و کیتینگ (۲۰۰۴) با مقایسه فیلترهای گوناگون فاز محلی به منظور تشخیص لبه‌ها، با بررسی و تحقیق معلوم کردند، که هیچ‌کدام از این فیلترها را نمی‌توان به تنهایی در حکم یک مشخص کننده لبه که همه‌ی پارامترهای مطلوب ناپیوستگی‌ها و لبه‌ها را مشخص می‌کند، به کار برد. استفاده از فیلتر مشتق قائم یکی دیگر از روش‌های برآورد مرز است. مشتق قائم عرض بی‌هنجاری‌ها را باریک‌تر و موقعیت بی‌هنجاری‌ها را با دقت بیشتری مشخص می‌کند (کوپر و کوان^۲، ۲۰۰۴). در این روش کمینه مقدار مشتق قائم روی مرزهای توده قرار می‌گیرد. کوپر و کوان (۲۰۰۶) با استفاده از فیلترهای مبتنی بر فاز محلی مثل فیلتر مشتق کل افقی^۳ معرفی کرده‌اند که در تعیین مرز بی‌هنجاری عمیق نا کارآمد است. اما نتایج به دست آمده از فیلترهای فاز محلی علی‌رغم بهبود شناسایی مرزهای بی‌هنجاری، به خصوص در ناحیه‌هایی که داده‌ها هموار باشند، باز هم دارای کیفیت در خور توجهی نمی‌باشند.

یکی از مشکلات بزرگ فیلترهای آشکارساز لبه که بر پایه‌ی مشتق هستند، به ویژه آن‌هایی که از مشتقات قائم استفاده می‌کنند، این است که باعث تقویت نوفه می‌شوند، به همین دلیل حسن و یالامانچیلی^۴ (۲۰۱۳) سیگنال مونوژنیک را برای داده‌های مغناطیسی به عنوان فیلترهایی بر پایه‌ی

^۱ Felsberg and Sommer

^۲ Cooper and Cowan

^۳ Total Horizontal Derivation (THD)

^۴ Yalamanchili

تبدیل ریتز^۱ که فقط به مشتق داده‌ها وابسته نیستند را معرفی کرده‌اند. حسن و یالامانچیلی (۲۰۱۳) دامنه سیگنال مونوژنیک را معرفی کرده‌اند که در عمل همان سیگنال تحلیلی مرتبه صفر ارائه شده توسط کوپر (۲۰۰۴) است. در ادامه روش فلسبرگ و سامر (۲۰۰۱)، هیدالگو و باربوسا^۲ (۲۰۱۵) سیگنال مونوژنیک در مقیاس فضایی را با استفاده از رابطه پواسون برای تابع میدان پتانسیل، به‌عنوان فیلتر آشکارساز لبه معرفی کردند. به تازگی هیدالگو و باربوسا در سال (۲۰۱۷)، در غالب مقاله‌ای کد برنامه نویسی سیگنال مونوژنیک بدون مقیاس و سیگنال مونوژنیک با مقیاس فضای پواسون را به زبان برنامه‌نویسی پایتون معرفی کرده‌اند، و به بررسی سیگنال مونوژنیک با استفاده از رابطه پواسون و عدم استفاده از آن پرداخته‌اند.

۱-۳ طرح مسئله و ضرورت انجام تحقیق

تقویت لبه‌ها در داده‌های میدان پتانسیل می‌تواند به تفسیر داده‌های زمین‌شناسی کمک شایانی کند. تاکنون روش‌های گوناگونی برای تشخیص مرز بی‌هنجاری‌ها معرفی شده است که از جمله می‌توان به سیگنال تحلیلی و فیلتر زاویه تمایل اشاره کرد. در بسیاری از موارد بررسی بی‌هنجاری‌های با دامنه کم از نظر زمین‌شناسی از اهمیت بیشتری نسبت به بی‌هنجاری‌های با دامنه بزرگ برخوردار هستند. محاسبه فاز محلی میدان پتانسیل ابزار مفیدی برای تشخیص لبه‌ها است. زاویه تمایل در ایجاد توازن میان دامنه بی‌هنجاری‌های متفاوت، موثر است، اما مناسب برای تشخیص لبه‌های همراه با نوفه نیست. زاویه تمایل با موفقیت لبه‌های بی‌هنجاری با دامنه بزرگ را به خوبی تشخیص می‌دهد، اما نتایج آن در مدل‌های عمیق‌تر کم‌تر قابل ملاحظه است. در بررسی ناهمگنی جانبی توده‌های زیرسطحی، به‌ویژه موقعیت لبه‌ی آن‌ها، داده‌های میدان پتانسیل مزایای منحصر به فردی دارند. تعیین موقعیت لبه‌های توده‌ی بی‌هنجار از مهم‌ترین پارامترهایی است که در تفسیر داده‌های میدان پتانسیل مورد توجه قرار

^۱ Riesz Transform

^۲ Hidalgo-Gato and Barbosa

می‌گیرد. فیلترهای متعددی برای شناسایی مرزهای افقی توده‌های بی‌هنجار وجود دارد. این فیلترها می‌توانند مرز بین واحدهای زمین‌شناسی را با وضوح بیشتری مشخص کنند و ساختمان‌های سطحی و عمیق را برجسته نمایند و یا عوارض را از زوایای مختلف نمایش دهند. از جمله‌ی این فیلترها می‌توان مشتق قائم، مشتق افقی، سیگنال تحلیلی و فیلترهای فاز محلی را نام برد. این روش‌ها بر اساس مکان نقاط ماکزیمم و یا صفر حاصل از به کارگیری این فیلترها عمل می‌کنند. اگرچه روش‌های مذکور به طور گسترده‌ای در شناسایی لبه‌های منابع و تعیین موقعیت آن‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، هر کدام محدودیت‌هایی دارند و در نتیجه بین لبه‌های به‌دست آمده و لبه‌های واقعی تفاوت‌هایی به‌وجود می‌آید [Salem et al, ۲۰۰۸].

اکثر روش‌های موجود برای تعیین گسترش جانبی ساختار زمین‌شناسی به دامنه میدان پتانسیل اندازه‌گیری شده حساس هستند. دامنه میدان پتانسیل اندازه‌گیری شده رابطه مستقیمی با عمق ساختار زمین‌شناسی دارد. بنابراین می‌توان گفت که توانایی روش‌های موجود برای آشکارسازی محدوده ساختارهای زمین‌شناسی به‌شدت به عمق آن ساختار وابسته است. در تخمین عمق به روش‌های مختلف و یا شناسایی بی‌هنجاری، تفکیک لبه بی‌هنجاری بسیار مفید است. مشخص نمودن مرز بی‌هنجاری در هر کار عملیاتی مربوط به داده‌های گرانی‌سنجی امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است که طی سال‌های مختلف روش‌های مبتنی بر ریاضی متعددی برای آن ارائه شده است که یکی از مهم‌ترین آن‌ها استفاده و پالایش سیگنال‌های فازی است. فیلترهای فازی که بر روی داده‌ها اعمال می‌شوند می‌توانند تا حد چشم‌گیری در آشکارسازی لبه میدان پتانسیل کمک کرده و از هزینه برداشت‌های گران‌قیمت مجدد جلوگیری به عمل آورد.

در یکی از تازه‌ترین روش‌های ارائه شده برای مشخص نمودن مرز بی‌هنجاری و در نهایت تخمین عمق توده، سیگنال مونوژنیک در مقیاس فضایی مورد استفاده و آنالیز قرار گرفته است که به گواه تحقیقات انجام شده کیفیت بهتری از آشکارسازی لبه میدان پتانسیل در مقایسه با فیلترهایی نظیر فیلتر زاویه تمایل و دامنه سیگنال تحلیلی به‌دست آمده است. با توجه به وجود روش‌های مختلف

دیگر در آشکارسازی لبه میدان پتانسیل، ضرورت دارد تا روش جدید ارائه شده نسبت با روش‌های مهم دیگر مقایسه شده و نتایج آن بتواند در انجام مطالعات ژئوفیزیک اکتشافی مفید واقع گردد.

۱-۴ اهداف مطالعه و روش تحقیق

در جهت تشخیص دقیق‌تر مرز توده‌های بی‌هنجاری فیلترهای آشکارساز لبه معرفی شده‌اند. هدف این تحقیق بررسی عملکرد فیلتر دامنه و فاز محلی سیگنال مونوژنیک با استفاده از رابطه پواسون برای تشخیص لبه بی‌هنجاری‌ها در روش‌های میدان پتانسیل می‌باشد. سپس بدین ترتیب روش‌هایی نظیر استفاده از فیلتر دامنه سیگنال تحلیلی و فیلتر تحت عنوان روش‌های فازی مانند فیلتر زاویه تمایل مورد بررسی قرار می‌گیرند تا با کمک آن‌ها ابزاری کارآمد در آشکارسازی لبه بی‌هنجاری‌ها در روش‌های میدان پتانسیل به دست آید. در این نوشتار نخست خواص و ویژگی‌های تبدیلات مختلف از جمله تبدیل هیلبرت در فیلتر سیگنال مونوژنیک و روش‌های مبتنی بر ریاضی جهت تعریف این فیلتر که برای تعیین موقعیت مرز بی‌هنجاری‌ها مورد استفاده است، بررسی می‌شود. سپس با توجه به هدف این تحقیق کدهای مربوط به فیلتر سیگنال مونوژنیک در برنامه Matlab نوشته شده است. به منظور مقایسه عملکرد این فیلتر با سایر فیلترهای آشکارساز لبه، مانند فیلتر دامنه سیگنال تحلیلی و فیلتر زاویه تمایل، به ساخت چند مدل مصنوعی برای شناسایی بهتر مرزهای بی‌هنجاری و نمایش عملکرد این فیلتر در نرم‌افزار Matlab پرداخته شده است. پس از بررسی نتایج حاصل از اعمال فیلترها بر روی مدل‌های مصنوعی، این فیلتر بر روی چند داده واقعی که راستا و موقعیت آن‌ها مشخص هستند؛ اعمال شده و نتایج حاصل از اعمال فیلتر سیگنال مونوژنیک بر روی این داده‌ها با نتایج اعمال فیلترهای دامنه سیگنال تحلیلی و فیلتر زاویه تمایل در تشخیص مرزهای بی‌هنجاری‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. هدف اصلی مقایسه عملکرد فیلترهای دامنه و فاز محلی سیگنال مونوژنیک با فیلتر دامنه سیگنال تحلیلی و زاویه تمایل در تشخیص مرز بی‌هنجاری‌های گرانی است. این روش تاکنون

بر روی داده‌های گرانی‌سنجی اعمال نشده است. در این پایان‌نامه به بررسی عملکرد این فیلتر بر روی داده‌های گرانی‌سنجی پرداخته شده است.

۱-۵ ساختار پایان‌نامه

این پایان‌نامه در پنج فصل تهیه شده است که فصل اول کلیاتی در خصوص ضرورت، هدف و چگونگی انجام این مطالعه و همچنین سابقه‌ای در زمینه تاریخچه آشکارسازی لبه‌های میدان پتانسیل اشاره شده است. در فصل دوم در مورد مبانی گرانی‌سنجی و معرفی فیلترهای مورد مقایسه با فیلتر سیگنال مونوژنیک، که شامل فیلتر سیگنال تحلیلی و فیلتر زاویه تمایل بحث شده است. در فصل سوم به معرفی سیگنال مونوژنیک، مختصری از تبدیل ریتز و نحوه عملکرد آن پرداخته شده است. در فصل چهارم بر روی تعدادی مدل مصنوعی که اثر گرانی هر یک محاسبه شده است؛ با استفاده از نرم‌افزار متلب، فیلتر سیگنال مونوژنیک و فیلترهای سیگنال تحلیلی و زاویه تمایل مورد ارزیابی قرار گرفته است. در انتهای این فصل برای نمایش کارایی فیلتر معرفی شده، بر روی چند نمونه داده‌ی واقعی این روش اعمال شده است. در انتها نیز در فصل پنجم نتایج به دست آمده و پیشنهادات ارائه شده‌اند.

**فصل دوم: اصول و مبانی گرانی سنجی و
معرفی سیگنال تحلیلی و فیلتر زاویه تمایل**

نیروی جاذبه بین دو جسم به سبب جرم آن‌ها گرانی نامیده می‌شود، که معمولاً تحت عنوان میدان گرانی زمین اندازه‌گیری می‌شود. گرانی‌سنجی یکی از روش‌های ژئوفیزیکی است که در آن میدان گرانی زمین اندازه‌گیری می‌شود. غالباً برداشت‌های گرانی‌سنجی به‌عنوان روش شناسایی اولیه در اکتشاف نفت مورد استفاده قرار می‌گیرند. اگرچه این روش نیز پرهزینه است، اما بسیار ارزان‌تر از روش‌های لرزه‌ای بوده و برای محدود کردن تفسیرهای لرزه‌ای نیز کاربرد دارد. هدف این شاخه بررسی و به‌دست آوردن شتاب جاذبه زمین و بحث درباره‌ی شکل میدان جاذبه زمین در نقاط مختلف آن است. نیروهای گرانشی نیز سبب فشرده شدن سنگ در لایه‌های عمیق‌تر گشته و با ازدیاد عمق چگالی آن‌ها افزایش پیدا می‌کند. در همین رابطه اندازه‌گیری شتاب گرانشی و پتانسیل گرانشی در سطح زمین و بالای آن می‌تواند به منظور جستجوی نهشته‌های معدنی مورد استفاده قرار گیرد. از طرف دیگر میدان گرانشی سطحی اطلاعاتی را درباره دینامیک زمین ساخت صفحه‌ای عرضه نموده و زمین پتانسیل سطحی که زمینوار^۱ نیز گفته می‌شود.

اساس روش گرانی‌سنجی قانون جاذبه‌ی نیوتن است. طبق این قانون هر جسمی به جرم M می‌تواند به هر جرم دیگری که از آن فاصله معینی دارد، نیرویی به نام نیروی جاذبه یا گرانی اعمال کند. روشن است سیاره‌ی زمین نیز مشابه یک جرم بزرگ می‌تواند به هر جسم دیگری که روی سطح آن است و یا در فاصله‌ای از آن قرار دارد نیروی جاذبه یا گرانی اعمال کند. هر چه جرم جسم بزرگ‌تر و یا چگالی آن بیشتر باشد مقدار این نیرو نیز بیشتر است. به بیان دیگر سنگ‌ها و کانی‌هایی که چگالی بیشتری دارند، میزان کشش گرانی بر روی آن‌ها زیادتر است. در حالی که بر روی توده سنگ‌هایی که چگالی کمتری دارند میزان کشش گرانی کمتر است. تغییرات میدان گرانی زمین در اثر وجود بی‌هنجاری‌های محیطی را آنومالی یا بی‌هنجاری گرانی می‌نامند. با توجه به اینکه میدان جاذبه

^۱ Geoid

بستگی به جنس لایه‌ها دارد با این روش می‌توان به تحلیل و بررسی مسائل زمین‌ساختی مثل تاقدیس‌های زیرزمینی، گنبد‌های نمکی، گسل‌ها و توده‌های نفوذی پرداخت. این روش در مطالعات مهندسی جهت تعیین محل حفره‌ها و غارهای انحلالی داخل سنگ‌های آهکی و در اکتشافات هیدروکربوری به همراه روش مغناطیس‌سنجی به‌عنوان ابزاری برای شناسایی به کار می‌رود. از قابلیت‌های روش گرانی‌سنجی در تعیین مشخصات توده‌های معدنی نیز می‌توان به تعیین محل و گسترش توده، شناخت عمق قرارگیری، شیب، عمق روباره و ضخامت ماده‌ی معدنی اشاره کرد [خالدزاده، ۱۳۹۴].

تصحیح داده‌های گرانی‌سنجی بسیار پیچیده‌تر و مهم‌تر از داده‌های مغناطیس‌سنجی و یا هر روش ژئوفیزیکی دیگر است. ابهام ذاتی موجود در کلیه روش‌های ژئوفیزیکی که در روش‌های گرانی‌سنجی و مغناطیس‌سنجی نیز وجود دارد، همراه با خطاهای ناشی از اندازه‌گیری، تصحیح و پردازش داده‌ها، باعث محدود بودن دقت تفسیر نتایج این روش‌ها برای مطالعات بحرانی مهندسی می‌شود. با این وجود، با استفاده از اطلاعات کمکی مستقیم (مانند حفاری‌های کم عمق) می‌توان ابهامات را به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش داد. بنابراین، موفقیت روش‌های گرانی‌سنجی و مغناطیس‌سنجی تا حد زیادی به اطلاعات کمکی حاصل از مطالعات زمین‌شناسی، حفاری و حتی سایر روش‌های ژئوفیزیکی بستگی دارد.

۲-۲ شتاب گرانی

تعریف نیروی گرانش با قانون نیوتن معنا می‌گیرد. اساس روش گرانی‌سنجی بر مبنای اندازه‌گیری این نیرو می‌باشد. نیروی میان دو ذره با جرم‌های m_1 و m_2 با حاصلضرب جرم‌ها نسبت مستقیم و با مربع فاصله میان مراکز دو جرم نسبت معکوس دارد. هرچه فاصله مراکز دو جسم بیشتر باشد، نیروی جاذبه کمتری بین آن‌ها وجود دارد.

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \quad (1-2)$$

که در آن G ؛ ثابت عمومی جاذبه نامیده می‌شود و مقدار آن برابر است با:

$$G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg} \cdot \text{s}^2 \quad (2-2)$$

طبق قانون دوم حرکت نیوتن شتاب جرم m_2 ناشی از حضور جرم m_1 از تقسیم F بر m_2 به دست می‌آید. در حالت خاص اگر m_1 برابر با M_e یعنی جرم زمین در نظر گرفته شود، با توجه به معادله‌ی (2-1) شتاب جاذبه در سطح زمین برابر است با [Telford et al, 1991]:

$$g = \frac{F}{m_2} = G \frac{M_e}{R_e^2} \quad (3-2)$$

واحد اندازه‌گیری شتاب جاذبه گال ($1 \text{ gal} = 1 \text{ cm/s}^2$) است؛ اما در عمل معمولاً از واحدهای کوچک‌تری به نام میلی‌گال ($1 \text{ mgal} = 10^{-2} \text{ gal}$) استفاده می‌شود. جهت برداشت داده‌های گرانی از گرانی‌سنج استفاده می‌شود که می‌توان آن‌ها را به دو گروه پایدار و ناپایدار تقسیم‌بندی کرد. گرانی‌سنج‌های امروزی که تغییرات بسیار کوچک شتاب گرانی راه اندازه می‌گیرند، دقتی در حدود یک میکروگال دارند [آردستانی، 1389]. شتاب گرانی میدان پایسته است که می‌توان آن را به صورت گرادیان یک پتانسیل اسکالر نمایش داد. برای محاسبه‌ی مقدار پتانسیل گرانی (U) شتاب گرانی (g) یک جسم از یک نقطه‌ی مشخص P می‌توان نوشت [Blakely, 1990; Telford et al, 1991]:

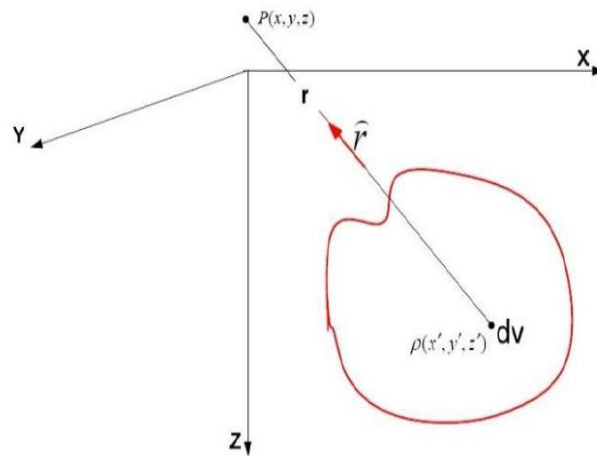
$$(p) = G \int \frac{\rho}{r} dv \quad (4-2)$$

$$g(P) = -\nabla U(P) = -G \int \frac{\rho \cdot \vec{r}}{r^3} dv \quad (5-2)$$

که در آن ρ چگالی توده و r فاصله‌ی نقطه‌ی P تا یک المان کوچک از توده به حجم dv است، همچنین \hat{r} بردار واحد از یک المان کوچک توده تا نقطه‌ی P بوده که فاصله‌ی آن به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$r = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2 + (z - z')^2} \quad (6-2)$$

جهت مثبت محور Z را به طرف پایین و قائم و محورهای X و Y به صورت شکل (۱-۲) در نظر گرفته می شود.



شکل ۱-۲: نمایش یک جسم سه بعدی با چگالی $\rho(x', y', z')$ و نقطه‌ی مشاهده‌ای دلخواه با مختصات $P(x, y, z)$ (آقاجانی, ۱۳۸۸).

۲-۳ تصحیح داده‌های گرانی

مقدار گرانی به پنج عامل بستگی دارد: عرض جغرافیایی، ارتفاع، توپوگرافی زمین‌های اطراف، جزر و مد‌های زمین، و تغییرات چگالی در زیر سطح. هدف از اکتشافات گرانی، بررسی بی‌هنجاری‌های گرانی ناشی از عامل آخر می‌باشد که معمولاً این بی‌هنجاری‌ها بسیار کوچکتر از تغییرات ناشی از عرض جغرافیایی و ارتفاع، و بزرگتر از بی‌هنجاری‌های مربوط به جزر و مد و توپوگرافی می‌باشند.

کلیات قرائت‌های گرانی تحت تأثیر پنج عامل مذکور قرار دارند. بنابراین، بایستی قرائت‌های گرانی را تصحیح نمود تا به مقادیری که در یک سطح هم‌پتانسیل مانند ژئوئید (یا یک سطح موازی با آن) دارند تبدیل شوند.

مقادیر قرائت شده، برآیند شتاب جاذبه‌ی زمین و وجود توده‌های مدفون می‌باشد. از آنجایی که اهداف مورد نظر در اکتشافات گرانی سنجی نظیر حفرات و کانسارهای سبک و سنگین دارای چگالی متفاوتی با زمینه هستند بنابراین تعیین این تغییرات چگالی در پوسته زمین هدف اصلی کار گرانی

است. به عبارت دیگر سهم هر اثر دیگری غیر از تغییر چگالی باید از داده‌ها حذف شود [اردستانی، ۱۳۸۹]. با انجام تصحیح‌های مختلف گرانی می‌توان اثر تمام عوامل به جز تغییر جنس سنگ‌ها را از قرائت‌ها حذف نمود.

۲-۳-۱ تصحیح عرض جغرافیایی^۱

دو عامل چرخش زمین و برآمدگی در استوا، باعث افزایش گرانی با عرض جغرافیایی می‌شوند. شتاب گریز از مرکز ناشی از چرخش زمین، در استوا ماکزیمم و در قطبین صفر است؛ این شتاب با شتاب گرانشی مخالف است. در حالیکه تخت‌شدگی قطبی با نزدیک‌تر کردن ژئوئید به مرکز جرم زمین باعث افزایش گرانی در قطبین می‌شود. اثر دوم تا حدودی توسط جرم جاذب بیشتر در استوا خنثی می‌شود. تصحیح عرض جغرافیایی با کم کردن مقدار ثوری محاسبه شده با فرمول جهانی گرانی از مقادیر مشاهده شده گرانی بدست می‌آید. برای برداشت‌های مقیاس کوچک که در محدوده عرض جغرافیایی کمتر از یک درجه انجام می‌شوند، می‌توان تصحیح ساده‌تری اعمال کرد.

دوران زمین باعث ایجاد شتاب گریز از مرکز در جهت خلاف میدان گرانی زمین می‌شود. این پدیده باعث تخت‌شدگی زمین در قطبین و برآمدگی آن در استوا و در نتیجه تغییر در شدت میدان گرانی آن می‌شود.

شکل (۲-۲) تغییرات شدت نیروی گریز از مرکز را با عرض جغرافیایی نشان می‌دهد، با افزایش عرض جغرافیایی از شدت این نیرو کاسته می‌شود، به طوری که در قطبین مقدار آن صفر می‌گردد و با کاهش عرض جغرافیایی، شدت آن افزایش می‌یابد و در استوا دارای مقدار بیشینه است.

بنابراین در یک شبکه‌ی برداشت با افزایش عرض جغرافیایی نقاط اندازه‌گیری گرانی نسبت به خط مبنای محلی، مقدار این تصحیح از داده‌ها کسر شده و با کاهش عرض جغرافیایی نقاط اندازه‌گیری

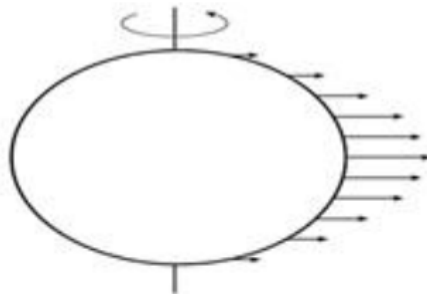
^۱ Latitude Correction

نسبت به خط مبنا، مقدار این تصحیح به داده‌های برداشت شده افزوده می‌شود. تصحیح عرض

جغرافیایی از رابطه‌ی (۷-۲) به دست می‌آید [Parasnis, ۱۹۸۶].

$$g_{\varphi} = 0,812 \times \sin(\varphi) \times \Delta y \quad (7-2)$$

که در آن φ نشان دهنده‌ی عرض جغرافیایی نقاط اندازه‌گیری و Δy فاصله‌ی نقطه‌ی مشاهده‌ای از خط مبنا‌ی محلی بر حسب کیلومتر می‌باشد.

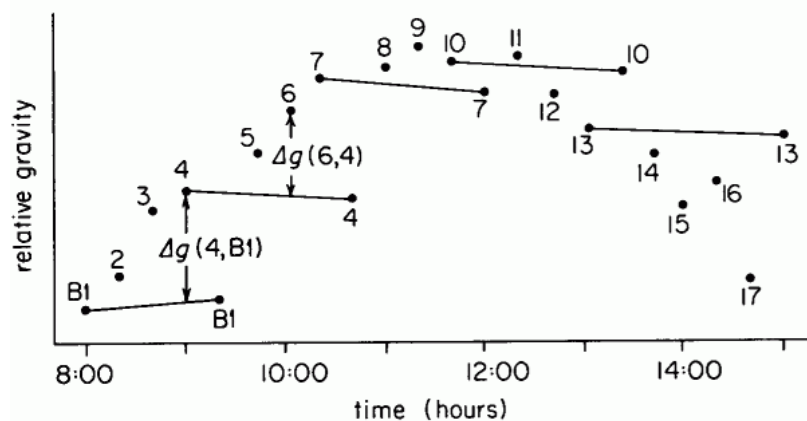


شکل ۲-۲: تصویری شماتیک نیروی گریز از مرکز در عرض‌های جغرافیایی متفاوت بر روی زمین [Fowles and Cassiday, ۲۰۰۴]

۲-۳-۲ تصحیح رانه^۱ دستگاه و جزر و مد

گرانی‌سنگ‌ها از موادی ساخته شده‌اند که معمولاً به تنش‌های مکانیکی و حرارتی حساس بوده و بدین ترتیب کرنش‌های الاستیکی و غیرالاستیکی در آن‌ها تولید می‌شوند. بنابراین جابه‌جایی دستگاه گرانی‌سنگ از یک نقطه به نقطه دیگر و همچنین تغییرات درجه حرارت در طول مدت زمان اندازه‌گیری سبب تغییراتی در مقدار قرائت شده در یک نقطه در دو زمان متفاوت خواهد شد. به این تغییرات مقداری که ناشی از خطای دستگاه است در یافت یا رانه دستگاه گفته می‌شود و وابسته به زمان است.

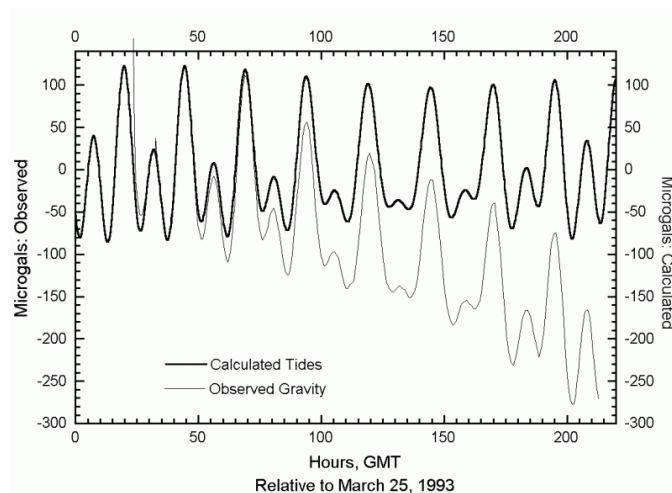
^۱ Drift correction



شکل ۲-۳: نمایش محاسبه میزان رانده دستگاه ناشی از تغییرات درجه حرارت در طول مدت زمان اندازه‌گیری.

همچنین در نتیجه تأثیر نیروهای جاذبه ماه و خورشید، مقدار میدان گرانی اندازه‌گیری شده در هر

نقطه، در طول شبانه روز تغییر می‌کند.



شکل ۲-۴: محاسبه تغییرات عوامل وابسته به زمان در اندازه‌گیری مقدار گرانی زمین یعنی مقدار جزر و مد و رانه دستگاه.

بنابراین برای تصحیح اثرات ناشی از عوامل وابسته به زمان یعنی مقدار جزر و مد و رانه دستگاه

این دو باهم با اندازه‌گیری‌های تکراری در مدت زمان برداشت اقدام می‌شود. همانطور که در شکل‌های

(۲-۳) و (۲-۴) نشان داده شده است، جهت تصحیح آن‌ها معمولاً به فاصله زمانی هر دو ساعت یکبار

به نقطه یا ایستگاه مبنا مراجعه و مقدار میدان گرانی آن مجدد قرائت می‌شود. به منظور تصحیح

مقادیر اندازه‌گیری شده در طول عملیات برداشت روزانه بایستی نسبت به مقدار گرانی ایستگاه مبنا به صورت معادله (۹-۲) سنجش گردند.

$$g_{dc} = g_{obs} - (drift\ rate) \times (elapsed\ time) \quad (۸-۲)$$

$$g_{dc} = g_{obs} - \frac{g_{Base2} - g_{Base1}}{t_{Base2} - t_{Base1}} \times (t_{obs} - t_{Base1}) \quad (۹-۲)$$

۳-۳-۲ تصحیح بوگه^۱

مطابق شکل (۱-۲) شتاب جاذبه یک تخته نامحدود (g_{sb}) را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$g_{sb} = 2\pi G\rho H \quad (۱۰-۲)$$

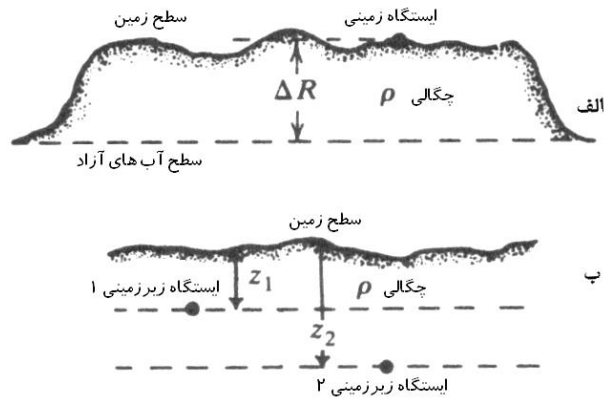
که در آن h ضخامت تخته بوگه می‌باشد. واحد g_{sb} به صورت متر بر مجذور ثانیه و h بر حسب متر است و در سیستم CGS؛ g_{sb} بر حسب گال و h بر حسب سانتی‌متر است بنابراین، بی‌هنجاری بوگه ساده به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\Delta g_{sb} = g_{obs} - \gamma - g_{fa} - g_{sb} \quad (۱۱-۲)$$

مقدار تصحیح بوگه در اندازه‌گیری روی آب، با جایگزین نمودن چگالی ۱۰۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و ضخامت معادل عمق اندازه‌گیری قابل محاسبه می‌باشد.

از این رو علامت معادله (۸-۲) عوض شده و مقدار تصحیح بوگه برای اندازه‌گیری‌های اقیانوسی در معادله اضافه می‌شود. بی‌هنجاری بوگه ساده، اختلاف چگالی اجرام بی‌هنجار را نسبت به چگالی نرمال نشان می‌دهد و به شکل توپوگرافی بستگی ندارد.

^۱ Bouger correction



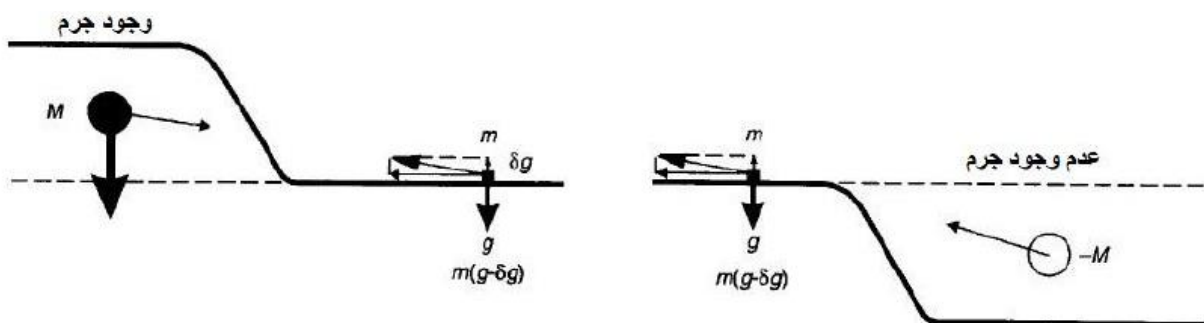
شکل ۲-۵: تصحیح بوگه الف: ایستگاه زمینی و ب: ایستگاه زیرزمینی [Telford et al, ۱۹۹۳].

۲-۳-۴ تصحیح توپوگرافی^۱

پس از اعمال تصحیح بوگه، در مواردی که در اطراف نقاط (سطح) مشاهده‌ای، کوه‌هایی با توپوگرافی بیشتر یا کمتر وجود داشته باشند روی داده‌های مشاهده‌ای تاثیر خواهند داشت زیرا در آنومالی بوگه، تخته بوگه به صورت جرم نامحدود در نظر گرفته می‌شود. برای جبران چنین جرم‌های اضافی، لازم است در این گونه موارد تصحیح توپوگرافی انجام شود. بنابراین باید اثر ناشی از وجود و یا عدم وجود جرم‌های اطراف نقاط مشاهده‌ای را محاسبه کرد. تصحیح توپوگرافی همواره مثبت بوده و به مقدار داده‌های اندازه‌گیری شده اضافه می‌شود [Reynolds, ۱۹۹۷].

شکل (۲-۵) وجود جاذبه‌ی رو به بالا (ناشی از تپه) و نبود جاذبه‌ی رو به پایین (ناشی از دره)،

هر دو باعث کاهش اندازه‌گیری شدت گرانی در نقطه‌ی مورد نظر می‌شوند.



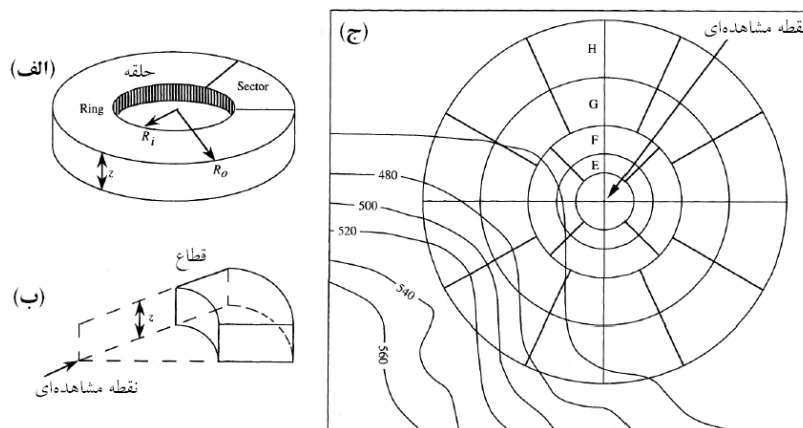
^۱ Terrain Correction

شکل ۲-۶: نمایش اثر توپوگرافی بروی داده های برداشتی [Reynolds, ۱۹۹۷].

در چنین حالتی عمل تصحیح توپوگرافی مطابق شکل (۲-۷) به روش نمودار هامر (۱۹۳۹) انجام می شود. نتیجه این عمل، آنومالی بوگه Δg_{cb} کامل نامیده می شود که:

$$\Delta g_{cb} = g_{obs} - \gamma \pm g_{fa} \pm g_{sb} + g_t \quad (۱۲-۲)$$

که در آن علامت مقدار تصحیح توپوگرافی g_t همواره مثبت است. این تصحیح غالباً به وسیله دست با نمودارها و نقشه های توپوگرافی انجام می شود. امروزه با پیشرفت تکنولوژی و به کارگیری روش های جدید در تصحیح توپوگرافی، جهت به دست آوردن مقادیر رقومی ارتفاعی، این عمل با سرعت و دقت بیشتری انجام می گیرد.



شکل ۲-۷: تصحیح توپوگرافی داده های گرانی [Hammer, ۱۹۳۹]. الف: یک حلقه استوانه ای با شعاع داخلی و شعاع خارجی و ضخامت؛ ب: یک قطاع از استوانه مذکور بیانگر ویژگی توپوگرافی سطح بالایی نقطه مشاهده ای گرانی؛ ج: نمودار تصحیح توپوگرافی هامر با استفاده از نقشه توپوگرافی

با توجه به شکل (۲-۷) از طریق نمودار هامر می توان تصحیح توپوگرافی را انجام داد و برای محاسبه مقدار تصحیح هر یک از قطاع ها^۱ از معادله (۲-۱۳) که از محاسبه اختلاف ارتفاع نقطه ایستگاهی و متوسط قطاع، استفاده می شود و در آن R شعاع خارجی قطاع و R_i شعاع داخلی قطاع

^۱ Sector

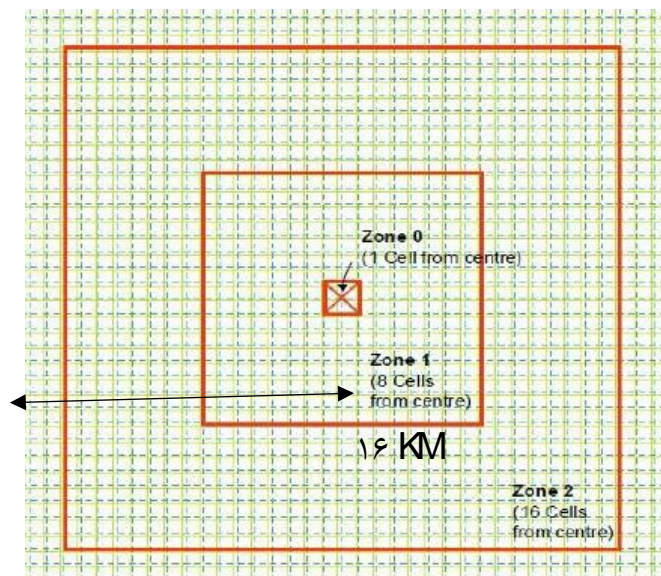
هستند.. سپس براساس فرمول (۲-۱۴) مقدار تصحیح گرانی مربوط به هر یک از مناطق یا حلقه ها به دست می آید.

$$g_{\text{sector}} = 2\pi G\rho(R. - R_i + \sqrt{R_i^2 + Z^2} - \sqrt{R^2 + Z^2}) \quad (۱۳-۲)$$

$$g_{\text{zone}} = \sum_i^n \frac{g_{\text{sector}}}{i} \quad (۱۴-۲)$$

۲-۳-۴-۱ روش منطقه بندی

در این روش ناحیه‌ی در نظر گرفته شده برای تصحیح توپوگرافی اطراف نقطه‌ی قرائت گرانی به زون نزدیک، شماره‌ی صفر در شکل (۸-۲)، زون میانه، شماره‌ی یک در شکل (۸-۲)، و زون دور، شماره‌ی دو در شکل (۸-۲)، تقسیم بندی می‌شوند. هر کدام از سلول‌های کوچک نشان داده شده در شکل (۸-۲) دارای ابعاد ۱×۱ کیلومتر مربع بوده، بنابراین زون نزدیک دارای ابعاد ۲×۲ کیلومتر مربع بوده و نقطه برداشت گرانی در مرکز آن قرار می‌گیرد. قسمت بیرونی زون میانی و زون دور به ترتیب از چهار طرف دارای فاصله‌ی ۸ و ۱۶ کیلومتر از نقطه‌ی برداشت گرانی می‌باشند.

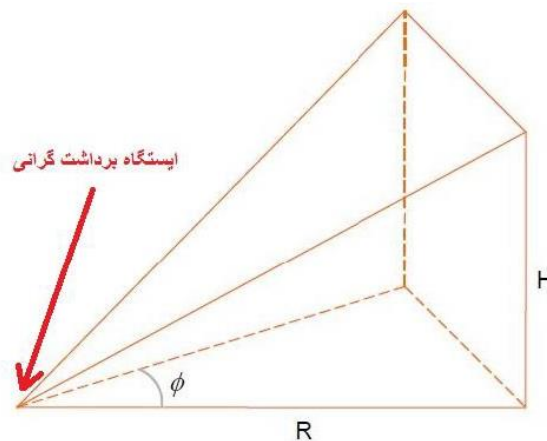


شکل ۸-۲: زون بندی ناحیه مورد مطالعه برای محاسبه اثر توپوگرافی [kane, ۱۹۶۲].

از زون نزدیک، مدل هرم شکل (۹-۲) با سطح فوقانی شیب‌دار در نظر گرفته می‌شود و اثر گرانی این هرم‌ها محاسبه شده، با یکدیگر جمع می‌شوند و در مجموع اثر زون نزدیک را تشکیل می‌دهند. اثر گرانی این هرم طبق رابطه‌ی (۱۱-۲) محاسبه می‌شود [Kane, ۱۹۶۲]:

$$g_{near\ zone} = G\rho\phi(R - \sqrt{R^2 + H^2}) + \frac{H^2}{\sqrt{R^2 + H^2}} \quad (15-2)$$

که در آن ρ تباین چگالی است. پارامترهای R ، ϕ و H نیز در شکل (۹-۲) نشان داده شده‌اند.



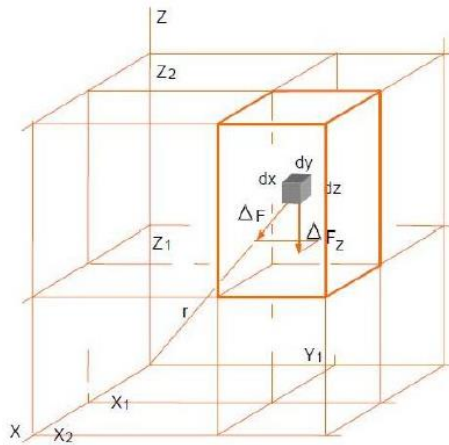
شکل ۹-۲: هرم مورد استفاده در زون نزدیک [kane, ۱۹۶۲].

در زون میانه، اثر گرانی تمام مکعب‌های نشان داده شده در شکل (۱۰-۲) باید با یکدیگر جمع شوند، اثر هر یک از این مکعب‌ها از رابطه‌ی (۱۶-۲) و اثر کل زون میانه از رابطه‌ی (۱۷-۲) به دست می‌آید [Nagy, ۱۹۹۶].

$$\Delta g_i = -G\rho \left[\frac{z_2}{z_1} \left| \frac{y_2}{y_1} \right| \frac{x_2}{x_1} \right] x \cdot \ln(y + R) + y \cdot \ln(x + R) + Z \arctan\left(\frac{z \cdot R}{x \cdot y}\right) \quad (16-2)$$

$$\Delta g_{middle\ zone} = \sum_i \Delta g_i \quad (17-2)$$

که در آن x ، y و z مختصات گوشه‌های مکعب هستند.



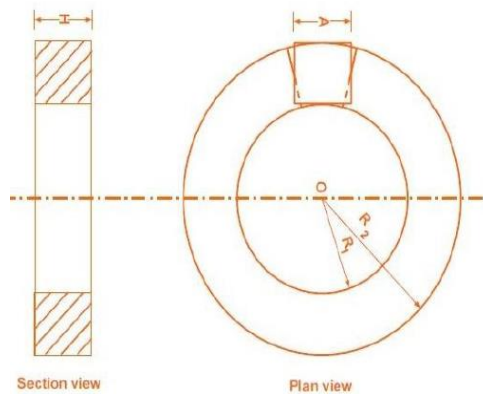
شکل ۲-۱۰: مکعب‌های مورد استفاده در زون میانه [Nagy, ۱۹۶۶].

اثر هر مکعب زون دور از رابطه‌ی (۲-۱۸) محاسبه می‌شود [Kane, ۱۹۶۲].

$$g_{\text{far zon}} = \gamma G \rho A^2 \frac{(R_2 - R_1) \sqrt{R_1^2 + H^2} - \sqrt{R_2^2 + H^2}}{(R_2^2 - R_1^2)} \quad (2-18)$$

که در آن A و H طول افقی و ارتفاع مکعب مورد نظر و R_1 و R_2 به ترتیب شعاع داخلی و خارجی

حلقه هستند.



شکل ۲-۱۱: نمایش زون دور [Kane, ۱۹۶۲].

علاوه بر تصحیحات ذکر شده، برای به دست آوردن تغییرات گرانی ناشی از توده‌های زیرسطحی باید

اثر گرانی نرمال نیز از روی داده‌های برداشتی حذف شود. لازم به ذکر است که گرانی نرمال به اثر

گرانی بیضوی مرجع^۱ اطلاق می‌شود. رابطه‌ی (۱۸-۲) گرانی نرمال معرفی شده توسط اتحادیه‌ی بین‌المللی ژئودزی و ژئوفیزیک (۱۹۷۹) را بیان می‌کند:

$$\gamma\varphi = 978.0327 [1 + 0.0053024 \sin^2(\varphi) - 0.0000059 \sin^2(2\varphi)] \quad (18-2)$$

در رابطه‌ی (۱۸-۲)، φ عرض جغرافیایی نقطه‌ی برداشت گرانی است و مقدار گرانی نرمال طبق این رابطه بر حسب میلی‌گال به دست می‌آید.

۲-۳-۵ تصحیح هوای آزاد^۲

اگر $g(r)$ مقدار شتاب جاذبه گرانی روی سطح ژئوئید باشد. مقدار گرانی در فاصله ارتفاعی کم مثل h بالای سطح ژئوئید با توجه به بسط سری تیلور به صورت زیر نشان داده می‌شود [Blakely, ۱۹۹۶]:

$$g(r+h) = g(r) + h \frac{\partial g(r)}{\partial r} + \dots \quad (19-2)$$

با حذف عبارت‌های مرتبه بالای مشتق و مرتبط کردن عبارات باقی‌مانده معادله (۱۹-۲) به صورت زیر در می‌آید:

$$g(r) = g(r+h) - h \frac{\partial g(r)}{\partial r} \quad (20-2)$$

اگر ما فرض کنیم که زمین یک کره یکنواخت باشد در نتیجه $\frac{\gamma M}{r^2} \cong g(r)$ بوده و معادله (۲۰-۲) به شکل زیر خواهد بود:

$$g(r) = g(r+h) - \frac{\gamma g(r)}{r} h \quad (21-2)$$

عبارت آخر معادله فوق اختلاف ارتفاع بین $g(r)$ و $g(r+h)$ را بیان می‌نماید. این عبارت را تصحیح هوای آزاد می‌نامند. چون اگر هیچ‌گونه جرمی بین نقطه اندازه‌گیری و سطح مبنا (آب‌های آزاد) وجود نداشته باشد، تنها تصحیح ارتفاع ضروری می‌باشد. با انجام محاسبات مختلف و با استفاده از مقادیر g و r در سطح دریا می‌توان نوشت:

^۱ International Union of Geodesy and Geophysic
^۲ Free Air Correction

$$g_{fa} = -0.3086 \times 10^{-5} h = -0.3086 h \quad (22-2)$$

که در آن g_{fa} آنومالی هوای آزاد، h اختلاف ارتفاع نقطه اندازه‌گیری از سطح دریاها برحسب متر است و واحد شتاب جاذبه در سیستم متریک نیز بر حسب متر بر مجذور ثانیه می‌باشد که معادل آن در سیستم واحدهای CGS، g_{fa} بر حسب گال و h بر حسب سانتی‌متر است. زیرا $\frac{g_{fa}}{h}$ دارای واحد عکس مجذور فاصله است. با مدنظر قرار دادن تصحیح هوای آزاد، آنومالی هوای آزاد به‌صورت زیر بیان می‌شود:

$$\Delta g_{fa} = g_{obs} - \gamma - g_{fa} \quad (23-2)$$

که در آن g_{obs} مقدار گرانی مشاهده‌ای می‌باشد.

۲-۴ فیلترهای تشخیص لبه

اطلاع از محدوده چشمه ایجاد کننده بی‌هنجاری و تفسیر تصاویر میدان پتانسیل امری ضروری است. همچنین با توجه به پیچیدگی و وقت‌گیر بودن مدل‌سازی داده‌های میدان پتانسیل، ارائه روشی که بتواند به سادگی و با صرف زمان کم، مرز چشمه‌های بی‌هنجار را مشخص کند؛ لازم و ضروری به نظر می‌رسد.

یکی از این روش‌ها، استفاده از فیلترهای تعیین لبه می‌باشد؛ فیلترهایی که در مقایسه با دیگر فیلترها کارایی بیشتری داشته و در برابر نوفه، عمق و شیب چشمه بی‌هنجاری پایدار باشند. تقویت لبه‌ها در داده‌های میدان پتانسیل می‌تواند به تفسیر داده‌های زمین‌شناسی کمک شایانی کند. زمانی که از لبه‌های زمین‌شناسی نام برده می‌شود، عمدتاً به خطوط گسل و مرزهای زمین‌شناسی یا واحدهای سنگی با چگالی یا طبیعت مغناطیسی متفاوت اشاره می‌گردد. تاکنون روش‌های متعددی برای افزایش توان تفکیک لبه‌ها عرضه شده است؛ که اکثراً استفاده از فیلترهای بالاگذری است که اساس آن‌ها بر مشتقات افقی و قائم میدان می‌باشد. این روش‌ها بر اساس مکان نقاط بیشینه و یا صفر به‌دست آمده توسط مشتقات افقی یا قائم و یا ترکیبات متفاوت از آن‌ها می‌باشد.

از آنجا که حضور نوفه بر روی داده‌های میدان پتانسیل می‌تواند بر فرآیند تفسیر تاثیر گذار باشد، در این فصل ضمن معرفی و مقایسه عملکرد چند نمونه فیلتر، فیلتری معرفی می‌شود که علاوه بر اینکه نسبت به فیلترهای اشاره شده در این فصل، توانایی نسبی خوبی در آشکارسازی لبه‌ها و مرزها دارد؛ در برابر نوفه نیز پایداری خوبی داشته و نتایج خوبی را در موقعیت‌هایی که توده شیب‌دار و یا دارای تغییرات عمقی می‌باشد، با خود به همراه دارد. اما به هر حال تفاوتی بین مرز لبه‌های بدست آمده و لبه‌های واقعی وجود دارد؛ که این تفاوت با شکل مرز، عمق، اندازه و دیگر فاکتورهای توده زمین‌شناسی تغییر می‌کند. لازم به ذکر است پیلکینتون و کیتینگ در سال ۲۰۰۴ با مقایسه فیلترهای گوناگون فاز محلی به منظور تشخیص لبه‌ها، روشن ساختند که هیچکدام از این فیلترها را نمی‌توان به تنهایی در حکم یک مشخص کننده لبه که همه‌ی پارامترهای مطلوب ناپیوستگی و لبه‌ها را مشخص می‌کند، به کار برد [Pilkington and keating, ۲۰۰۴].

۲-۴-۱ سیگنال تحلیلی

روش سیگنال تحلیلی در ابتدا برای داده‌های دقیق گرانی و مغناطیسی استفاده شده است و در مورد داده‌ها با نوفه بالا کمتر به کار برده شده است (اردستانی، ۱۳۸۳). نبیقیان (۱۹۷۲) روشن ساخت که سیگنال تحلیلی در حالت دو بعدی تابعی موهومی و قسمت موهومی آن تبدیل هیلبرت قسمت حقیقی آن است. سیگنال تحلیلی $a(x)$ تابع $f(x)$ را می‌توان به شکل زیر نوشت [Li, ۲۰۰۶]:

$$a(x) = f(x) - iH[f(x)] \quad (2-24)$$

$H[f(x)]$ نشان‌دهنده تبدیل هیلبرت تابع $f(x)$ می‌باشد.

برای یک میدان پتانسیل $\varphi(x)$ که در جهت x اندازه‌گیری شده و به وسیله یک جسم دو بعدی که موازی محور y قرار دارد تولید شده باشد می‌توان سیگنال تحلیلی در دو بعد را به صورت زیر نوشت [Li, ۲۰۰۶]:

$$A(x) = \frac{\partial \varphi(x)}{\partial x} + i \frac{\partial \varphi(x)}{\partial z} \quad (2-25)$$

به ترتیب مشتق افقی و مشتق قائم میدان می‌باشند و جفت تبدیل هیلبرت $\frac{\partial\varphi(x)}{\partial z}$ و $\frac{\partial\varphi(x)}{\partial x}$ هستند که مقدار قائم گرادیان $\frac{\partial\varphi(x)}{\partial z}$ می‌تواند با تبدیل هیلبرت از گرادیان افقی $\frac{\partial\varphi(x)}{\partial x}$ به دست آید. سیگنال تحلیلی سه بعدی نیز به عنوان یک بردار شامل مشتقات افقی و تبدیل هیلبرت می‌باشد و سیگنال تحلیلی سه بعدی یک میدان پتانسیل $\varphi(x, y)$ اندازه‌گیری شده در یک صفحه افقی به شکل زیر می‌باشد [Roest et al, ۱۹۹۲].

$$A(x, y) = \frac{\partial\varphi(x, y)}{\partial x} + \frac{\partial\varphi(x, y)}{\partial y} + i \frac{\partial\varphi(x, y)}{\partial z} \quad (26-2)$$

برای تعیین گوشه‌های بی‌هنجاری می‌توان از دامنه سیگنال تحلیلی در مورد داده‌های گرانی در دو و سه بعد، از روابط زیر استفاده کرد.

$$|A(x, y)| = \sqrt{\left[\frac{\partial\varphi(x, y)}{\partial x}\right]^2 + \left[\frac{\partial\varphi(x, y)}{\partial z}\right]^2} \quad (27-2)$$

$$|A(x, y)| = \sqrt{\left[\frac{\partial\varphi(x, y)}{\partial x}\right]^2 + \left[\frac{\partial\varphi(x, y)}{\partial y}\right]^2 + \left[\frac{\partial\varphi(x, y)}{\partial z}\right]^2} \quad (28-2)$$

۲-۴-۲ فیلتر زاویه تمایل

محاسبه فاز محلی میدان‌های پتانسیل می‌تواند کمک مفیدی برای تفسیر آن‌ها باشد. فیلترهای فاز محلی ترکیبی از گرادیان‌های قائم و افقی میدان پتانسیل می‌باشند. تاکنون چندین فیلتر بر این اساس معرفی شده‌اند، که می‌توان زاویه تمایل، مشتق افقی کل زاویه تمایل^۱ و نقشه تتا^۲ اشاره کرد. میلر و سینگ (۱۹۹۴) فیلتر زاویه تمایل را به صورت نسبت مشتق قائم به اندازه مشتق افقی کل داده‌های میدان پتانسیل برداشت شده تعریف کردند. این فیلتر می‌تواند تعادل موثری بین دامنه

^۱ Total horizontal derivative of tilt angle (THDR-T)

^۲ Teta map

بی‌هنجاری تولید شده با چشمه در عمق‌های متفاوت ایجاد کند. عرض محاسبه شده با این فیلتر همواره کمتر و یا مساوی عرض واقعی است [ابراهیم زاده اردستانی و متولی عنبران ، ۱۳۸۶].

$$T = \text{TILT}(x, y) = \tan^{-1} \left(\frac{\frac{\partial \varphi}{\partial z}}{\sqrt{\left(\frac{\partial \varphi}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial y}\right)^2}} \right) \quad (29-2)$$

که در آن φ میدان گرانی یا مغناطیس برداشت شده است. زاویه تمایل (هنگامی که نقطه مشاهده روی منابع آنومالی قرار دارد) در بالای منبع مثبت است و در نزدیکی لبه‌های توده، یعنی جاییکه مشتق قائم صفر است و مشتق افقی بیشترین مقدار خود را دارد؛ و خارج از ناحیه چشمه منفی می‌باشد. زاویه تمایل هم در حوزه فرکانس و هم در حوزه مکان به راحتی قابل محاسبه می‌باشد (میلر و سینگ ۱۹۹۴). این فیلتر در گستره $+\frac{\pi}{4}$ و $-\frac{\pi}{4}$ تغییر می‌کند و تفسیر آن نسبت به سیگنال تحلیلی خیلی ساده‌تر است. تغییرات زاویه تمایل در بالای توده معدنی یا جسم بی‌هنجار و همچنین بدون بعد بودن آن مهم‌ترین دلیل کاربرد این فیلتر است. از طرفی نتایج این فیلتر را می‌توان با فیلترهای مشتق قائم و مشتق افقی مقایسه کرد. اگرچه مشتق قائم و افقی هر دو برای منابع عمیق‌تر کوچکتر می‌باشند؛ اما زاویه تمایل با استفاده از نسبت مشتق قائم به گرادیان افقی نسبت به عمق منبع تقریباً غیر حساس است و منابع عمیق و کم‌عمق را به‌طور یکسان تفکیک می‌کند. اما در کل با افزایش عمق قرارگیری چشمه بی‌هنجاری، پاسخ این فیلتر برای تصاویر وضوح خود را از دست می‌دهند به‌طوری‌که با افزایش عمق مرز لبه‌های چشمه بی‌هنجاری به‌صورت هاله در می‌آید.

فصل سوم: سیگنال مونوژنیک و

تبدیل ریتز

تاریخچه‌ی استفاده از فیلتر سیگنال مونوژنیک برای آشکارساز لبه‌های توده‌های بی‌هنجاری میدان پتانسیل با معرفی این فیلتر توسط حسن و یکی از روش‌هایی که به‌تازگی به‌عنوان روشی برای آشکارسازی لبه توسط حسن و یالامانچیلی (۲۰۱۳) معرفی شده است، روش سیگنال مونوژنیک است. هیدالگو و باربوسا در سال ۲۰۱۵ روش سیگنال مونوژنیک در مقیاس فضا را بر روی داده‌های مغناطیس انجام داده‌اند، اکنون برای اولین بار به بررسی این روش بر روی داده‌های گرانی‌سنجی پس از اعمال فیلتر سیگنال مونوژنیک بر مدل مصنوعی مغناطیسی، بر روی داده‌های گرانی اعمال شده که در فصل آینده به‌طور کامل به بررسی نتایج اعمال این روش بر روی اثر گرانی مدل‌های مصنوعی و واقعی پرداخته شده است. تشخیص لبه یک بخش مهم در پردازش تصویر به منظور تشخیص ناپیوستگی در یک سیگنال است. در ژئوفیزیک، روش تشخیص لبه به‌طور گسترده‌ای بر روی داده‌های میدان پتانسیل استفاده می‌شود. معمولاً، این روش‌ها فیلترهای مشتق و فازی هستند که اغلب برای شناسایی و مشخص کردن ساختارهای خطی بوجود آمده ناشی از تغییرات زمین‌شناسی و مرزهای منابع مورد استفاده قرار می‌گیرند. فیلترهای برپایه‌ی مشتق با موفقیت در نمایش بی‌هنجاری‌های با طول موج کوتاه که از منابع کوچک و کم‌عمق ناشی شده‌اند، مورد استفاده قرار گرفته‌اند. یکی از معایب فیلترهای مشتق، عملکرد ضعیف آن‌ها در داده‌های نوفه‌دار و کیفیت پایین است. نقطه ضعف دیگر، عملکرد ضعیف آن‌ها در تشخیص بی‌هنجاری‌های تولید شده به‌وسیله‌ی توده‌هایی که به‌طور همزمان در عمق‌های کم و زیاد قرار دارند؛ است. در مقابل، فیلترهای فازی معمولاً به منظور تشخیص ناهنجاری‌هایی با طیف طول‌موج کوتاه و بلند تولید شده توسط منابع کم‌عمق و عمیق استفاده می‌شوند. این امر از لحاظ تئوری امکان‌پذیر است، زیرا فیلترهای فازی بر مبنای نسبت مشتقات هستند، که این امکان را می‌دهند تا دامنه‌های بزرگ و کوچک بی‌هنجاری‌ها به‌خوبی مشخص شوند. یکی از مشکلات تشخیص لبه در داده‌های میدان پتانسیل، تقویت بی‌هنجاری‌های ضعیف و نوفه‌دار

است. به تازگی حسن و یلامانچیلی (۲۰۱۳) روش سیگنال مونوژنیک را برای تشخیص لبه‌ی منابع عمیق مغناطیسی ارائه کرده‌اند. در این پایان‌نامه هدف بر این است تا این روش جدید، بر روی داده‌های گرانی‌سنجی مورد ارزیابی قرار گیرد.

۳-۲ معرفی سیگنال مونوژنیک

سیگنال مونوژنیک از نظر ریاضی، یک تابع مختلط است و با سیگنال یک بعدی (پروفیل داده) به‌عنوان بخش حقیقی و تبدیل هیلبرت به‌عنوان بخش موهومی تعریف می‌شود؛ و به‌طور مشابه، ترکیب یک سیگنال دوبعدی (شبکه برداشت داده) و تبدیل ریتز را سیگنال مونوژنیک می‌نامند (فلسبرگ و سامر، ۲۰۰۱).

نبیقیان (۱۹۸۴) مفهوم کلی سیگنال تحلیلی از مشخصات داده‌های مغناطیسی را با استفاده از تبدیل هیلبرت معرفی کرده است، و نشان می‌دهد که یک رابطه بین گرادیان قائم و افقی از یک تابع میدان پتانسیل و تبدیل تعمیم یافته هیلبرت آن‌ها وجود دارد. سیگنال تحلیلی یک بعدی کاملاً مشخص و شناخته شده است. برای تعمیم سیگنال تحلیلی به دو بعد، تجزیه تعامد باید حفظ شود. نظریه‌ی میدان برداری برای انجام مشتقات در نظر گرفته شده است. توابع تحلیلی^۱ تناظر مستقیمی با میدان‌های هم‌هنگ دو بعدی دارند [Krantz, ۱۹۹۹]. با متناظر ساختن توابع تک بعدی با میدان‌های هم‌هنگ سه بعدی، تبدیل ریتز به‌صورت تبدیل تعمیم دو بعدی تبدیل هیلبرت استخراج می‌شود. بنابراین، زمانی که از دو بعد به سه بعد تغییر یابد، تبدیل ریتز جایگزین تبدیل هیلبرت شده است. در انتها رابطه بنیادی بین میدان‌های پتانسیل هم‌هنگ دو بعدی و سیگنال تحلیلی یک بعدی ایجاد شده است.

^۱ در ریاضیات، این توابع، هولومورفیک نامیده می‌شوند. چنین توابعی، با داشتن بسط سری توانی موضعی حول هر نقطه مشخصه‌یابی می‌شوند.

۳-۳ تبدیل هیلبرت

تبدیل هیلبرت تابع $f(x)$ با رابطه زیر داده می‌شود و معکوس آن با رابطه‌ی (۳-۲) محاسبه می‌شود.

$$F_1(x) = -\frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{f(\acute{x})}{x - \acute{x}} d\acute{x} \quad (1-3)$$

$$f_1(\acute{x}) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{F(x)}{\acute{x} - x} dx \quad (2-3)$$

معادله (۱-۳) کانولوشن $f(x)$ با رابطه‌ی $-\frac{1}{\pi}$ است. بنابراین یک تبدیل فوریه‌ی یک بعدی، با

تبدیل فوریه $f(x)$ ضرب در تبدیل فوریه $-\frac{1}{\pi x}$ حاصل می‌شود. یعنی:

$$F[F_1] = i \operatorname{sgn} F[f] \quad (3-3)$$

همان‌طور که نتیجه می‌شود رابطه (۳-۳) دامنه تابع $f(x)$ را تغییر نمی‌دهد، اما فاز $f(x)$ را برای

$$k > 0 \text{ به اندازه } \frac{\pi}{2} \text{ و برای } k < 0 \text{ به اندازه } -\frac{\pi}{2} \text{ جابه‌جا می‌کند [Blakely, ۱۹۹۶].}$$

یکی از پرکاربردترین فیلترها در تفسیر داده‌های میدان پتانسیل فیلترهای مشتق‌دار و فازی هستند.

این فیلترها در تفسیر داده‌های میدان پتانسیل، جداسازی آنومالی‌های ناحیه‌ای و باقی‌مانده و تخمین

مرز بی‌هنجاری‌ها نقش مفیدی را ایفا می‌کنند. با ترکیب این فیلترها به روش‌های متفاوت اعم از

جابه‌جایی صورت و مخرج و گرفتن مراتب بالاتر مشتق فیلترهای جدیدی به دست می‌آید که

کارایی‌های بیشتری دارند. از آن‌جا که تبدیل هیلبرت دو بعدی کلید طراحی سیگنال تحلیلی دو

بعدی است؛ روش مورد استفاده به نام تبدیل ریتز در بخش بعدی مورد بررسی قرار گرفته است.

۳-۴ تبدیل ریتز

سیستم مختصات دو بعدی کارتزین به وسیله‌ی متغیرهای حقیقی x و y توصیف می‌شود. سیستم

مختصات نشان‌دهنده‌ی صفحه مختلطی است که در هر نقطه از صفحه توسط تعدادی عدد مختلط z

تشکیل شده است. این اعداد به شکل زیر تعریف می‌شوند:

$$z = x + iy \quad z \in \mathbb{C} \quad (4-3)$$

$$i = \sqrt{-1}$$

با معلوم بودن سیگنال $f(x, y)$ ، به صورت $f(x, y) = f(z)$ ، مرتبه ی \ln تبدیل ریتز در

صفحه ی مختلط به شکل زیر تعریف می شود:

$$R^n\{R\{\dots R\{f(z)\}\}\} = -\frac{n}{\sqrt{\pi}} \int_{r \in \mathbb{C}} \frac{f(\tau)}{(z-\tau)^n \|z-\tau\|^{\sqrt{\pi}-n}} d\tau \quad (5-3)$$

$$\tau \in \mathbb{C}, \tau = \tau_x + i\tau_y$$

$$R^n\{R\{\dots R\{f(z)\}\}\} = -\frac{n}{\sqrt{\pi}} \int_{r \in \mathbb{C}} \frac{f(\tau)}{(z-\tau)^n \|z-\tau\|^{\sqrt{\pi}-n}} d\tau \quad (6-3)$$

با توجه به روابط فوق می توان مرتبه ی اول تبدیل ریتز را به شکل زیر نوشت:

$$R^1\{f(z)\} = -\frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_r \frac{(x-\tau_x)}{\|z-\tau\|^{\sqrt{\pi}}} f(\tau) d\tau + i \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_r \frac{(y-\tau_y)}{\|z-\tau\|^{\sqrt{\pi}}} f(\tau) d\tau \quad (7-3)$$

با انتگرال گیری از رابطه فوق در نهایت می توان نوشت:

$$R^1\{f(z)\} = -r_x\{f(z)\} + ir_y\{f(z)\} \quad (8-3)$$

که r_x و r_y به ترتیب مولفه های x و y مرتبه اول تبدیل ریتز سیگنال $f(x, y)$ هستند و به شکل زیر

تعریف شده اند:

$$r_x(f) = \frac{x}{\sqrt{\pi}(x^2 + y^2)^{\frac{\sqrt{\pi}}{2}}} * f(x, y) \quad (9-3 \text{ الف})$$

$$r_y(f) = \frac{y}{\sqrt{\pi}(x^2 + y^2)^{\frac{\sqrt{\pi}}{2}}} * f(x, y) \quad (9-3 \text{ ب})$$

که در آن ستاره (*) نشان دهنده عمل پیچش^۱ است.

سیگنال مونوژنیک به شکل یک بردار سه بعدی به صورت زیر تعریف می شود:

$$m = \begin{bmatrix} f \\ r_x \\ r_y \end{bmatrix} \quad (10-3)$$

^۱ Convolution

که f قسمت زوج سیگنال و r_x و r_y که در معادله‌های (۳-۹ الف) و (۳-۹ ب) به آن‌ها اشاره شده، قسمت فرد سیگنال و m سیگنال مونوژنیک که به صورت بردار سه بعدی نمایش داده شده است. سیستم مختصات سه بعدی تعریف شده توسط مولفه‌های سیگنال مونوژنیک (r_x ، r_y ، f) در شکل (۳-۱) نشان داده شده است.

با توجه به معرفی نمایش سیگنال مونوژنیک به صورت بردار سه بعدی، دامنه، جهت‌گیری و فاز محلی سیگنال را به صورت ذیل می‌توان نوشت:

(۱) دامنه محلی سیگنال مونوژنیک^۱

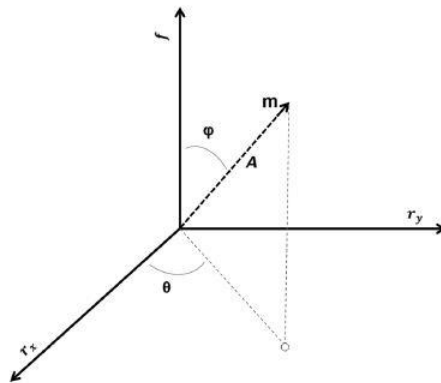
$$A(x, y) = \sqrt{r_x^2 + r_y^2 + f^2} \quad (۳-۱۱)$$

(۲) جهت‌گیری محلی سیگنال مونوژنیک^۲

$$\theta(x, y) = \tan^{-1}\left(\frac{r_y}{r_x}\right) \quad (۳-۱۲)$$

(۳) فاز محلی سیگنال مونوژنیک^۳

$$\varphi(x, y) = \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{r_x^2 + r_y^2}}{f}\right) \quad (۳-۱۳)$$



شکل ۳-۱: نمایش شماتیک بردار m (سیگنال مونوژنیک) در دستگاه مختصات سه بعدی اقلیدسی [Hidalgo and Barbosa, ۲۰۱۵].

^۱ local Amplitude of the Monogenic Signal
^۲ local Orientation of the Monogenic Signal
^۳ local Phase of the Monogenic Signal

۳-۴-۱ تبدیل ریتز در حوزه عدد موج

برای بالا بردن سرعت عملیات فوق می‌توان روابط مربوط به سیگنال مونوژنیک را در فضای فوریه محاسبه نمود. عمل پیچش در فضای زمان، همان عمل ضرب در فضای فوریه است؛ به همین سبب می‌توان از تبدیل فوریه برای محاسبات استفاده کرد. با استفاده از تبدیل فوریه معکوس می‌توان نتایج به دست آمده را به حوزه زمان برگرداند. تبدیل فوریه سیگنال مونوژنیک از فضای مکان به حوزه عدد موج صورت می‌گیرد. تبدیل فوریه توابع $f(x, y)$ ، r_x ، معادله (۳-۶ الف) و r_y معادله (۳-۶ ب) به صورت F ، R_x و R_y می‌باشد. با توجه به قضیه فوریه-کانولوشن، کانولوشن در حوزه فضای (مکان) تبدیل ضرب در حوزه عدد موج است و با استفاده از تبدیلات فوریه می‌توان نوشت:

$$F \left\{ \frac{x}{\sqrt{2\pi(x^2 + y^2)^{3/2}}} \right\} = i \frac{u}{\sqrt{u^2 + v^2}} \quad (۳-۱۴)$$

$$F \left\{ \frac{y}{\sqrt{2\pi(x^2 + y^2)^{3/2}}} \right\} = i \frac{v}{\sqrt{u^2 + v^2}} \quad (۳-۱۵)$$

با داشتن فرض‌های زیر می‌توان فوریه‌ی مولفه‌های x و y در تبدیل ریتز را به صورت زیر نوشت:

$$\begin{cases} f(x, y) \rightarrow F \\ r_x \rightarrow R_x \\ r_y \rightarrow R_y \end{cases}$$

پس از اعمال تبدیل فوریه بر روی مولفه‌های سیگنال مونوژنیک، مولفه‌های R_x و R_y در حوزه عدد

موج به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$R_x(u, v) = i \frac{u}{\sqrt{u^2 + v^2}} F \quad (۳-۱۶)$$

$$R_y(u, v) = i \frac{v}{\sqrt{u^2 + v^2}} F \quad (۳-۱۷)$$

که در آن u و v معکوس طول موجها (عدد موج) در جهت x و y هستند.

۳-۵ سیگنال مونوژنیک در مقیاس فضا

روش سیگنال مونوژنیک در مقیاس فضا^۱، ساختارهای یک تصویر در مقیاس‌های مختلف را با نشان دادن سیگنال به صورت یک پارامتر تک مقیاس بدون تغییر در سایز ساختارها کنترل می‌کند.

پارامتر h درجه وضوح را کنترل می‌کند. با فرض اینکه h همیشه مثبت است رابطه f_p (پواسون در مقیاس فضا) به عنوان کانولوشن سیگنال $f(x,y)$ با توزیع کرنل پواسون به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$f_p(x, y, h) = \frac{h}{\sqrt{2\pi(h^2 + x^2 + y^2)}} * f(x, y) \quad (۱۸-۳)$$

در رابطه فوق عبارت‌های $\frac{h}{\sqrt{2\pi(h^2 + x^2 + y^2)}}$ و $f(x, y)$ به ترتیب، کرنل توزیع پواسون و سیگنال هستند.

اگر h به سمت صفر میل کند، عبارت $f_p(x, y, h) = f(x, y)$ همان خود سیگنال است. هرچه مقدار h بیشتر باشد، جزئیات کمتری از ساختار را نشان می‌دهد. رابطه فوق را می‌توان در حوزه عدد موج به صورت زیر نوشت:

$$F_p \equiv \mathcal{F}\{f_p\} = e^{-\sqrt{2\pi} h \sqrt{u^2 + v^2}} F \quad (۱۹-۳)$$

برای حفظ عدد موج‌های بالا و پایین، فیلتر میان‌گذری، شامل پارامترهای $(h_f$ و $h_c)$ طراحی شده است [Felsberg and sommer, ۲۰۰۴].

فیلتر میان‌گذر مذکور از تفاضل بین مولفه‌های مقیاس فضای پواسون از سیگنال $f(x,y)$ با استفاده از دو پارامتر نسبت پواسون یعنی h_c و h_f تشکیل شده است:

$$P = (e^{-\sqrt{2\pi} h_f \sqrt{u^2 + v^2}} - e^{-\sqrt{2\pi} h_c \sqrt{u^2 + v^2}}) \quad (۲۰-۳)$$

$$F_{bp} = (e^{-\sqrt{2\pi} h_f \sqrt{u^2 + v^2}} - e^{-\sqrt{2\pi} h_c \sqrt{u^2 + v^2}}) F \quad (۲۱-۳)$$

^۱ Scale-space monogenic signal

^۲ $h_c = h_{\text{coarse}}$, $h_f = h_{\text{fine}}$

معادله (۲۱-۳) نشان‌دهنده مولفه مقیاس فضای پواسون سیگنال فیلتر شده $f(x,y)$ به‌وسیله‌ی فیلتر میان‌گذر می‌باشد، که از اختلاف بین ادامه فراسوی سیگنال در دو ارتفاع h_f و h_c صورت گرفته است. فیلتر میان‌گذر ممکن است بعضی از طول موج‌های مورد بررسی سیگنال را تا حدودی و یا به‌طور کامل حذف کند. برای اجتناب از این مورد حدود h_c و h_f تعریف شده است تا بنابر نیاز هر نوع طول موج، پژوهشگر حدود آن را مشخص کند. انتخاب پارامترهای h_c و h_f در معادله‌ی (۲۰-۳) برای داده‌های مغناطیسی با آزمون و خطا به‌وسیله‌ی طول موج‌های میان‌گذر نوفه‌دار انجام می‌شود. مناسب‌ترین مقدار این پارامترها به ابعاد شبکه و سطح نوفه داده وابسته است. در عمل تقریب اولیه برای مقدار پارامترهای h_c و h_f می‌تواند به‌صورت تنظیم h_c نزدیک به فاصله شبکه و مقدار h_f به اندازه ۱۰ درصد کمتر از h_c تعیین شده است. [Hidalgo-Gato and Barbosa, ۲۰۱۵]. همین استدلال نیز برای داده‌های گرانی‌سنجی در این پایان‌نامه استفاده شده است.

همانند سیگنال مونوژنیک ساده، سیگنال مونوژنیک $f(x,y)$ با استفاده از رابطه پواسون در مقیاس فضا که توسط فیلتر میان‌گذر، فیلتر شده به‌صورت یک بردار سه بعدی در حوزه عدد موج به‌صورت معادله (۲۲-۳) تعریف می‌شود:

$$m_p = \begin{bmatrix} f_{bp} \\ R_{xp} \\ R_{yp} \end{bmatrix} \quad (۲۲-۳)$$

دامنه، جهت‌گیری و فاز محلی سیگنال مونوژنیک به‌ترتیب $A(x,y)$ و $\theta(x,y)$ و $\varphi(x,y)$ هستند. از نظر ریاضی دامنه و فاز محلی سیگنال مونوژنیک در مقیاس فضای پواسون به‌وسیله‌ی فیلتر میان‌گذر در دو مرحله محاسبه می‌شود:

مرحله (۱) مولفه‌های بردار m_p با روابط زیر و رابطه f_{bp} محاسبه می‌شوند.

$$R_{xp}(u, v) = i \frac{u}{\sqrt{u^2 + v^2}} F_{bp} \quad (۲۳-۳ \text{ الف})$$

$$R_{yp}(u, v) = i \frac{v}{\sqrt{u^2 + v^2}} F_{bp} \quad (۲۳-۳ \text{ ب})$$

مرحله ۲) تبدیل مولفه‌های m_p به حوزه مکان به وسیله‌ی تبدیل فوریه انتقال داده و در نهایت، دامنه و فاز محلی محاسبه می‌شود.

از مزایای این روش سرعت محاسبات است؛ و همچنین تفسیر موثری از لبه‌های منابع زمین‌شناسی از مجموعه‌ی بزرگ داده را شامل می‌شود.

۳-۶ تفسیر سیگنال مونوژنیک

به‌منظور به‌دست آوردن یک سیگنال تحلیلی دو بعدی مناسب، روش فاز برای سیگنال مونوژنیک معرفی شده است.

۳-۶-۱ فاز سیگنال مونوژنیک

فاز یک سیگنال مختلط، معیاری از چرخش سیگنال حقیقی در صفحه مختلط است. در فاز دو بعدی، محور چرخش به غیر از جهت چرخش، یکتا است. بنابراین، نمایش قطبی عدد مختلط $z = x + iy$ به‌صورت یکتا با $(r, \varphi) = (\sqrt{z\bar{z}}, \arg(z))$ تعریف می‌شود که در آن، $\arg(z)$ با رابطه زیر تعریف می‌شود:

$$\arg(z) = \operatorname{atan}_2(y, x) = \operatorname{sign}(y) \operatorname{atan}(|y|/|x|) \quad (3-24)$$

$$\operatorname{atan}(\cdot) \in [0, \pi]$$

که در آن ضریب $\operatorname{sign}(y)$ جهت چرخش را نشان می‌دهد. با این تعریف، اعداد حقیقی منفی تکین هستند زیرا زاویه π در جهت چرخش‌های مثبت و منفی می‌باشد.

در فضای سه بعدی، محور چرخش با بردار واحد سه بعدی نمایش داده می‌شود. تعمیم ساده‌ی زاویه دو بعدی، برداری است که طول آن متناظر با زاویه چرخش و جهت آن متناظر با محور چرخش است. این بردار، بردار چرخش نامیده می‌شود. در نتیجه، یک تابع جدید با بردار چرخشی مطابق معادله (۳-۲۵) تعریف شده است. این تابع، چرخش $(0, 0, |x|)^T$ را در X و شکل (۳-۲) نمایش فاز با استفاده از بردار چرخش φ با $x \neq 0$ را نشان می‌دهد:

$$\operatorname{atan}^{\mathfrak{z}}(x) = \frac{X_D}{|X_D|} \operatorname{atan}\left(\frac{|X_D|}{\langle (\cdot, \cdot, |x|)^T, x \rangle}\right) \quad (25-3)$$

که در آن $X_D = (-x_2, x_1, \cdot)^T$ می‌باشد.

در صورتیکه $x = (\cdot, \cdot, -|x|)^T$ باشد، یک تکینگی وجود دارد. اندازه بردار چرخش، با π تعریف می‌شود، اما محور چرخش در زیرفضای دو بعدی در جهت عمود بر x است. بنابراین، هر بردار چرخشی در زیرفضای جوابی از معادله (25-3) است.

با استفاده از معادله (25-3) فاز سیگنال مونوژنیک به صورت معادله (26-3) تعریف می‌شود.

$$\varphi(x) = \operatorname{atan}^{\mathfrak{z}}(f_M(x)) \stackrel{\text{def}}{=} \arg(f_M(x)) \quad (26-3)$$

که در آن، f_M میدان برداری است به گونه‌ای که $f_M = (i, j, \cdot)f_M$

$$|f_M(x)| = \sqrt{f_M(x)f_M(x)} = \sqrt{f^2 + |f_R(x)|^2} \quad (27-3)$$

تعاریف فاز محلی معادله (26-3) و دامنه محلی معادله (28-3)، تبدیل مختصات قطبی است. با

داشتن فاز محلی $\varphi(x)$ و دامنه محلی $|f_M(x)|$ سیگنال مونوژنیک، می‌توان آن را با رابطه زیر

جایگزین کرد:

$$f_M(x) = |f_M(x)| \exp((-j, i, \cdot)\varphi(x)) \quad (28-3)$$

با استفاده از تعریف فاز مونوژنیک، مشخص می‌شود که دامنه و فاز در حقیقت متعامد هستند [T.

Bülow, ۱۹۹۹]. دامنه محلی، شامل اطلاعات فیزیکی و فاز حاوی اطلاعات ساختاری است. بر خلاف

حالت یک بعدی، فاز همچنین شامل اطلاعات هندسی می‌باشد.

اکنون با تعمیم سیگنال تحلیلی به دو بعد سیگنال مونوژنیک به صورت تحلیلی به دست آمده است.

این سیگنال تحلیلی دو بعدی، بر اساس تبدیل ریتز است و خصوصیات سیگنال تحلیلی یک بعدی را

حفظ می‌کند. برخلاف روش‌های پیشین در تشخیص لبه، این روش همسانگرد است و به طور همزمان

اطلاعات فیزیکی، ساختاری و هندسی توده‌ی مورد نظر را نشان می‌دهد. اطلاعات وارد شده در

سیگنال، به صورت متعامد به وسیله دامنه، فاز و جهت گیری محلی، به اطلاعات فیزیکی، ساختاری و هندسی تجزیه می شود.

کاربردهای متعددی برای سیگنال مونوژنیک تحقق یافته اند که شامل: تخمین جهت گیری محلی، آشکارسازی لبه و حذف نویز تصویر می باشد.

سیگنال مونوژنیک و کاربردهای آن با جبرهندسی راحت تر فرمول بندی می شود، بنابراین می توان آن را به روشی با ابعاد دلخواه تعمیم داد. ضمناً به طور معمول نماد برداری برای نمایش سیگنال مونوژنیک انتخاب می شود. جبر چهارگان^۱ (جبرهندسی خاصی است) ابزاری مناسب در جهت محاسبه هندسی می باشد. تنها لازم است که با استفاده از آن برخی از جزئیات فرمول بندی شود. با این وجود در مورد استفاده از کاربردها، لازم نیست که از جبر هندسی استفاده شود. سیگنال مونوژنیک، به طور معمول به وسیله هم آمیخت کرنل مقادیر اندازه گیری شده به دست می آید [felsberg and sommer, ۲۰۰۱].

۳-۷ روابط بین تبدیل ریتز و مولفه های میدان پتانسیل

با در نظر گرفتن میدان پتانسیل به صورت $U(x, y, z) \equiv U$ در دستگاه مختصات دکارتی، در صورتیکه تغییرات جرم صفر باشد در معادله ی لاپلاس $\nabla^2 U = 0$ صدق می کند، رابطه ی میدان نیروی پایستار سه بعدی F با میدان پتانسیل U را می توان به صورت زیر نوشت:

$$F = \nabla U \quad (۳-۲۹)$$

سه مولفه کارتزین نیروی میدان در سه جهت متعامد در معادله (۳-۳۰) نشان داده شده است.

^۱ Algebra of Quaternions

$$F \equiv \begin{bmatrix} f_x \\ f_y \\ f_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial U}{\partial x} \\ \frac{\partial U}{\partial y} \\ \frac{\partial U}{\partial z} \end{bmatrix} \quad (30-3)$$

در حوزه‌ی عدد موج، مولفه‌های قائم و افقی میدان نیرو به صورت زیر تعریف می‌شوند.

$$F\{f_x\} \equiv F\left\{\frac{\partial U}{\partial x}\right\} = iuF\{U\} \quad (\text{الف } 31-3)$$

$$F\{f_y\} \equiv F\left\{\frac{\partial U}{\partial y}\right\} = ivF\{U\} \quad (\text{ب } 31-3)$$

$$F\{f_z\} \equiv F\left\{\frac{\partial U}{\partial z}\right\} = \sqrt{u^2 + v^2}F\{U\} \quad (32-3)$$

از این رو $f_z = \frac{\partial U}{\partial z}$ مولفه قائم میدان نیرو، می‌توان معادله‌های (3-16) و (3-17) را به شکل زیر بازنویسی کرد.

$$R_x(u, v) = i \frac{u}{\sqrt{u^2 + v^2}} F\left(\frac{\partial U}{\partial z}\right) = iuF(U) \quad (\text{الف } 33-3)$$

$$R_y(u, v) = i \frac{v}{\sqrt{u^2 + v^2}} F\left(\frac{\partial U}{\partial z}\right) = ivF(U) \quad (\text{ب } 33-3)$$

باتوجه به محاسبه مرتبه اول تبدیل ریتز مولفه قائم f_z در حوزه‌ی عدد موج، تبدیل فوریه‌ی

مولفه‌های f_x و f_y به صورت زیر می‌توان نوشت:

$$R_x = F(f_x) \quad (\text{الف } 34-3)$$

$$R_y = F(f_y) \quad (\text{ب } 34-3)$$

با تبدیل فوریه‌ی معکوس، r_x و r_y به حوزه مکان (فضا) می‌توان انتقال داد.

$$r_x(f_z) = f_x \quad (\text{الف } 35-3)$$

$$r_y(f_z) = f_y \quad (\text{ب } 35-3)$$

۳-۸ مقایسه دامنه و فاز سیگنال مونوژنیک با سیگنال تحلیلی و زاویه تمایل

با داشتن معادله‌های (3-33 الف) و (3-33 ب) به راحتی می‌توان رابطه بین سیگنال مونوژنیک و سیگنال تحلیلی سه بعدی و زاویه تمایل را اثبات کرد. همان طور که در معادله‌ی (3-33)، دامنه

محلّی سیگنال مونوژنیک تعریف شده است، می توان مولفه قائم نیروی میدان پایستار دامنه مونوژنیک سیگنال را به صورت معادله ی (۳۶-۳) تعریف کرد.

$$A(x, y) = \sqrt{f_x^2 + f_y^2 + f_z^2} \quad (36-3)$$

معادله فوق، دامنه سیگنال تحلیلی سه بعدی پتانسیل اسکالر $U(x, y, z) \equiv U$ میدان نیروی پایستار F می باشد.

$$A(x, y) = \sqrt{\left(\frac{\partial U}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial U}{\partial z}\right)^2} \quad (37-3)$$

معادله ی (۳۷-۳) به عنوان دامنه سیگنال تحلیلی سه بعدی شناخته شده نیست [Roset et al., Nabighian et al., ۲۰۰۵; ۱۹۹۲].

به همین ترتیب با داشتن معادله (۱۳-۳) و معادله های (۳۳-۳ الف) و (۳۳-۳ ب) مولفه قائم نیروی میدان پایستار فاز محلّی مونوژنیک سیگنال را به شکل زیر می توان نوشت:

$$\varphi(x, y) = \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{f_x^2 + f_y^2}}{f_z}\right) \quad (38-3)$$

رابطه ی فوق به معادله ی فیلتر زاویه تمایل شباهت دارد. دامنه تغییرات فاز محلّی سیگنال مونوژنیک همانند فیلتر زاویه تمایل بین $-\frac{\pi}{4}$ ، $+\frac{\pi}{4}$ می باشد. برخلاف فیلتر زاویه ی تمایل که در قسمت مرزها مقدارش صفر می باشد، فاز محلّی سیگنال مونوژنیک بر روی لبه دارای مقدار بیشینه است.

در این فصل به طور کامل به تئوری و فرمول بندی روش فیلتر سیگنال مونوژنیک پرداخته شده و در فصل چهارم عملکرد این روش بر روی داده های مصنوعی و واقعی مورد بررسی قرار گرفته است.

فصل چهارم: بررسی داده‌های

مصنوعی و واقعی

۴-۱ مقدمه

در فصل‌های گذشته روابط ریاضی لازم برای تولید فیلتر سیگنال مونوژنیک پواسون در مقیاس فضا معرفی شده‌اند. چنانچه قبلاً نیز ذکر شده بود یکی از اهداف اصلی در تفسیر داده‌های میدان پتانسیل در ژئوفیزیک اکتشافی، تعیین موقعیت لبه‌های توده‌های بی‌هنجار زیر سطحی است، بنابراین فیلترهایی را برای شناسایی موقعیت لبه‌های توده‌های بی‌هنجار که از نسبت مشتقات، تبدیل‌های مختلف مانند ریتز و هیلبرت و عامل‌های فاز محلی داده‌های گرانی برای تقویت و بارزسازی لبه‌های این نوع توده‌ها استفاده می‌کنند، مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. لازم به ذکر است مقادیر انتخاب شده برای پارامترهای پواسون فیلتر میان‌گذر h_c و h_f بر روی داده‌های گرانی، مطابق با همان استدلال ذکر شده در فصل سوم می‌باشد.

در این فصل هدف بررسی کارایی این فیلترها و تبدیل‌ها در حیطه‌ی کاربرد روی داده‌های مصنوعی و واقعی است. به این دلیل نخست با ساخت مدل‌های مصنوعی مختلف اعم از یک مدل مغناطیسی و دو مدل گرانی، و محاسبه مقدار مغناطیس و گرانی ناشی از آن‌ها پرداخته می‌شود. سپس با استفاده از مدل‌های مصنوعی مذکور و داده‌های ناشی از آن‌ها، فیلتر سیگنال مونوژنیک در مقیاس فضا و فیلترهای زاویه تمایل و دامنه سیگنال تحلیلی مورد بحث در فصول قبل را بر آن‌ها اعمال کرده و از نتایج به‌دست آمده مزایا و معایب این روش‌ها مورد نقد و بررسی قرار گرفته شده است. همچنین از این فیلترها در پردازش و تفسیر داده‌های واقعی گرانی استفاده می‌شود تا میزان عملکرد آن‌ها در داده‌های واقعی مشخص شود.

۴-۲ اعمال فیلترها بر مدل‌های مصنوعی

۴-۲-۱ مدل مصنوعی سطح شیب‌دار مغناطیسی

یکی از راهکارهای مناسب برای محاسبه دقت روش‌های مختلف پردازش داده، اعمال این روش‌ها بر مدل‌های فرضی و از پیش تعیین شده است. برای این منظور، با هر یک از روش‌های پردازشی،

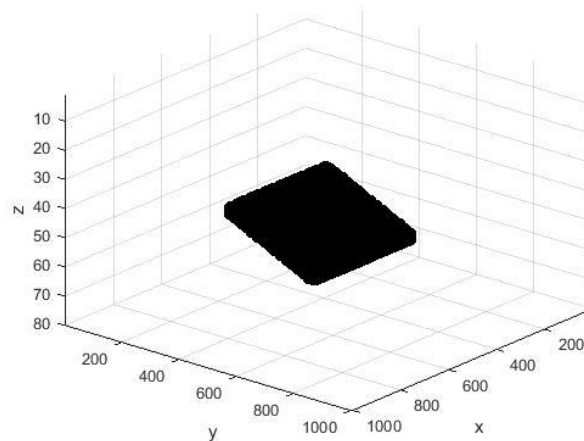
پارامترهای مدل هدف، محاسبه شده و با مقادیر اولیه آن‌ها مقایسه می‌شود. بنابراین می‌توان دقت هر روش را در برآورد پارامترهای اولیه مدل تعیین نمود. در این بررسی ابتدا مدلی متشکل از یک منشور مغناطیسی با مشخصات زیر در نظر گرفته شده است.

جدول ۴-۱: مشخصات مدل مصنوعی سطح شیب‌دار مغناطیسی

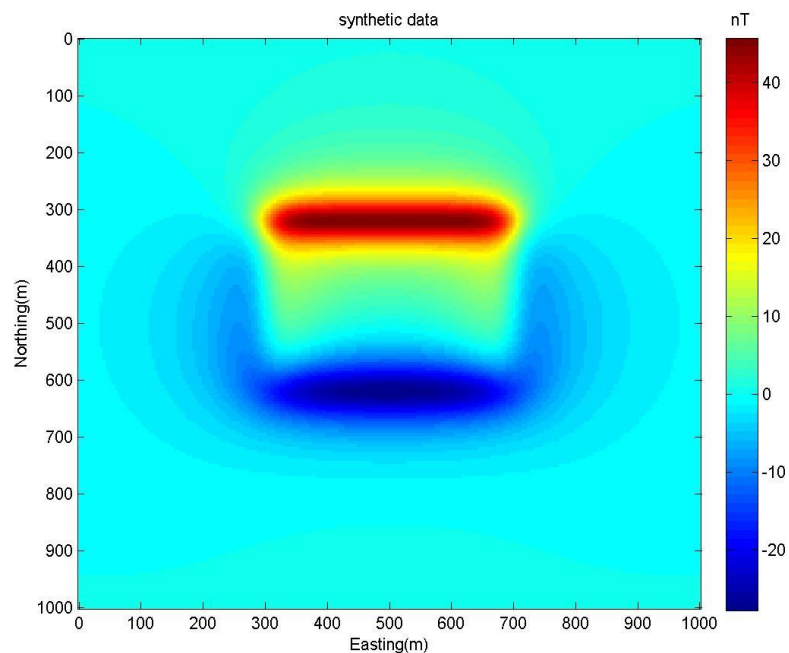
X(m)	Y(m)	Z(m)	In	De	K	B(nT)
[۷۰۰-۳۰۰]	[۳۲۰-۳۰۰]	[۴۲-۴۰]	۴۵°	۰°	۰,۰۴	۱۵۰۰۰

یک سطح شیب‌دار مغناطیسی، همانطور که در جدول (۴-۱) نشان داده شده، با تغییرات عمقی ۴۰ تا ۴۲ متر را در محیط نرم‌افزار متلب ساخته شده است؛ ابعاد شبکه‌ی برداشت ۵×۵ کیلومتر مربع و فاصله‌ی نمونه برداری در هر دو راستای x و y ، برابر ۵۰ متر می‌باشد. میدان ژئومغناطیسی این مدل با زاویه میل^۱ ۴۵ درجه و زاویه انحراف^۲ صفر و برای محاسبه سیگنال مونوژنیک در مقیاس فضای یواسون حدود h_c و h_f ، به ترتیب ۵۰ و ۴۵ متر مطابق با فاصله برداشت با همان واحد در نظر گرفته شده است.

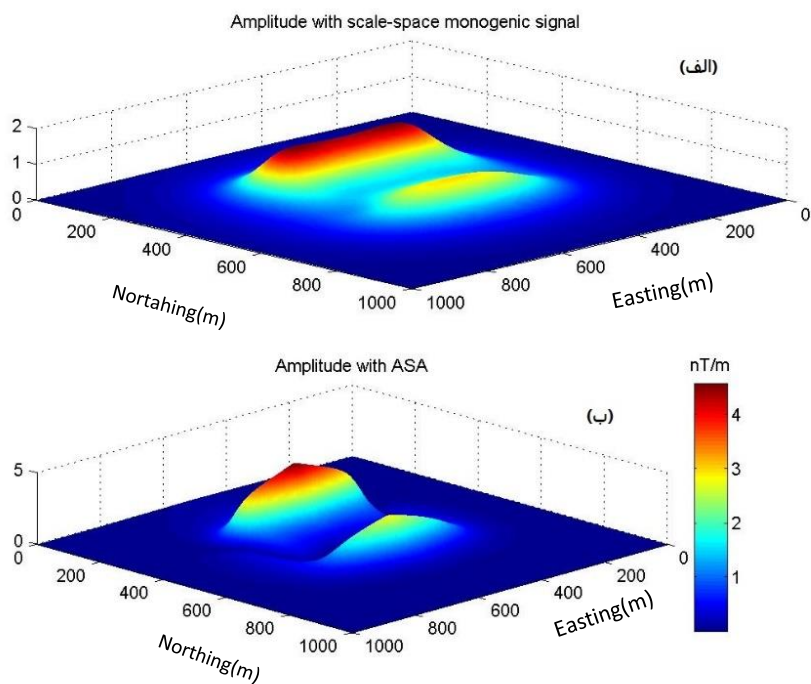
^۱ Inclination
^۲ Declination



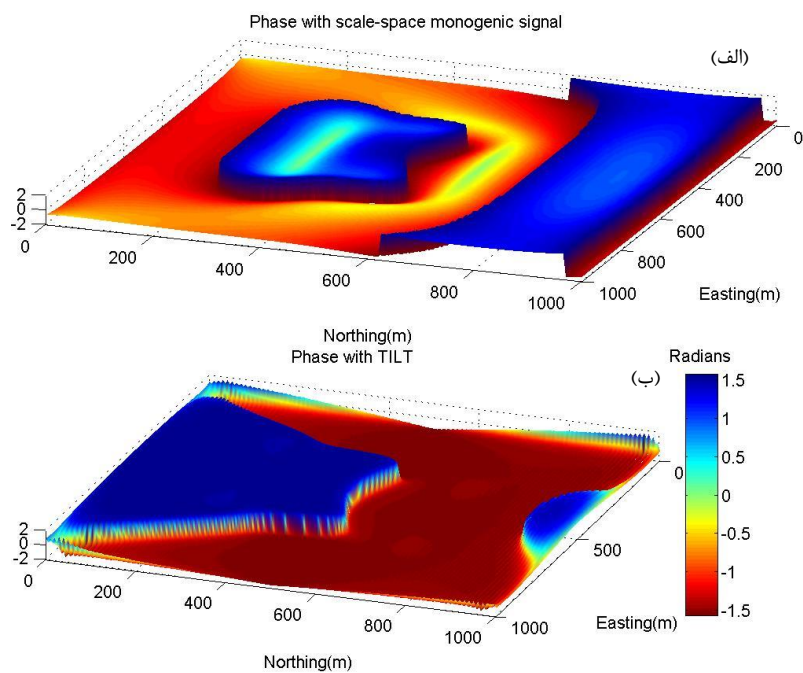
شکل ۴-۱: مدل مصنوعی سطح شیب‌دار مغناطیسی [Felsberg and Sommer, ۲۰۱۵].
 اثر مغناطیسی این مدل محاسبه شده و خروجی آن در شکل (۲-۴) نشان داده شده است. فیلتر سیگنال مونوژنیک و فیلترهای زاویه تمایل و دامنه سیگنال تحلیلی بر این مدل اعمال شده و نتایج در شکل‌های (۳-۴) و (۴-۴) که به ترتیب فیلترهای مبتنی بر مشتق و فیلترهای مبتنی بر فاز هستند، مورد بررسی قرار گرفته است.



شکل ۴-۲: نقشه بی‌هنجاری مغناطیس محاسبه شده حاصل از مدل مصنوعی سطح شیب‌دار.



شکل ۴-۳: نمایش سه بعدی اثر اعمال فیلتر تشخیص لبه بر روی اثر مغناطیس مدل مصنوعی سطح شیب‌دار. (الف) اعمال فیلتر دامنه سیگنال مونوژنیک. (ب) اعمال فیلتر دامنه سیگنال تحلیلی.

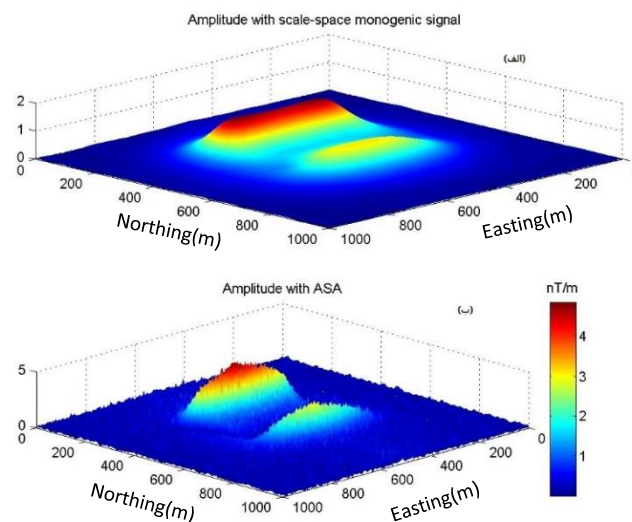


شکل ۴-۴: نمایش سه بعدی اثر اعمال فیلتر تشخیص لبه بر روی اثر مغناطیس مدل مصنوعی سطح شیب‌دار مغناطیسی. (الف) اعمال فیلتر فاز محلی سیگنال مونوژنیک. (ب) اعمال فیلتر زاویه تمایل.

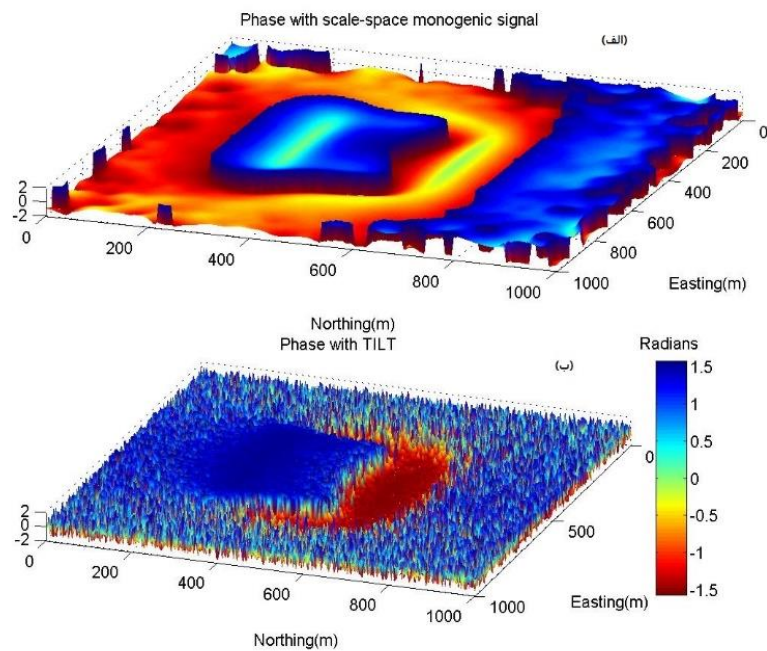
با توجه به شکل (۳-۴) و (۴-۴) مشخص شده است که نه فیلتر دامنه سیگنال تحلیلی و نه فیلتر زاویه تمایل نتوانسته‌اند به‌طور واضح لبه‌های جسم را مشخص کنند. در حالی که قسمت فاز محلی سیگنال مونوژنیک با حدود انتخابی پارامترهای پواسون توانسته مرزهای مدل مصنوعی شیب‌دار را نسبت به فیلتر زاویه تمایل به خوبی مشخص کند.

جهت بررسی کارایی فیلترهای مورد استفاده با وجود نوفه، به مدل مصنوعی سطح شیب‌دار مغناطیسی نوفه‌ی تصادفی با بزرگی ۵ درصد مقدار میانگین بی‌هنجاری اضافه شده و نتایج در شکل‌های (۴-۵) و (۴-۶) نشان داده شده است.

دامنه محلی سیگنال مونوژنیک با حدود انتخابی h_c و h_f با وجود اینکه مانع از تشدید نوفه شده است اما شباهت زیادی با فیلتر دامنه سیگنال تحلیلی دارد و نتوانسته به خوبی همانند عملکرد دامنه سیگنال تحلیلی، عمیق‌ترین لبه توده را تشخیص دهد. در مقابل، فیلتر فاز محلی سیگنال مونوژنیک شکل (۴-۶ ب) بدون تشدید نوفه توانسته به خوبی تمام مرزهای توده را نشان دهد، و این به‌خاطر قرار گرفتن مقدار بیشینه فاز محلی سیگنال مونوژنیک بر روی لبه توده است.



شکل ۴-۵: اعمال نوفه تصادفی بر مدل مصنوعی سطح شیب‌دار مغناطیسی جهت بررسی دامنه. شکل (الف) نتیجه تشخیص مرز بی‌هنجاری بعد از اعمال فیلتر دامنه سیگنال مونوژنیک. شکل (ب) نتیجه تشخیص مرز بی‌هنجاری بعد از اعمال فیلتر دامنه سیگنال تحلیلی.



شکل ۴-۶: اعمال نوفه تصادفی بر مدل مصنوعی سطح شیب‌دار مغناطیسی جهت بررسی فاز. شکل (الف) نتیجه تشخیص مرز بی‌هنجار بعد از اعمال فیلتر فاز سیگنال مونوژنیک. شکل (ب) نتیجه تشخیص مرز بی‌هنجار بعد از اعمال فیلتر زاویه تمایل.

۴-۲-۲ مدل مصنوعی ۵ توده بی‌هنجار

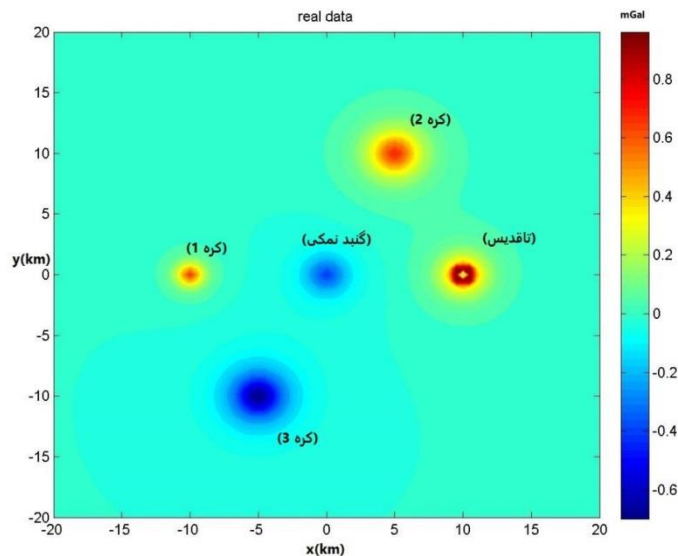
برای بررسی کارایی فیلترهای دامنه سیگنال مونوژنیک و سیگنال مونوژنیک در مقیاس فضا، در شناسایی مرزهای توده‌های بی‌هنجار، مدل مصنوعی شامل پنج توده بی‌هنجار در عمق‌های مختلف و شعاع‌های متفاوت به گونه‌ای طراحی شده است که هر دو نوع تباین چگالی مثبت و منفی را دارا باشد، مشخصات مدل مصنوعی مورد نظر در جدول (۴-۲) آمده است. شبکه در نظر گرفته شده دارای ابعاد 40×40 کیلومتر مربع است. فواصل برداشت داده در هر دو راستای x و y ، 0.5 کیلومتر می‌باشد. در شکل (۴-۷) مقدار گرانی حاصل از مدل مصنوعی توده بی‌هنجار نشان داده شده است. پارامترهای به ترتیب $h_c = 0.5$ و $h_f = 0.45$ انتخاب شده است.

جدول ۴-۲: مشخصات مدل مصنوعی شامل ۵ توده بی‌هنجار

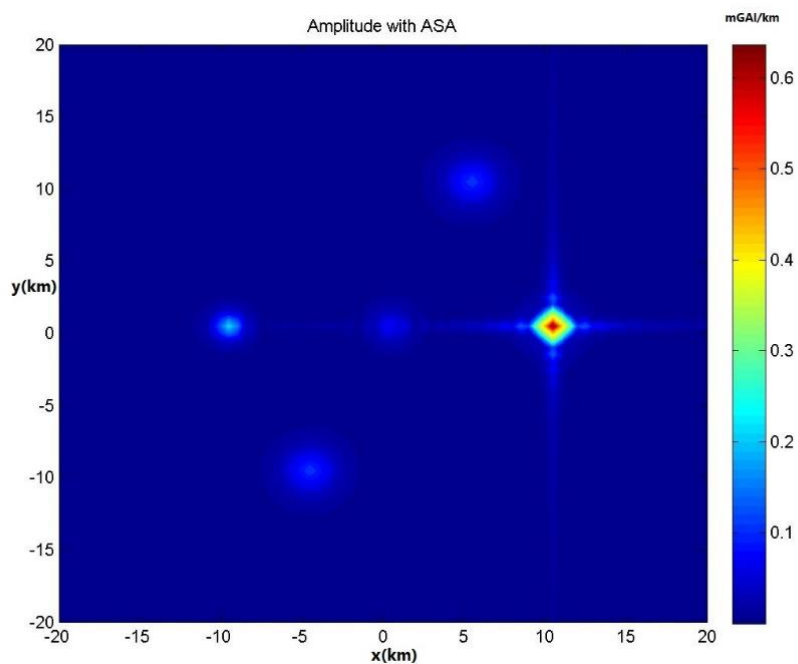
توده بی‌هنجاری	کره ۱	کره ۲	کره ۳	تاقدیس	گنبد نمکی
مختصات x	-۱۰	۵	-۵	۱۰	۰
مختصات y	۰	۱۰	-۱۰	۰	۰
عمق نسبت به مرکز یا بالا (کیلومتر)	۱	۲	۲	۱/۵	۱
شعاع (کیلومتر)	۰/۵	۱	۱	W=۲, H=۲	۱
تباين چگالی (گرم/سانتیمتر مکعب)	۰/۲	۰/۱	-۰/۱	-۰/۱ و +۰/۱	-۰/۲

مقدار بی‌هنجاری گرانی به دست آمده حاصل از هر توده بی‌هنجار، محاسبه شده، و در شکل (۴-۷)

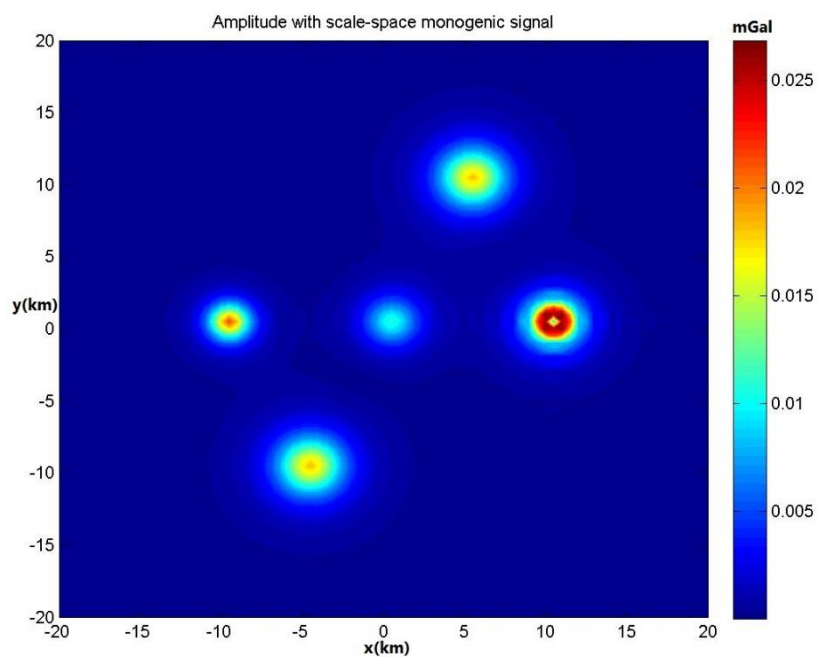
نمایش داده شده است. فیلترهای مناسب جهت تشخیص مرز توده‌های بی‌هنجاری بر روی مدل مصنوعی فوق اعمال شده است.



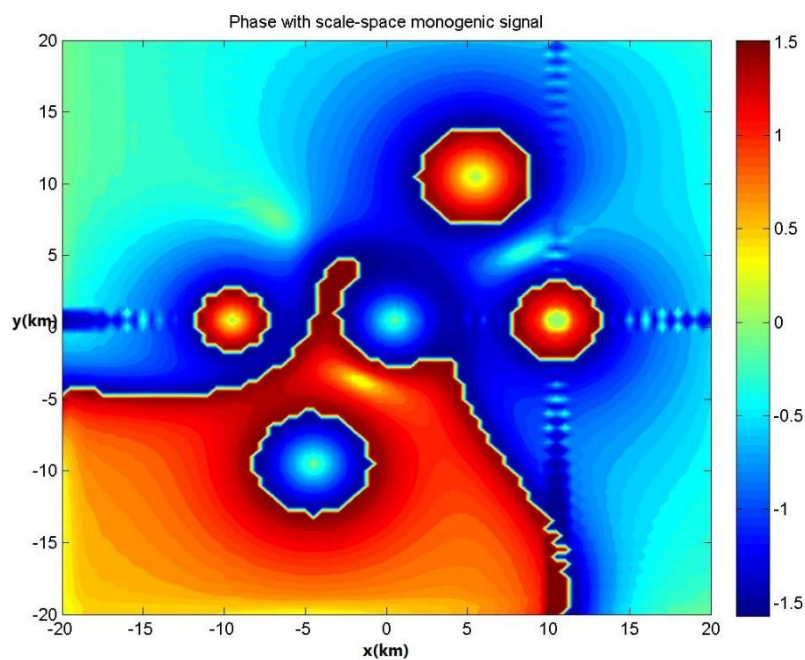
شکل ۴-۷: نقشه بی‌هنجاری گرانی محاسبه شده حاصل از مدل مصنوعی با ۵ توده بی‌هنجار.



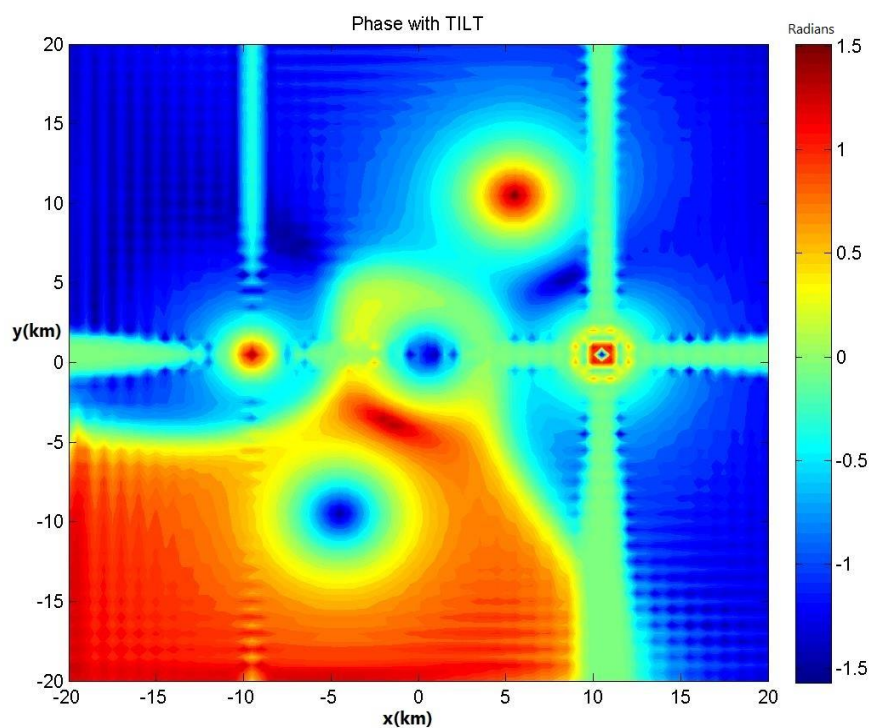
شکل ۴-۸: اعمال فیلتر دامنه سیگنال تحلیلی بر روی اثر گرانی مدل مصنوعی ۵ توده بی‌هنجار.



شکل ۴-۹: اعمال دامنه سیگنال مونوژنیک در مقیاس فضا بر روی اثر گرانی مدل مصنوعی با ۵ توده بی‌هنجار.



شکل ۴-۱۰: اعمال فاز محلی سیگنال مونوژنیک بر روی اثر گرانی مدل مصنوعی با ۵ توده بی‌هنجار.

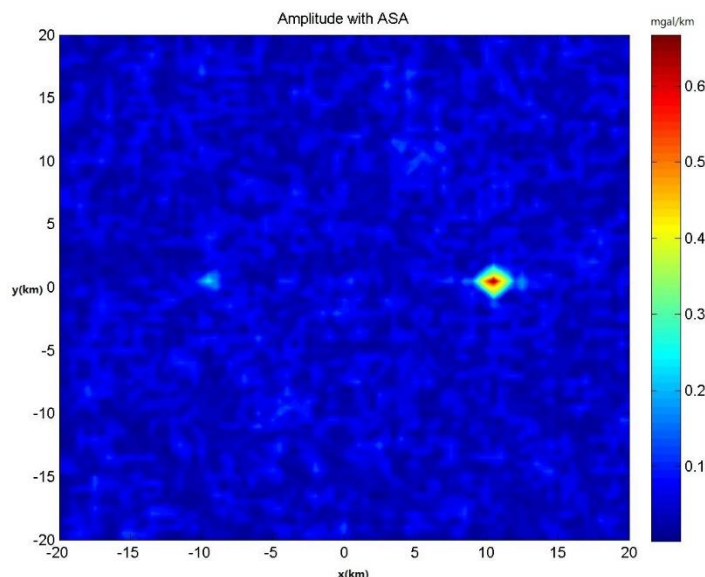


شکل ۴-۱۱: اعمال فیلتر زاویه تمایل بر روی اثر مدل مصنوعی با ۵ توده بی‌هنجار.

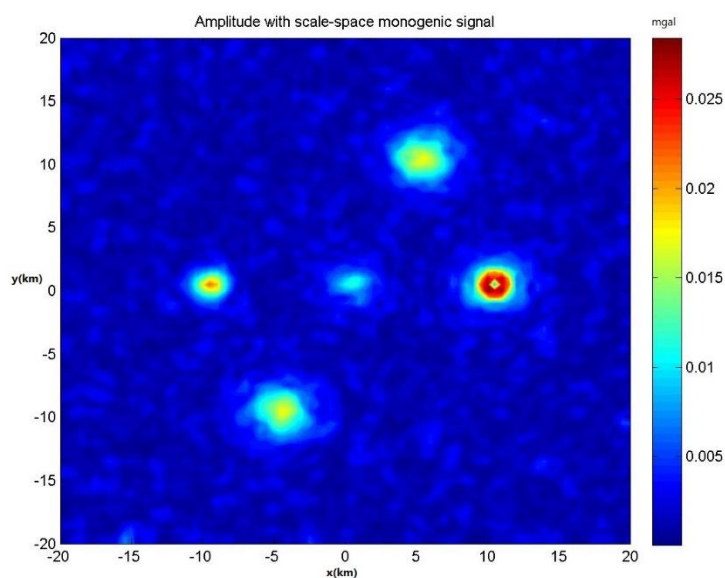
شکل‌های (۴-۸) و (۴-۹) به ترتیب نقشه بی‌هنجاری گرانی حاصل از اعمال فیلتر دامنه سیگنال تحلیلی و دامنه سیگنال مونوژنیک را نشان می‌دهد. به طور کلی هر دو فیلتر موقعیت‌های ۵ مدل را

نمایش داده‌اند، اما فیلتر دامنه سیگنال مونوژنیک توانسته علاوه بر تشخیص بهتر موقعیت توده‌ها، مقدار بی‌هنجاری هر یک از آن‌ها را نشان بدهد. در شکل‌های (۴-۱۰) و (۴-۱۱) فیلترهای زاویه تمایل و فاز محلی سیگنال مونوژنیک بر روی اثر گرانی این مدل مصنوعی اعمال شده است. حدود لبه توده‌های بی‌هنجار به خوبی پس از اعمال فیلتر فاز محلی سیگنال تحلیلی قابل مشاهده است؛ و این به خاطر خاصیت تقویت عدد موج‌های پایین و بالا در فیلتر داخلی پواسون سیگنال مونوژنیک در مقیاس فضا می‌باشد.

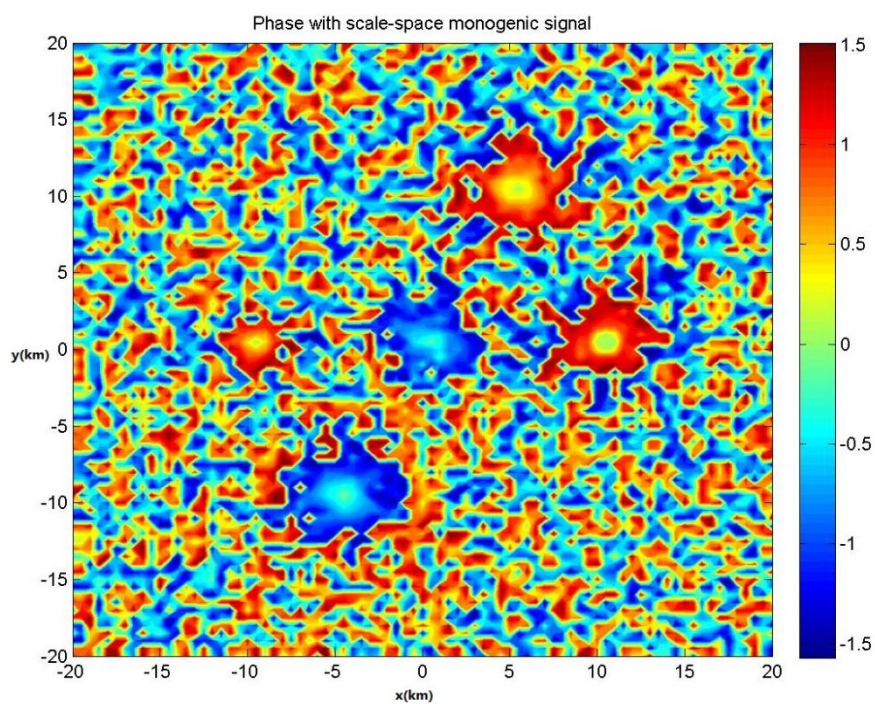
برداشت‌های ژئوفیزیکی همواره دارای نوفه‌های تصادفی هستند و بی‌هنجاری برداشت شده مجموعه ای از سیگنال‌های مفید و نوفه می‌باشد. به منظور حساسیت فیلترها با وجود نوفه، به مدل‌ها نوفه تصادفی با بزرگی ۱ درصد مقدار میانگین بی‌هنجاری اضافه شده است که نتایج حاصل از اعمال فیلترها با همان حدود فیلتر میان‌گذر بر روی مدل مصنوعی در شکل‌های (۴-۱۱) تا (۴-۱۴) نشان داده شده است.



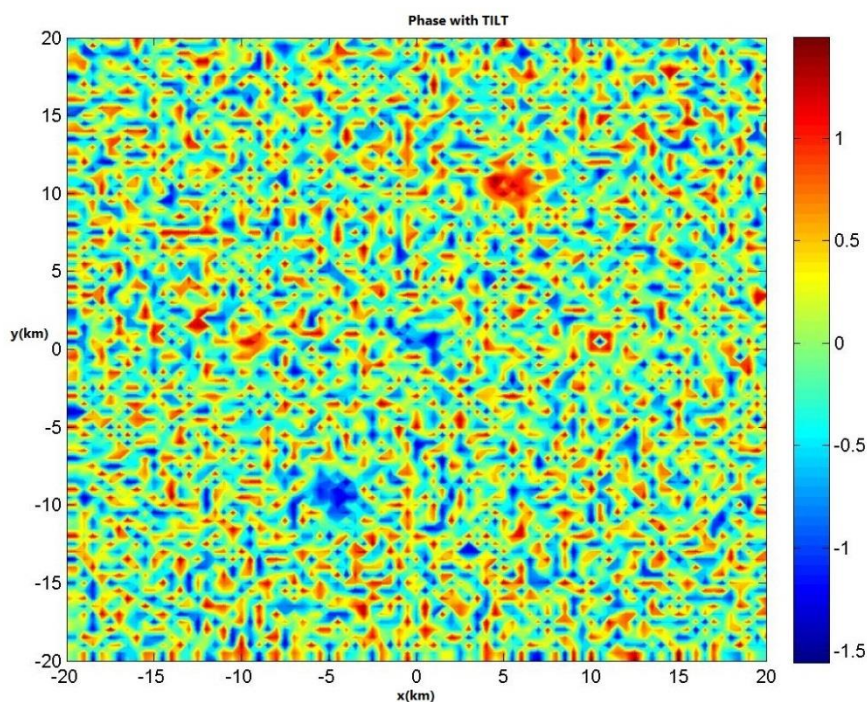
شکل ۴-۱۲: اعمال فیلتر دامنه سیگنال تحلیلی بر اثر گرانی روی مدل مصنوعی با ۵ توده بی‌هنجار به همراه نوفه.



شکل ۴-۱۳: اعمال فیلتر دامنه سیگنال مونوژنیک در مقیاس فضا بر روی اثر گرانی روی مدل مصنوعی با ۵ توده بی‌هنجار به همراه نوفه.



شکل ۴-۱۴: اعمال فیلتر فاز محلی سیگنال تحلیلی در مقیاس فضا بر روی اثر گرانی روی مدل مصنوعی با ۵ توده بی‌هنجار به همراه نوفه.



شکل ۴-۱۵: اعمال فیلتر زاویه تمایل بر روی اثر گرانی روی مدل مصنوعی با ۵ توده بی‌هنجار به همراه نوفه.

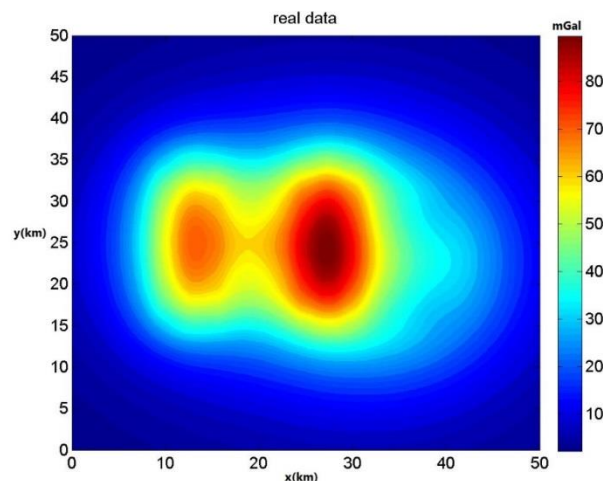
همانطور که انتظار می‌رفت، بنابر حساسیت فیلترهای زاویه تمایل و سیگنال تحلیلی در حضور نوفه، فیلتر سیگنال مونوژنیک به دلیل عملکرد خوب در تشخیص مرز توده‌های بی‌هنجار با وجود نوفه، حدود مرزهای لبه را بهتر از سیگنال تحلیلی و زاویه تمایل تشخیص داده است. علاوه بر آن از آنجا که در حوزه فاز فیلتر زاویه تمایل به عمق ناهنجاری حساس می‌باشد، نتوانسته موقعیت‌های پنج توده را به خوبی تشخیص دهد، در حالیکه فاز محلی سیگنال مونوژنیک در حضور نوفه به خوبی موقعیت توده‌ها را شناسایی کرده است. از مقایسه شکل‌های (۴-۱۲) و (۴-۱۳) در حوزه دامنه می‌توان عملکرد سیگنال مونوژنیک را نسبت به دامنه سیگنال تحلیلی به خوبی مشاهده کرد. در حضور نوفه دامنه سیگنال تحلیلی تا حدودی موقعیت تاقدیس و گنبد نمکی را نشان داده است، در شکل (۴-۱۳) دامنه سیگنال مونوژنیک در مقیاس فضا موقعیت پنج بی‌هنجاری را به خوبی نمایش داده است. می‌توان نتیجه گرفت که کره (۱) به دلیل چگالی بیشتر و نزدیک بودنش به سطح زمین با وجود شعاع کم و کره (۲) و (۳) برخلاف کره (۱) در سطح پایین‌تری قرار دارند؛ اما به دلیل شعاع بیشترشان نسبت به

کره (۱) به خوبی در تصویر نمایش داده شده‌اند. استدلال به کار گرفته شده برای کره (۳ و ۲) را می‌توان برای توده تاقدیس شکل مورد استفاده قرار داد.

۳-۲-۴ مدل مصنوعی هورست^۱ و گرابن^۲

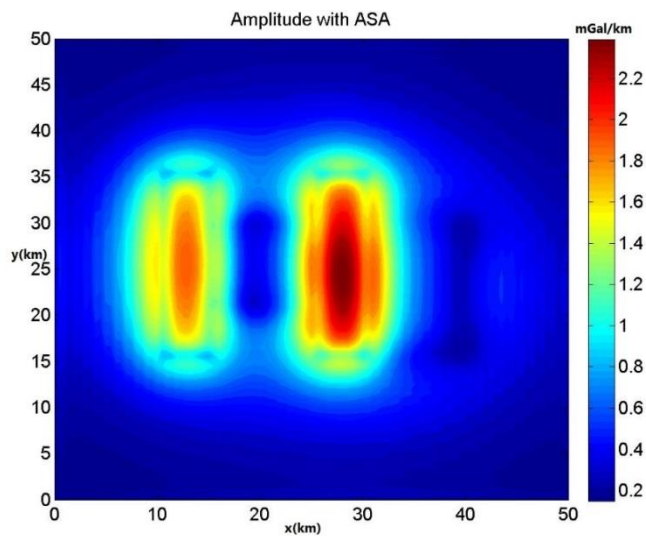
از آنجایی که فیلترهای تشخیص لبه علاوه بر حساسیت به نوفه، به تغییرات عمقی و لبه‌های بی‌هنجاری هم وابسته هستند، یک مدل مصنوعی به شکل هورست و گرابن، ساخته و عملکرد فیلتر سیگنال مونوژنیک را برای حالت غیر شیب‌دار مورد ارزیابی قرار گرفته شده است. این مدل مصنوعی از ۴ منشور مستطیل شکل با عمق‌های متفاوت در کنار هم تشکیل شده و ابعاد شبکه 50×50 کیلومتر مربع است. فواصل برداشت در هر دو راستای x و y ، 0.5 کیلومتر می‌باشد.

پس از نوشتن کد متلب مربوط به این مدل، اثر بی‌هنجاری گرانی حاصل از آن محاسبه شده و سپس فیلترهای مورد بررسی جهت تشخیص لبه بر روی این مدل اعمال گردیده است. پارامترهای فیلتر میان‌گذر سیگنال مونوژنیک $hc=0.5$ و $hf=0.45$ انتخاب شده است. نتیجه عملکرد فیلترها در شکل‌های (۴-۱۶) تا (۴-۲۰) قابل مشاهده است.

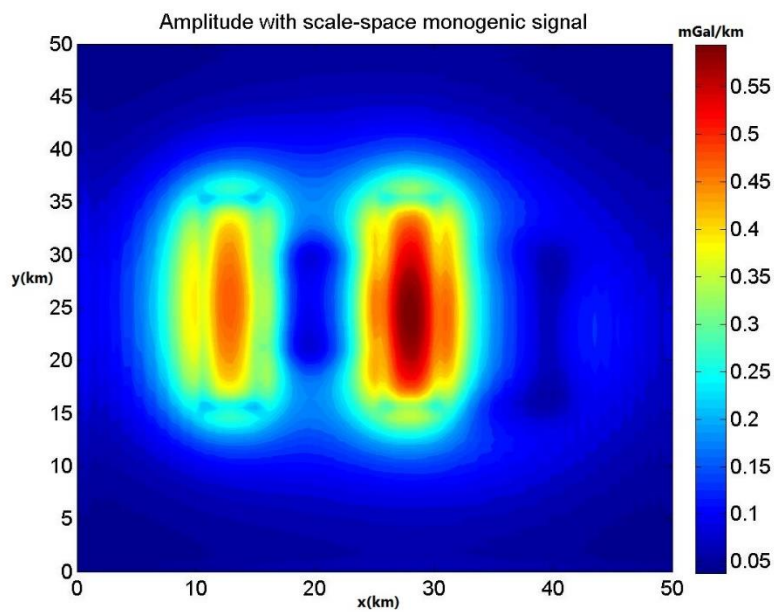


شکل ۴-۱۶: نقشه اثر بی‌هنجاری گرانی حاصل از مدل مصنوعی هورست و گرابن.

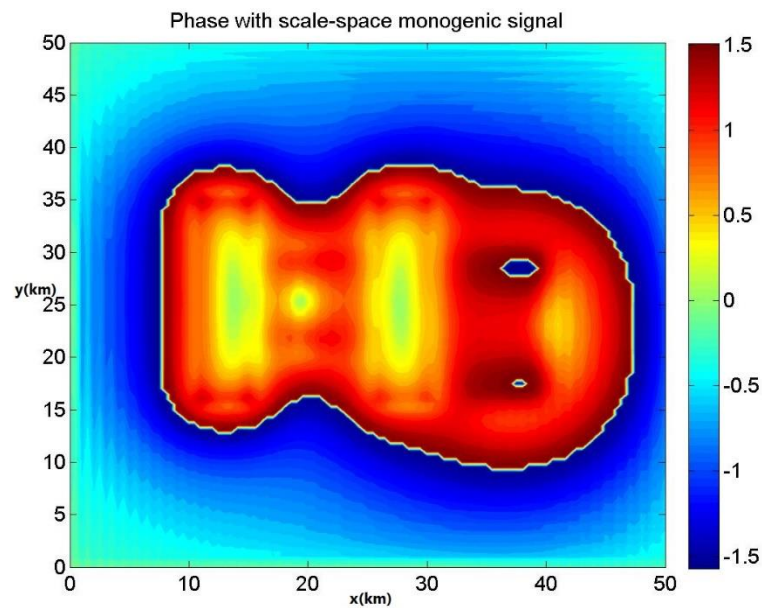
^۱ Horst
^۲ Graben



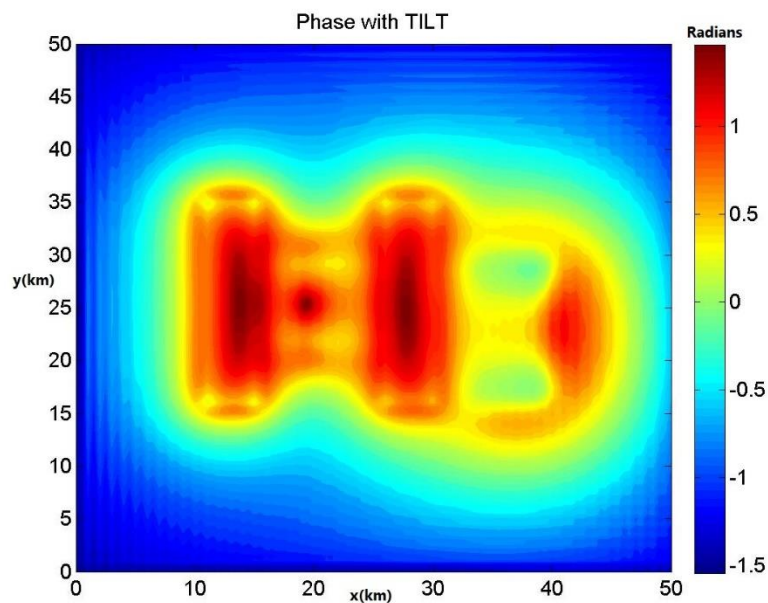
شکل ۴-۱۷: اعمال فیلتر دامنه سیگنال تحلیلی بر روی اثر گرانی مدل مصنوعی هورست و گرابن.



شکل ۴-۱۸: اعمال فیلتر دامنه سیگنال مونوژنیک بر روی اثر گرانی مدل مصنوعی هورست و گرابن.



شکل ۴-۱۹: اعمال فیلتر فاز سیگنال مونوژنیک بر روی اثر گرانی مدل مصنوعی هورست و گرابن.

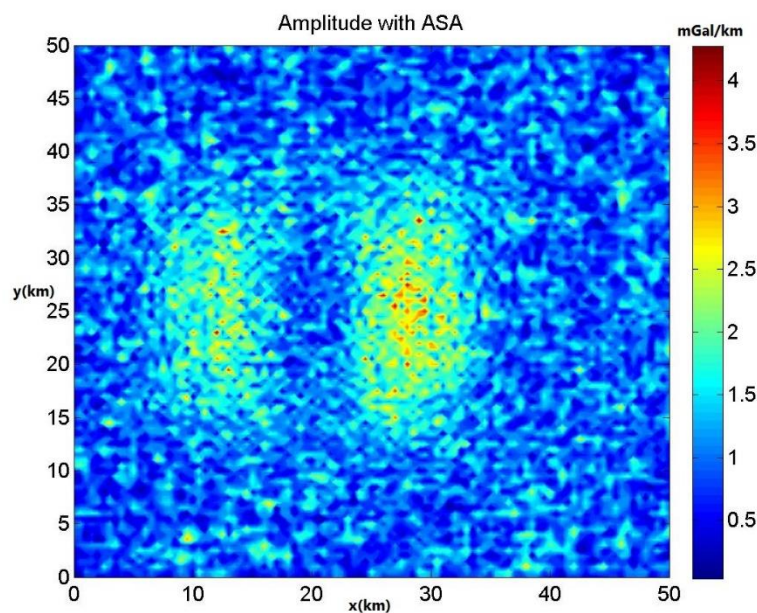


شکل ۴-۲۰: اعمال فیلتر زاویه تمایل بر روی اثر گرانی مدل مصنوعی هورست و گرابن.

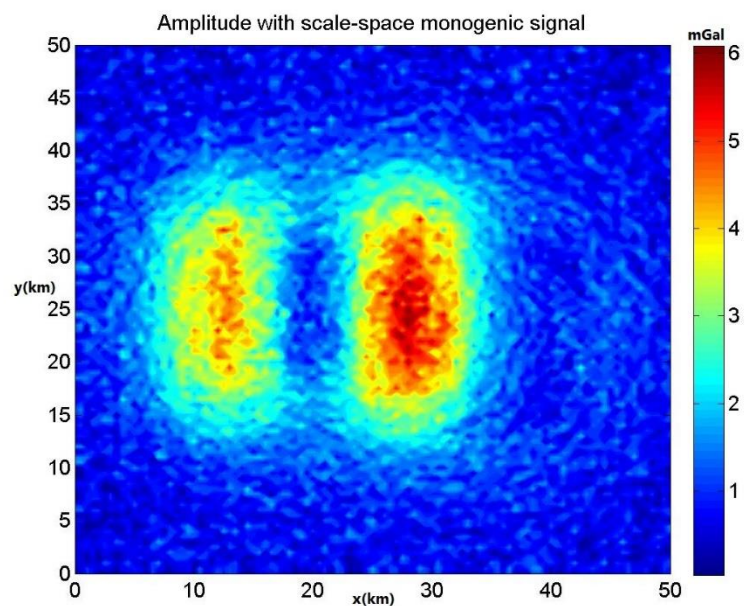
در شکل‌های (۴-۱۷) و (۴-۱۸) نتیجه اعمال فیلتر دامنه سیگنال تحلیلی و دامنه سیگنال مونوژنیک بر روی مدل مصنوعی هورست و گرابن نشان داده شده‌است. همانطور که در شکل دیده می‌شود این دو فیلتر اثر توده‌های بی‌هنجار نزدیکتر به سطح را آشکارتر از توده‌های عمیق‌تر نشان داده است.

آنجاییکه عملکرد فیلتر سیگنال مونوژنیک برای توده‌های شیب‌دار بهتر می‌باشد، در این مدل این فیلتر همانند فیلتر دامنه سیگنال تحلیلی در نشان دادن توده‌های بی‌هنجار عمیق ضعیف عمل کرده‌است. نتایج اعمال فیلتر فاز محلی سیگنال مونوژنیک بر روی این مدل در شکل (۴-۱۹) مشابه زاویه تمایل در شکل (۴-۲۰) تا حدودی مرزهای مدل را نشان داده است.

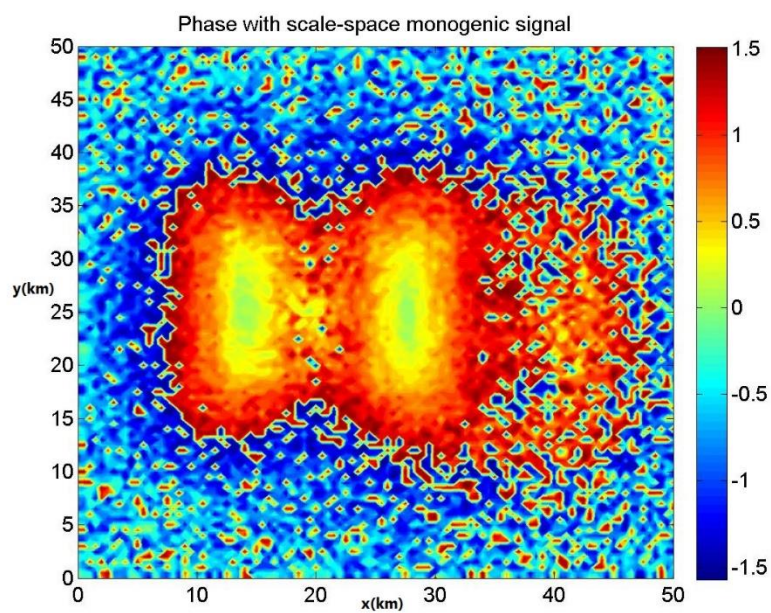
به مدل مصنوعی نوفه تصادفی با بزرگی ۱ درصد مقدار میانگین دامنه داده‌های بی‌هنجاری اضافه شده است و نتایج حاصل از اعمال فیلترها روی مدل مصنوعی هورست و گرابن در شکل‌های (۴-۲۱) تا (۴-۲۴) نشان داده شده است. پارامترهای پواسون فیلتر میان‌گذر در سیگنال مونوژنیک $h_c=0.5$ و $h_f=0.45$ در نظر گرفته شده است.



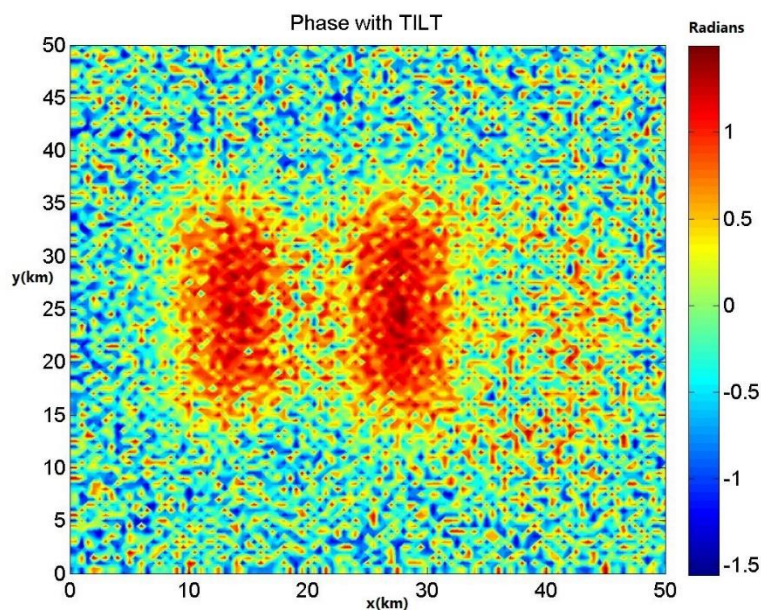
شکل ۴-۲۱: اعمال فیلتر دامنه سیگنال تحلیلی بر روی اثر گرانی مدل مصنوعی هورست و گرابن به همراه نوفه تصادفی.



شکل ۴-۲۲: اعمال فیلتر دامنه سیگنال مونوژنیک بر روی اثر گرانی مدل مصنوعی هورست و گرابین به همراه نوفه تصادفی.

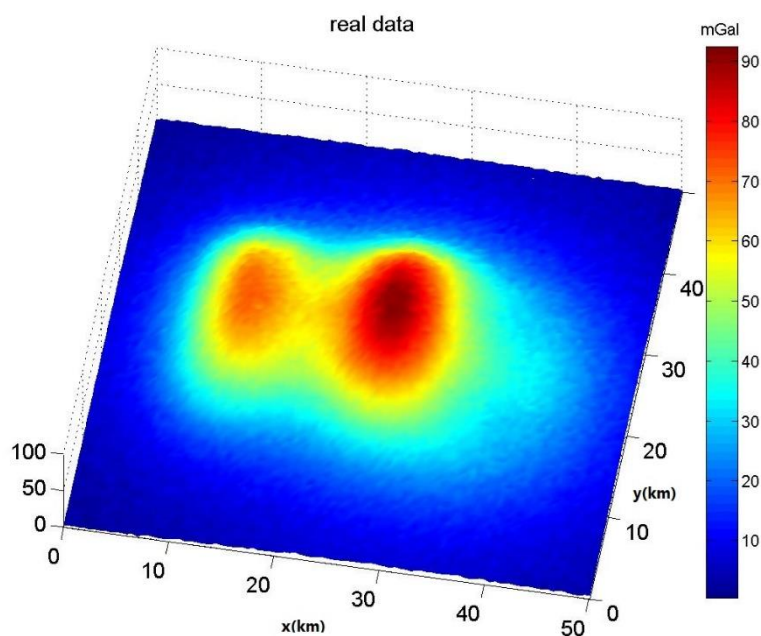


شکل ۴-۲۳: اعمال فیلتر فاز محلی سیگنال مونوژنیک بر روی اثر گرانی مدل مصنوعی هورست و گرابین به همراه نوفه تصادفی.

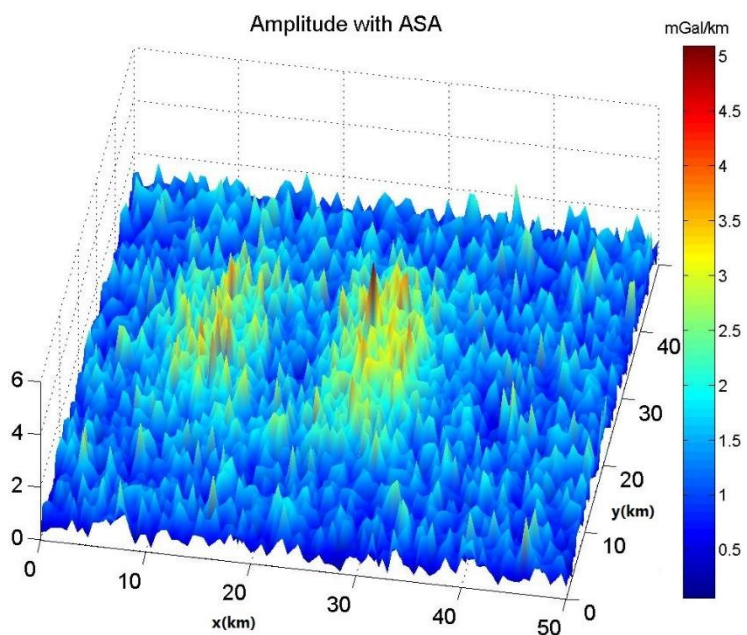


شکل ۴-۲۴: اعمال فیلتر زاویه تمایل بر روی اثر گرانی مدل مصنوعی هورست و گرابن به همراه نوفه تصادفی.

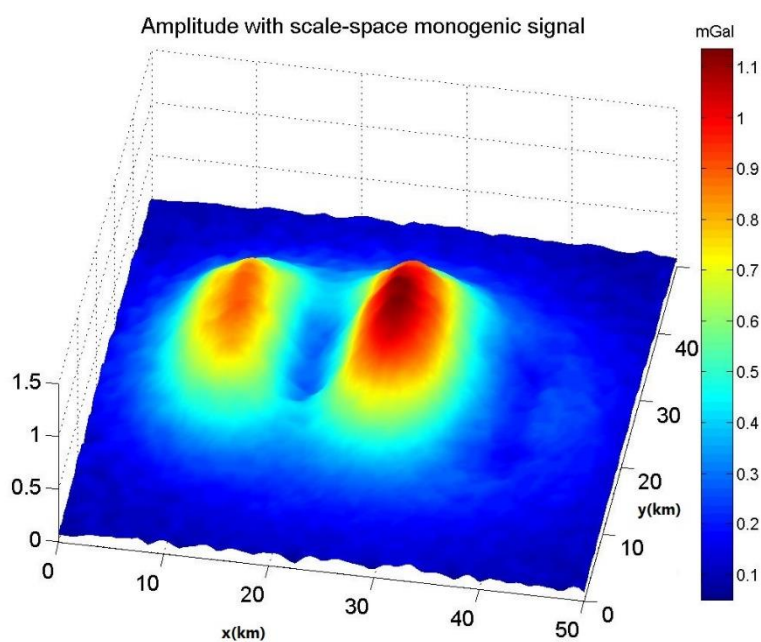
برای نمایش دقیق‌تر عملکرد فیلتر سیگنال مونوژنیک، از قابلیت نمایش سه بعدی نرم‌افزار متلب استفاده شده؛ نتایج در شکل‌های (۴-۲۵) تا (۴-۲۹) مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند.



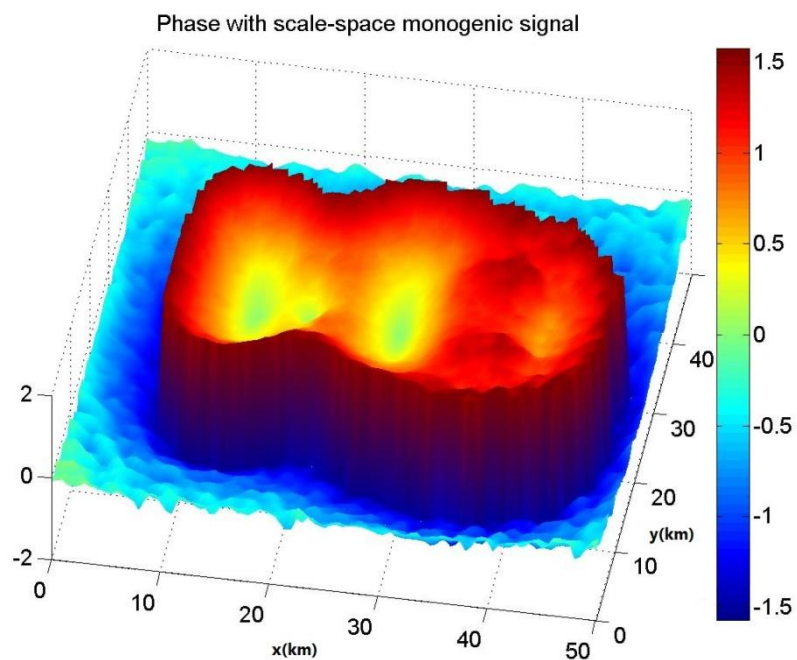
شکل ۴-۲۵: نمایش سه بعدی نقشه اثر گرانی بی‌هنجاری ناشی از مدل مصنوعی هورست و گرابن.



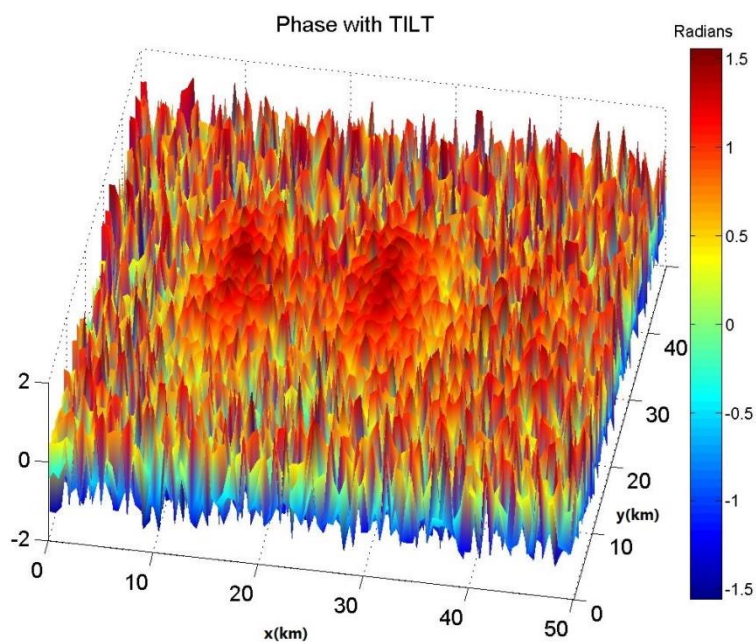
شکل ۴-۲۶: نمایش سه بعدی اعمال فیلتر دامنه سیگنال تحلیلی بر روی اثر گرانی مدل مصنوعی هورست و گرابن به همراه نوفه تصادفی.



شکل ۴-۲۷: نمایش سه بعدی اعمال فیلتر دامنه سیگنال مونوژنیک بر روی اثر گرانی مدل مصنوعی هورست و گرابن به همراه نوفه تصادفی.



شکل ۴-۲۸: اعمال فیلتر فاز سیگنال مونوژنیک بر روی اثر گرانی مدل مصنوعی هورست و گرابن به همراه نوفه تصادفی..

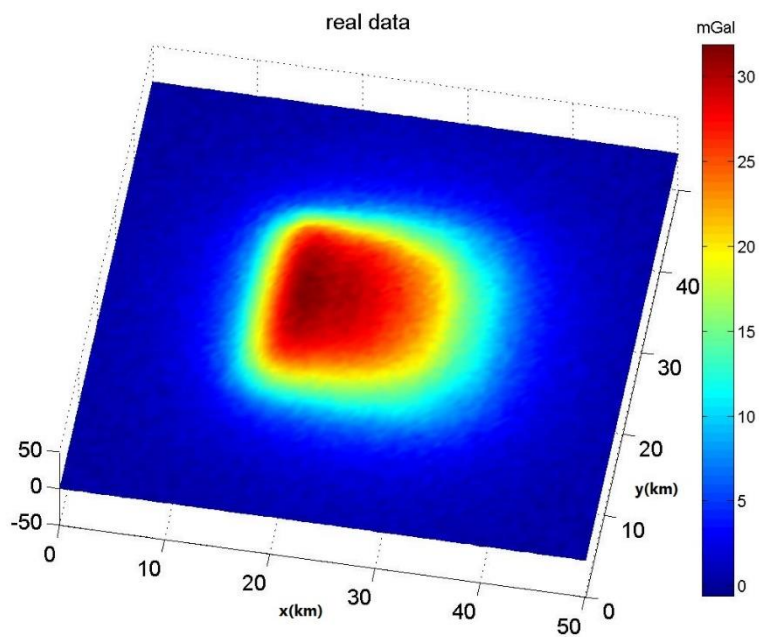


شکل ۴-۲۹: نمایش سه بعدی اعمال فیلتر زاویه تمایل بر روی اثر گرانی مدل مصنوعی هورست و گرابن به همراه نوفه تصادفی.

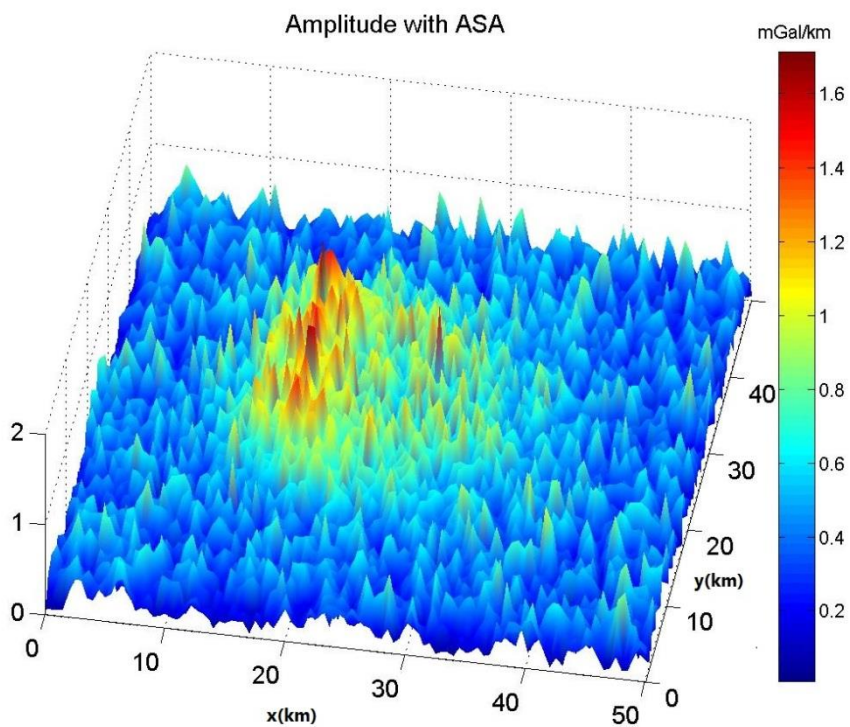
شکل (۴-۲۶) نتیجه اعمال فیلتر دامنه سیگنال تحلیلی را بر روی مدل مصنوعی فوق نشان داده است. حضور نوفه سبب شده است تا اثر جسم به خوبی دیده نشود. ولی اثر فیلتر دامنه سیگنال مونوژنیک بر روی مدل مصنوعی هورست و گرابن شکل (۴-۲۷) با وجود نوفه بی‌هنجاری‌های با عمق کمتر را نشان داده است، در حالی که این فیلتر به خوبی نتوانسته توده‌های پایین‌تر را نشان دهد. حدود این مدل به لحاظ گسترش افقی آن در شکل (۴-۲۸) می‌توان مشاهده کرد. البته در شکل (۴-۲۹) عملکرد فیلتر زاویه تمایل نشان داده شده است که این جسم در حضور نوفه عملکرد خوبی نداشته و مرزهای توده بی‌هنجار مشخص نشده است.

۴-۲-۴ مدل مصنوعی دایک (سطح شیب‌دار)

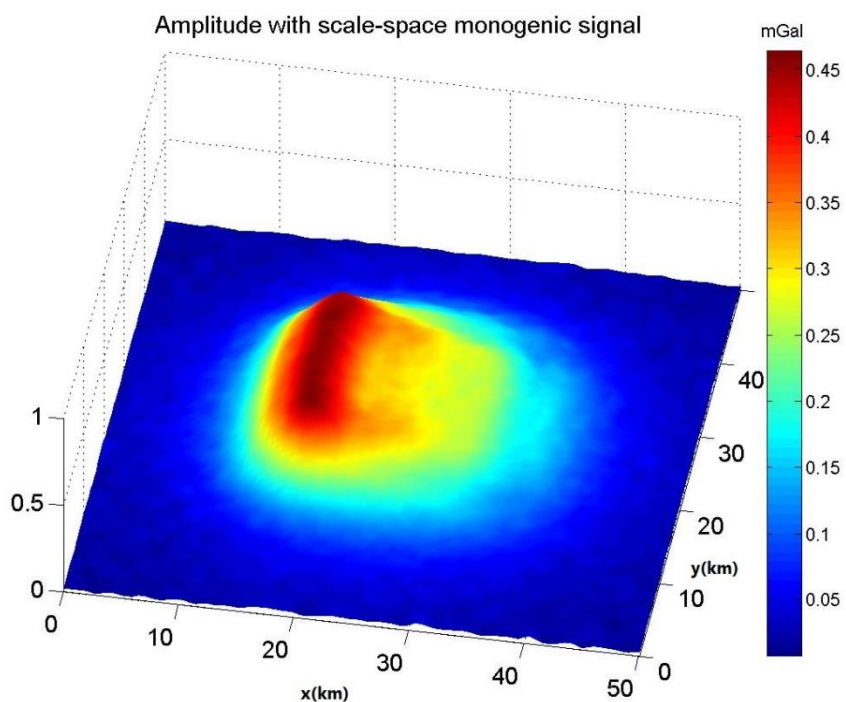
برای بررسی رفتار عملگرهای دامنه و فاز محلی سیگنال مونوژنیک بر روی یک بی‌هنجاری که دارای تغییرات عمقی می‌باشد، مدلی مصنوعی به شکل دایک با ابعاد 50×50 کیلومتر مربع طراحی شده است که سطح بالای آن در عمق یک کیلومتری و سطح پایین آن در عمق 3.5 کیلومتری سطح زمین واقع شده است. حدود فیلتر میان‌گذر اعمال شده بر روی این مدل $h_c = 0.5$ و $h_f = 0.45$ کیلومتر می‌باشد. به مدل مصنوعی نوفه تصادفی با بزرگی 1 درصد مقدار میانگین دامنه داده‌های بی‌هنجاری اضافه شده است. نتایج اعمال فیلترهای دامنه و فاز محلی سیگنال مونوژنیک در شکل‌های (۴-۳۱) تا (۴-۳۴) و مقایسه آن‌ها با فیلترهای زاویه تمایل و دامنه سیگنال تحلیلی در شکل‌های نشان داده شده است.



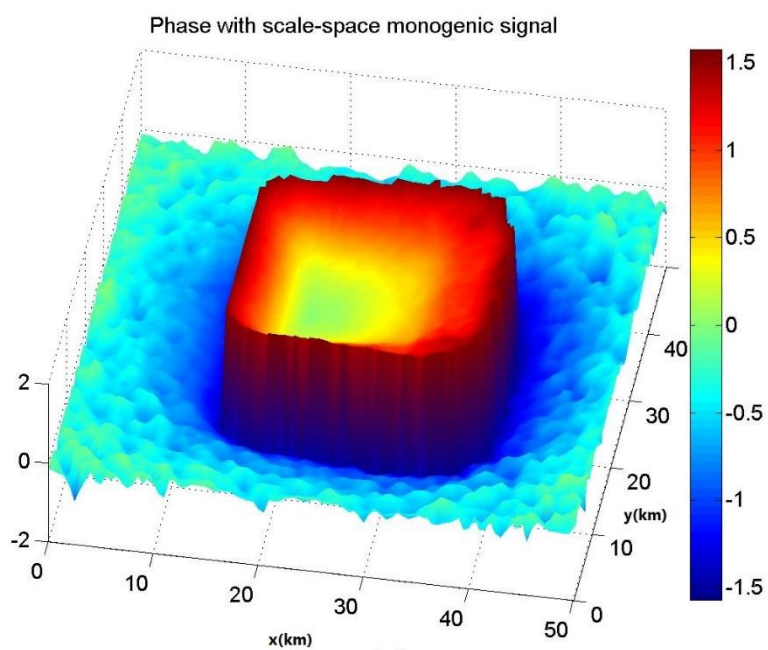
شکل ۴-۳۰: نقشه اثر بی‌هنجاری گرانی ناشی از مدل مصنوعی دایک.



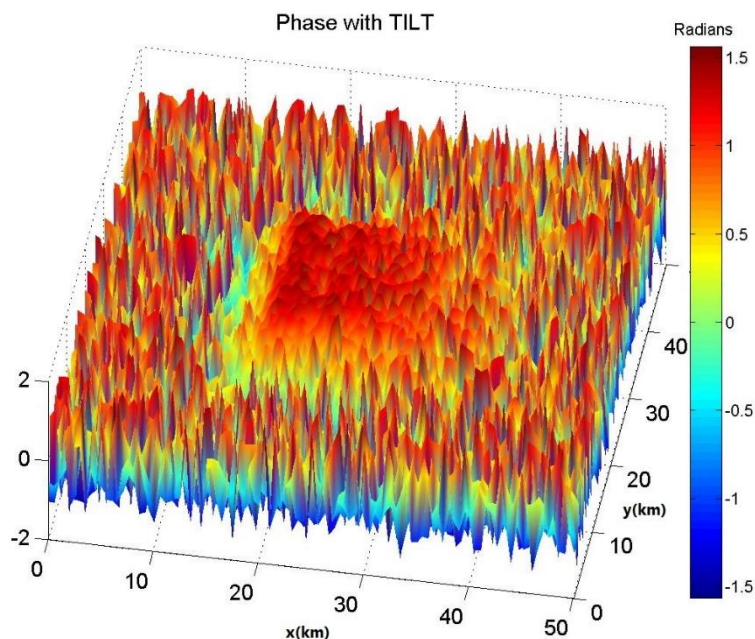
شکل ۴-۳۱: اعمال فیلتر دامنه سیگنال تحلیلی بر روی اثر گرانی مدل مصنوعی دایک به همراه نوفه تصادفی.



شکل ۴-۳۲: اعمال فیلتر دامنه سیگنال مونوژنیک بر روی اثر گرانی مدل مصنوعی دایک به همراه نوفه تصادفی.



شکل ۴-۳۳: اعمال فیلتر فاز سیگنال مونوژنیک بر روی اثر گرانی مدل مصنوعی دایک به همراه نوفه تصادفی.



شکل ۴-۳۴: اعمال فیلتر زاویه تمایل بر روی اثر گرانی مدل مصنوعی دایک به همراه نوفه تصادفی.

در شکل (۴-۳۱) نتیجه اعمال فیلتر دامنه سیگنال بر روی مدل مصنوعی با نوفه نشان داده شده است. همان طور در شکل مشاهده می شود اثر جسم به خوبی دیده نمی شود و نوفه سبب بهم ریختگی شده، در حالیکه اثر فیلتر دامنه سیگنال مونوژنیک بر روی مدل مصنوعی با نوفه در شکل (۴-۳۲) نشان داده شده است، شیب دار بودن شکل را به خوبی نشان می دهد. حدود این جسم به لحاظ گسترش افقی آن در شکل (۴-۳۳) می توان مشاهده کرد که به وضوح حدود این جسم دیده می شود که البته در شکل (۴-۳۴) این شکل تحت تاثیر اثر نوفه قرار گرفته است. لذا نشان می دهد که فیلتر سیگنال مونوژنیک حساس به نوفه نیست.

همچنین عملکرد فاز محلی سیگنال مونوژنیک در تشخیص مرزهای لبه‌ی مدل مصنوعی دایک در مقایسه با فیلتر زاویه تمایل به خوبی در شکل (۴-۳۳) مشخص شده است.

۳-۴ اعمال فیلترها روی داده‌های واقعی

۱-۳-۴ اعمال فیلترها روی داده‌های گرانی حوضه نفتی قم

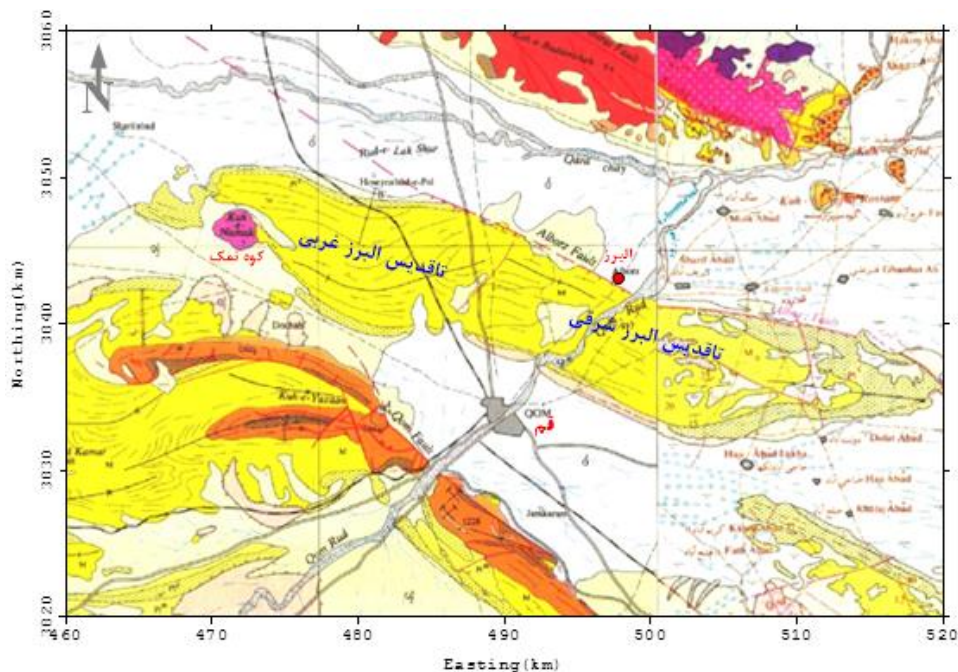
حوضه نفتی البرز قم در شمال غربی، شمال و شرق شهر قم در محدوده‌ای به عرض جغرافیایی ۳۵'، ۳۴° تا ۵۰'، ۳۴° شمالی و طول جغرافیایی ۵۵'، ۴۹° تا ۱۵'، ۵۱° شرقی با روند شمال غربی- جنوب شرقی واقع شده است. جاده قدیم و بزرگراه تهران- قم و نیز راه آهن تهران- قم به صورت عرضی آن را قطع می‌نمایند.

موقعیت جغرافیایی منطقه و راه‌های دسترسی به حوضه نفتی البرز قم در شکل (۴-۳۵) نشان داده شده است.

این منطقه به همراه منطقه دیگری در ادامه تأقدیس شرقی به نام سراج در جنوب شرقی قم، در دهه ۱۹۵۰ و بعد از آن به دلیل وجود نفت، مورد توجه شرکت ملی نفت ایران و شرکت‌های نفتی خارجی بوده و از این رو مورد مطالعات ژئوفیزیکی و حفاری قرار گرفته است. نقشه زمین شناسی منطقه در شکل (۴-۳۶) نشان داده شده است.



شکل ۴-۳۵: موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به حوضه نفتی البرز قم.



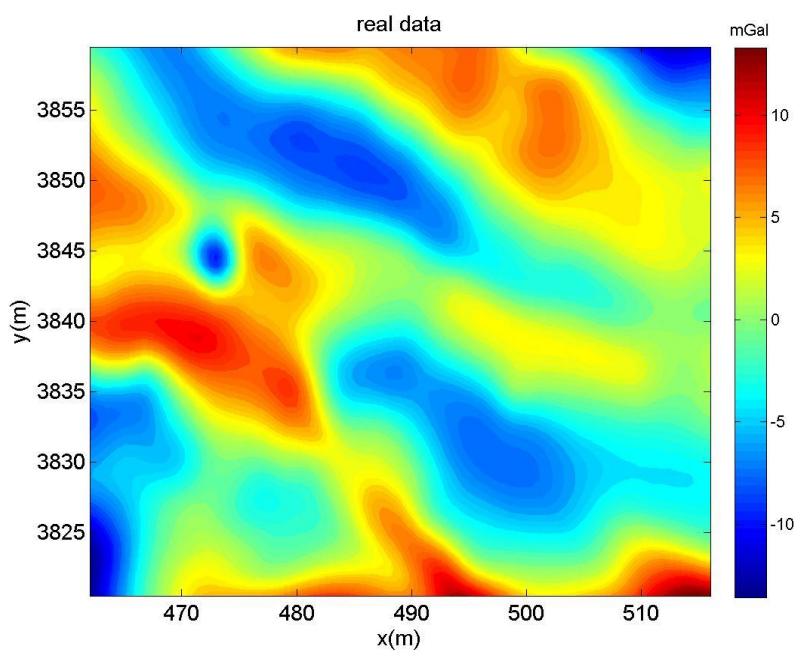
شکل ۴-۳۶: نقشه زمین‌شناسی حوضه نفتی البرز-سراجه، نیمه شرقی برگرفته از نقشه ۱/۲۵۰۰۰۰ آران [امامی، ۱۳۷۱] و نیمه غربی آن از نقشه ۱/۲۵۰۰۰۰ قم می باشد [امامی و حاجیان، ۱۹۸۱].

منطقه مورد مطالعه بخش کوچکی از حوضه وسیع قم است که پی‌سنگ آن را سنگ‌های آتشفشانی و یا آتشفشانی-رسوبی ائوسن و بخشی از الیگوسن تشکیل می‌دهد. محصول رسوب‌گذاری در حوضه قم تشکیل دو سازند قرمز زیرین و قم است که در یک محیط دریایی کم عمق تا خشکی نهشته شده‌اند. سازند قرمز بالایی دو سازند مزبور را می‌پوشاند، سن آنها از الیگوسن بالایی تا کواترن برآورد شده است. سازندهای رسوبی و سنگ‌های آتشفشانی همراه آنها در ناحیه قم ضخامتی در حدود ۵۰۰۰ متر را تشکیل می‌دهند. روند عمومی حوضه قم شمال غربی- جنوب غربی بوده است و بررسی ساخت‌های رسوبی جریان‌ی اولیه ثابت نموده که مواد رسوبی سازندهای قرمز زیرین و قم در جهت‌های حد واسط شمالی- جنوبی و شمال شرقی- جنوب غربی وارد حوضه شده است. این نکته بیانگر این حقیقت است که حوضه قم در راستای شمال شرقی و جنوب غربی خود به سرزمین‌های قاره‌ای محدود بوده است [امیدی، ۱۳۶۹].

برونزدهای متعلق به رسوبات حوضه قم را در مناطق مختلف اطراف قم می‌توان مشاهده نمود، واحدهای سنگی که در سطح زمین در ساختمان البرز رخنمون دارند شامل سازند قرمز بالایی و کنگلومرای نئوژن پایانی هستند که در برخی نقاط توسط رسوبات جوان دوره چهارم پوشیده می‌شوند، ولی واحدهایی که در روند تشکیل ساختمان چین خورده البرز و دگرشکلی ناحیه‌ای درگیر بوده‌اند، به جز واحدهای مزبور باید از سازندهای قم و قرمز زیرین در عمق نام برد که بر روی پی‌سنگ آتشفشانی و یا آتشفشانی-رسوبی ائوسن قرار گرفته‌اند [امیدی، ۱۳۶۹].

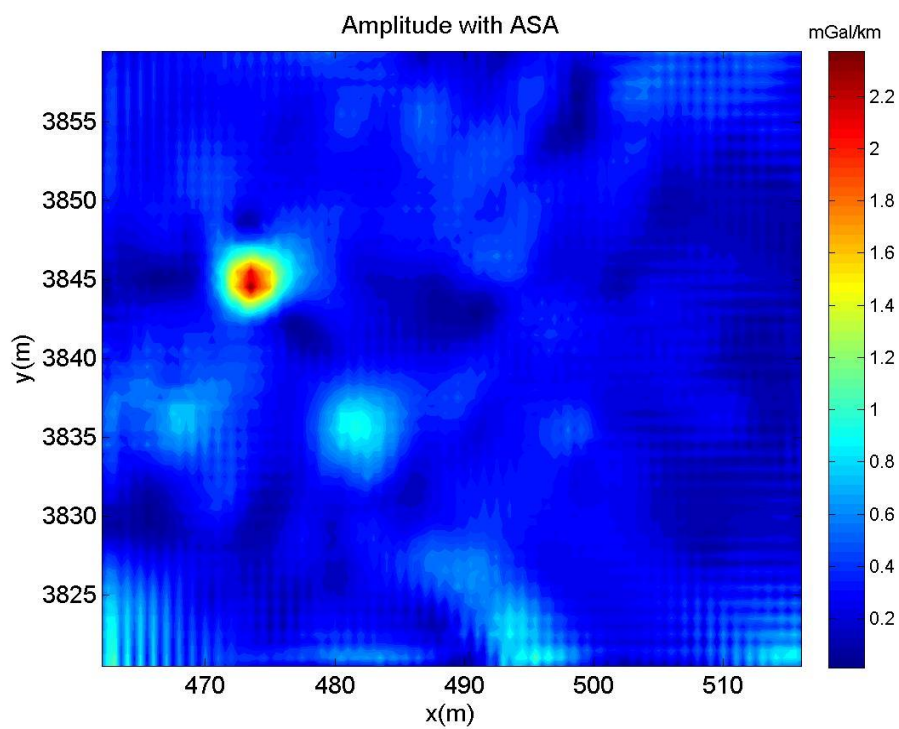
مطالعات ژئوفیزیکی وجود دو تاق‌دیس مجزا از یکدیگر را در زیر زمین تأیید نموده است و در افق سنگ مخزن یعنی بر روی سازند قم دو نفتگیر را نشان می‌دهد که نفتگیر شرقی کم عمق‌تر و نفتگیر غربی عمیق‌تر می‌باشد به طوری که بلندترین نقطه نفتگیر شرقی نسبت به سطح دریا عمق ۱۸۰۰ متر و بلندترین نقطه نفتگیر غربی نسبت به سطح دریا ۲۲۵۰ متر عمق دارند [پارسی، ۱۹۷۴].

در این ناحیه، بررسی‌های گرانی‌سنجی در یک شبکه اکتشافی مستطیلی متراکم انجام شده است. داده‌های گرانی مورد استفاده در محدوده برداشت ۵۴×۳۹ کیلومتر مربع بوده که روی نقاطی به فاصله ۵۰۰ متری بر روی ۵۵ پروفیل به فاصله ۱ کیلومتری برداشت شده است. به‌وسیله نرم افزار متلب نقشه‌ی بی‌هنجاری‌های گرانی در ناحیه قم تهیه شده است. مطابق شکل (۴-۳۶) امتداد بی‌هنجاری‌های گرانی به‌طور کلی امتداد شمال‌غرب- جنوب‌شرق بوده ولی در مرکز ناحیه حدود غرب شهر قم و گنبد نمکی این روند کمی دستخوش تغییر شده است. در شکل (۴-۳۷) نقشه بی‌هنجاری باقی‌مانده گرانی رسم شده در منطقه مورد مطالعه ارائه شده است. پارامترهای h_c و h_f به ترتیب ۱ و ۰/۹ کیلومتر در نظر گرفته شده و فیلترهای سیگنال مونوژنیک، سیگنال تحلیلی و زاویه تمایل روی اثر گرانی داده قم اعمال شده است.

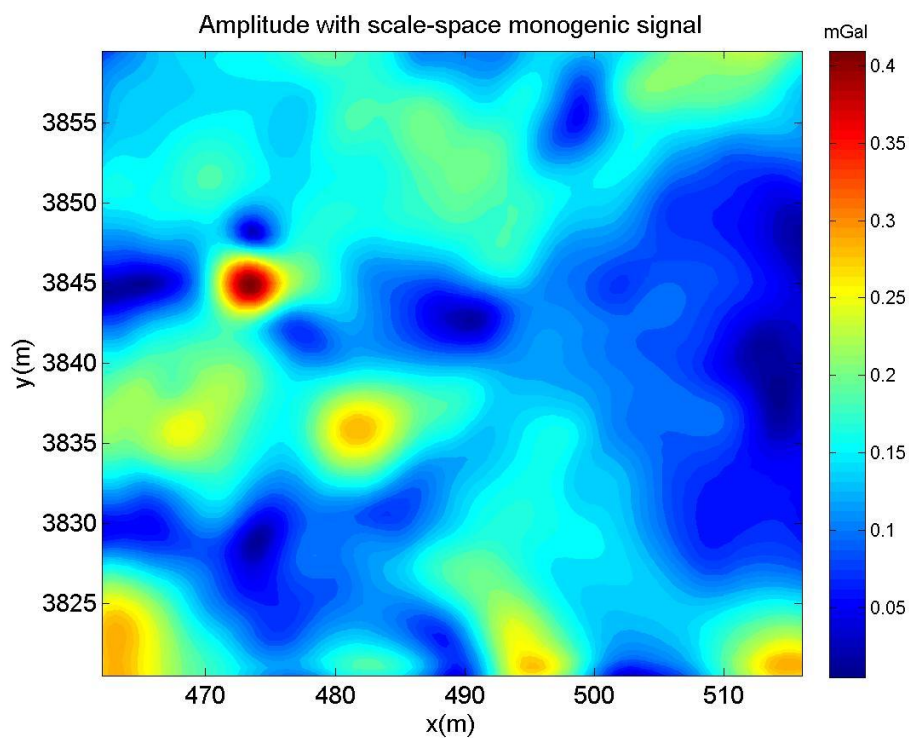


شکل ۴-۳۷: نقشه بی هنجاری باقیمانده گرانی در حوزه نفتی قم.

دامنه سیگنال تحلیلی، سیگنال مونوژنیک، فاز مونوژنیک و فیلتر زاویه تمایل بر روی داده‌های قم اعمال شده. نتایج در شکل‌های (۴-۳۸) تا (۴-۴۱) نشان داده شده است. تا حدودی شکل کلی ساختارهای منطقه و راستای کشیدگی آن‌ها در شکل (۴-۳۸) مشخص است ولی مرزهای ساختارهای زیرسطحی با عمق بیشتر از دقت چندانی برخوردار نمی‌باشد. در قسمت تبدیل فاز سیگنال مونوژنیک، مرزهای ساختارها با دقت و وضوح بیشتری نسبت به فیلتر زاویه تمایل نمایش داده شده است.

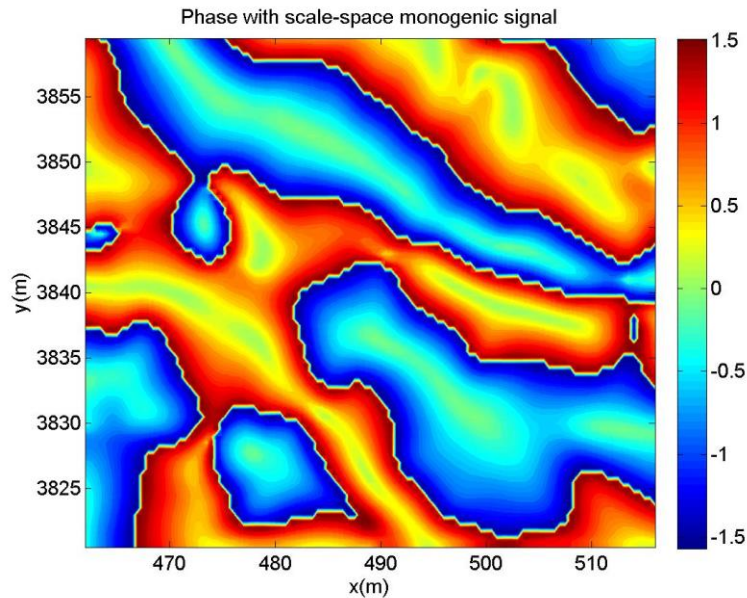


شکل ۴-۳۸: نقشه اعمال فیلتر سیگنال تحلیلی بر روی اثر گرانی داده‌های قم.

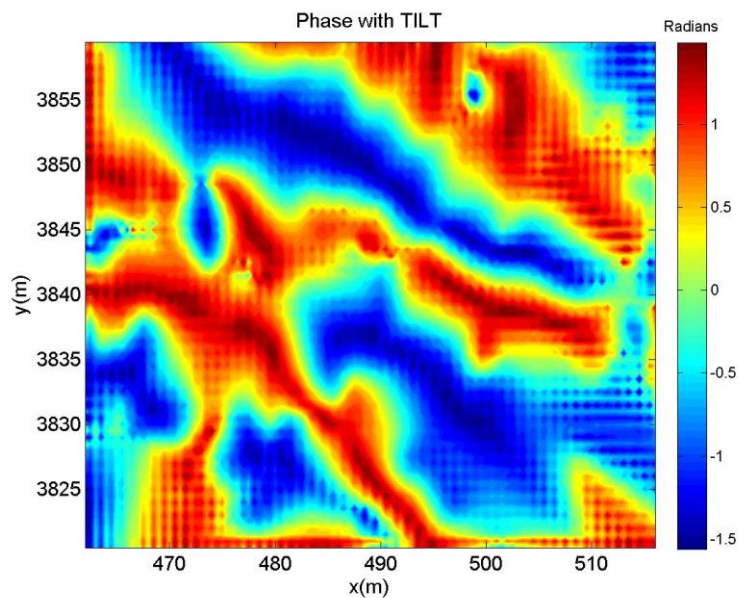


شکل ۴-۳۹: اعمال فیلتر دامنه محلی سیگنال مونوژنیک بر روی اثر گرانی داده‌های قم.

راستای کشیدگی تاقدیس و ناودیس‌ها تا حدودی در شکل (۴-۳۹) می‌توان دید، ولی فیلتر دامنه سیگنال تحلیلی موفق در نمایش راستای کشیدگی این عوارض زمین‌شناسی نبوده است.



شکل ۴-۴۰: اعمال فیلتر فاز محلی سیگنال مونوژنیک بر روی اثر گرانی داده‌های قم.



شکل ۴-۴۱: اعمال فیلتر زاویه تمایل روی اثر گرانی داده‌های قم.

فیلترهای فاز محلی سیگنال مونوژنیک و زاویه‌ی تمایل هر دو توانسته‌اند مرزهای تاقدیس و ناودیس‌ها را تشخیص دهند. وضوح کوه نمک و مرزهای ساختارها در دامنه و فاز محلی سیگنال مونوژنیک

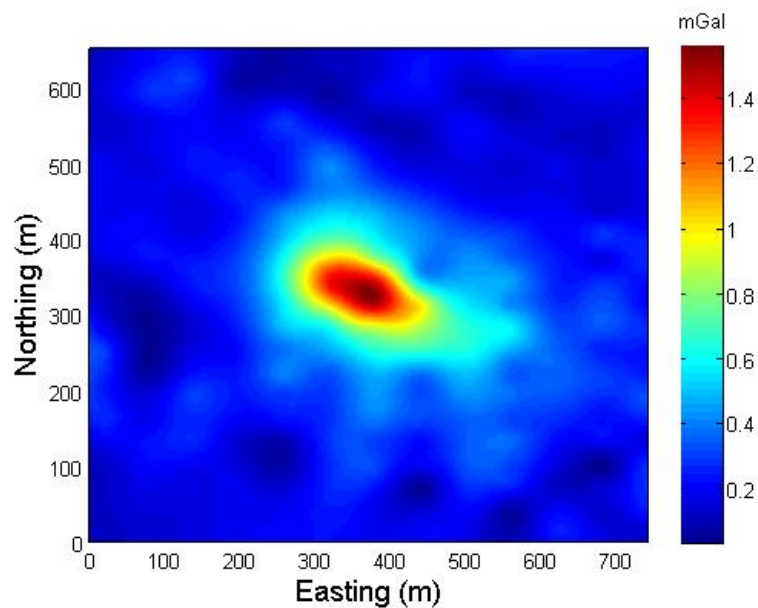
بیشتر است و سیگنال تحلیلی نیز برآوردی قابل قبول از ساختار زیرسطحی نداشته است و با وجود نوفه، از دقت پایینی برخوردار است.

۴-۳-۲ اعمال فیلترها روی داده‌های گرانی ناشی از معدن مس مسیو سولفاید موبرون^۱

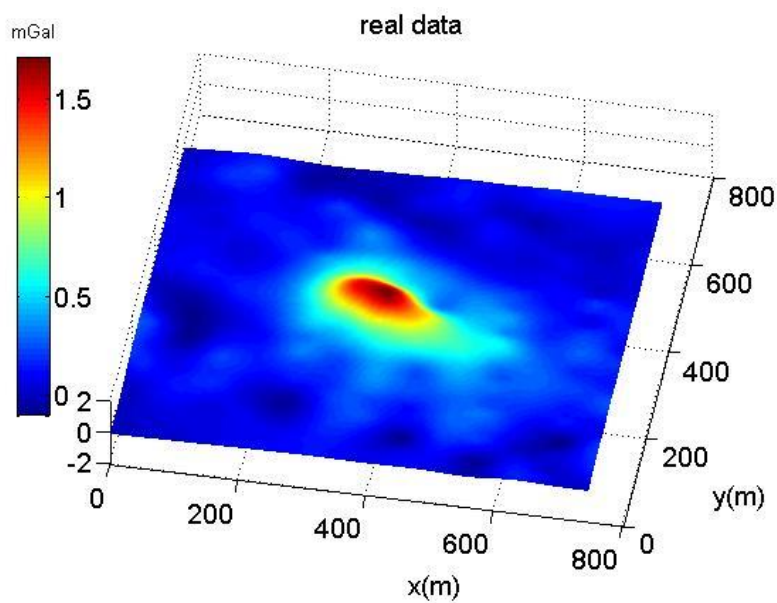
توده مسیو سولفاید موبرون در نزدیکی شهر نوراندا در ایالت کبک کانادا واقع شده است. سنگ میزبان این توده معدنی سنگ‌های آتشفشانی پرکامبرین میانی است. کانی‌سازی درون هاله سولفیدی متشکل از کانی پیریت به صورت توده‌ای و پراکنده به همراه مواد معدنی سولفیدی فلزات پایه با مقادیری کمی طلا و نقره می‌باشد. در این ناحیه اندازه‌گیری مقدار گرانی روی نقاط ایستگاهی به فاصله ۳۰ متری بر روی پروفیل‌هایی به فواصل ۶۰ متری انجام شده است. نتایج حاصل از مغزه‌های حفاری نشان می‌دهد که ماده معدنی با چگالی متوسط حدود ۴/۶ گرم بر سانتی‌مترمکعب درون سنگ‌های آتشفشانی با چگالی ۲/۷ گرم بر سانتی‌مترمکعب قرار گرفته است. گسترش ماده معدنی در جهت شمال غربی- جنوب شرقی است. با اخذ داده‌ها، نقشه بی‌هنجاری باقی‌مانده گرانی در شکل (۴-۴۲) و نمایش حالت سه بعدی در شکل (۴-۴۳) نشان داده شده است. در این منطقه برای اکتشاف ماده معدنی مس داده‌های گرانی روی یک محدوده کوچک با ابعاد ۷۰۰×۷۰۰ متر اندازه‌گیری شده است.

نتایج به‌دست آمده وجود یک توده بی‌هنجار سه بعدی را مطابق با توده معدنی سولفیدی نشان می‌دهد. این توده معدنی به وسیله پژوهشگران زیادی مورد بررسی قرار گرفته و تفسیر شده است [and West, ۱۹۶۵; Roy et al, ۱۹۹۹; Abdelrahman and Abo-Ezz, Seigel, ۱۹۵۷; Grant] ۲۰۰۸]. باتوجه به بررسی‌های انجام شده مشخص شده است که ماده معدنی بیش از ۷۵ متر عمق داشته و همچنین گسترش عمقی آن تا حدود ۱۸۰ متر قابل پیش‌بینی است و براساس بررسی‌های گرادیان کل نرمال و نتایج حفاری، مشخص شده که شکل ماده معدنی در اعماق تغییر کرده و به‌صورت دوشاخه جنوب شرقی و شمال غربی در آمده است [آقاجانی، ۱۳۸۸].

^۱Mobrun



شکل ۴-۴۲: نقشه بی‌هنجاری باقیمانده گرانی معدن موبرون .

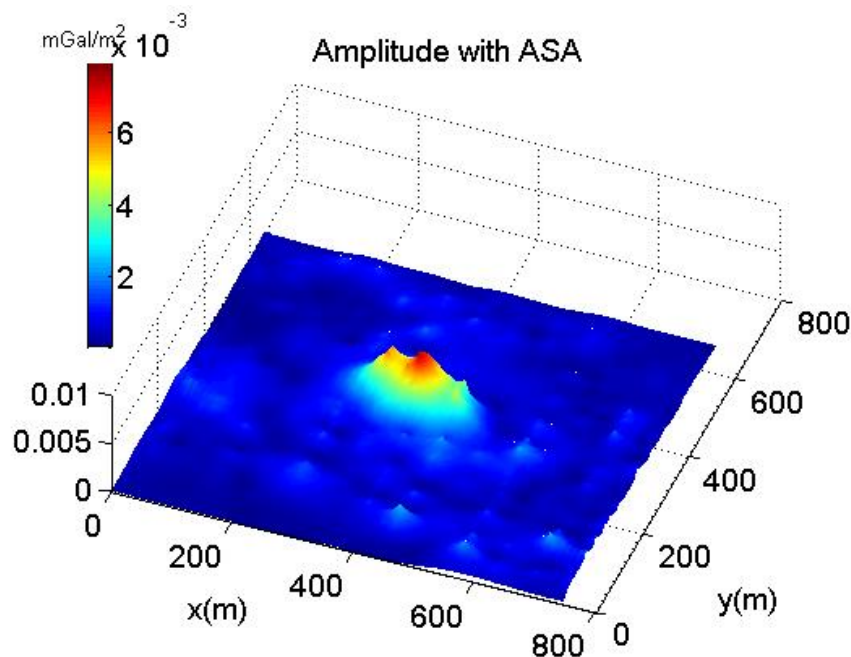


شکل ۴-۴۳: نمایش سه بعدی نقشه بی‌هنجاری باقیمانده گرانی معدن موبرون.

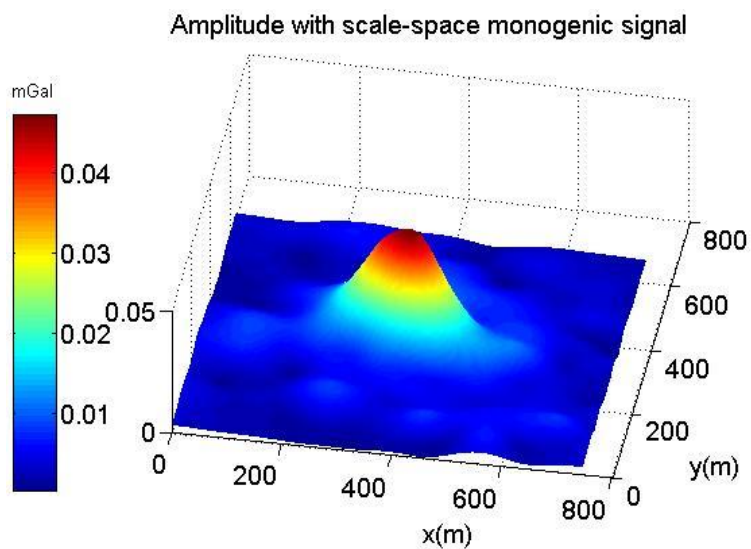
نتایج اعمال فیلترهای دامنه سیگنال تحلیلی، دامنه سیگنال مونوژنیک، فاز سیگنال مونوژنیک و فیلتر زاویه تمایل به صورت نمایش سه بعدی، به ترتیب در شکل‌های (۴-۴۴) تا (۴-۴۷) ارائه شده است. گسترش و شیب کم توده بی‌هنجار به سمت راست نشان‌دهنده تمایل جسم به سمت راست است.

حدود فیلتر میان‌گذر سیگنال مونوژنیک با $h_c=30$ و $h_f=27$ متر در نظر گرفته شده است. فیلتر دامنه سیگنال تحلیلی و دامنه مونوژنیک تا حدودی شکل کلی ساختارهای منطقه و راستای کشیدگی آنها در منطقه را نشان داده‌اند. سیگنال تحلیلی نیز برآوردی قابل قبول از ساختار زیرسطحی داشته است ولی با وجود نوفه، از دقت پایینی برخوردار است، در حالی که دامنه سیگنال مونوژنیک شکل (۴-۴۵) به دلیل حساسیت پایین به نوفه تا حدودی بهتر از سیگنال تحلیلی عمل کرده است. گسترش و شیب کم توده بی‌هنجار به سمت راست نشان‌دهنده تمایل جسم به سمت راست است.

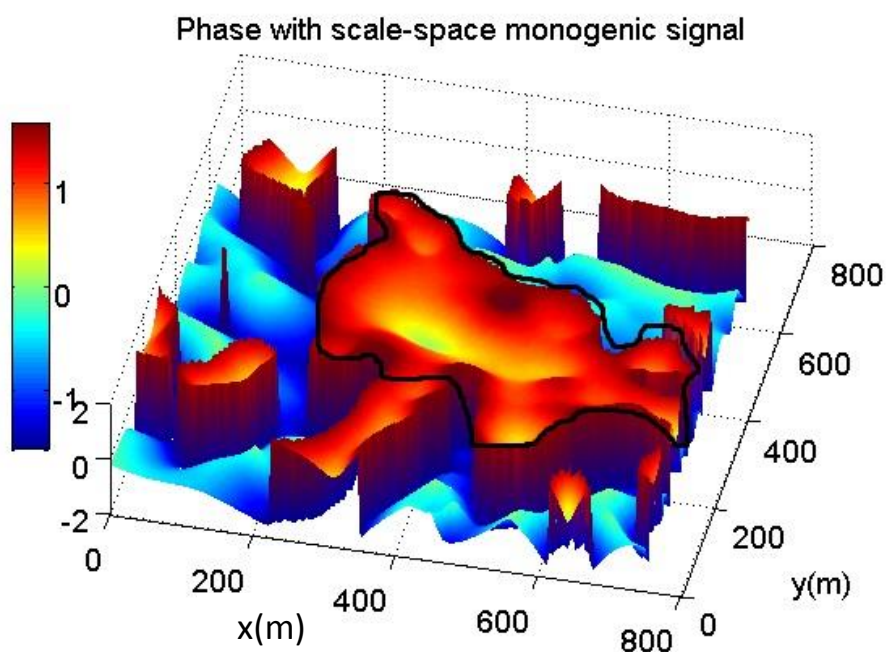
فیلتر زاویه تمایل بدلیل حساسیت به عمق و نوفه نتوانسته به خوبی مرزهای لبه ساختار را نمایش دهد. در حالی که فاز محلی سیگنال مونوژنیک همانطور که در شکل (۴-۴۶) با خطوط مشکی مشخص شده است، با حذف عوامل ناخواسته سطحی، مرزهای ساختارهای زیرسطحی با عمق بیشتر را با دقت بیشتری نشان داده است.



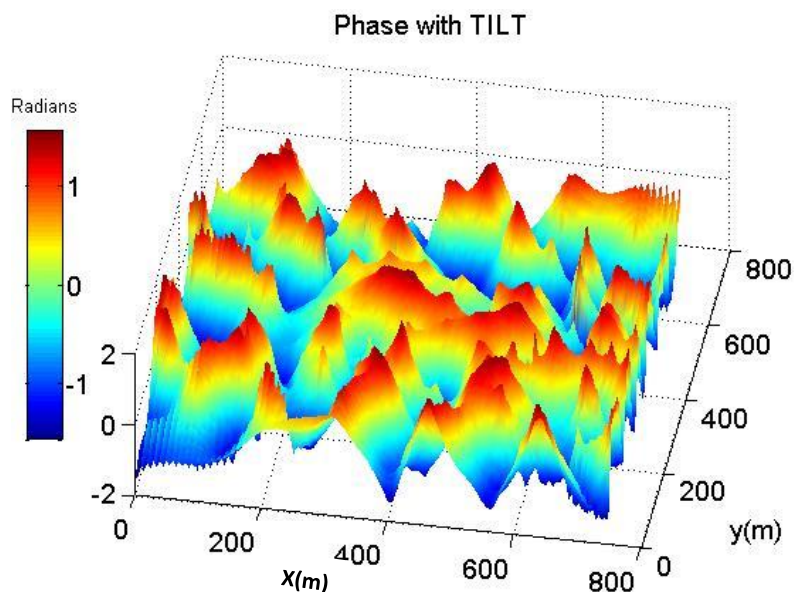
شکل ۴-۴۶: اعمال فیلتر دامنه سیگنال تحلیلی بر روی داده‌های معدن موبرون.



شکل ۴-۴۵: اعمال فیلتر دامنه مونوژنیک سیگنال بر روی داده‌های معدن موبرون.



شکل ۴-۴۶: اعمال فیلتر دامنه سیگنال تحلیلی بر روی داده‌های معدن موبرون.



شکل ۴-۴۷: اعمال فیلتر دامنه سیگنال تحلیلی بر روی داده‌های معدن موبرون.

شکل (۴-۴۶) نتیجه اعمال فیلتر فاز محلی سیگنال مونوژنیک، به‌خوبی گسترش و مرز توده‌ی بی‌هنجار را نشان داده است. در حالی که فیلتر زاویه تمایل نتوانسته حدود لبه را تشخیص دهد.

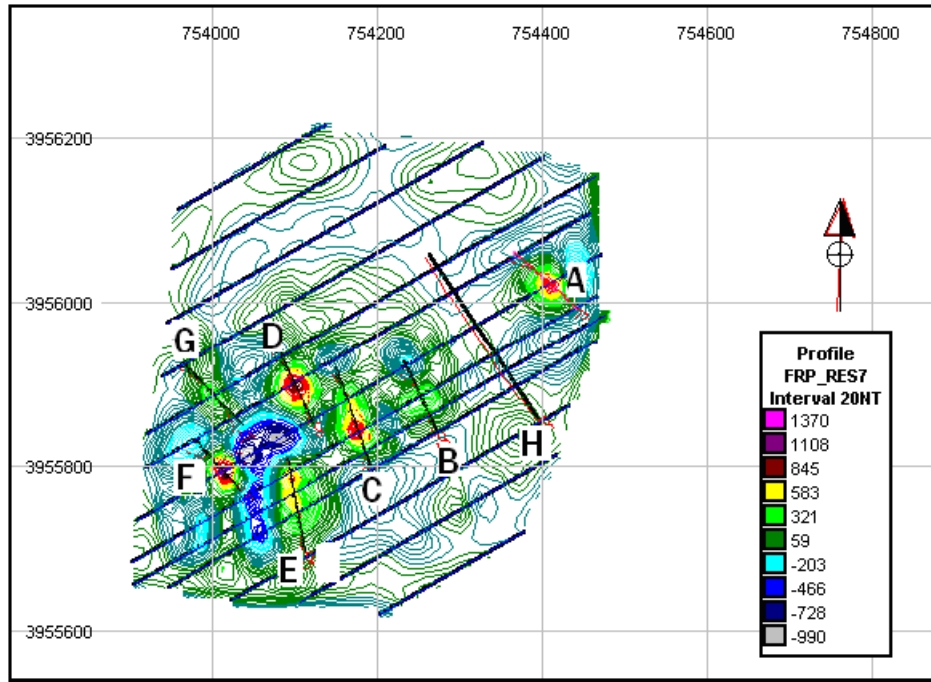
۴-۳-۳ اعمال فیلترها روی بی‌هنجاری‌های مغناطیسی کانسار آهن أجت‌آباد

کانسار آهن أجت‌آباد در ۶۳ کیلومتری شمال شرق سمنان، جنوب شرق روستای أجت‌آباد و بین طول جغرافیایی "۳۵°۴۲'۴۴" تا "۳۵°۴۳'۱" و عرض جغرافیایی "۵۳°۴۸'۲۳" تا "۵۳°۴۸'۴۶" در بخش جنوبی جاده سمنان - دامغان قرار دارد.

در شمال شرق سمنان یکسری معادن و کانسارهای آهن وجود دارد که برخی از آنها مثل معدن همیرد برای مصارف مورد نیاز کارخانه‌های سیمان بهره‌برداری می‌شود. از جمله کانسارهای منطقه، کانسار أجت‌آباد است که به منظور اکتشاف بیشتر تحت بررسی مغناطیس‌سنجی قرار گرفته است [مرادزاده و همکاران، ۱۳۸۵]. مشاهدات صحرائی نشان می‌دهد که در روی این کانسار آثار معدن‌کاری قدیمی بیش از ۵۰ سال به صورت محدود در دو محل همراه با مقداری دیو از سنگ‌های دار استخراج شده وجود دارد و حتی اقدامات اولیه برای کشیدن ریل برای دسترسی به محل و سکوی بارگیری نیز دیده می‌شود. با وجود چنین شواهدی که تلاش برای بهره‌برداری از کانسار فوق را نشان می‌دهد

متاسفانه هیچگونه گزارش مدونی که مربوط به مسائل زمین شناسی و اکتشافی آن باشد، وجود ندارد [امرادزاده و همکاران، ۱۳۸۵]. کانسارهای آهن منطقه سمنان تحت عنوان کانسارهای هیدروترمال توسط بلیچ و براگین معرفی شده است [قربانی، ۱۳۸۱].

داده‌های مغناطیسی مورد استفاده در این بخش جهت یک کار تحقیقی در یک دوره آرام مغناطیسی توسط دو دستگاه مگنتومتر پروتون در یک محدوده مربعی با وسعت ۳۶ هکتار در امتداد ۲۳ پروفیل شرقی-غربی و ۳ پروفیل شمالی-جنوبی با فاصله نقاط اندازه‌گیری ۱۵ متر و فواصل پروفیلی ۲۰ متر برداشت شد. با چنین آرایش عملیات صحرایی در مجموع بیش از ۱۲۰۰ نقطه مورد برداشت مغناطیس‌سنجی قرار گرفت. پس از تصحیحات لازم روی داده‌های مغناطیسی برداشت شده مقادیر آنومالی باقی‌مانده محاسبه شده است [امرادزاده و دولتی، ۱۳۸۵]. از آنجاییکه زاویه میل و انحراف میدان مغناطیسی زمین تابعی از موقعیت جغرافیایی نقاط اندازه‌گیری است به همین علت شکل یک بی‌هنجاری مغناطیسی، علاوه بر شکل و خودپذیری مغناطیسی ساختمان‌های زیرسطحی، به جهت القاء شونده‌گی مغناطیسی زمین نیز وابسته است. بنابراین مورد فوق سبب ایجاد یکسری جابجایی و انحراف در شکل و محل بی‌هنجاری‌های مغناطیسی می‌شود. برای حذف این نامتقارنی‌های ایجاد شده، از فیلتر برگردان به قطب استفاده می‌شود. با اعمال این فیلتر بی‌هنجاری‌ها بر مرکز توده‌های مولد آنها قرار می‌گیرند. شکل (۴-۴۹) اثرات باقی‌مانده مربوط به بی‌هنجاری‌های مغناطیسی حاصل از توده‌های آهن‌دار را پس از حذف اثرات ناحیه‌ای نشان می‌دهند. این بی‌هنجاری‌های مثبت (A, B, C, D, E, F, G) با منحنی‌های تراز بسته که در اکثر موارد اختلاف گرادیان مغناطیسی بالای ۵۰۰ گاما را به وجود آورده‌اند به‌خوبی قابل رویت هستند. روند عمومی غالب این بی‌هنجاری‌های کم عمق مغناطیسی شمال شرق- جنوب غرب است. به نظر می‌رسد که در مواردی بی‌هنجاری‌های یاد شده تشکیل دو قطبی‌های مغناطیسی را داده باشند.

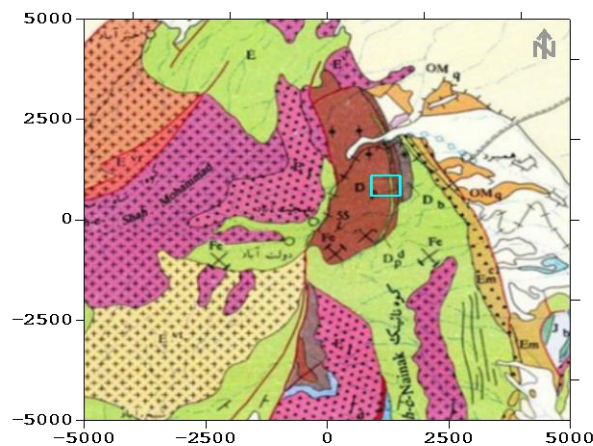


شکل ۴-۴۸: نقشه بی‌هنجاری باقی‌مانده مغناطیسی و مقاطع انتخاب شده بر روی آنومالی‌های A, B, C, D, E, F, G, H و [مرادزاده و دولتی ارده جانی، ۱۳۸۵].

همان‌طوری که شکل (۴-۴۸) نشان می‌دهد در منطقه مورد مطالعه تعداد هفت بی‌هنجاری وجود دارد که با حروف A, B, C, D, E, F, G, H مشخص شده‌اند. با مقایسه نقشه‌های گسترش یافته به سمت بالا و پایین، نقشه شدت مغناطیسی منطقه و نقشه‌های تهیه شده سایر روش‌های جداسازی بی‌هنجاری‌ها نتیجه گرفته می‌شود که توده‌های مغناطیسی آهن‌دار منطقه اجت آباد اکثراً در اعماق کمتر از ۱۰۰ تا ۱۵۰ متر واقع شده‌اند که این اعداد در حد تفسیر کیفی و نیمه کمی است و برای داشتن تفسیر کمی بایستی از مدلسازی‌های عددی دو و سه بعدی جهت تعیین شکل، وضع قرارگیری و عمق احتمالی توده‌های معدنی استفاده شود.

بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ جام، منطقه کانی‌سازی شده از ماسه‌سنگ‌ها و سنگ‌های آهکی دونین تشکیل شده که در اطراف آن سنگ‌های سازند کرج شامل توف، آندزیت و سایر سنگ‌های آتشفشانی و رسوبی‌های وابسته به ائوسن رخنمون دارند. علاوه بر آن در بخش‌های غربی و جنوبی ناحیه مورد بررسی، کنگلومرا و آهک کنگلومرای مربوط به سازند فجن با سن ائوسن زیرین

دیده می‌شوند. همچنین سنگ‌های نفوذی میکرودیوریت مربوط به ترشیری با وسعت کم در بخش جنوبی منطقه برونزد دارند. پس از اعمال فیلتر برگردان به قطب روی داده‌های مغناطیسی، با این نوع داده‌ها می‌توان مانند داده‌های گرانی رفتار کرد، به این خاطر در این قسمت از تحقیق سعی بر آن است که فیلتر سیگنال مونوژنیک را جهت بررسی لبه‌های توده بی‌هنجار بر روی این داده اعمال کرده و نتیجه با توجه به اطلاعات در دسترس مورد بررسی قرار گرفته است.

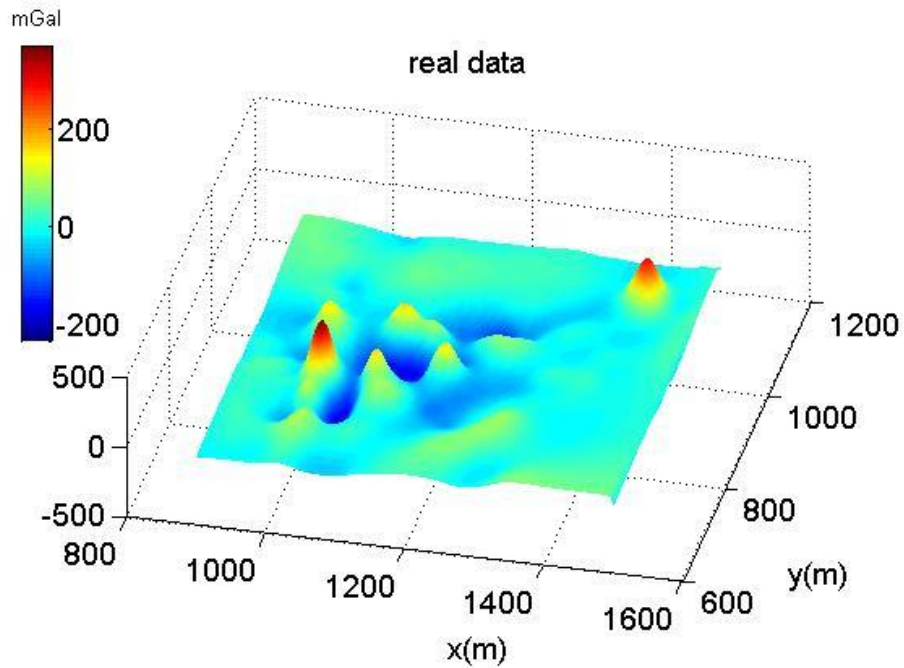


SYMBOL	DESCRIPTION	شرح لیتولوژی
Q ¹²	Q ¹² : Subrecent alluvium, gravel fans	آبرفت های جوان و مخروط های فکته
Qpl	Qpl : Conglomerate, sandstone and clay	کنگلومرا، ماسه سنگ و رس
OMq	OMq : Limestone and gypsiferous marl	سنگ آهک و مارن گچ دار
Em	Em : Congl. marl, sst. Em ^{c1} : Conglomerate E ^{vt} : Rhyolitic tuff E : Tuff and shale	کنگلومرا، مارن و ماسه سنگ کنگلومرا توف ریولیتی توف و شیل
E ^{vsh}	E ^{vsh} : Volcanic rock and shale	سنگ آذرین و شیل
E ^v	E ^v : Lava	سنگ های آذرین
E ^{vt}	E ^{vt} : Andesitic lava and tuff	سنگهای آندزیتی و توف
E _f	E _f : Conglomerate and conglomeratic lst.	کنگلومرا و آهک کنگلومرایی
J _b	J _b : Shale, sandstone	ژوراسیک، سازند بفتاه شیل و ماسه سنگ
J _{b1}	J _{b1} : Sandy Limestone	ژوراسیک، سازند پروده، سنگ آهک ماسه ای
D _b	D _b : Limestone	دوفین، سازند بیدام سنگ آهک
D _p	D _p : Dolomite Sandstone	دوفین، سازند پاده آ، دولومیت ماسه سنگ
Microdiorite	Microdiorite	میکرودیوریت

شکل ۴-۴۹: نقشه زمین‌شناسی اُجت‌آباد [برگرفته از آقاجانی، ۱۳۸۸]

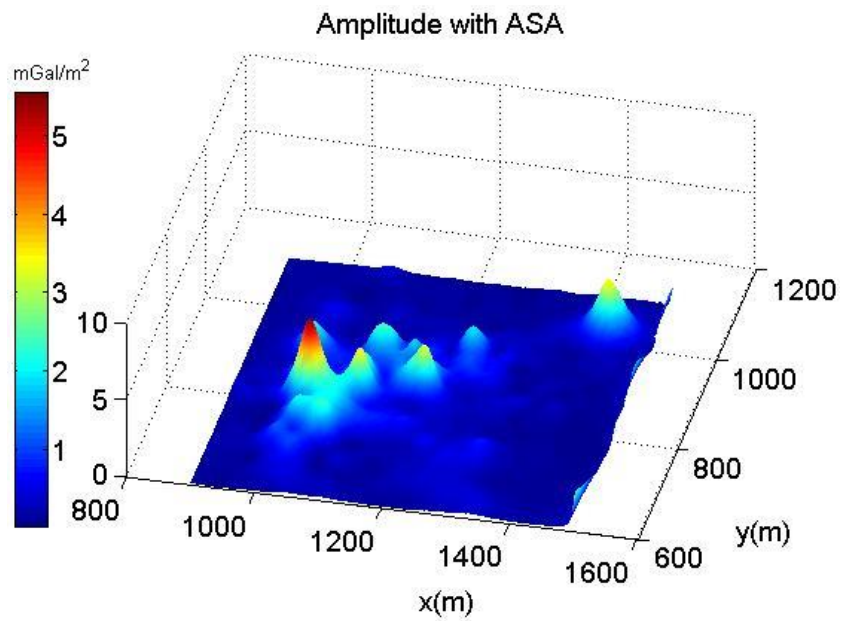
شکل (۴-۴۹) نقشه بی‌هنجاری حاصل از داده‌های برداشتی را پس از اعمال تصحیحات لازم نشان

می‌دهد.

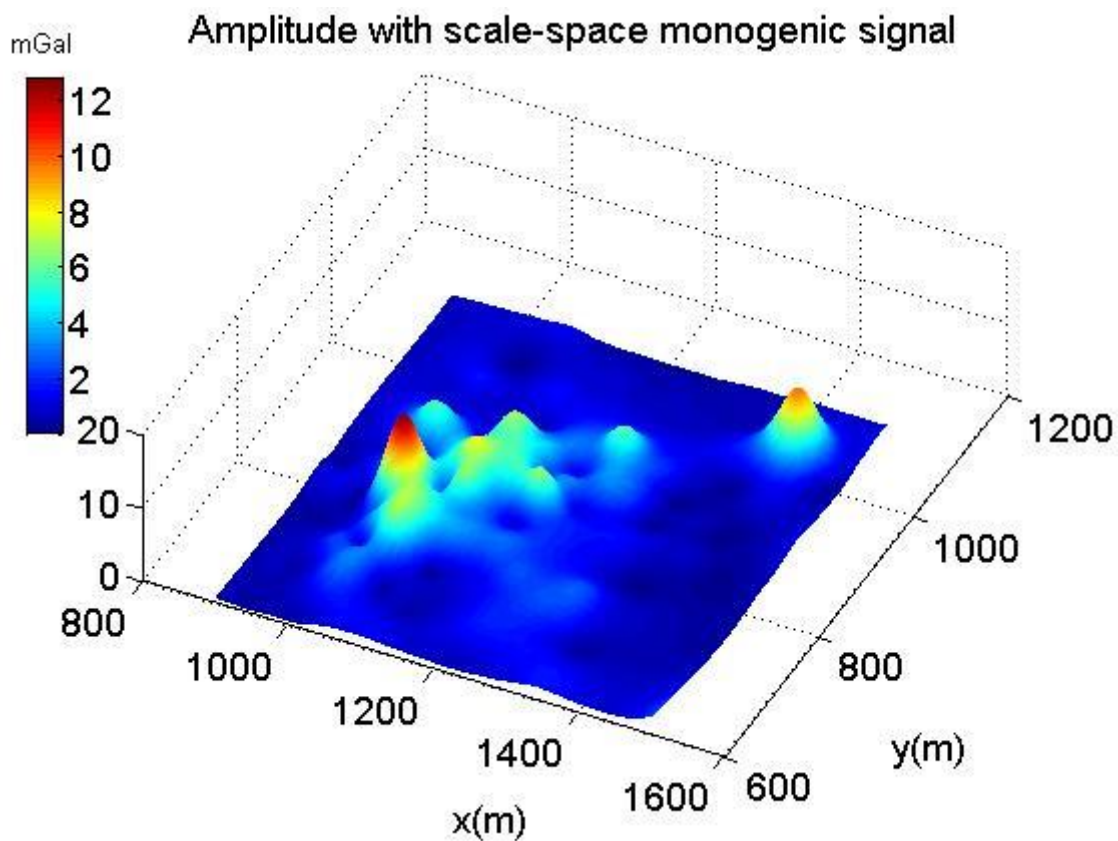


شکل ۴-۵۰: نقشه اثر بی‌هنجاری داده‌های اجت آباد.

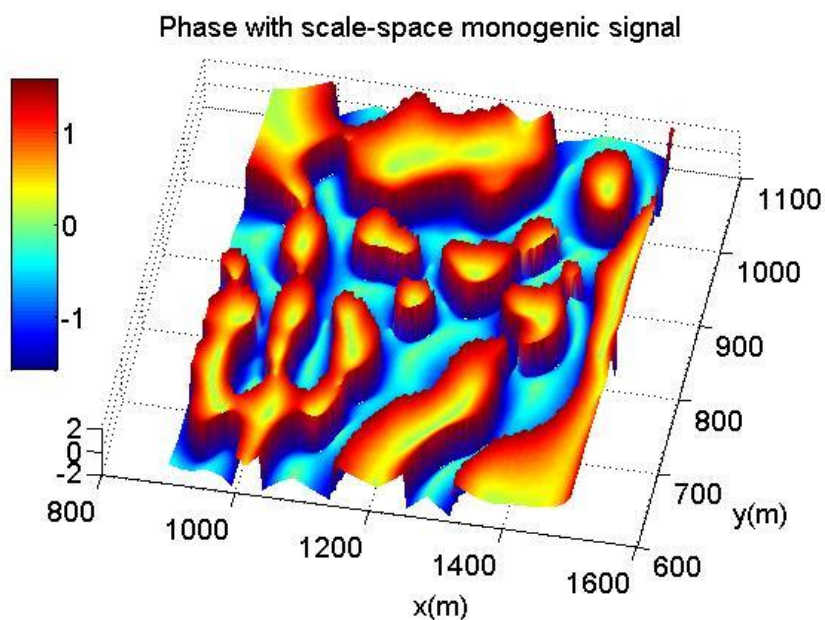
در شکل‌های (۴-۵۱) تا (۴-۵۴) به ترتیب فیلترهای دامنه سیگنال تحلیلی، دامنه سیگنال مونوژنیک در مقیاس فضا، فاز محلی سیگنال مونوژنیک با حدود $h_c=15$ و $h_f=13.5$ متر و در نهایت فیلتر زاویه‌ی تیلت بر روی داده‌های این منطقه اعمال شده است.



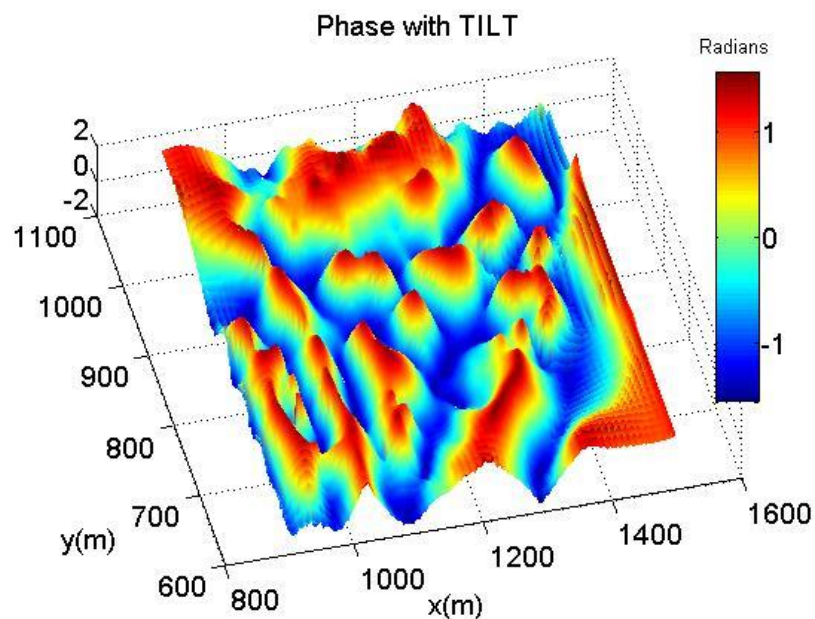
شکل ۴-۵۱: اعمال فیلتر دامنه سیگنال تحلیلی روی داده‌های اجت آباد.



شکل ۴-۵۲: اعمال فیلتر دامنه سیگنال مونوژنیک روی داده‌های اجت آباد.



شکل ۴-۵۳: اعمال فیلتر فاز سیگنال مونوژنیک روی داده‌های اجت آباد.



شکل ۴-۵۴: اعمال فیلتر زاویه تمایل روی داده‌های اجت آباد.

با دقت در نقشه دامنه سیگنال مونوژنیک شکل (۴-۵۱) تا حدودی شکل کلی ساختارهای منطقه مشخص است ولی به شکل واضحی موقعیت بی‌هنجاری‌ها ساختارهای زیرسطحی با عمق بیشتر از دقت چندانی برخوردار نمی‌باشد. در صورتی که دامنه سیگنال مونوژنیک موقعیت بی‌هنجاری‌ها را تا حد قابل قبولی مشخص کرده است. شکل (۴-۵۳) نشان‌دهنده‌ی نتیجه فیلتر فاز محلی سیگنال مونوژنیک است که تا حدودی گسترش افقی توده‌های بی‌هنجار را نشان داده است.

بررسی صورت گرفته نشان می‌دهد که در منطقه مورد مطالعه هفت آنومالی مغناطیسی مجزا وجود دارند که همگی آنها به لحاظ بزرگی میدان مغناطیسی یکسان نبوده و به نظر می‌رسد که این موضوع به دلیل تغییر ترکیب کانی شناسی توده‌های آهن‌دار در منطقه باشند.

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱ نتیجه‌گیری

روش‌های خودکار و نیمه خودکار متفاوتی برای تعیین مشخصات هندسی (شامل مرزها و عمق) توده‌های مولد بی‌هنجاری میدان پتانسیل گسترش یافته‌اند. اساس اکثر این روش‌ها استفاده از مشتق قائم و افقی بی‌هنجاری‌های میدان پتانسیل است.

محاسبه فاز محلی میدان پتانسیل ابزار مفیدی برای تشخیص لبه‌ها است. در حوزه عدد موج، در سیگنال مونوژنیک مولفه‌های مرتبه اول تبدیل ریتز R_x و R_y و مولفه‌های مرتبه اول تبدیل ریتز در حوزه پواسون داده‌های فیلتر شده R_{xp} و R_{yp} ، از فیلترهای مشتق مرتبه اول افقی (iu, iv) و انتگرال یگانه $(\frac{1}{\sqrt{u^2+v^2}})$ استفاده می‌شود.

۱. فیلتر مشتق افقی باعث تقویت و تشدید مولفه‌های عدد موج‌های بالای سیگنال می‌شوند، در اینجا به دلیل وجود فیلتر انتگرال قائم این تشدید، توسط تضعیف محتوی طیفی عدد موج خنثی می‌شود. تعادل بین تشدید و تضعیف مولفه‌های عدد موج بالا، حساسیت فاز و دامنه محلی سیگنال مونوژنیک را نسبت به نوفه کاهش می‌دهد. فیلتر سیگنال مونوژنیک در حوزه‌ی پواسون حاوی فیلتر میان‌گذری متشکل از دو پارامتر h_c و h_f می‌باشد. این فیلتر همانند فیلتر ادامه فراسو است و باعث حذف نوفه‌های سطحی می‌شود. بی‌هنجاری‌ها با طول موج کوتاه را فیلتر و دامنه آن‌ها را کاهش می‌دهد، این امر سبب تضعیف نوفه می‌شود.

۲. فیلتر زاویه تمایل و دامنه سیگنال تحلیلی سه بعدی مبتنی بر مشتقات قائم و افقی سیگنال هستند؛ همین امر باعث تشدید در مولفه‌های عدد موج بالای بی‌هنجاری می‌شود. از این رو دامنه سیگنال تحلیلی سه بعدی و فیلتر زاویه تمایل به نوفه حساسیت بیشتری دارند و نمی‌توانند به درستی در حضور نوفه مرزهای بی‌هنجاری را مشخص کنند. عرض محاسبه شده توسط فیلتر زاویه تمایل همواره کوچکتر یا مساوی عرض واقعی می‌باشد، اما نتایج آن در مدل‌های عمیق‌تر

کمتر قابل ملاحظه است. در مقابل فاز محلی سیگنال مونوژنیک در لبه‌ها بیشینه مقدار را دارد و به خوبی مرز توده‌ها را مشخص می‌کند.

۳. با توجه به هدف تحقیق به منظور تفکیک و آشکارسازی ساختارهای زیرسطحی چهار مدل مصنوعی اعم از یک مدل سطح شیبدار مغناطیسی و سه مدل گرانی تهیه و اثر مغناطیس و گرانی آن‌ها محاسبه گردید. سپس فیلترهای دامنه و فاز محلی سیگنال مونوژنیک بر روی مغناطیس و گرانی حاصل از این چهار مدل اعمال شدند و در نهایت برای بررسی با سایر فیلترهای تشخیص لبه با فیلترهای زاویه تمایل و دامنه سیگنال تحلیلی مقایسه شده‌اند. در مورد قدرت تفکیک چشمه‌ها از یکدیگر شکل‌های (۴-۳۲) و (۴-۳۳) بهترین نتیجه را در مقایسه با فیلترهای زاویه تمایل و دامنه سیگنال تحلیلی داشته است.

۴. اعمال فیلترهای دامنه و فاز محلی سیگنال مونوژنیک بر روی داده‌های گرانی منطقه قم و داده‌های مغناطیس منطقه اجت آباد نشان داد، فیلتر فاز محلی سیگنال مونوژنیک مانند فیلتر زاویه تمایل تا حدودی ساختارهای مربوطه را مشخص کرده‌اند، اما نتیجه خیلی مطلوبی در خصوص تفکیک بی‌هنجاری‌ها به وضوح نبوده است، ولی سبب شناسایی شیب و گسترش توده‌ها شده است و از طرفی حساس به نوفه‌های محدوده نبوده است. در حالی که اعمال این فیلتر بر روی داده‌های گرانی منطقه موبرون در مقایسه با فیلترهای دامنه سیگنال تحلیلی و فیلتر زاویه تمایل مرزهای لبه ساختارهای زیرسطحی با عمق بیشتر را با وضوح بالاتری، تفکیک و نشان داده است.

۲-۵ پیشنهادات

در ادامه پیشنهادات زیر که می‌تواند راه گشای کارهای آینده باشد ارائه می‌گردد:

- جهت تعیین لبه و مرز ساختارهایی که دارای شیب می‌باشند (نظیر دایک شیبدار) و همچنین در مورد مناطقی که وجود چند منبع بی‌هنجاری با عمق و گسترش سطحی‌های

متفاوت و بیهنجاری‌هایی با دامنه کم مانع از تفسیر صحیح می‌شوند؛ استفاده از فیلتر دامنه و

فاز محلی سیگنال مونوژنیک پیشنهاد می‌گردد.

- به جهت تسریع در عملیات تفسیر و شناسایی چشمه‌های بی‌هنجاری و پیچیدگی‌های مدل‌سازی، بدلیل وجود فیلتر میان‌گذر پیشنهاد می‌شود از فیلترهای دامنه و فاز محلی سیگنال مونوژنیک استفاده شود.

- به‌نظر می‌رسد از این فیلتر می‌توان در سایر روش‌های ژئوفیزیکی به‌ویژه در مگنتوتلوریک و لرزه‌ای جهت شناسایی لبه‌های اجسام بی‌هنجار استفاده شود.

منابع

- ابراهیم زاده اردستانی، و، (۱۳۸۹)، "گرانی سنجی کاربردی"، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران، ۲۳۰ صفحه.
- ابراهیم زاده اردستانی، و. و متولی عنبران، س. ه.، ۱۳۸۶، "محدودیت‌های روش سیگنال تحلیلی در تعیین عرض بی‌هنجاریه‌ای گرانی، م.، ۳۳(۲)، ۷۷-۸۳.
- خالد زاده، م.، (۱۳۹۴)، پایان نامه ارشد: "تفسیر آنومالی‌های گرانی با استفاده از تانسورهای گرادیان گرانی"، دانشکده‌ی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- فارسی، ن.، (۱۳۹۴)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "تعیین مرز بی‌هنجاری‌های میدان پتانسیل با استفاده از عملگر مشتق تعمیم یافته (مطالعه موردی: معدن ده‌ملا - شاهرود)"، دانشکده‌ی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- قربانی، م.، (۱۳۸۱)، "دیبچه‌ای بر زمین شناسی اقتصادی ایران. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی"، پایگاه ملی داده‌های علوم زمینی کشور، گزارش ۲.
- علمدارک، انصاری، ع ا، (۱۳۸۸)، "برآورد مرز بی‌هنجاری‌های میدان پتانسیل با مشتق قائم سیگنال تحلیلی"، مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۶، شماره ۳، صفحه ۷۹-۸۶.
- کاظمی، ک.، معمارضیاء، ع ا، (۱۳۹۵)، "ژئوفیزیک برای زمین‌شناسان، مهندسين مخزن و حفاری"، چاپ اول، انتشارات سنا، ۱۷۷ صفحه.
- نوروزی غ.ح.، (۱۳۹۲)، "ژئوفیزیک اکتشافی"، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران، ۵۸۱ صفحه.
- مرادزاده، ع.، دولتی ارده جانی، ف.، (۱۳۸۵)، "طرح پژوهشی اکتشاف و مدل سازی داده‌های مغناطیسی کانسار آهن اجت آباد"، سمنان. دانشگاه صنعتی شاهرود، ۸۱ صفحه.
- نجاتی، ع.، روشندل، ا.، (۱۳۹۱)، "تعیین مرز داده‌های میدان پتانسیل با استفاده از تصویرسازی زاویه‌تتا"، مجله ژئوفیزیک ایران، ج ۷، صفحه ۲۴-۳۳.
- Beamish, D., (۲۰۱۲), "the application of spatial derivatives to non-potential field data interpretation", *Geophysical Prospecting*, ۶۰, ۳۳۷-۳۶۰.

- Blakely, J. R., (1995), "*Potential theory in gravity and magnetic applications*", Cambridge University Press, 441 p.
- Cameron, B., Gousse, S., (2010), "3D Goussev filter-A signal separation and edge detection filter applied to aeromagnetic data in the Great Australian Bight", *The Leading Edge*, 29, 902-905.
- Cooper, G. R. J., and D. R. Cowan, (2006), "Enhancing potential field data using filters based on the local phase", *Computers and Geosciences*, 32, 1080-1091.
- Cooper, G. R. J., and D. R. Cowan, (2007), "Enhancing linear features in image data using horizontal orthogonal gradient ratios", *Computers and Geosciences*, 33, 981-984.
- Cooper, G. R. J. and Cowan, D. R., (2008), "Edge enhancement of potential-field data using normalized statistics", *Geophysics*, 73, H1-H4.
- Cooper, G. R. J., (2009), "Balancing images of potential field data", *Geophysics*, 74, L17-L20.
- Cooper, G. R. J., (2011), "Reducing the dependence of the analytic signal amplitude of aeromagnetic data on the source vector direction", *Geophysics*, 76, no. 4, J60-J64.
- Cowan, D. and Grauch, V.J.S. (1998) "Separation filtering using fractional order derivatives" *Exploration Geophysics*, 29. 4. Pp. 393-396.
- Debeglia, N., Corpel, J., (1997), "Automatic 3-D interpretation of potential field data using analytic signal derivatives", *Geophysics*, 72, 87-96.
- Dobrin, M. B., Savit, C. H., (1998), "*Introduction to geophysical prospecting*", 4th edition, McGraw-Hill (New York), 877 p.
- Dong, G. G., and G. Y. Kuang, (2010), "Target recognition in SAR images via classification on Riemannian manifolds", *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 12, 199-203.
- Fedi, M., and G. Florio, (2011), "Detection of potential fields source boundaries by enhanced horizontal derivative method", *Geophysical Prospecting*, 59, 40-48.
- Felsberg, M., and G. Sommer, (2011), "The monogenic signal": *IEEE Transactions on Signal Processing*, 59, 3136-3144.

- Felsberg, M., and G. Sommer, (2008), "The monogenic scale-space: A unifying approach to phase-based image processing in scale-space", *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, 31, 20-26.
- Forsberg, R., (1988), "A study of terrain corrections, density anomalies, and geophysical inversion, methods in gravity field modeling", Report 300, Department of Geodetic Science and Surveying, *Ohio State University*.
- Fowles, G. R., Cassiday, G. L., (2008), "*Analytical mechanics*", 4th edition, Thompson Brookse Cole press, 248 p.
- Gerkens, J. C., (1989), "*Foundation of exploration geophysics*", Elsevier science publishers, 667 p.
- Green, R., Stanley, j. m., (1970), "Application of a Hilbert transform method to the interpretation of surface, vehicle magnetic data", *Geophysical Prospecting*, 23, 18-27.
- Hassan, H. H., and S. V. R. Yalamanchili, (2013), "Monogenic signal decomposition: A new approach to enhance magnetic data", *17rd Annual International Meeting, SEG*, Expanded Abstracts, 1206-1210.
- Hansen, R. O., deRidder, E., (2006), "Linear feature analysis for aeromagnetic data", *Geophysics*, 71, L71-L77.
- Hammer, S., (1962) "A comprehensive system of terrain corrections using a digital computer", *geophysics*, 27, 8.
- Hidalgo-Gato, M. C., and V. C. F. Barbosa, (2010), "Edge detection of potential-field sources using scale-space monogenic signal: Fundamental principles", *Geophysics*, 81, no. 2, J27-J36.
- Hidalgo-Gato, M. C., and V. C. F. Barbosa, (2011), Source code repository for "The monogenic signal of potential-field data, A Python Implementation", accessed 18 January 2011.
- Hinojosa, J., Mickus, K., (2001), "Hilbert transform of gravity gradient profiles: Special cases of the general gravity-gradient tensor in the Fourier transform domain", *Geophysics*, 72(3), 766-769.
- Hsu, S. K., J. C. Sibuet, and C. T. Shyu, (1996), "High-resolution detection of geologic boundaries from potential-field anomalies: An enhanced analytic signal technique", *Geophysics*, 71, 273-286.

- Jiang, F. Y., Gao, L. K., (2012), "Edge enhancement of gravity anomalies and gravity gradient tensors using an improved small sub-domain filtering method", *Applied Geophysics*, 9(2), 119-130.
- Kane, M. F., (1962), "A comprehensive system of terrain corrections using a digital computer", *Geophysics*, 27(4), 400-462.
- Krantz, S. G., (1999), Handbook of "Complex Variables", Boston, MA, Birkhäuser.
- Li, X., (2006), on "Theta map: Edge detection in magnetic data" *Geophysics*, 71, 3, pp. X11-X11.
- Li, X., (2006), "Understanding 2D analytic signal amplitude", *Geophysics*, 71(2), L13-L16.
- Marlon C. Hidalgo-Gato and Valéria C. F. Barbosa, (2010). "Edge detection of potential-field sources using scale-space monogenic signal: Fundamental principles", *GEOPHYSICS*, VOL. 80, NO. 0.
- Miller, H. G. and Singh, V., (1994), "Potential field tilt-a new concept for location of potential field sources", *Journal of Applied Geophysics*, 32, 113-117.
- Nabighian, M. N., (1972), "The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section; its properties and use for automated anomaly interpretation", *Geophysics*, 37, 0.7-0.17.
- Nabighian, M. N. (1974), "Additional comments on the analytic signal of twodimensional Magnetic bodies with polygonal cross-section", *Geophysics*, 39, 80-92.
- Nabighian, M. N., (1974), "Toward a three-dimensional automatic interpretation of potential field data via generalized Hilbert transforms Fundamental Relations", *Geophysics*, 49, 780-786.
- Nabighian, M. N., Hansen, R. O., (2001), "Unification of Euler and Werner Deconvolution in three dimensions via the generalized Hilbert transform", *Geophysics*, 66, 1800-1810.
- Pilkington, M. and Keating, P. (2004) "Contact mapping from gridded magnetic data- A comparison of techniques" *Exploration Geophysics*, 30, 4, pp. 306-311.

- Reynolds, J. M., (1997), "An introduction to applied and environmental geophysics" John Wiley and Sons, pp. 96.
- Salem, A., S. Williams D., Fairhead, R., Smith, D., (2008), "Interpretation of magnetic data using tilt-angle derivatives", *Geophysics*, 73(1), L1-L10.
- Roest, W. R., J. Verhoef, and M. Pilkington, (1992), "Magnetic interpretation using the 2D analytic signal", *Geophysics*, 57, 116-120.
- T. Bülow, (1999), "Hypercomplex Spectral Signal Representations for the Processing and Analysis of Image", Ph.D. dissertation, *Christian Albrechts Univ., Kiel, Germany*.
- Telford, W. M., Geldart, L. P., Sheriff, R. C. (1991) "Applied geophysics" 2nd edition, Cambridge University Press, pp. 99.

Abstract

Using Geophysical methods to find rock physical properties of the underground is the best way to find buried deposits. Because of the simplicity and cost efficiency of Gravity and Magnetic methods, these methods are considered as useful methods and have been used for pre-exploration methods. A lots of methods have been improved for auto-interpretation of the acquired data with these two methods. One of the targets potential field methods is to identify subsurface structures in terms of horizontal, vertical and their extension (anomalies edges). Detecting of the edges in potential field methods can produce the suitable models and prepare the results. In this thesis, the edges of anomalies have been detected by using local amplitude and phase of the scale-space monogenic signals and then the results have been compared with analytical signal amplitude (ASA) and tilt angle (TILT) methods.

In order to, the first some MATLAB codes have been written and the results of each code for synthetic and real data have been compared. By applying the methods on magnetic and gravity synthetic data, it has been demonstrated that the local amplitude and phase of the scale-space monogenic signals can work better than both ASA and TILT methods. At the end these methods have been applied to some real data from Qom Basin, Mobron massive sulfide copper mine and OjetAbad Iron deposit, and the results haave been evaluated and compared with the results of analytical signal methods and Tilt angle methods.

Keywords: Edge detection, Monogenic signal, Analytical signal Amplitude, Tilt Angle.



Shahrood University of Technology
Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering

M.Sc Thesis in Gravimetry

**Comparison of phase-filters and Scale-Space Monogenic Signal
in Edge detection of potential-field anomalies**

Maryam Ghareh shirazi

Supervisor:

Dr. Hamid Aghajani

January ۲۰۱۸