

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک
گروه ژئوفیزیک – گرانی سنجی

تفسیر داده‌های گرانی و مغناطیس آنومالی ۲۳ سنگ آهن ساغند با استفاده از روش‌های
پردازش تصویری

علیرضا امامی

اساتید راهنما:

دکتر حمید آقاجانی
دکتر حمید حسن‌پور

استاد مشاور:

دکتر لقمان نمکی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ۱۳۹۲



دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک
گروه ژئوفیزیک – گرانی سنجی

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای علیرضا امامی

تحت عنوان: تفسیر داده‌های گرانی و مغناطیس آنومالی ۲۳ سنگ آهن ساغند با استفاده
از روش‌های پردازش تصویری

در تاریخ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه
..... مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی : دکتر لقمان نمکی		نام و نام خانوادگی : دکتر حمید آقاجانی
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی : دکتر حمید حسن پور

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی : دکتر منصور ضیایی		نام و نام خانوادگی : دکتر علی نجاتی - کلاته
			نام و نام خانوادگی : دکتر بهزاد تخم‌چی

تقدیم به:

الهه عشق و عاطفه، مادر فداکار و دلسوزم که همیشه وجودشان امید بخش زندگیم و دعای خیرشان بدرقه راهم بوده است.

همسر مهربانم که با قلبی آکنده از عشق و معرفت، محیطی سرشار از امنیت و آرامش برای من فراهم نموده است.

تقدیر و تشکر

ستاش و سپاس خداوند آفریدگار جهان و جهانیان.

خداوندی که سخنوران در ستودن او بمانند و شمارگان شمردن نعمت‌های او را ندانند و کوشندگان حق او را گزاردن نتوانند.

او را می‌ستایم که کرم خویش را شامل حال ما، رسیدن به معشوق را عشق ما، معرفت را وسیله آن، حیات را از بهر زیستن و زیستن را کمال و تعالی ما قرار داد. چرا که جهالت سخت است و رذالت، برآمده از آن و معرفت شیرین و شهادت زاینده آن.

بی‌شک این پژوهش بدون یاری و مدد بسیاری از سروران و دوستان گران‌قدر، به نتیجه مطلوب نمی‌رسید. از این رو به پاس کلام اهورایی (من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق)، بر خود لازم می‌دانم تا از مساعدت‌ها و راهنمایی‌های اساتید گران‌قدرم، جناب آقای دکتر حمید آقاجانی، دکتر حمید حسن‌پور، و استاد مشاورم آقای دکتر لقمان نمکی که در طول مراحل این پروژه همواره بنده را مورد لطف و محبت خود قرار داده و راهگشای مشکلات علمی و تحقیقی بنده بودند و همچنین از زحمات بی‌دریغ مهندس فریدون شریفی که از دانش و تجربیاتشان بسیار بهره‌گرفتم کمال تقدیر و امتنان را داشته و موفقیت روز افزون این گرامیان را از دادگر هستی‌بخش خواستارم.

تعهد نامه

اینجانب **علیرضا امامی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته رشته ژئوفیزیک گرایش گرانی سنجی از دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه کارشناسی ارشد تحت عنوان: **تفسیر داده‌های گرانی و مغناطیس آنومالی ۲۳ سنگ آهن ساغند با استفاده از روش‌های پردازش تصویری تحت راهنمایی آقایان دکتر حمید آقاجانی و دکتر حمید حسن پور** 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 تا کنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تاثیرگذار بوده‌اند، 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، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) مربوط به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی و اندازه‌گیری خصوصیات فیزیکی سنگ‌های زیرسطحی راه حل مناسبی برای بررسی ساختارهای زیرسطحی و اکتشاف ذخایر مدفون در زیر زمین (از قبیل نفت، گاز، آب، کانی‌ها و...) می‌باشند. کاوش‌های گرانی سنجی و مغناطیسی به دلیل سادگی و کم هزینه بودن از جمله روش‌های پرکاربرد ژئوفیزیکی هستند که برای اکتشافات مقدماتی به کار می‌روند. برای پردازش و تفسیر خودکار داده‌های برداشت شده در این دو روش تاکنون روش‌های متعددی ارائه شده است.

فیلتر کردن داده‌های میدان پتانسیل، پردازش عددی است که رکن مهمی در تعبیر و تفسیر داده‌های مغناطیس‌سنجی و گرانی‌سنجی دارد. در این تحقیق کارایی فیلترهای مرسوم ژئوفیزیکی شامل فیلترهای روندسطحی، فیلترهای تبدیل میدان، فیلترهای مشتق و فیلترهای فاز محلی در پردازش تصاویر داده‌های گرانی و مغناطیس‌آنومالی ۲۳ سنگ آهن ساغند مورد بررسی قرار گرفت. همچنین با تهیه کدی در محیط نرم‌افزار متلب اثر اعمال فیلترهای لاپلاس اول و دوم، سوبل، پرویت و کنی روی داده‌ها بررسی گردید. بررسی‌ها نشان می‌دهد، که بهترین کارایی را فیلترهای لاپلاس دوم، سوبل و کنی در بارزسازی آنومالی‌های گرانی و مغناطیس داشتند. از طرفی نتایج نشان می‌دهد که اثر خط-واره‌ها با اعمال فیلترهای لاپلاس اول و دوم، سوبل جهتی، سوبل دوبعدی و کنی بر روی داده‌های مغناطیسی نسبتاً بارز شده است. در جمع بندی نتایج می‌توان این‌طور عنوان نمود که از بین فیلترهای پردازش تصویر، فیلتر کنی کارایی در تعیین مرز و لبه آنومالی و فیلترهای فاز محلی برای شناسایی خطواره‌ها و بارز کردن امتداد کانی‌زایی کانسارهای رگه‌ای کاربرد مناسبی دارند. نتایج بررسی‌ها روی داده‌های گرانی و مغناطیس چندین نقطه را برای ادامه عملیات اکتشافی و فعالیت‌های بعدی مثل حفاری پیشنهاد می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: گرانی‌سنجی، مغناطیس‌سنجی، سنگ آهن ساغند، فیلترهای مرسوم ژئوفیزیکی، فیلترهای فاز محلی، فیلترهای پردازش تصاویر.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۱ فصل اول : کلیات.....	۱
۱-۱ مقدمه	۲
۲-۱ کانسارهای آهن.....	۴
۱-۲-۱ مگنتیت.....	۴
۲-۲-۱ هماتیت	۵
۳-۲-۱ لیمونیت	۶
۴-۲-۱ گوتیت	۶
۵-۲-۱ پیریت	۶
۶-۲-۱ پیروتیت (پیریت مغناطیسی).....	۷
۳-۱ روش‌های میدان پتانسیل.....	۷
۱-۳-۱ روش گرانی‌سنجی.....	۹
۲-۳-۱ روش مغناطیس‌سنجی.....	۱۰
۴-۱ آشنایی با مفاهیم اولیه در پردازش تصویر.....	۱۰
۱-۴-۱ نمایش تصویر دیجیتالی.....	۱۰
۲-۴-۱ عوامل موثر در تشکیل تصویر.....	۱۱
۳-۴-۱ مفهوم پیکسل در تصویر.....	۱۱
۴-۴-۱ مفهوم عمق بیتی.....	۱۱
۵-۱ پردازش تصاویر.....	۱۲
۱-۵-۱ روش فیلترکردن.....	۱۲
۶-۱ منظور از بعد فرکانسی پردازش تصویر و ویژگی‌های آن.....	۱۲
۷-۱ اهداف و ضرورت تحقیق.....	۱۴
۸-۱ روش تحقیق.....	۱۵
۹-۱ ساختار پایان‌نامه.....	۱۵
۲ فصل دوم: روش‌های میدان پتانسیل (گرانی‌سنجی و مغناطیس‌سنجی).....	۱۷
۱-۲ مقدمه.....	۱۸
۲-۲ مفهوم میدان پتانسیل.....	۱۹
۳-۲ مراحل اجرای روشهای میدان پتانسیل برای اکتشاف مواد معدنی.....	۲۱
۱-۳-۲ جمع‌آوری داده‌ها و تصحیح آنها.....	۲۱
۲-۳-۲ تفکیک و آشکارسازی آنومالی‌ها.....	۲۲
۳-۳-۲ تعیین مشخصات زیر سطحی و منابع مولد آنومالی‌ها.....	۲۲
۴-۳-۲ تفسیر مدل فیزیکی به مفهوم زمین‌شناسی.....	۲۲
۴-۲ روش گرانی‌سنجی.....	۲۲
۱-۴-۲ شتاب جاذبه.....	۲۳

۲۴	۵-۲ عوامل تاثیرگذاری بر روی جاذبه در سطح زمین.....
۲۵	۱-۵-۲ تصحیح دریافت.....
۲۶	۲-۵-۲ تصحیح عرض جغرافیایی.....
۲۷	۳-۵-۲ تصحیح ارتفاعی (هوای آزاد + بوگه).....
۲۹	۴-۵-۲ تصحیح توپوگرافی.....
۳۰	۶-۲ تفکیک آنومالی‌های ناحیه‌ای و باقیمانده.....
۳۱	۷-۲ روش مغناطیس‌سنجی.....
۳۳	۸-۲ برداشت داده‌های مغناطیسی.....
۳۴	۱-۸-۲ برداشت‌های صحرایی میدان مغناطیسی.....
۳۵	۹-۲ تصحیحات داده‌های مغناطیسی.....
۳۵	۱-۹-۲ تصحیحات روزانه.....
۳۵	۲-۹-۲ تصحیح عرض جغرافیایی.....
۳۵	۳-۹-۲ تصحیح ارتفاع.....
۳۶	۴-۹-۲ تصحیحات توپوگرافی.....
۳۶	۱۰-۲ برگردان به قطب داده‌های مغناطیسی.....
۳۶	۱۱-۲ تفکیک و آشکارسازی.....
۳۷	۱۲-۲ نقشه‌های میدان پتانسیل.....
۳۹	۳ فصل سوم: انواع فیلترهای مرسوم ژئوفیزیکی و پردازش تصویر.....
۴۰	۱-۳ مقدمه.....
۴۰	۲-۳ فیلترهای مرسوم برای پردازش داده‌های میدان پتانسیل.....
۴۱	۱-۲-۳ روند سطحی.....
۴۲	۲-۲-۳ فیلترهای تبدیلات.....
۴۴	۳-۲-۳ فیلترهای مشتق.....
۴۷	۴-۲-۳ سیگنال تحلیلی.....
۴۸	۵-۲-۳ فیلترهای فاز محلی.....
۵۰	۳-۳ فیلترهای پردازش تصویر.....
۵۲	۴-۳ فیلترهای گذر پایین (هموارسازی).....
۵۲	۱-۴-۳ فیلتر میانگین.....
۵۳	۵-۳ فیلترهای گذر بالا (آشکارساز لبه).....
۵۵	۶-۳ فیلترهای گرادیان و لاپلاسیان.....
۵۶	۱-۶-۳ فیلترهای گرادیان.....
۵۷	۲-۶-۳ فیلترهای لاپلاسیان.....
۶۰	۴ فصل چهارم: اعمال فیلترهای پردازش تصویر بر روی مدل گرانی مصنوعی.....
۶۱	۱-۴ مقدمه.....
۶۱	۲-۴ پاسخ گرانی توده‌های با اشکال هندسی منظم.....
۶۱	۱-۲-۴ اثر گرانی ناشی از وجود یک استوانه افقی مدفون.....
۶۳	۲-۲-۴ اثر ناشی از یک کره مدفون.....
۶۴	۳-۴ مدل کره.....

۴-۴	اعمال فیلترها بر روی داده گرانی مصنوعی منشور.....	۶۵
۴-۴-۱	فیلتر لاپلاس مرتبه اول ودوم، فیلتر میانگین.....	۶۵
۴-۴-۲	اعمال فیلتر سوبل در جهت X و Y، پرویت در جهت X و Y.....	۶۷
۴-۴-۳	اعمال فیلترهای سوبل، پرویت و کنی در دوبعد.....	۶۹
۵ فصل پنجم: تفسیر داده‌های گرانی و مغناطیس آنومالی ۲۳ سنگ آهن ساغند با استفاده از روش‌های پردازش تصویری.....		
۵-۱	مقدمه.....	۷۱
۵-۲	موقعیت جغرافیایی.....	۷۲
۵-۳	مورفولوژی منطقه مورد مطالعه.....	۷۳
۵-۴	زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه.....	۷۴
۵-۵	تکتونیک منطقه.....	۷۶
۵-۶	چگونگی عملکرد فیلتر بر روی تصویر.....	۷۷
۵-۷	پردازش داده‌های گرانی آنومالی ۲۳ سنگ آهن ساغند.....	۷۸
۵-۷-۱	مقدمه.....	۷۸
۵-۷-۲	موقعیت و نحوه برداشت داده‌های گرانی آنومالی ۲۳ سنگ آهن ساغند.....	۷۸
۵-۷-۳	نقشه آنومالی بوگه.....	۷۸
۵-۷-۴	اعمال فیلترهای مرسوم ژئوفیزیکی.....	۸۰
۵-۷-۵	سیگنال تحلیلی.....	۸۵
۵-۷-۶	اعمال فیلترهای لاپلاس، سوبل، پرویت و کنی بر روی داده‌های گرانی.....	۸۶
۵-۷-۷	فیلتر زاویه تیلت هایپربولیک (HTA).....	۹۵
۵-۷-۸	فیلتر تا.....	۹۶
۵-۷-۹	فیلتر زاویه تیلت.....	۹۶
۵-۸	پردازش داده‌های مغناطیسی آنومالی ۲۳ سنگ آهن ساغند.....	۹۸
۵-۸-۱	مقدمه.....	۹۸
۵-۸-۲	نحوه برداشت و موقعیت نقاط برداشت داده‌های مغناطیسی.....	۹۸
۵-۸-۳	نقشه میدان مغناطیسی کل.....	۹۹
۵-۸-۴	برگردان به قطب شمال مغناطیسی.....	۱۰۰
۵-۸-۵	روند سطحی.....	۱۰۱
۵-۸-۶	سیگنال تحلیلی.....	۱۰۲
۵-۸-۷	روش گسترش میدانی داده‌های مغناطیسی به سمت بالا.....	۱۰۴
۵-۸-۸	فیلترهای مشتق.....	۱۰۷
۵-۸-۹	اعمال فیلترهای لاپلاس، سوبل، پرویت و کنی.....	۱۱۰
۵-۸-۱۰	فیلتر زاویه تیلت هایپربولیک (HTA).....	۱۱۷
۵-۸-۱۱	فیلتر تا.....	۱۱۸
۵-۸-۱۲	فیلتر زاویه تیلت.....	۱۱۹
۵-۹	بررسی نتایج و تعیین نقاط حفاری.....	۱۲۰
۵-۱۰	استفاده از اطلاعات حفاری برای اعتبار سنجی داده‌های گرانی و مغناطیس.....	۱۲۳
۶ فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات.....		
		۱۲۷

۱۲۸.....۱-۶ نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۱۲۳.....فهرست منابع

۱۳۱.....پیوست

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲: کره عمیق ترین توده‌های است که می‌توان به طور تقریبی آنومالی گرانی نشان داده شده را به آن نسبت داد. توده‌های پهن تر و کم عمق تری از قبیل (۲) و (۳) نیز می‌توانند به عنوان مولد آنومالی گرانی در نظر گرفته شوند. جرم کل تمام آن‌ها یکسان فرض شده است. [Reynolds, 1997]. ۱۹
- شکل ۲-۲: اثر میدان جاذبه توپوگرافی اطراف یک ایستگاه روی مقدار گرانی اندازه‌گیری شده [Reynolds, 1997]. الف- اثر کوه ب- اثر دره. ۳۰
- شکل ۱-۳: نتیجه اعمال فیلتر روی یک تصویر [انصاری، علمدار، ۱۳۹۰]. ۵۱
- شکل ۲-۳: فیلتر فرکانس پایین‌گذر با PSF آن [Liu and Mason., 2009]. ۵۲
- شکل ۳-۳: اعمال فیلتر میانگین (الف) تصویر اصلی (ب) تصویر پس از اعمال فیلتر میانگین 9×9 [Liu and Mason., 2009]. ۵۳
- شکل ۴-۳: فیلتر فرکانس بالاگذر با PSF آن [Liu and Mason., 2009]. ۵۴
- شکل ۵-۳: مهم‌ترین فیلترهای آشکارساز لبه. (الف) فیلتر آشکارساز لبه عمودی (ب) فیلتر آشکارساز لبه جهتی، این فیلتر لبه‌های مورب را استخراج میکند. (ج) فیلتر آشکارساز لبه لاپلاس مرتبه اول، این فیلتر یک فیلتر همه جهته است. (ه) فیلتر آشکارساز لبه لاپلاس مرتبه دوم، این فیلتر نیز یک فیلتر همه‌جهته است [Liu and Mason., 2009]. ۵۵
- شکل ۶-۳: اعمال فیلتر sobel. (الف) تصویر اصلی. (ب) محاسبه g_x توسط فیلتر sobel (ج) محاسبه g_y توسط فیلتر sobel [Liu and Mason., 2009]. ۵۷
- شکل ۷-۳: اعمال فیلتر لاپلاسی. (الف) تصویر اصلی (ب) نتیجه اعمال فیلتر لاپلاس (ج) هیستوگرام تصویر فیلتر شده لاپلاسی [Liu and Mason., 2009]. ۵۹
- شکل ۱-۴: اثر گرانی قائم محاسبه شده در طول پروفیل عمود بر محور استوانه افقی و (ب) یک استوانه افقی مدفون با طول بینهایت که عمود بر پروفیل محاسبه قرار دارد. ۶۲
- شکل ۲-۴: نمودار تغییرات گرانی قائم یک کره از یک نقطه دلخواه P و (ب) یک کره فرضی مدفون. ۶۴
- شکل ۳-۴: مصنوعی مدل. ۶۵
- شکل ۴-۴: کاربرد فیلترها در تخمین مرز بر روی داده‌های گرانی مصنوعی. (الف) نقشه فیلتر لاپلاس مرتبه اول. (ب) نقشه فیلتر لاپلاس مرتبه دوم. ۶۶
- شکل ۵-۴: نقشه فیلتر میانگین بر روی مدل مصنوعی. ۶۷
- شکل ۶-۴: کاربرد فیلترها در تخمین مرز مدل مصنوعی. (الف) نقشه فیلتر سوبل افقی. (ب) نقشه فیلتر سوبل عمودی. (ج) نقشه فیلتر پرویت افقی. (د) نقشه فیلتر پرویت عمودی. ۶۸
- شکل ۷-۴: کاربرد فیلترها بر روی مدل مصنوعی. (الف) نقشه فیلتر سوبل دو بعدی. (ب) نقشه فیلتر پرویت دو بعدی. ۶۹
- شکل ۸-۴: نقشه فیلتر کنی بر روی مدل مصنوعی. ۷۰
- شکل ۱-۵: موقعیت و محل برداشت داده‌های آنومالی ۲۳ سنگ آهن ساغند. ۷۳
- شکل ۲-۵: حفر یک ترانشه بر روی آنومالی ۲۳ (دید به سمت غرب). ۷۴
- شکل ۳-۵: نقشه زمین‌شناسی آنومالی ۲۳ سنگ آهن ساغند در ورقه ۰۰۰, ۰۰۰ : ۱ : ۱۰۰۰ ساغند. (کادر زرد رنگ محدوده مورد مطالعه را نشان میدهد. ۷۶
- شکل ۴-۵: نحوه برداشت داده‌های گرانی آنومالی ۲۳ سنگ آهن ساغند. ۷۹
- شکل ۵-۵: نقشه آنومالی بوگه آنومالی ۲۳ سنگ آهن ساغند. ۷۹
- شکل ۶-۵: نقشه روند سطحی درجه ۳ بر روی داده‌های گرانی آنومالی ۲۳ سنگ آهن ساغند. ۸۱

- شکل ۷-۵: نقشه گسترش به بالای ۸۰ متر و باقیمانده بر روی گسترش به بالای ۸۰. الف) گسترش به بالای ۸۰ متر. ب) آنومالی ناشی از گسترش به بالای ۸۰ متر. ۸۲
- شکل ۸-۵: نقشه مشتق در جهت X داده‌های گرانی آنومالی ۲۳ سنگ آهن ساغند. ۸۳
- شکل ۹-۵: نقشه مشتق در جهت Y داده‌های گرانی آنومالی ۲۳ سنگ آهن ساغند. ۸۴
- شکل ۱۰-۵: نقشه مشتق قائم داده‌های گرانی آنومالی ۲۳ سنگ آهن ساغند. ۸۵
- شکل ۱۱-۵: نقشه سیگنال تحلیلی بر روی داده‌های گرانی آنومالی ۲۳. ۸۶
- شکل ۱۲-۵: نقشه اعمال فیلتر لاپلاس اول و دوم بر روی نقشه آنومالی بوگه. الف) نقشه فیلتر لاپلاس اول. ب) نقشه فیلتر لاپلاس دوم. ۸۸
- شکل ۱۳-۵: نقشه اعمال فیلتر سوبل در جهت X و Y. الف) نقشه فیلتر سوبل در جهت X. ب) نقشه فیلتر سوبل در جهت Y. ۹۰
- شکل ۱۴-۵: نقشه پرویت در جهت X و Y. الف) نقشه پرویت در جهت X. ب) نقشه پرویت در جهت Y. ۹۱
- شکل ۱۵-۵: نقشه فیلتر میانگین. ۹۲
- شکل ۱۶-۵: نقشه فیلتر سوبل دوبعدی بر روی داده‌های گرانی آنومالی ۲۳. ۹۳
- شکل ۱۷-۵: نقشه فیلتر دو بعدی پرویت و کنی را نشان میدهد. الف) پرویت دو بعدی. ب) کنی دوبعدی. ۹۴
- شکل ۱۸-۵: فیلتر زاویه تیلت هایپربولیک. ۹۵
- شکل ۱۹-۵: نقشه فیلتر تتا بر روی داده‌های گرانی آنومالی ۲۳. ۹۶
- شکل ۲۰-۵: نقشه فیلتر زاویه تیلت بر روی داده‌های گرانی آنومالی ۲۳. ۹۷
- شکل ۲۱-۵: نقشه نحوه برداشت داده‌های مغناطیسی بر روی محدوده آنومالی ۲۳ ساغند. ۹۹
- شکل ۲۲-۵: نقشه شدت کل میدان مغناطیسی آنومالی ۲۳. ۱۰۰
- شکل ۲۳-۵: نقشه برگردان به قطب داده‌های مغناطیسی آنومالی ۲۳ سنگ آهن ساغند را نشان میدهد. ۱۰۱
- شکل ۲۴-۵: نقشه حاصل از اعمال روند سطحی بر روی برگردان به قطب داده‌های میدان مغناطیسی. ۱۰۲
- شکل ۲۵-۵: نقشه سیگنال تحلیلی بروی نقشه برگردان به قطب داده‌های مغناطیسی. ۱۰۳
- شکل ۲۶-۵: نقشه گسترش به سمت بالای ۱۵ متر را نشان میدهد. ۱۰۵
- شکل ۲۷-۵: نقشه گسترش به سمت بالای ۵۰ متر. ۱۰۶
- شکل ۲۸-۵: نقشه به سمت بالای ۸۵ متر. ۱۰۶
- شکل ۲۹-۵: نقشه مشتق در جهت X داده‌های مغناطیسی آنومالی ۲۳ سنگ آهن ساغند. ۱۰۸
- شکل ۳۰-۵: نقشه مشتق در جهت Y داده‌های مغناطیسی آنومالی ۲۳ سنگ آهن ساغند. ۱۰۹
- شکل ۳۱-۵: نقشه مشتق در جهت Z داده‌های مغناطیسی آنومالی ۲۳ سنگ آهن ساغند. ۱۰۹
- شکل ۳۲-۵: نقشه فیلتر لاپلاس اول بر روی داده‌های برگردان به قطب مغناطیسی. ۱۱۱
- شکل ۳۳-۵: نقشه فیلتر لاپلاس دوم بر روی داده‌های برگردان به قطب مغناطیسی. ۱۱۱
- شکل ۳۴-۵: نقشه فیلتر سوبل در جهت X. ۱۱۲
- شکل ۳۵-۵: نقشه فیلتر سوبل در جهت Y. ۱۱۳
- شکل ۳۶-۵: نقشه فیلتر پرویت در جهت X. ۱۱۳
- شکل ۳۷-۵: نقشه فیلتر پرویت در جهت Y. ۱۱۴
- شکل ۳۸-۵: نقشه فیلتر میانگین بر روی داده‌های برگردان به قطب مغناطیسی. ۱۱۵
- شکل ۳۹-۵: نقشه سوبل دوبعدی. ۱۱۶
- شکل ۴۰-۵: نقشه فیلتر پرویت دو بعدی. ۱۱۶
- شکل ۴۱-۵: نقشه فیلتر کنی را نشان میدهد. ۱۱۷

- شکل ۵-۴۲: نقشه زاویه تیلت هایپربولیک..... ۱۱۸
- شکل ۵-۴۳: نقشه فیلتر تتا بر روی داده‌های مغناطیسی..... ۱۱۹
- شکل ۵-۴۴: نقشه فیلتر زاویه تیلت بر روی داده‌های مغناطیسی..... ۱۲۰
- شکل ۵-۴۵: محل نقاط حفاری بر روی نقشه داده‌های گرانی و مغناطیسی..... ۱۲۲
- شکل ۵-۴۶: نقاطی که در آن حفاری انجام شده است..... ۱۲۳
- شکل ۵-۴۷: محل نقاط که حفاری شده و به آهن برخورد نموده..... ۱۲۴
- شکل ۵-۴۸: نقشه نقاطی که حفاری شده و به ماده معدنی برخورد ننموده است..... ۱۲۵

فهرست جداول

جدول ۴-۱: مشخصات مدل مصنوعی	۶۴
جدول ۵-۱: محل نقاط حفاری به ترتیب اولویت.....	۱۲۱
جدول ۵-۲: نتایج حفاری.....	۱۲۶

فصل اول

کلیات

۱-۱ مقدمه

ایجاد توسعه در جوامع بشری که با هدف ایجاد تغییرات اساسی در ساختار جامعه صورت می گیرد، مسئله‌ای همه جانبه و پیچیده است. بخش معدن و صنایع معدنی در بسیاری از کشورها از جمله ایران مهمترین مسیر در رسیدن به توسعه پایدار می‌باشد. بی‌شک یکی از مولفه‌های نیل به رشد و توسعه اقتصادی استفاده بهینه از نهاده‌های تولید است. اقتصاددانان منابع طبیعی و خدادادی همچون منابع معدنی را به عنوان یکی از نهاده‌های تولید، حائز اهمیت می‌دانند. به مرور، نقش دانش بشری اهمیت بیشتری یافته و ارتقای توانمندی‌های تئوریک و عملی، هزینه بهره‌برداری بهینه از منابع خدادادی به خصوص منابع معدنی را کاهش داده است.

اولین نشانه‌های استفاده از آهن به زمان سومریان و مصریان باز می‌گردد که تقریباً ۴۰۰۰ سال قبل از میلاد با آهن کشف شده از شهاب سنگ‌ها اقلام کوچکی مثل نیزه و زیورآلات می‌ساختند. اما امروزه به صورت گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد. آهن یکی از رایج‌ترین عناصر زمین است که تقریباً ۵ درصد پوسته زمین را تشکیل می‌دهد.

کاربرد آهن از تمامی فلزات پوسته زمین بیشتر است و ۹۵ درصد فلزات تولید شده در سراسر جهان را تشکیل می‌دهد. قیمت ارزان و مقاومت بالای ترکیب آن استفاده از آن را بخصوص در اتومبیل‌ها، بدنه کشتی‌ها و ساختمان‌ها و غیره اجتناب ناپذیر کرده است.

با توجه به اینکه سنگ آهن از منابع زیرسطحی می‌باشد، نیاز روزافزون به آهن این ماده معدنی باعث شد که انسان با استفاده از روش‌های مختلف به کشف و استخراج آن بپردازد. روش‌های ژئوفیزیکی که - طیف گسترده‌ای از مطالعات مربوط به فضا، دریا و زمین را تشکیل می‌دهد، که بخشی از آن به اکتشاف منابع معدنی، هیدروکربنی، آب و شناسائی زمین و محیط زیست می‌پردازد.. از میان روش‌های ژئوفیزیکی روش گرانی‌سنجی و مغناطیس‌سنجی از مطمئن‌ترین روش‌های میدان پتانسیل برای اکتشاف این ماده معدنی با ارزش زیرسطحی می‌باشند

روش گرانی‌سنجی و مغناطیسی‌سنجی از روش‌های مستقیم ژئوفیزیکی هستند که شامل اندازه‌گیری نیرویی در زمین است که انسان نه قادر است آن را بوجود آورد نه تغییری در آن ایجاد کند. اساس روش گرانی و مغناطیس تغییرات شتاب ثقل و مغناطیس زمین می‌باشد که اولی چگونگی توزیع وزن مخصوص و دومی مقدار خودپذیری مغناطیس را تعیین می‌نماید.

یکی از روش‌های ارائه داده‌های حاصله در روش‌های گرانی و مغناطیسی نقشه‌های هم مقدار گرانی و مغناطیسی است که معمولاً در تعبیر و تفسیر کیفی جهت تشخیص آنومالی‌ها، حدود و گسترش آن‌ها و تعیین روندهای ساختمانی کاربرد بسیار زیادی دارند و می‌توان آن‌ها را به عنوان تصویر در نظر گرفت. در اکثر موارد اطلاعات مندرج در این نقشه‌ها با نویزهای مختلف پوشیده می‌ماند. نویزها عامل مزاحمی هستند که مانع از تظاهر سیگنال می‌شوند با اعمال روش‌های پردازش تصویر می‌توان نویزهای مزاحم را کاهش داد و آنومالی‌ها را برجسته و در نهایت مرز و حدود آنومالی‌ها را مشخص کرد بنابراین حداکثر اطلاعات از این تصویر به دست می‌آید.

مهم‌ترین ابزاری که جهت پردازش تصاویر میدان پتانسیل وجود دارد فیلترهای گوناگون است که هر کدام ماهیت و کاربردهای مختلفی دارد. فیلتر کردن داده‌های میدان پتانسیل، پردازش عددی است که جلوه‌های مختلف داده‌های میدان گرانی یا مغناطیسی را مشخص می‌کند.

عمل فیلتر کردن اغلب شامل قرار دادن یک یا چند پنجره متحرک بر روی داده‌ها و آنالیز داده‌های محاط در پنجره است. این آنالیز شامل عملیات ریاضی پیچیده مانند تبدیل فوریه و یا متوسط‌گیری ریاضی ساده می‌باشد. بعد از عملیات فیلتر کردن، داده‌ها به صورت یک فایل جدید خارج می‌شوند.

مهم‌ترین کاربرد فیلترها جداسازی آنومالی‌های ناحیه‌ای و باقی‌مانده، جانمایی دقیق محل آنومالی‌ها بر روی منابع مواد آنومالی، تخمین مرز منابع مولد آنومالی بر روی نقشه‌های هم مقدار گرانی و مغناطیسی و کاهش نویزهای موجود در نقشه‌ها و تصاویر میدان پتانسیل است. اصولاً فیلترها در دو گروه اصلی فیلترهای تبدیل فوریه که شامل تبدیل داده‌ها در حوزه فرکانس و کار کردن بر روی داده‌ها و سپس بازگرداندن آن‌ها در حوزه مکان است و فیلترهای هم‌امیخت که به صورت آمیخته شدن یک فیلتر با یک مجموعه داده‌ها عمل می‌کند و داده‌ها به حوزه فرکانس منتقل نمی‌شوند.

پردازش تصویر را می‌توان در حکم نگاشتی از فضای تصویر به فضای اطلاعات دانست که موجب آماده‌سازی تصویر برای آنالیزهای بعدی می‌شود. این پردازش‌ها بسیار متنوع‌اند و طیف وسیعی از عملیات مانند حذف خطا، بهبود کنتراست و اعمال فیلترها را در بر می‌گیرد. این گونه پردازش‌ها به عملیات طیفی معروف هستند که بیشتر با مقادیر پیکسل کار می‌کنند. تمام الگوریتم‌های فیلتر شامل فرایند همسایگی می‌باشند زیرا آن‌ها براساس ارتباط بین پیکسل‌ها می‌باشند و فقط بر روی یک پیکسل عملیات انجام نمی‌دهند. پیکسل کوچک‌ترین عضو یک تصویر است که با یک سطر و ستون شناخته می‌-

شود، در نتیجه تصویر را می‌توان شبکه‌ای منظم از اعداد در نظر گرفت. عملکرد فیلترها روی پیکسل‌های یک تصویر به گونه‌ای است موجود در تصویر را برجسته می‌نماید.

۲-۱ کانسارهای آهن

بیش از ۳۰۰ نوع کانی آهن در طبیعت شناسایی شده است که از مهمترین آن‌ها می‌توان به مگنتیت^۱، هماتیت^۲، گوتیت^۳، لیمونیت^۴، سیدریت^۵، شاموزیت^۶، مارتیت، پیریت و مارکاسیت اشاره نمود.

آهن خالص به رنگ سیاه تا خاکستری فولادی و در سطوح صیقلی به رنگ سفید فلزی بوده و دارای جلای فلزی است. سختی آهن ۴ تا ۵ و چگالی آن ۷ تا ۸/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب و چکش خوار می‌باشد. دمای ذوب آهن ۱۵۳۶ درجه سانتی‌گراد و دارای خاصیت مغناطیسی زیاد است. این عنصر دارای چند شکلی است: آهنی که در دمای بالاتر از ۹۰۶ درجه تشکیل شود، آهن نوع گاما و آهنی که در دمای کم با بلورهایی به شکل مکعب مرکزدار متبلور می‌شود، آهن نوع آلفا می‌گویند. آهن در سنگ‌های آذرین قلیایی یا فراقلیایی یافت می‌شود [کریم‌پور و سعادت، ۱۳۸۱].

۱-۲-۱ مگنتیت

ریشه نام این کانی از نام محلی به نام ماگنزی^۷ در مقدونیه گرفته شده است. این کانی ابتدا توسط چوپانی به نام مگنس، که به نوک آهنی چوب دستی و میخ‌های کفش وی جذب شده بود، معرفی و کشف شده است. این کانی به رنگ سیاه آهنی، سیاه متمایل به خاکستری و کدر بوده و به صورت فلزی پرجلا تا کدر وجود دارد. در این کانی مقدار ۳۱ درصد FeO و ۶۹ درصد Fe₂O₃ و مقدار آهن تا ۷۲/۴ درصد می‌رسد. این کانی در سیستم کوبیک متبلور می‌شود و جلای نیمه فلزی و غیر شفاف دارد. این کانی به صورت توده‌های گرانولار متراکم یا به شکل خال‌هایی در سنگ‌های آذرین به ویژه انواع قلیایی آن یافت می‌شود. سختی این کانی ۵/۵-۶/۵ و شکننده بوده و دارای چگالی ۵/۱۸ گرم بر سانتی‌متر

-
1. Fe₃O₄
 2. Fe₂O₃
 3. FeOOH
 4. Fe₂O₃.nH₂O
 5. FeCO₃
 6. Fe₂SiO₄
 7. Magnesia

مکعب است.

آهن ربا این کانی را جذب می کند و گاهی خود کانی خاصیت مغناطیسی دارد اما در دمای ۵۸۰ درجه سانتی گراد خاصیت مغناطیسی خود را از دست می دهد، ولی پس از سرد شدن دوباره آن را به دست می آورد. در شعله فوتک ذوب نمی شود. در شعله احیا کننده تبدیل به هماتیت می شود و خاصیت مغناطیسی خود را از دست می دهد. در اسید کلریدریک غلیظ حل می شود. این کانی در سنگ های آذرین و دگرگونی (شیست های بلورین) و سنگ های رسوبی یافت می شود. بلورهای این کانی به صورت اکتاهدرال، توده ای، متراکم، دانه های ریز تا درشت می باشد.

۲-۲-۱ هماتیت

نام این کانی از کلمه یونانی هماتیکوس^۱ به معنی خونین گرفته شده است. مقدار آهن در این کانی به ۷۰ درصد می رسد و مقدار بسیار کمی آب دارد. رنگ این کانی از خاکستری فولادی تا سیاه آهنی تغییر می کند و قطعات نازک از آن به رنگ قرمز خونی سیر است و انواعی از آن به صورت توده ای و خاکی قرمز قهوه ای کدر تا قرمز روشن، اپک و کدر می باشد. جلای این کانی فلزی و نیمه فلزی، سختی آن ۶-۵، چگالی ۶/۵ گرم بر سانتی متر مکعب و شکننده می باشد. از کانی هایی که مشابه این کانی هستند (مانند مگنتیت و...) به آسانی از طریق خط اثر چینی سرخ گیلادی، سختی زیاد، رخساره فلسی با ورقه های براق و نداشتن خواص مغناطیسی تفکیک می شود. سیستم تبلور در این کانی تری کلینیک است. بلورهای این کانی به صورت لوحه ای نازک تا ضخیم، بصورت گل رز (آهن گل سرخی، توده ای، متراکم، ستونی، رشته ای، قله ای، خوشه انگوری، استالاکتیتی، میکایی، کنکرسینونی، الییتی و خاکی است. این کانی توسط شعله فوتک ذوب نمی شود. در شعله احیا کننده در دمای زیاد خاصیت مغناطیسی می یابد و به مگنتیت تبدیل می شود. به آهستگی در اسید کلریدریک حل می شود. هماتیت در محیط اکسیدان در بسترهای مختلف و در سنگ های آذرین و دگرگونی (شیست های بلورین)، در بسترهای گرمابی، سنگ های آتش فشانی و سنگ های رسوبی یافت می شود. در جزیره هرمز، خاک سرخ (گل اخرا) دارای بلورهای زیبای هماتیت می باشد. هماتیت بر اثر مارتیتی شدن به مارتیت^۲ تبدیل می شود.

1. Hematicos
2. Fe₂O₃.H₂O

۱-۲-۳ لیمونیت

نام این کانی از کلمه یونانی لمون^۱ به معنی چمن آمده است (زیرا کانی‌های لیمونیتی در باتلاقها و چمنزارها یافت می‌شوند). این کانی به صورت بلورهای بسیار نادر و به شکل سوزنی، توده ای یا حالت چکنده و گاهی به صورت توده‌های متراکم، الییتی و نخودی مشاهده می‌شود. رنگ این کانی قهوه‌ای، زرد و سیاه و اثر آن روی چینی بدون لعاب، قهوه‌ای مایل به زرد است. جلای این کانی الماسی، سختی ۴ و چگالی ۳/۳-۴ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد. رنگ سرخ و خروج آب از این کانی در لوله آزمایش و تبدیل به Fe_2O_3 از مشخصات این کانی است. در اسید کلریدریک به آهستگی حل می‌شود. این کانی عمدتاً در لایه‌های رسوبی یافت می‌شود.

۱-۲-۴ گوتیت

این کانی دارای بلورهای قهوه‌ای متمایل به سیاه، انواع توده‌ای قهوه‌ای متمایل به قرمز یا زرد، انواع خاکی زرد متمایل به قهوه‌ای تا اخراپی، سختی ۵/۵ - ۵ و چگالی ۴/۳ - ۳/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب بوده و در سیستم اورتورمبیک متبلور می‌شود. بلورهای این کانی در امتداد محور C منشوری با خطواره‌های قائم یا لوحه‌های کوچک نازک تخت، دم اسبی، توده‌ای منشعب را تشکیل می‌دهند.

۱-۲-۵ پیریت

نام این کانی از کلمه یونانی پیروس^۲ به معنی آتش گرفته می‌شود. پیریت با فرمول FeS_2 نشان داده می‌شود و به صورت بلور مکعبی زرد رنگ بوده و جهت تهیه اسید سولفوریک و آهن استفاده می‌شود. این کانی بر اثر ضربه، تولید جرقه می‌کند و دارای جلای فلزی درخشانی است. مقدار ۴۶/۶ آهن و ۵۳/۴ درصد گوگرد است و گاهی ناخالصی‌هایی از کبالت، نیکل، آرسنیک و آنتیموان در آن دیده می‌شود. این کانی در سیستم کوبیک متبلور می‌شود و به رنگ زرد بوده و اثر آن روی چینی بدون لعاب قهوه‌ای یا سیاه مایل به سبز است. سختی این کانی ۶/۵-۶، نسبتاً شکننده و دارای چگالی ۵/۲-۴/۹ گرم بر سانتی‌متر مکعب است. این کانی قابلیت هدایت الکتریسیته بسیار ضعیفی دارد. این کانی در شعله فوتک می‌گدازد و تولید جسم مغناطیسی را می‌کند. اسید نیتریک به دشواری این کانی را تجزیه کرده و تولید گاز گوگرد می‌کند. در اسید کلریدریک رقیق غیر محلول است. بر اثر ضربه به وسیله قطعه‌ای آهن تولید

1.Lemon
2.Pyros

جرقه می کند. پیریت از سولفورهای بسیار پراکنده در قشر زمین است و در شرایط زمین شناسی بسیار متفاوتی ایجاد می شود. در سنگ‌های ماگمای و دگرگونی (شیست های متبلور) و سنگ‌های رسوبی یافت می شود و در جزیره هرمز بلورهایی از آن تشکیل ماکل داده‌اند. پیریت در تهیه اسید سولفوریک اهمیت دارد [کریم‌پور و سعادت، ۱۳۸۱].

۱-۲-۶ پیروتیت (پیریت مغناطیسی)

پیروتیت با فرمول FeS به صورت بلورهای هگزا گونال زرد برنزی رنگ تشکیل می شود که گوگرد در آن به عنوان محصول فرعی مطرح است. این کانی حدود ۴۰ درصد گوگرد دارد و به رنگ زرد برنزی تیره است و اثر آن روی چینی بدون لعاب خاکستری یا قهوه‌ای مایل به سیاه می باشد. این کانی دارای جلای فلزی، سختی ۴، بسیار شکننده، چگالی $4/58$ تا $4/70$ گرم بر سانتیمتر مکعب و گاهی دارای خاصیت مغناطیسی است و قابلیت هدایت الکتریکی آن خوب است. در آزمایش با فوتک می گدازد و تولید جسمی مغناطیسی به رنگ سیاه می کند. این کانی به سختی به وسیله اسید نیتریک و اسید کلریدریک تجزیه می‌شود. این کانی در سنگ‌های آذرین و دگرگونی (شیست‌های متبلور) و در بسترهای گرمابی وجود دارد. این کانی از نظر صنعت اهمیت کمی دارد. تفاوت این کانی با پیریت در مقدار بیشتر گوگرد در پیریت و درجه حرارت بالای (550 درجه سانتیگراد) پیروتیت است.

از دیگر کانی‌های آهن می توان به مارکاسیت، کالکوپیریت و سیدریت اشاره کرد که مارکاسیت با فرمول FeS_2 به صورت بلورهای اورتورومبیک زرد برنجی رنگ پریده دیده می شود و گوگرد در آن به عنوان محصول فرعی می باشد. کالکوپیریت با فرمول $CuFeS_2$ نشان داده می شود و به صورت بلور تتراگونال عموماً زرد رنگ دیده می شود و گوگرد در آن به عنوان محصول فرعی می باشد. سیدریت با فرمول $FeCO_3$ و با چگالی $3/8$ گرم بر سانتیمتر مکعب حاوی ۴۸ درصد آهن است [کریم‌پور و سعادت، ۱۳۸۱].

۱-۳ روش‌های میدان پتانسیل

روش‌های ژئوفیزیکی کاربردهای مثل اکتشاف معدن، نفت، بررسی‌های باستان‌شناسی، بررسی‌های مهندسی و مانند آن را دارد. روش‌های گرانی‌سنجی و مغناطیس‌سنجی در حکم روش‌های میدان پتانسیل، از پر کاربردترین روش‌های ژئوفیزیکی هستند که سازمان زمین‌شناسی کشورها و همچنین

شرکت‌های اکتشاف معدن در جهت اهداف گسترده‌ای چون تهیه نقشه ژئوفیزیکی عوارض زمین‌شناسی و اکتشاف معادن به کار می‌گیرند. کاربرد این دو روش در شناسایی حوزه‌های نفتی، مطالعات باستان‌شناسی و مطالعه جنبی روش‌های ژئوفیزیکی دیگر مانند یافتن محل اشیاء فولادی مانند لوله‌های نیز نتایج مطلوب و موثقی را به دست می‌دهد. به دلیل خودپذیری مغناطیسی بالای اشیاء آهنی مدفون مربوط به زمان باستان و همچنین مغناطیس باقیمانده حرارتی قوی ناشی از تولید اجر، کاشی، سفال روش مغناطیس‌سنجی در مطالعات باستان‌شناسی جایگاه ویژه‌ای ویژه‌ای دارد. [آقاجانی، ۱۳۸۸].

در این دو روش اثرات میدان مغناطیسی و گرانی زمین بر توده‌ها و ساختارهای زمین‌شناسی مختلف بررسی و با یکدیگر مقایسه می‌شود. عامل فیزیکی تاثیرگذار در روش گرانی‌سنجی چگالی توده‌ها، زیر سطحی و اختلاف خودپذیری توده‌ها با جوانب وجه تمایز بین توده‌ها در روش مغناطیس‌سنجی است. چون این روش‌ها جزء روش‌های چشمه طبیعی محسوب می‌شوند، تغییر پارامترهای برداشت تاثیری بر کیفیت داده‌ها نخواهد داشت. یکی از روش‌های ارائه داده‌های حاصله در این روش‌ها نقشه‌های هم‌مقدار گرانی و مغناطیسی است که معمولاً در تعبیر و تفسیر کیفی جهت تشخیص آنومالی‌ها، حدود و گسترش آنها و تعیین روندهای ساختمانی کاربرد بسیار زیادی دارد.

در صورتی که کانسار یا ساختار زمین‌شناسی وجود داشته باشد که با نظم خاصی در زیر زمین قرار گرفته باشند و اختلاف وزن مخصوص و خودپذیری مغناطیسی با محیط دربرگیرنده خود داشته باشد می‌تواند توزیع مشخصی از آنومالی‌ها را روی سطح زمین بوجود آورد. روش‌های گرانی و مغناطیسی از خیلی جهات شبیه‌هم‌اند. در هر دو سعی بر این است که اختلاف‌های اندک میدان پتانسیل اندازه‌گیری شود و میدان‌های اصلی نسبت به مکان و تا حدودی نسبت به زمان متغیرند. از جمله تفاوت‌های آن‌ها این است که تغییرات چگالی در مقایسه با تغییرات خودپذیری مغناطیسی نسبتاً کوچک است و نقشه‌های مغناطیسی پیچیده‌تر و تغییرات میدان نابسامان‌تر و محلی‌تر از نقشه‌های گرانی است. این امر تا اندازه‌ای مربوط به اختلاف میان میدان دو قطبی مغناطیسی و میدان تک قطبی گرانی است که اولی دارای بزرگی و جهت متغیر است و دومی دارای مقدار و جهت قائم است. در حالی که نقشه‌های گرانی عمدتاً نشان دهنده اثرهای منطقه‌ای و عمیق است اما نقشه‌های مغناطیسی مجموعه‌ای از ناهنجاری‌های باقیمانده سطحی است که نتیجه تغییرات بزرگ در جزئی از کانی‌های مغناطیسی است که در سنگ‌های نزدیک به سطح قرار دارند. بنابراین تفسیر داده‌های مغناطیسی مشکل‌تر از میدان گرانی ولی در عوض

اندازه‌گیری صحرایی این روش ارزان‌تر و ساده‌تر از روش گرانی است [Kearey et al., 2002]. ماهیت دو قطبی آنومالی‌های مغناطیسی و تغییرات شدید میدان مغناطیسی زمین از عوامل اصلی دشواری تفسیر آن‌ها است. دخیل بودن پارامترهای برداری چون زاویه میل و انحراف بردار مغناطیسی زمین، طول و عرض جغرافیایی محل برداشت و امتداد خطوط برداشت (در مقایسه با امتداد توده) بر شکل آنومالی‌های مغناطیس از عوامل بعدی هستند که دشواری را باعث می‌شوند. تاثیر عوامل فوق بر آنومالی مغناطیسی ثبت شده، به صورت جابجایی آنومالی نسبت به توده عدم تقارن آنومالی مغناطیسی و گرادیان‌های مغناطیسی قابل مشاهده است [نوروزی، ۱۳۸۸].

خاصیت دیگر که این دو روش را از روش‌های ژئوفیزیکی متمایز می‌سازد، پایستار^۱ بودن میدان‌های اندازه‌گیری شده است. میدان‌های مغناطیسی و گرانی جزء میدان‌های پایستار محسوب می‌شوند. این میدان‌ها پایستار هستند و مشخصه آنها این است که کار انجام شده به وسیله قطب متحرک (جرم یا بار متحرک) به مسیر حرکت بستگی ندارد و در صورتی که حرکت در یک مسیر بسته انجام شود و قطب متحرک بعد از طی مسیری دوباره به نقطه اول برگردد کار انجام شده توسط آن صفر است [Telford, 1990]. در نتیجه این روش‌ها به روش‌های میدان پتانسیل معروف هستند. این ویژگی امکاناتی را فراهم می‌کند که استفاده از آن‌ها ابزار خنثی‌سازی مشکلات تفسیر تلقی شود.

۱-۳-۱ روش گرانی‌سنجی

گرانی‌سنجی به عنوان شاخه‌ای قدیمی از علوم کلاسیک، برای مطالعه نظری و تجربی میدان جاذبه زمین است که شامل ابداع روش‌های اندازه‌گیری تغییرات شتاب گرانی به طور دقیق در زمان و مکان است. گالیله در اوایل سده شانزدهم میلادی (۱۶۴۲-۱۵۶۴) قانون سقوط آزاد اجسام را کشف کرد، و برای اولین بار شتاب گرانی را اندازه گرفت [ابراهیم‌زاده اردستانی، ۱۳۸۹].

گرانی‌سنجی در ابتدا برای تعیین محل گنبد‌های نمکی در مکزیک و آمریکا و بعدها برای یافتن ساختارهای زمین‌شناسی زیرسطحی مانند طاقدیس‌ها در جنوب غرب آمریکا به کار برده شد. امروزه این روش بیشتر برای اکتشافات مقدماتی به کار برده می‌شود، به طوری که با شناسایی مرز بین سنگ‌های رسوبی و سنگ بستر که بسیار چگال‌تر از سنگ‌های رسوبی است، حوضه رسوبی را از نظر بزرگی و ضخامت رسوبات مشخص می‌کند. این روش قدیمی‌ترین و اولین روش برای اکتشاف نفت بوده و با وجود

^۱Conservative

مخارج زیاد باز هم به میزان قابل ملاحظه‌ای از روش لرزه‌نگاری ارزان‌تر است [دولتی ارده‌جانی، ۱۳۷۲].

۱-۳-۲ روش مغناطیس‌سنجی

از سه قرن پیش معلوم بوده که زمین به صورت یک مغناطیس بزرگ و تا اندازه‌ای بی‌نظم رفتار می‌کند. اصول و روش مغناطیس‌سنجی بر مبنای تغییر در تغییرات و نا هماهنگی‌های مغناطیس زمین قرار دارد و تغییراتی که نیروی مغناطیس در نواحی مختلف با مناطق اطراف خود به وجود می‌آورد مورد اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد. در اکتشاف معدن روش مغناطیس‌سنجی هم برای اکتشاف کانی‌های غیر فلزی که با کانی‌های مغناطیسی مرتبط هستند کاربرد دارند. اساس این روش اندازه‌گیری تغییرات شدت میدان مغناطیسی می‌باشد [نوروزی، ۱۳۸۸].

۱-۴-۱ آشنایی با مفاهیم اولیه در پردازش تصویر

یک تصویر را می‌توان بوسیله تابع دو بعدی $f(x, y)$ نشان داد که در آن x و y را مختصات مکانی و مقدار f در هر نقطه را شدت روشنایی تصویر در آن نقطه می‌نامند. اصطلاح سطح خاکستری نیز به شدت روشنایی تصاویر تک رنگ اطلاق می‌شود. تصاویر رنگی نیز از تعدادی تصاویر دو بعدی تشکیل می‌شود. زمانی که مقادیر x ، y و مقدار $f(x, y)$ با مقادیر گسسته و محدود بیان شوند، تصویر را یک تصویر دیجیتالی می‌نامند. گسسته کردن مقادیر x و y را نمونه‌برداری^۱ و گسسته کردن مقدار $f(x, y)$ را رقومی کردن^۲ می‌گویند [لطفی‌زاد و همکاران، ۱۳۹۰].

یک تصویر دیجیتالی از تعدادی عناصر محدود با مقدار و موقعیت مختلف تشکیل شده است. این عناصر، عناصر تصویر^۳ یا پیکسل^۴ نامیده می‌شوند. پردازش تصاویر دیجیتالی به معنی اعمال پردازش‌های مختلف روی یک تصویر دیجیتالی با استفاده از کامپیوتر دیجیتالی است.

۱-۴-۱-۱ نمایش تصویر دیجیتالی

برای نمایش یک تصویر $M \times N$ از یک آرایه دو بعدی (ماتریس) که M سطر و N ستون دارد استفاده می‌شود. مقدار هر عنصر از آرایه نشان‌دهنده شدت روشنایی تصویر در آن نقطه است. هر عنصر

-
1. Sampling
 2. Quantization
 3. Picture elements
 4. Pixel

آرایه یک مقدار ۸ بیتی است که می‌تواند مقداری بین ۰ و ۲۵۵ داشته باشد. مقدار صفر نشان دهنده رنگ تیره (سیاه) و مقدار ۲۵۵ نشان دهنده رنگ روشن (سفید) است [لطفی‌زاد و همکاران، ۱۳۹۰].

۱-۴-۲ عوامل موثر در تشکیل تصویر

وقتی انرژی تابشی در سطح زمین به جسمی برخورد کند، آن جسم در قالب سه حالت کلی انرژی را منعکس، جذب، یا منتقل خواهد کرد خصوصیات انرژی‌های ایجاد شده بر اساس شرایط و نوع مواد موجود در زمین بسیار متفاوت است و این بدان معناست که بعضی از اجسام در مقابل یک طول موج به خصوص دارای خاصیت انعکاسی بوده ولی در یک طول موج دیگر دارای خاصیت جذب و انتقال انرژی هستند و به چشم اجازه می‌دهد اشکال مختلف موجود در تصاویر را در برخورد امواج مشاهده نشان می‌دهد [لطفی‌زاد و همکاران، ۱۳۹۰].

۱-۴-۳ مفهوم پیکسل در تصویر

یک جزء تصویر که بر گرفته از اجزای تصویر است اشکال بسیار ریز مربع شکلی هستند که از تجمع آن‌ها، تصویر روی صفحه نمایش یا روی کاغذ به وسیله چاپگر شکل می‌گیرد. همان طور که بیت، کوچک‌ترین واحد اطلاعات قابل پردازش با کامپیوتر است، پیکسل نیز کوچک‌ترین عنصر سخت‌افزار و نرم‌افزار نمایشی یا چاپی است که برای شکل گرفتن تصاویر مورد استفاده قرار می‌گیرد. اگر برای هر جزء تصویر دو رنگ (معمولاً سیاه و سفید) در نظر گرفته شود، توسط یک بیت قابل کد دهی است و در صورتی که بیش از دو بیت برای ارائه یک پیکسل استفاده شود، محدوده رنگ‌ها یا سایه‌های خاکستری وسیع‌تری، قابل ارائه خواهد شد. [لطفی‌زاد و همکاران، ۱۳۹۰].

۱-۴-۴ مفهوم عمق بیتی

مقدار هر جزء تصویر در یک یا چند بیت اطلاعات، ذخیره می‌شود. برای تصاویر ساده تک رنگ، یک بیت برای نشان دادن هر پیکسل کفایت اما در تصاویر رنگی و سایه‌های خاکستری، هر پیکسل نیاز به بیش از یک بیت اطلاعات دارد. هر چه از بیت‌های بیشتری برای نشان دادن یک پیکسل استفاده شود رنگ‌ها و سایه‌های خاکستری بیشتری را می‌توان نشان داد. غلظت نقاط یا همان وضوح^۱ تصویر را تعیین می‌کند [لطفی‌زاد و همکاران، ۱۳۹۰].

1. Resolution

۵-۱ پردازش تصاویر

پردازش تصاویر با بکارگیری روش‌های ویژه‌ای مانند کنتراست، فیلتر کردن، عملیات بین تصاویر و روش ایجاد تصاویر رنگی انجام می‌گیرد. که در این بخش روش فیلتر کردن توضیح داده شده است.

۱-۵-۱ روش فیلتر کردن^۱

از یک فیلتر رقومی می‌توان برای تفکیک برخی مؤلفه‌های تصاویر رقومی استفاده کرد. یک فیلتر را می‌توان عملگری در نظر گرفت که از راه محاسبات روی یک پیکسل و همسایگان آن در یک محدوده تعریف شده، یک مقدار مشخص برای پیکسل در تصویر خروجی تولید می‌کند. در نتیجه یک فیلتر باید به طور یکسان روی تک تک پیکسل‌های تصویر اعمال شود و برای هر کدام محاسبات را تکرار کند. برای هر فیلتر یک محدوده عملکرد تعریف می‌شود که در آن مشخص است چه تعداد از پیکسل‌های همسایه باید در محاسبات وارد شوند. بنابراین فیلترها به صورت ماتریسی با ابعاد مشخص (معمولاً اعداد فرد) تعریف می‌شود [Canny, 1986]. مرکز ماتریکس فیلتر روی پیکسل مورد نظر قرار می‌گیرد (چون ابعاد ماتریس فرد انتخاب می‌شود همیشه یک مرکز وجود دارد که وسط ماتریکس قرار می‌گیرد) و محاسبات مورد نظر صورت می‌گیرد و در نهایت نتیجه محاسبات به پیکسل متناظر در تصویر خروجی نسبت داده می‌شود به طور کلی کاربرد فیلترها در مواقعی است که پدیده‌های موجود تصویر می‌باید از لحاظ خصوصیات مکانی آنالیز می‌شوند. مواردی نظیر لبه‌ها، عوارض خطی و نوفه همگی خصوصیات مکانی ویژه‌ای دارند که به کمک فیلترهای گوناگون، از اطرافشان جدا می‌شوند.

حاصل اعمال هر فیلتر بر تصویر، تصویر جدیدی است که ممکن است با تصویر اولیه متفاوت باشد. بسته به نوع فیلتر، هر کدام عمل خاصی را روی تصاویر انجام می‌دهند که نتیجه‌ی آنها استخراج اطلاعات با ارزش از تصویر، رفع پارازیت و نواقص تصویر، هموارسازی تصویر و سایر قابلیت‌های دیگر است.

۶-۱ منظور از بعد فرکانسی پردازش تصویر و ویژگی‌های آن

بعد از برداشت داده‌های میدان پتانسیل، نتیجه کار یک سری داده گسسته با ماهیت عددی است که در نقاط پروفیل یا شبکه برداشت (حوزه مکان) حاصل شده است. در گذشته تفسیر داده‌ها در همان

1. Filtering

حوزه مکان و توسط روش‌های دستی انجام می‌شد. گرچه روش‌های دستی تمام فرآیند تفسیر، از جداسازی آنومالی‌ها تا تخمین عمق را پوشش می‌دهد، نیاز به کامپیوتر ندارد، در صحرا قابل اجراست و امکان تشخیص نویز از سیگنال را فراهم می‌کند. با این حال در پروژه‌های کوچک مقیاس و با پیچیدگی‌های زمین‌شناسی کاربردی ندارد. از طرف دیگر پردازش داده‌ها در حوزه مکان، پردازشی یک بعدی است بدین معنی که فقط داده‌ها از لحاظ شدت از هم تفکیک می‌شوند و تنها وجه تمایز بین توده‌ها شدت نسبی داده‌ها است [Telford,1990]. امتیاز ویژه‌ای که نیل به این هدف را میسر می‌سازد، امکان انتقال داده‌های میدان پتانسیل از حوزه مکان به حوزه فرکانس است. این کار به وسیله تئوری تبدیل فوریه انجام می‌گیرد. خروجی تبدیل فوریه یک عدد مختلط است که دارای فاز و دامنه است. کمیت فاز نیز دارای نرخ تغییرات مشخصی است که خود عامل تفکیک و تمایز داده‌ها محسوب می‌شود. در نتیجه تفسیر داده‌ها در بعد فرکانس پردازش چند بعدی است.

فیلتر کردن و پردازش تصویر، رکن مهمی در تعبیر و تفسیر داده‌های مغناطیسی و گرانی‌سنجی می‌باشد. این امر در مورد منابع کم عمق و همچنین منابع با تباین مغناطیسی شدید با سنگ‌های اطراف خود از اهمیت بیشتری برخوردار است به‌عنوان نمونه در اکتشاف حوزه‌های رسوبی که دارای مغناطیس‌شدگی ضعیفی هستند، ساختارهای اصلی حوزه مثل گسل، دایک و چین‌خوردگی نیز دارای پاسخ مغناطیسی پایینی هستند، بنابراین از این فیلترها می‌توان برای برجسته کردن آنومالی‌های میدان مغناطیسی ضعیف استفاده کرد.

فیلترها بعد از اینکه داده‌ها گردآوری و به برخی فرمت‌های استاندارد (برای مثال آنومالی بوگه) جمع‌آوری شدند به داده‌های میدان پتانسیل اعمال می‌شوند. عمل فیلتر اغلب شامل قرار دادن یک یا چند پنجره متحرک بر روی داده‌ها و آنالیز داده‌های موجود در هر پنجره است. این آنالیز مجموعه از عملیات پیچیده ریاضی شامل تبدیل فوریه و یا متوسط‌گیری ساده ریاضی می‌باشد. بعد از اعمال کردن فیلتر، داده‌ها به صورت یک فایل جدید ذخیره می‌شوند. مهمترین کاربرد فیلترها در تفسیر داده‌های میدان پتانسیل شامل موارد زیر است:

- جداسازی آنومالی‌های ناحیه‌ای و باقی‌مانده مانند فیلترهای ادامه فراسو و مشتق قائم.
- جانمایی دقیق محل آنومالی‌ها بر روی منابع مولد آنومالی مانند فیلتر تبدیل به قطب.
- تخمین مرز منابع مولد آنومالی بر روی نقشه‌های هم‌مقدار مغناطیسی مانند فیلتر

مشتق قائم دوم، سیگنال تحلیلی و ...

• کاهش نویزهای موجود در نقشه‌ها و تصاویر میدان پتانسیل.

دو مورد آخر مکمل یکدیگر هستند، زیرا با کاهش نویز موجود در تصاویر، آنومالی‌ها و عوارض موجود در تصاویر برجسته خواهد شد.

۷-۱ اهداف و ضرورت تحقیق

روش‌های میدان پتانسیل (گرانی‌سنجی و مغناطیس‌سنجی) از کاربردی‌ترین روش‌های ژئوفیزیکی هستند که در فازهای مختلف اکتشاف ذخایر نفت-گاز و معدنی و سایر مطالعات زمین‌شناسی با اهداف مختلف به صورت گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند. ارائه نقشه‌های میدان پتانسیل به صورت تصاویر گرافیکی، از روش‌های مرسوم ژئوفیزیکی متوسط‌گیری ریاضی و آماری (روش میانگین‌گیری متحرک، روش گریفین و ...)، روش مشتقات میدان (نوع اول و دوم). روش استفاده از تفکیک طول موج، روش سطح روند یا برازش چندجمله‌ای، فیلترهای مختلف، روش‌های تبدیل میدان و ... { در ارائه نتایج مطالعات ژئوفیزیکی می‌باشد. لذا بهره‌گیری از فیلترهای پردازش تصویر جهت تفسیر نتایج برداشت‌های ژئوفیزیکی با در نظر گرفتن پیشرفت وسیع در این حوزه از علوم، امری ضروری به نظر می‌رسد. برای پردازش تصاویری که از روی داده‌های میدان پتانسیل تهیه شده است از روش‌های مختلف استفاده می‌شود. تولید تصاویر رنگی و بهبود آن‌ها با آشکارسازی و فیلتر کردن انجام می‌پذیرد. چون این روش‌ها سبب کاهش نویز و افزایش بارزسازی آنومالی می‌شوند بسته به هدف مورد بررسی، می‌توان پدیده‌های مختلف را از هم تفکیک کرد.

در این روش‌ها طیف وسیعی از عملیات ریاضی مانند اعمال فیلترها روی داده‌ها با دو هدف اصلی کاهش نویز و تعیین مرز عوارض زمین‌شناسی و ساختارهای زیر سطحی صورت می‌گیرد. بهره‌گیری از فیلترهای پردازش تصویر روی داده‌های میدان پتانسیل و استفاده از فیلترهای متعدد آشکارساز لبه‌ها مانند انواع فیلترهای گرادیان و لاپلاسیان بر روی تصاویر حاصل از برداشت‌های ژئوفیزیکی می‌تواند نقش موثری در تفکیک آنومالی‌ها و شناسایی ساختارها کمک شایانی نماید. برای انجام این کار لازم است که از نرم افزارهای پردازش داده‌های ژئوفیزیکی و فیلترهای موجود در نرم‌افزارهای پردازش تصویر سنجش از دور استفاده نمود و در برخی موارد برای تولید برخی فیلترهای مورد نیاز و ضروری در محیط نرم افزار

مطلب کد نویسی صورت می گیرد.

۸-۱ روش تحقیق

در این تحقیق ابتدا فیلترهای مرسوم ژئوفیزیکی از قبیل روندسطحی، مشتقات جهتی، برگردان به قطب، سیگنال تحلیلی، تیلت، هایپربولیک و تتا بر روی داده‌های واقعی گرانی و مغناطیسی اعمال شده‌اند. سپس فیلترهای مشتق لاپلاس مرتبه اول و دوم، سوبل، پرویت و کنی با استفاده از نرم‌افزار مطلب کد نویسی شدند و بر روی داده‌های گرانی مصنوعی و همچنین داده‌های واقعی گرانی و مغناطیسی اعمال شدند و نتایج حاصل با هم مقایسه گردید. برای انجام این تحقیق داده‌های گرانی در امتداد خط برداشت تقریباً ۲۰ متر و فاصله بین دو خط متوالی تقریباً ۵۰ متر برداشت گردیده و تعداد نقاط برداشت شده ۶۷۵ می‌باشد. و همچنین طراحی شبکه برداشت داده‌های مغناطیسی به صورت متراکم و غیر متراکم انجام گرفته، که در شبکه متراکم فاصله بین پروفیل‌ها ۱۵ متر و فاصله بین ایستگاه‌های اندازه‌گیری ۵ متر پیاده شده است. در شبکه غیر متراکم فاصله بین پروفیل‌ها ۳۰ متر و فاصله بین ایستگاه‌های اندازه‌گیری ۱۰ متر شده است. که در مجموع ۳۸۷۱ نقطه برداشت شده است.

۹-۱ ساختار پایان‌نامه

این پایان‌نامه که عنوان آن تفسیر داده‌های گرانی و مغناطیسی آنومالی ۲۳ سنگ ساغند می‌باشد. در شش فصل تدوین گردیده است، فصل اول به کلیات اخصاص دارد، فصل دوم به بیان روش گرانی‌سنجی و مغناطیسی‌سنجی پرداخته است. در فصل سوم انواع فیلترهای ژئوفیزیکی آورده شده است. در فصل چهارم اعمال فیلترها بر روی داده‌های گرانی مصنوعی ارائه گردیده است فصل پنجم به بیان تفسیر داده‌های گرانی و مغناطیسی می‌پردازد و در فصل ششم نتیجه‌گیری و پیشنهادات آمده است. که فصل بعدی به تشریح روش‌های میدان پتانسیل (گرانی‌سنجی و مغناطیسی‌سنجی) می‌پردازد.

فصل دوم

روش‌های میدان پتانسیل (گرانی‌سنجی و مغناطیس‌سنجی)

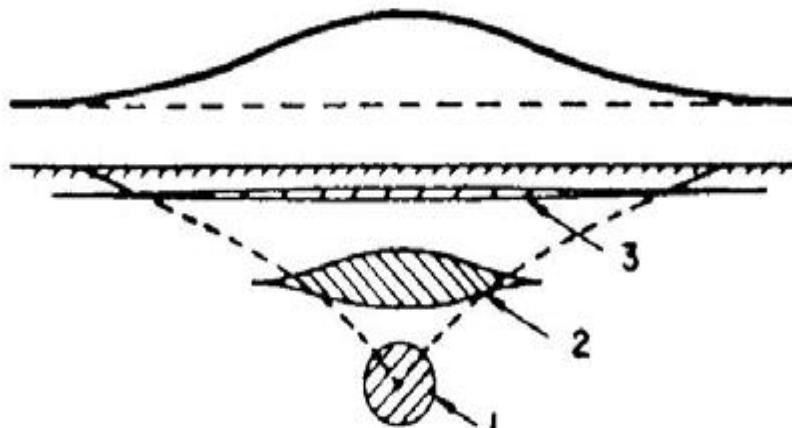
کشف گیلبرت^۱ درباره مغناطیس زمین و تئوری نیوتن درباره نیروی گرانی زمین را می‌توان آغاز علم ژئوفیزیک دانست. هدف اکتشافات ژئوفیزیکی کشف پدیده‌های زمین‌شناسی (تله نفتی، توده معدنی و ...) با روش‌های غیرمستقیم است. امواج لرزه‌ای، گرانی، مغناطیس و میدان‌های الکتریکی درون زمین اساس اکتشافات ژئوفیزیکی مدرن می‌باشند. از میان روش‌های ژئوفیزیکی گرانی و مغناطیس به عنوان ابزاری برای اکتشافات مقدماتی ذخایر نفتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این دو روش کوشش بر این است که تغییرات اندک ناشی از تغییرات چگالی و یا خودپذیری^۲ مغناطیسی سنگ‌های زیرسطحی، در یک میدان نیروی نسبتاً بزرگ اندازه‌گیری شوند.

روش‌های گرانی‌سنجی و مغناطیس‌سنجی در حکم روش‌های میدان پتانسیل، از پرکاربردترین روش‌های ژئوفیزیکی هستند که در شناسایی حوزه‌های نفتی، مطالعات باستان‌شناسی و بررسی ساختارهای زیرسطحی نتایج مطلوب و موثقی ارائه می‌دهند. با استفاده از این روش‌ها در مرحله اکتشاف مقدماتی که هیچ گونه اطلاعات قبلی موجود نیست با صرف وقت و هزینه کم، می‌توان مشخصات ساختاری منطقه را بررسی کرد. [Dobrin and Savit, 1988]. در کنار مزیت‌های گفته شده، این دو روش دارای معایبی نیز می‌باشند. از جمله این که آنومالی حاصله از یک منبع زیرسطحی منحصر به فرد نیست، یعنی تعداد بی‌شماری اشکال زیرسطحی مختلف می‌توانند آنومالی‌های یکسانی در سطح زمین حاصل نمایند. برای کاستن از دامنه ابهامات باید از اطلاعات زمین‌شناسی بهره گرفت. هر چه میزان این اطلاعات بیشتر باشد از ابهامات کاسته شده و تعبیر و تفسیر مطمئن‌تری انجام می‌شود [کلاگری، ۱۳۷۱].

در شکل ۱-۲ اثر گرانی ناشی از یک جسم کروی عمیق، همچنین یک جسم عدسی شکل و یک لایه نازک کشیده را نشان می‌دهد که شکل آنومالی آن‌ها مشابه هم هستند.

1. Wiliam Gilbert

2. Susceptibility



شکل ۱-۲: کره عمیق‌ترین توده‌ای است که می‌توان به طور تقریبی آنومالی گرانی نشان داده شده را به آن نسبت داد. توده‌های پهن‌تر و کم عمق‌تری از قبیل (۲) و (۳) نیز می‌توانند به عنوان مولد آنومالی گرانی در نظر گرفته شوند. جرم کل تمام آن‌ها یکسان فرض شده است. [Reynolds, 1997].

۲-۲ مفهوم میدان پتانسیل

از لحاظ ریاضی میدان برداری F یک میدان پتانسیل است هرگاه کرل آن میدان صفر باشد. بدین ترتیب میدان برداری F به صورت گرادیان یک اسکالر φ (پتانسیل φ) نوشته می‌شود. بیان ریاضی این عبارت برابر است با [Agrawal and Shaw, 1996].

$$\vec{F} = \nabla\varphi \quad (۱-۲)$$

با بسط عملکردگرادیان و میدان F در حالت سه بعدی:

$$\nabla = \frac{\partial}{\partial x} \hat{i} + \frac{\partial}{\partial y} \hat{j} + \frac{\partial}{\partial z} \hat{k} \quad (۲-۲)$$

$$\vec{F} = F_x \hat{i} + F_y \hat{j} + F_z \hat{k} \quad (۳-۲)$$

با استفاده از رابطه (۱-۲) و (۲-۲) و (۳-۲)، رابطه (۴-۲) نتیجه می‌شود:

$$\begin{aligned} F_x &= \frac{\partial \varphi}{\partial x} \\ F_y &= \frac{\partial \varphi}{\partial y} \\ F_z &= \frac{\partial \varphi}{\partial z} \end{aligned} \quad (۴-۲)$$

یکی از کاربردهای مفهوم پتانسیل رابطه (۲-۴) یافتن میدان مغناطیسی (یا گرانی) در یک امتداد خاص است. این کار با محاسبه مشتق پتانسیل در امتداد انجام می‌شود.

برای مثال $F = g$ اگر (g میدان گرانی زمین است) آنگاه طبق رابطه (۲-۱) می‌توان نوشت:

$$\vec{g} = \nabla\varphi \quad (۲-۵)$$

$$\varphi = \int_{-\infty}^r g(r') dr' \quad (۲-۶)$$

با این تعریف پتانسیل گرانی یک منبع نقطه‌ای برابر است با:

$$\varphi = -G \frac{m}{r} \quad (۲-۷)$$

در این رابطه G ثابت جهانی گرانی گرانش، m جسم، r فاصله نقطه اندازه تا جسم است.

پس از این که پتانسیل گرانی مشخص گردید می‌توان تا با استفاده از رابطه (۲-۵) مؤلفه‌های میدان گرانی را در دستگاه کارتزین محاسبه کنیم.

$$\frac{\partial\varphi}{\partial x} = G \frac{mx}{r^3} \quad (۲-۸)$$

$$\frac{\partial\varphi}{\partial y} = G \frac{my}{r^3} \quad (۲-۹)$$

$$\frac{\partial\varphi}{\partial z} = G \frac{mz}{r^3} \quad (۲-۱۰)$$

به طور مشابه در مورد میدان مغناطیسی، پتانسیل مغناطیسی V به صورت منفی کار انجام شده بر روی واحد قطب مغناطیسی برای انتقال آن در خلاف جهت میدان مغناطیسی از بی‌نهایت فیزیکی به نقطه‌ای درون میدان مغناطیسی (به فاصله r) تعریف می‌شود. لذا پتانسیل مغناطیسی به صورت زیر نوشته می‌شود [Robinson and Coruh, 1998].

$$V = - \int_{-\infty}^r \frac{m}{r^2} = \frac{m}{r} \quad (۲-۱۱)$$

بعد از اینکه مفهوم میدان پتانسیل در مورد روش‌های گرانی‌سنجی و مغناطیس‌سنجی مشخص شد در زیر به ذکر برخی ویژگی‌های این خاصیت اشاره می‌شود.

- قابلیت انتقال از یک حوزه به حوزه دیگر مانند تبدیل داده‌های میدان پتانسیل از حوزه مکان

به حوزه فوریه (فرکانس). این ویژگی علاوه بر امکان تحلیل طول موجی داده‌ها، محاسبه مجدد آنومالی در ارتفاع‌های مختلف و به ازاء مقادیر جدید پارامترهای ورودی را ممکن می‌سازد.

- تبدیل بین مؤلفه‌های میدان مغناطیسی یا گرانی. بدین معنی که با اندازه‌گیری مؤلفه‌هایی از میدان‌ها می‌توان توسط روابط حاکم سایر مؤلفه‌ها را نیز بدست آورد.
- صادق بودن معادله لاپلاس در مورد این میدان‌ها مهمترین ابزاری که از این خاصیت فراهم می‌شود، قابلیت محاسبه مشتق قائم میدان‌های گرانی و مغناطیسی است. این کمیت به همراه گرادیان‌های افقی به عنوان ورودی اکثر روش‌های تخمین عمق است.
- یافتن مؤلفه‌ای میدان در یک امتداد خاص.

۳-۲ مراحل اجرای روش‌های میدان پتانسیل برای اکتشاف مواد معدنی

کاربرد روش گرانی‌سنجی را برای اکتشافات ژئوفیزیکی می‌توان در چهار مرحله زیر خلاصه نمود:

۲-۳-۱ جمع‌آوری داده‌ها و تصحیح آن‌ها

این مرحله شامل طراحی شبکه برداشت، جمع‌آوری داده‌ها و اعمال تصحیحات لازمه بر روی آن‌ها می‌شود. در مرحله طراحی شبکه برداشت ابتدا بایستی مشخص شود که برداشت داده‌ها به کدام صورت زمینی، هوایی و یا دریایی انجام می‌شود. سپس بر اساس نوع برداشت و مشخصات منطقه، پارامترهایی از قبیل فواصل ایستگاه‌های برداشت، امتداد پروفیل‌های برداشت، فواصل پروفیل‌ها، ارتفاع پرواز و نوع وسیله اندازه‌گیری و ... تعیین و طراحی می‌شوند.

پس از طراحی شبکه برداشت، داده‌ها بر اساس دقت مورد نظر اندازه‌گیری و ثبت می‌شوند. از آنجا که داده‌های حاصل از اندازه‌گیری تحت تاثیر عوامل مختلفی از جمله توپوگرافی منطقه، عرض جغرافیایی و ... هستند، لذا بایستی اثرات این عوامل را با اعمال تصحیحات مختلف بر روی داده‌ها حذف نمود یا به حداقل ممکن کاهش داد. وقتی تمامی نویزهای قابل پیش‌بینی از داده‌های میدان‌های پتانسیل حذف شدند، داده‌های آنومالی شامل طیفی از اثرات منابع زمین‌شناسی منطقه باقی می‌مانند.

۲-۳-۲ تفکیک و آشکارسازی آنومالی‌ها

داده‌های حاصل از مرحله قبل شامل اثرات تمامی توده‌ها و منابع زمین‌شناسی موجود در منطقه مورد مطالعه با اعماق و خواص فیزیکی مختلف می‌باشد. به عبارت دیگر داده‌های برداشت شده در یک منطقه، طیفی از آنومالی‌های سطحی یا باقی‌مانده تا آنومالی‌های عمیق یا ناحیه‌ای را شامل می‌گردد. آنومالی‌های ناحیه‌ای دارای طول موج بلند می‌باشند. در حالی که آنومالی‌های باقی‌مانده دارای طول موج کوتاه هستند [Reynolds, 1997]. بنابراین لازم است این دو دسته آنومالی‌ها از یکدیگر تفکیک شوند تا بدین ترتیب آنومالی‌های مورد نظر آشکارسازی شوند.

۲-۳-۳ تعیین مشخصات زیر سطحی و منابع مولد آنومالی‌ها

وقتی خصوصیات و مشخصات آنومالی‌ها شامل شکل، اندازه، دامنه، و... با اطلاعات زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه ترکیب می‌شود یک مدل مفهومی برای منبع مولد آنومالی و اختلاف خواص فیزیکی آن با مواد زیر زمینی در برگیرنده آن صورت می‌پذیرد.

۲-۳-۴ تفسیر مدل فیزیکی به مفهوم زمین‌شناسی

در مرحله نهایی، مدل فیزیکی با استفاده از اصول و اطلاعات زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه به علاوه اطلاعات مربوط به خصوصیات فیزیکی لیتولوژی‌های مختلف به صورت مفهوم زمین‌شناسی تفسیر می‌گردد. مدل مفهومی زمین‌شناسی که از آنومالی‌های ژئوفیزیکی تعیین و تفسیر می‌گردند، الزاماً ساده شده و برحسب کیفیت‌های فیزیکی بیان می‌گردند تا روش‌های محاسباتی را ساده‌تر نمایند.

۲-۴ روش گرانی‌سنجی

گرانی‌سنجی، اندازه‌گیری مطالعه میدان گرانی زمین است. مبنای مطالعات گرانی در اکتشاف، ناهمگونی محلی چگالی کانی‌ها و سنگ‌ها است. تبیین چگالی بین هدف مورد نظر و سنگ میزبان به اضافه حجم آن بازتابی به صورت تغییر میدان گرانی خواهد داشت که معمولاً از مقدار زیادی برخوردار نیست.

گرانی‌سنجی در زمین‌شناسی نخستین بار توسط اتووش در سال ۱۸۹۶ به کار برده شد. در سال ۱۹۰۸ اتووش به امکان استفاده از داده اندازه‌گیری شده توسط ترازوی کششی برای مطالعه زمین‌شناسی

پوسته بالایی اشاره کرد. حوزه عمل گرانی سنجی از ابعاد بزرگ بی‌هنجاری (چند تا ۱۰۰ متر تا چند کیلومتر) که بیشتر در بررسی‌های زمین‌شناسی و نفت بوده، تا ابعاد کوچک (چند ده متر) در مطالعات معدنی و ابعاد بسیار کوچک (چند متر) در کاربردهای زمین‌شناسی زیرسطحی، مهندسی عمران، اکتشاف آب زیرزمینی و باستان‌شناسی است [ابراهیم‌زاده اردستانی، ۱۳۸۹].

در ابتدا برای تعیین محل گنبد‌های نمکی در مکزیک و آمریکا و بعدها برای یافتن ساختارها و زمین‌شناسی زیرسطحی مانند طاقدیس‌ها در جنوب غرب آمریکا به کار برده شد. امروزه این روش بیشتر برای اکتشافات مقدماتی به کار برده می‌شود، به طوری که با شناسایی مرز بین سنگ‌های رسوبی و سنگ بستر که بسیار چگال‌تر از سنگ‌های رسوبی است، حوضه رسوبی را از نظر بزرگی و ضخامت رسوبات مشخص می‌کند. این روش قدیمی‌ترین و اولین روش برای اکتشاف نفت بوده و با وجود مخارج زیاد باز هم به میزان قابل ملاحظه‌ای از روش لرزه‌نگاری ارزان‌تر است [دولتی ارده‌جانی، ۱۳۷۲].

۲-۴-۱ شتاب جاذبه^۱

نیروی گرانش با قانون نیوتن بیان می‌شود که مبنای کارهای گرانی‌سنجی است. طبق این قانون نیروی موجود بین دو ذره به جرم‌های m_1 و m_2 با حاصل ضرب جرم آن‌ها نسبت مستقیم و با مجذور فاصله آن‌ها رابطه عکس دارد [Telford, 1990]:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (۲-۱۲)$$

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

$$G = 6.67 \times 10^{-11} m^3 / kg \cdot s^2 \quad (۲-۱۳)$$

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 را برابر با M_e یعنی جرم زمین در نظر گرفته شود، با توجه به معادله (۲-۱۲) شتاب جاذبه در سطح زمین برابر است با [Telford, 1990]:

1. Gravitational acceleration

$$g = \frac{F}{m_2} = G \frac{M_e}{R_e^2} \quad (14-2)$$

واحد اندازه‌گیری شتاب جاذبه گال ($1 \text{ gal} = 1 \text{ cm/sec}^2$) است. اما در عمل معمولاً از واحد کوچکتری به نام میلی گال ($1 \text{ gal} = 1000 \text{ mgal}$) استفاده می‌شود. جهت برداشت داده‌های گرانی از گرانی-سنج استفاده می‌شود که می‌توان آن‌ها را به دو گروه پایدار و ناپایدار تقسیم‌بندی کرد. امروزه در برداشت‌های گرانی‌سنجی از گرانی‌سنج‌های حساس‌تر نوع ناپایدار مانند لاکوست‌رمبرگ مدل G440، CG3 و CG5 استفاده می‌شود. اما شتاب جاذبه دقیقاً در همه جای سطح زمین یکسان نیست، و تحت متأثیر از چندین فاکتور مزاحم وابسته به زمان مثل رانه دستگاه و جذر و مد و نیز وابسته به مکان مانند عرض جغرافیایی، ارتفاع، جرم، توپوگرافی و نهایتاً زمین‌شناسی منطقه است. بنابراین برای به دست آوردن اثر ناشی از مورد آخر یعنی پدیده زمین‌شناسی باید تصحیحاتی از قبیل تصحیح رانه، جذر و مد، تصحیح هوای آزاد^۱، تصحیح بوگه^۲، تصحیح عرض جغرافیایی^۳ و تصحیح توپوگرافی^۴ بر روی مقادیر اولیه اندازه‌گیری شده اعمال شود.

۵-۲ عوامل تاثیرگذاری بر روی جاذبه در سطح زمین

همان‌گونه که اشاره شد شدت جاذبه یا به عبارت دیگر شتاب گرانی در نقاط مختلف سطح زمین یکسان نبوده و تحت تاثیر عواملی مختلف وابسته به زمان و مکان است که در ادامه برای هر کدام توضیح ارائه می‌گردد.

-
1. Free air correction
 2. Bouguer correction
 3. latitude correction
 4. Terrain correction

۲-۵-۱ تصحیح دریافت

در صورتی که در یک برنامه گرانی سنجی پس از اندازه‌گیری در یک ایستگاه اصلی، مجدداً در انتهای برنامه این عمل اندازه‌گیری تکرار شود، نتیجه دو قرائت یکسان نخواهد بود و با هم اختلاف خواهند داشت که این اختلاف اصولاً وجود داشته و مقدار آن با زمان متغیر می‌باشد این مقدار اختلاف، دریافت دستگاه نام دارد. عوامل مختلفی در ایجاد دریافت نقش داشته که مهمترین آنها خستگی و تغییر خواص الاستیسیته فنر گرانی سنج می‌باشد. زیرا فنر گرانی‌سنج دارای خاصیت کشسانی است و به تدریج تغییر می‌کند.

برای محاسبه دریافت دستگاه در شروع کار مقدار گرانی در ایستگاه اصلی اندازه‌گیری و سپس ایستگاه فرعی برداشت می‌شود و در نهایت مجدداً به ایستگاه اصلی رفته و مقدار گرانی اندازه‌گیری می‌شود. بنابراین خواهیم داشت :

$$D = g_1 - g_2 \quad (2-15)$$

g_1 : گرانی قرائت شده مربوط به ایستگاه اصلی در شروع کار بر حسب میلی‌گال

g_2 : گرانی قرائت شده مربوط به ایستگاه اصلی در خاتمه کار بر حسب میلی‌گال

D : دریافت دستگاه بر حسب میلی‌گال می‌باشد که حد مجاز دریافت به ازای هر دو ساعت تقریباً

۰/۰۳۵ میلی‌گال می‌باشد اگر مقدار دریافت بیشتر از مقدار مجاز باشد برنامه قرائت تکرار می‌شود.

برای محاسبه دریافت سایر ایستگاه‌ها به این طریق عمل می‌شود که اختلاف زمان قرائت ایستگاه مبنا

در شروع عملیات و زمان قرائت هریک از ایستگاه‌های گرانی دیگر محاسبه می‌شود.

$$\Delta T_1 = T_1 - T \quad \text{و} \quad \Delta T_2 = T_2 - T \quad \text{و} \quad \Delta T_n = T_n - T \quad (2-16)$$

که در آن T زمان اندازه‌گیری ایستگاه مبنا است و T_1, T_2, \dots, T_n قرائت سایر ایستگاه‌ها است. بنابراین مقدار دریافت (رانه) دستگاه به صورت زیر است:

$$D_i = \frac{\Delta T_i \times D}{\Delta T_n} \quad (2-17)$$

که D_i بر حسب میلی‌گال دریافت ایستگاه مورد نظر و ΔT_i بر حسب دقیقه نیز اختلاف زمانی بین ایستگاه اصلی و ایستگاه مورد نظر می‌باشد [Reynolds, 1997]. مقدار D که بدین ترتیب به دست می‌آید از مقدار میدان اندازه‌گیری شده در ایستگاه کم می‌شود. می‌تواند عددی مثبت یا منفی باشد که در

صورت منفی بودن به مقدار گرانی اندازه‌گیری شده در ایستگاه اضافه می‌شود. معمولاً در صورتی که گراویمتر دچار مشکل خاصی نشده باشد، گستره‌ی دریافت آن در حد یک دهم تا چند دهم است.

۲-۵-۲ تصحیح عرض جغرافیایی

باتوجه به تغییرات عرض جغرافیایی منطقه مورد بررسی، این تصحیح با اعمال جدیدترین فرمول جهانی سال ۱۹۸۶ محاسبه و اعمال شد. این تصحیح ناشی از شکل زمین و متغیر بودن شعاع زمین با توجه به برآمدگی جزیری در استوا و فرورفتگی در قطبین می‌باشد که این عوامل باعث افزایش گرانی در استوا می‌گردد. بنابراین شتاب گریز از مرکز در قطبین کمینه و در استوا بیشینه می‌باشد [Telford,1990].

$$g_{\varphi} = 978032.70(1 + 0.005304\sin^2\varphi - 0.000058\sin^2 2\varphi) \quad (۱۸-۲)$$

در رابطه بالا g_{φ} مقدار شتاب جاذبه میدان تئوری و φ عرض جغرافیایی تک تک ایستگاه‌های برداشتی است که واحد هر کدام از کمیت‌ها برحسب میلی‌گال و درجه مدنظر گرفته شده است. تصحیح عرض جغرافیایی با مشتق گرفتن از رابطه بالا به دست می‌آید طبق رابطه (۱۹-۲) زیر:

$$\partial g_l = 0.000811 \sin 2\varphi \quad mGal/m \quad \text{الف-}$$

$$\partial g_{\varphi} = 0.000811 \sin 2\varphi \times \Delta y \quad mGal \quad \text{ب-}$$

تصحیح عرض جغرافیایی برای هر نقطه‌ی گرانی اندازه‌گیری شده، نسبت به ایستگاه مبنا در نظر گرفته می‌شود. برای به دست آوردن تصحیح عرض جغرافیایی هر ایستگاه نسبت به ایستگاه مبنا با عرض جغرافیایی می‌توان از رابطه (۱۹-۲ الف) استفاده کرد. می‌دانیم هر دقیقه از تغییرات عرض جغرافیایی معادل فاصله‌ای در حدود ۱/۸۴ کیلومتر روی سطح زمین است. بدین ترتیب می‌توان تغییرات گرانی زمین را برای هر ایستگاه واقع در فاصله Δy متر از ایستگاه مبنا با عرض جغرافیایی φ را از رابطه (۲-۱۹ ب) به دست آورد. این تصحیح در صورتی که ایستگاه اندازه‌گیری در شمال ایستگاه مبنا قرار داشته باشد، مثبت (میدان گرانی زمین از استوا به طرف قطب افزایش پیدا می‌کند) و در حالتی که ایستگاه اندازه‌گیری در جنوب ایستگاه مبنا واقع شده باشد، منفی است. مقداری که بدین ترتیب به دست می‌آید، از مقدار گرانی ایستگاه اندازه‌گیری واقع در شمال ایستگاه مبنا کم می‌شود و در حالت عکس به مقدار

گرانی ایستگاه اندازه‌گیری اضافه می‌شود.

۲-۵-۳ تصحیح ارتفاعی (هوای آزاد + بوگه)

معمولاً ایستگاه‌های گرانی با ارتفاع‌های مختلفی اندازه‌گیری می‌شوند. اختلاف ارتفاع‌ها، سبب تغییراتی در شتاب جاذبه اندازه‌گیری شده می‌شوند. با انجام تصحیح ارتفاعی کلیه مقادیر اندازه‌گیری شده به یک سطح مبنا انتقال داده می‌شود.

تصحیح ارتفاعی دارای دو مولفه است: الف- تصحیح هوای آزاد ب- تصحیح بوگه
الف- تصحیح هوای آزاد

با توجه به این نکته که مقدار شتاب جاذبه به صورت فرمول $g = G \frac{m}{r^2}$ روی سطح مبنا معین شده است، هرچه از این سطح مبنا به اندازه h به طرف بالا حرکت کنیم، مقدار شتاب جاذبه طبق رابطه $g = G \frac{m}{(r+h)^2}$ کاهش خواهد یافت [Telford,1990]. اختلاف دو شتاب جاذبه را تاثیر هوای آزاد می‌نامند.

تصحیح هوای آزاد را می‌توان از روی معادله زیر و با مشتق‌گیری نسبت به r محاسبه نمود:

$$g = G \frac{m}{r^2} \quad (20-2)$$

$$\frac{dg}{dr} = -2 G \frac{m}{r^2} \times \frac{r}{r^2} \quad (21-2)$$

$$dg = -\frac{2g}{r} \times dr \quad (22-2)$$

$$dg = -2g \frac{h}{r} \quad (23-2)$$

که در آن $dr=h$ پس داریم:

اگر شعاع متوسط زمین ۶۳۶۷۰۰۰ متر در نظر گرفته شود و با توجه به مقدار تئوری گرانی در سطح دریا و در عرض جغرافیایی ۴۵ درجه (۹۸۰۶۲۹ میلی‌گال)، در این صورت خواهیم داشت:

$$dg = -2g \frac{h}{r} = \frac{-2 \times 980629}{6.367 \times 10^6} \times h \quad (24-2)$$

$$dg = \partial g_{fa} = -0.30803h \quad (25-2)$$

که در آن h ، ارتفاع ایستگاه‌ها نسبت به سطح مبنا برحسب متر و ∂g_{fa} ، تصحیح هوای آزاد بوده و برحسب میلی‌گال به دست می‌آید.

فرمول حاصله با فرض کرووی بودن شکل زمین حاصل شده است و گردش آن به حساب آورده نشده است. لذا اگر زمین را به شکل بیضوی فرض کنیم، تاثیر هوای آزاد در هر متر آن به صورت زیر است:

$$g = (0.30877 - 0.00044 \sin^2 \phi) h(m) - 0.073 h^2 (km) \quad (26-2)$$

در ایران ضریب تصحیح هوای آزاد را 0.3086 در نظر می‌گیرند، بنابراین

$$dg = -0.3086 h (mgal) \quad (27-2)$$

مطابق رابطه بالا، وقتی ارتفاع ایستگاهی افزایش می‌یابد، مقدار گرانی اندازه‌گیری شده نیز در هر متر به اندازه 0/3086 کاهش می‌یابد. بنابراین با اعمال این تصحیح تمام ایستگاه‌های اندازه‌گیری به یک سطح مبناء انتقال می‌یابند [دولتی، 1372].

اگر نقطه اندازه‌گیری بالاتر از سطح دریاهاى آزاد باشد، تصحیح هوای آزاد به مقدار گرانی قرائت شده اضافه می‌گردد. چنانچه نقطه اندازه‌گیری پایین‌تر از سطح دریا باشد، این مقدار تصحیح از مقادیر قرائت شده کم می‌شود.

ب- تصحیح بوگه :

فرض می‌شود که فضای بین دو صفحه افقی توسط موادی با چگالی ρ پر شده باشد. جرم محصور بین دو سطح نیز روی مقادیر اندازه‌گیری شده تاثیر خواهد گذاشت که بایستی تاثیرات این جرم از مقادیر قرائت شده حذف شود. تصحیح مربوط به جاذبه این مواد با در نظر گرفتن یک تخته سنگ با گسترش طول و عرض بی‌نهایت و ضخامت h و با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$dg_b = 2\pi G \rho h \quad (28-2)$$

اگر از رابطه شتاب جاذبه نسبت به h مشتق گرفته شود در نتیجه:

$$\frac{dg_b}{dh} = 2\pi G \rho \quad (29-2)$$

اگر به جای G مقدار ثابت آن قرار داده شود فرمول به صورت ساده زیر در می‌آید.

$$\frac{dg_b}{dh} = 0.0419 \rho \frac{mgal}{m} \quad (30-2)$$

اگر فرض شود $dh=h$ بنابراین خواهیم داشت :

$$\partial g_b = 0.0419 \rho h (mgal) \quad (31-2)$$

که در آن: ρ ، چگالی رسوبات منطقه بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد که با استفاده از روش

نلتون ۲/۳ گرم بر سانتی متر مکعب تخمین زده شد. h ، ارتفاع ایستگاه‌ها نسبت به سطح مبنا بر حسب متر بوده و Δg_b ، تصحیح بوگه و بر حسب میلی‌گال به دست می‌آید.

اگر نقطه اندازه‌گیری بالاتر از سطح مبنا باشد، تصحیح بوگه از مقدار گرانی کم می‌گردد و چنانچه نقطه اندازه‌گیری پایین‌تر از سطح مبنا باشد، این مقدار تصحیح به مقادیر قرائت شده اضافه می‌شود. در این تحقیق با توجه به ارتفاع همه نقاط، همه‌ی مقادیر به سطح آب‌های آزاد انتقال داده شد. همان‌طور که گفته شد، مجموع دو تصحیح هوای آزاد و بوگه که حاصل ارتفاع نقطه اندازه‌گیری است، تصحیح ارتفاعی (Δg_E) نامیده می‌شود و از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\Delta g_E = \Delta g_{fa} + \Delta g_b = (-0.3086 + 0.0419\rho).h \quad (۳۲-۲)$$

موقعیت جغرافیایی نقاط سطح زمین عامل مؤثری در تغییرات شتاب جاذبه می‌باشد. زیرا اجسام در سطح زمین تحت تاثیر نیروی گریز از مرکز ناشی از حرکت وضعی زمین قرار داشته و این نیرو که در جهت مخالف جاذبه اثر می‌نماید در استوا حداکثر و در قطب مساوی صفر می‌باشد.

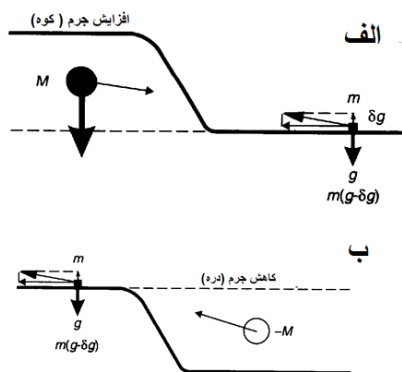
۲-۵-۴ تصحیح توپوگرافی

تصحیح بوگه گفته شده با فرض افقی بودن سطح زمین و پر شدن فاصله بین سطح ژئوئید و سطح زمین از مواد با چگالی ρ_b صورت گرفت، اما ممکن است در اطراف هر ایستگاه اندازه‌گیری نسبت به سطح افقی که از ایستگاه اندازه‌گیری می‌گذرد، سطح زمین دارای دره (حذف قسمتی از حجم مواد با چگالی ρ_b) و کوه (اضافه شدن حجمی از مواد با چگالی ρ_b) باشد. جاذبه اندازه‌گیری شده در هر ایستگاه تحت تاثیر جرم‌های ناشی از تپه‌ها و دره‌ها قرار خواهد گرفت. پس علاوه بر تصحیح بوگه، بایستی اثرات این بی‌نظمی‌ها بر روی ایستگاه اندازه‌گیری محاسبه شود [انوروزی، ۱۳۸۸]. به این ترتیب تصحیحی انجام می‌گیرد که به تصحیح توپوگرافی معروف می‌باشد.

وجود تپه‌های بالاتر از ایستگاه سبب می‌شود که مولفه شتابی به سمت بالا (ربایش به سمت بالا) ایجاد می‌شود و همچنین وجود دره‌های پایین‌تر از ایستگاه اندازه‌گیری و تهی بودن مواد در این قسمت‌ها (فقدان ربایش به سمت پایین) هر دو سبب کاهش شتاب جاذبه قرائت شده در ایستگاه می‌گردد. بدیهی است که در صورت مسطح بودن زمین نیازی به انجام تصحیح فوق نمی‌باشد چرا که با انجام این تصحیح فرض می‌شود که کلیه تپه‌های بالاتر از ایستگاه‌ها برداشت شده و کلیه دره‌های گودتر از همان مواد پر می‌گردد که با انجام این کار یک وضعیت مسطح حاصل می‌شود. تصحیح توپوگرافی همیشه مثبت بوده و

به گرانی قرائت شده در هر ایستگاه اضافه می‌گردد [Reynolds,1997].

شکل ۲-۲ اثر میدان جاذبه توپوگرافی اطراف یک ایستگاه روی مقدار گرانی اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۲: اثر میدان جاذبه توپوگرافی اطراف یک ایستگاه روی مقدار گرانی اندازه‌گیری شده [Reynolds,1997]. الف- اثر کوه ب- اثر دره

۲-۶ تفکیک آنومالی‌های ناحیه‌ای و باقی‌مانده

نقشه‌های میدان‌های پتانسیل تهیه شده از برداشت‌های گرانی، مجموع اثرات توده‌هایی با دانسیته متفاوت در اعماق مختلف می‌باشند. به عبارت دیگر نتیجه برداشت به کلیه آنومالی‌های موجود در منطقه مربوط می‌شود. در نقشه میدان‌های پتانسیل، تأثیرات سنگ بستر با تغییرات خطی و ملایم مشخص می‌شوند [دولتی ارده‌جانی، ۱۳۷۲]. که به آن‌ها آنومالی ناحیه‌ای گفته می‌شود. آنومالی ناحیه‌ای دارای یک فرکانس پایین و طول موج بلند است، در حالی که آنومالی‌های باقی‌مانده که مربوط به اجسام زیرسطحی کم عمق می‌شوند دارای فرکانس بالا و طول موج کوتاه می‌باشند [Reynolds,1997]. در مطالعات ناحیه‌ای گرانی به منظور واضح‌تر شدن آنومالی‌های حاصله از اشکال بزرگ مقیاس (آنومالی‌های ناحیه‌ای-ای)، باید آنومالی‌های باقی‌مانده (حاصله از منابع زیرسطحی با گسترش جانبی محدود) را از روی آنومالی‌های مشاهده حذف نمود [کلاگری، ۱۳۷۱]. برعکس، در کارهای اکتشافی گرانی و بزرگ مقیاس معمولاً آنومالی‌های ناحیه‌ای را به منظور خوب نمایان شدن آنومالی‌های باقی‌مانده از روی آنومالی‌های مشاهده حذف می‌نمایند.

در نقشه‌های میدان‌های پتانسیل تأثیرات توده‌های عمیق محدوده وسیعی را در نقشه آنومالی در

برگرفته و برعکس تأثیرات سطحی مناطق کوچکی را شامل می‌شوند. بنابراین مقادیر آنومالی باقی‌مانده طبق رابطه زیر بیان خواهد شد.

$$g_{res} = g - g_{reg} \quad (۳۳-۲)$$

که در آن رابطه g_{res} آنومالی باقی‌مانده، g آنومالی میدان گرانی و g_{reg} آنومالی ناحیه‌ای می‌باشد. تخمین درست و حذف میدان ناحیه‌ای از داده‌های مشاهده‌ای، میدان باقی‌مانده تولید شده که به منابع هدف مربوط می‌شود، را نتیجه می‌دهد. در اغلب کارهای اکتشافی تفسیر و مدل‌سازی عددی برای داده‌های میدان باقی‌مانده انجام می‌شود و اعتبار تفسیر به درجه تفکیک آنومالی‌های باقی‌مانده و ناحیه‌ای بستگی دارد.

۷-۲ روش مغناطیس‌سنجی

از سه قرن پیش معلوم بوده که زمین به صورت یک مغناطیس بزرگ و تا اندازه‌ای بی‌نظم رفتار می‌کند. اصول و روش مغناطیس‌سنجی بر مبنای تغییر در تغییرات و نا هماهنگی‌های مغناطیس زمین قرار دارد و تغییراتی که نیروی مغناطیس در نواحی مختلف با مناطق اطراف خود به وجود می‌آورد مورد اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد. در اکتشافات معدن روش مغناطیس‌سنجی هم برای اکتشاف کانی‌های غیر فلزی که با کانی‌های مغناطیسی مرتبط هستند کاربرد دارند. اساس این روش اندازه‌گیری تغییرات شدت میدان مغناطیسی می‌باشد. در این روش هرچه پی سنگ عمیق‌تر باشد شدت میدان مغناطیسی کمتر است و حوضه رسوبی ضخامت بیشتری دارد.

اگر یک آهنربای میله‌ای را از گرانیگاه آن آویزان کنیم آهنربا بعد از تعادل در جهت خاصی قرار می‌گیرد. در این حالت یک قطب آهنربا که به سمت قطب شمال قرار می‌گیرد قطب شمال یا قطب مثبت و طرف دیگر آهنربا را قطب جنوب یا قطب منفی می‌نامند. قطب‌های مغناطیسی همیشه به صورت جفت هستند اما در صورتی که طول آهنربا را بی‌نهایت فرض کنیم هر کدام از قطب‌ها را می‌توان به صورت یک قطب مجزا در نظر گرفت.

$$F = \frac{PP_0}{R^2\mu} \quad (۳۴-۲)$$

ثابت μ را قابلیت نفوذپذیری مغناطیسی می‌گویند و مقدار آن به خواص مغناطیسی محلی بستگی

دارد که قطبها در آن واقع شده‌اند. اگر قطبها هم‌نام باشند نیروی بین آنها دافعه، اگر غیر هم نام باشند نیروی بین آنها جاذبه است [Kearey et al., 2002].

شدت مغناطیسی در هر نقطه مقدار نیروی مغناطیسی در آن نقطه است که بر واحد قطب مغناطیسی وارد می‌شود:

$$H = \frac{F}{P_0} = \frac{P}{\mu R^2} \quad (2-35)$$

شدت میدان مغناطیسی با واحد اورستد اندازه‌گیری می‌شود که واحد بزرگی است در نتیجه در عمل از واحد نانو تسلا استفاده می‌شود ($1 \text{ nT} = 10^{-5}$). میدان مغناطیسی را می‌توان برحسب چگالی خطوط نیز تعریف کرد یعنی تعداد خطوط نیروی که از واحد سطح می‌گذرد [Kearey et al., 2002]. قطب مغناطیسی منفرد عملاً وجود ندارد. اگر یک دوقطبی مغناطیسی اندازه قطبها مساوی و برابر P و فاصله آنها از هم L باشد حاصلضرب PL به عنوگشتاور مغناطیسی در دوقطبی مفروض تعریف می‌شود که در راستای خطی است که دو قطب را بهم وصل می‌کند و جهت آن به سمت قطب مثبت است.

اگر یک جسم پارامغناطیس در یک میدان خارجی قرار گیرد در دو سطح مقابل آن دو قطب مغناطیس بوجود خواهد آمد. این نوع مغناطیس شدن همسو با میدان اعمال شده بوده و شدت آن متناسب با شدت میدان اعمال شده است. طبق تعریف شدت مغناطیسی شدن (I) برابر است با نسبت شدت قطب القایی بر واحد سطح ($I = \frac{p_p}{A}$) و یا نسبت گشتاور القایی بر واحد حجم ($I = \frac{MP}{V}$) در واقع I برابر با تعداد گشتاورهایی که در واحد حجم در یک جسم پارامغناطیس در امتداد یک میدان خارجی قرار گرفته است.

هنگامی که میدان خارجی H همگن باشد و گشتاور آن نسبت به خط عمود بر سطح جسم پارامغناطیس زاویه θ بسازد شدت مغناطیسی شدن جسم مذکور برابر است با:

$$I = KH \cdot \cos \theta \quad (2-36)$$

در اینجا K ثابت تناسب جسم پارامغناطیسی می‌نامند. مقدار K برای خلا و تمامی اجسام غیر مغناطیس صفر است. اجسام پارامغناطیس دارای K مثبت و اجسام دیامغناطیس دارای K منفی و اجسام فرومغناطیس دارای K مثبت خیلی بالاست [Kearey et al., 2002].

میدان مغناطیسی زمین دارای مؤلفه‌های D و I می‌باشد که I زاویه میل مغناطیسی و D زاویه

1. Inclination

انحراف مغناطیسی است. هرگاه عقربه مغناطیسی را روی پایه بدون اصطکاکی قرار دهیم پس از نوسانات متعدد در امتدادی خواهد ایستاد که آنرا امتداد شمال و جنوب مغناطیسی می‌نامند. این امتداد عموماً با امتداد شمال و جنوب جغرافیایی منطبق نیست بلکه با آن زاویه‌ای می‌سازد که به نام زاویه انحراف مغناطیسی خوانده می‌شود. همچنین عقربه مذکور معمولاً افقی نیست بلکه با افق زاویه‌ای می‌سازد که زاویه میل مغناطیسی نام دارد. پس بردار کلی مغناطیس زمین را می‌توان به دو مؤلفه به صورت زیر تجزیه کرد:

الف: مؤلفه افقی H که مقدارش همواره مثبت است می‌توان آن را به مؤلفه شمالی X و شرقی Y تجزیه کرد.

ب: مؤلفه قائم Z که اگر به سمت پایین باشد مثبت و در غیر این صورت با علامت منفی در نظر گرفته شود پارامتر F, H, Z, Y, X, I, D را اجزای میدان مغناطیسی زمین گویند و روابط آن به صورت زیر است:

$$F^2 = H^2 + Z^2 = X^2 + Y^2 + Z^2 \quad (37-2)$$

$$F = \frac{H}{\cos I} = \frac{Z}{\sin I} \quad (38-2)$$

هر ترکیب سه تایی از این اجزا برای مشخص کردن بردار میدان مغناطیسی زمین کافی است. انواع دستگاه‌های ژئوفیزیکی برای اندازه‌گیری یک یا چند از این اجزا ساخته شده است. صفحه قائمی که بردارهای Z, H, F را در بر می‌گیرد اصطلاحاً نصف‌النهار مغناطیسی محلی زمین گویند. شکل آنومالی-های مغناطیسی و تغییرات میدان مغناطیسی به ضریب خودپذیری K و عمل مؤلفه‌های بردار میدان مغناطیسی زمین I (زاویه میل مغناطیسی) و D (زاویه انحراف مغناطیسی) بستگی دارد. برای نمایش تغییرات میدان مغناطیسی زمین نقشه‌های مختلفی تهیه می‌شود که هر یک از آنها چگونگی تغییرات یکی از عوامل مغناطیسی را نقاط مختلف کره زمین نشان می‌دهد. برخی از این نقشه‌ها نقشه منحنی-های هم میل هستند [Kaerey et al., 2002].

۸-۲ برداشت داده‌های مغناطیسی

برداشت‌های مغناطیسی برحسب وسعت زمین‌های مورد تجسس می‌تواند در مقیاس‌های مختلف به

اجرا درآید که برای برداشت‌های با وسعت زیاد از هواپیما برای این منظور استفاده می‌شود. اطلاعات حاصل در این مقیاس مربوط به ساختارهای بزرگ زمین‌شناسی مدفون در زیر رسوبات، سنگ‌های پایه‌آذرین (به ویژه سنگ‌های بازی و فوق بازی) حوزه‌های رسوبی (اکتشاف نفت) و ساختمان‌های زمین‌شناسی مانند گسل‌های اصلی منطقه است. کاوش‌های صحرایی شامل مطالعات زمین‌شناسی محلی، اکتشاف معدنی و نفتی و نیز در بزرگ مقیاس بررسی‌های زیست محیطی است [نوروزی، ۱۳۸۸].

۲-۸-۱ برداشت‌های صحرایی میدان مغناطیسی

برداشت‌های مغناطیسی همانند روش گرانی احتیاج به در نظر گرفتن بعضی شرایط ویژه نیز دارد که به آن‌ها می‌پردازیم.

۲-۸-۱-۱ ایستگاه‌های مینا

در مطالعاتی که وسعت زمین‌های مورد مطالعه زیاد باشد (ابعاد بیس از ۱۵ کیلومتر) قبل از اجرای اندازه‌گیری روی نقاط مورد نظر، بایستی شبکه‌ای از ایستگاه‌های مینا مشخص شوند. محل هر ایستگاه مینا باید تا حد امکان در نقطه‌ای انتخاب شود که دور از اثر بی‌هنجاری مغناطیسی احتمالی و از نظر گرادیان میدان مغناطیسی ضعیف باشد. شروع و خاتمه اندازه‌گیری‌ها در هر روز روی این ایستگاه مینا انجام می‌پذیرد. به دلیل رفت و آمد زیاد به این ایستگاه‌ها بایستی دسترسی به آن‌ها آسان بوده و حتی-الامکان در نزدیکی جاده دسترسی به محدوده اکتشافی قرار داشته باشد. تکرار اندازه‌گیری در هر ایستگاه مینا به طور معمول هر ۳۰ یا ۴۵ دقیقه با زمان اندازه‌گیری یادداشت می‌شود. به طور معمول این تکرار از طریق رفت و برگشت روی ایستگاه‌های مینا صورت می‌پذیرد. [نوروزی، ۱۳۸۸].

۲-۸-۱-۲ ایستگاه‌های اندازه‌گیری

برداشت‌ها از طریق پروفیل‌هایی که تا حد امکان عمود بر ساختارهای مورد مطالعه انتخاب می‌شوند، به اجرا در می‌آید. فاصله پروفیل‌ها از یکدیگر و نیز ایستگاه‌های اندازه‌گیری روی پروفیل‌ها بر اساس گسترش، شیب و عمق احتمالی هدف مورد مطالعه انتخاب می‌شود. به طور معمول برای اجرای بهتر پروفیل‌های برداشت از خط مبنایی که سعی می‌شود نزدیک به مرکز محدوده مورد مطالعه و عمود بر امتداد پروفیل‌ها انتخاب شود استفاده می‌شود. [نوروزی، ۱۳۸۸].

۹-۲ تصحیحات داده‌های مغناطیسی

این تصحیحات که روی داده‌های برداشتی سر زمین اعمال می‌شود شامل تصحیح عرض جغرافیایی، روزانه، ارتفاع و توپوگرافی است. اهمیت این تصحیحات در مطالعات مغناطیسی به اندازه گرانی نیست. علت این امر آن است که مقدار این تصحیحات نسبت به بی‌هنجاری‌های مغناطیسی اغلب از مقدار کم و گاه بسیار کمی برخوردار می‌باشند در حالی که در مورد داده‌های گرانی این چنین نیست.

۱-۹-۲ تصحیحات روزانه

میدان مغناطیسی زمین در طی روز دستخوش تغییراتی قرار می‌گیرد که به طور معمول از چند ده نانو تسلا بیشتر نمی‌شود (روزهای آرام) تغییرات شدید و نامنظم میدان مغناطیسی زمین که در زمان‌های کوتاه رخ می‌دهد توفان‌های مغناطیسی نام دارد (روزهای مغشوش). در برداشت‌های صحرایی برای تصحیحات میدان در روزهای آرام می‌توان از یک ایستگاه استفاده کرد که در آن اندازه‌گیری میدان زمین در طول برداشت‌ها در زمان‌های مختلف تکرار می‌شود [نوروزی، ۱۳۸۸].

۲-۹-۲ تصحیح عرض جغرافیایی

میدان مغناطیسی اصلی زمین برحسب طول و عرض تغییر می‌کند که در این بین تغییرات برحسب طول جغرافیایی بسیار کم است و در این مطالعات از آن صرف‌نظر می‌شود. میدان مغناطیسی زمین از ۲۵۰۰۰ نانو تسلا در استوا تا حدود ۶۹۰۰۰ نانو تسلا در قطب‌ها متغییر است، که بدین ترتیب تغییرات میدان زمین برحسب عرض جغرافیایی به ویژه زمانی که منطقه مورد مطالعه گسترش زیادی داشته باشد (مانند مطالعات هوابرد) قابل توجه خواهد بود.

۱-۲-۹-۲ استفاده از میدان مرجع ژئومغناطیس بین‌المللی (IGRF)

تصحیح عرض جغرافیایی هر ایستگاه با تفریق میدان پتانسیل اصلی زمین از مقدار اندازه‌گیری شده به دست می‌آید. مقدار میدان زمین از طریق نرم‌افزار IGRF بر اساس طول و عرض جغرافیایی ایستگاه محاسبه می‌شود. تعیین میدان مغناطیسی اصلی زمین از طریق IGRF برای مناطقی که نزدیک به پایگاه‌های ژئومغناطیس ثابت هستند، از دقت بالایی برخوردار است.

۳-۹-۲ تصحیح ارتفاع

تغییرات میدان مغناطیسی زمین برحسب ارتفاع (گرادیان قائم) در قطب‌ها برابر $3/0$ - نانوتسلا بر متر و در استوا $15/0$ - نانوتسلا بر متر است. بدین یک تغییر ارتفاع 100 متر در قطب باعث تنها 3 - نانوتسلا تغییر میدان می‌شود که در نقاط دیگر این مقدار کمتر است. بنابراین تصحیح ارتفاع در مطالعات مغناطیسی به هیچ وجه قابل توجه نبوده و از آن می‌توان به راحتی صرف‌نظر کرد [انوروزی، ۱۳۸۸].

۲-۹-۴ تصحیحات توپوگرافی

در بسیاری موارد به دلیل خاصیت مغناطیسی کم سنگ‌های سطحی اثر آن‌ها روی مقدار میدان مغناطیسی ایستگاه‌های اندازه‌گیری قابل چشم‌پوشی است. اما حالت‌های نیز وجود دارد که سنگ‌های سطحی از خاصیت مغناطیسی نسبتاً بالایی برخوردارند (به عنوان مثال سنگ‌های فوق بازیک) که در این صورت وجود توپوگرافی از یک چنین سنگ‌هایی می‌تواند اندازه‌گیری‌ها را تحت تاثیر قرار دهد. به‌علاوه در ارتباط با سنگ‌های سطحی بدون خاصیت مغناطیسی نیز زمانی که ایستگاه‌های اندازه‌گیری در یک دره تنگ با دیواره‌های سنگی مرتفع در اطراف آن واقع می‌شود، امکان اثر توپوگرافی وجود دارد. در چنین حالت‌هایی ممکن است نوعی تصحیح توپوگرافی (زمینگان) مورد نیاز باشد. در مطالعات مغناطیسی برای این تصحیح می‌توان از نوعی هموارسازی داده‌ها که در واقع انتقال داده‌ها روی یک سطح افقی است استفاده کرد [انوروزی، ۱۳۸۸].

۲-۱۰ برگردان به قطب داده‌های مغناطیسی

یکی از عوامل موثر بر شکل آنومالی مغناطیسی زاویه میل بردار میدان مغناطیس زمین می‌باشد. مقدار زاویه میل در مغناطیسی 90 درجه، در استوا صفر درجه و سایر محل‌ها مقادیری بین صفر و 90 درجه دارد به غیر از مواردی که توده در قطب مغناطیسی واقع شده است، سایر آنومالی‌های مغناطیسی شکل نامتقارن دارند. تبدیل به قطب عملگری است که شکل نامتقارن آنومالی مغناطیسی را به شکلی متقارن تبدیل می‌کند. به این ترتیب آنومالی مغناطیسی به آنومالی اندازه‌گیری شده در قطب مغناطیسی تبدیل و ضمناً باعث جانمایی دقیق آنومالی بر روی توده می‌شود.

۲-۱۱ تفکیک و آشکارسازی

در نقشه‌های میدان پتانسیل، تأثیرات سنگ بستر با تغییرات ملایم و خطی مشخص می‌شوند. این

اثرات خطی، آنومالی‌های ناحیه‌ای نامیده می‌شود. آنومالی ناحیه‌ای دارای فرکانس فاصله‌ای پایین و طول موج بلند در حالی که آنومالی‌های باقی‌مانده که از کم کردن مقادیر آنومالی برداشت شده از آنومالی ناحیه‌ای بدست می‌آیند و ناشی از منابع زیرسطحی کم عمق هستند، دارای فرکانس فاصله‌ای بالا و طول موج کوتاه می‌باشد. در کارهای اکتشافی برای تفکیک و مشخص نمودن آنومالی‌های محلی یا باقی‌مانده، آنومالی‌های مشاهده‌ای را از آنومالی‌های ناحیه‌ای کم می‌کنیم. برداشت‌های میدان پتانسیل برای مقاصد مختلفی انجام می‌شود مانند کشف امتدادهای ساختمانی، بررسی پی‌سنگ منطقه و کشف و تحلیل منابع آنومالی مربوط به توده‌های معدنی [Grant and west, 1965]. بسته به هدف و همچنین مقیاس برداشت داده‌های میدان پتانسیل آنومالی‌های ناحیه‌ای و یا باقی‌مانده به کار گرفته می‌شوند. به عنوان مثال هنگامی که برداشت مغناطیس‌هوایی در مقیاس وسیع در منطقه‌ای انجام می‌گیرد و هدف کشف امتداد ساختمان‌های زمین‌شناسی در منطقه است، نقشه آنومالی ناحیه‌ای کاربرد دارد. در مقابل هنگامی که هدف از برداشت، شناسایی و تحلیل آنومالی‌های محلی مغناطیسی یا گرانی است نقشه آنومالی باقیمانده مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مواردی که تفسیر و مدل‌سازی عددی و فیلتر کردن بر روی داده‌های میدان باقی‌مانده انجام می‌شود، اعتبار تفسیر به درجه جداسازی آنومالی‌های باقی‌مانده بستگی دارد.

۲-۱۲ نقشه‌های میدان پتانسیل

نقشه‌های میدان پتانسیل تهیه شده از برداشت‌های میدان گرانی و مغناطیسی مجموع اثرات توده‌های با چگالی و مغناطیس متفاوت و در اعماق متفاوت می‌باشد. مهمترین گام در مرحله تفسیر بدست آوردن اطلاعات مفید توسط نتیجه‌ی تصحیح شده است. این نقشه‌ها نشانگر شکل یا ساخت زیر سطحی نمی‌باشد بلکه فرم میدان پتانسیل حاصل از اشکال زیر سطحی را مشخص می‌کنند.

دو مشخصه بسیار مهم در مورد میدان‌های پتانسیل وجود دارد اول اینکه میدان پتانسیل مشاهده شده در هر نقطه نشانگر میدان‌های حاصل از تمامی منابع زیر سطحی می‌باشد و دومین مشخصه عدم منحصربفرد بودن یک آنومالی حاصل از یک منبع زیرسطحی است. یعنی تعداد بی‌شماری از اشکال زیر سطحی مختلف می‌توانند آنومالی‌های یکسانی در زیر سطح زمین حاصل کنند. در نهایت یک مفسر خوب برای بهبود یافته‌ها، میدان‌های پتانسیل را به مؤلفه‌های اصلی خود تجزیه می‌کند و وضعیت هندسی و چگالی اشکال زمین‌شناسی مولد آنومالی‌ها را تعیین نموده و سپس به تجزیه و تحلیل می‌-

پردازد. که در فصل بعد به معرفی فیلترهای مرسوم ژئوفیزیکی و فیلترهای پردازش تصویر می پردازیم.

فصل سوم

انواع فیلترهای مرسوم ژئوفیزیکی

و پردازش تصویر

۱-۳ مقدمه

فیلتر یک ماتریس ریاضی است که روی مقادیر پیکسل‌های تصاویر حرکت می‌کند و بر اساس اصول خاصی این مقادیر را تغییر می‌دهد. که برای انجام این کار اطلاعات فرکانس‌های خاصی از تصاویر حذف و بقیه اطلاعات باقی می‌ماند. فیلترینگ یکی از مهمترین عملیات در فرایند پردازش تصاویر می‌باشد. تمامی الگوریتم‌های فیلترها شامل فرایند همسایگی می‌باشند زیرا آنها بر اساس ارتباط بین پیکسل‌ها با هم می‌باشند و فقط بر روی یک پیکسل عملیات انجام نمی‌دهند. پردازش تصویر را می‌توان در حکم نگاشتی از فضای تصویر به فضای اطلاعات دانست که موجب آماده‌سازی تصویر برای آنالیزهای بعدی می‌شود. این پردازش‌ها بسیار متنوع‌اند و طیف وسیعی از عملیات‌ها مانند حذف خطا، بهبود کنتراست، و عمال فیلترها را در بر می‌گیرد. این گونه پردازش‌ها به عملیات‌های طیفی معروف‌اند که بیشتر با مقادیر پیکسل‌ها کار می‌کنند. پیکسل کوچک‌ترین جزء یک تصویر است که با یک سطر و ستون شناخته می‌شود، در نتیجه تصویر را می‌توان شبکه‌ای منظم از اعداد در نظر گرفت که این اعداد نشان دهنده میزان انرژی الکترومغناطیس ثبت شده‌اند. عملکرد فیلترها روی پیکسل‌های یک تصویر به گونه‌ای است که عوارض موجود در تصاویر از نظر رنگ، بافت، اشیای همسایه و پارامترهایی از این قبیل برجسته می‌شود [انصاری، علمدار، ۱۳۹۰]. این کار با فیلترهای گوناگونی صورت می‌گیرد که عمده مزیت آنها نبود نیاز به انتقال داده‌ها از حوزه‌ای به دیگر است. عمده مزیت استفاده از این فیلترها نبود برجستگی نوفه‌های محیطی و مصنوعی در تصویر فیلتر شده است. یعنی در مورد داده‌های ژئوفیزیکی میدان پتانسیل معمولاً از فیلترهای مشتق (مشتق افقی، مشتق قائم) برای پردازش تصاویر استفاده می‌شود و محاسبات مربوط به آن از راه انتقال داده‌ها به حوزه بسامد (فوریه) صورت می‌پذیرد. مشکل این فیلترها، نبود تعادل بین سیگنال‌ها و نوفه‌ها در تصویر فیلتر شده است. به عبارت دیگر هم‌زمان برجسته شدن سیگنال‌ها نوفه‌های موجود در تصویر نیز برجسته می‌شوند.

۲-۳ فیلترهای مرسوم برای پردازش داده‌های میدان پتانسیل

یکی از مهم‌ترین مراحل در تفسیر داده‌های میدان پتانسیل تفکیک عمودی آنومالی‌های ناشی از منابع محلی و منطقه‌ای و شناسایی مرزهای افقی آنها است. روش‌هایی چون فیلترهای گسترش به سمت بالا^۱ و گسترش به سمت پایین^۲ بر اساس طول موج‌های متفاوت آنومالی‌ها (توده‌های عمیق طول موج بلندتری نسبت به توده‌های سطحی دارند)، تفکیک عمودی توده‌های آنومال را انجام می‌دهند اما کمکی به تفکیک جانبی آنها نمی‌کنند.

در بررسی ناهمگنی جانبی توده‌های زمین‌شناسی، به ویژه موقعیت لبه‌ی آنها، داده‌های میدان پتانسیل مزایای منحصر به فردی دارند. زمانی که صحبت از لبه‌ها یا مرزهای زمین‌شناسی می‌شود، به‌طور عمده منظور مرز گسل‌ها، شکستگی‌ها و یا واحدهای زمین‌شناسی و یا واحدهای سنگی با چگالی متفاوت می‌باشد [حدادیان، ۱۳۹۰].

فیلترهای متعددی برای شناسایی مرزهای افقی توده‌های آنومال 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. روش‌ها بر اساس مکان نقاط ماکزیمم و یا صفر حاصل از به‌کارگیری مشتقات افقی یا عمودی و یا ترکیبات متفاوت آنها می‌باشند. اما به هر حال تفاوتی بین لبه‌های بدست آمده و لبه‌های واقعی وجود دارد که این تفاوت با شکل مرز، عمق، اندازه و دیگر فاکتورهای توده‌ی زمین‌شناسی تغییر می‌کند.

۳-۲-۱ روند سطحی

یکی از انعطاف‌پذیرترین تکنیک‌های تحلیلی برای تعیین اثرات ناحیه‌ای، روش روندسطحی می‌باشد. در این روش میدان ناحیه‌ای از مقادیر مشاهده شده بوسیله روش حداقل مربعات تقریب زده می‌شود [Hinze, 1990]. این روش بر اساس محاسبه سطحی (به روش ریاضی) استوار است که بهترین تطابق را نسبت به مقادیر مشاهده شده داشته باشد. در حالت کلی معادله سطح مذکور برای حالت دو بعدی به شرح زیر است [آگاه و همکاران، ۱۳۸۳]:

¹ Upward continuation

² Downward continuation

$$T(x, y) = A_{00} + A_{01}x + A_{01}y + A_{11}xy + A_{20}x^2 + A_{21}x^2y + \dots + A_{pq}x^p y^q \quad (1-3)$$

که در آن: $T(x, y)$ مقدار آنومالی ناحیه‌ای، A_{ij} ضرایب سطح مذکور، x و y مختصات نقاط برداشت شده می‌باشد. بعد از عبور سطح فوق الذکر بر داده‌های مشاهده شده، آنومالی باقی‌مانده به صورت زیر محاسبه می‌شود [آگاه و همکاران، ۱۳۸۳]:

$$R_i = G_i - T_i \quad (2-3)$$

که در آن G_i اطلاعات مشاهده شده، T_i پاسخ سطح مذبور به عنوان اثر ناحیه‌ای و R_i آنومالی باقی‌مانده می‌باشند. برای انجام این روش مربع تفاضل اطلاعات مشاهده شده و اطلاعات سطح انتخابی با استفاده از روش حداقل مربعات کمینه می‌گردد تا سطح مناسب جهت محاسبه اثرات ناحیه‌ای به دست آید. درجه روند سطحی به پیچیدگی زمین‌شناسی ناحیه‌ای بستگی دارد [Dobrin and savit, 1988]. از درجه‌های بیشتر روند سطحی برای حالت‌های پیچیده‌تر استفاده می‌شود. هرچه درجه روند بیشتر باشد آنومالی‌های باقی‌مانده کوچک‌تر و برجسته‌تر می‌شوند و هم‌پوشانی بین مقادیر سطح مذبور و مشاهده شده بیشتر خواهد شد. بنابراین مقادیر باقی‌مانده به سمت صفر میل خواهند نمود. در این حالت تفکیک اطلاعات به دو مؤلفه باقی‌مانده و ناحیه‌ای مفهومی نخواهد داشت و به این ترتیب هدف اصلی ما نادیده گرفته می‌شود [دولتی ارده‌جانی، ۱۳۷۵].

۳-۲-۲ فیلترهای تبدیلات

این فیلترها شامل تبدیلاتی نظیر تبدیل گسترش میدان و تبدیل به قطب می‌شود. در زیر به مشخصات هریک از این فیلترها پرداخته می‌شود.

۳-۲-۲-۱ گسترش میدان (گسترش به بالای میدان و گسترش به پایین میدان)

محاسبه میدان‌های پتانسیل در سطحی متفاوت از سطح برداشت (معمولاً از زمین) را گسترش میدان پتانسیل گویند این عملیات شامل اندازه‌گیری در سطحی بالاتر از سطح برداشت و سطحی پایین‌تر از سطح برداشت است که به ترتیب گسترش به سمت بالا و گسترش به سمت پایین نام دارد [Bergon et al, 1990]. یکی از روش‌های تفکیک آنومالی‌های میدان پتانسیل، روش گسترش به سمت بالا می‌باشد. با کاربرد روش تأثیرات عمیق به وضوح مشخص می‌شود در این روش داده‌های میدان پتانسیل به وسیله معادلات ریاضی از یک سطح مبنا بر روی سطوح ترازوی در بالای آن تصویر می‌شوند. تغییر دادن به یک

سطح بالاتر، اثر آنومالی‌هایی را که دورتر هستند کاهش می‌دهد ولی اثرات آن روی آنومالی‌های سطحی و محلی بسیار بیشتر است زیرا تغییر در مسافت برای این منابع به طور نسبی بزرگتر از منابع عمیق و وسیع منطقه‌ای است بنابراین در یک سطح بالاتر، الگوی تغییرات منطقه‌ای به طور واضح نمایان شده و آنومالی‌های باقی‌مانده کمتر واضح می‌باشند [Bergren et al, 1990]. گسترش به سمت پایین ماهیت ناپایدار دارد و نویز زیادی به داده‌ها منتقل می‌کند از این رو این روش کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد. گسترش به سمت بالا یا گسترش به سمت پایین طی سه مرحله صورت می‌گیرد.

۱. تبدیل فوریه داده‌ها و انتقال آنها به حوزه فرکانس.

۲. ضرب کردن نتیجه مرحله ۱ در عبارت $e^{\pm 2\pi h \sqrt{u^2 + v^2}}$ در این رابطه h ارتفاع گسترش به متر و u و v متغیرهای حوزه فرکانس می‌باشد.

۳. برگرداندن نتایج مرحله ۲ به حوزه مکان توسط عکس تبدیل فوریه.

۴. در صورتیکه مقدار h در این رابطه مثبت باشد گسترش به سمت بالا و در صورتی که مقدار h منفی باشد گسترش به سمت پایین نامیده می‌شود.

از بین تبدیل‌های گسترش میدان، ادامه فرسو به دلیل القاء نویز زیاد کاربرد ندارد. بیشترین کاربرد تبدیل ادامه فراسو جداسازی آنومالی‌های ناحیه‌ای از باقی‌مانده در برداشت‌های هوایی است. با این حال کاربرد تبدیل ادامه فراسو عبارت است از:

- جداسازی آنومالی‌های ناحیه‌ای و باقیمانده.
- حذف نویزهای سطحی از داده‌های برداشت شده.
- تخمین عمق سنگ بستر به خصوص در برداشت‌های هوایی.

۳-۲-۲-۲ فیلتر برگردان به قطب^۱

یکی از عوامل موثر بر شکل آنومالی مغناطیسی زاویه میل بردار میدان مغناطیس زمین می‌باشد. مقدار زاویه میل در قطب مغناطیسی ۹۰ درجه، در استوا صفر درجه و سایر محل‌ها مقادیری بین صفر و ۹۰ درجه دارد به غیر از مواردی که توده در قطب مغناطیسی واقع شده است، سایر آنومالی‌های مغناطیسی شکل نامتقارن دارند. تبدیل به قطب عملگری است که شکل نامتقارن آنومالی مغناطیسی را به شکلی متقارن تبدیل می‌کند. به این ترتیب آنومالی مغناطیسی به آنومالی اندازه‌گیری شده در قطب

^۱ Reduction to the pole

مغناطیسی تبدیل و ضمنا باعث جانمایی دقیق آنومالی بر روی توده می‌شود.

این عملگر در حوزه فرکانس از رابطه زیر به دست می‌آید

$$A'(u, v) = \frac{A(u, v)}{(\sin \theta + i \cos \theta \sin(\varphi + \alpha))^2} \quad (3-3)$$

در این رابطه $A(u, v)$ شدت آنومالی در فرکانس‌های (u, v) ، θ ، φ به ترتیب زاویه میل و انحراف بردار مغناطیس زمین و $\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{v}{u}\right)$ می‌باشد.

انجام تبدیل به قطب در حوزه فرکانس و با استفاده از رابطه (3-3) سبب بروز مشکلاتی در نتایج خواهد شد. به عنوان مثال در مواردی که توده در عرض‌های جغرافیایی پایین مغناطیس شده و یا برای توده‌هایی که مغناطیس باقی‌مانده ناشناخته دارند نتایج این روش قابل استناد نیست [Silva, 1986]. به علاوه چون این روش در حوزه فرکانس عمل می‌کند، زاویه میل و انحراف بردار مغناطیس زمین باید در چهارگوش مورد مطالعه ثابت باشد. تغییرات زاویه انحراف بردار ژئومغناطیس در ایران 4-5 درجه است لذا تغییرات اندک آن تاثیر چندانی بر روی نتایج تبدیل به قطب ندارد. اما تغییرات زاویه میل را نمی‌توان نادیده گرفت. در صورتی که تغییرات زاویه میل و انحراف بردار مغناطیس زمین ناچیز باشد، برای تبدیل به قطب می‌توان از میانگین مقادیر زاویه میل و انحراف استفاده کرد. در مواردی که این تغییرات زیاد باشد می‌توان منطقه مورد مطالعه را به قسمت‌هایی که زاویه میل و انحراف تغییر چندانی ندارند تقسیم و از میانگین آنها در تبدیل به قطب استفاده کرد. این تکنیک در حوزه فرکانس به کار برده شد اما نیاز به حافظه زیاد برای ذخیره داده‌های هر قسمت و وقت گیر بودن عملیات از دلایل عدم کاربرد این روش است [Arkani, 1998].

۳-۲-۳ فیلترهای مشتق

یکی از پرکاربردترین فیلترهای مورد استفاده در تفسیر داده‌های میدان پتانسیل فیلترهای مشتق است و نقش آنها در جداسازی آنومالی‌های ناحیه‌ای و باقی‌مانده و تخمین مرز است.

این فیلترها به سه دسته فیلترهای مشتق قائم^۱، مشتق افقی^۲ و مشتق جهتی^۳ تقسیم می‌شوند. بنا به نیاز از هر سه نوع فیلتر استفاده می‌شود زیرا هر کدام اطلاعات مختلف ویژه‌ای در اختیار می‌گذارد. فیلتر مشتق قائم با افزایش مرتبه مشتق مرزها و آنومالی‌ها را برجسته‌تر نشان می‌دهند ولی چون در گروه فیلترهای بالاگذر جای می‌گیرند.

1 Vertical Derivative
2 Horizontal Derivative
3 Directional Derivative

همزمان با آنومالی‌ها نویزه‌های موجود در نقشه‌ها و تصاویر نیز برجسته خواهد شد. اندازه مشتق افقی در بالای لبه‌های توده‌های زیر سطحی حداکثر است لذا می‌تواند در تخمین مرز به‌کار برده شود. به خاطر ماهیت دو قطبی میدان‌های مغناطیسی کاربرد این فیلتر بر روی این میدان‌ها برای تخمین مرز چندان موفقیت‌آمیز نبوده است. اما این فیلتر بر روی داده‌های گرانی برداشت شده و یا داده‌های شبه‌گرانی از برداشت‌های مغناطیس‌سنجی به‌کار برده شده است و نتایج قابل قبولی را ارائه می‌دهد.

مشتق‌های جهتی بیشتر برای برجسته کردن آنومالی‌ها از جهت و زاویه‌ای خاص به‌کار برده می‌شوند. در این فیلترها پدیده‌ها و عوارض خطی با امتداد عمود بر جهت محاسبه مشتق جهتی برجسته می‌شوند. مثلاً محاسبه مشتق جهتی در امتداد شمال جنوب باعث برجسته شدن آنومالی‌های با امتداد شرق غرب خواهد شد.

۳-۲-۳-۱ مشتق قائم

اگر تابع $\varphi(x, y)$ بیانگر داده‌های میدان پتانسیل باشد، آنگاه با استفاده از خواص تابع لاپلاس می‌توان مشتق قائم داده‌های میدان پتانسیل را محاسبه کرد. بر طبق این تئوری اگر $\varphi(x, y)$ یک میدان پتانسیل باشد آنگاه $\nabla^2 \varphi = 0$ بنابراین می‌توان نوشت [Verduzco et al, 2004].

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = 0 \rightarrow \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = - \left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} \right) \quad (۴-۳)$$

به علاوه هنگامی که داده‌ها در یک سطح افقی برداشت شده باشند، می‌توان تابع لاپلاس را به حوزه فوریه منتقل و سپس مشتق قائم مرتبه n ام داده‌های میدان پتانسیل را نیز محاسبه کرد که می‌تواند هر مقدار حقیقی را اختیار کند.

$$F \left[\left(\frac{\partial^n \varphi}{\partial x^n} \right) \right] = |k|^n F[\varphi] \quad (۵-۳)$$

در این رابطه $k = 2\pi/\lambda$ که λ طول موج و F بیانگر تبدیل فوریه می‌باشد. با افزایش مرتبه مشتق قائم، آنومالی‌ها برجسته‌تر می‌شوند اما از آنجایی که این فیلتر از نوع فیلتر بالاگذر است لذا به طور ناخواسته، نویزها نیز برجسته می‌شوند. این امر به ویژه در مشتقات قائم مرتبه بالاتر ظاهر خواهد شد. به طور معمول استفاده از این فیلتر فقط به مرتبه‌های اول و دوم محدود می‌شود.

۲-۳-۲-۳ مشتق افقی

منظور از مشتقات جهتی داده‌های میدان پتانسیل، مشتق آنها نسبت به جهات x, y می‌باشد. این روش برای برجسته کردن ساختارهای خطی موجود در نقشه‌ها به کار می‌رود. در این تکنیک آنومالی‌های خطی با امتداد عمود بر امتداد محاسبه مشتق برجسته خواهند شد. به عنوان مثال هنگامی که مشتق جهتی در امتداد شرقی- غربی محاسبه می‌شود، کلیه ساختارهای خطی (گسل، دایک) موجود با امتداد شمالی-جنوبی برجسته و در مقابل ساختارهای با امتداد شرقی- غربی کمرنگ خواهد شد. با این وجود هنگامی که داده‌های میدان پتانسیل موجود به نقشه در آورده می‌شوند، نقشه حاصل دارای آنومالی‌های با شدت‌های گوناگون است. در مواردی که دامنه تغییرات آنومالی‌های موجود در نقشه زیاد باشد: به عبارت دیگر هنگامی که اختلاف ماکزیمم و مینیمم آنومالی موجود زیاد باشد، مشتق جهتی محاسبه شده نیز چنین وضعیتی را خواهد داشت و این باعث از دست رفتن آنومالی‌های با شدت کمتر خواهد شد. [Gunn et al., 1997].

۴-۲-۳ سیگنال تحلیلی

فیلتر سیگنال تحلیلی روشی برای تخمین مرز توده است. ماکزیمم مقدار سیگنال تحلیلی بر روی لبه‌های توده قرار می‌گیرد. مزیت استفاده از این روش عدم وابستگی اندازه سیگنال تحلیلی به بردار مغناطیس شدگی توده و همچنین بردار مغناطیس زمین است. یکی از نکات این روش این است که مشتقات افقی و عمودی یک تابع پتانسیل تبدیلات هیلبرت یکدیگر هستند. تبدیل هیلبرت دامنه تابع ورودی را تغییر نمی‌دهد اما فاز آن را به اندازه 90° درجه تغییر می‌دهد در نتیجه تبدیل هیلبرت مشتق افقی داده‌های میدان پتانسیل، مشتق قائم داده‌ها را بدست خواهد داد.

سیگنال تحلیلی یا گرادیان کامل به صورت ترکیب مشتقات افقی و قائم داده‌های میدان پتانسیل تعریف می‌شود. مشتق افقی میدان، اثر مغناطیسی توده‌ها را به صورت ورقه‌های هم‌ضخامت که توده را در بر گرفته‌اند تبدیل می‌کند به کمک یک تبدیل ساده در حوزه فرکانس یک تابع تحلیلی ارائه می‌شود که مؤلفه حقیقی آن مشتق افقی و مؤلفه مجازی آن مشتق عمودی میدان است مؤلفه مجازی را می‌توان تبدیل هیلبرت مؤلفه حقیقی در نظر گرفت. این روش یک روش ساده و سریع برای محاسبه مشتق عمودی از یک پروفیل را ارائه می‌کند [Verduzco, 2004].

۳-۲-۵ فیلترهای فاز محلی^۱

مهمترین مزیت فیلتر فاز محلی انعطاف‌پذیری آن است. بدین منظور با تغییری جزئی در فرمول مربوط به یک فیلتر و در واقع نرمالیزه کردن آنها می‌توان فیلترهای جدیدی حتی با کارایی بیشتر تولید کرد. از انواع فیلترهای فاز پایه می‌توان به فیلتر زاویه تیلت (زاویه انحراف)، زاویه تتا (زاویه بین گرادیان افقی کل و سیگنال تحلیلی) و مشتق افقی زاویه تیلت اشاره کرد. مشکل استفاده از فیلترهای متداول فاز پایه در مورد منابع عمیق است که در این موارد مرز مشخص شده حالت پخش و هاله مانند به خود می‌گیرد. برای رفع این مشکل از تعدادی فیلترهای جدید فاز پایه مانند مشتق قائم مرتبه دوم زاویه تیلت یا مشتق افقی نرمال شده استفاده می‌شود. البته ممکن است هنگامی که از فیلترهای مشتقات بالاتر استفاده می‌شود مشکل برجسته شدن نویز نیز وجود داشته باشد.

۳-۲-۵-۱ فیلتر تتا

این فیلتر به صورت نسبت بین اندازه گرادیان افقی و اندازه سیگنال تحلیلی داده‌های میدان پتانسیل تعریف می‌شود [Wijns et al., 2005].

در حالت سه بعدی سیگنال تحلیلی آنومالی‌های مغناطیسی از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\vec{A} = \frac{\partial M}{\partial x} \hat{x} + \frac{\partial M}{\partial y} \hat{y} + i \frac{\partial M}{\partial z} \hat{z} \quad (۳-۶)$$

در این رابطه M آنومالی مغناطیسی $i = \sqrt{-1}$ بردارهای واحد در دستگاه مختصات کارتزین می‌باشد. در محل لبه‌های توده مقدار مشتق قائم صفر است در نتیجه بردار سیگنال تحلیلی با افق زاویه صفر درجه می‌سازد. اگر بردار واحد \hat{S} در جهت مولفه افقی سیگنال تحلیلی باشد زاویه θ از رابطه زیر بدست خواهد آمد:

$$\cos\theta = \frac{A \cdot \hat{S}}{|A| \cdot |\hat{S}|} = \frac{\sqrt{\left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial y}\right)^2}}{|A|} \quad (۳-۷)$$

در این رابطه نماد $|A|$ بیانگر اندازه سیگنال تحلیلی (اندازه بردار) می‌باشد این در مورد میدان گرانی نیز کاربرد دارد که مقدار آن از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

1. Local Phase Filters

$$\cos\theta = \left(\frac{\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2}}{\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2}} \right) \quad (۸-۳)$$

در این رابطه f میدان پتانسیل برداشت شده و صورت کسر بیانگر گرادیان افقی کل و مخرج کسر معادل سیگنال تحلیلی (گرادیان کامل) است. در واقع در این فیلتر اندازه گرادیان افقی کل توسط اندازه سیگنال تحلیلی نرمال می‌شود. این فیلتر منجر به تخمین مرز توده‌های مولد آنومالی میدان پتانسیل می‌شود. محدودیت استفاده از این فیلتر در مورد داده‌های مغناطیسی است که ابتدا داده‌ها باید به قطب یا استوا منتقل شوند تا ماهیت دو قطبی داده‌ها حذف شود.

۳-۲-۵-۲ فیلتر زاویه تیلت

زاویه تیلت است. این فیلتر برای اولین بار توسط میلر^۱ معرفی شد به صورت نسبت مشتق قائم به اندازه مشتق افقی کل داده‌های میدان پتانسیل تعریف می‌شود. زاویه تیلت طبق رابطه زیر هم در حوزه فرکانس و هم در حوزه مکان به راحتی قابل محاسبه است [Cooper and Cowan, 2006].

$$T = \left(\tan^{-1} \frac{\frac{\partial f}{\partial z}}{\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2}} \right) \quad (۹-۳)$$

T مقدار زاویه تیلت و f میدان پتانسیل برداشت شده (مغناطیس یا گرانی) می‌باشد. تغییرات زاویه تیلت در بالای توده‌های معدنی و همچنین بدون بعد بودن آن مهم‌ترین دلیل کاربرد این فیلتر است در ضمن اینکه نتایج آنرا می‌توان با نتایج فیلترهای مشتق قائم و مشتق افقی نیز مقایسه کرد [Cooper and Gowan, 2006].

از ویژگی‌های مهم زاویه تیلت می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- مقدار زاویه تیلت مستقیماً در بالای توده‌های زیر سطحی مثبت است.
- در نواحی خارج از توده زیر سطحی مقدار زاویه تیلت منفی خواهد بود.
- زاویه تیلت در بازه +۹۰ و -۹۰ درجه تغییر می‌کند و در مقایسه با فیلتر مشتق قائم،

¹ Miler (1994)

تفسیر نتایج این فیلتر آسان تر است [Grant and west, 1965]. در این فیلتر اندازه مشتق قائم نسبت به اندازه مشتق افقی نرمالیزه شده است.

- یکی از معایب زاویه تیلت عدم کارایی آن در هنگام حضور منابع عمیق است که این مشکل با مشتق‌گیری از زاویه تیلت برطرف می‌شود که در قسمت‌های بعدی به آن اشاره خواهد شد.

۳-۲-۵-۳ زاویه تیلت هایپربولیک HTR

کاربرد زاویه تیلت بر روی نقشه‌های مختلف میدان پتانسیل و بررسی نتایج حاصل از آن نشان داده که اگر در محاسبات مربوط به زاویه تیلت به جای استفاده از تابع تانژانت از قسمت حقیقی تابع تانژانت هایپربولیک استفاده شود نتایج تخمین مرز و لبه توده‌های زیر سطحی نسبت به انواع فیلترهای گفته شده بهتر خواهد بود و آنومالی‌ها با شدت بیشتری برجسته خواهند شد این فیلتر به نام فیلتر زاویه تیلت هایپربولیک خوانده می‌شود و از رابطه زیر محاسبه می‌شود [Cooper and Cowan, 2006].

$$HTA = \Re\left(\tanh^{-1} \frac{\frac{\partial f}{\partial z}}{\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2}}\right) \quad (10-3)$$

در این رابطه f میدان پتانسیل و \Re بیانگر قسمت حقیقی تابع می‌باشد. تابع تانژانت هایپربولیک نیز از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

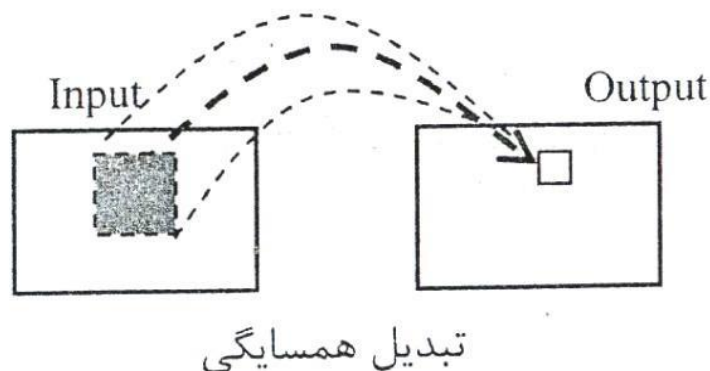
$$Z = \tanh x = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}} = \frac{\sinh x}{\cosh x} \quad (11-3)$$

بعد از محاسبه HTR مینیمم مقدار آن درست در بالای لبه‌ها و مرزهای توده قرار خواهد گرفت. در مقایسه با فیلتر زاویه تیلت مرز مدل تیزتر مشخص شده است از مزایای بسیار مهم این فیلتر عدم حساسیت آن به نویزهای موجود و همچنین نویزهای القاء شده در تصویر فیلتر شده می‌باشد در مقابل فیلتر THDR به شدت تحت تاثیر این نویزها قرار می‌گیرد علت این امر این است که در محاسبه فیلتر HTA از مشتقات مرتبه اول استفاده می‌شود در حالی که در محاسبه THDR مشتقات مرتبه دوم به کار می‌رود [Sharma, 1997].

۳-۳ فیلترهای پردازش تصویر

یک فیلتر را می‌توان عملگری در نظر گرفت که از راه محاسبات روی یک پیکسل و همسایگان آن در یک

محدوده تعریف شده، یک مقدار مشخص برای پیکسل در تصویر خروجی تولید می‌کند. در نتیجه یک فیلتر باید به طور یکسان روی تک تک پیکسل‌های تصویر اعمال شود و برای هر کدام محاسبات را تکرار کند. برای هر فیلتر یک محدوده عملکرد تعریف می‌شود که در آن مشخص است چه تعداد از پیکسل‌های همسایه باید در محاسبات وارد شوند. بنابراین فیلترها به صورت ماتریسی با ابعاد مشخص (معمولاً اعداد فرد) تعریف می‌شود [Canny,1986]. مرکز ماتریکس فیلتر روی پیکسل مورد نظر قرار می‌گیرد (چون ابعاد ماتریس فرد انتخاب می‌شود همیشه یک مرکز وجود دارد که وسط ماتریکس قرار می‌گیرد) و محاسبات مورد نظر صورت می‌گیرد و در نهایت نتیجه محاسبات به پیکسل متناظر در تصویر خروجی نسبت داده می‌شود شکل ۱-۳. به طور کلی کاربرد فیلترها در مواقعی است که پدیده‌های موجود تصویر می‌باید از لحاظ خصوصیات مکانی آنالیز می‌شوند. مواردی نظیر لبه‌ها، عوارض خطی و نوفه همگی خصوصیات مکانی ویژه‌ای دارند که به کمک فیلترهای گوناگون، از اطرافشان جدا می‌شوند.



شکل ۱-۳: نتیجه اعمال فیلتر روی یک تصویر [انصاری، علمدار، ۱۳۹۰].

فیلتر کردن دیجیتال می‌تواند طبق فیلترهای جعبه‌ای^۱ براساس مفهوم هم‌گردش در محدوده مکانی و یا تبدیل‌های فوریه در حوزه فرکانس انجام گیرد. به طور کلی فیلترها به چند دسته تقسیم می‌شوند:

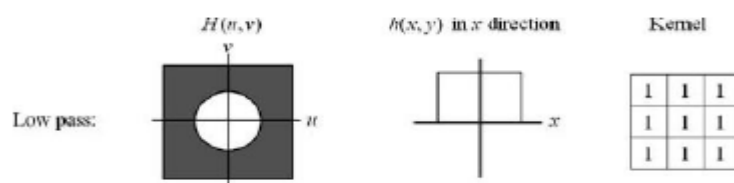
- فیلترهای بالاگذر^۲
- فیلترهای پایین‌گذر^۳

1 Box Filter
2 High Pass
3 Low Pass

در هنگام اعمال فیلترهای بالاگذر و پایین گذر باید مراقب بود که کل تصویر خراب نشود و فقط مقادیر پرت اصلاح شوند [Liu and Mason., 2009]. فیلتر گذر بالا تفاوت بعضی مقادیر مثل لبه‌ها را افزایش می‌دهد و بوسیله آن می‌توان گسل‌ها و مرز لایه‌ها را مشخص کرد. فیلترهای گذر پایین برای از بین بردن لبه‌ها و تفاوت‌ها اعمال می‌شود و اختلاف بین تصاویر را کاهش می‌دهد. نقشه‌های بدست آمده در اکثر موارد با نویزهای محیطی پوشیده شده‌اند که این نویزها مانع از تظاهر سیگنال می‌شوند. چون این نقشه‌ها را می‌توان به مانند تصویر در نظر گرفت به همین خاطر اعمال روش‌های پردازش تصویر برای کاهش نویزهای مزاحم ضروری است و باعث برجسته شدن آنومالی‌ها می‌شود و در نهایت مرز و حدود آنومالی‌ها را مشخص می‌کند. منظور از پردازش تصویر در داده‌های میدان پتانسیل استخراج حداکثر اطلاعات از نقشه میدان پتانسیل برداشت شده می‌باشد که برای این منظور از فیلترهای مختلف و با ماهیت‌های مختلف استفاده می‌شود [Liu and Mason., 2009].

۳-۴ فیلترهای گذر پایین (هموارسازی)

فیلترهای هموار سازی برای حذف اطلاعات فرکانس های بالا و حفظ اطلاعات با فرکانس پایین طراحی می‌شوند که این کار باعث حذف نویز و اغتشاشات تصویر می‌شود اما همزمان با آن باعث کاهش جزئیات تصویر نیز می‌شود. شکل ۳-۲ یک نمونه از فیلتر گذرپایین $H(u,v)$ را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۲: فیلتر فرکانس پایین گذر با PSF آن [Liu and Mason., 2009].

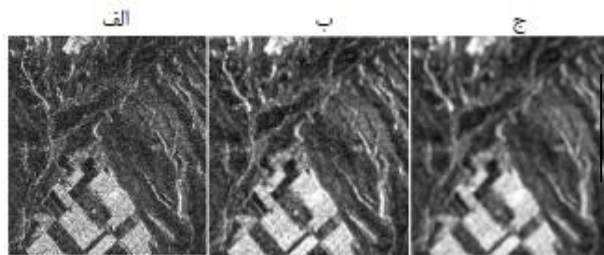
۳-۴-۱ فیلتر میانگین

اغلب ماتریس‌های فیلترهای گذر پایین شامل میانگین‌های توزین شده در پیکسل‌های هسته فیلتر می‌باشند. هموارسازی براساس میانگین‌گیری برای حذف پیکسل‌های نویز بسیار موثر می‌باشد و عدد پیکسل نویز (DN) توسط پیکسل‌های همسایه آن مشخص می‌شود در این فرایند حذف اطلاعات فرکانس بالا باعث تیرگی تصویر می‌شود. همانطور که در شکل ۳-۳ نشان داده شده است در ابتدا یک

تصویر SAR با اغتشاشات و نویزها با استفاده از یک فیلتر میانگین 5×5 از بین رفته است و عوارض زمین بعد از اعمال این فیلتر آشکارتر شده‌اند اما با اعمال فیلتر میانگین 9×9 تصویر تیره شده است. بنابراین برای حذف نویزها و اغتشاشات تصویر بدون تیره شدن تصویر، هموارسازی با حذف لبه‌ها یکی از مهمترین مباحث در اعمال فیلترهای میانگین می‌باشد که باید مورد توجه قرار گیرد در ادامه نمونه‌های گوناگونی از فیلترهای با ماتریس 3×3 نشان داده شده‌اند که اندازه و شکل آنها می‌تواند متفاوت باشد [Liu and Mason, 2009]:

فیلتر میانگین:

$$\frac{1}{9} \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad \frac{1}{5} \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

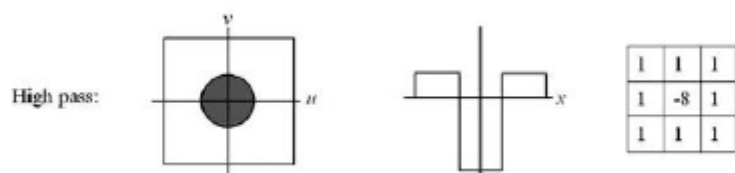


شکل ۳-۳: اعمال فیلتر میانگین (الف) تصویر اصلی (ب) تصویر پس از اعمال فیلتر میانگین 5×5 (ج) تصویر پس از اعمال فیلتر میانگین 9×9 [Liu and Mason., 2009].

۵-۳ فیلترهای گذر بالا (آشکارساز لبه)

تغییرات ناگهانی در مقادیر درجات خاکستری در یک تصویر بیانگر لبه است. به عبارت دیگر لبه عبارت از آن قسمت از تصویر است که چشم بیننده به محض مشاهده به محض مشاهده به آن متمرکز می‌شود. لبه‌ها و بافت‌ها در تصاویر از معمول‌ترین اطلاعات با فرکانس بالا می‌باشند. فیلترهای گذر بالا اطلاعات فرکانس پایین تصاویر را حذف کرده و از این‌رو باعث برجسته شدن اطلاعات فرکانس بالا مثل لبه‌ها می‌شوند. در ژئوفیزیک لبه به صورت طرحی که مفسر برای متمرکز کردن عملیات تفسیر روی نقشه میدان پتانسیل ایجاد می‌کند تعریف می‌شود. لبه‌ها گاه منطبق بر عوارض زمینی خطی مانند جاده، رودخانه، مرز مزارع، عوارض ساخته بشری و گاه منطبق بر مرزهای زمین‌شناسی است. بنابراین کشف و استخراج آنها در بارزسازی اطلاعات و جزئیات هندسی تصویر بسیار راهگشا است. کشف لبه معمولاً به

سه روش صورت می‌گیرد. استفاده از فیلترهای کشف لبه، محاسبه گرادیان‌های مرتبه دوم داده‌ها. تفاوت اصلی فیلترهای آشکارساز لبه با فیلترهای گرادیان در نحوه عملکرد آنها است. بدین معنی که عملکرد فیلترهای گرادیان محاسبه مشتق داده‌ها در حوزه بسامد (حوزه فوریه) است. در حالی که یک فیلتر آشکارساز لبه از آرایه‌ای (معمولا 3×3) از ضریب با وزن‌های گوناگون تشکیل می‌شود که از این جهت می‌توان آن را کرنل نامید. البته آرایه‌های 7×7 و 9×9 و اعداد فرد بزرگ‌تر نیز به کار برده می‌شوند. بزرگ‌تر بودن اندازه فیلتر بزرگ‌تر بودن ناحیه تاثیر فیلتر را نتیجه می‌دهد. فیلتر همانند پنجره متحرکی عمل می‌کند که پیکسل به پیکسل وردیف به ردیف روی تصویر حرکت می‌کند. هر پیکسل از تصویر در مقدار متناظر ضریب فیلتر که روی آن واقع شده است ضرب می‌شود و ۹ (یا ۲۵، یا ۴۹ و...) مقدار حاصل با یکدیگر جمع و عدد حاصل به پیکسل مرکزی نسبت داده می‌شود. این عملیات هم گردش (convolution) تابع فیلتر در تابع تصویر نام دارد. شکل ۳-۴ یک نمونه از فیلتر بالاگذر $H(u,v)$ را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۴: فیلتر فرکانس بالاگذر با PSF آن [Liu and Mason., 2009].

معمولا در محل لبه، گرادیان داده‌ها بیشینه است (پیکسل‌های مربوط به لبه‌ها نیز در مقایسه با پیکسل‌های کناری دارای شدت بیشتری‌اند). در نتیجه لبه دارای بسامد زیاد است و حجم کمی از تصویر را اشغال می‌کند. به همین دلیل فیلتر بالا گذر به منزله فیلتر آشکارساز لبه دارای بسامد زیاد است و حجم کمی از تصویر را اشغال می‌کند. به همین دلیل فیلتر بالاگذر به منزله فیلتر لبه کارایی دارد. این فیلتر گاه به صورت جهتی و گاه به صورت عمودی تعریف می‌شود. فیلترهای جهتی در جهتی خاص مانند X و Y عمل می‌کنند و فقط آن دسته از لبه‌ها را آشکار می‌کنند که در امتداد مورد نظر قرار گرفته باشند. فیلترهای لبه عمودی مشابه با فیلتر لاپلاس، معمولا باعث برجسته‌سازی لبه‌ها در تمام جهات می‌شوند و کل محدوده توده را برجسته می‌سازند شکل ۳-۵ (الف تا ه) به ترتیب فیلترهای آشکارساز لبه عمودی، جهتی، لاپلاس مرتبه اول و لاپلاس مرتبه دوم را نشان می‌دهد.

ج									
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">+</td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">+</td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">.</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">+</td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">.</td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">-</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">.</td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">-</td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">-</td></tr> </table>	+	+	.	+	.	-	.	-	-
+	+	.							
+	.	-							
.	-	-							

ب									
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">.</td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">+</td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">+</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">-</td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">.</td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">+</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">-</td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">-</td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">.</td></tr> </table>	.	+	+	-	.	+	-	-	.
.	+	+							
-	.	+							
-	-	.							

الف									
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">-</td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">.</td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">+</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">-</td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">.</td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">+</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">-</td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">.</td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">+</td></tr> </table>	-	.	+	-	.	+	-	.	+
-	.	+							
-	.	+							
-	.	+							

ه									
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">.</td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">-</td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">.</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">-</td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">۸</td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">-</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">.</td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">-</td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">.</td></tr> </table>	.	-	.	-	۸	-	.	-	.
.	-	.							
-	۸	-							
.	-	.							

د									
<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">.</td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">-</td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">.</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">-</td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">۴</td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">-</td></tr> <tr><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">.</td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">-</td><td style="border: 1px solid black; padding: 5px;">.</td></tr> </table>	.	-	.	-	۴	-	.	-	.
.	-	.							
-	۴	-							
.	-	.							

شکل ۳-۵: مهمترین فیلترهای آشکارساز لبه. الف) فیلتر آشکارساز لبه عمودی ب) فیلتر آشکارساز لبه جهتی، این فیلتر لبه‌های مورب را استخراج می‌کند. ج) فیلتر آشکارساز لبه لاپلاس مرتبه اول، این فیلتر یک فیلتر همه جهته است. ه) فیلتر آشکارساز لبه لاپلاس مرتبه دوم، این فیلتر نیز یک فیلتر همه جهته است [Liu and Mason., 2009].

۳-۶ فیلترهای گرادیان و لاپلاسیان

برای یک تصویر $f(x,y)$ روابط گرادیان و لاپلاسیان را به صورت زیر داریم:

$$\text{Gradient: } \nabla f = \frac{\partial f(x,y)}{\partial x} \bar{i} + \frac{\partial f(x,y)}{\partial y} \bar{j} \quad (12-3)$$

$$\text{Laplacian: } \nabla^2 f = \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial x^2} \bar{i} + \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial y^2} \bar{j} \quad (13-3)$$

در این روابط \bar{i}, \bar{j} بردارهای واحد در جهت X, Y می‌باشند.

باید توجه داشت که این دو نوع فیلترهای گذربالا که در بالا به آنها اشاره شد دارای عملکرد متفاوتی می‌باشند. فیلتر گرادیان، مشتق اول در پیکسل $f(x,y)$ و به عنوان اندازه‌گیری نسبت تغییرات DN می‌باشد که به صورت یک بردار مشخص کننده بیشترین مقدار و جهت شیب DN در اطراف پیکسل (x,y) می‌باشد. فیلتر لاپلاسیان به عنوان مشتق دوم در پیکسل $f(x,y)$ یک اسکالر می‌باشد که نسبت

تغییرات در گرادیان را اندازه می‌گیرد. به عبارت ساده‌تر فیلتر لاپلاسیان انحنای یک شیب را توصیف می‌کند اما برخلاف فیلتر گرادیان اندازه و جهت آن را بررسی نمی‌کند.

برای یک شیب با انحنای ثابت (مثل کمائی از یک دایره)، فیلتر گرادیان متغیر می‌باشد در حالی که لاپلاسیان ثابت می‌باشد. فقط برای یک شیب با انحنای متغیر هردوی فیلترهای گرادیان و لاپلاسیان متغیر می‌باشند. به همین دلیل لاپلاسیان تمامی خصیصه‌های تصویر غیر از مرزهای تیز را حذف می‌کند در حالی که فیلتر گرادیان به خوبی مرزها را همانند اطلاعات شیب حفظ می‌کند. تصویر خروجی فیلترهای گذریبلا معمولا بیشتر از ۸ بیت عدد صحیح نمی‌باشد و بنابراین باید بر اساس محدودیت‌های واقعی تصویر از ۰-۲۵۵ دوباره مقیاس گذاری شوند [Liu and Mason., 2009].

۳-۶-۱ فیلترهای گرادیان

محاسبات عددی گرادیان بر اساس فرمول ۳-۱۴ می‌باشد که این رابطه شامل تفاضل بین پیکسل تحت فیلتر با پیکسل مجاور تقسیم بر فاصله بین آنها می‌باشد. فیلترهای گرادیان معمولا به صورت دو مولفه x, y به صورت زیر بیان می‌شوند:

$$g_x = \frac{f(x, y) - f(x + \delta x, y)}{\delta x} \quad (۳-۱۴)$$

$$g_y = \frac{f(x, y) - f(x, y + \delta y)}{\delta y}$$

فیلترهای گرادیان که بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند به صورت زیر می‌باشند:

$$g_x = (0 \quad -1 \quad 1) \quad g_y = \begin{pmatrix} 0 \\ -1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad \text{فیلترهای گرادیان:}$$

$$\begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \text{فیلتر Pervit:}$$

$$\begin{pmatrix} -1 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & -1 & 0 \end{pmatrix}$$

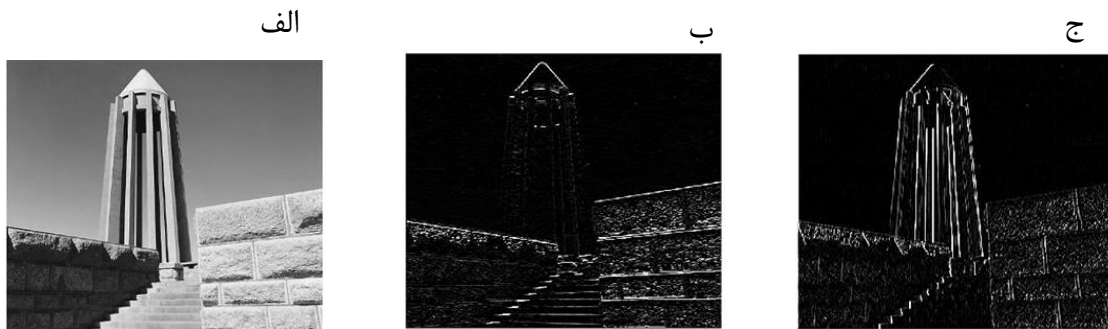
$$\begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix} \quad \text{فیلتر Sobel}$$

$$\begin{pmatrix} -1 & -2 & 0 \\ -2 & 0 & 2 \\ 0 & 2 & 1 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} 0 & 2 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & -2 & 0 \end{pmatrix}$$

مقدار g_m و جهت g_a از روابط زیر قابل محاسبه می‌باشند:

$$g_m = \sqrt{g_x^2 + g_y^2} \quad g_a = \arctan\left(\frac{g_y}{g_x}\right) \quad (15-3)$$

شکل ۳-۶ نتایج اعمال یک فیلتر sobel را نشان می‌دهد. تصویر g_x در b لبه‌های قائم و g_y در c لبه‌های افقی را برجسته می‌سازند. باید توجه داشت که یک تصویر فیلتر شده دیگر فقط شامل اعداد صحیح مثبت نمی‌باشند بلکه ترکیبی از اعداد مثبت و منفی می‌باشد و به همین دلیل عدد شیب یا گرادیان می‌تواند هم مثبت و هم منفی باشد که بستگی دارد از تاریکی به روشنی تبدیل شود و یا برعکس [Liu and Mason., 2009].



شکل ۳-۶: اعمال فیلتر sobel. الف) تصویر اصلی. ب) محاسبه g_x توسط فیلتر sobel ج) محاسبه g_y توسط فیلتر sobel [Liu and Mason., 2009].

۳-۶-۲ فیلترهای لاپلاسین

در مشتق دوم ما می‌توانیم تابع لاپلاس را به صورت تفاضل‌های گرادیان یا شیب در نظر بگیریم.

فرمول ۳-۱۲ از دو قسمت تشکیل شده است: مشتق جزئی دوم در جهت x و در جهت y .

می توان فرمول ۱۲-۳ را به صورت زیر نوشت:

$$\nabla^2 f = \nabla^2 f_x + \nabla^2 f_y \quad (۱۶-۳)$$

با در نظر گرفتن جهت X شیب در محل $x-1$ به صورت زیر است:

$$g_{x-1} = f(x-1, y) - f(x, y) \quad (۱۷-۳)$$

همچنین در محل X شیب به صورت زیر است:

$$g_x = f(x, y) - f(x+1, y) \quad (۱۸-۳)$$

بنابراین داریم:

$$\nabla^2 f_x = g_{x-1} - g_x = f(x-1, y) + f(x+1, y) - 2f(x, y) \quad (۱۹-۳)$$

به صورت مشابه در جهت Y نیز داریم:

$$\nabla^2 f_y = g_{y-1} - g_y = f(x, y-1) + f(x, y+1) - 2f(x, y) \quad (۲۰-۳)$$

با استفاده از دو رابطه بالا می توان ماتریس استاندارد فیلتر لاپلاس را به صورت زیر به دست آورد:

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

فرم غالب ماتریس لاپلاس که بیشتر مورد استفاده قرار می گیرد به صورت زیر می باشند:

$$\begin{pmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{pmatrix}$$

اگر جهات قطری را در نظر بگیریم فیلتر لاپلاسین به صورت زیر اصلاح می شود:

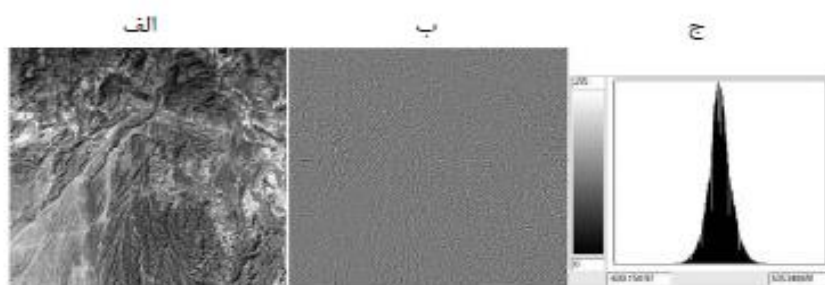
$$\begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{pmatrix}$$

به طور کلی می توان فیلتر لاپلاس را برای تصاویر به صورت مجموع کل تفاضلها بین پیکسل $f(x, y)$ و

پیکسل های همسایه آن $f(x + \delta x, y + \delta y)$ به صورت زیر در نظر گرفت:

$$\nabla^2 f = \sum_{\delta x=-1}^1 \sum_{\delta y=-1}^1 [f(x, y) - f(x + \delta x, y + \delta y)] \quad (21-3)$$

شکل ۷-۳ نتیجه فیلتر لاپلاسی بر روی یک تصویر را نشان می‌دهد. شکل ۷-۳ ب، که تصویری از لبه‌ها را تولید می‌کند. هیستوگرام نمونه‌ای از این تصاویر به صورت متقارن و دارای مقادیر مثبت و منفی می‌باشد که در شکل ۷-۳ ج، نشان داده شده است. همچنین باید به یاد داشت که مقادیر مثبت و منفی بسیار بزرگ مربوط به لبه‌ها می‌باشند. در ماتریس مربوط به فیلتر لاپلاسی اگر مقدار DN پیکسل مرکزی از پیکسل‌های همسایه بیشتر باشد مقدار لاپلاسی مثبت می‌باشد که نشان دهنده یک لبه محدب می‌باشد و بالعکس اگر پیکسل مرکزی در ماتریس لاپلاسی از پیکسل‌های اطراف کمتر باشد لاپلاسی منفی می‌باشد که نشان دهنده یک لبه مقعر می‌باشد. [Liu and Mason., 2009].



شکل ۷-۳: اعمال فیلتر لاپلاسی (الف) تصویر اصلی (ب) نتیجه اعمال فیلتر لاپلاس (ج) هیستوگرام تصویر فیلتر شده لاپلاسی [Liu and Mason., 2009]

که در فصل بعد فیلترهای پردازش تصویر از قبیل مشتق لاپلاس مرتبه اول و دوم، سوبل، پرویت، و کنی بر روی داده‌های مصنوعی گرانی اعمال می‌گردد و نتایج حاصل از آن‌ها توضیح داده می‌شود.

فصل چهارم

اعمال فیلترهای پردازش تصویر روی داده‌های

گرانی مدل مصنوعی

۱-۴ مقدمه

به منظور بررسی و مقایسه نتایج به دست آمده از فیلترهای معرفی شده در فصل پیشین برای تفکیک جانبی چشمه‌های بی‌هنجار ابتدا لازم است که این فیلترها بر روی داده‌های حاصل از مدل‌های مصنوعی اعمال شوند. برخلاف چشمه‌های بی‌هنجار واقعی، در مدل‌های مصنوعی ماهیت و موقعیت چشمه‌ها کاملاً مشخص است. بنابراین با اعمال فیلترهای مختلف بر روی این مدل‌ها می‌توان به مزایا و معایب فیلتر اعمال شده پی‌برد. در این فصل فیلترهای مختلف بر روی داده‌های گرانی مصنوعی اعمال شده‌اند.

۲-۴ پاسخ گرانی توده‌های با اشکال هندسی منظم

برای تعیین و تشخیص اجسام با اشکال پیچیده با آنومالی‌های گرانی‌سنجی، شناخت اثرات گرانشی اجسام با اشکال ساده هندسی مفید است. در این بخش برای محاسبه اثر گرانشی قائم اجسام با اشکال ساده هندسی نظیر استوانه افقی و کره را بیان می‌نماییم.

۱-۲-۴ اثر گرانی ناشی از وجود یک استوانه افقی مدفون

مدل استوانه افقی برای توصیف ساختارهای طویل و باریک روی نقشه‌های آنومالی گرانی بوجه مفید می‌باشد (شکل ۱-۴) برای به دست آوردن یک فرمول ساده برای محاسبه آنومالی گرانی بر روی چنین ساختمانی، فرض شده که ساختمان مورد نظر بی‌نهایت طویل است (شکل ۱-۴ الف). اگر استوانه را به وسیله یک سری کرات متوالی در کنار یکدیگر فرض نماییم، افزایش شتاب جاذبه گرانی آنها را می‌توان از فرمول کره محاسبه نمود و سپس با انتگرال‌گیری ریاضی آنها، مقدار شتاب جاذبه استوانه با فرمول ذیل به دست می‌آید [Robinsons and Coruh, 1988]:

$$\Delta g = \frac{G \cdot \Delta M \cdot z}{r^2} \quad (1-4)$$

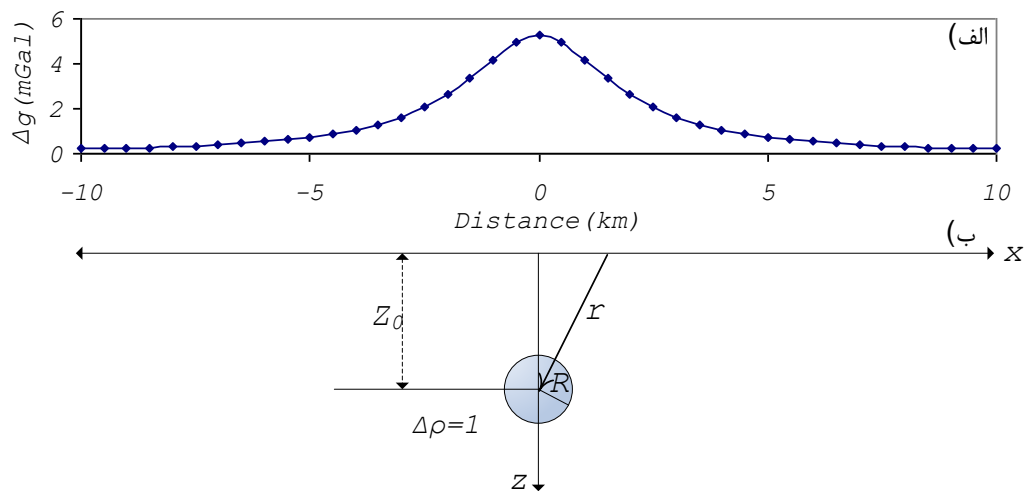
که در آن با توجه به شکل (۴-۱ ب)، عمق استوانه و Z فاصله نقطه اندازه‌گیری تا محور استوانه است، Δm جرم استوانه و $r^2 = x^2 + z^2$ می‌باشد. به عبارت دیگر استوانه با مشخصات فوق به طول بی‌نهایت اثر گرانی آن روی نقاط اندازه‌گیری به صورت معادله (۴-۲) محاسبه است:

$$\Delta g = 2\pi GR^2 \Delta\rho \frac{z}{r^2} \quad (۴-۲)$$

اما برای به دست آوردن آنومالی گرانی Δg بر حسب میلی‌گال وقتی که اختلاف چگالی $\Delta\rho$ بر حسب گرم بر سانتی‌متر مکعب و شعاع استوانه، عمق و Z بر حسب کیلومتر باشند از معادله (۴-۳) استفاده می‌شود [Robinsons and Coruh, 1988].

$$\Delta g = 41.9214 R^2 \Delta\rho \frac{z}{r^2} \quad (۴-۳)$$

با لحاظ نمودن مقدار شعاع 0.5 کیلومتری، $Z=2$ کیلومتری و $\Delta\rho=1$ گرم بر سانتی‌متر مکعب، اثر گرانی چنین استوانه‌ای به صورت شکل (۴-۱ الف) خواهد بود



شکل ۴-۱: الف) اثر گرانی قائم محاسبه شده در طول پروفیل عمود بر محور استوانه افقی و ب) یک استوانه افقی مدفون با طول بی‌نهایت که عمود بر پروفیل محاسبه قرار دارد.

۴-۲-۲ اثر ناشی از یک کره مدفون

فرمول محاسبه اثر گرانی قائم، Δg_z ، یک کره از یک نقطه فرضی P (شکل ۴-۲) به صورت زیر است

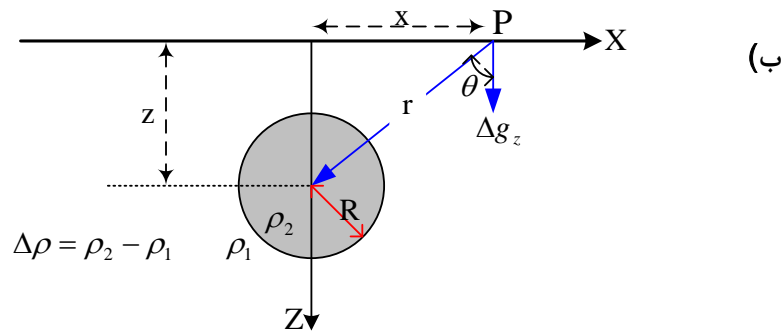
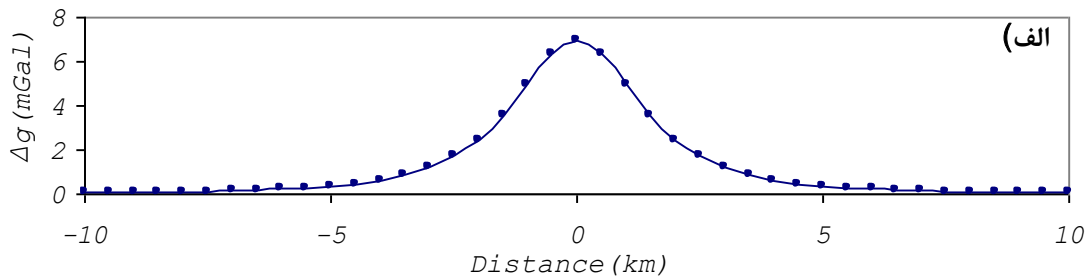
[Telford et al, 1991]:

$$\Delta g_z = \frac{4\pi G \Delta \rho \cdot R^3}{3} \times \frac{z}{r^3} \quad (۴-۴)$$

که در آن؛ $r = \sqrt{x^2 + z^2}$ در صفحه X-Z، اثر گرانشی قائم کره، $\Delta \rho$ ؛ اختلاف چگالی بین کره مدفون و مواد اطراف آن، G ؛ ثابت جاذبه زمین، R ؛ شعاع کره فرضی، x ؛ فاصله افقی نقطه اندازه گیری از مرکز کره و z ؛ عمق مرکز کره (۴-۲ب).

تغییرات اثر گرانی قائم ناشی از چنین کره فرضی با منظور نمودن اختلاف چگالی یک گرم بر سانتی-متر مکعب ($\Delta \rho = 1 \text{ gr/cm}^3$)، شعاع ۱/۰ کیلومتری متری و عمق ۲/۰ کیلومتری محاسبه شده است.

شکل (۴-۲الف)



شکل ۲-۴: الف) نمودار تغییرات گرانی قائم یک کره از یک نقطه دلخواه P و ب) یک کره فرضی مدفون

۳-۴ مدل کره

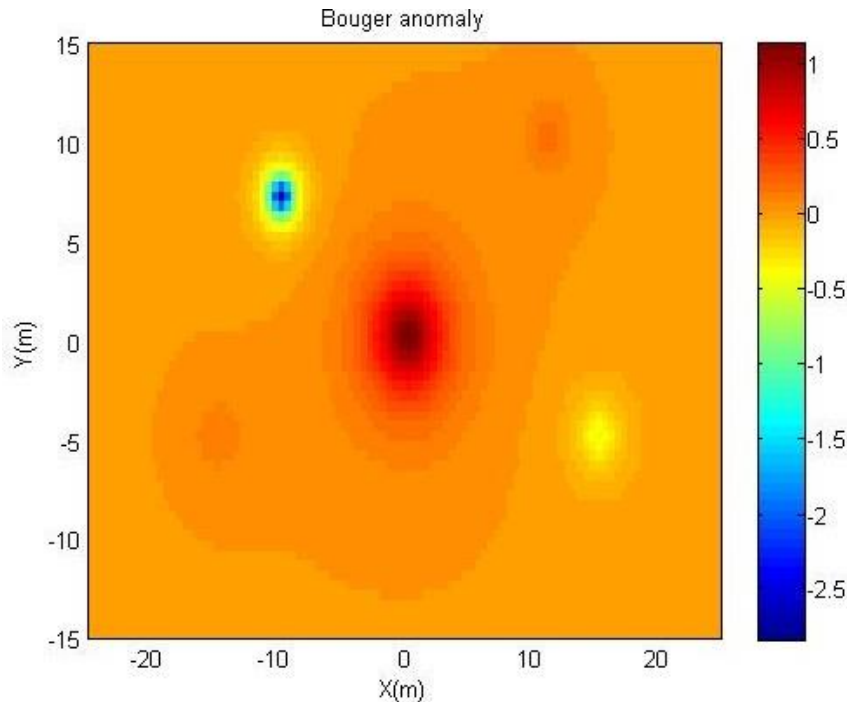
در این بخش ابتدا با استفاده از نرم افزار متلب مدل مصنوعی کره نوشته شد، که این مدل شامل پنج کره که هر کدام دارای ابعاد و عمق‌های متفاوت می‌باشند. که در جدول ۱-۴ مشخصات هر کدام از کره‌ها ذکر شده است. بعد از محاسبه پاسخ مدل، فیلترهای مختلف برای تعیین لبه و مرز آنومالی بر روی آن اعمال شد.

جدول ۱-۴: مشخصات مدل مصنوعی

کره	X_0	Y_0	Z_0	R_0	R_{h0}
A_1	-۱۰	+۷	۱	۰/۸	-۰/۲۰
A_2	+۱۱	+۱۰	۲	۰/۵	+۰/۲۰
A_3	-۱۵	-۵	۲,۵	۰/۵	+۰/۲۰

+۰/۵۰	۰/۹	۳	۰	۰	A ₄
-۰/۵۰	۰/۵	۲	-۵	+۱۵	A ₅

در (شکل ۳-۴) اثر آنومالی ناشی از داده‌های گرانی مصنوعی کره آورده شده است.



شکل ۳-۴: مصنوعی مدل

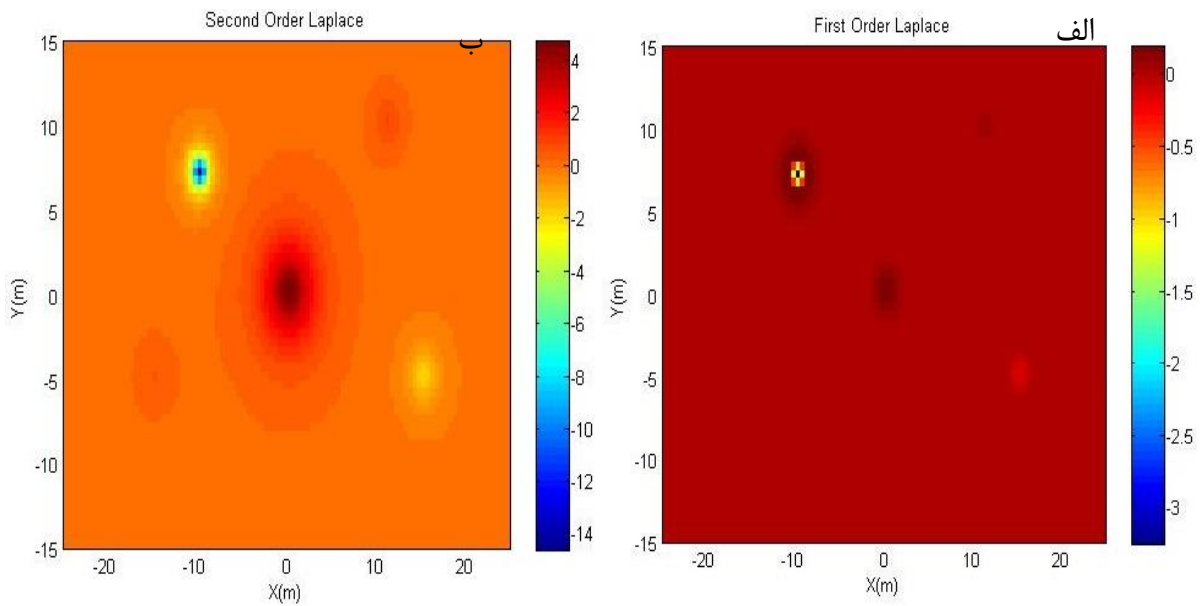
۴-۴ اعمال فیلترها بر روی داده گرانی مصنوعی منشور

بعد از بدست آوردن داده‌های گرانی مصنوعی فیلترهای مختلف پردازش تصویر بر روی آن اعمال می‌کنیم که در زیر به آن‌ها می‌پردازیم.

۴-۴-۱ فیلتر لاپلاس مرتبه اول و دوم، فیلتر میانگین

چون لبه‌ها از نقاط فرکانس بالا می‌باشند بنابراین از فیلترهای بالاگذر برای یافتن این نقاط استفاده می‌کنیم و به همین منظور در این مرحله از گرادیان تصویر استفاده می‌کنیم و نقاطی را که گرادیان در آن‌ها بیشینه است به عنوان لبه در نظر می‌گیریم. برای این کار از مشتق لاپلاس مرتبه اول و دوم برای تشخیص لبه و مرز آنومالی استفاده می‌کنیم. (شکل ۴-۴) کاربرد فیلترهای لاپلاس اول و دوم را بر

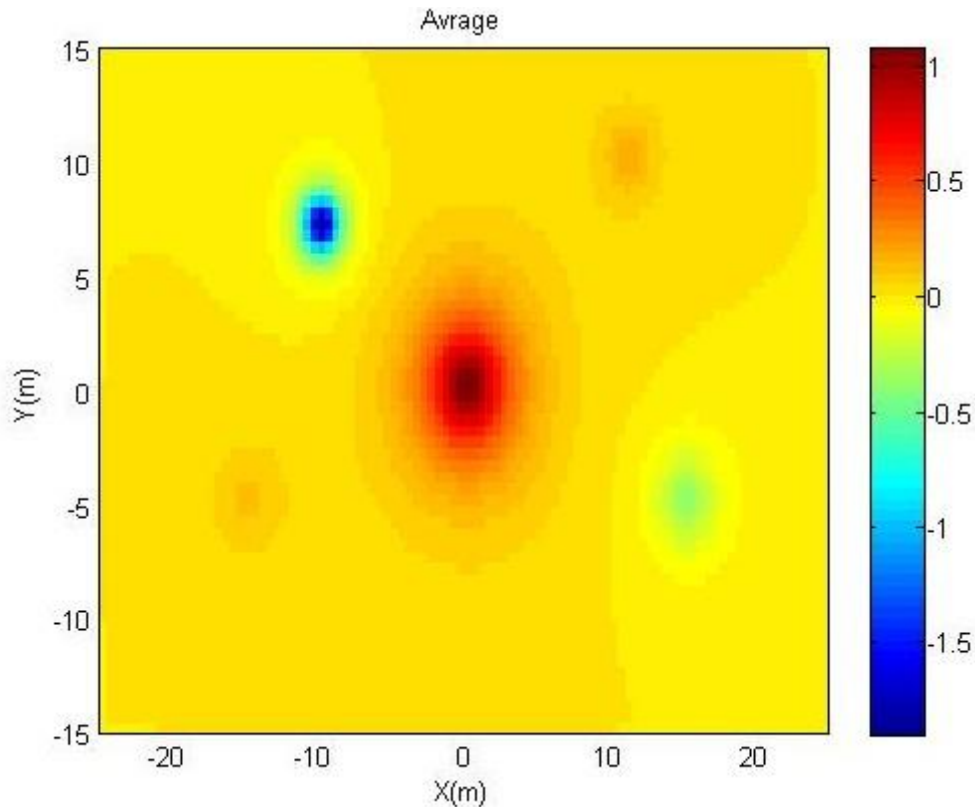
روی داده‌های گرانی مصنوعی را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۴: کاربرد فیلترها در تخمین مرز بر روی داده‌های گرانی مصنوعی. الف) نقشه فیلتر لاپلاس مرتبه اول. ب) نقشه فیلتر لاپلاس مرتبه دوم.

با توجه به شکل (۴-۴) می‌توان نتیجه گرفت فیلتر مشتق‌های مرتبه اول و دوم لاپلاس به خوبی توانسته‌اند مرزها را مشخص نمایند.

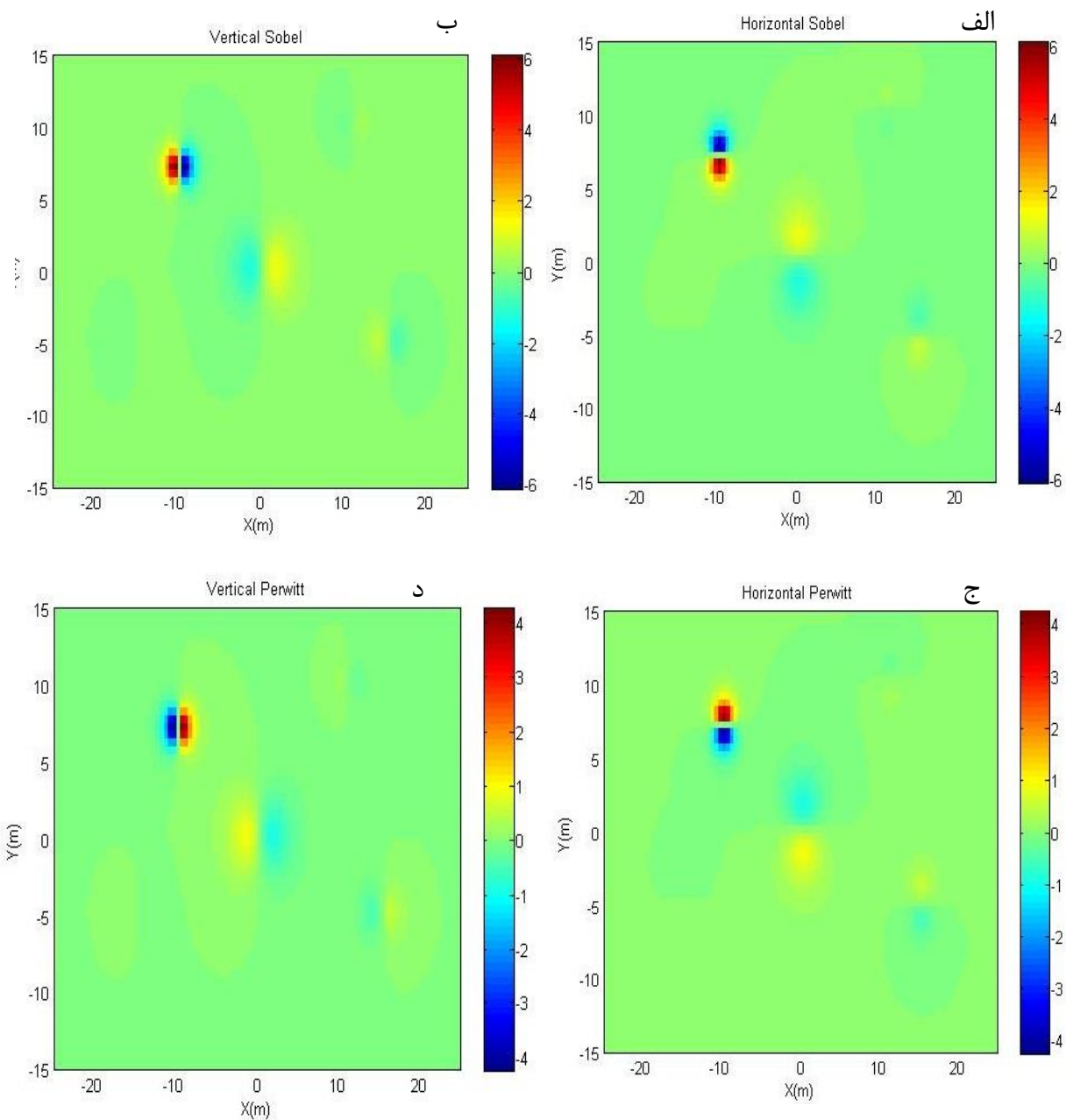
(شکل ۴-۵) نتیجه حاصل از اعمال فیلتر میانگین بر روی مدل مصنوعی را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۵: نقشه فیلتر میانگین بر روی مدل مصنوعی
 با توجه به شکل (۴-۵) فیلتر میانگین باعث هموارسازی تصویر شده است.

۴-۴-۲ اعمال فیلتر سوبل در جهت x و y ، پرویت در جهت x و y

چون لبه‌ها و مرزهای آنومالی از نقاط با فرکانس بالا می‌باشند، در نتیجه بکارگیری فیلترهای بالا گذر پرویت و سوبل در جهت x و y می‌توانند کارایی خوبی برای پیدا کردن لبه در جهت‌های تعریف شده داشته باشند. به همین دلیل این فیلترها بر روی داده‌های گرانی مصنوعی اعمال و نتایج آن در زیر آمده است. (شکل ۴-۶) نقشه فیلتر سوبل افقی، عمودی، پرویت افقی و پرویت عمودی را بر روی داده‌های گرانی مصنوعی را نشان می‌دهد.



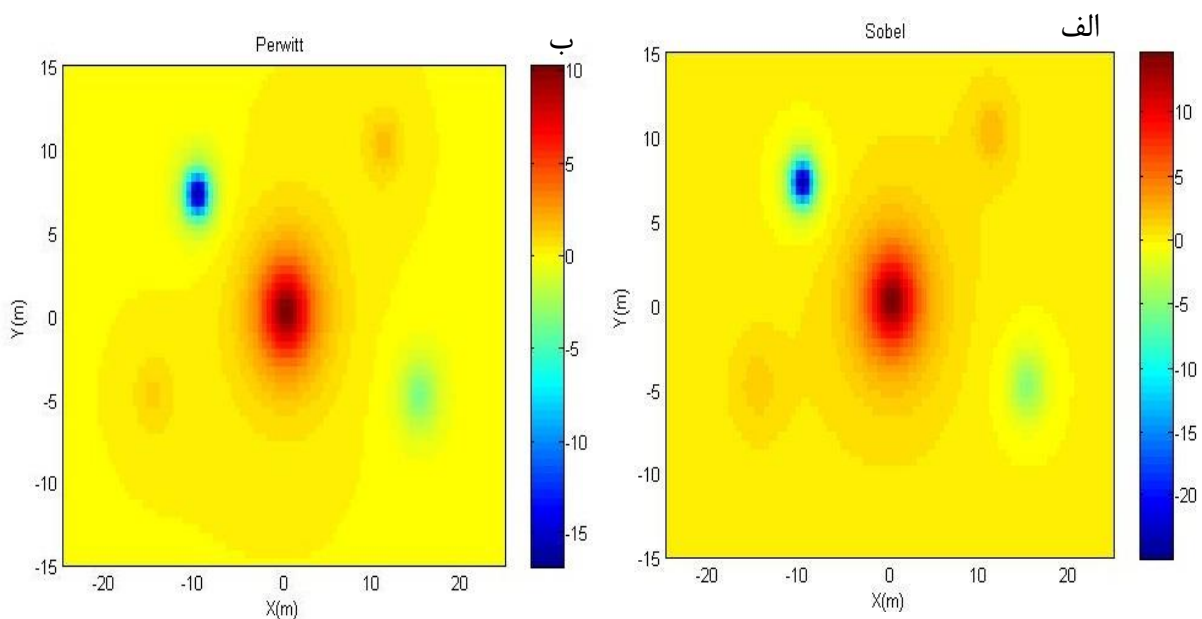
شکل ۴-۶: کاربرد فیلترها در تخمین مرز مدل مصنوعی. الف) نقشه فیلتر سوبل افقی. ب) نقشه فیلتر سوبل عمودی. ج) نقشه فیلتر پرویت افقی. د) نقشه فیلتر پرویت عمودی

با توجه به (شکل ۴-۶) بعد از اعمال فیلترها بر روی مدل مصنوعی، کارایی فیلترها برای برجسته کردن مرزها در جهت‌های مورد نظر تقریباً یکسان به نظر می‌رسد. شکل (الف ۴-۶) نقشه فیلتر سوبل افقی بر روی داده‌های مصنوعی را نشان می‌دهد که مرزها را در جهت عمودی به خوبی مشخص می‌سازد. شکل

(۴-۶ ب) نقشه فیلتر سوبل عمودی بر روی داده‌های مدل مصنوعی منشور را نشان می‌دهد که مرزها را در جهت افقی برجسته می‌سازد. شکل (۴-۶ ج) نقشه فیلتر پرویت افقی بر روی داده‌های مدل را نشان می‌دهد که مرزها را در جهت افقی برجسته می‌سازد. شکل (۴-۶ د) نقشه فیلتر پرویت عمودی بر روی داده‌های مدل را نشان می‌دهد که مرزها را در جهت عمودی برجسته می‌سازد.

۴-۴-۳ اعمال فیلترهای سوبل، پرویت و کنی در دوبعد

حال بعد از اعمال فیلترهای سوبل و پرویت به طور جداگانه در جهت X و Y، این بار فیلترهای سوبل، کنی و پرویت به صورت دو بعدی بر روی داده‌های مصنوعی اعمال گردیدند. (شکل ۴-۷) نقشه فیلترهای دو بعدی سوبل و پرویت را نشان می‌دهد.



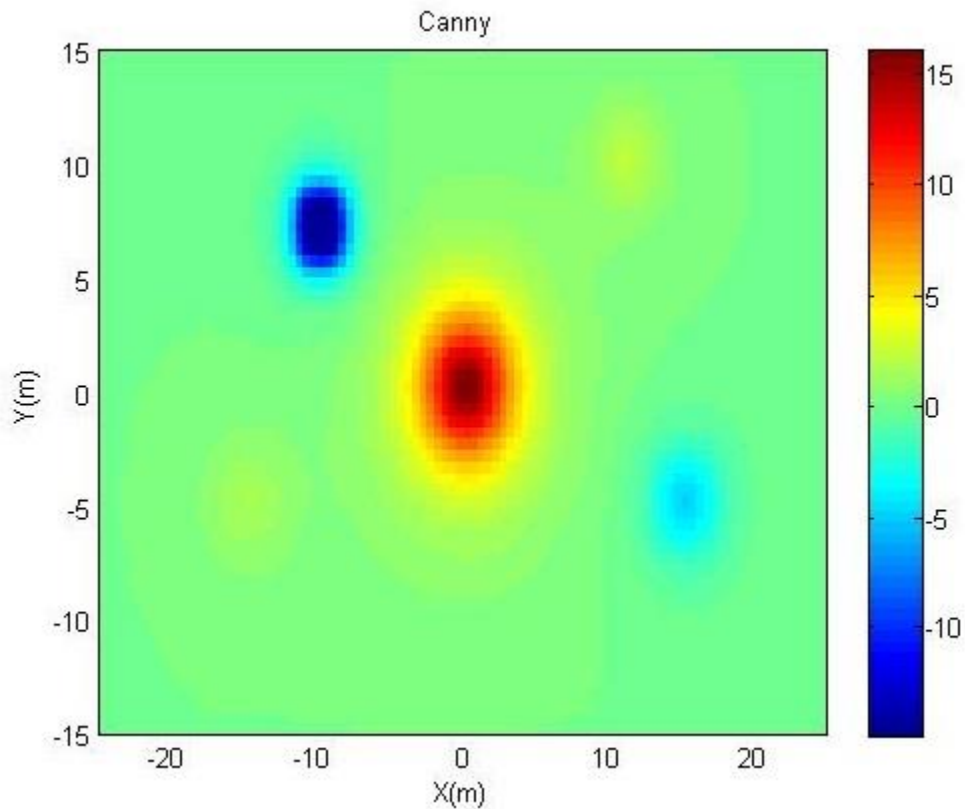
شکل ۴-۷: کاربرد فیلترها بر روی مدل مصنوعی. الف) نقشه فیلتر سوبل دو بعدی. ب) نقشه فیلتر پرویت دو بعدی

از ویژگی این فیلترها بارز کردن مرزها و لبه‌های آنومالی در همه جهتها می‌باشد یعنی مرزها را نیز به صورت قطری مشخص می‌نماید.

که شکل (۴-۷ الف) نتیجه اعمال فیلتر سوبل دو بعدی را نشان می‌دهد. که مرزهای داده‌های گرانی را به خوبی مشخص نموده است. شکل (۴-۷ ب) نقشه فیلتر پرویت دو بعدی را نشان می‌دهد. که بر روی

داده‌های گرانی اعمال شده و مرزها را بارز ساخته است.

(شکل ۸-۴) نحوه عملکرد فیلتر کنی بر روی مدل مصنوعی را نشان می‌دهد.



شکل ۸-۴: نقشه فیلتر کنی بر روی مدل مصنوعی

با توجه به (شکل ۸-۴) می‌توان نتیجه گرفت که فیلتر کنی به خوبی مرزها را مشخص نموده است و یک فیلتر همه جهته می‌باشد.

که در فصل بعدی فیلترهای مرسوم ژئوفیزیکی بر روی داده‌های واقعی گرانی و مغناطیس اعمال می‌شود و نتایج حاصل از آن‌ها توضیح داده می‌شود. همچنین فیلترهای پردازش تصویر از قبیل، مشتق لاپلاس مرتبه اول و دوم، سوبل، پرویت و کنی بر روی داده‌های گرانی و مغناطیس اعمال می‌شود و نتایج آن بررسی می‌شود.

فصل پنجم

پردازش و تفسیر داده‌های گرانی و مغناطس با

استفاده از روش‌های پردازش تصویری

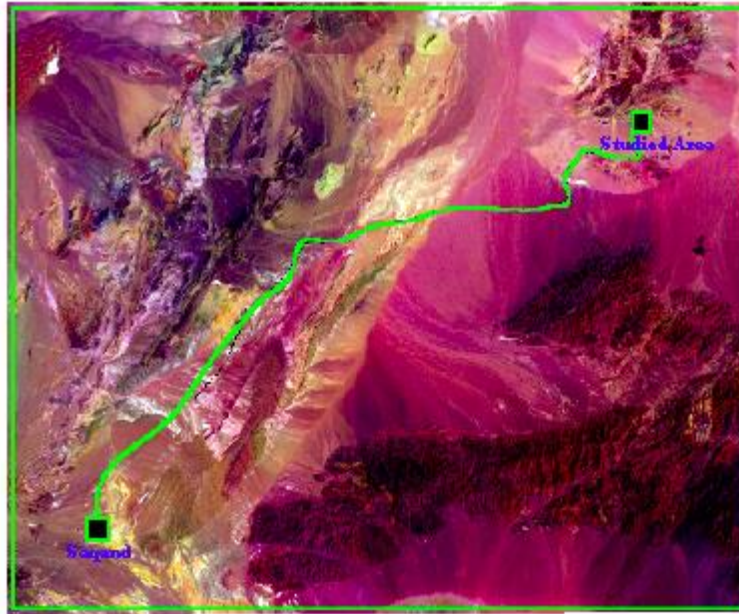
۱-۵ مقدمه

همان طور که در فصل سوم ذکر شد در پردازش تصاویر داده‌های میدان پتانسیل از فیلترهای گوناگونی استفاده می‌شود. این فصل به بررسی امکان کاربرد فیلترها در پردازش تصاویر داده‌های میدان پتانسیل اختصاص دارد. برای این کار فیلترهای مختلفی بر روی مدل مصنوعی و نیز داده‌های میدان پتانسیل آنومالی ۲۳ سنگ آهن ساغند اعمال شده است.

فیلترهای گذر بالا اعمال شده در این فصل شامل فیلترهای لاپلاس مرتبه اول و دوم، پرویت دوبعدی، پرویت درجهت X و درجهت Y، سوبل دو بعدی، سوبل درجهت X و درجهت Y، کنی دوبعدی که مولفه‌های فرکانس پایین را از تصویر حذف می‌کنند و فرکانس‌های بالا را نگه می‌دارند می‌باشد. این فیلترها می‌تواند برای برجسته‌سازی لبه‌های بین مناطق مختلف به طوری که لبه‌ها تیز شوند مورد استفاده قرار می‌گیرد. فیلترهای گذر پایین اعمال شده در این فصل شامل فیلتر میانگین 5×5 که مؤلفه‌های فرکانس پایین را در تصویر نگه می‌دارد که باعث هموارسازی یا نرم شدن تصویر می‌شود. در ضمن کاربرد فیلترهای مرسوم ژئوفیزیکی بر روی تصاویر داده‌های میدان پتانسیل منطقه آنومالی ۲۳ سنگ آهن ساغند بررسی می‌شود.

۲-۵ موقعیت جغرافیایی

آنومالی ۲۳ سنگ آهن ساغند در فاصله ۲۵ کیلومتری شمال شرقی روستای ساغند (واقع در استان یزد) و بین عرض‌های جغرافیایی $32^{\circ} 40' 0''$ و $32^{\circ} 40' 40''$ و طول‌های جغرافیایی $27^{\circ} 24' 0''$ و $55^{\circ} 12' 12''$ شرقی قرار گرفته است. راه دسترسی به این کانسار از طریق جاده آسفالته ساغند- رباط پشت بادام می‌باشد که پس از طی مسافتی در حدود ۱۰ کیلومتر به سمت شمال شرقی منحرف شده و از طریق جاده خاکی درجه ۳ به طول تقریبی ۱۵ کیلومتر به محل کانسار می‌رسد. (شکل ۱-۵) موقعیت جغرافیایی آنومالی ۲۳ نسبت به روستای ساغند نشان داده شده است.



شکل ۵-۱: موقعیت و محل برداشت داده‌های آنومالی ۲۳ سنگ آهن ساغند

۳-۵ مورفولوژی منطقه مورد مطالعه

بطور کلی ارتفاعات محدوده را کوهی بنام کوه گل‌منده تشکیل داده و اطراف آنرا دشت‌های وسیع احاطه نموده است. قسمت شمالی محدوده از ارتفاعات نسبتاً بلندی تشکیل شده که به سمت جنوب هموارتر شده و به دشت وسیعی می‌رسد که در واقع به شرق و غرب محدوده نیز گسترش می‌یابد. بالاترین نقطه ارتفاعی ۱۲۷۷ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. ارتفاع متوسط دشت نیز در حدود ۱۲۰۰ متر است. رودخانه‌های فصلی محدوده دارای روندی شمالی جنوبی بوده که پس از عبور از ارتفاعات در دشت جنوبی به سمت جنوب شرقی منحرف می‌گردند. جهت آبراهه نیز عمدتاً جنوب شرقی است. منطقه تنها در قسمت‌های مسطح دارای علف‌های بیابانی است. (شکل ۵-۲) یک ترانشه حفر شده بر روی آنومالی ۲۳ سنگ آهن ساغند را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۵: حفر یک ترانشه بر روی آنومالی ۲۳ (دید به سمت غرب)

۴-۵ زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

بر مبنای نقشه‌های زمین‌شناسی موجود در سازمان زمین‌شناسی کشور محدوده آنومالی ۲۳ سنگ آهن ساغند در ورقه ۰۰۰, ۰۰۰ : ۱ : ۱۹۹۵ قرار گرفته گرفته و به طور مشخص از رخنمون سنگ‌های دگرگونی کوه گل‌منده واقع در شرق نقشه مزبور می‌باشد (شکل ۳-۵). در شرق گسل بادام که خود از گسل‌های قدیمی ایران می‌باشد، سنگ‌های دگرگونی کمپلکس بنه‌شور به سن پرکامبرین قرار گرفته است. که ساغند حداقل دو فاز دگرگونی فشار متوسط و ضعیف را تحمل نموده‌اند. واحدهای مشروحه در آن به شرح زیر از جدید به قدیم به منظور شناسایی با وضعیت کلی زمین‌شناسی منطقه ارائه می‌گردد:

واحد شیست‌های سبز تا خاکستری PE_b^{sch} :

کمپلکس دگرگونی بنه‌شور در واقع مهمترین واحد اصلی منطقه می‌باشد. در قسمت شمال شرقی کانسار آنومالی ۲۳ شیست‌های سبز تا خاکستری رنگ همراه با بلورهای جهت یافته مسکویت برونزد

دارند. این سنگ‌ها متورق دارای امتداد N45W و با شیب 55°SW به سمت غرب و شمال‌غربی به تدریج به سنگ‌های دگرگونی حرارت بالاتر یعنی گنیس‌ها تبدیل می‌شوند. در داخل این واحد رگه‌های نازک تا نسبتاً ضخیم از کوارتزیت‌های سفید رنگ برونزد دارد. در خارج از محدوده مورد مطالعه شیست‌های مزبور دارای کانی‌های درشت گارنت می‌باشند.

واحد گنیس‌های صورتی تا خاکستری رنگ Pe_b^{gn} :

قسمت اعظم محدوده مورد مطالعه از شمال تا قسمت‌های مرکزی و همچنین بخش شمال‌غربی را سنگ‌های دگرگونی از نوع گنیس پوشانده است. رنگ واحد مزبور از صورتی تا خاکستری رنگ به ترتیب از شرق به غرب متغییر می‌باشد.

واحد آهنک Pe_b^I :

در میان سنگ‌های واحد گنیسی در بخش شمال‌شرقی رخنمون‌های وجود دارد که عمدتاً از اکسیدهای آهن (لیمونیت و هماتیت) تشکیل شده‌اند که نام سنگ کلسیت کاتاکلاستیک نام‌گذاری شده که در آن بلورهای کوارتز نیز دارای خاموشی موجی بوده و دچار دگرشکلی شده‌اند. این سنگ‌ها دارای حاشیه واکنشی بوده و سپس به گنیس‌ها می‌رسند [باباخانی و مجیدی، ۱۳۷۳].

واحد اسکارن SK:

در حاشیه رخنمون‌های آهن‌دار و در داخل سنگ‌های گنیسی، سنگ‌های سبز تا سبز تیره متمایل به سیاه رخنمون دارد که با توجه به وجود کانی‌های درشت گرونا، اپیدوت، پیروکسن و آمفیبول بیانگر پدیده اسکارن در این کانسار می‌باشد پدیده مزبور سبب کانی‌سازی آهن در سطح منطقه شده است. لایه‌های آهنی که در اثر این پدیده در آنها سنگ آهن تشکیل گردیده به صورت رخنمون‌های کوچک دیده می‌شود (بخش‌های اکسیده واحد Pe_b^I) و احتمالاً در عمق کانسار نیز گسترش قابل توجهی دارند. واحد آبرفت tQ2:

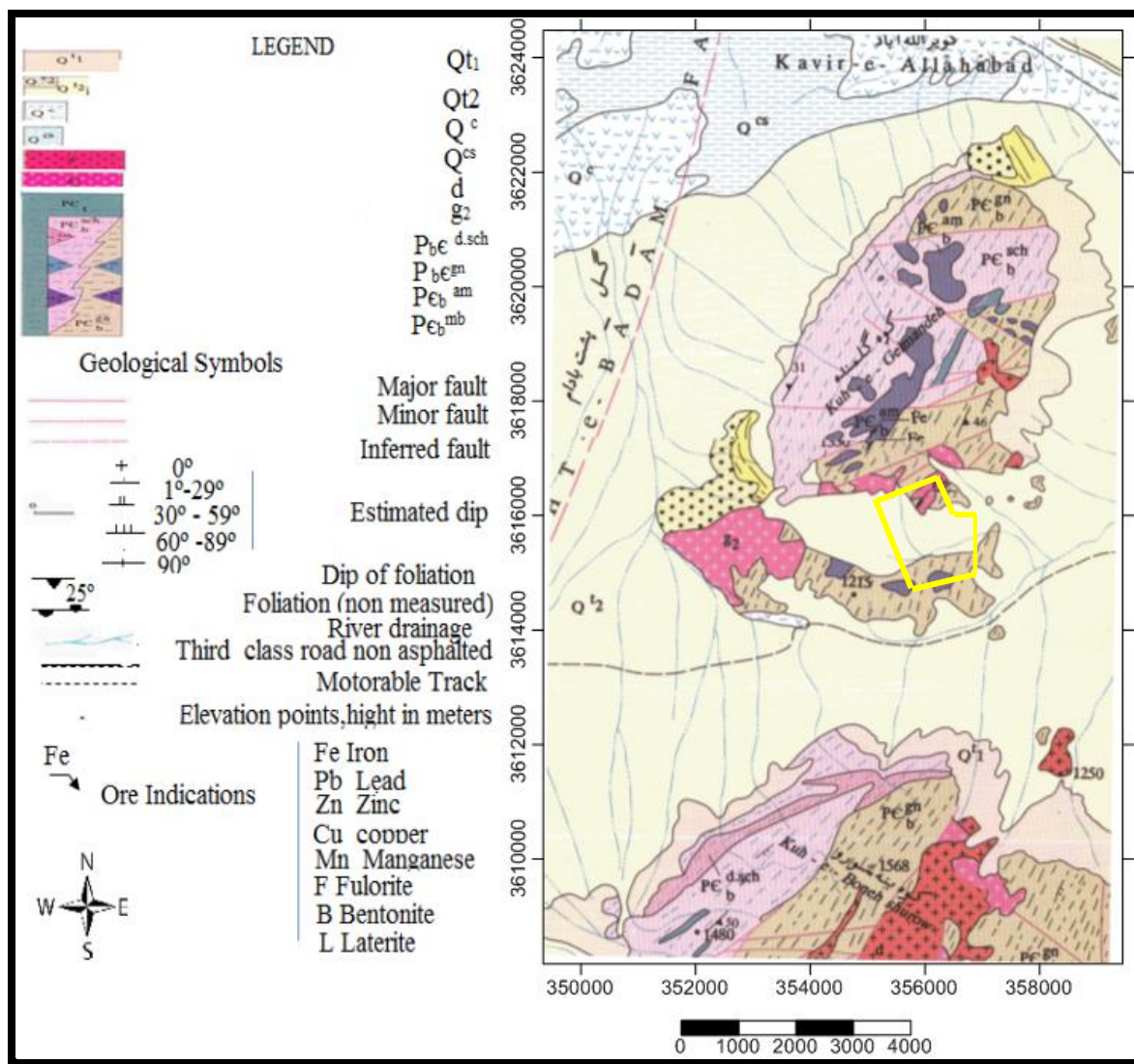
واحد مزبور بخش اعظم منطقه مورد مطالعه را پوشش داده است. این واحد شامل آبرفت‌های سخت شده قدیمی می‌باشد که عمدتاً از ماسه، رس و قلوه سنگ‌های درشت تشکیل شده و در پای دامنه ارتفاعات و در دشت جنوبی و غربی محدوده را شامل می‌گردد.

واحد Qt₁: شامل پادگانه‌های قدیم رودخانه‌ای (کنگومرا، ماسه‌سنگ و رس) می‌باشد.

واحد Q^c و Q^{cs}: شامل کفه‌های رسی و کفه‌های رسی نمکی می‌باشند.

واحد رسوبات رودخانه‌ای tQ^{al} :

رسوبات آواری که توسط سیلاب‌های فصلی بر جای نهشته و عمدتاً شامل ماسه تا قلوه سنگ‌های ریز و درشت گرد شده می‌باشند که بیشترین گسترش طولی آنها در بخش شرقی آنومالی ۲۳ و همچنین در قسمت شمال غربی آن دیده می‌شوند.



شکل ۵-۳: نقشه زمین‌شناسی آنومالی ۲۳ سنگ آهن ساغند در ورقه ۱:۱۰۰,۰۰۰ ساغند. (کادر زرد رنگ محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد).

۵-۵ تکتونیک منطقه

منطقه مورد مطالعه بخشی از ناحیه ساغند است که در غرب آن گسل راست لغز پشت بادام قرار گرفته است، این گسل از قدیمی‌ترین گسل‌های ایران می‌باشد و در اطراف آن قدیمی‌ترین واحدهای

سنگی زمین‌شناسی ایران قرار گرفته است در شرق گسل مزبور واحدهای دگرگونی کمپلکس بنه‌شورو قرار گرفته است. امتداد گسل مزبور شمال شرقی - جنوبغربی است. سایر گسل‌های منطقه بر این امتداد عمود می‌باشند.

۵-۶ چگونگی عملکرد فیلتر بر روی تصویر

یکی از روش‌های ارائه داده‌ها در روش‌های گرانی و مغناطیسی نقشه‌های هم مقدار گرانی و مغناطیسی است که معمولاً در تعبیر و تفسیر کیفی جهت تشخیص آنومالی‌ها، حدود و گسترش آنها و تعیین روندهای ساختمانی کاربرد بسیار زیادی دارند و می‌توان آنها را به عنوان تصویر در نظر گرفت. در اکثر موارد اطلاعات مندرج در این نقشه‌ها با نویزهای مختلف پوشیده می‌ماند. نویزها عامل مزاحمی هستند که مانع از تظاهر سیگنال می‌شوند با اعمال روش‌های پردازش تصویر می‌توان نویزهای مزاحم را کاهش داد و آنومالی‌ها را برجسته و در نهایت مرز و حدود آنومالی‌ها را مشخص کرد بنابر این حداکثر اطلاعات از این تصویر به دست می‌آید. عمل فیلتر کردن اغلب شامل قرار دادن یک یا چند پنجره متحرک بر روی داده‌ها و آنالیز داده‌های محاط در پنجره است. این آنالیز شامل عملیات ریاضی پیچیده مانند تبدیل فوریه و یا متوسط‌گیری ریاضی ساده می‌باشد. بعد از عملیات فیلتر کردن، داده‌ها به صورت یک فایل جدید ذخیره می‌شوند.

پردازش تصویر را می‌توان در حکم نگاشتی از فضای تصویر به فضای اطلاعات دانست که موجب آماده‌سازی تصویر برای آنالیزهای بعدی می‌شود. این پردازش‌ها بسیار متنوع‌اند و طیف وسیعی از عملیات مانند حذف خطا، بهبود کنتراست و اعمال فیلترها را در بر می‌گیرد. این گونه پردازش‌ها به عملیات طیفی معروف هستند که بیشتر با مقادیر پیکسل کار می‌کنند. تمام الگوریتم‌های فیلتر شامل فرایند همسایگی می‌باشند زیرا آنها براساس ارتباط بین پیکسل‌ها عمل کرده و فقط بر روی یک پیکسل عملیات انجام نمی‌دهند. پیکسل کوچکترین عضو یک تصویر است که با یک سطر و ستون شناخته می‌شود، در نتیجه تصویر را می‌توان شبکه‌ای منظم از اعداد در نظر گرفت. عملکرد فیلترها روی پیکسل‌های یک تصویر به گونه‌ای است که پدیده موجود در تصویر را برجسته می‌نماید.

تفاوت روشنایی دو پیکسل مجاور مرزی به نام لبه ایجاد می‌کند. از اینرو با استفاده از عملگر تفاضل می‌توان، لبه‌ها را پیدا نمود. به عنوان مثال عملگرهای سوبل، پرویت، لاپلاسیان مرتبه اول و دوم

عملگرهای رایج برای لبه‌یابی هستند که هر یک برای لبه‌یابی از مقادیر ماسک متفاوتی استفاده می‌کنند. هر یک از این عملگرها می‌توانند لبه‌ها را در دو جهت x و y یا در فضای دو بعدی محاسبه نمایند.

۷-۵ پردازش داده‌های گرانی آنومالی ۲۳ سنگ آهن ساغند

۱-۷-۵ مقدمه

پس از انجام برداشت‌های صحرایی و تصحیحات لازم، آنومالی بوگه کامل (شکل ۵-۵) حاصل می‌شود که مجموع آثار گرانی ناشی از اجسام محلی و ساختارهای ناحیه‌ای است. مقدار گرانی اندازه گرفته شده در هر نقطه مجموع تمام اثرات ناشی از منابع زیر سطح را نشان می‌دهد. نقشه‌ی آنومالی بوگه داده‌های گرانی، مجموع اثرات توده‌هایی با چگالی متفاوت در اعماق مختلف می‌باشد که تأثیرات سنگ بستر با تغییرات خطی و ملایم مشخص می‌شوند. این اثرات خطی، آنومالی ناحیه‌ای نامیده می‌شوند. آنومالی ناحیه‌ای دارای فرکانس پایین و طول موج بلند می‌باشند، در حالی که آنومالی‌های باقی‌مانده که به دلیل وجود اجسام زیرسطحی کم عمق هستند، دارای فرکانس بالا و طول موج کوتاه می‌باشند. به همین دلیل برای تشخیص لبه و مرز آنومالی از فیلترهای مختلف استفاده شده که در زیر کاربرد هر کدام بر روی آنومالی ۲۳ سنگ آهن ساغند نشان ارائه شده است.

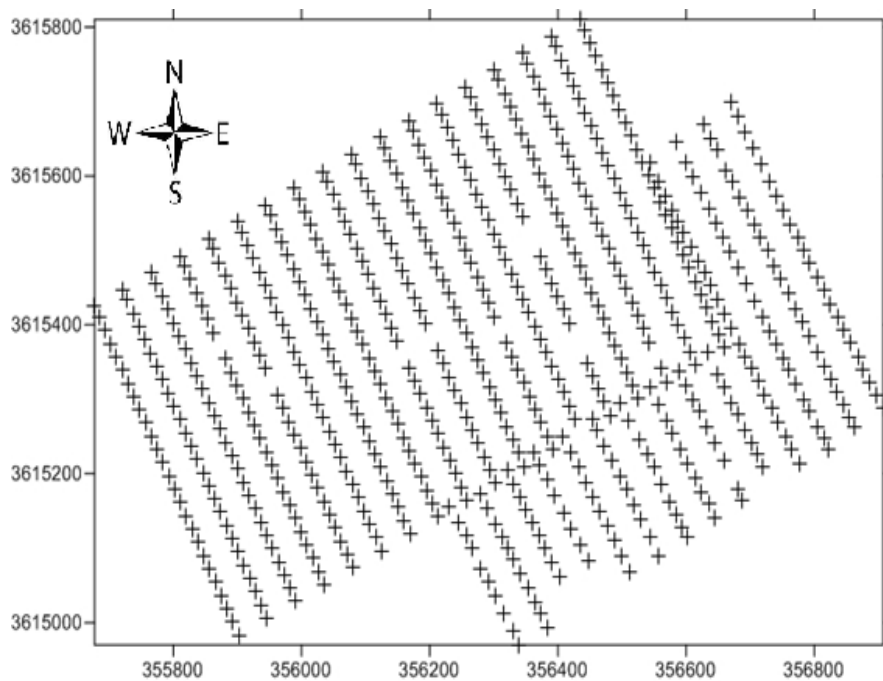
۲-۷-۵ موقعیت و نحوه برداشت داده‌های گرانی آنومالی ۲۳ سنگ آهن ساغند

محدوده برداشت در ناحیه نسبتاً مسطح در میان دو کوه واقع شده و مساحت آن برابر با ۴۰۰, ۷۲۶ متر مربع می‌باشد و گسترش آن تقریباً ۸۰۰×۱۰۰۰ متر می‌باشد. در این محدوده ۶۷۵ داده گرانی-سنجی برداشت گردیده است. فاصله داده‌ها در امتداد خط برداشت تقریباً ۲۰ متر و فاصله بین دو پروفیل متوالی تقریباً ۵۰ متر می‌باشد (شکل ۵-۴).

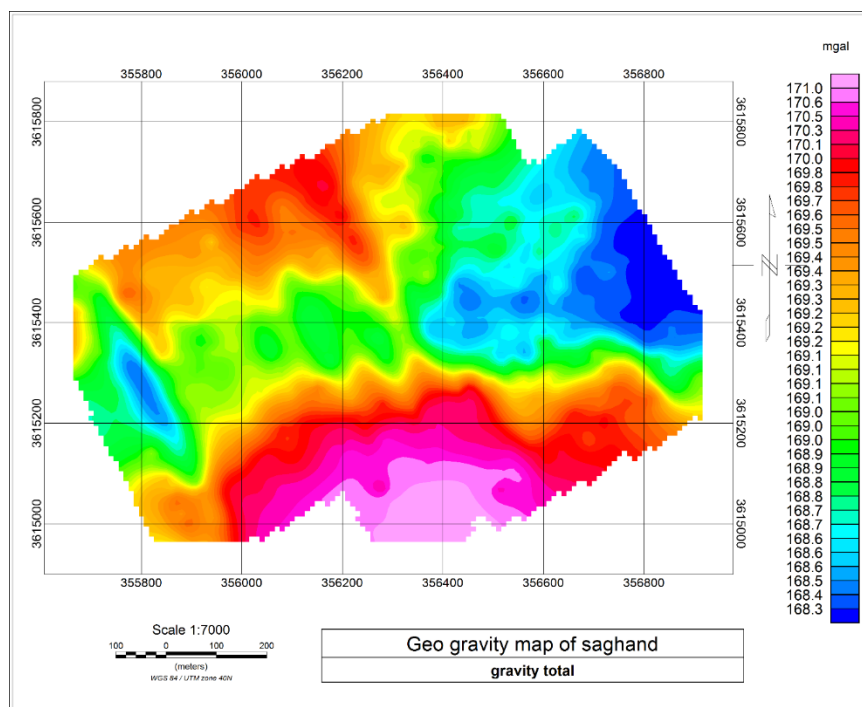
۳-۷-۵ نقشه آنومالی بوگه

هدف نهایی از برداشت‌های گرانی دست‌یابی به مقادیری است که آنومالی بوگه نامیده می‌شود. مقدار آنومالی بوگه تابعی از اختلاف چگالی سنگ‌ها و مواد و حجم آن‌ها است. بدین ترتیب با این پارامتر می‌توان اهدافی را شناسایی کرد که دارای اختلاف چگالی مشخص با سنگ‌های میزبان اطراف خود باشند و حجم آن‌ها نیز قابل توجه باشد. باید توجه داشت که اثر افزایش اختلاف چگالی روی شدت آنومالی بوگه

بسیار بیشتر از اثر افزایش حجم هدف مورد مطالعه است. پس از اعمال تصحیحات مربوط به داده‌ها، آنومالی بوگه کامل به دست آمد. (شکل ۵-۵).



شکل ۵-۴: نحوه برداشت داده‌های گرانی آنومالی ۲۳ سنگ آهن ساغند.



شکل ۵-۵: نقشه آنومالی بوگه آنومالی ۲۳ سنگ آهن ساغند.

۵-۷-۴ اعمال فیلترهای مرسوم ژئوفیزیکی

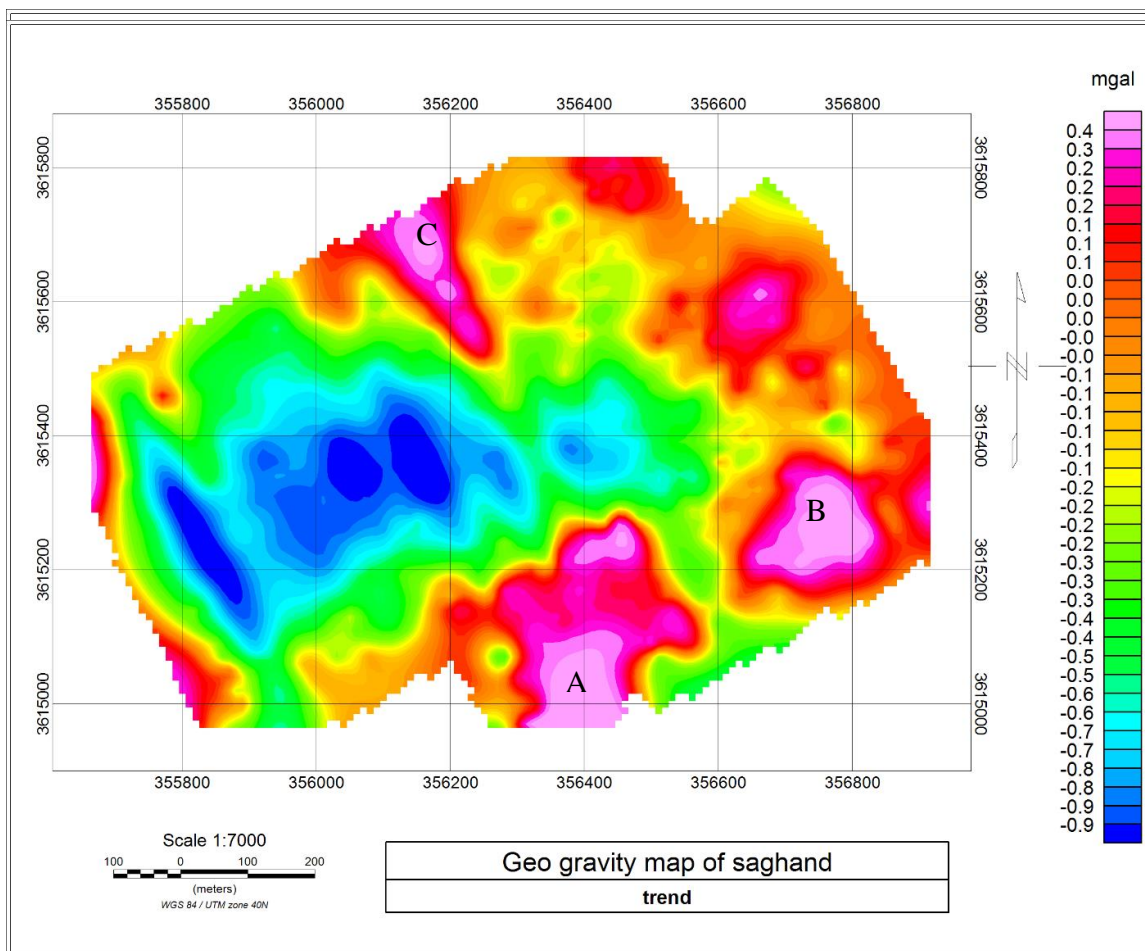
فیلتر کردن داده‌ها یکی از روش‌های پردازش داده‌های میدان پتانسیل می‌باشد. که در زیر کارایی فیلترهای مرسوم ژئوفیزیکی ارائه شده است.

۵-۷-۴-۱ روند سطحی

یکی از انعطاف پذیرترین روش‌های تحلیلی برای تعیین اثرات ناحیه‌ای، روش روند سطحی می‌باشد. در این روش، میدان ناحیه‌ای از مقادیر مشاهده‌ای به وسیله روش کمترین مربعات تقریب زده می‌شود. این روش براساس محاسبه سطحی (به روش ریاضی) استوار است که بهترین تطابق را نسبت به مقادیر مشاهده‌ای داشته باشد.

در این روش بر داده‌های گرانی مشاهده‌ای سطحی عبور داده می‌شود که پیچیدگی معادله ریاضی سطح مورد نظر به روند حاکم بر داده‌ها بستگی دارد. درجه روند سطحی به پیچیدگی زمین‌شناسی ناحیه‌ای بستگی دارد. از درجه روند سطحی بیشتر برای همپوشانی بین مقادیر سطح مزبور و مقادیر داده‌های مشاهده‌ای در شرایط پیچیده‌تر زمین‌شناسی استفاده می‌شود.

برای تفکیک آنومالی‌ها با استفاده از این روش، در نرم افزار ژئوسافت (Geosoft) نقشه آنومالی بوگه ناحیه‌ای با اعمال روش روند سطحی درجه ۳ مورد تفکیک قرار گرفت (شکل ۵-۶) نقشه‌های باقی‌مانده به‌خوبی روند آنومالی محلی منطقه را مشخص می‌کنند که با آنومالی بوگه نیز تطابق خوبی دارد. مطابق این شکل محدوده‌های آنومالی در چندین محل دیده می‌شود که به ترتیب عبارتند از: A، B و C.



شکل ۵-۶: نقشه روند سطحی درجه ۳ بر روی داده‌های گرانی آنومالی ۲۳ سنگ آهن ساغند

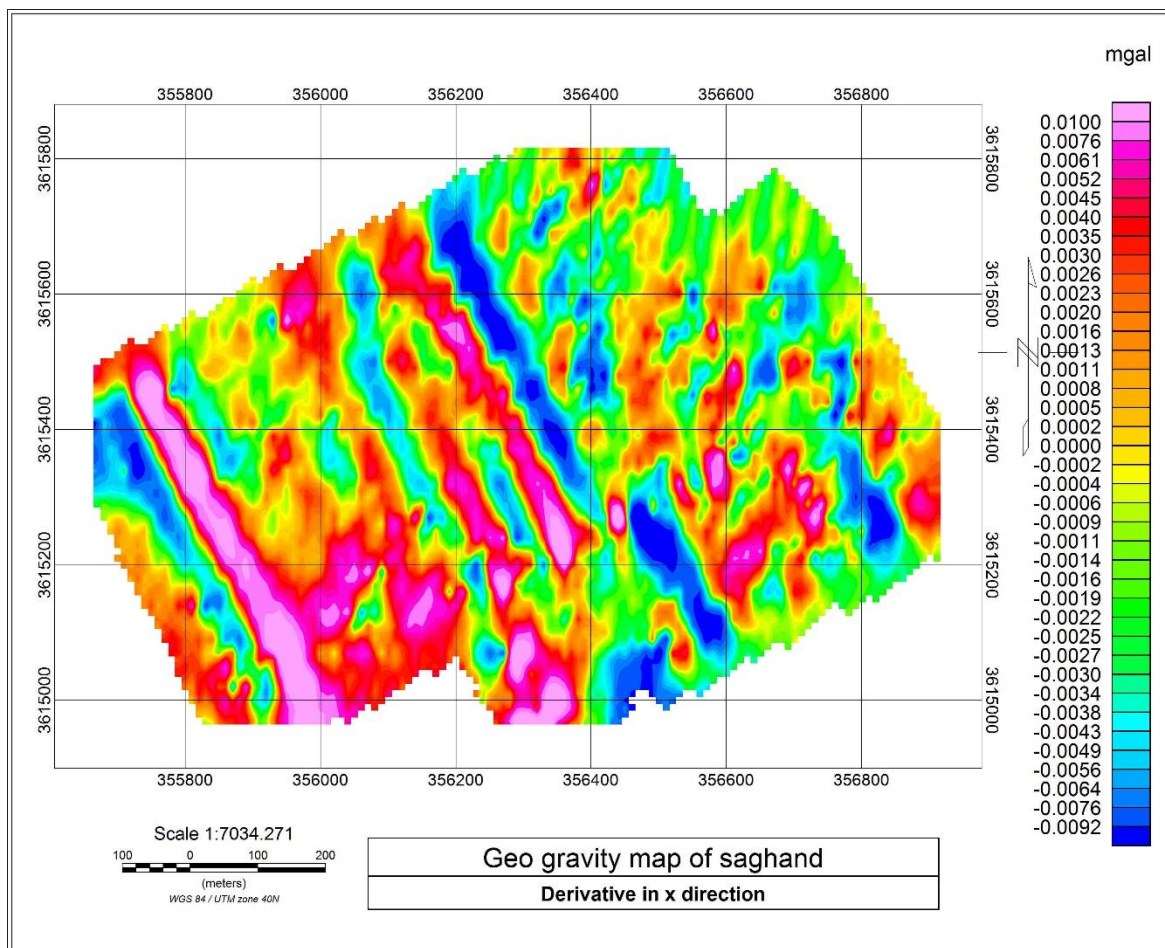
۵-۷-۴-۲ روش گسترش میدانی گرانی به سمت بالا

همان گونه که در فصل سوم اشاره شد، به منظور بررسی وضعیت آثار سطحی و عمقی آنومالی گرانی و حذف اثرات سطحی و بارزسازی آنومالی ناحیه‌ای گرانی از روش تبدیل میدان گرانی استفاده می‌شود. در این روش داده‌های میدان پتانسیل به وسیله معادلات ریاضی از یک سطح مبنا بر روی سطوح ترازوی بالاتر انتقال داده می‌شوند.

روش گسترش میدان گرانی به سمت بالا در ارتفاع‌های مختلفی از ۵ تا ۱۲۰ متری به فواصل ارتفاعی ۵ متری بر روی آنومالی بوگه اعمال و نقشه‌ی هر یک رسم گردید. (شکل ۵-۷) نقشه‌های حاصل از روش گسترش به سمت بالا را در ارتفاع ۸۰ متری و آنومالی باقی‌مانده حاصل از آن را نشان می‌دهد. شکل (۵-۷ الف) گسترش به سمت بالای ۸۰ متر را نشان می‌دهد و شکل (۵-۷ ب) نقشه باقی‌مانده از گسترش به سمت بالای ۸۰ متر را نشان می‌دهد. در ارتفاع‌های بیش از ۸۰ متری یعنی ۹۰، ۱۰۰ و بالاتر، تفاوت

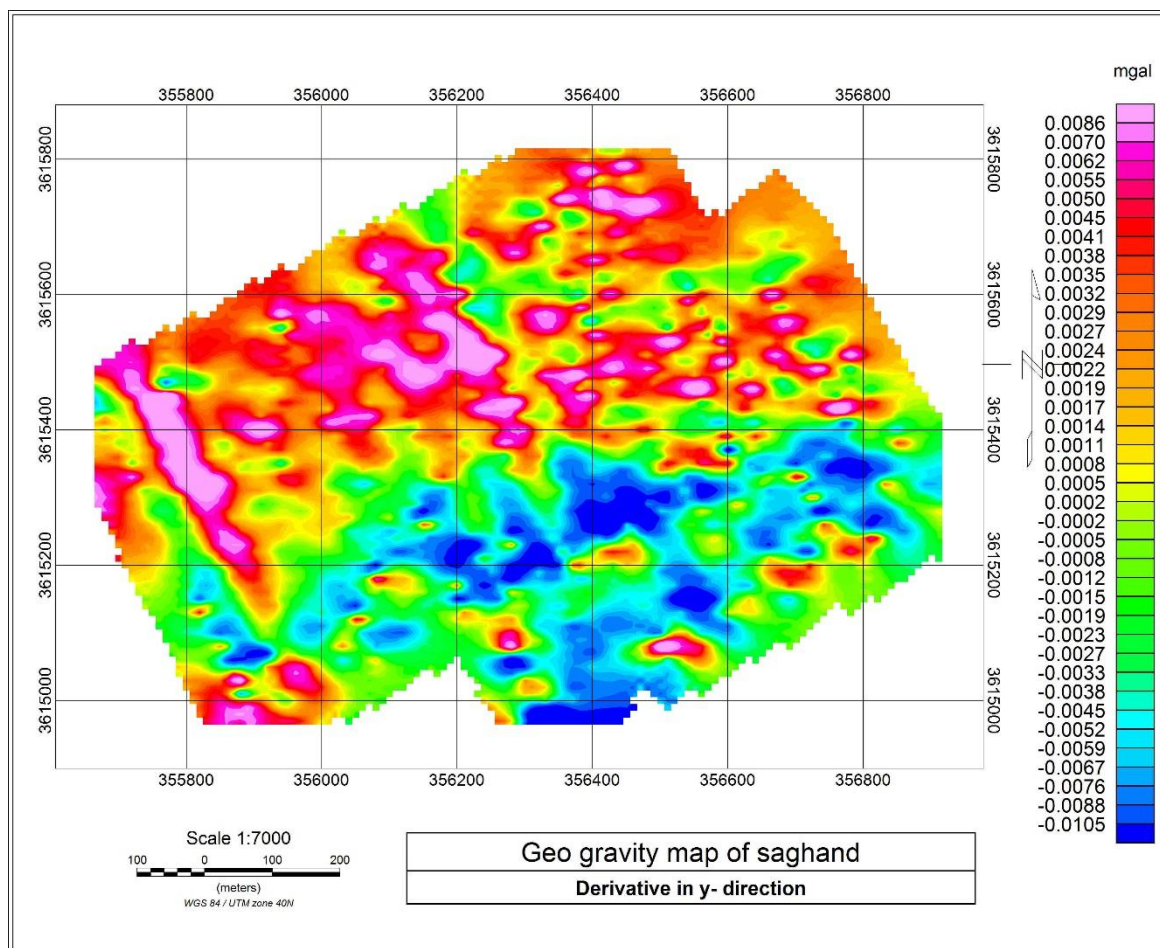
۵-۷-۴-۳ فیلترهای مشتق

نتایج فیلترهای مشتقات افقی و قائم در شکل‌های (شکل ۵-۸)، (شکل ۵-۹) و (شکل ۵-۱۰) آورده شده است. با توجه به این نکته که بر روی مرز آنومالی مشتقات افقی بیشینه و مشتق قائم صفر می‌باشد می‌توان از نتایج فیلترهای مشتق، برای تخمین مرز استفاده کرد. فیلتر مشتق در جهت X ساختارهای خطی مانند گسل و دایک را بهتر نشان می‌دهد. از میان این نقشه‌ها، مشتق قائم نسبت به مشتقات افقی تفکیک بهتری از آنومالی را نشان می‌دهد. به منظور بررسی وجود احتمالی ساختارهای کم عمق، از فیلتر مشتق اول قائم که تغییرات میدان را در جهت عمودی نشان می‌دهد، استفاده گردید. به این روش می‌توان مولفه‌های محلی میدان پتانسیل که با طول موج کوتاه‌تر در داده‌های گرانی ظاهر می‌شوند را بارز و آشکار نمود.



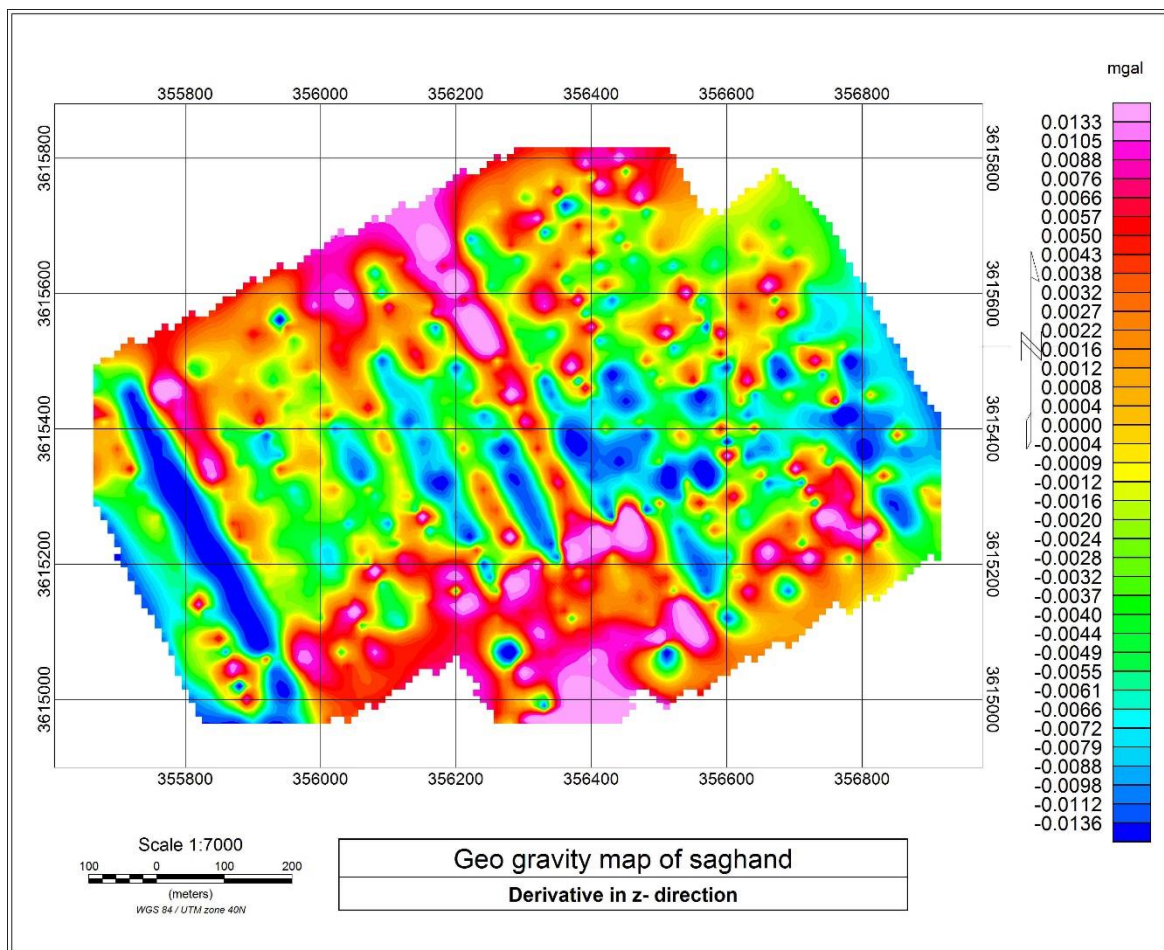
شکل ۵-۸: نقشه مشتق در جهت X داده‌های گرانی آنومالی ۲۳ سنگ آهن ساغند.

مطابق شکل (۵-۸) که تغییرات و گرادیان میدان گرانی در راستای شرقی- غربی نشان می‌دهد، یک سری ساختارهای شمال غرب - جنوب شرق را بارز نموده که عمده این ساختارها ناشی از نحوه برداشت داده‌ها بوده است



شکل ۵-۹: نقشه مشتق در جهت Y داده‌های گرانی آنومالی ۲۳ سنگ آهن ساغند

بر اساس شکل (۵-۹) می‌توان گفت که آثار سطحی همانند نویز روی داده‌های گرانی وجود داشته است و تا حد زیادی تفکیک‌پذیری مناسب آنومالی را از بین برده است.



شکل ۵-۱۰: نقشه مشتق قائم داده‌های گرانی آنومالی ۲۳ سنگ آهن ساغند

مطابق شکل (۵-۱۰) می‌توان گفت که مشتق قائم اول در تفکیک و بارزسازی آنومالی باقی‌مانده

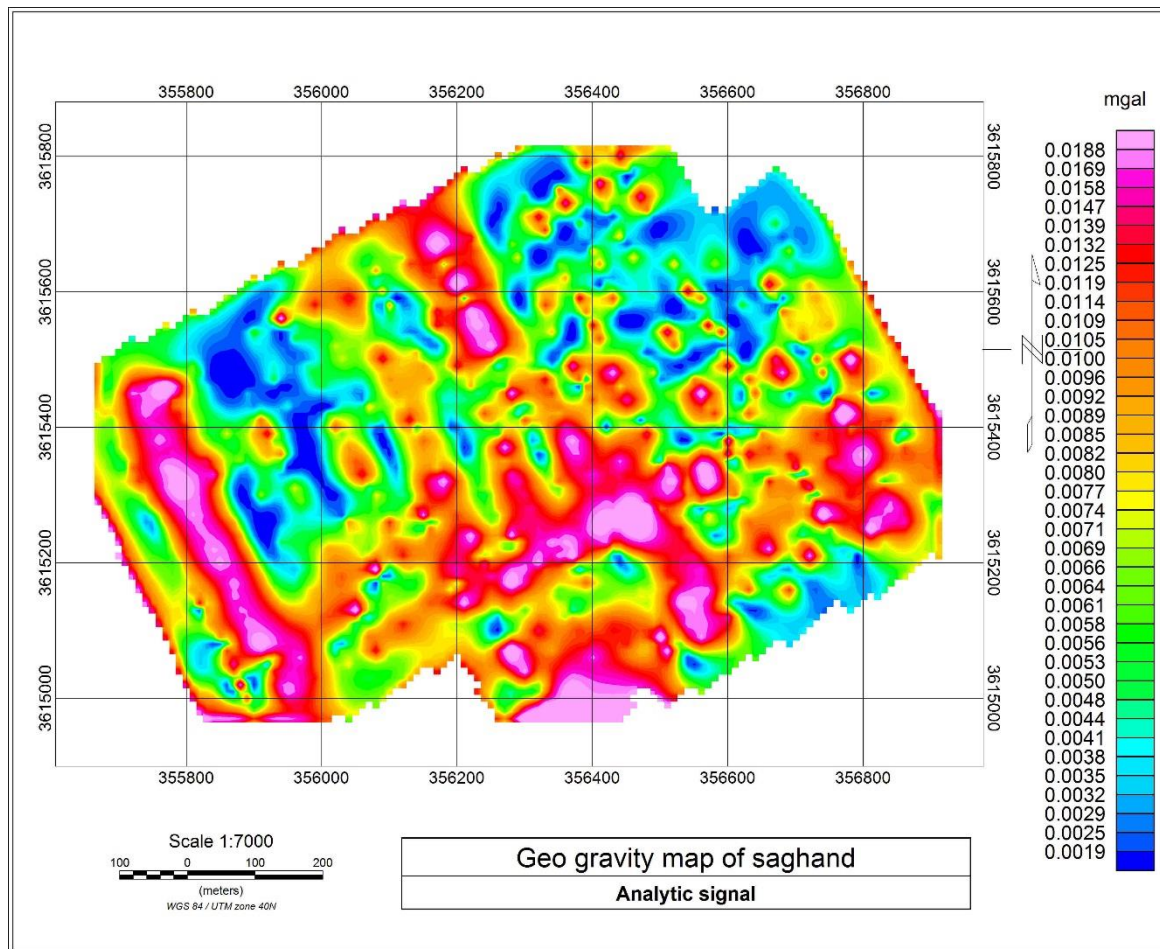
خوب عمل ننموده است

۵-۷-۵ سیگنال تحلیلی

یکی از نکات این روش این است که مشتقات افقی و عمودی یک تابع پتانسیل تبدیلات هیلبرت یکدیگر هستند. تبدیل هیلبرت دامنه تابع ورودی را تغییر نمی‌دهد اما فاز آن را به اندازه ۹۰ درجه تغییر می‌دهد در نتیجه تبدیل هیلبرت مشتق افقی داده‌های میدان پتانسیل، مشتق قائم داده‌ها را بدست خواهد داد.

فیلتر سیگنال تحلیلی روشی برای تخمین مرز توده است. ماکزیمم مقدار سیگنال تحلیلی بر روی

لبه‌های توده قرار می‌گیرد. (شکل ۵-۱۱) نقشه فیلتر سیگنال تحلیلی بر روی داده‌های گرانی را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۱۱: نقشه سیگنال تحلیلی بر روی داده‌های گرانی آنومالی ۲۳.

مطابق این شکل محدوده آنومالی محلی تا حدودی مشخص شده است.

۵-۷-۶ اعمال فیلترهای لاپلاس، سوبل، پرویت وکنی بر روی داده‌های گرانی

بعد از اعمال فیلترهای مرسوم ژئوفیزیکی، فیلترهای پردازش تصویر بر روی داده‌های گرانی اعمال شدند. و نقشه حاصل از آن‌ها در زیر آورده شده است.

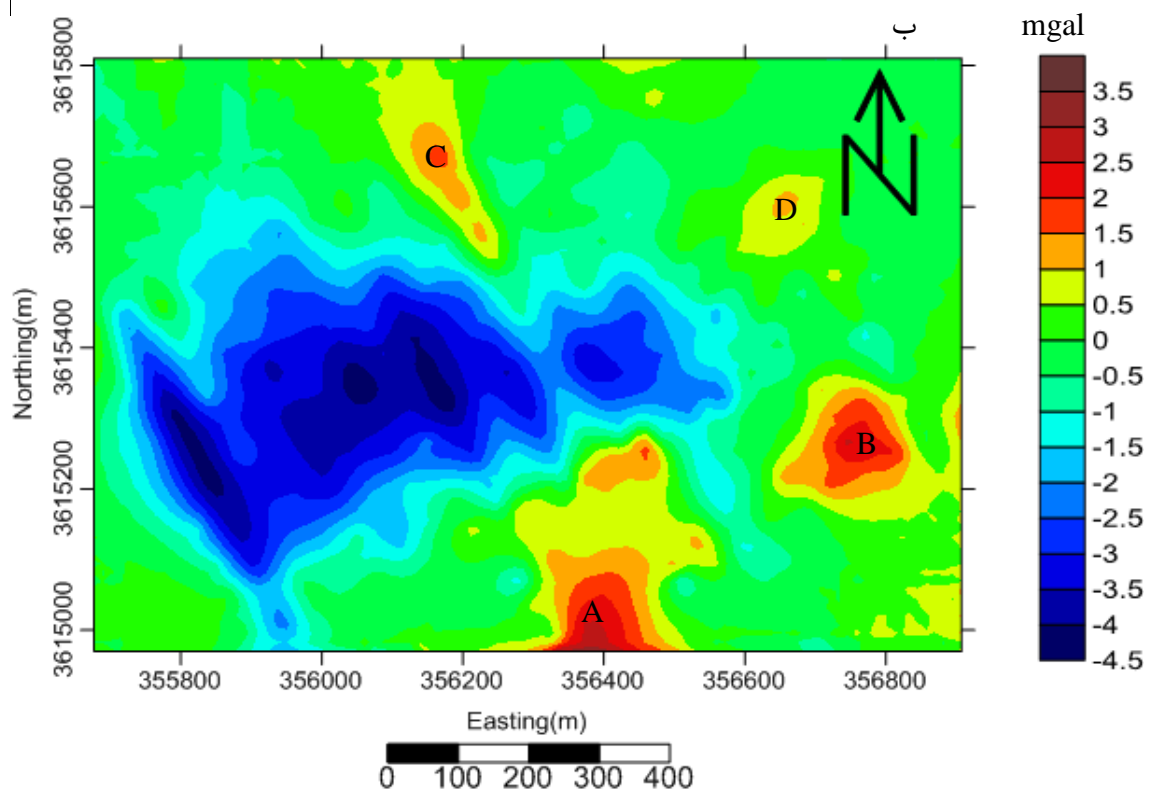
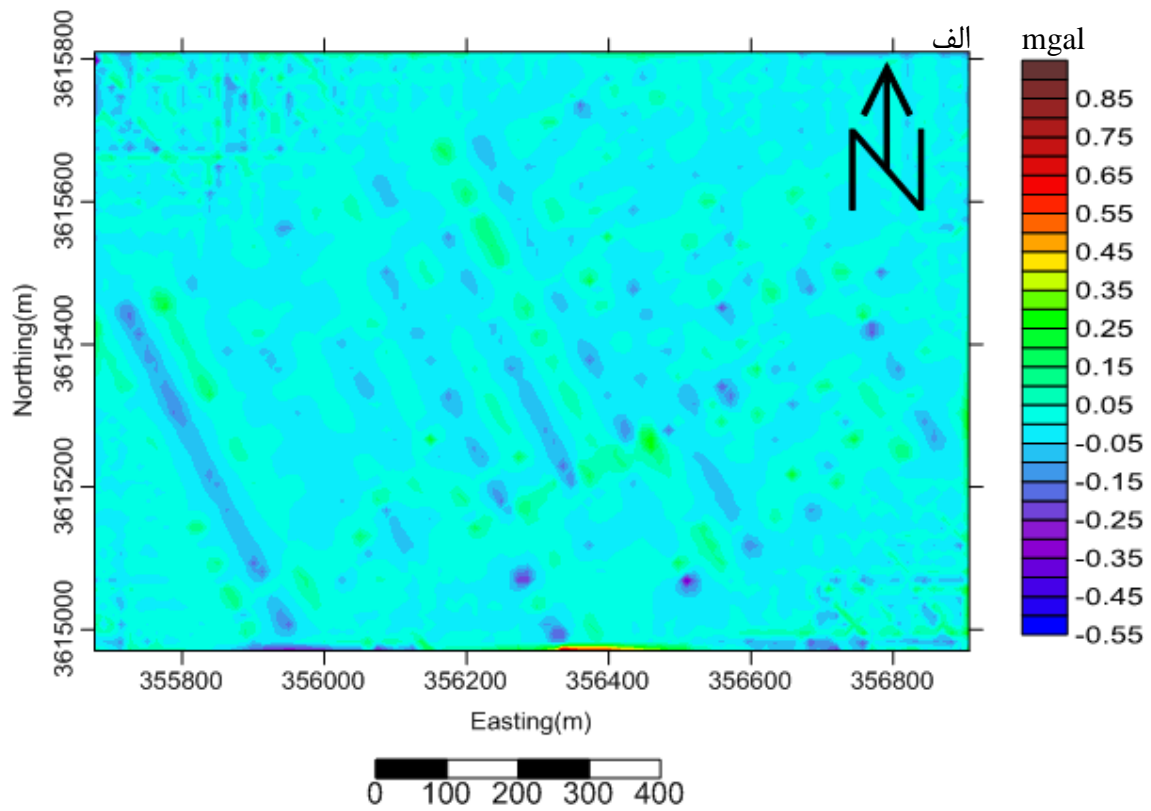
۵-۷-۶-۱ لاپلاس مرتبه اول و دوم

تغییرات ناگهانی در مقادیر درجات خاکستری در یک تصویر بیانگر لبه است. به عبارت دیگر لبه

عبارت از آن قسمت از تصویر است که چشم بیننده به محض مشاهده به آن متمرکز می‌شود. پیکسل-های لبه، پیکسل‌هایی هستند که مقدار شدت روشنایی یک تصویر تغییرات ناگهانی داشته باشد و مجموعه پیکسل‌های لبه متصل به هم هستند.

لبه‌ها و بافت‌ها در تصاویر از معمول‌ترین اطلاعات با فرکانس بالا می‌باشند. فیلترهای گذر بالا اطلاعات فرکانس پایین تصاویر را حذف کرده و از این رو باعث برجسته شدن اطلاعات فرکانس بالا مثل لبه‌ها می‌شوند. لبه به صورت طرحی که مفسر برای متمرکز کردن عملیات تفسیر روی نقشه میدان پتانسیل ایجاد می‌کند تعریف می‌شود. بنابراین کشف و استخراج آنها در بارزسازی اطلاعات و جزئیات هندسی تصویر بسیار راه‌گشا است. تغییرات شدت روشنایی با مشتق‌گیری آشکار می‌شود. در نتیجه واضح است که مشتقات مرتبه اول و دوم لاپلاس برای آشکارسازی لبه و مرز توده مناسب هستند. مشتق مرتبه اول لاپلاس لبه‌ها را ضخیم و مشتق مرتبه دوم لاپلاس لبه‌های نازکتری در تصویر ایجاد می‌کند. مشتق مرتبه دوم لاپلاس جزئیات دقیق‌تری از تصویر از (جمله نویز) را نمایش می‌دهد.

فیلترهای گذر بالا (لاپلاس مرتبه اول و دوم) اطلاعات فرکانس پایین تصاویر را حذف کرده و از این رو باعث برجسته شدن اطلاعات فرکانس بالا مثل لبه‌ها و مرزها می‌شوند. فیلترهای لاپلاس اول و دوم فیلترهای همه‌جهته هستند که مرزهای آنومالی را در همه جهات برجسته می‌سازند. (شکل ۵-۱۲) نقشه اعمال فیلترهای لاپلاس اول و دوم بر روی نقشه آنومالی بوگه شکل (۵-۵) را نشان می‌دهد. شکل (۵-۱۲ الف)، عملکرد فیلتر مشتق لاپلاس مرتبه اول برای تفکیک و شناسایی آنومالی محلی و ناحیه‌ای خوب نبوده است این فیلتر فقط توانسته است اثر ناشی از اندازه‌گیری نقاط روی پروفیل‌ها را به نمایش بگذارد. نتیجه این که این روش ظاهراً تأثیرات نوفه را بارز نموده و سبب از بین رفتن اصل آنومالی‌های گرانی شده است. اما در مقابل فیلتر لاپلاس نوع دوم (شکل ۵-۱۲ ب) عملکرد خوبی در بارزسازی آنومالی‌های گرانی داشته است. این روش در واضح‌سازی آنومالی گرانی همانند روش روند-سطحی مرتبه دوم توانسته تصویر واضح و روشنی ارائه نماید که محل و موقعیت آنومالی‌های مثبت و منفی مشخص است.



شکل ۵-۱۲: نقشه اعمال فیلتر لاپلاس اول و دوم بر روی نقشه آنومالی بوگه. الف) نقشه فیلتر لاپلاس اول. ب) نقشه فیلتر لاپلاس دوم.

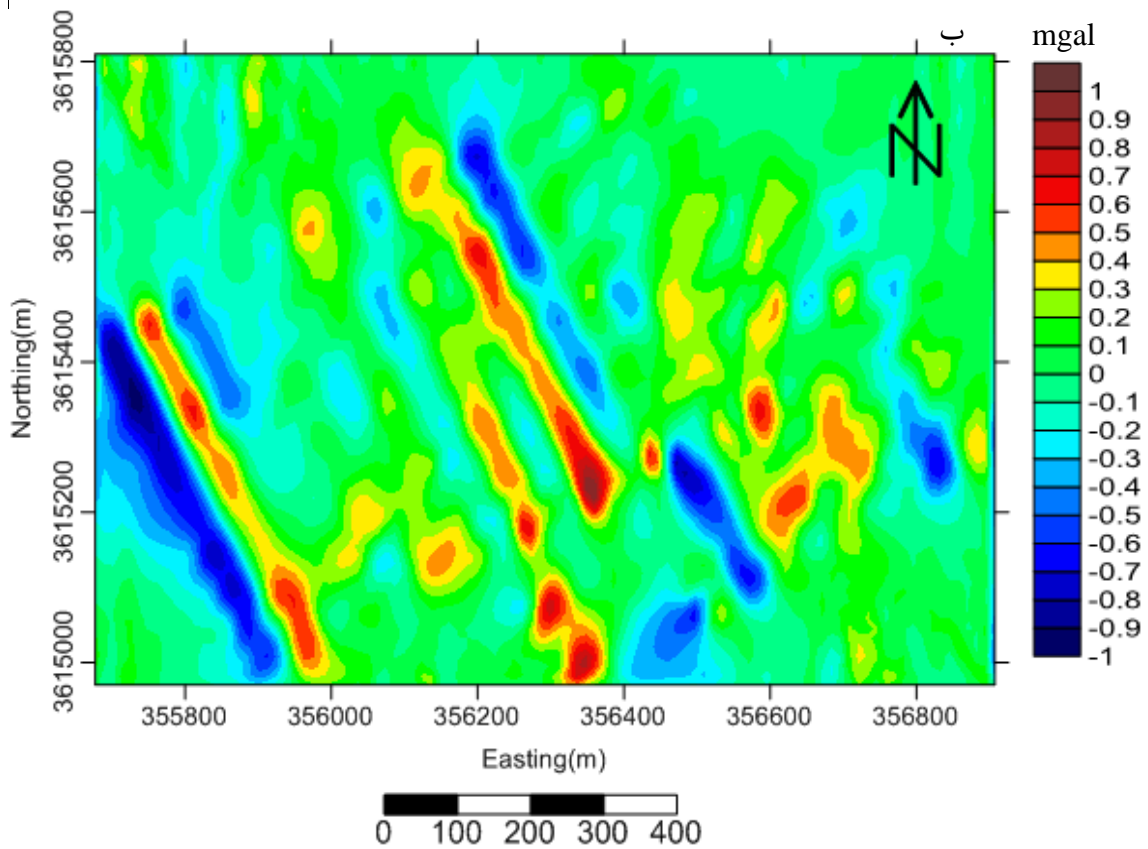
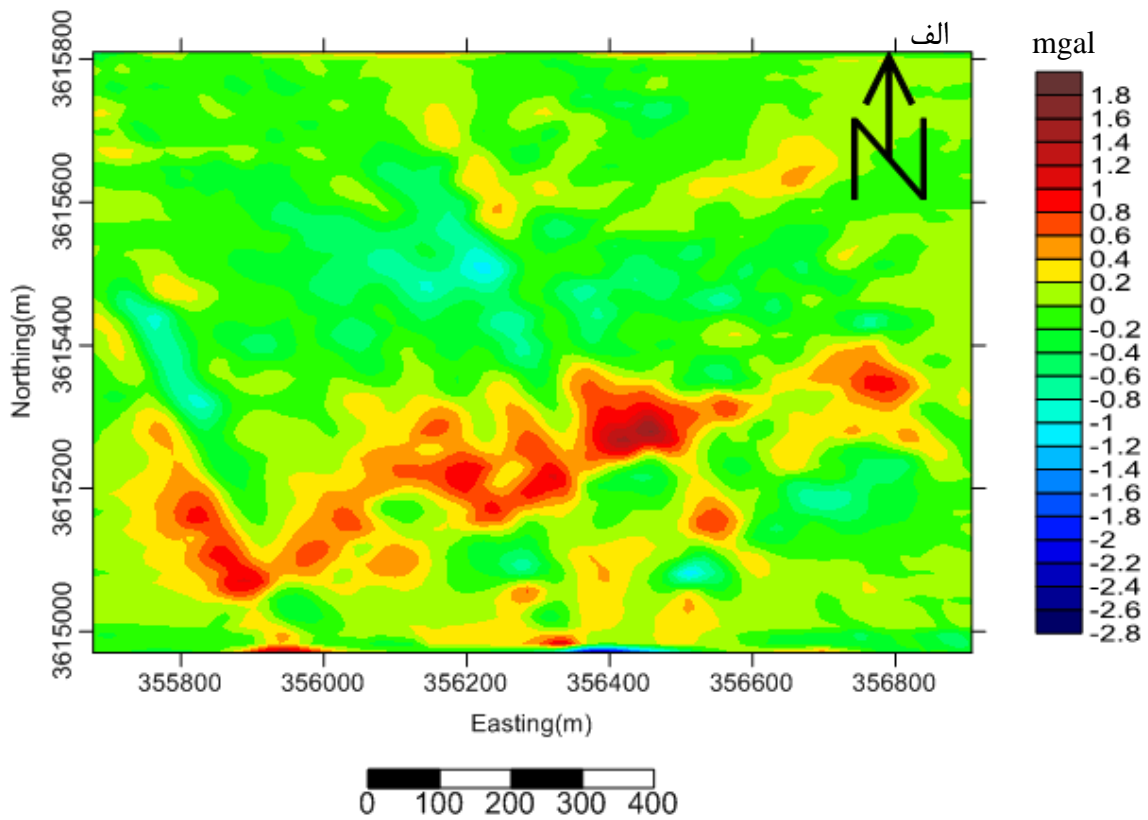
۵-۷-۶-۲ فیلترهای سوبل در جهت x و y ، پرویت در جهت x و y

برای آشکارسازی لبه، بیشینه‌های محلی گرادیان تصویر، به عنوان نماینده مناسب برای لبه در نظر گرفته می‌شوند. آشکارساز، سوبل و پرویت به این دسته تعلق دارند. محاسبه گرادیان سوبل و پرویت در حوزه مکان صورت می‌گیرد. معمولاً در محل لبه، گرادیان داده‌ها بیشینه است (پیکسل‌های مربوط به لبه‌ها نیز در مقایسه با پیکسل‌های کناری دارای شدت بیشتری‌اند). در نتیجه لبه دارای بسامد زیاد است و حجم کمی از تصویر را اشغال می‌کند. به همین دلیل فیلتر بالاگذر به منزله فیلتر لبه و تعیین مرز کارایی دارد.

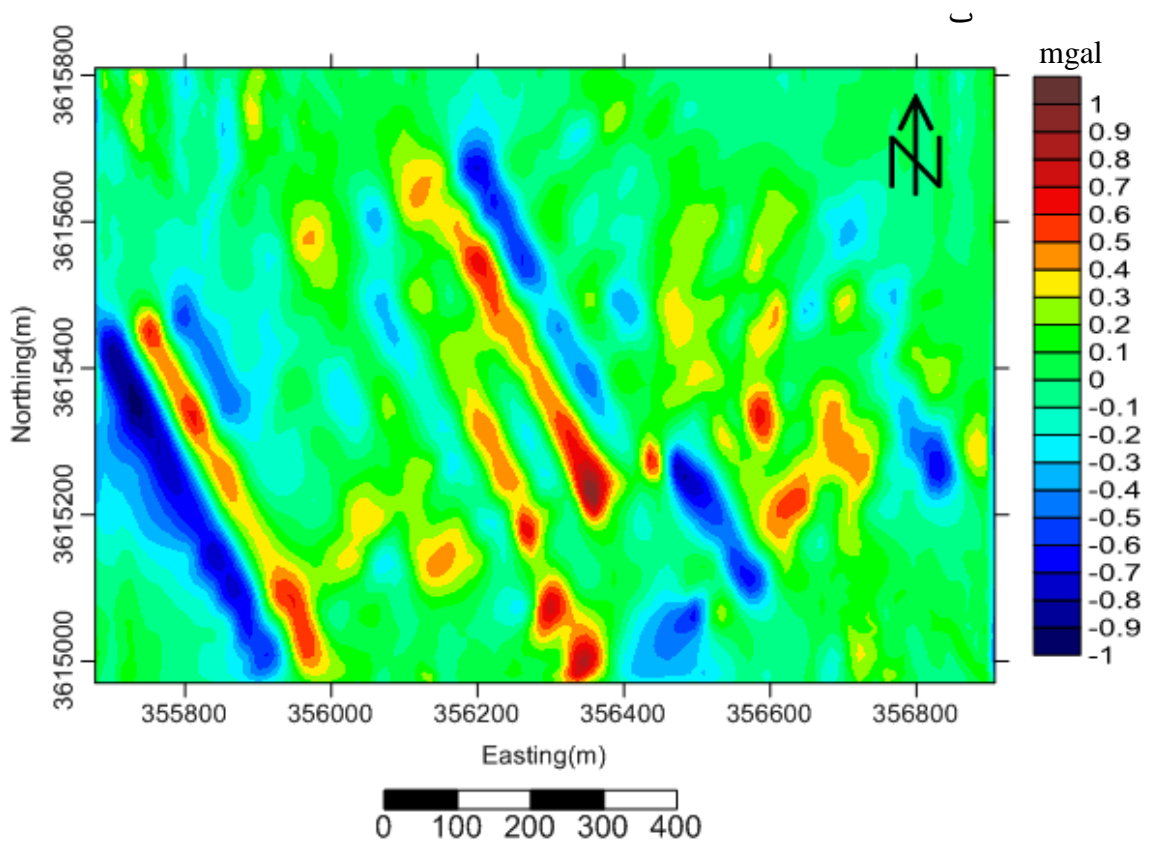
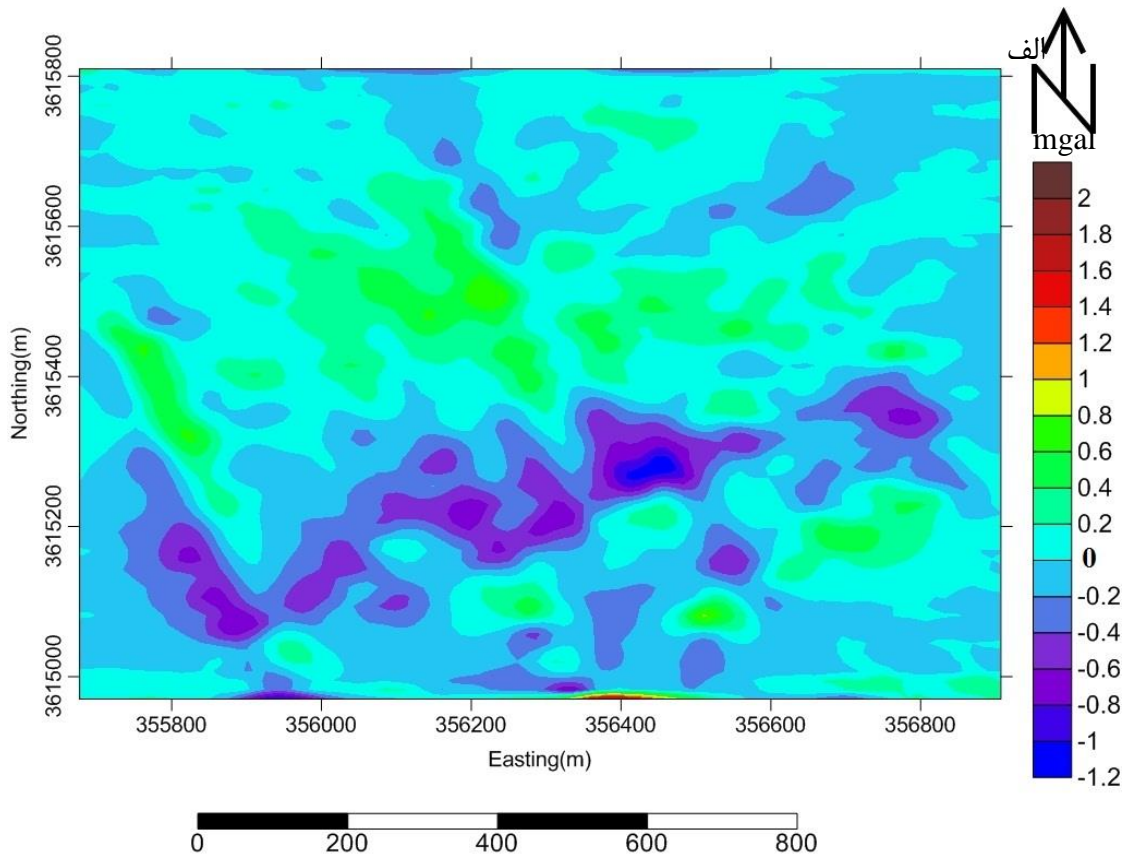
استفاده از فیلترهای سوبل و پرویت در جهت‌های x و y به عنوان فیلترهای بالاگذر می‌توانند مرزهای موجود در نقشه را بخوبی بارزسازی نمایند. این فیلترها گاه در جهت x و گاه در جهت y تعریف می‌شود. و آن‌ها آن دسته از لبه‌ها را آشکار کرده‌اند که در امتداد مورد نظر قرار گرفته‌اند.

(شکل ۵-۱۳) اعمال فیلتر سوبل در جهت x و y بر روی بر روی نقشه آنومالی بوگه شکل (۵-۵) را نشان می‌دهد. شکل (۵-۱۳ الف) نقشه فیلتر سوبل در جهت x را نشان می‌دهد. شکل (۵-۱۳ ب) نقشه فیلتر سوبل در جهت y را نشان می‌دهد. (شکل ۵-۱۴) اعمال فیلتر پرویت در جهت x و y بر روی بر روی نقشه آنومالی بوگه شکل (۵-۵) را نشان می‌دهد. شکل (۵-۱۴ الف) نقشه فیلتر پرویت در جهت x را نشان می‌دهد. شکل (۵-۱۴ ب) نقشه فیلتر پرویت در جهت y را نشان می‌دهد.

مطابق شکل‌های (۵-۱۳) و (۵-۱۴)، این گونه می‌توان نتیجه‌گیری نمود که اعمال فیلترهای سوبل و پرویت جهتی کمکی در راستای آشکارسازی و بهبود تصویر برای وضوح آنومالی‌ها انجام نمی‌دهند بلکه تنها توانسته‌اند روند برخی تغییرات را بارزتر نماید. این روندها برخی به دلیل وجود نحوه پروفیل‌بندی و اندازه‌گیری مقادیر است که می‌تواند نوعی نویز موجود در داده‌ها باشد. عملکرد این دو فیلتر در دو راستای x و y یکسان می‌باشد.



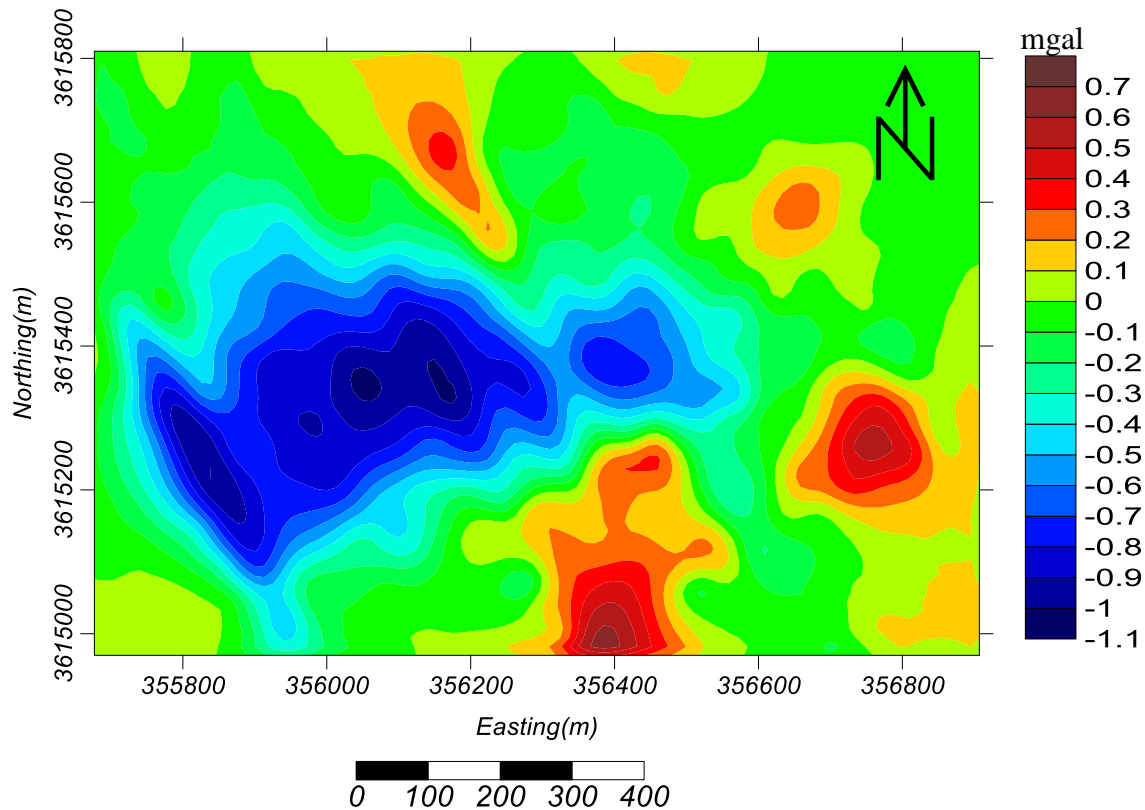
شکل ۵-۱۳: نقشه اعمال فیلتر سوبل در جهت X و y. الف) نقشه فیلتر سوبل در جهت X. ب) نقشه فیلتر سوبل در جهت y.



شکل ۱۴-۵: نقشه پرویت در جهت X و Y. الف) نقشه پرویت در جهت X. ب) نقشه پرویت در جهت Y.

۵-۶-۳ فیلتر میانگین

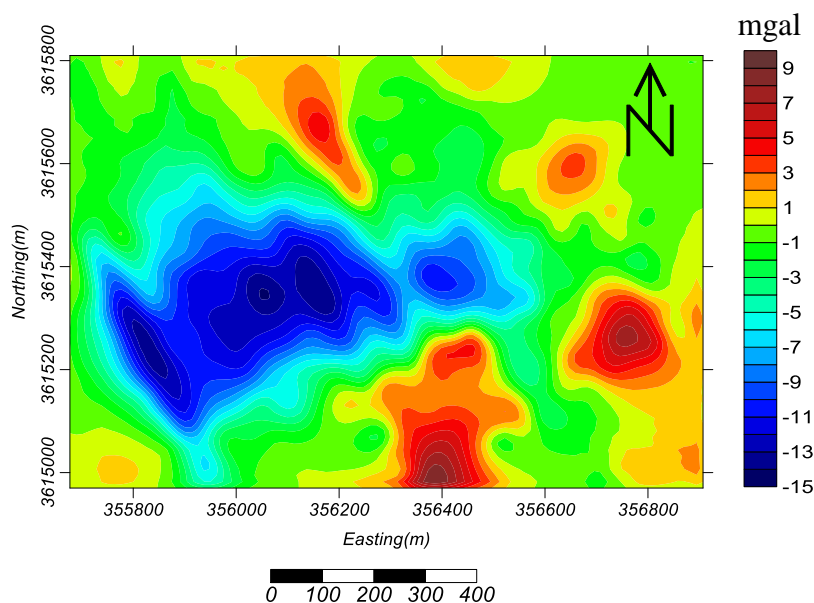
حذف نویز یا نوفه در تصاویر حاصل از میدان پتانسیل، حذف آثار ناخواسته‌ای در تصویر است که به دلیل نحوه برداشت داده‌ها، اشکال و آنومالی‌های کاذب ایجاد شده است. این کار معمولاً با یک فیلتر پایین‌گذر قابل انجام است که معمولاً مقدار هر پیکسل را با مقدار میانگین اطراف آن جایگزین می‌کند. از این‌رو از فیلتر میانگین یک فیلتر پایین‌گذر است برای این کار استفاده شد. با اعمال این فیلتر بر روی آنومالی بوگه سنگ آهن ساغند تا حدودی فرکانس‌های بالا کاهش و نویزها حذف شده‌اند. به عبارت دیگر فیلتر میانگین که یک فیلتر هموار کننده است توانسته تصویری مناسب و همواری ارئه نماید که آنومالی مثبت اصلی که هدف اکتشافی هستند را بارز نماید. (شکل ۵-۱۵). نکته مهم این‌که بخش میانی تصویر یک آنومالی منفی را نشان می‌دهد که بیان کننده این موضوع است که آنومالی‌های آهن به صورت آپوفیزهای کوچک باید باشند، و شاید کاملاً از هم مجزا هستند.



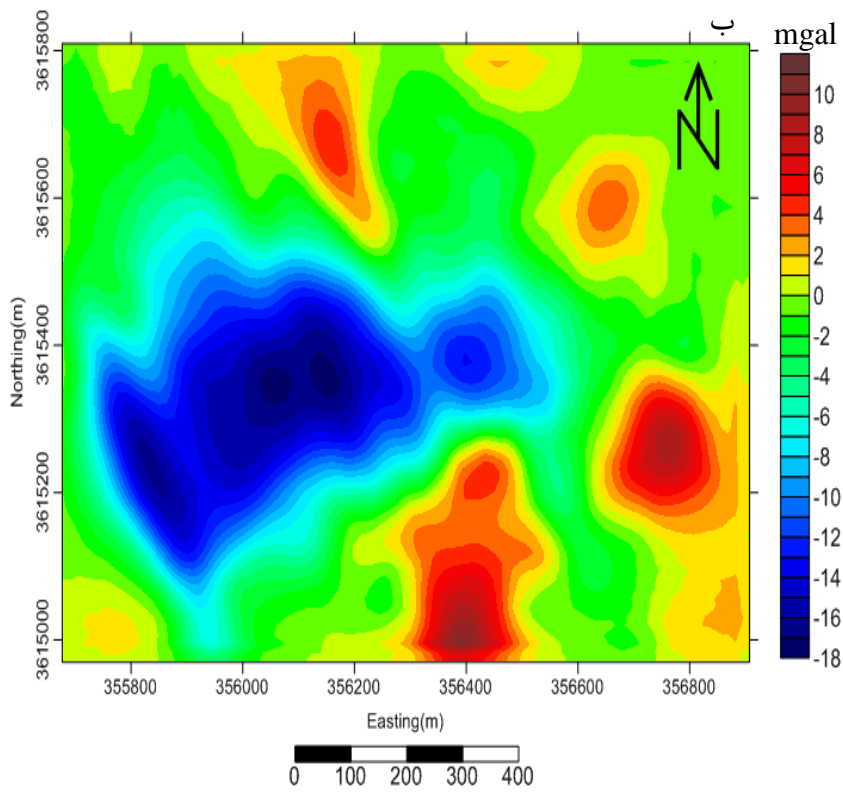
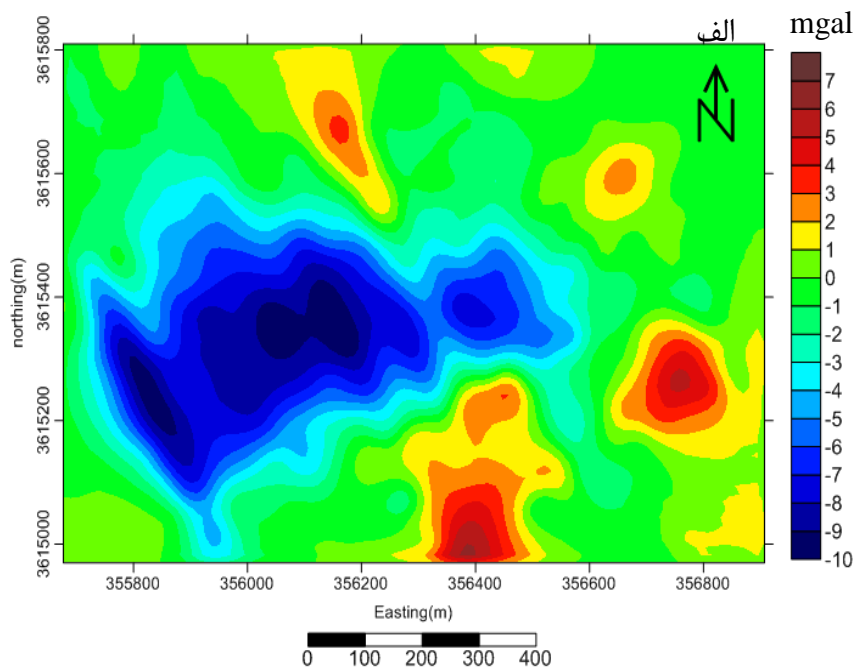
شکل ۵-۱۵: نقشه فیلتر میانگین

۵-۷-۶-۴ فیلتر سوبل دوبعدی، پرویت دوبعدی و کنی دوبعدی

همان‌گونه که اشاره شد لبه‌ها و بافت‌ها در تصاویر از معمول‌ترین اطلاعات با فرکانس بالا می‌باشند. اما استفاده از فیلترها در راستای x و یا y تنها سبب بروز و آشکارسازی برخی اطلاعات ناخواسته می‌شود که در تغییر نتایج کمکی نمی‌کند. فیلترهای گذر بالا اطلاعات فرکانس پایین تصاویر را حذف کرده و از این رو باعث برجسته شدن اطلاعات فرکانس بالا مثل لبه‌ها می‌شوند. حال استفاده از این فیلترها در فضای دوبعدی می‌تواند با افزایش گرادیان داده‌ها محل و مرز لبه‌ها را بارز نماید. در نتیجه لبه دارای بسامد زیاد است و حجم کمی از تصویر را اشغال می‌کند. چون آنومالی‌ها محلی موجود در محدوده که هدف اکتشافی هستند، دارای فرکانس زیاد و طول موج کم هستند. بنابراین استفاده از فیلترها مذکور می‌تواند کارایی بهتری در تعیین لبه و مرز آنومالی داشته باشند. این فیلترها به صورت دوبعدی یعنی هم در جهت x و هم در جهت y مرزها و لبه‌ها را برجسته می‌سازند. روش کنی برای لبه‌یابی بر اساس سه موضوع اصلی نرخ پایین خطا، تشخیص درست نقاط لبه، و نقطه لبه منحصر به فرد استوار است. نتایج عملکرد فیلتر سوبل دوبعدی روی داده‌های گرانی منطقه ساغند در (شکل ۵-۱۶) نشان داده شده است. و در (شکل ۵-۱۷) نتایج حاصل از اعمال فیلترهای پرویت و کنی دوبعدی نشان داده شده است. شکل (۵-۱۷الف) نتیجه فیلتر پرویت دوبعدی و شکل (۵-۱۷ب) نتیجه عملکرد فیلتر کنی دوبعدی بر روی داده‌های گرانی را نشان می‌دهد. مطابق این اشکال می‌توان گفت که فیلترهای سه‌گانه سوبل، پرویت، و کنی در فضای دوبعدی به خوبی توانسته‌اند چهار محدوده آنومالی مورد نظر را بارز نمایند.



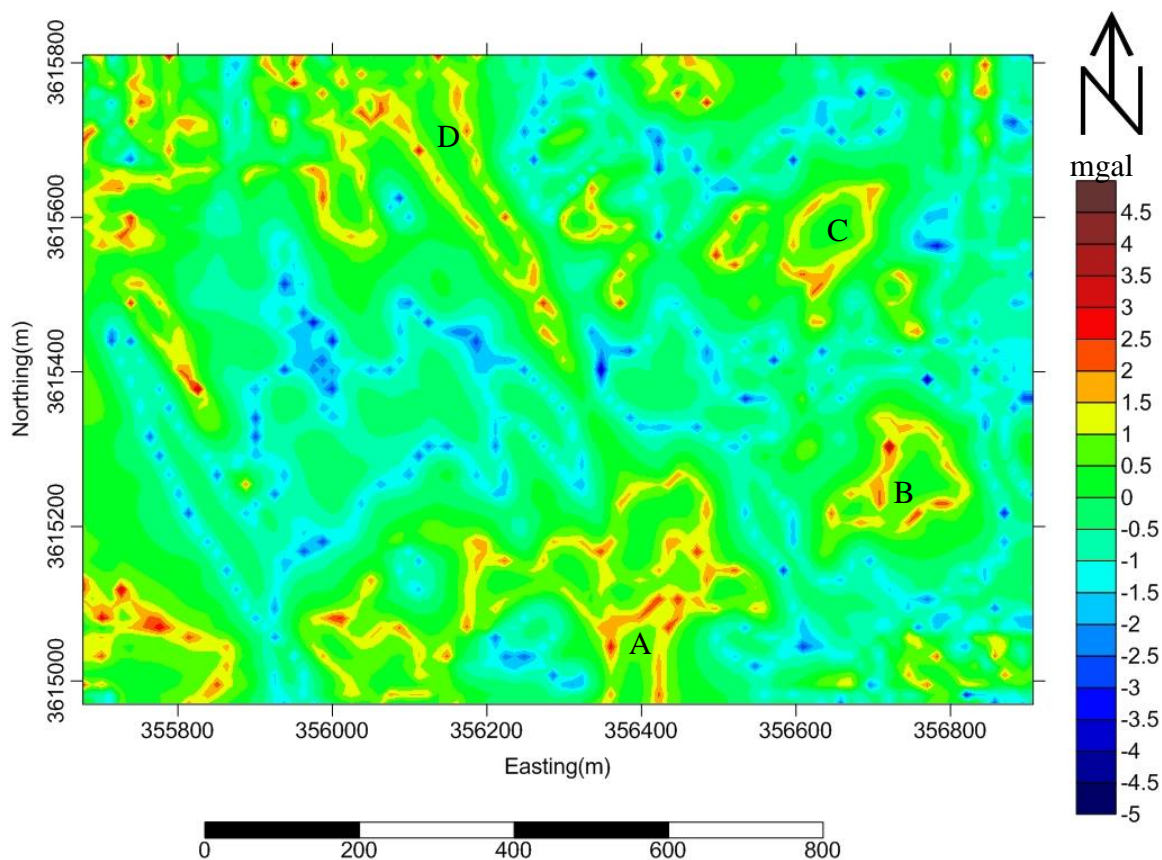
شکل ۵-۱۶: نقشه فیلتر سوبل دوبعدی بر روی داده‌های گرانی آنومالی ۲۳.



شکل ۵-۱۷: نقشه فیلتر دو بعدی پرویت و کنی را نشان می‌دهد. الف) پرویت دو بعدی. ب) کنی دو بعدی.

۷-۷-۵ فیلتر زاویه تیلت هایپربولیک (HTA)

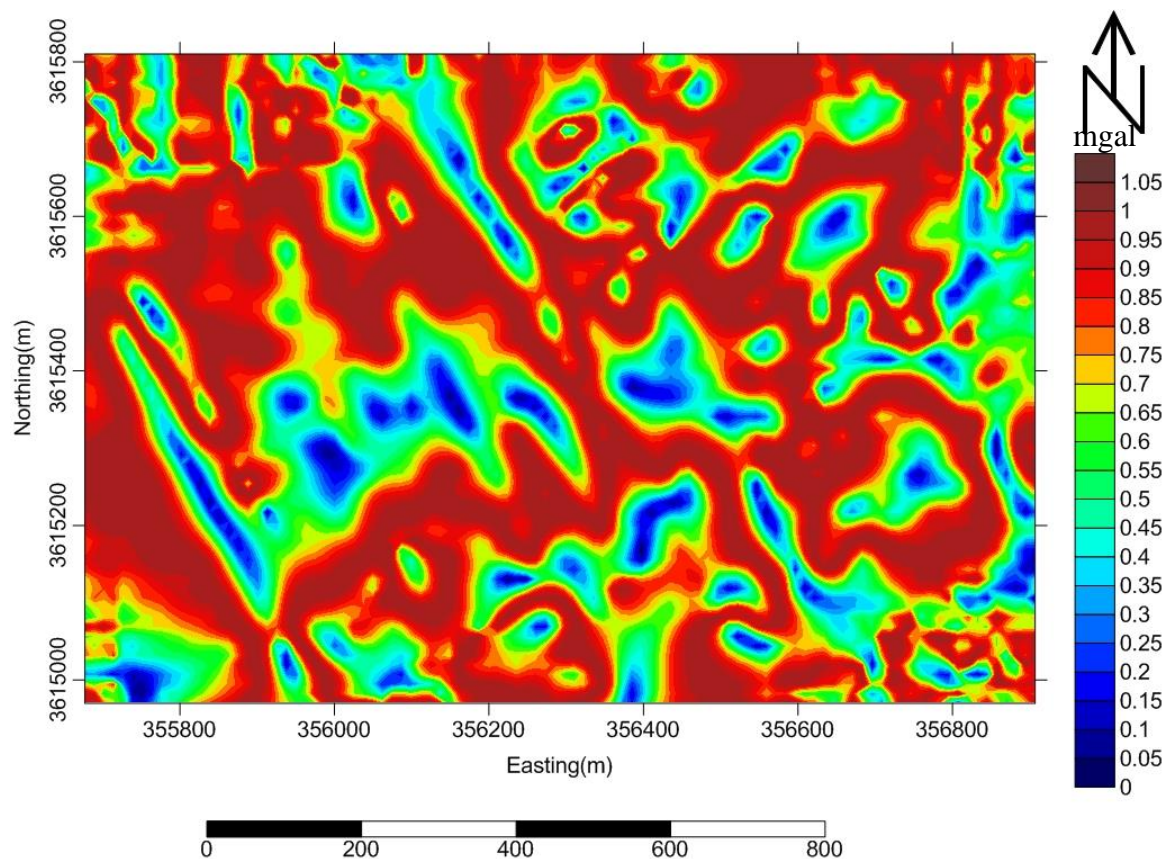
کاربرد زاویه تیلت بر روی داده‌های نقشه‌های مختلف میدان پتانسیل و بررسی نتایج حاصل از آن نشان داده که اگر در محاسبات مربوط به زاویه تیلت به جای استفاده از تابع تانژانت از قسمت حقیقی تابع تانژانت هایپربولیک استفاده شود، نتایج تخمین مرز و لبه توده‌های زیر سطحی نسبت به انواع فیلترهای گفته شده بهتر خواهد بود و آنومالی‌ها با شدت بیشتری برجسته خواهند شد. بعد از محاسبه مقدار تیلت هایپربولیک مقدار اثر منفی و مثبت درست در بالای لبه‌ها و مرزهای توده قرار خواهد گرفت. در مقایسه با فیلتر زاویه تیلت مرز مدل تیزتر مشخص شده است. از مزایای بسیار مهم این فیلتر عدم حساسیت آن به نویزهای موجود و همچنین نویزهای القاء شده در تصویر فیلتر شده می‌باشد. (شکل ۱۸-۵) نقشه فیلتر زاویه تیلت هایپربولیک بر روی داده‌های گرانی آنومالی ۲۳ را نشان می‌دهد. مطابق شکل علاوه بر بارز نمودن نسبی چهار آنومالی گرانی مثبت، که این نقاط (A, B, C, D) در شکل (۵-۱۸) نشان داده شده‌اند، مواردی هم در جنوب شرق محدوده هم به صورت آنومالی نشان داده است.



شکل ۱۸-۵: فیلتر زاویه تیلت هایپربولیک

۵-۷-۸ فیلتر تتا

این فیلتر به صورت نسبت بین اندازه گرادیان افقی و اندازه سیگنال تحلیلی داده‌های میدان پتانسیل تعریف می‌شود. در محل لبه‌های توده مقدار مشتق قائم صفر است در نتیجه بردار سیگنال تحلیلی با افق زاویه صفر درجه می‌سازد. در واقع در این فیلتر اندازه گرادیان افقی کل توسط اندازه سیگنال تحلیلی نرمال می‌شود. این فیلتر منجر به تخمین مرز توده‌های مولد آنومالی میدان پتانسیل می‌شود. محدودیت استفاده از این فیلتر در مورد داده‌های مغناطیسی است که ابتدا داده‌ها باید به قطب یا استوا منتقل شوند تا ماهیت دو قطبی داده‌ها حذف شود. (شکل ۵-۱۹) نقشه فیلتر تتا بر روی داده‌های گرانی بر روی آنومالی ۲۳ سنگ آهن را نشان می‌دهد.

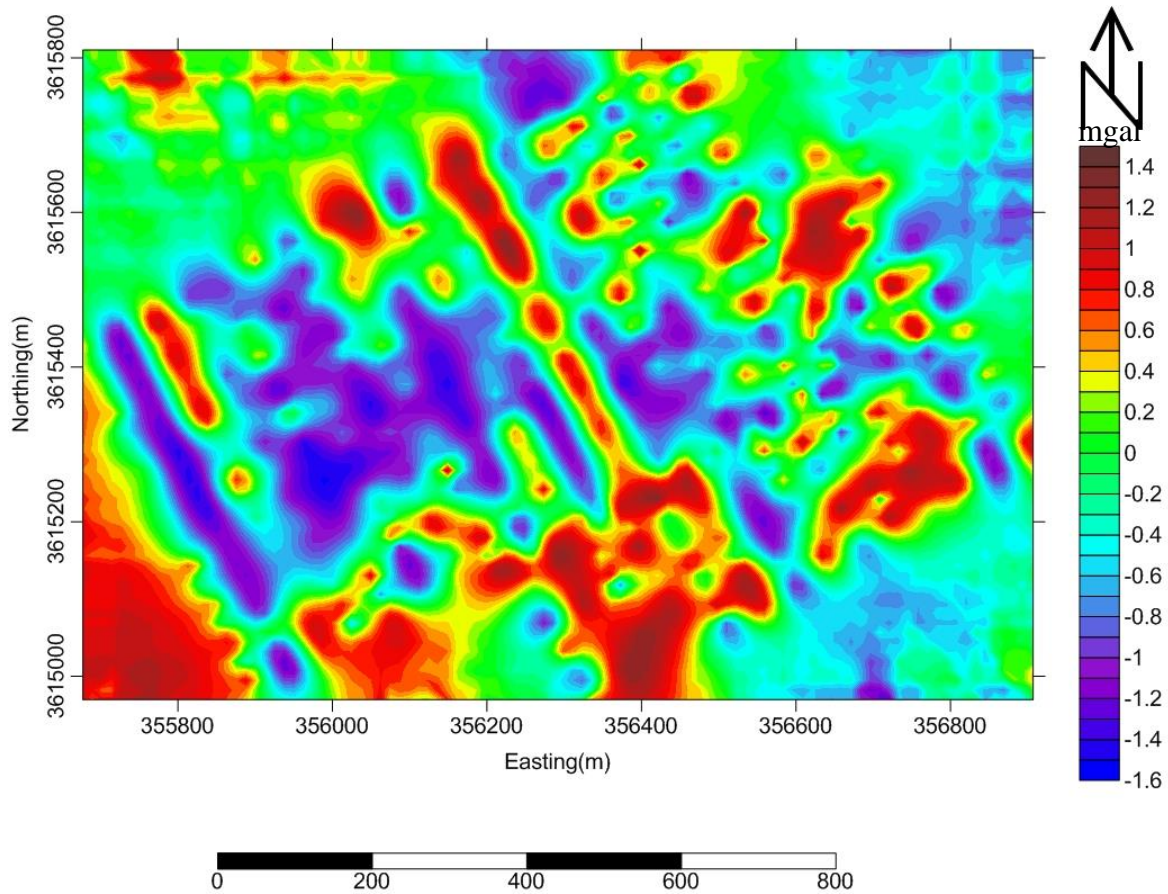


شکل ۵-۱۹: نقشه فیلتر تتا بر روی داده‌های گرانی آنومالی ۲۳.

۵-۷-۹ فیلتر زاویه تیلت

یکی از فیلترهای فاز محلی متداول جهت برجسته‌سازی آنومالی‌ها در تصاویر میدان پتانسیل، فیلتر زاویه تیلت است. این فیلتر به صورت نسبت مشتق قائم به اندازه مشتق افقی کل داده‌های میدان

پتانسیل تعریف می‌شود. تغییرات زاویه تیلت در بالای توده‌های معدنی و همچنین بدون بعد بودن آن مهمترین دلیل کاربرد این فیلتر است. (شکل ۵-۲۰) نقشه فیلتر زاویه تیلت بر روی داده‌های گرانی آنومالی ۲۳ را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۲۰: نقشه فیلتر زاویه تیلت بر روی داده‌های گرانی آنومالی ۲۳.

۸-۵ پردازش داده‌های مغناطیسی آنومالی ۲۳ سنگ آهن ساغند

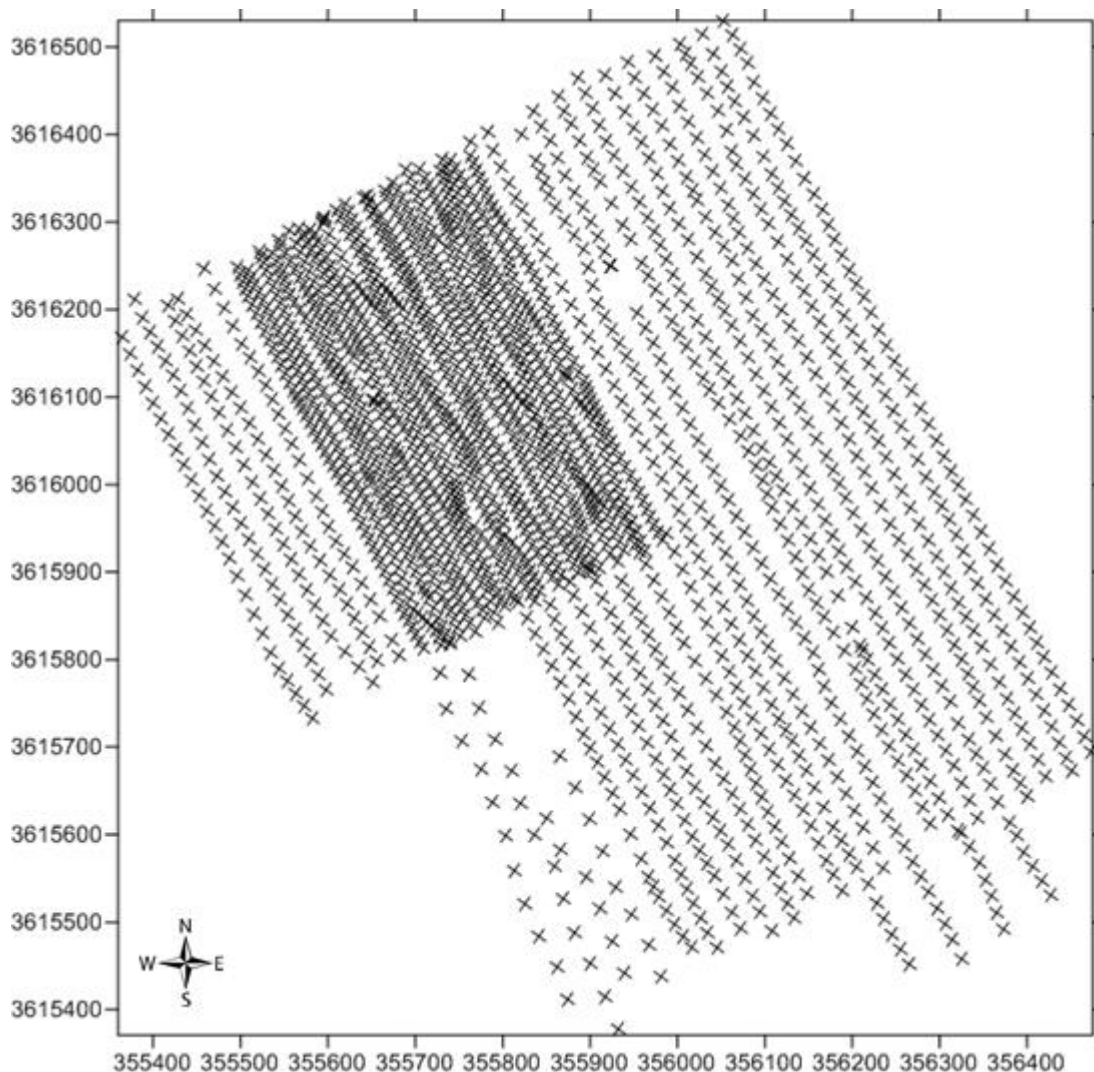
۵-۸-۱ مقدمه

در محدوده آنومالی ۲۳ سنگ آهن ساغند به منظور شناسایی مناسب آنومالی‌های آهن علاوه بر روش گرانی‌سنجی، روش مغناطیس‌سنجی هم با امتداد پروفیل‌های مشخص انجام شده است. نقاط اندازه‌گیری با امتداد شمال غرب - جنوب شرق برداشت گردیده است. پس از انجام برداشت‌های صحرائی و تصحیحات لازم، آنومالی مغناطیسی در شکل (۵-۲۲) در محیط نرم‌افزار ژئوسافت تهیه شده است که مجموع آثار شدت مغناطیسی ناشی از اجسام محلی و ساختارهای ناحیه‌ای است. مقدار مغناطیس اندازه گرفته شده در هر نقطه مجموع تمام اثرات ناشی از منابع زیر سطح را نشان می‌دهد.

نقشه‌ی شدت مغناطیسی داده‌ها، مجموع اثرات توده‌هایی بامیزان خودپذیری متفاوت در اعماق مختلف می‌باشد که علاوه بر آن تأثیرات ناشی از هسته زمینی رانیز با تغییرات خطی و ملایم مشخص می‌نماید. آنومالی مغناطیسی محدوده می‌تواند ناشی از اجسام و توده‌های نزدیک سطحی و عمیق باشد. آنومالی ناحیه‌ای دارای فرکانس پایین و طول موج بلند می‌باشند، در حالی که آنومالی‌های باقی‌مانده که به دلیل وجود اجسام زیرسطحی کم عمق هستند، دارای فرکانس بالا و طول موج کوتاه می‌باشند.

۵-۸-۲ نحوه برداشت و موقعیت نقاط برداشت داده‌های مغناطیسی

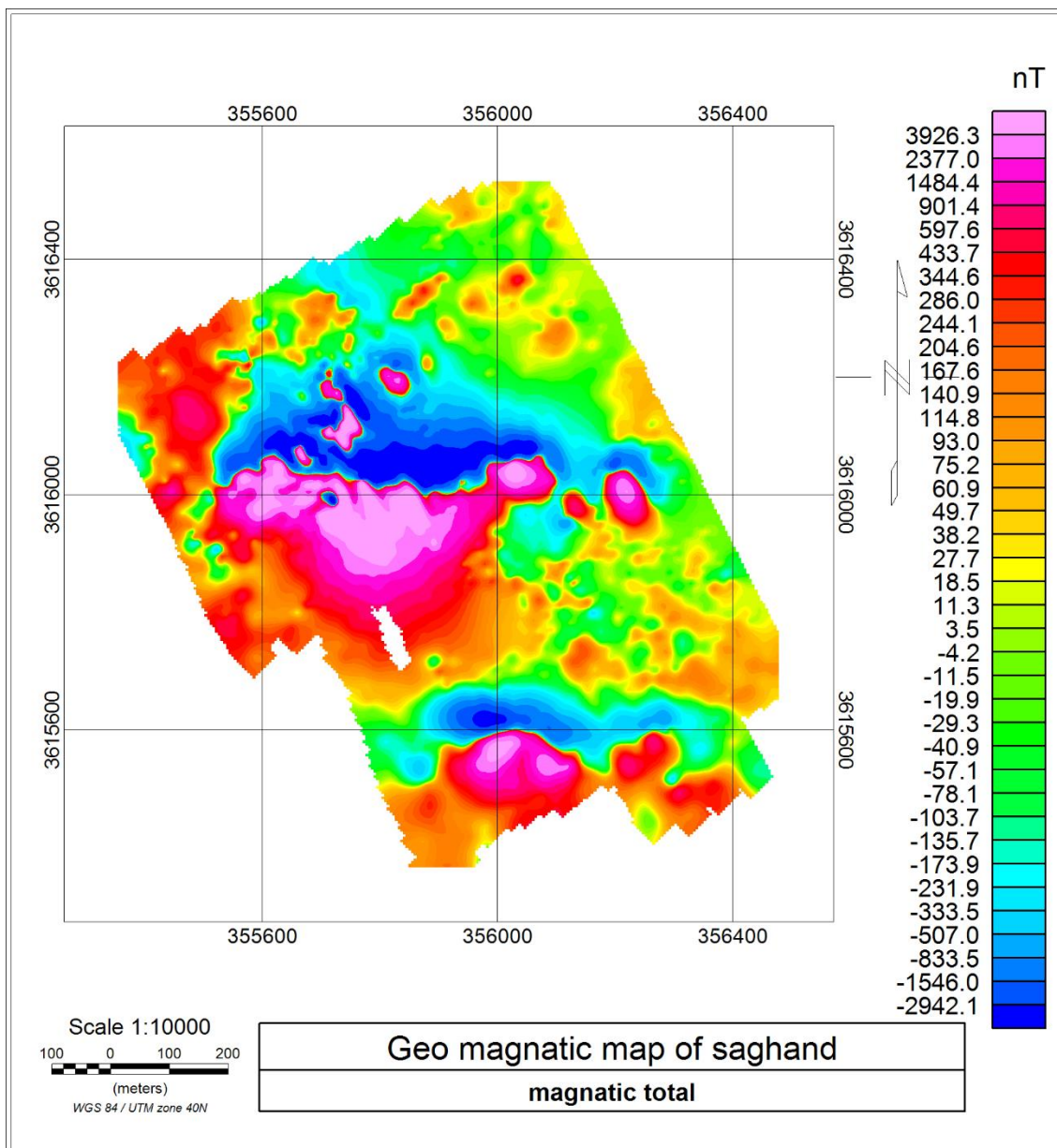
طراحی شبکه برداشت داده‌های مغناطیسی به صورت متراکم و غیر متراکم انجام گرفته، که در شبکه متراکم فاصله بین پروفیل‌ها ۱۵ متر و فاصله بین نقاط هر پروفیل ۵ متر پیاده شده است. در شبکه غیر متراکم فاصله بین پروفیل‌ها ۳۰ متر و فاصله بین نقاط هر پروفیل ۱۰ متر شده است. که در مجموع ۳۸۷۱ نقطه برداشت شده است. (شکل ۵-۲۱) موقعیت نقاط برداشت را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۲۱: نقشه نحوه برداشت داده‌های مغناطیس بر روی محدوده آنومالی ۲۳ ساغند.

۵-۸-۳ نقشه میدان مغناطیسی کل

نقشه شدت داده‌های مغناطیس کل که مجموع آثار شدت مغناطیسی ناشی از اجسام محلی و ساختارهای ناحیه‌ای است. مقدار مغناطیس اندازه گرفته شده در هر نقطه مجموع تمام اثرات ناشی از منابع زیر سطح را نشان می‌دهد. آنومالی موجود در این نقشه یک قطب منفی در شمال به رنگ آبی و یک قطب مثبت در جنوب به رنگ قرمز وجود دارد. حداکثر و حداقل شدت میدان مغناطیسی در این آنومالی به ترتیب ۳۹۲۶/۳ و ۲۹۴۲/۱ نانوتسلا می‌باشد. (شکل ۵-۲۲) نقشه میدان مغناطیس آنومالی ۲۳ سنگ آهن ساغند را نشان می‌دهد.



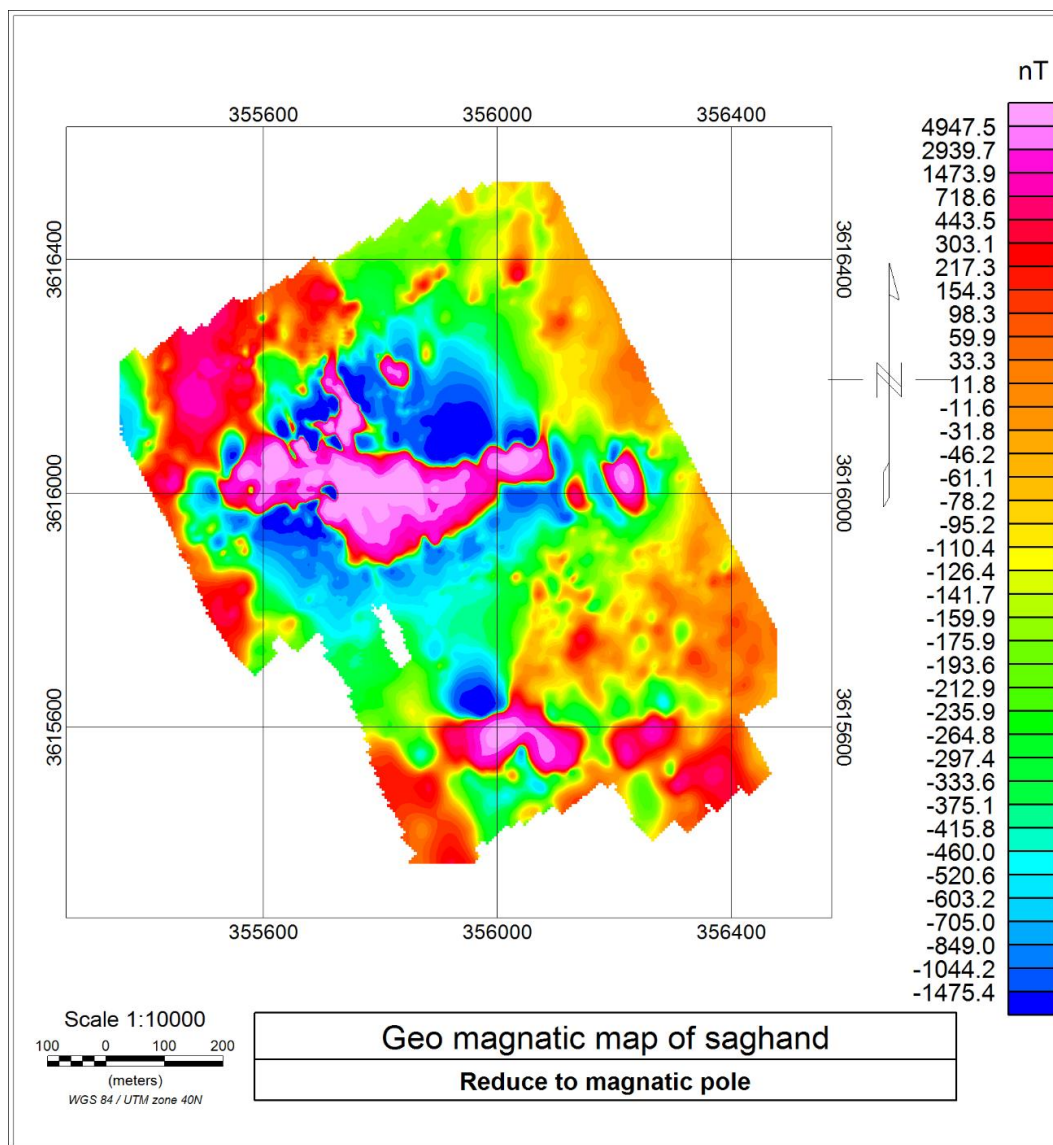
شکل ۵-۲۲: نقشه شدت کل میدان مغناطیسی آنومالی ۲۳.

۵-۸-۴ برگردان به قطب شمال مغناطیسی

چون ماهیت آنومالی مغناطیسی دو قطبی است، اعمال این فیلتر باعث شده که قطب مثبت رشد کرده و و درست در بالای منشأ ایجاد کننده خود قرار گرفته و قطب منفی تحلیل رفته و به حواشی آنومالی مهاجرت می‌کند. وجود باقی‌مانده‌های از قطب منفی در نقشه برگردان به قطب نشان از وجود مغناطیدگی بازماند در توده‌های منیتیتی دارد.

شکل ۵-۲۳ نقشه برگردان به قطب داده‌های مغناطیسی داده‌های مغناطیسی محدوده مورد نظر را

نشان می دهد

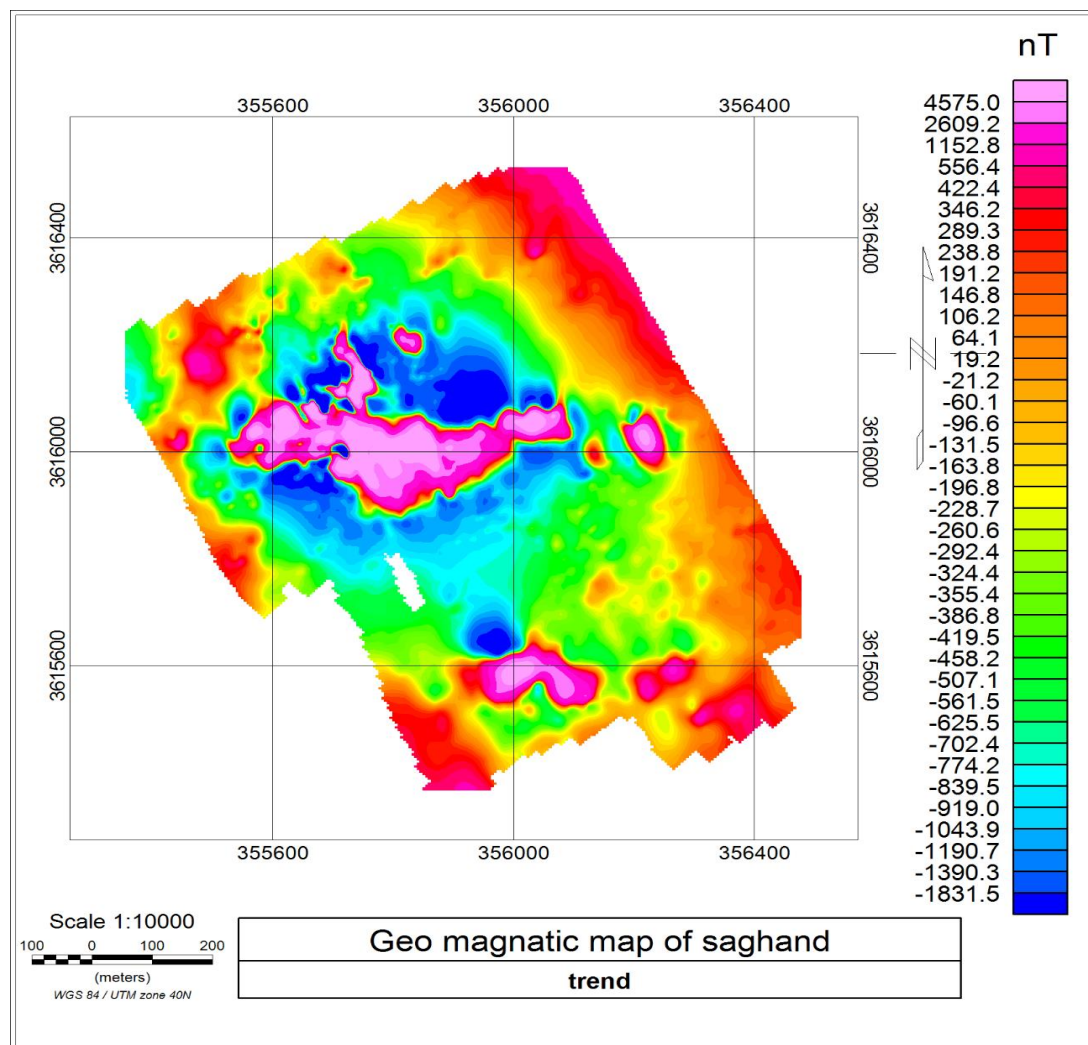


شکل ۵-۲۳: نقشه برگردان به قطب داده های مغناطیسی آنومالی ۲۳ سنگ آهن ساغند را نشان می دهد. مطابق این شکل محل و موقعیت آنومالی مغناطیسی کمی جابجا شده و روی موقعیت اصلی قرار گرفته است.

۵-۸-۵ روند سطحی

با توجه به این که میدان پتانسیل حاوی دو مؤلفه محلی و ناحیه ای هستند، برای تفکیک آنومالی ناحیه ای از روش روند سطحی استفاده گردید. این روش به علت انعطاف پذیری بالا با به کارگیری فرمول های ریاضی می تواند مقدار اثر ناحیه ای آنومالی را محاسبه نماید. در این روش، میدان ناحیه ای از مقادیر مشاهده ای به وسیله روش کمترین مربعات تقریب زده می شود. این روش براساس محاسبه سطحی (به

روش ریاضی) استوار است که بهترین تطابق را نسبت به مقادیر مشاهده‌ای داشته باشد. در این روش بر داده‌های مغناطیسی سطح چند جمله‌ای عبور داده شده است که پیچیدگی معادله ریاضی آن سطح به روند حاکم بر داده‌ها بستگی دارد. با توجه به اینکه انتخاب درجه چندجمله‌ای بستگی به میزان پیچیدگی زمین‌شناسی ناحیه‌ای دارد، لذا از چند درجه مختلف برای تهیه روند سطحی محدوده استفاده گردید. نتیجه حاصل از این کار، روند درجه ۳ سطحی برای تفکیک آنومالی انتخاب شد. این کار با استفاده از نرم‌افزار ژئوسافت تهیه گردید (شکل ۵-۲۴).



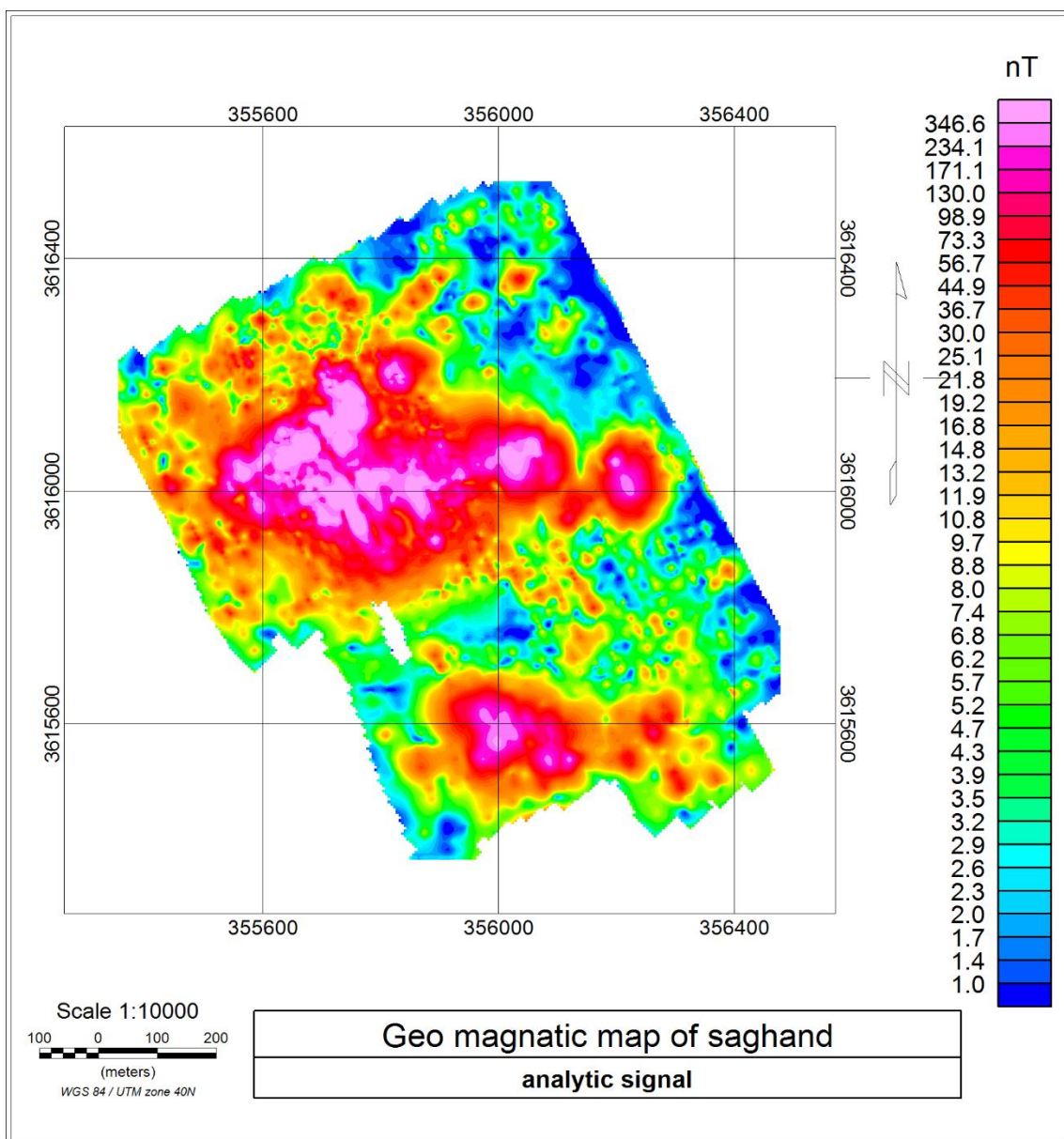
شکل ۵-۲۴: نقشه حاصل از اعمال روند سطحی بر روی برگردان به قطب داده‌های میدان مغناطیسی.

۵-۸-۶ سیگنال تحلیلی

یکی از مزایای روش سیگنال تحلیلی، استفاده همزمان گرادیان‌های افقی و قائم یک تابع پتانسیل است. در این راستا از تبدیل هیلبرت استفاده می‌شود، تبدیل هیلبرت دامنه تابع ورودی را تغییر نمی‌دهد اما

فاز آن را به اندازه ۹۰ درجه تغییر می‌دهد در نتیجه تبدیل هیلبرت مشتق افقی داده‌های میدان پتانسیل، مشتق قائم داده‌ها را بدست خواهد داد.

فیلتر سیگنال تحلیلی روشی برای تخمین مرز توده است. حداکثر مقدار سیگنال تحلیلی بر روی لبه‌های توده قرار می‌گیرد. مزیت استفاده از این روش عدم وابستگی اندازه سیگنال تحلیلی به بردار مغناطیس شدگی توده و همچنین بردار مغناطیس زمین است (شکل ۵-۲۵) نقشه فیلتر سیگنال تحلیلی بر روی داده‌های مغناطیسی را نشان می‌دهد. مطابق این شکل دو آنومالی اصلی مغناطیسی در محدوده اکتشافی دیده می‌شود.



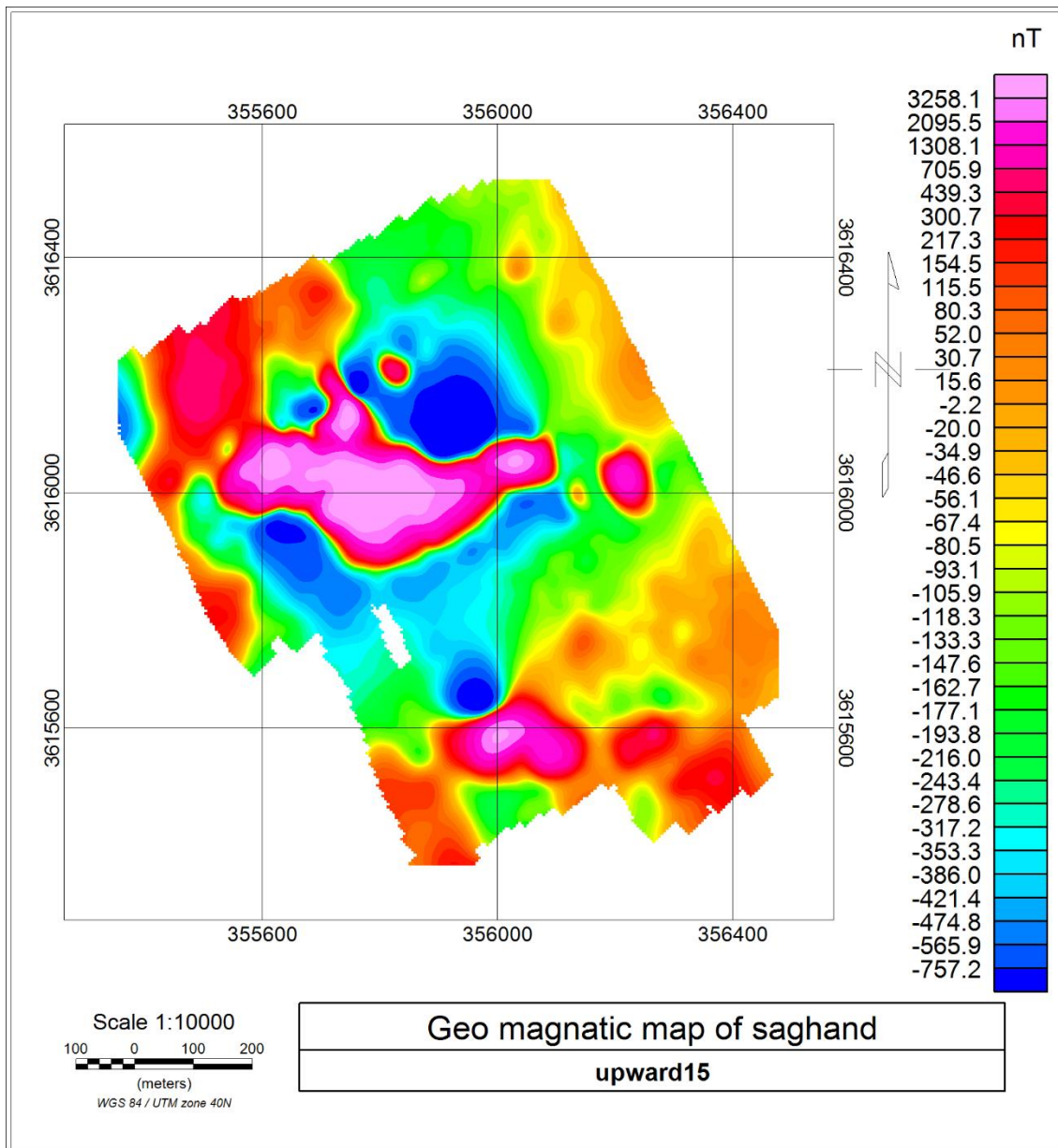
شکل ۵-۲۵: نقشه سیگنال تحلیلی بروی نقشه برگردان به قطب داده‌های مغناطیسی.

به علت عدم وابستگی سیگنال تحلیلی به کمیت‌های جهتی، این روش به خوبی توانست که موقعیت دو آنومالی اصلی در محدوده را با وضوح مناسب نشان دهد.

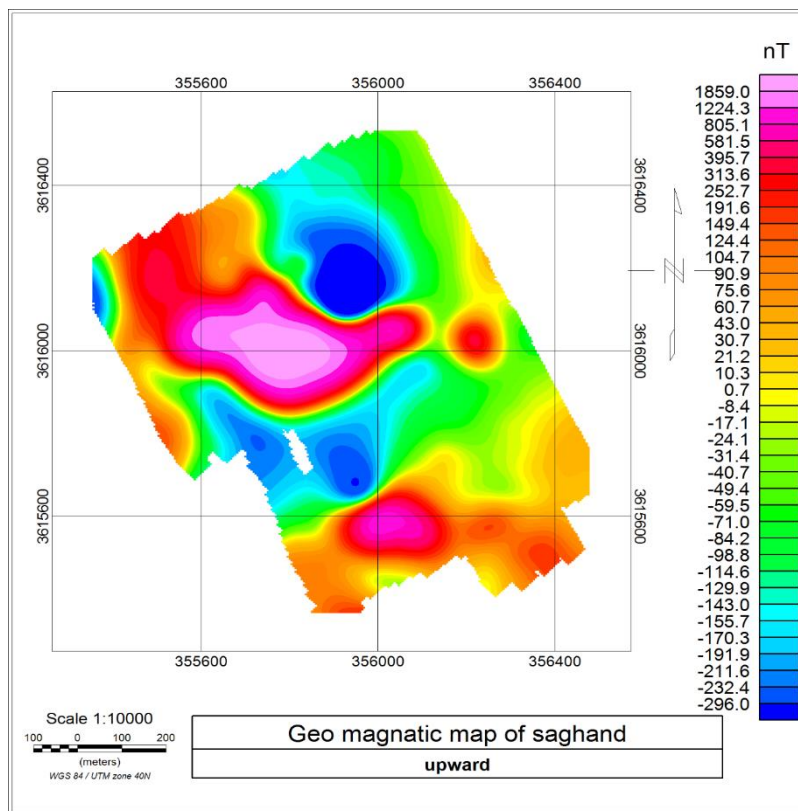
۵-۸-۷ روش گسترش میدانی داده‌های مغناطیسی به سمت بالا

استفاده از روش گسترش به سمت بالا تأثیرات سطحی را حذف و تأثیرات عمیق را به وضوح مشخص می‌نمایند. در این روش داده‌های میدان پتانسیل به وسیله معادلات ریاضی از یک سطح مبنا بر روی سطوح ترازوی در بالای آن تصویر می‌شوند، تا اثر آنوالی‌های محلی تضعیف شود. نتایج حاصل از این روش نشان می‌دهد، هرچه از سطح مبنا بالاتر می‌رویم، آنومالی‌های کوچک با طول موج کوتاه ضعیف شده و در نتیجه آنومالی‌های منطقه‌ای با طول موج بلند باقی می‌مانند.

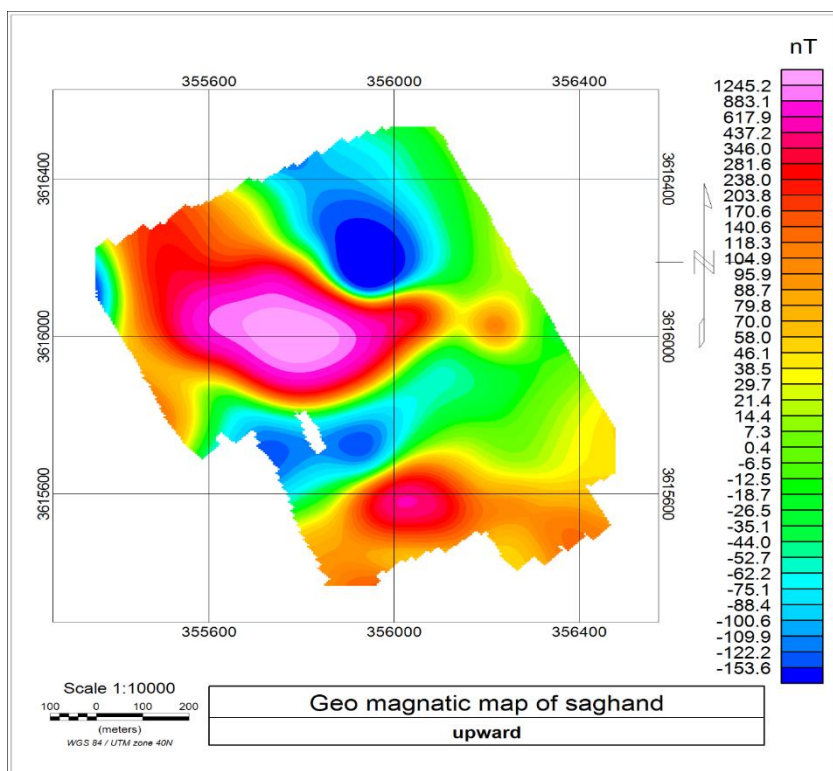
با استفاده از نرم‌افزار مرتبط مقدار گسترش میدان گرانی به سمت بالا در ارتفاع‌های مختلفی از ۱۰ تا ۱۰۰ متری به فواصل ۱۰ متری بر روی نقشه برگردان به قطب داده‌های مغناطیسی اعمال و نقشه‌ی آن رسم گردید. (شکل ۵-۲۶) نقشه‌های حاصل از این روش گسترش به سمت بالا در ارتفاع ۱۵ و (شکل ۵-۲۷) نقشه حاصل از روش گسترش به سمت بالا در ارتفاع ۵۰ متری را نشان می‌دهد. و (شکل ۵-۲۸) نقشه گسترش به سمت بالای ۸۵ متر را نشان می‌دهد. در ارتفاع‌های بیش از ۸۵ متری، به علت بزرگی و ابعاد آنومالی مرکزی، اثر تغییر آن کم بوده و تا ارتفاع ۱۲۰ متری هم قابل بررسی است. لذا با افزایش تا حدود ۱۵۰ متری، ساختار ظاهری آنومالی به صورت گرادپانی تغییر خواهد نمود.



شکل ۵-۲۶: نقشه گسترش به سمت بالای ۱۵ متر را نشان می‌دهد مطابق (شکل ۵-۲۶)، با گسترش میدان به اندازه ۱۵ متر هنوز آنومالی‌های اصلی مغناطیسی با گسترش و وضعیت مناسب قابل بررسی است. این موضوع در اثر افزایش ارتفاع جابه‌جایی میدان هنوز اثر آنومالی اصلی قابل ملاحظه است.



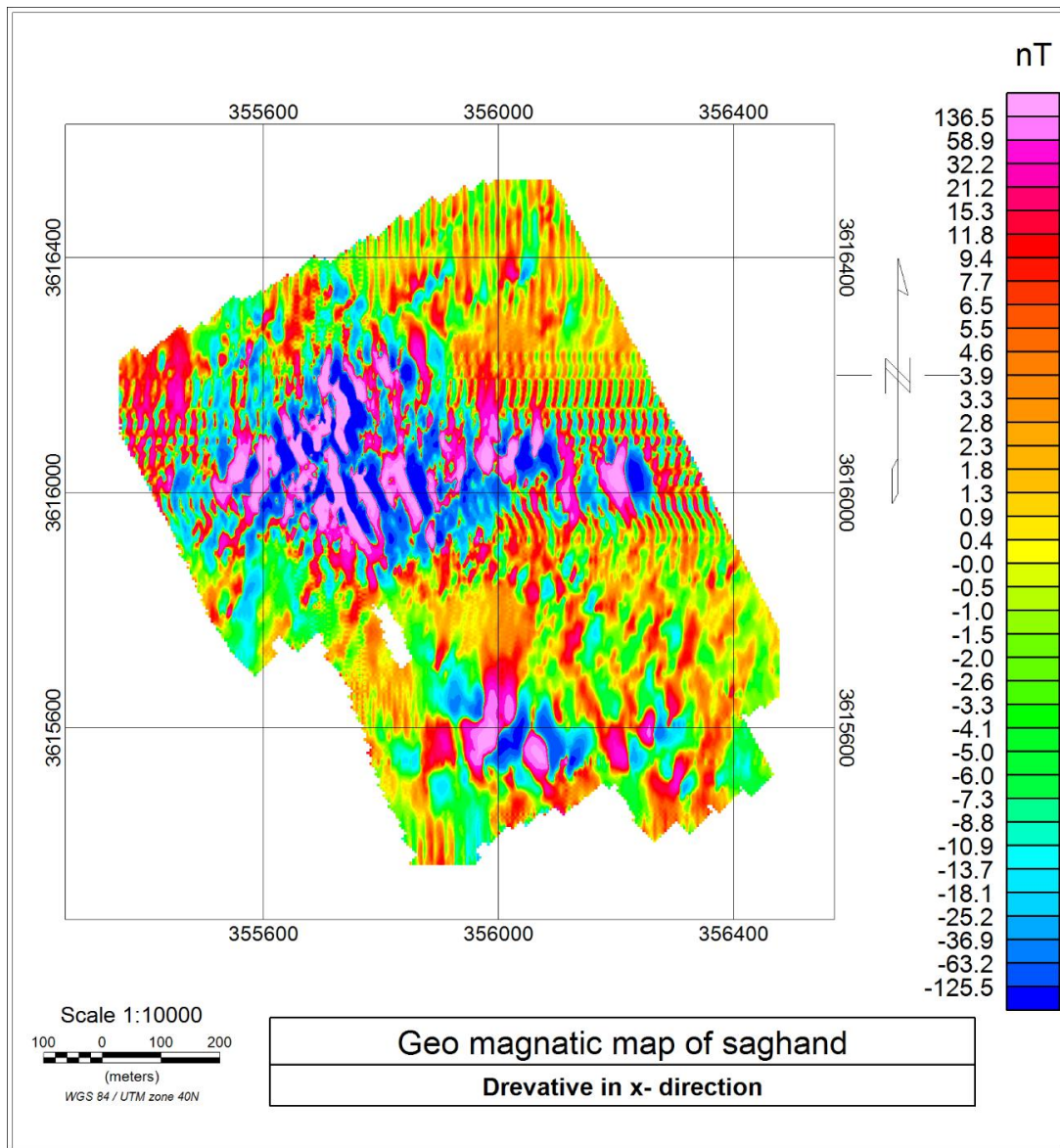
شکل ۵-۲۷: نقشه گسترش به سمت بالای ۵۰ متر.



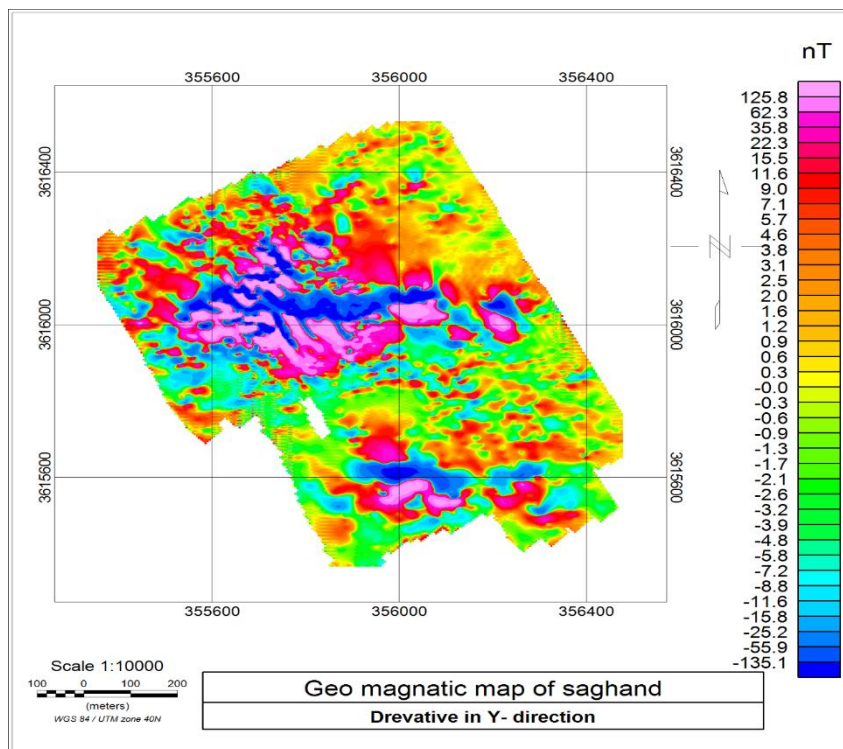
شکل ۵-۲۸: نقشه به سمت بالای ۸۵ متر

۵-۸-۸ فیلترهای مشتق

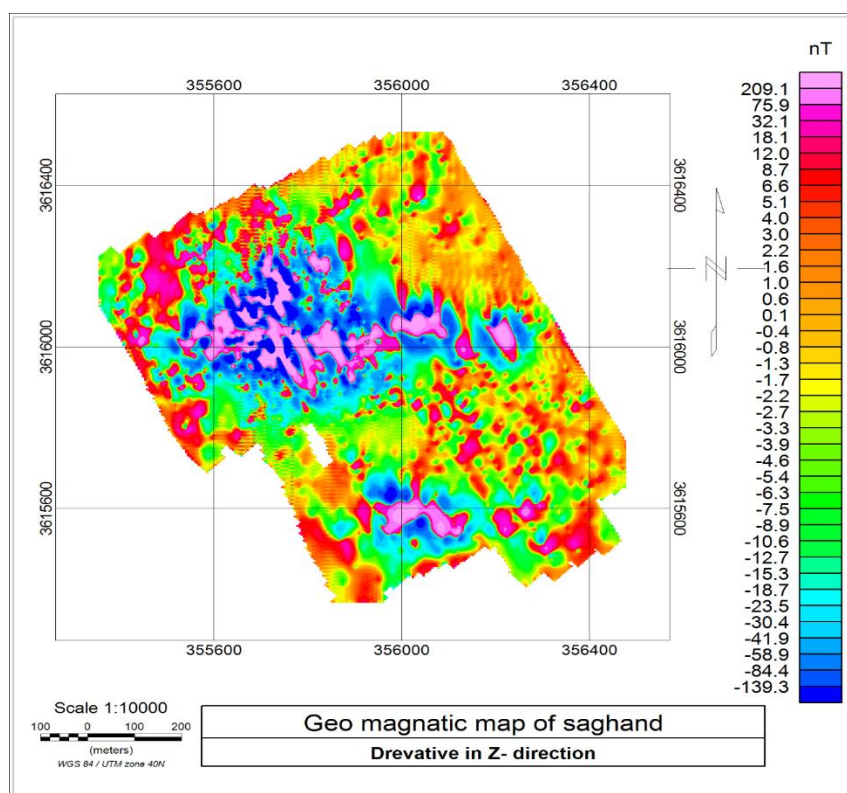
نتایج فیلترهای مشتقات افقی و قائم در (شکل ۵-۲۹)، (شکل ۵-۳۰) و (شکل ۵-۳۱) ارائه شده است. با توجه به این نکته که بر روی مرز آنومالی مشتقات افقی حداکثر و مشتق قائم صفر می‌باشد می‌توان از نتایج فیلترهای مشتق، برای تخمین مرز استفاده کرد. از میان این نقشه‌ها، مشتق قائم نسبت به مشتقات افقی تفکیک بهتری از آنومالی را نشان می‌دهد. به منظور بررسی وجود احتمالی ساختارهای کم عمق، از فیلتر مشتق اول قائم که تغییرات میدان را در جهت عمودی نشان می‌دهد، استفاده شده است. این روش به عنوان یک ابزار مناسب جهت آشکارسازی مولفه‌های میدان پتانسیل با طول موج کوتاه‌تر مربوط به آنومالی‌های کم عمق می‌باشد. نتایج حاصل از مشتق اول در جهت x و y حدود آنومالی‌ها مشخص است ولی تأثیر روند مشتق‌گیری روی نتایج مشهود است. مشتق اول قائم نیز اثر آنومالی‌های سطحی را تا حدود زیادی مشخص نموده است ولی اثر نوفه موجود سبب قطعه قطعه شدن اثر آنومالی شده است.



شکل ۵-۲۹: نقشه مشتق در جهت X داده‌های مغناطیسی آنومالی ۲۳ سنگ آهن ساغند



شکل ۵-۳: نقشه مشتق در جهت Y داده‌های مغناطیسی آنومالی ۲۳ سنگ آهن ساغند.



شکل ۵-۳: نقشه مشتق در جهت Z داده‌های مغناطیسی آنومالی ۲۳ سنگ آهن ساغند.

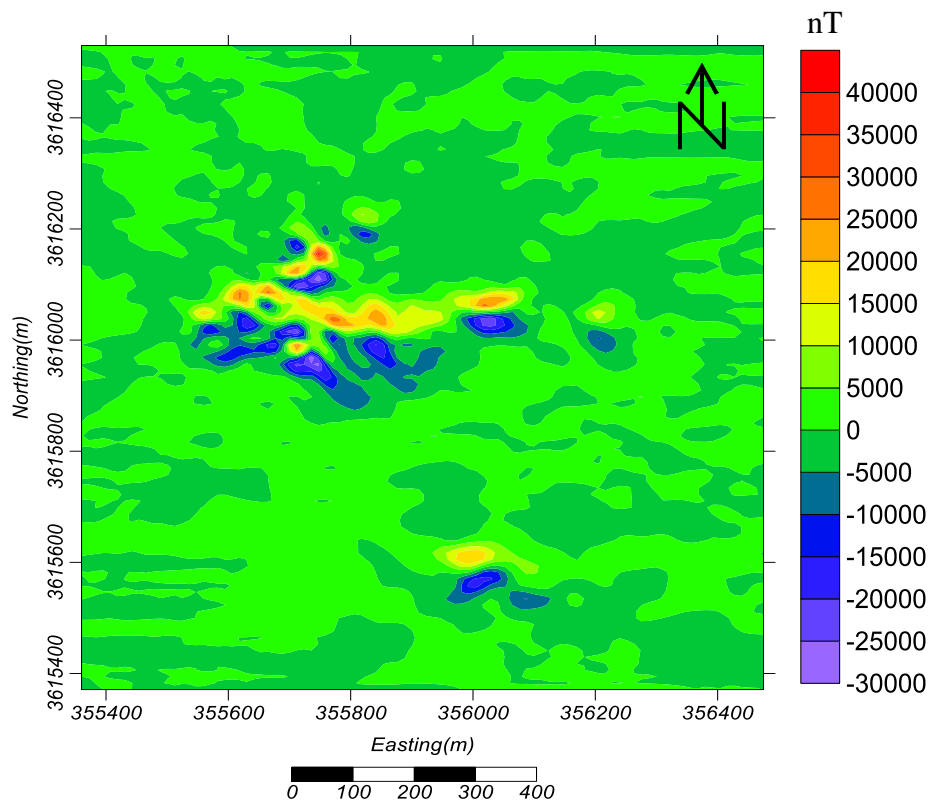
۵-۸-۹ اعمال فیلترهای لاپلاس، سوپل، پرویت و کنی

۵-۸-۹-۱ فیلترهای لاپلاس اول و دوم

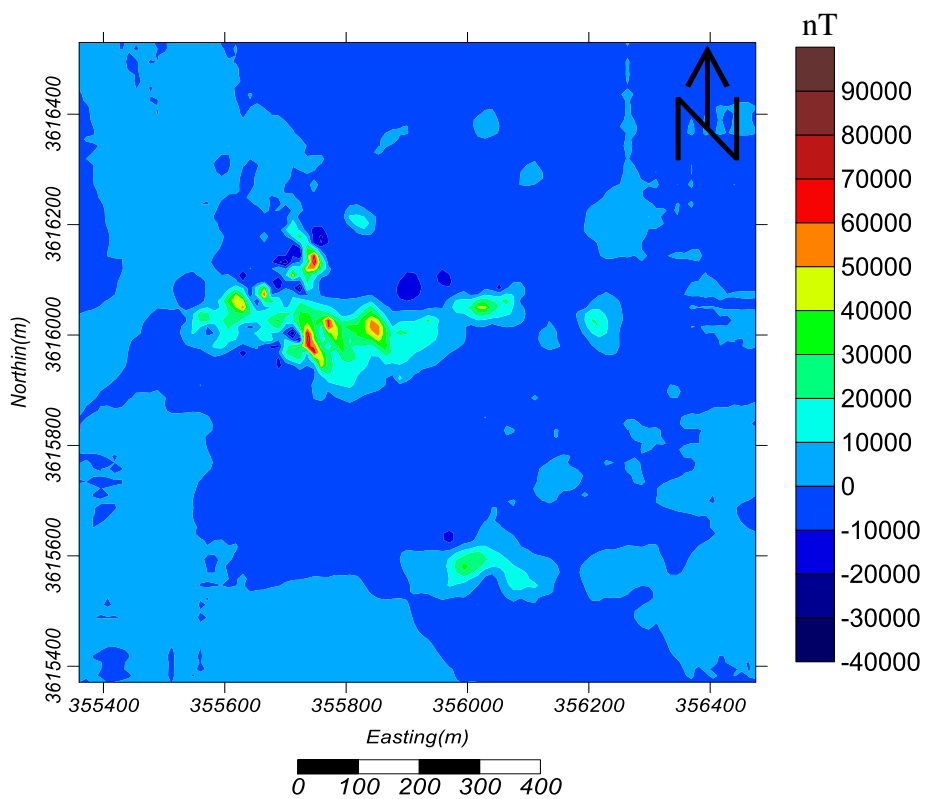
تغییرات ناگهانی در مقادیر درجات خاکستری در یک تصویر بیانگر لبه است. به عبارت دیگر لبه عبارت از آن قسمت از تصویر است که چشم بیننده به محض مشاهده به آن متمرکز می‌شود. پیکسل-های لبه، پیکسل‌های هستند که مقدار شدت روشنایی یک تصویر تغییرات ناگهانی داشته باشد و مجموعه پیکسل‌های لبه متصل به هم هستند.

برای تفکیک آنومالی‌های مغناطیسی از فیلترهای لاپلاس اول و دوم استفاده گردیده است. عملکرد این دو فیلتر روی داده‌ها نتیجه مؤثری ارائه نداده است، در حالی که حالت دوقطبی ایجاد کرده است. واضح است که مشتقات مرتبه اول و دوم لاپلاس برای آشکارسازی لبه و مرز توده مناسب هستند. مشتق مرتبه اول لاپلاس لبه‌ها را ضخیم و مشتق مرتبه دوم لاپلاس لبه‌های نازکتری در تصویر ایجاد می‌کند. فیلترهای گذر بالا (لاپلاس مرتبه اول و دوم) اطلاعات فرکانس پایین تصاویر را حذف کرده و از این رو باعث برجسته شدن اطلاعات فرکانس بالا مثل لبه‌ها و مرزها می‌شوند. فیلترهای لاپلاس اول و دوم فیلترهای همه جهته هستند که مرزهای آنومالی را در همه جهات برجسته می‌سازند.

(شکل ۵-۳۲) نقشه اعمال فیلترهای لاپلاس اول بر روی نقشه برگردان به قطب داده‌های مغناطیسی را نشان می‌دهد. (شکل ۵-۳۳) نقشه فیلتر لاپلاس دوم بر روی نقشه برگردان به قطب داده‌های مغناطیسی را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۳۲: نقشه فیلتر لاپلاس اول بر روی داده‌های برگردان به قطب مغناطیسی



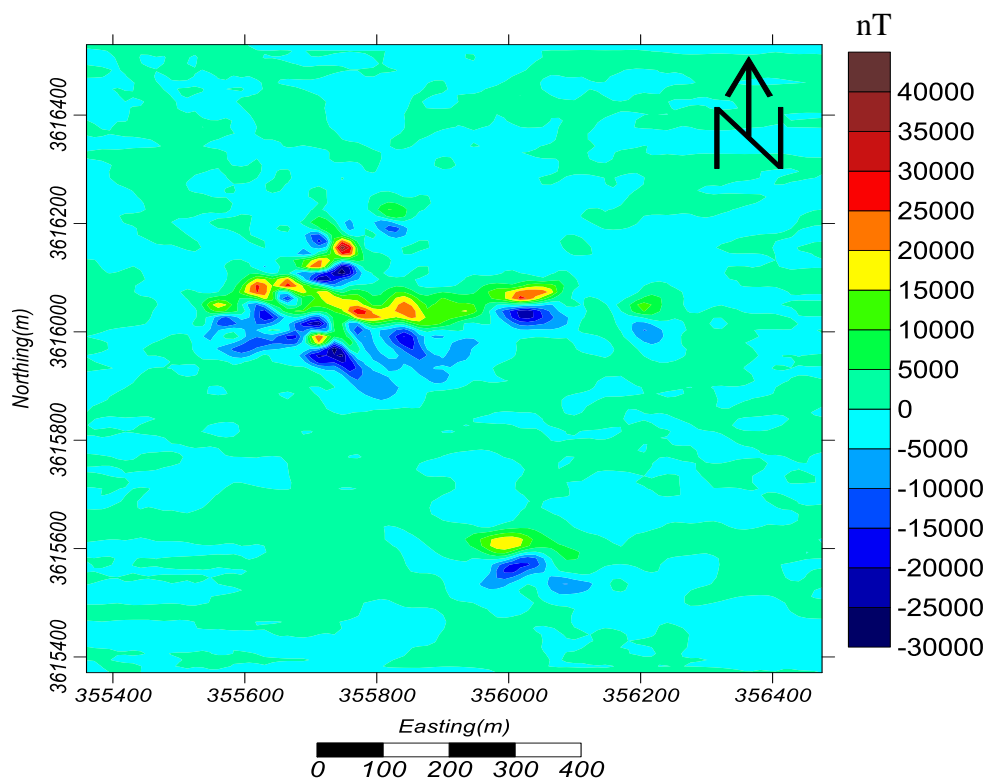
شکل ۵-۳۳: نقشه فیلتر لاپلاس دوم بر روی داده‌های برگردان به قطب مغناطیسی

۵-۸-۹-۲ سوبل در جهت x و درجهت y ، پرویت در جهت x و در جهت y

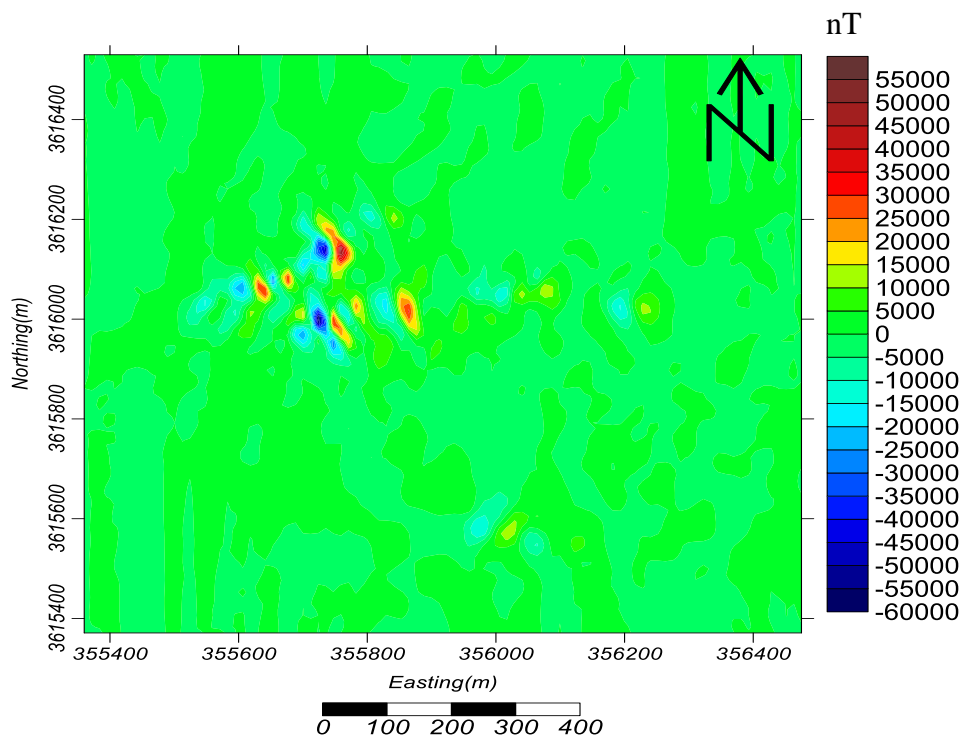
همان گونه که قبلاً اشاره شد برای آشکارسازی لبه، بیشینه‌های محلی گرادیان تصویر، به عنوان نماینده مناسب برای لبه در نظر گرفته می‌شوند. آشکارساز، سوبل و پرویت به این دسته تعلق دارند. محاسبه مقدار گرادیان سوبل و پرویت به عنوان دو فیلتر بالاگذر برای تعیین لبه و مرز کارایی دارد.

استفاده از فیلتر سوبل و پرویت در جهت‌های x و y به عنوان فیلترهای بالاگذر مرزهای موجود بینداده‌های مغناطیسی را به خوبی بارزسازی نموده است. به کارگیری فیلترها در جهت x و y فقط سبب بارزسازی آن دسته از لبه‌ها می‌شود که در امتداد مورد نظر قرار گرفته‌اند.

(شکل ۵-۳۴) اعمال فیلتر سوبل در جهت x و (شکل ۵-۳۵) نقشه فیلتر سوبل در جهت y را بر روی داده‌های برگردان به قطب مغناطیسی را نشان می‌دهد. (شکل ۵-۳۶) اعمال فیلتر پرویت در جهت x را نشان می‌دهد. (شکل ۵-۳۷) نقشه فیلتر پرویت در جهت y را نشان می‌دهد. که کارایی فیلترهای سوبل و پرویت در جهت‌های x و y تقریباً همانند هم و کیفیت جداسازی خوبی ندارند و آنومالی را دوقطبی نمایش می‌دهند.

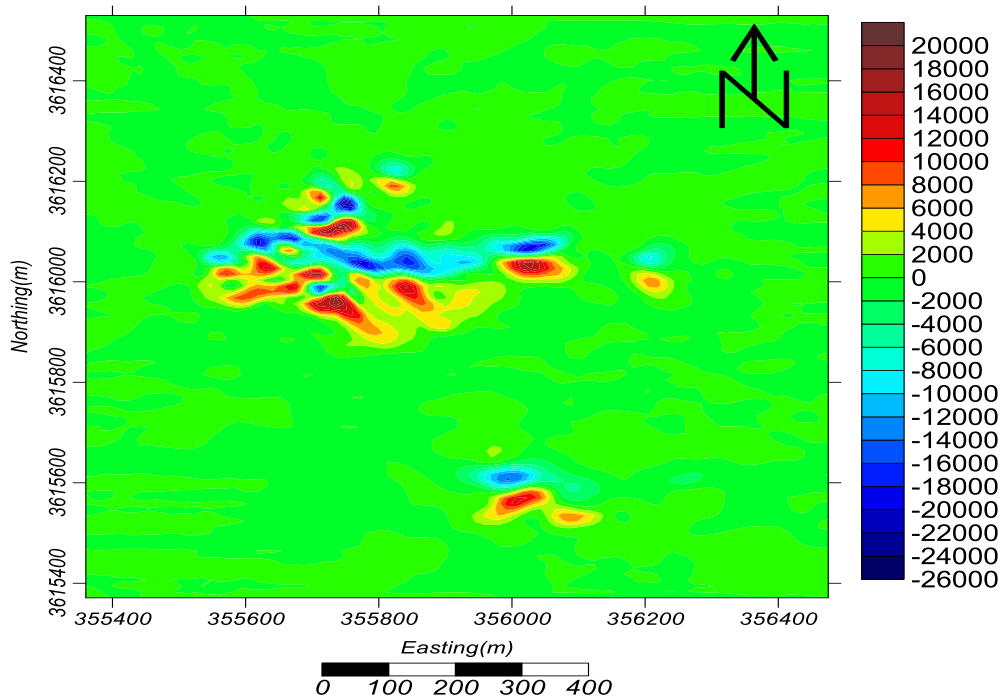


شکل ۵-۳۴: نقشه فیلتر سوبل در جهت x .

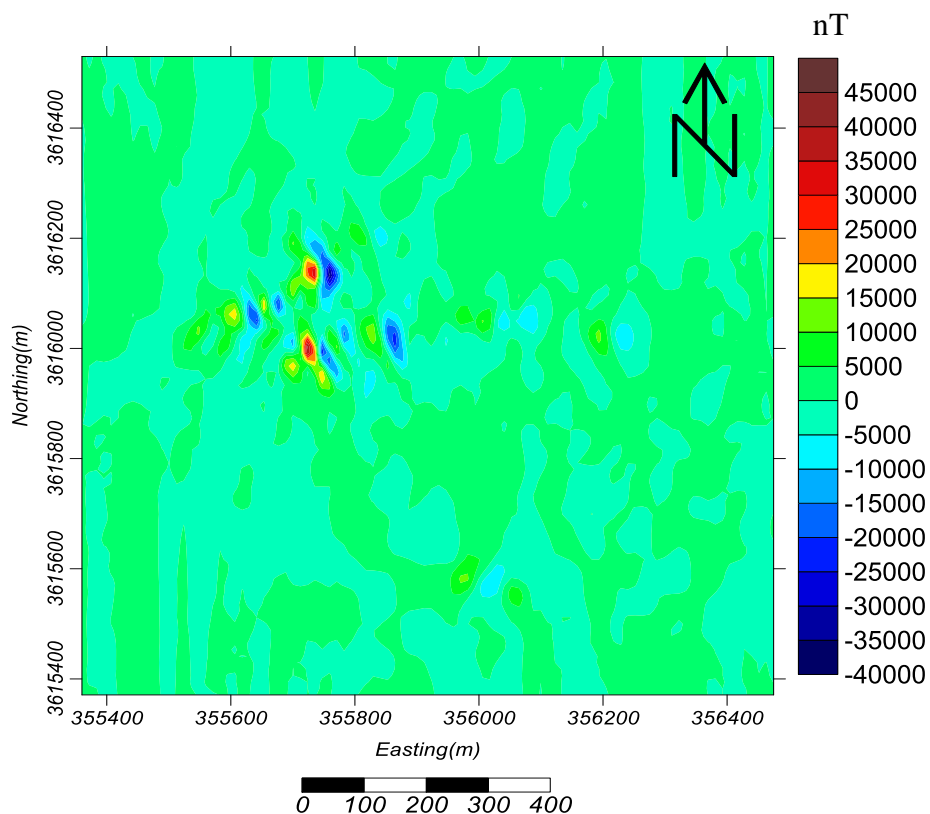


شکل ۳۵-۵: نقشه فیلتر سوبل در جهت y .

nT



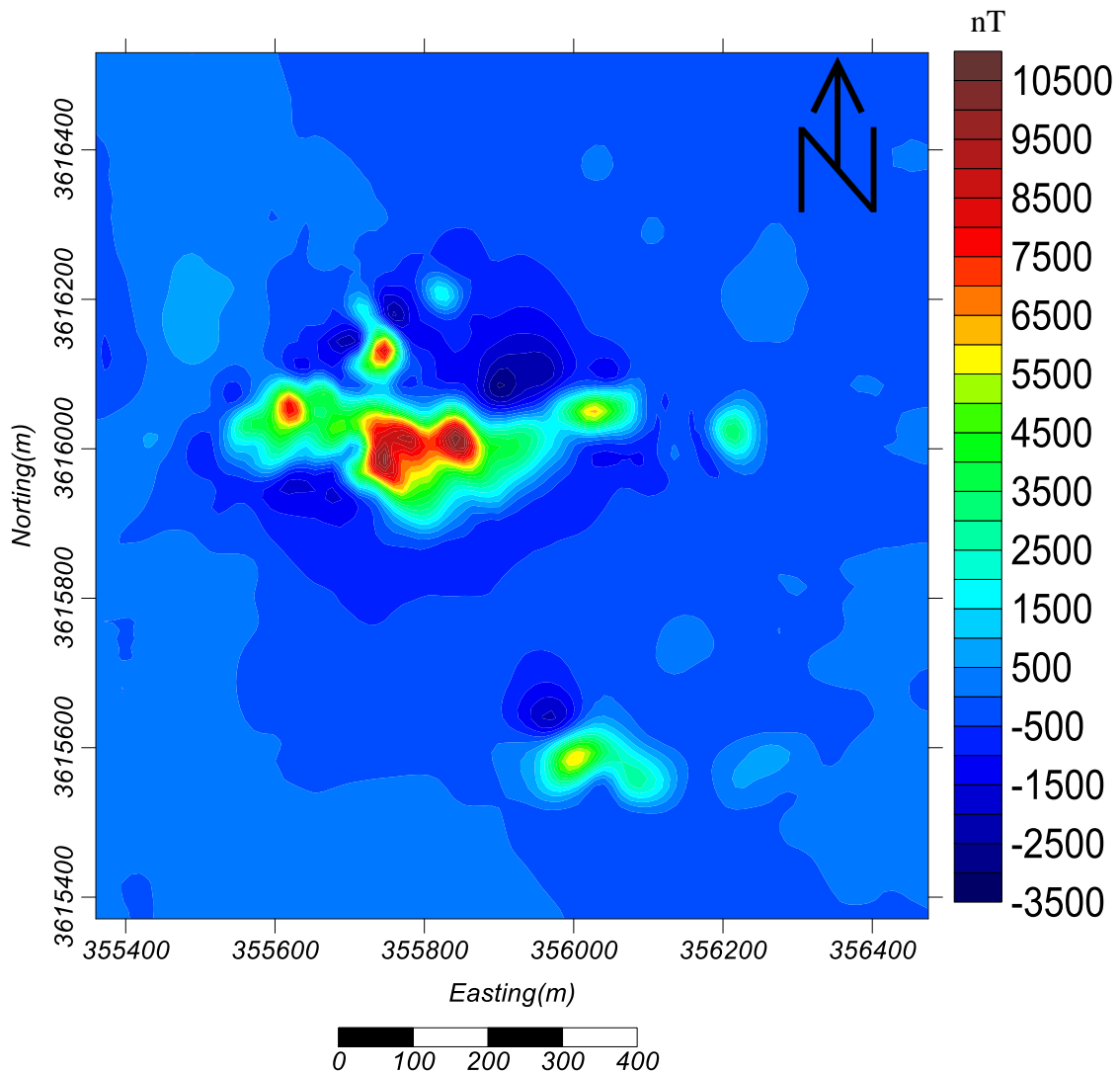
شکل ۳۶-۵: نقشه فیلتر پرویت در جهت x .



شکل ۵-۳۷: نقشه فیلتر پرویت در جهت y.

۵-۸-۹-۳ فیلتر میانگین

فیلتر میانگین یک فیلتر پایین گذر که مقدار هر پیکسل را با مقدار میانگین اطراف آن جایگزین می کند، این کار سبب حذف آثار نویزی می شود و سبب بارز نمودن آنومالی های اصلی می شود. با اعمال این فیلتر بر روی نقشه داهای برگردان به قطب مغناطیسی ۲۳ سنگ آهن ساغند تا حدودی فرکانس های بالا کاهش و نویزها حذف شده اند. به عبارت دیگر فیلتر میانگین یک فیلتر نرم کننده می باشد. (شکل ۵-۳۸) نقشه فیلتر میانگین بر روی مغناطیسی را آنومالی ۲۳ را نشان می دهد.



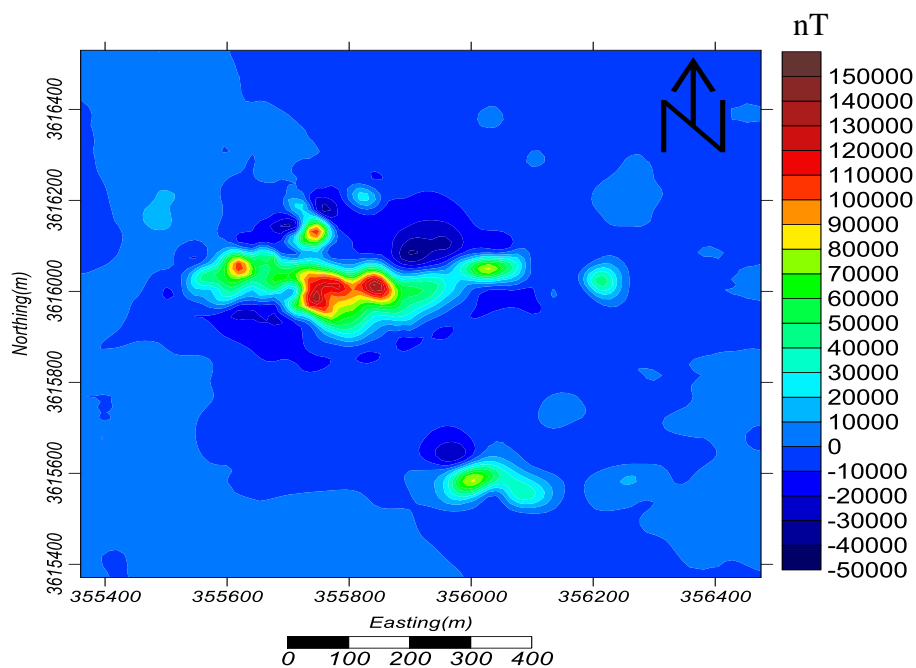
شکل ۵-۳۸: نقشه فیلتر میانگین بر روی داده‌های برگردان به قطب مغناطیسی. بکارگیری این روش روی داده‌های مغناطیس منطقه ساغند، سبب آشکارسازی آنومالی‌های اصلی آنومالی ۲۳ ساغند است.

۵-۸-۹-۴ فیلترهای سو بل دوبعدی، کنی و پرویت

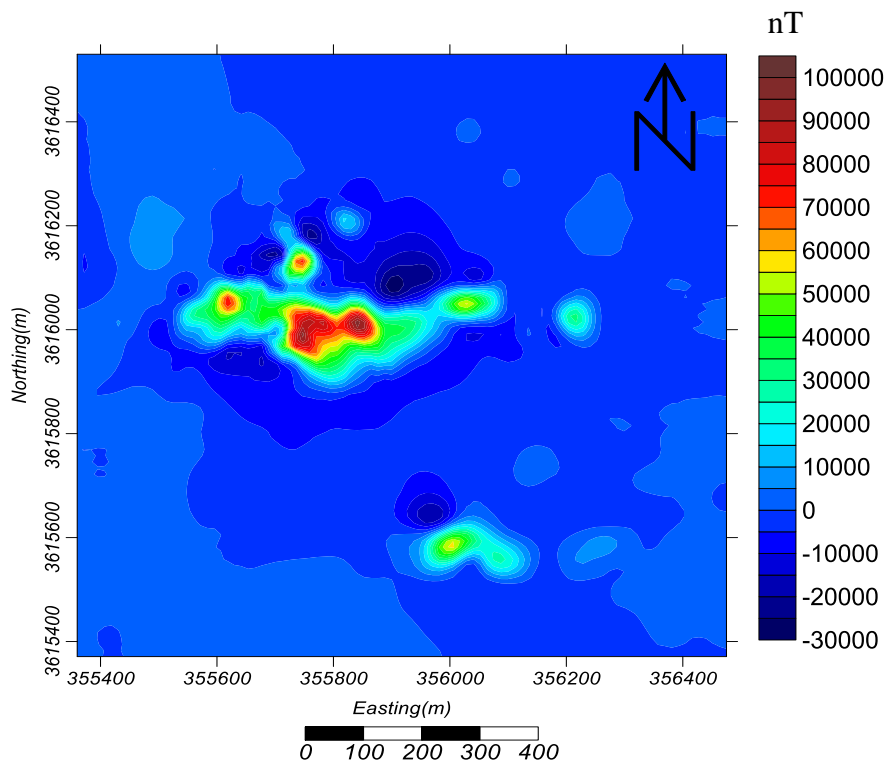
معمولاً در محل لبه، گرادیان داده‌ها بیشینه است (پیکسل‌های مربوط به لبه‌ها نیز در مقایسه با پیکسل‌های کناری دارای شدت بیشتری‌اند). در نتیجه لبه دارای بسامد زیاد است. چون آنومالی محلی دارای فرکانس زیاد و طول موج کم است بنابراین استفاده فیلترها مذکور می‌توانند کارایی بهتری در تعیین لبه و مرز آنومالی داشته باشند.

این فیلترها به صورت دوبعدی یعنی همزمان هم در جهت x و هم در جهت y مرزها و لبه‌ها را برجسته می‌سازند. (شکل ۵-۳۹) نقشه اثر ناشی از عملکرد فیلتر سو بل دوبعدی، (شکل ۵-۴۰) نقشه

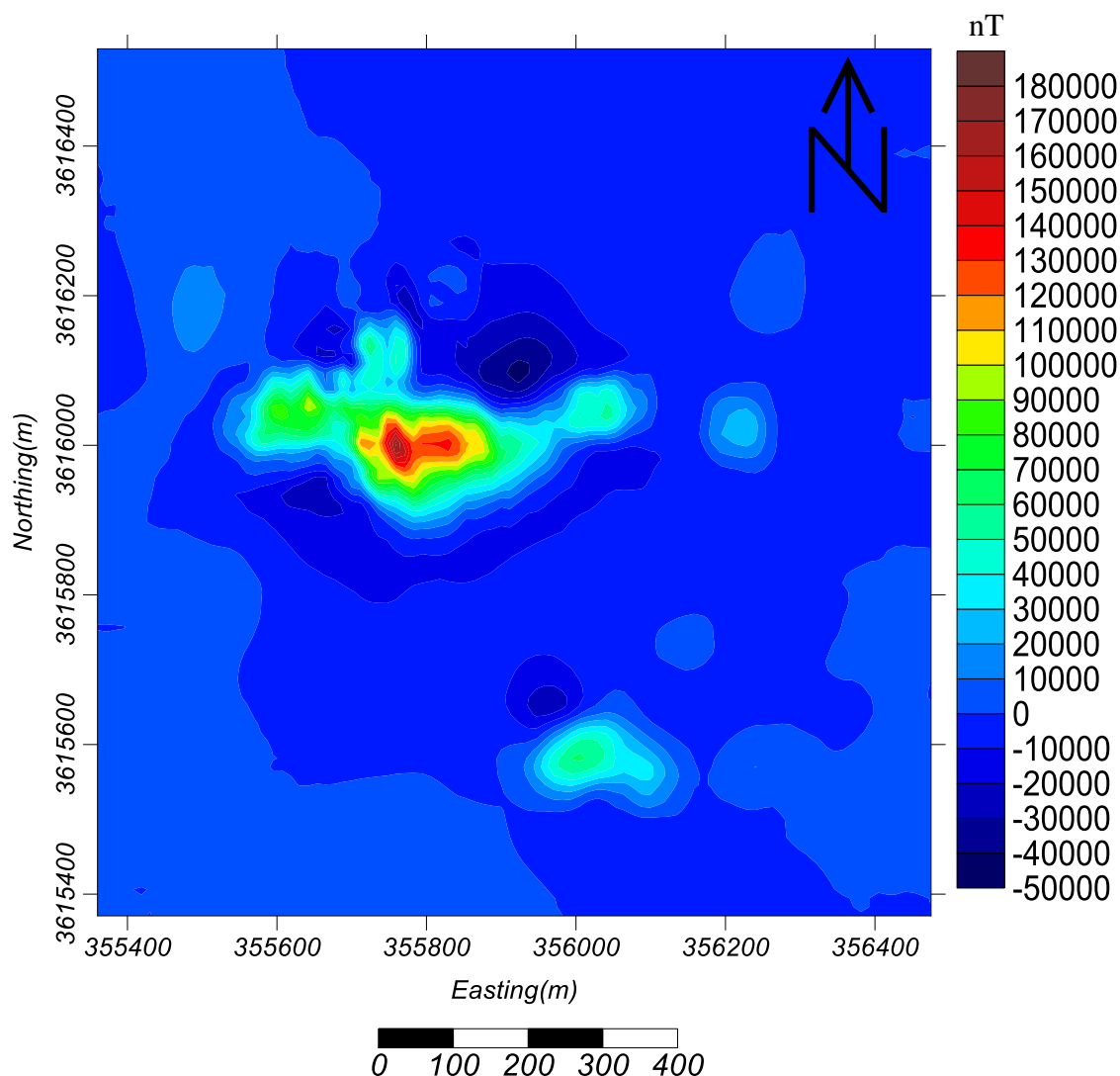
فیلتر پرویت دوبعدی و (شکل ۵-۴۱) کنی دوبعدی را نشان می‌دهد. بر روی داده‌های مغناطیسی را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۳۹: نقشه سوپل دوبعدی.



شکل ۵-۴۰: نقشه فیلتر پرویت دو بعدی.



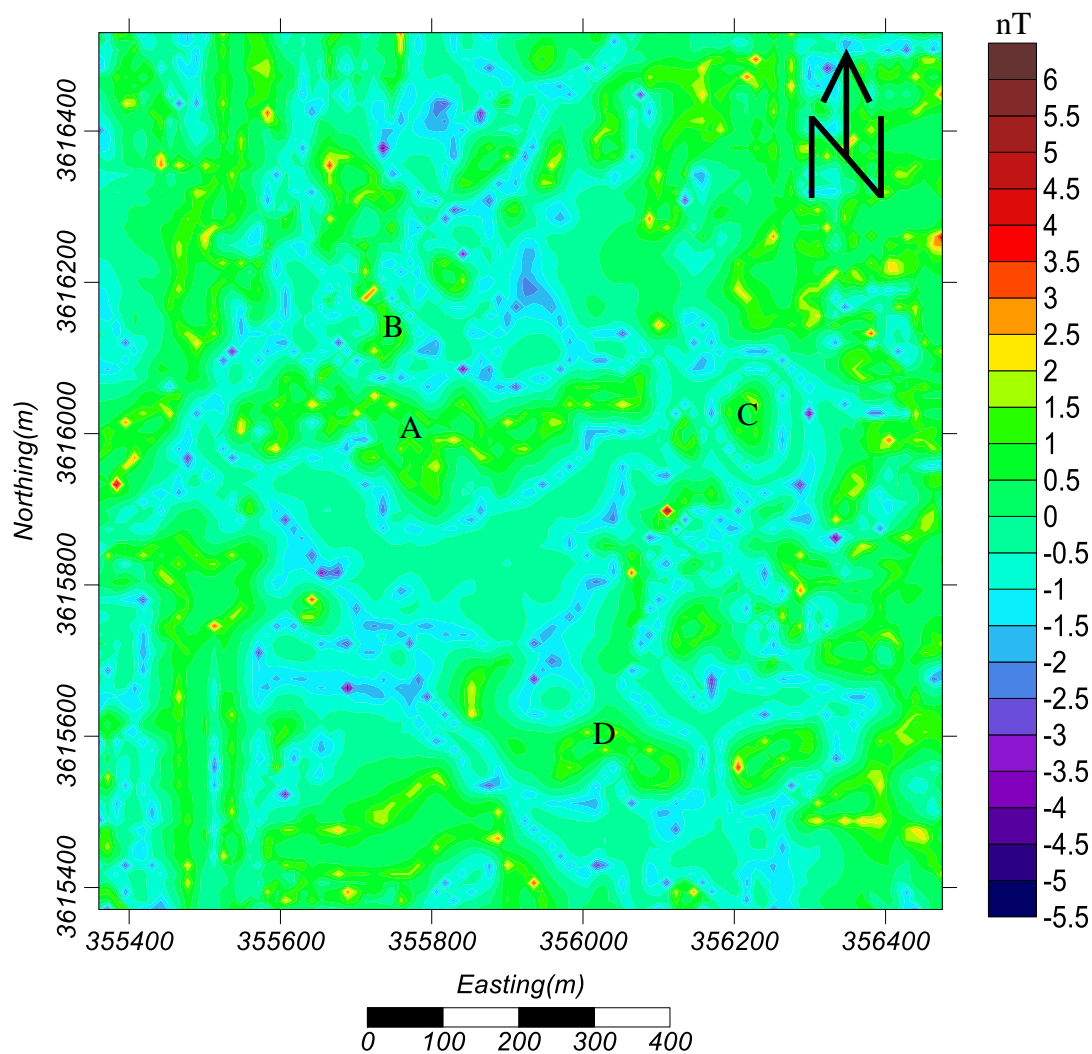
شکل ۵-۴۱: نقشه فیلتر کنی را نشان می‌دهد.

مطابق این نقشه‌ها همانند روش گرانی‌سنجی این فیلترها با حذف آثار نویزی توانسته محدوده اصلی آنومالی را به خوبی شناسایی و تفکیک نماید که با آثار زمین‌شناسی منطقه هماهنگی دارد.

۵-۸-۱۰ فیلتر زاویه تیلت هایپربولیک (HTA)

کاربرد زاویه تیلت بر روی داده‌های نقشه‌های مختلف میدان پتانسیل و بررسی نتایج حاصل از آن نشان داده که اگر در محاسبات مربوط به زاویه تیلت به جای استفاده از تابع تانژانت از قسمت حقیقی تابع تانژانت هایپربولیک استفاده شود، نتایج تخمین مرز و لبه توده‌های زیر سطحی نسبت به انواع فیلترهای گفته شده بهتر خواهد بود و آنومالی‌ها با شدت بیشتری برجسته خواهند شد. بعد از محاسبه مقدار تیلت هایپربولیک مقدار اثر منفی و مثبت درست در بالای لبه‌ها و مرزهای توده قرار خواهد گرفت. در مقایسه با فیلتر زاویه تیلت مرز مدل تیزتر مشخص شده است. از مزایای بسیار مهم این فیلتر

عدم حساسیت آن به نویزهای موجود و همچنین نویزهای القاء شده در تصویر فیلتر شده می‌باشد. (شکل ۵-۴۲) نقشه فیلتر زاویه تیلت ها یپربولیک بر روی مغناطیسی آنومالی ۲۳ را نشان می‌دهد. مطابق (شکل ۵-۴۲) این فیلتر باعث بارزسازی نسبی چهار آنومالی مغناطیس (A, B, C, D) شده است.



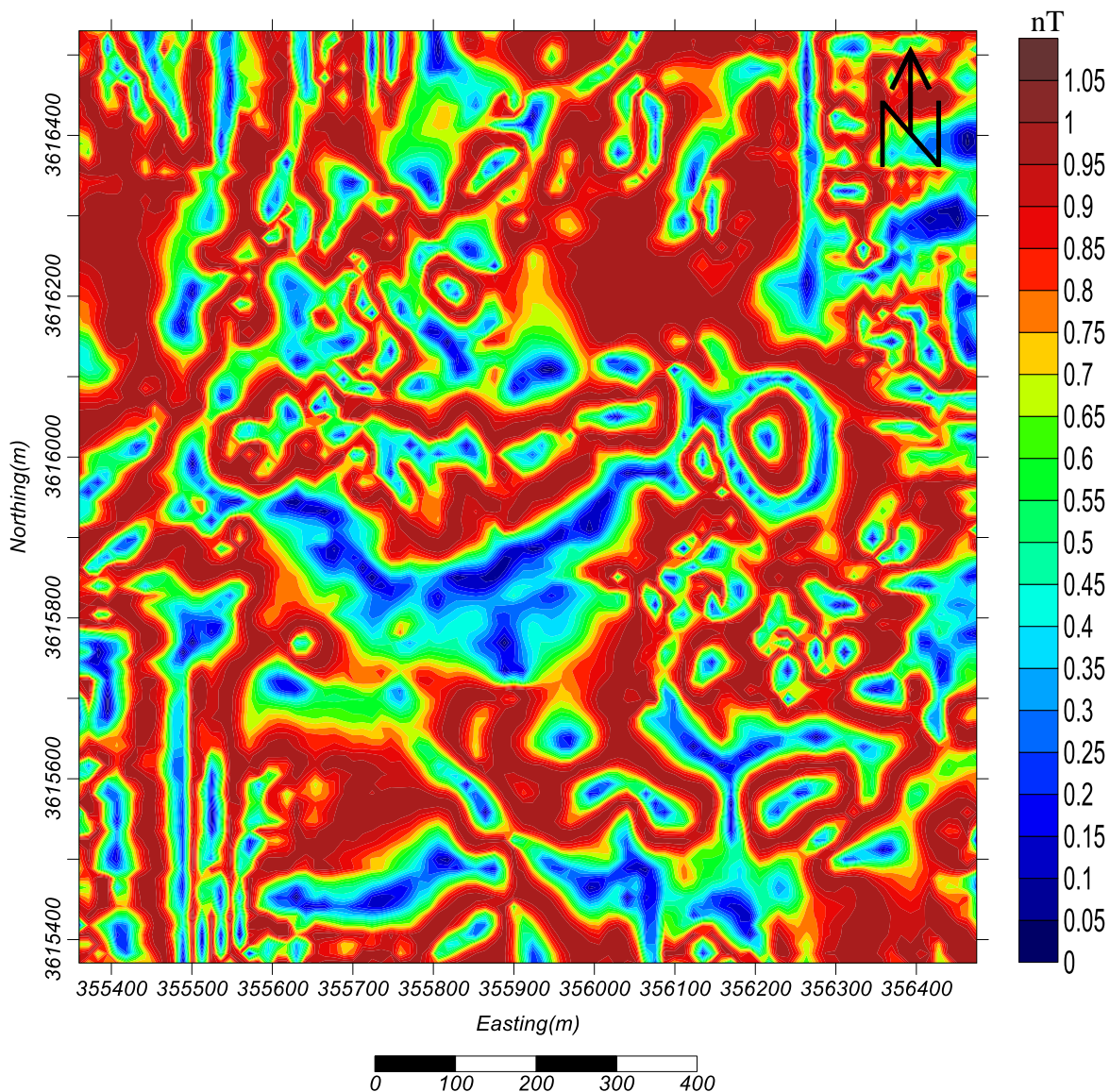
شکل ۵-۴۲: نقشه زاویه تیلت هایپربولیک.

بنابر این این فیلتر توانسته است به خوبی سبب اشکارسازی آنومالی‌ها شود.

۵-۸-۱۱ فیلتر تتا

این فیلتر به صورت نسبت بین اندازه گرادیان افقی و اندازه سیگنال تحلیلی داده‌های میدان پتانسیل تعریف می‌شود. در محل لبه‌های توده مقدار مشتق قائم صفر است در نتیجه بردار سیگنال تحلیلی با افق زاویه صفر درجه می‌سازد. در واقع در این فیلتر اندازه گرادیان افقی کل توسط اندازه سیگنال تحلیلی نرمال می‌شود. این فیلتر منجر به تخمین مرز توده‌های مولد آنومالی میدان پتانسیل می‌شود. محدودیت

استفاده از این فیلتر در مورد داده‌های مغناطیسی است که ابتدا داده‌ها باید به قطب یا استوا منتقل شوند تا ماهیت دو قطبی داده‌ها حذف شود. شکل ۴۳-۵ نقشه فیلتر تتا بر روی داده‌های مغناطیسی بر روی آنومالی ۲۳ سنگ آهن را نشان می‌دهد.

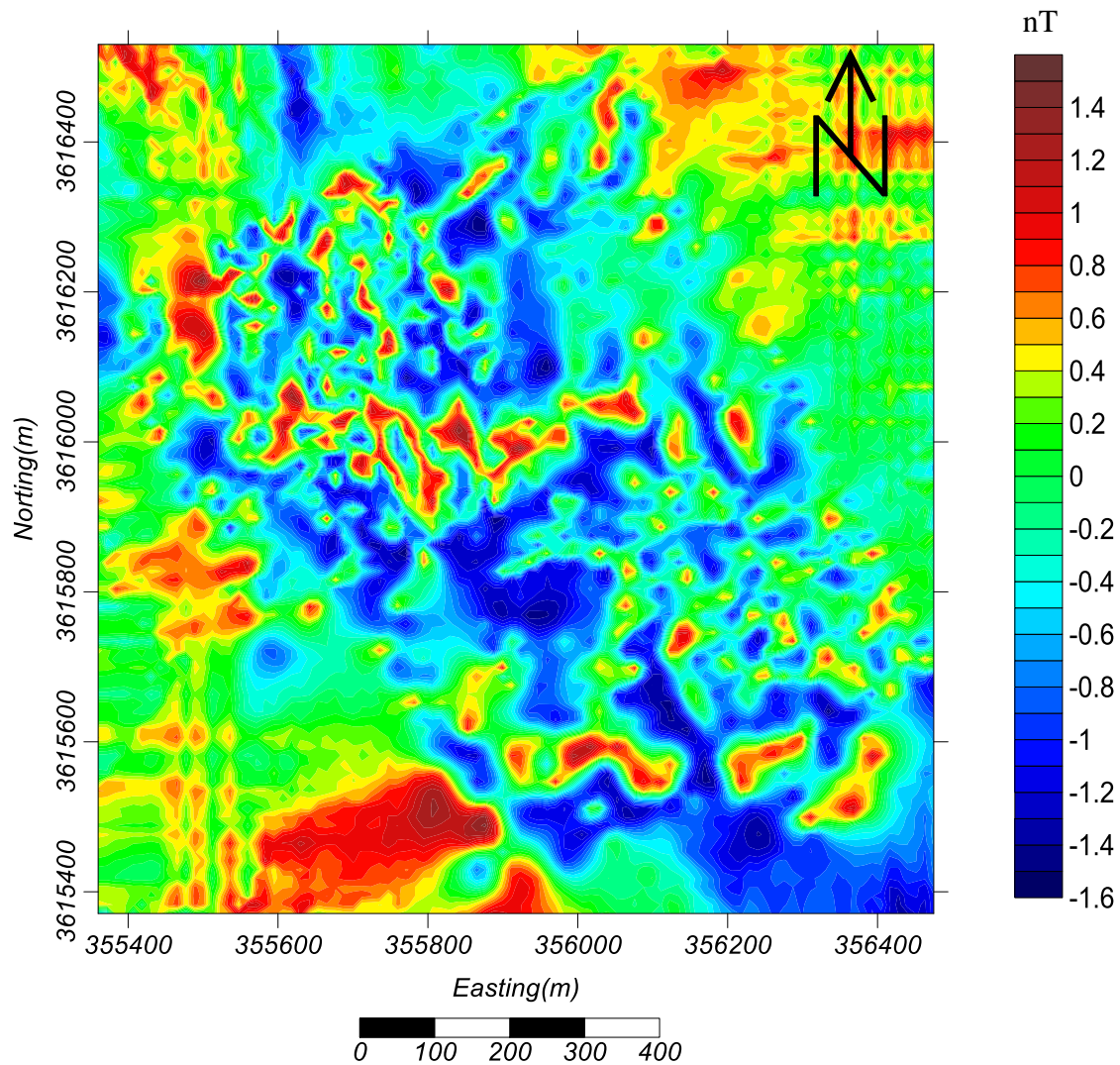


شکل ۴۳-۵: نقشه فیلتر تتا بر روی داده‌های مغناطیسی.
 مطابق شکل (۴۳-۵) این فیلتر توانسته به خوبی خطوط را نشان دهد.

۵-۸-۱۲ فیلتر زاویه تیلت

یکی از فیلترهای فاز محلی متداول جهت برجسته‌سازی آنومالی‌ها در تصاویر میدان پتانسیل، فیلتر زاویه تیلت است. این فیلتر به صورت نسبت مشتق قائم به اندازه مشتق افقی کل داده‌های میدان

پتانسیل تعریف می‌شود. تغییرات زاویه تیلت در بالای توده‌های معدنی و همچنین بدون بعد بودن آن مهمترین دلیل کاربرد این فیلتر است. شکل ۴۴-۵ نقشه فیلتر زاویه تیلت بر روی داده‌های مغناطیسی آنومالی ۲۳ را نشان می‌دهد.



شکل ۴۴-۵: نقشه فیلتر زاویه تیلت بر روی داده‌های مغناطیسی.
 مطابق شکل (۴۴-۵) فیلتر زاویه تیلت نتوانسته اثر مناسبی برای تشخیص ارائه دهد.

۹-۵ بررسی نتایج و تعیین نقاط حفاری

پس از پردازش و اعمال فیلترهای مختلف روی داده‌های گرانی و مغناطیس محدوده اکتشافی مورد مطالعه می‌توان گفت که اعمال این فیلترها بر اساس مفاهیم مرتبط به آن‌ها نتایج متفاوتی ارائه نموده‌اند. با توجه به نقش فیلترهای تبدیل میدان و روند سطحی نتایج قابل قبولی ارائه شده و آنومالی به خوبی

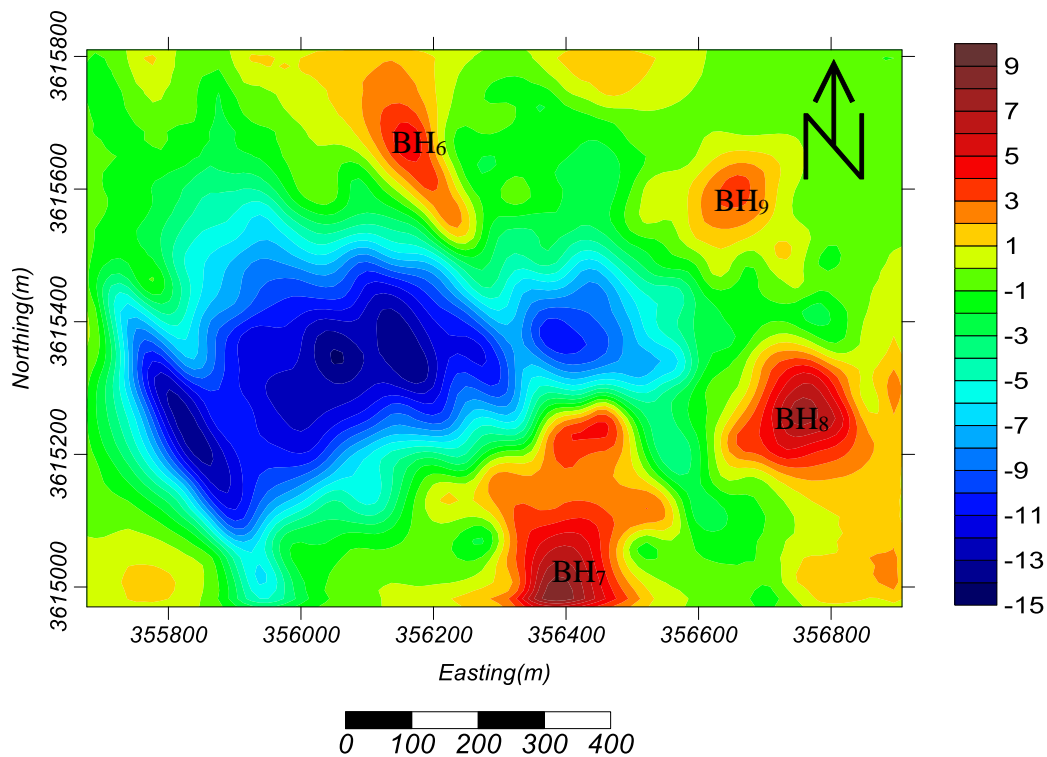
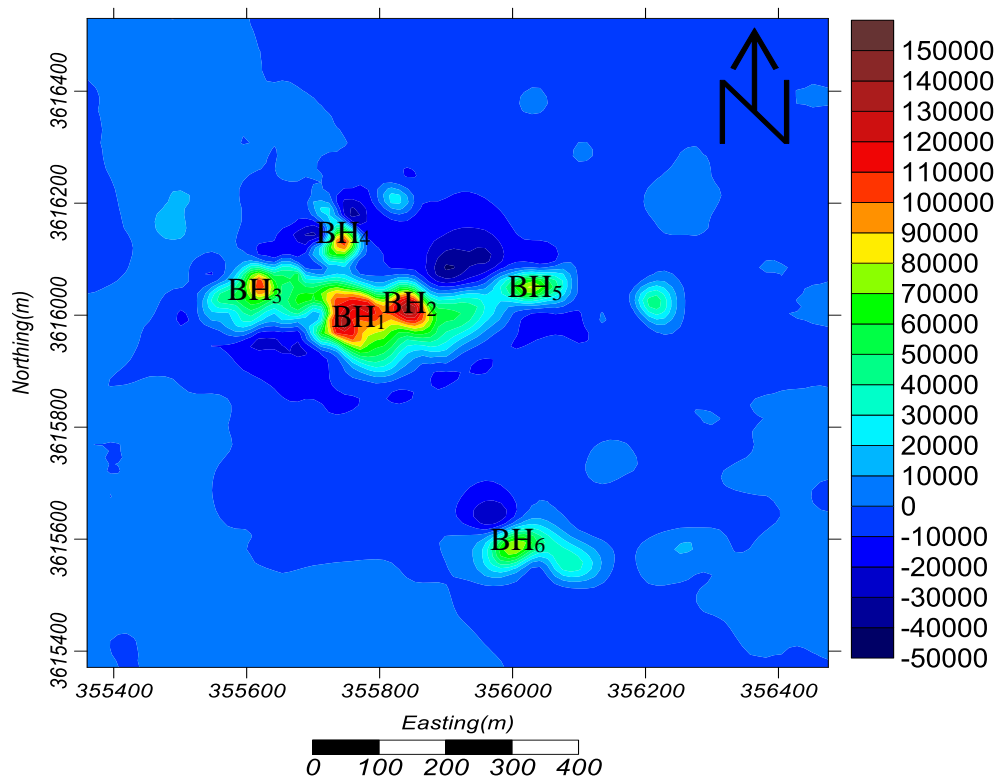
بارز شده است و می‌توان گفت که گسترش عمقی داده‌ها به ویژه مغناطیس نسبتاً خوب است. نتایج گرانی و مغناطیس نشان می‌دهد که دو آنومالی اصلی موجود در منطقه از هم جدا هستند و آنومالی کوچک مغناطیس دارای ریشه کم‌تری است. و آنومالی‌های گرانی که در بخش جنوبی است مهم‌ترین است.

عملکرد فیلترهای مشتق قائم، افقی و لاپلاس مرتبه اول و دوم و نیز عملکرد فیلترهای جهتی سو بل و پرویت روی داده‌های گرانی و مغناطیس برای آشکارسازی آنومالی‌های محلی خوب نبوده است، لیکن می‌توان برای شناسایی برخی ساختارها از آن‌ها کمک گرفت. فیلترهای میانگین، سو بل، پرویت و کنی نقش بارزسازی موثری در آنومالی‌های محلی داشته‌اند و می‌توان گفت با هموارسازی که انجام می‌دهند سبب حذف نوفه‌ها و بارزسازی آنومالی می‌شوند.

فیلترهای فاز محلی نیز به نوبه خود برای آشکارسازی لبه‌ها بیشتر کاربرد دارند و تا حدودی خطواره‌ها را نمایش می‌دهند. هرچند در تفسیر خطواره‌ها باید دیدگاه زمین‌شناسی را به خوبی بررسی نمود. با لحاظ نمودن نتایج حاصله از همه موارد روی آنومالی‌های گرانی و مغناطیس می‌توان نقاط پیشنهادی برای حفاری بر روی (شکل ۵-۴۵) به ترتیب اولویت جهت ادامه فعالیت اکتشافی به صورت جدول ۵-۱ ارائه نمود.

جدول ۵-۱: محل نقاط حفاری به ترتیب اولویت

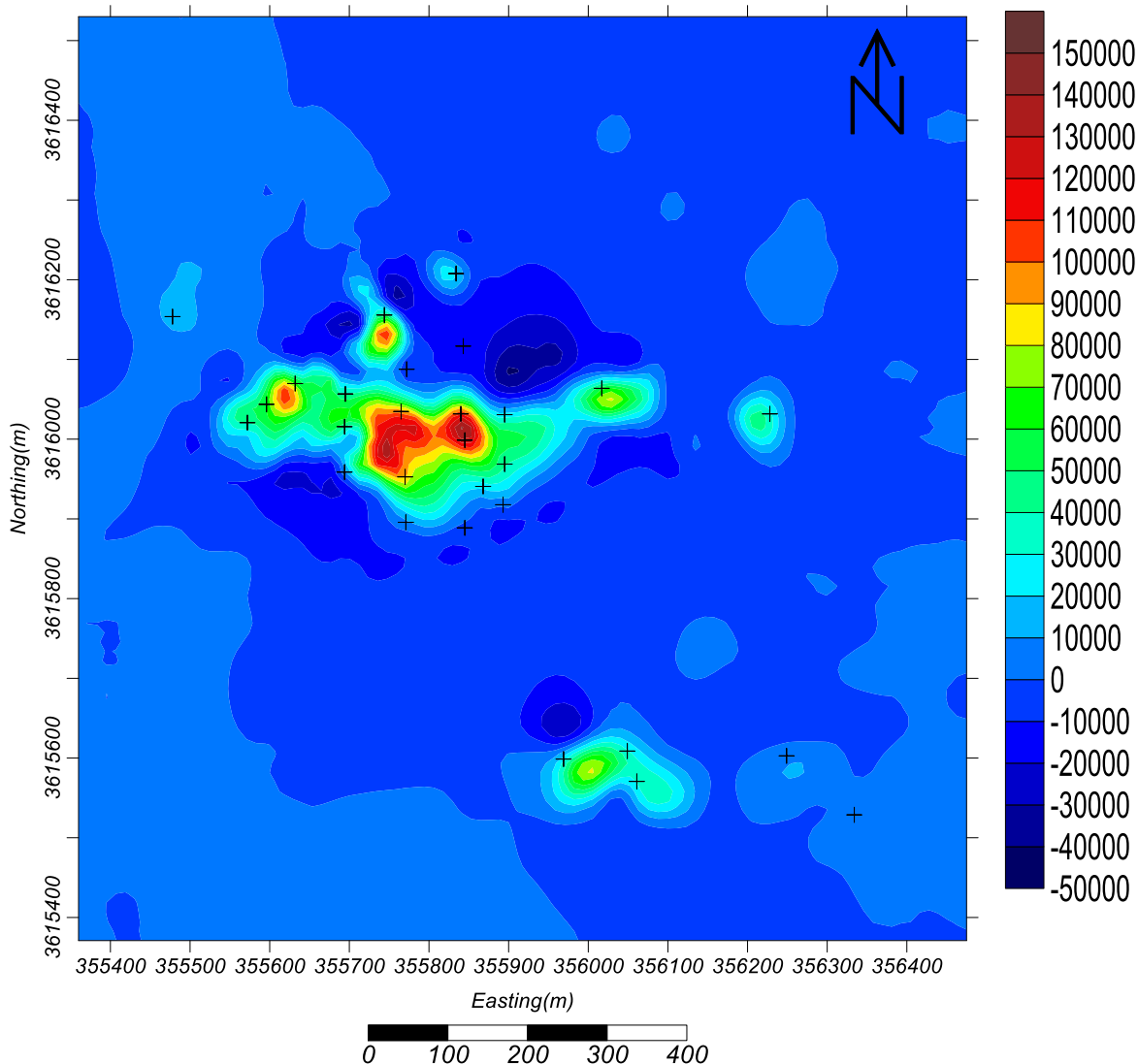
نقاط حفاری	اولویت حفاری	آنومالی گرانی	آنومالی مغناطیسی
BH ₁	1	————	✓
BH ₂	2	————	✓
BH ₇	7	✓	————
BH ₈	8	✓	————
BH ₆	6	✓	✓
BH ₃	3	————	✓
BH ₉	9	✓	————
BH ₄	4	————	✓
BH ₅	5	————	✓



شکل ۵-۴۵: محل نقاط حفاری بر روی نقشه داده‌های گرانی و مغناطیسی.

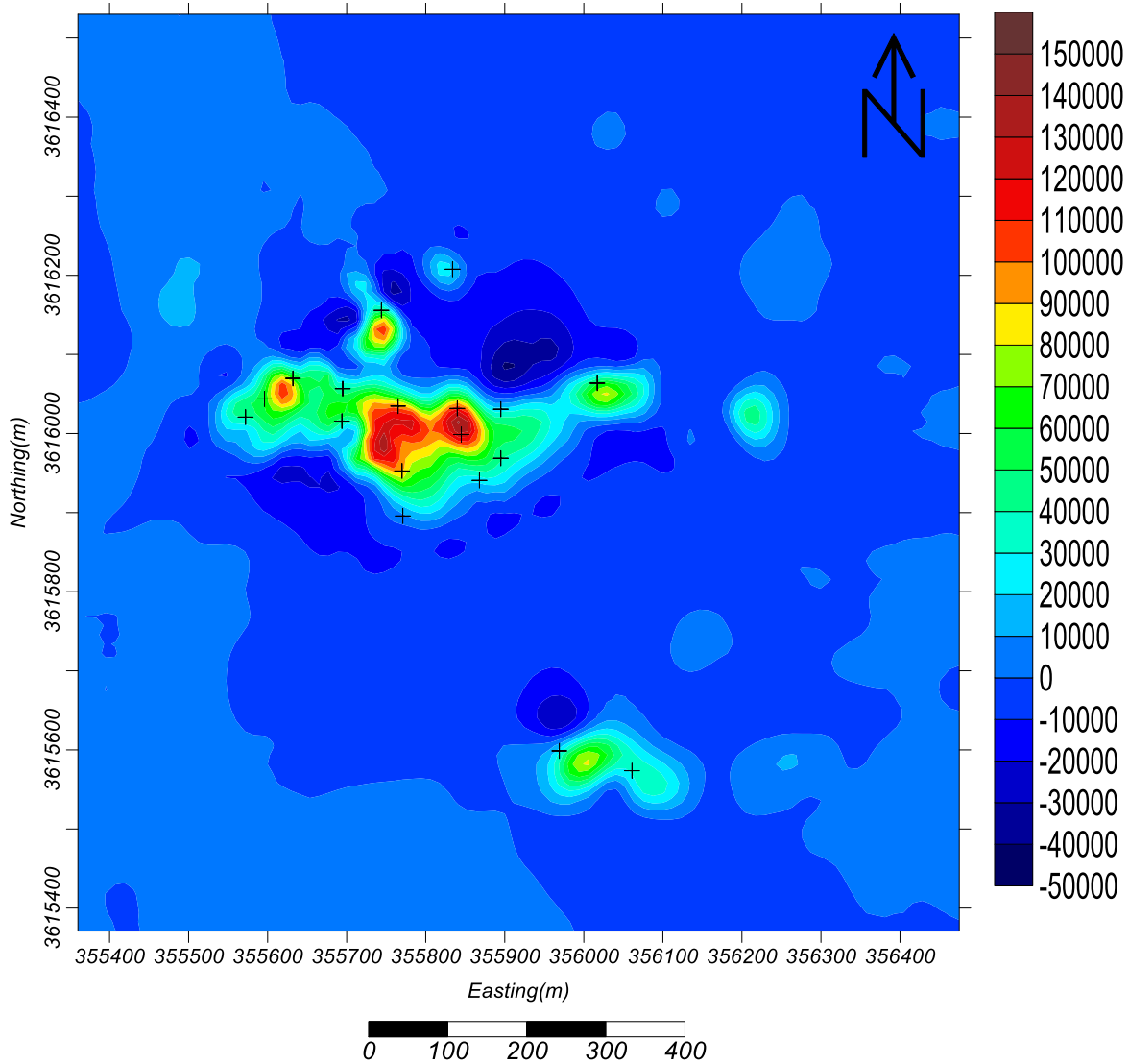
۵-۱۰ استفاده از اطلاعات حفاری برای اعتبار سنجی داده‌های گرانی و مغناطیس

برای اعتبار سنجی کارهای انجام شده، از اطلاعات حفاری استفاده کردیم که شکل ۵-۴۶ نقاطی که در آن حفار انجام شده است را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۴۶: نقاطی که در آن حفاری انجام شده است.

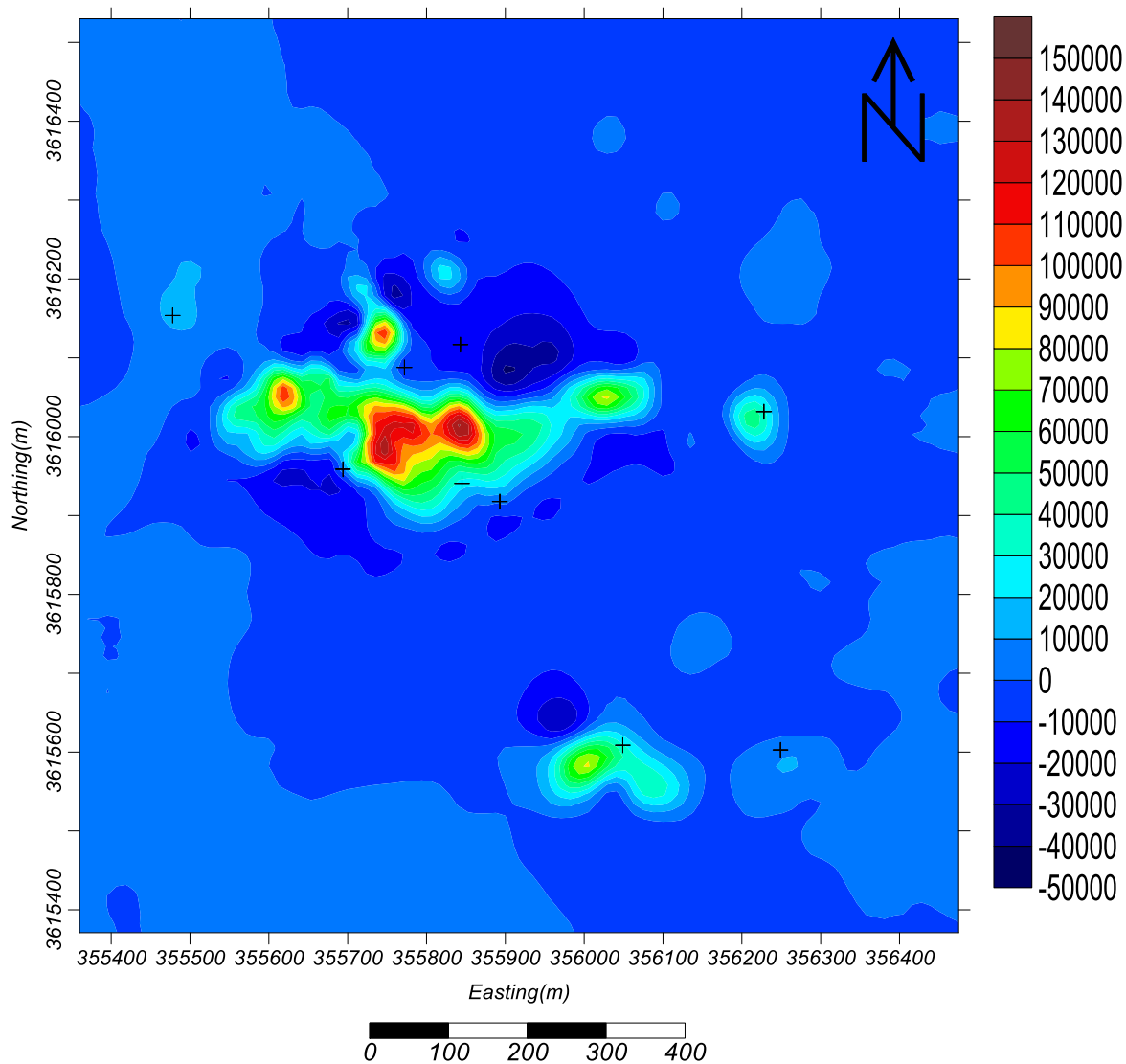
(شکل ۵-۴۷) نقاطی را نشان می‌دهد که در آنها حفاری شده، و نتایج حاصل از آن وجود آهن را در عمق‌های مختلفی را تایید می‌نمایند. که با کارهای انجام شده کامل انطباق دارند.



شکل ۵-۴۷: محل نقاط که حفاری شده و به آهن برخورد نموده.

بنابراین می‌توانیم نتیجه بگیریم که فیلترهای پردازش تصویر سوبل، پرویت، کنی و لاپلاس به خوبی توانسته‌اند مرزها و محدوده آنومالی را مشخص نمایند.

(شکل ۵-۴۸) نقاطی را نشان می‌دهد که به آهن برخورد ننموده و این کاملاً با صحت نتایج قبلی را به اثبات می‌رساند. چون ما این نقاط را به عنوان حفاری پیشنهاد نداده‌ایم.



شکل ۵-۴۸: نقشه نقاطی که حفاری شده و به ماده معدنی برخورد ننموده است.

جدول ۲-۵ نتایج حاصل از حفاری‌ها آورده شده است. که در آن مختصات نقاط و عمق توده آنومال

مشخص شده است.

جدول ۲-۵: نتیجه حفاری

X	y	گسترش عمقی آهن بر حسب متر
۳۵۵۹۶۹	۳۶۱۵۵۹۹	۱۶-۴۴
۳۵۶۰۶۱	۳۶۱۵۵۷۴	۳۴-۳۸، ۱۶-۳۰
۳۵۶۰۱۷	۳۶۱۶۰۶۴	۶-۳۸
۳۵۵۷۴۴	۳۶۱۶۱۵۶	۱۰-۱۶
۳۵۵۶۳۲	۳۶۱۶۰۷۰	۶-۳۴
۳۵۵۵۹۶	۳۶۱۶۰۴۴	۳۴-۵۵
۳۵۵۵۷۲	۳۶۱۶۰۲۱	۱۰-۵۰
۳۵۵۷۷۰	۳۶۱۵۹۵۳	۲۷-۵۴، ۱۸-۲۴، ۴-۱۰
۳۵۵۷۶۵	۳۶۱۶۰۳۵	۲۴-۴۶
۳۵۵۸۶۸	۳۶۱۵۹۴۱	۴۰-۵۶
۳۵۵۷۷۱	۳۶۱۵۸۹۶	۴۴-۶۰
۳۵۵۸۴۵	۳۶۱۵۹۹۹	۴-۷۴
۳۵۵۸۴۰	۳۶۱۶۰۳۲	۳۴-۷۴
۳۵۵۸۳۴	۳۶۱۶۲۰۸	۱۴-۲۶، ۶-۱۲
۳۵۵۸۹۵	۳۶۱۶۰۳۱	۶۴-۷۲، ۲۴-۵۶
۳۵۵۸۹۵	۳۶۱۵۹۶۹	۴۰-۵۲
۳۵۵۶۹۴	۳۶۱۶۰۱۶	۹-۲۶
۳۵۵۶۹۵	۳۶۱۵۶۵۷	۱۳-۳۶

فصل ششم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۱-۶ نتیجه‌گیری و پیشنهادات

پردازش تصاویر حاصل از میدان‌های پتانسیل مثل گرانی‌سنجی و مغناطیس‌سنجی و بارزسازی آنومالی‌ها از اساسی‌ترین مراحل کار در این روش‌ها است. به منظور بهره‌مندی از نقشه‌های مناسب برای تفسیر بهتر استفاده از فیلترهای مختلفی مثل بالاگذر، پایین‌گذر، میانه‌گذر،... استفاده می‌شود. امروزه برای آشکارسازی تصاویر در مباحث تصاویر ماهواره‌ای و پردازش تصویر از فیلترهای گوناگونی استفاده می‌شود در این پژوهش از سه مجموعه فیلتر برای پردازش و آشکارسازی آنومالی‌های گرانی و مغناطیس استفاده شد.

در گام اول فیلترهای متداول ژئوفیزیکی در پردازش تصاویر حاصل از داده‌های میدان پتانسیل (مغناطیس‌سنجی و گرانی‌سنجی) مورد مطالعه قرار گرفت. سپس کارایی و عملکرد هر یک از این‌ها بر روی داده‌های مغناطیسی و گرانی‌آنومالی ۲۳ سنگ آهن ساغند بررسی شد.

در گام دوم کد فیلترهای لاپلاس، سوبل، پرویت و کنی در محیط نرم‌افزار متلب نوشته، سپس کارایی هر یک از این فیلترها بر روی داده‌های گرانی و مغناطیس آنومالی ۲۳ سنگ آهن ساغند مورد بررسی قرار گرفت

در مرحله سوم از فیلترهای فاز محلی برای آشکارسازی برخی ویژگی‌ها مثل خطواره‌ها، گسل‌ها و غیره بر روی داده‌های گرانی و مغناطیس استفاده و اثر هر کدام بررسی گردید. بر اساس نتایج حاصل از روش‌ها می‌توان گفت:

در میان فیلترهای مرسوم ژئوفیزیکی به کار گرفته شده بر روی داده‌های گرانی‌سنجی در این تحقیق برای تعیین مرزها، لبه‌ها، و محدوده آنومالی، فیلترهای تبدیل میدان و روند سطحی نتایج قابل قبولی ارائه شده و آنومالی به خوبی بارز شده است و می‌توان گفت که گسترش عمقی داده‌ها به ویژه مغناطیس نسبتاً خوب است.

عملکرد فیلترهای مشتق قائم، افقی و لاپلاس مرتبه اول و دوم و نیز عملکرد فیلترهای جهتی سوبل و پرویت بر روی داده‌های گرانی و مغناطیس برای آشکارسازی آنومالی‌های محلی خوب نبوده است، لیکن می‌توان برای شناسایی برخی ساختارها از آن‌ها کمک گرفت. فیلترهای میانگین، سوبل، پرویت و کنی نقش بارزسازی موثری در آنومالی‌های محلی داشته‌اند و می‌توان گفت با هموارسازی که انجام می‌دهند سبب حذف نوفه‌ها و بارزسازی آنومالی می‌شوند.

فیلترهای فاز محلی نیز به نوبه خود برای آشکارسازی لبه‌ها بیشتر کاربرد دارند و تا حدودی خطواره‌ها را نمایش می‌دهند. هرچند در تفسیر خطواره‌ها باید دیدگاه زمین‌شناسی را به خوبی بررسی نمود. بررسی‌های انجام گرفته روی داده‌های گرانی و مغناطیس منطقه با استفاده از این سه سری فیلتر توانست نتایج خوبی ارائه نماید. هرچند محل و موقعیت برداشت دو سری داده ژئوفیزیکی کاملاً یکسان نبوده و سبب شده که مقایسه کاملی بین دو سری داده‌ها نشود، ولی با اعمال این فیلترها تا حدود زیادی موقعیت آنومالی‌ها تفسیر گردید. لذا برای ادامه فعالیت‌های اکتشافی نفا حفاری به صورت (شکل ۵-۴۵) و جدول (۵-۱) به ترتیب اولویت پیشنهاد می‌گردد.

همچنین به منظور بررسی بیشتر اعمال فیلترهای مختلف برای پردازش تصاویر میدان پتانسیل، فیلترهای روبرتز و گوسین نیز پیشنهاد می‌گردد.

همچنین به منظور بررسی عمقی و تهیه شکل کانسار پیشنهاد می‌شود مدل دیاگرام توده‌های آنومالی به روش سه بعدی انجام تا نتایج بررسی‌ها اعتبارسنجی با داده‌های واقعی موجود صورت پذیرد.

پیشنهاد می‌شود برای بهره‌برداری بهتر داده‌های میدان پتانسیل نقاط برداشت اندازه‌گیری گرانی-سنجی و مغناطیس‌سنجی هر دو روی یک شبکه باشد و کل منطقه را پوشش دهد.

فهرست منابع

منابع فارسی

- ابراهیم‌زاده اردستانی، و.، (۱۳۸۹)، "گرانی‌سنجی کاربردی (اکتشاف کانی، زمین‌شناسی مهندسی)" چاپ اول، مؤسسه دانشگاه تهران، تهران، ۲۳۰ص.
- انصاری، ع. و علمدار، ک.، (۱۳۹۰)، "استفاده از فیلترهای دورسنجی در پردازش تصاویر میدان، مجله ژئوفیزیک ایران" جلد ۵، شماره ۱، صفحه ۳۴-۵۰.
- آقاجانی، ح.، (۱۳۸۸)، "بررسی قابلیت روش گرادیان کل نرمال داده‌های گرانی در تعیین پتانسیل هیدروکربوری تله‌های نفتی" رساله دکتری، دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود.
- آگاه‌آ، دولتی‌ارده‌جانی، ف.، مرادزاده ع و طباطبایی رئیسی، (۱۳۸۳)، "تلفیق داده‌های مغناطیس‌هوایی و زمینی جهت شناسایی پتانسیل‌های نفتی ناحیه‌ی طبس"، هشتمین همایش زمین‌شناسی ایران، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- باباخانی، آ. ر.، مجیدی، ج.، (۱۳۷۳)، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ساغند، سازمان زمین‌شناسی کشوری.
- حدادیان، آ.، (۱۳۹۰)، "شناسایی دقیق مرزهای توده‌های آنومال در اکتشاف روش‌های میدان پتانسیل با فیلترهای فاز محلی" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- دولتی‌ارده‌جانی، ف.، (۱۳۷۵)، "تفکیک آنومالی‌های گرانی منطقه بابل‌سر به روش‌های روند سطحی ارتونرمال" نهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، تهران.
- دولتی‌ارده‌جانی، ف.، (۱۳۷۲)، "برداشت اطلاعات خام و تعبیر و تفسیر گرانی‌سنجی منطقه اکتشافی مرودشت" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه امیرکبیر (دانشکده معدن)، تهران، ۲۲.

رافائل سی، گ.، ریچاردای، و.، (۱۳۹۰)، پردازش دیجیتالی تصاویر، لطفی‌راد، ا. م. ع.، میر قاسمی، س.، انتشارات پیوند نو (کتاب نیاز)، تهران، ۱۰۰۰ ص.

فاطمی، س. ب. و رضایی، ی.، (۱۳۸۹)، " مبانی سنجش از دور " چاپ سوم، انتشارات آزاده.

کریم‌پور، م. ح و سعادت، س.، (۱۳۸۱)، " زمین‌شناسی اقتصادی کاربردی " چاپ دوم، انتشارات نشر مشهد.

کلاگری، ع. ا.، (۱۳۷۱)، " اصول اکتشافات ژئوفیزیکی " چاپ اول، انتشارات تابش، ۵۸۵ ص.

نوروزی، غ.، (۱۳۸۸)، " ژئوفیزیک اکتشافی " چاپ اول، مؤسسه دانشگاه تهران، تهران، ۵۹۳ ص.

منابع انگلیسی

Agarwal, B. N. P., & Shaw, R. K. (1996) "Comment on An analytic signal approach to the interpretation of total field magnetic anomalies" by Shuang Qin. *Geophysical prospecting*, 44(5), 911-914

Arkani-Hamed, J. (1988) "Differential reduction-to-the-pole of regional magnetic anomalies" *Geophysics*, 53(12), 1592-1600.

Beck, A. E. (1981) "Physical principles of exploration methods" Macmillan press, London, 73pp

Bergeron Jr, C. J., Morris, T. L., & Ioup, J. W. "(1990) Upward and downward continuation of airborne electromagnetic data" In SEG Technical Program Expanded Abstracts 1990 (pp. 696-699). Society of Exploration Geophysicists.

Blakely R. J. (1996) "Potential theory in gravity and magnetic applications" Cambridge University Press, 441.

Canny, J. (1986) "A computational approach to edge detection" *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, (6), 679-698.

Cooper G. R. J. and Cowan D. R. (2006) "Enhancing potential field data using filters based on the local phase" *Computers & Geoscience*, 32, 1585-1591.

Cooper, G., & Cowan, D. (2003) "The application of fractional calculus to potential field data" *Exploration Geophysics*, 34(2), 51-56.

Dobrin M. B. and Savit C. H. (1988) "Introduction geophysical prospecting" McGraw-Hill, 867pp.

Grant F. S, West G. F. (1965) "Interpretation Theory in Applied Geophysics" New York, McGraw- Hill, 397 pp.

Gunn, P. J., FitzGerald, D., Yassi, N., & Dart, P. (1997) "New algorithms for visually enhancing airborne geophysical data" *Exploration Geophysics*, 28(2), 220-224.

Hinze W. J. (1990) "The role of gravity and magnetic methods in engineering and environmental studies. In: Ward (Ed), *Geotechnical and environmental geophysics*" The Society of Exploration Geophysicists, 75-126.

Kearey, P., Brooks, M., & Hill, I. (2002) "An introduction to geophysical exploration" Third edition, Wiley. com.

Liu, J. G., & Mason, P. (2009) "Essential image processing and GIS for remote sensing" Wiley. com.

Reynolds J. M. (1997) "An introduction to applied and environmental geophysics" John Wiley & Sons, 796pp.

Robinson E, Coruh C. (1988) "Basic exploration Geophysics" John Wily & Sons, 562pp.

Sharma, P. V. (1997) "Environmental and engineering geophysics" Cambridge University Press.

Silva, J. B. (1986) "Reduction to the pole as an inverse problem and its application to low-latitude anomalies" *Geophysics*, 51(2), 369-382.

Telford W. M. Geldart L. P. and Sheriff R. E. (1990) "Applied geophysics" Second edition, Cambridge University Press, 726.

Verduzco, B., Fairhead, J. D., Green, C. M., & MacKenzie, C (2004) "New insights into magnetic derivatives for structural mapping" *The Leading Edge*, 23(2), 116-119.

Wijns, C., Perez, C., & Kowalczyk, P. (2005) "Theta map: Edge detection in magnetic data" *Geophysics*, 70(4), L39-L43.

```

*****
%*****
*****
%*      CACULATING OF THE VERTICAL GRAVITY ATTRACTION OF MULTI-
SPHERES      *
%*
%*              By: HAMID AGHAJANI
%*
%*              copyright: NOVEMBER-15-2005
%*
%*****
*****
%*      gama: universal gravity constant (synchronize unit of mgal)
%*
%*              GAMA=6.67 x 10-11 m3/KG.s2
%*
%*      rho: Density contrast (g/cm3)
%*
%*      R: Redius of Sphere (m)
%*
%*****
*****

clc
clear
gama=6.672;%e-3;

%mat[ X0      Y0      Z0      Ro      rho]
%-----
mat=[-10      +07      1.0      0.8      -0.20;
      +11      +10      2.0      0.5      +0.20;
      -15      -05      2.5      0.5      +0.20;
      +00      +00      3.0      0.9      +0.50
      +15      -05      2.0      0.5      -0.50];
%-----

Lx=50;  NX=Lx/2;  dx=0.5;
Ly=30;  NY=Ly/2;  dy=0.5;

[p,q]=size(mat);
X0=mat(:,1);  Y0=mat(:,2);  Z0=mat(:,3);  R0=mat(:,4);  RHO=mat(:,5);
matx=-NX:dx:NX;  nx=length(matx);
maty=-NY:dy:NY;  ny=length(maty);
fact=4*pi*gama/3;
%*****
*****

      X=X0(k)-x;
      Y=Y0(k)-y;
      Z=Z0(k);
      R=R0(k);
      rho=RHO(k);
      SQ=sqrt(X^2+Y^2+Z^2);
      if SQ==0 SQ=0.00001; end

```



```

                gv(k)=(fact*rho*R^3*Z)/(SQ^3);
                sum=sum+gv(k);
            end
            delta_g(j,i)=sum;
            %*** profiling ***
            out(i+d,1)=matx(i);
            out(i+d,2)=maty(j);
            out(i+d,3)=delta_g(i);
        end
    end

%***** output files
%*****
u=nx*ny;
    for i=1:nx
        dg(w+i-1,1)=delta_g(j,i);
    end
end

%**** output files gravity data at in 3 columns matrix:
gravity(x,y,dg) ***
for r=1:u:nx

    k=maty(j);
    for i=1:nx
        gravity(r,1)=matx(i);
        r=r+1;
    end
end
end

%***** Display profile plot at y=0
%*****
nn=(ny+1)/2;
cc=maty(nn);
profile(:,1)=matx;
profile(:,2)=cc;
profile(:,3)=delta_g(nn,:);

%***** Display results at plot or contour map
%*****
% figure(1);
plot(profile(:,1), profile(:,3))
xlabel('X(m)'); ylabel('Delta g (mGal)')
%***
figure(2);
contour(matx,maty,delta_g,200); surf(matx,maty,delta_g);
colorbar; shading interp; grid on; view(2); axis equal;
xlabel('X(km)'); ylabel('Y(km)'); zlabel('Delta g (mGal)')

%***** Save output ascii files
%*****
save profile.dat profile -ascii %save a profile gravity data at y=0
save gravity.dat gravity -ascii %save gravity data at 3 columns for
surfer
save grav.dat delta_g -ascii %save gravity data at a matrix(j,i)
% save matx.dat matx -ascii

```

```

% save maty.dat maty -ascii

%***** Display information
%*****
maxdg=max(dg, [], 1);      maxima_g=max(maxdg);
mindg=min(dg, [], 1);      minima_g=min(mindg);
index_g(1,2)=rho;
index_g(2,2)=R;
index_g(3,2)=Lx;
index_g(4,2)=dx;
index_g(5,2)=Ly;
index_g(6,2)=dy;
index_g(7,2)=maxima_g;
index_g(8,2)=minima_g;
max_profile=out(:,3);
maxima_g =max(max_profile);
index_g(9,2)=maxima_g

%***** End of program
%*****

```

(ب) کد های مربوط به فیلترهای پردازش تصویر (لاپلاس، کنی، پرویت، سوبل)

```

clc
close all
% laplace aval

% hlap=-1*hlap;
glap1=imfilter(rtp1,hlap);
% laplace aval royeh anomali filter mishavad
% laplace dovom
hlap2=hlap;
hlap2(2,2)=8;
%%% asareh labehi ofogi
h1=fspecial('sobel');
gs1=imfilter(rtp1,h1);
%%%asar labehi amodi
h2=h1';
gs2=imfilter(rtp1,h2);
%%%%%sobel doo boeedi
% asar miyangin
ave=fspecial('average');
fave=imfilter(rtp1,ave);

%%%% previt filter ofoghi
ImgEx=filter2(Ex,rtp1);
%%%%%%%%pervit amodi
Ey=Ex';
ImgEy=filter2(Ey,rtp1);
%%%%%%%%%%%%pervit doo boeedi

%*****Filter Cany*****
px=[-1 0 0 0 1;-1 0 0 0 1;-1 0 0 0 1;-1 0 0 0 1;-1 0 0 0 1];
% %*****data export
% %%%laplace aval
% fglap1=reshape(glap1,9600,1);
% %%%%%%%%%%%%%laplace dovom

```

```

% fglap2=reshape (glap2, 9600, 1);
% %%%sobel ofiqi
% fgs1=reshape (gs1, 9600, 1);
% %%%sobeles amodi
% fgs2=reshape (gs2, 9600, 1);
% %%%sobeldoo
% fgs3=reshape (gs3, 9600, 1);
% %%%avrage
% ffave=reshape (fave, 9600, 1);
% %%%perwitt amodi
% fImgEx=reshape (ImgEx, 9600, 1);
% %%%perwitt ofoqi
% fImgEy=reshape (ImgEy, 9600, 1);
% %%%pervit
% fImgExy=reshape (ImgExy, 9600, 1);
% %%%canny
% ficxy=reshape (icxy, 9600, 1);
% nc=i;
% nr=j;
% u=nc*nr;
% for r=1:u:nc
%     for i=1:nc
%         k=matx(i);
%         for j=1:nr
%             matFilter(r,1)=k;
%             matFilter(r,2)=maty(j);
%             matFilter(r,3)=ficxy(r,1);
%             matFilter(r,4)=fImgExy(r,1);
%             matFilter(r,5)=fImgEy(r,1);
%             matFilter(r,6)=fImgEx(r,1);
%             matFilter(r,7)=ffave(r,1);
%             matFilter(r,8)=fgs3(r,1);
%             matFilter(r,9)=fgs2(r,1);
%             matFilter(r,10)=fgs1(r,1);
%             matFilter(r,11)=fglap2(r,1);
%             matFilter(r,12)=fglap1(r,1);
%             r=r+1;
%         end
%     end
% end
% save matFilter.dat matFilter -ascii;

```

Abstract

Using geophysical methods and measurement of physical properties of subsurface rocks are suitable solution for exploration of underground reserves (oil, gas, water, minerals ...). Gravity and magnetic survey (potential field methods) are applicable geophysical methods for primary exploration, because of simplicity and low cost. There are several methods for automatic interpretation of potential field data.

Potential field data filtration is a numerical processing method that has an important role in geomagnetic and gravitational data interpretation. In this research-work the efficiency of conventional geophysical filters, including: trend surface, field transformation, derivative filtration and local phase filters for gravitational and geomagnetic image processing in Anomaly- 23 Saghand iron ore, have been studied. In this regard, some Matlab-codes have been designed for performing first and second order Laplacian, Sobel, Prewitt and Canny filtration on the Geophysical data. Our investigations delineate that second order Laplacian, Sobel and Canny filters are more efficiency than other used up filters in this research-work for enhancement of gravitational and geomagnetic anomalies. Also first and second order Laplacian, directional Sobel, 2-D Sobel and Canny filtration operators have well done delineation of lineaments on the geomagnetic data. Finally, among the entire image processing filters, canny operator and local phase filters have suitable efficiency in determination of anomaly boundaries and recognition of lineaments and mineralization strike delineation in vein deposits, respectively. As a result of the interpretation and integration of the results, favorable zones in the study area have been recognized, and based on that, suitable locations for drilling to access and extract iron ore have been introduced.

Key words: Gravimetry, Magnetometry, Saghand iron ore, Geophysical filters, Image processing filter operators.



Shahrood

University of Technology

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics

**Interpretation from Bouguer Gravity and Magnetic data over
23th anomaly of Saghand area by means of image processing
techniques.**

Alireza Emami

Supervisors:

**Hamid Aghajani
Hamid Hassanpour**

Advisor:

Lughman namaki

February 2014