



دانشگاه صنعتی شاهرود
دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی اکتشاف معدن

تعیین مرز توده های آنومال میدان پتانسیل با استفاده از روش سیگنال تحلیلی

محقق:

محمد رضا قاضی مرادی

اساتید راهنما:

دکتر علی مراد زاده

دکتر فرامرز دولتی ارده جانی

استاد مشاور:

مهندس شهاب قمی

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

تعیین مرز توده های آنومال میدان پتانسیل با استفاده از روش

سیکنال تحلیلی

تقدیم بہ

پدر و مادر عزیزم

تقدیر و تشکر

« هر کس به من کلمه ای بیاموزد، مرا بنده خود خواهد ساخت.»

امام علی (ع)

اکنون که با عنایت خداوند متعال موفق به انجام این پایان نامه شده ام لازم است تا از عزیزانی که در انجام این امر کمک های شایانی نموده اند تشکر و قدردانی کنم. در ابتدا از جناب آقای دکتر علی مرادزاده و آقای دکتر فرامرز دولتی که همواره بهترین راهنمای اینجانب در طول دوران تحصیل بوده اند تشکر و قدردانی می کنم و امیدوارم با ارائه این پایان نامه توانسته باشم گوشه ای از زحمات این عزیزان را جبران کرده باشم. همچنین از جناب آقای مهندس شهاب قمی که در انجام این پایان نامه راهنمای من بودند و کمکهای ارزنده ای را در انجام این پایان نامه نموده اند صمیمانه تشکر و قدردانی می کنم.

محمدرضا قاضی مرادی

تیرماه ۱۳۸۷

چکیده مطالب :

استفاده از روش های ژئوفیزیکی در اکتشاف توده های مدفون راه حل مناسبی است تا از وضعیت این توده ها اطلاعاتی کسب کرد. بخصوص در اکتشاف مناطق وسیع، روش های ساده تر و کم هزینه تر مانند روشهای ثقل سنجی و مغناطیس سنجی که روش های میدان پتانسیل نیز نامیده می شوند بسیار پرکاربرد می باشند. پس از برداشت این داده ها، اکتشاف ژئوفیزیکی پایان نیافته و داده های خام به دست آمده نیاز به تفسیر دارند. بنابراین تفسیر داده های حاصل از مهمترین بخش های این اکتشافات بوده و نیاز به تجربه و مهارت کافی در تعیین پارامترهای اساسی توده ها دارد. یکی از این پارامترها تعیین محل و موقعیت توده های آنومال و تفکیک مرزهای آنها از هم می باشد. تبدیل سیگنال تحلیلی از جمله روش هایی است که به دلیل پاسخ خاصش می توان از آن برای تعیین مرزهای توده های آنومال استفاده نمود. در این تحقیق از فیلتر سیگنال تحلیلی سه بعدی جهت تعیین مرز توده های آنومال میدان پتانسیل استفاده شده است. بدین ترتیب که با تهیه کدها و سابروتین های لازم در محیط نرم افزار MATLAB ابتدا این فیلتر بر روی پاسخ توده های آنومال مصنوعی گرانی و مغناطیسی اعمال و با نقشه های حاصل از فیلترهای مشتق افقی و قائم، گرادیان افقی و فیلتر های فاز محلی مقایسه شده اند تا قابلیت روش مورد نظر در تعیین مرز توده های آنومال مشخص گردد. با آزمایش این فیلتر ها بر روی داده های مصنوعی مشاهده شد که فیلتر های فاز محلی و بخصوص فیلتر تتا که بر مبنای سیگنال تحلیلی و گرادیان افقی آنومالی میدان پتانسیل محاسبه می شود، بهترین نتیجه را در تعیین مرز این توده ها ارائه می دهد. جهت تایید بیشتر کارایی روش، فیلتر سیگنال تحلیلی سه بعدی و فیلتر تتا، بر روی داده های صحرایی گرانی و مغناطیسی منطقه دهنو نیز مورد آزمایش قرار گرفته است. در این حالت نیز مشاهده شد که با استفاده از سیگنال تحلیلی سه بعدی و فیلتر تتا به خوبی می توان مرز تاقدیس دهنو را مشخص کرد.

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۲-۱- سوابق مطالعات انجام شده در تفسیر داده های میدان پتانسیل	۳
۳-۱- ضرورت و هدف از انجام پایان نامه	۵
۴-۱- روش تحقیق	۵
۵-۱- ساختار پایان نامه	۶
فصل دوم: مبانی روش های میدان پتانسیل	۷
۱-۲- مقدمه	۸
۲-۲- پتانسیل گرانشی	۸
۳-۲- مغناطیس سنجی	۱۰
۱-۳-۲- مغناطیس شونده	۱۱
۴-۲- محاسبه اثر گرانی یک توده سه بعدی مکعب مستطیلی شکل	۱۳
۵-۲- محاسبه اثر مغناطیسی یک توده سه بعدی مکعب مستطیلی شکل:	۱۵
۶-۲- تبدیل فوریه	۱۷
۷-۲- تبدیل فوریه ناپیوسته	۱۹
۸-۲- تبدیل هیلبرت	۲۰
۹-۲- روش های تفکیک آنومالی	۲۱
۱۰-۲- مشتقات جهتی میدان پتانسیل	۲۳
۱۱-۲- گرادیان افقی	۲۵
۱۲-۲- روش بلکی و سیمپسون در تعیین مرزهای آنومال	۲۶
۱۳-۲- سیگنال تحلیلی	۲۸
فصل سوم: بررسی عملکرد فیلترهای مختلف بر روی مدل مصنوعی میدان پتانسیل	۳۴
۱-۳- مقدمه	۳۵
۲-۳- محاسبه شدت میدان گرانشی توده های مصنوعی سه بعدی	۳۸
۳-۳- محاسبه شدت میدان کل مغناطیسی توده های مصنوعی سه بعدی	۳۹
۴-۳- مشتقات افقی و قائم آنومالی های میدان پتانسیل	۴۳

۵۰	..... ۵-۳- تعیین مرزهای توده های آنومال
۶۹	..... فصل چهارم: تعیین مرزهای آنومال منطقه دهنو با استفاده از سیگنال تحلیلی
۷۰	..... ۱-۴- مقدمه
۷۱	..... ۲-۴- موقعیت جغرافیایی منطقه
۷۱	..... ۳-۴- زمین شناسی منطقه
۷۲	..... ۴-۴- نقشه آنومالی های میدان پتانسیل دهنو
۷۶	..... ۵-۴- مشتقات افقی میدان پتانسیل دهنو
۷۹	..... ۶-۴- مشتق قائم آنومالی میدان پتانسیل دهنو
۸۰	..... ۷-۴- سیگنال تحلیلی آنومالی میدان پتانسیل دهنو
۸۶	..... فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات
۸۷	..... ۱-۵- جمع بندی
۸۷	..... ۲-۵- نتایج به دست آمده
۸۸	..... ۳-۵- پیشنهادات
۸۹	..... فهرست منابع
۹۱	..... پیوست (الف): سابروتین ها
۱۱۰	..... پیوست (ب): نحوه کار با نرم افزار Profile Analyst و نتایج حاصل از کاربرد آن
۱۲۳	..... پیوست (ج): نقشه های حاصل از اعمال فیلتر های فاز محلی بر روی پاسخ مدل های مصنوعی ..

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲ نیروی کشش متقابل بین دو جسم با جرم آنها رابطه مستقیم و با مجذور فاصله بین آنها رابطه عکس دارد. ۹
- شکل ۲-۲ جرم m_2 در میدان گرانشی جسمی به جرم m_1 قرار گرفته است. ۹
- شکل ۳-۲ توده سه بعدی با شکل دلخواه [۱۲]. ۱۳
- شکل ۴-۲ تخمین یک توده سه بعدی توسط تعدادی مکعب مستطیل [۱۲]. ۱۵
- شکل ۵-۲ آنومالی مغناطیسی، گرانی و گرادیان افقی یک توده استوانه ای [۱۲]. ۲۵
- شکل ۶-۲ پیاده کردن داده ها بر روی یک شبکه مربعی [۲۱]. ۲۷
- شکل ۷-۲ نمودار اندازه تابع سیگنال تحلیلی که دارای شکل زنگوله ای است [۱]. ۲۹
- شکل ۸-۲ نمودار اندازه سیگنال تحلیلی حاصل از یک چند ضلعی [۲۲]. ۲۹
- شکل ۹-۲ نمودار اندازه مشتق سوم سیگنال تحلیلی حاصل از یک چند ضلعی [۲۲]. اندازه سیگنال تحلیلی در بالای نقاط گوشه ای سطحی تر نسبت به نقاط گوشه ای عمیق تر بارز شده اند. ۳۰
- شکل ۱-۳ نمایش توده های مصنوعی. ۳۵
- شکل ۲-۳ پلان توده های مصنوعی در نظر گرفته شده. ۳۸
- شکل ۳-۳ شتاب جاذبه ناشی از توده های مصنوعی. ۳۹
- شکل ۴-۳ آنومالی میدان کل مغناطیسی ناشی از توده های در نظر گرفته شده با فرض اینکه توده ها در قطب مغناطیسی واقع شده و بردار میدان مغناطیسی زمین کاملاً عمود بر سطح زمین است. ۴۲
- شکل ۵-۳ آنومالی میدان کل مغناطیسی توده های مصنوعی در شرایطی که بردار میدان مغناطیسی دارای زاویه میل ۶۰ درجه است. ۴۲
- شکل ۶-۳ نقشه حاصل از اعمال فیلتر مشتق افقی در جهت X بر روی آنومالی گرانی ناشی از توده های مصنوعی. ۴۵
- شکل ۷-۳ نقشه حاصل از اعمال فیلتر مشتق افقی در جهت X بر روی آنومالی میدان مغناطیس کل ناشی از توده های مصنوعی تحت شرایطی که زاویه میل بردار میدان مغناطیسی برابر ۹۰ درجه در نظر گرفته شده است. ۴۶
- شکل ۹-۳ نقشه حاصل از اعمال فیلتر مشتق افقی در جهت Y بر روی آنومالی گرانی ناشی از توده های مصنوعی. ۴۸
- شکل ۱۰-۳ نقشه حاصل از اعمال فیلتر مشتق افقی در جهت Y بر روی آنومالی میدان کل مغناطیسی در شرایط قائم بودن بردار میدان مغناطیسی زمین. ۴۸

- شکل ۱۱-۳ مشتق قائم مرتبه اول آنومالی گرانی داده های مصنوعی ۴۹
- شکل ۱۲-۳ مشتق قائم مرتبه اول آنومالی میدان کل مغناطیسی ناشی از توده های مصنوعی ۵۰
- شکل ۱۳-۳ اندازه سیگنال تحلیلی آنومالی گرانی حاصل از توده های مصنوعی ۵۱
- شکل ۱۴-۳ اندازه سیگنال تحلیلی آنومالی کل میدان مغناطیسی ناشی از توده های مصنوعی ۵۱
- شکل ۱۴-۳ اندازه سیگنال تحلیلی آنومالی گرانی توده های مصنوعی که هموارسازی روی آنها صورت گرفته است ۵۳
- شکل ۱۵-۳ نقشه اندازه سیگنال تحلیلی آنومالی مغناطیسی توده های مصنوعی که هموارسازی روی آنها صورت گرفته است ۵۳
- شکل ۱۶-۳ نقشه اندازه سیگنال تحلیلی آنومالی گرانی با استفاده از تبدیل هیلبرت ۵۵
- شکل ۱۷-۳ نقشه اندازه سیگنال تحلیلی آنومالی میدان کل مغناطیسی با استفاده از تبدیل هیلبرت ۵۵
- شکل ۱۸-۳ نقشه مرزهای آنومال مرتبه اول آنومالی گرانی ۵۷
- شکل ۱۹-۳ نقشه مرزهای آنومال مرتبه دوم آنومالی گرانی ۵۷
- شکل ۲۰-۳ نقشه مرزهای آنومال مرتبه سوم آنومالی گرانی ۵۷
- شکل ۲۱-۳ نقشه مرزهای آنومال مرتبه چهارم آنومالی گرانی ۵۷
- شکل ۲۲-۳ نقشه مرزهای آنومال مرتبه اول آنومالی مغناطیسی ۵۸
- شکل ۲۳-۳ نقشه مرزهای آنومال مرتبه دوم آنومالی مغناطیسی ۵۸
- شکل ۲۴-۳ نقشه مرزهای آنومال مرتبه سوم آنومالی مغناطیسی ۵۸
- شکل ۲۵-۳ نقشه مرزهای آنومال مرتبه چهارم آنومالی مغناطیسی ۵۸
- شکل ۲۶-۳ نقشه مرزهای توده های آنومال مغناطیسی مرتبه دوم تا چهارم ۵۹
- شکل ۲۷-۳ نقشه مرزهای توده های آنومال گرانی مرتبه دوم تا چهارم ۵۹
- شکل ۲۸-۳ اندازه سیگنال تحلیلی مرتبه دوم آنومالی میدان کل مغناطیسی ۶۰
- شکل ۳۰-۳ نقشه مرزهای بی هنجار مرتبه دوم تا چهارم به دست آمده از اندازه سیگنال تحلیلی مرتبه دوم آنومالی میدان کل مغناطیسی ۶۱
- شکل ۳۱-۳ نقشه گرادیان افقی آنومالی گرانی ۶۲
- شکل ۳۲-۳ نقشه گرادیان افقی آنومالی مغناطیسی ۶۲
- شکل ۳۳-۳ نقشه مرزهای بی هنجار مرتبه دوم تا چهارم به دست آمده از گرادیان افقی آنومالی گرانی ۶۳

- شکل ۳-۳۴ نقشه مرزهای بی‌هنجار مرتبه دوم تا چهارم به دست آمده از گرادیان افقی آنومالی میدان کل مغناطیسی..... ۶۳
- شکل ۳-۳۵ نقشه تتا آنومالی گرانی..... ۶۵
- شکل ۳-۳۶ نقشه تتا آنومالی میدان کل مغناطیسی..... ۶۵
- شکل ۳-۳۷ نقشه مرزهای بی‌هنجار مرتبه اول با استفاده از نقشه تتا آنومالی گرانی..... ۶۷
- شکل ۳-۳۸ نقشه مرزهای بی‌هنجار مرتبه دوم با استفاده از نقشه تتا آنومالی گرانی..... ۶۷
- شکل ۳-۳۹ نقشه مرزهای بی‌هنجار مرتبه سوم با استفاده از نقشه تتا آنومالی گرانی..... ۶۷
- شکل ۳-۴۰ نقشه مرزهای بی‌هنجار مرتبه چهارم با استفاده از نقشه تتا آنومالی گرانی..... ۶۷
- شکل ۳-۴۱ نقشه مرزهای بی‌هنجار مرتبه اول با استفاده از نقشه تتا آنومالی میدان کل مغناطیسی..... ۶۸
- شکل ۳-۴۲ نقشه مرزهای بی‌هنجار مرتبه دوم با استفاده از نقشه تتا آنومالی میدان کل مغناطیسی..... ۶۸
- شکل ۳-۴۳ نقشه مرزهای بی‌هنجار مرتبه سوم با استفاده از نقشه تتا آنومالی میدان کل مغناطیسی..... ۶۸
- شکل ۳-۴۴ نقشه مرزهای بی‌هنجار مرتبه چهارم با استفاده از نقشه تتا آنومالی میدان کل مغناطیسی..... ۶۸
- شکل ۴-۱۱ موقعیت جغرافیایی منطقه و راههای دسترسی آن (برگرفته از اطلس راه‌های ایران)..... ۷۱
- شکل ۴-۲ نقاط برداشت گرانی و مغناطیسی بر روی نقشه زمین‌شناسی منطقه [۲۸]..... ۷۲
- شکل ۴-۳ تلفیق نقشه آنومالی بوگه دهنو و نقشه زمین‌شناسی..... ۷۳
- شکل ۴-۴ تلفیق نقشه آنومالی میدان کل مغناطیسی دهنو و نقشه زمین‌شناسی منطقه دهنو..... ۷۵
- شکل ۴-۵ تلفیق نقشه برگردان به قطب شده آنومالی میدان کل مغناطیسی دهنو و نقشه زمین‌شناسی..... ۷۵
- شکل ۴-۶ تلفیق نقشه مشتق افقی آنومالی گرانی در جهت X و نقشه زمین‌شناسی منطقه..... ۷۷
- شکل ۴-۷ تلفیق نقشه مشتق افقی آنومالی گرانی در جهت Y و نقشه زمین‌شناسی منطقه..... ۷۷
- شکل ۴-۸ تلفیق نقشه مشتق افقی در جهت X آنومالی مغناطیسی و نقشه زمین‌شناسی منطقه..... ۷۸
- شکل ۴-۹ تلفیق نقشه مشتق افقی در جهت Y آنومالی مغناطیسی و نقشه زمین‌شناسی منطقه..... ۷۸
- شکل ۴-۱۰ تلفیق نقشه مشتق قائم آنومالی گرانی و نقشه زمین‌شناسی منطقه..... ۷۹
- شکل ۴-۱۱ تلفیق نقشه مشتق قائم آنومالی مغناطیسی و نقشه زمین‌شناسی منطقه..... ۸۰
- شکل ۴-۱۲ تلفیق نقشه سیگنال تحلیلی سه بعدی حاصل از آنومالی گرانی و نقشه زمین‌شناسی..... ۸۱
- شکل ۴-۱۳ تلفیق نقشه تتا حاصل از آنومالی گرانی و نقشه زمین‌شناسی..... ۸۱

- شکل ۴-۱۴ تلفیق نقشه سیگنال تحلیلی آنومالی میدان کل مغناطیسی و نقشه زمین شناسی منطقه..... ۸۳
- شکل ۴-۱۵ تلفیق نقشه تنا آنومالی میدان کل مغناطیسی و نقشه زمین شناسی..... ۸۳
- شکل ۴-۱۶ نقشه تلفیقی آنومالی باقیمانده گرانی و زمین شناسی [۲۹]..... ۸۵
- شکل ۴-۱۷ نقشه آنومالی باقیمانده مغناطیسی منطقه دهنو [۲۹]..... ۸۵
- شکل (ب-۱) صفحه اصلی نرم افزار و بخشهای مختلف آن..... ۱۱۲
- شکل (ب-۲) وارد کردن داده ها به نرم افزار..... ۱۱۳
- شکل (ب-۳) نمایش داده های وارد شده به نرم افزار بصورت بانک اطلاعاتی..... ۱۱۳
- شکل (ب-۴) شبکه بندی داده ها..... ۱۱۴
- شکل (ب-۵) انتخاب روش شبکه بندی داده ها..... ۱۱۵
- شکل (ب-۶) نمایش شبکه ساخته شده بصورت نقشه در صفحه نمایش اصلی..... ۱۱۵
- شکل (ب-۷) اعمال تنظیمات دلخواه بر روی نقشه ها..... ۱۱۶
- شکل (ب-۸) افزودن خطوط تراز به نقشه..... ۱۱۶
- شکل (ب-۹) اعمال فیلترهای مختلف بر روی شبکه ها..... ۱۱۷
- شکل (ب-۱۰) اعمال یک رابطه ریاضی بر روی شبکه های دلخواه..... ۱۱۷
- شکل (ب-۱۱) انتخاب شبکه های مورد نظر برای اعمال روابط ریاضی..... ۱۱۸
- شکل (ب-۱۲) آنومالی بوگه منطقه دهنو..... ۱۱۹
- شکل (ب-۱۳) مشتق افقی آنومالی گرانی منطقه دهنو در جهت محور X..... ۱۱۹
- شکل (ب-۱۴) مشتق افقی آنومالی گرانی منطقه دهنو در جهت Y..... ۱۲۰
- شکل (ب-۱۵) مشتق قائم آنومالی گرانی منطقه دهنو..... ۱۲۰
- شکل (ب-۱۶) سیگنال تحلیلی سه بعدی حاصل از مشتقات آنومالی گرانی منطقه دهنو..... ۱۲۱
- شکل (ب-۱۷) نقشه تنا به دست آمده از آنومالی گرانی منطقه دهنو..... ۱۲۱
- شکل (ج-۱) اعمال فیلتر زاویه انحراف بر روی پاسخ مدل مصنوعی گرانی..... ۱۲۴
- شکل (ج-۲) اعمال فیلتر مشتق افقی زاویه انحراف بر روی پاسخ مدل مصنوعی گرانی..... ۱۲۴
- شکل (ج-۳) اعمال فیلتر تنا بر روی پاسخ مدل مصنوعی گرانی..... ۱۲۵

- شکل (ج-۴) اعمال فیلتر زاویه انحراف هیپربولیک بر روی پاسخ مدل مصنوعی گرانی..... ۱۲۵
- شکل (ج-۵) اعمال فیلتر زاویه انحراف مرتبه دوم بر روی پاسخ مدل مصنوعی گرانی..... ۱۲۶
- شکل (ج-۶) اعمال فیلتر زاویه انحراف جهتی (در جهت محور X) بر روی پاسخ مدل مصنوعی گرانی..... ۱۲۶
- شکل (ج-۷) اعمال فیلتر زاویه انحراف جهتی (در جهت محور Y) بر روی پاسخ مدل مصنوعی گرانی..... ۱۲۷
- شکل (ج-۸) اعمال فیلتر گرادیان افقی نرمال شده بر روی پاسخ مدل مصنوعی گرانی..... ۱۲۷
- شکل (ج-۹) اعمال فیلتر زاویه انحراف بر روی پاسخ مدل مصنوعی مغناطیسی..... ۱۲۸
- شکل (۸-۱۰) اعمال فیلتر مشتق افقی زاویه انحراف بر روی پاسخ مدل مصنوعی مغناطیسی..... ۱۲۸
- شکل (ج-۱۱) اعمال فیلتر تتا بر روی پاسخ مدل مصنوعی مغناطیسی..... ۱۲۹
- شکل (ج-۱۲) اعمال فیلتر زاویه انحراف هیپربولیک بر روی پاسخ مدل مصنوعی مغناطیسی..... ۱۲۹
- شکل (ج-۱۳) اعمال فیلتر زاویه انحراف مرتبه دوم بر روی پاسخ مدل مصنوعی مغناطیسی..... ۱۳۰
- شکل (ج-۱۴) اعمال فیلتر زاویه انحراف جهتی (در جهت محور X) بر روی پاسخ مدل مصنوعی مغناطیسی..... ۱۳۰
- شکل (ج-۱۵) اعمال فیلتر زاویه انحراف جهتی (در جهت محور Y) بر روی پاسخ مدل مصنوعی مغناطیسی..... ۱۳۱
- شکل (ج-۱۶) اعمال فیلتر گرادیان افقی نرمال شده بر روی پاسخ مدل مصنوعی مغناطیسی..... ۱۳۱

فهرست جداول

جدول ۱-۳ مشخصات توده های فرضی. (کلیه واحدهای طول بر حسب متر می باشند)..... ۳۶

جدول ۲-۳ ضرایب اعمال شده برای میانگین گیری از داده ها..... ۵۲

جدول ۱-۴ خلاصه ای از سازندهای زاگرس و نقش آنها در منشأ، مخزن و یا سنگ پوشش بودن [۲۸]..... ۷۲

فهرست علائم به کار رفته

ثابت میدان گرانشی زمین	γ
کار	w
پتانسیل گرانشی	U
فاصله	r
چگالی	ρ
نیرو	F
مغناطیس القاء شده	I
گشتاور مغناطیسی	\vec{M}
شتاب جاذبه	H
مغناطیس شونددگی	K
شتاب جاذبه	g
اختلاف مغناطیس شونددگی	M
میدان مغناطیسی	B
میدان کل مغناطیسی	ΔT
عدد موج در جهت محور X	k_x
عدد موج در جهت محور Y	k_y
طول موج	λ

فصل اول

کلیات



۱-۱- مقدمه

ضرورت اکتشاف منابع معدنی مدفون در زمین، بشر را بر آن داشت تا به استفاده از روش هایی روی بیاورد که از روی خواص این توده ها بتوان این منابع را شناسایی کرد. یکی از این روشها که در اصطلاح روشهای اکتشاف غیر مستقیم نیز نامیده می شوند روشهای ژئوفیزیکی نامیده می شود. در اکتشافات ژئوفیزیکی اثر توده هایی که دارای خواص فیزیکی متفاوت با سنگ های اطراف خود می باشند، اندازه گیری می شود. تمامی روش های ژئوفیزیکی صرف نظر از نوع کاربرد آنها، از سه مرحله برداشت، پردازش و تفسیر تشکیل شده اند. با این وجود مهمترین مرحله هر روش ژئوفیزیکی تفسیر نتایج به دست آمده است که از این طریق می توان به مشخصات توده های آنومال مدفون پی برد.

در اکتشاف توده های آنومال، با توجه به خواص فیزیکی توده های آنومال، روش های ژئوفیزیکی مختلفی نیز استفاده می شود که از آن جمله می توان به روش های گرانی سنجی و مغناطیس سنجی اشاره کرد. توسط روش های مذکور می توان توده هایی که با سنگ های اطراف خود، دارای تباين دانسیته و مغناطیس شوندگی^۱ هستند را شناسایی نمود. به عنوان مثال وجود یا عدم وجود توده های نمکی که دارای دانسیته نسبتا پایینی نسبت به سایر سنگ ها می باشند، از جمله مسائلی است که می توان توسط برداشت های گرانی سنجی به بررسی آن پرداخت. همچنین تعیین عمق رسوبات از جمله مواردی است که توسط برداشت های مغناطیس سنجی صورت می گیرد. ساده بودن مبانی این

^۱ Magnetic susceptibility

روش ها، کم هزینه بودن نسبت به سایر روش های ژئوفیزیکی باعث توسعه کاربرد این روشها چه در اکتشافات معدنی و چه در اکتشافات نفتی شده است.

کاربرد بسیار زیاد این روش ها باعث شده تا دستگاه های بسیار مدرنی به بازار عرضه گردد و برداشت داده های مربوطه به راحتی انجام گیرد. با این وجود تعیین مشخصات یک توده آنومال مدفون در زمین، نیازمند تفسیر دقیق داده های برداشت شده می باشد. اما مساله قابل توجه پیشرفت روش های تفسیر این داده ها می باشد که، همانطور که اشاره شد، از مهمترین بخش های این اکتشافات می باشد. در واقع تنها از طریق روش تفسیر کارا و موثر می توان پارامترهای اساسی توده های مدفون را تعیین کرد.

مساله حائز اهمیت در تفسیر داده های ژئوفیزیکی و بخصوص داده های میدان پتانسیل همراه بودن نویز با داده های دلخواه (سیگنال) می باشد. به عبارت دیگر تفسیر دقیق و مناسب، تفسیری است که بتواند با بهره گیری از روش های مناسب به تفکیک این داده ها (نویز و سیگنال) پردازد و آنومالی که ناشی از توده مدفون مورد نظر می باشد را از سایر داده ها تفکیک نماید. جهت تفکیک آنومالی های میدان پتانسیل روش ها و فیلترهای مختلفی ارائه شده اند که از آن جمله می توان به فیلترهای ادامه فراسو (گسترش به سمت بالا)^۱، ادامه فروسو (گسترش به سمت پایین)^۲، مشتقات قائم^۳، گرادیان افقی^۴، روند سطحی^۵ و غیره اشاره نمود.

از جمله فیلترهایی که در سال های اخیر برای تفسیر داده های میدان پتانسیل ارائه شده است، فیلتر سیگنال تحلیلی^۶ می باشد. این فیلتر جهت تعیین موقعیت توده های آنومال به کار می رود [۱]. در واقع با استفاده از این فیلتر می توان مرز توده های آنومال را مشخص نمود و همچنین توده هایی که آنومالی آنها با یکدیگر تداخل دارند را نیز تا حدودی از یکدیگر تفکیک نمود.

^۱ Upward continuation

^۲ Downward continuation

^۳ Vertical derivatives

^۴ Horizontal gradient

^۵ Trend surface

^۶ Analytic signal

۱-۲- سوابق مطالعات انجام شده در تفسیر داده های میدان پتانسیل با فیلتر سیگنال تحلیلی

در تفسیر داده های میدان پتانسیل، روشهای مختلفی وجود دارد که در این مطالعه فقط روش سیگنال تحلیلی مدنظر است. با ورود رایانه ها به عرصه تحلیل داده های ژئوفیزیکی، تفسیر این داده ها روند رو به رشدی را طی نمود به طوری که امروزه تمامی فرآیندهای اعمال فیلترها و نمایش آنومالی ها که بسیار وقت گیر نیز می باشند به راحتی و با سرعت زیاد توسط نرم افزارهای مختلف قابل انجام می باشند. با تمامی این توضیحات تعیین توده های آنومال و تفسیر موقعیت افقی آن، امری است که به عهده مفسر می باشد و به تجربه و اطلاعات وی در این زمینه وابسته است. بنابراین محققین در صدد بودند تا روشی را ابداع کنند که بتوان به صورت خودکار چنین تفسیری را توسط رایانه ها انجام داد.

جهت تعیین موقعیت افقی توده های آنومال در سال ۱۹۷۲ نَبیقیان^۱ روش جدیدی را جهت تفسیر داده های میدان پتانسیل ارائه نمود [۱]. وی در مقاله خود سیگنال تحلیلی را ترکیبی از مشتقات افقی و قائم میدان مغناطیسی معرفی کرده و مدعی شد که از طریق این روش می توان به تفسیر خودکار داده های میدان پتانسیل پرداخت. همچنین در سال ۱۹۸۴ وی محاسبه سیگنال تحلیلی سه بعدی را نیز بیان کرد [۲] و طی مقاله ای رابطه محاسبه سیگنال تحلیلی سه بعدی را ارائه نمود. پس از وی افراد مختلفی مانند روئست^۲، ورهوف^۳ و پیلکینگتون^۴ [۳] این روش را توسعه دادند تا از طریق آن بتوان به موقعیت افقی توده های آنومال پی برد. در سال های اخیر روش سیگنال تحلیلی توسعه بیشتری یافته است به طوری که افراد زیادی در این زمینه مقالاتی ارائه نموده اند که از آن جمله می توان به لین پینگ^۵ [۴]، راوات^۶ [۵]، بلیم^۷ [۶]، احمد سالم^۸ [۷] و لی^۹ [۸] اشاره کرد. تمامی این

Misac N.Nabighian^۱

Roest^۲

Verhoef^۳

Pilkington^۴

Linping^۵

Ravat^۶

Bilim^۷

Ahmed salem^۸

Li^۹

افراد از سیگنال تحلیلی به عنوان روشی که می تواند مرز توده های آنومال میدان پتانسیل را تعیین کند، نام برده اند.

۱-۳- ضرورت و هدف از انجام پایان نامه

همانطور که اشاره شد تفسیر کمی داده های میدان پتانسیل از اهمیت ویژه ای در اکتشافات ژئوفیزیکی برخوردار است. این تفسیر از طریق مدل سازی و اعمال فیلترهای مختلف بر روی داده ها صورت می گیرد. با این وجود، با استفاده از فیلترها تنها می توان به صورت کیفی محل توده ها را مشخص نمود و تعیین دقیق محل قرار گیری توده ها و تهیه نقشه ای که در آن تنها مرز توده ها مشخص شده باشد، از طریق این فیلترها امکان پذیر نمی باشد. مدل سازی داده های میدان پتانسیل نیز بیشتر جهت تعیین شکل و عمق توده ها به کار می رود. وقتگیر بودن و پیچیده بودن مدل سازی باعث شده تا کمتر از آن به طور خاص جهت تعیین مرز توده ها استفاده شود.

با توجه به این مطالب ارائه روشی که بتواند به سادگی و با صرف زمان کم مرز توده ها را مشخص کند لازم و ضروری است. با توجه به اینکه در مقالات مختلف از روش سیگنال تحلیلی به عنوان تعیین کننده مرز توده های دوبعدی نامبرده شده است، لازم است تا قابلیت این فیلتر در تعیین مرز توده های سه بعدی و تهیه نقشه مرزها مورد بررسی بیشتر قرار گیرد. بنابراین به طور خلاصه هدف از انجام این پایان نامه، بررسی فیلتر سیگنال تحلیلی در تعیین مرزهای توده های آنومال میدان پتانسیل می باشد.

۱-۴- روش تحقیق

در این تحقیق فیلتر سیگنال تحلیلی و قابلیت این فیلتر در تعیین مرز توده های آنومال مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور ابتدا این فیلتر بر روی داده های مصنوعی که تمامی خواص آنها مشخص است اعمال شد تا مشخص گردد که آیا این فیلتر جهت تعیین مرز توده ها موثر است یا خیر؟ جهت اعمال فیلتر سیگنال تحلیلی بر روی آنومالی گرانی و مغناطیسی حاصل از توده های فرضی ۵ توده مکعب مستطیلی شکل در نظر گرفته شده و آنومالی میدان پتانسیل حاصل از این توده ها بر روی یک شبکه برداشت مسطح محاسبه شده است. پس از به دست آوردن اثر گرانی و مغناطیسی توده های فرضی به صورت یک ماتریس، ابتدا داده ها توسط تبدیل فوریه به بازه عدد موج

انتقال یافته و فیلترهای گرادیان افقی و مشتق قائم بر روی این ماتریس اعمال شده و توسط تبدیل فوریه معکوس به بازه اعداد حقیقی برگردانده شده است. بدین ترتیب سیگنال تحلیلی آنومالی ها از روی مشتقات افقی و قائم محاسبه می شود. پس از محاسبه سیگنال تحلیلی آنومالی های میدان پتانسیل، توسط روش بلکلی و سیمپسون مرزهای توده های آنومال تخمین زده شده و توسط نرم افزار Surfer به نقشه در می آید. لازم به ذکر است که محاسبه فیلتر های مختلف تماماً توسط سابروتین هایی که در نرم افزار Matlab [۹] نوشته شده اند صورت می گیرد و نتایج برای تهیه نقشه به نرم افزارهای دیگر انتقال داده شده است.

در صورتی که در مورد توده های مصنوعی پاسخ مناسبی به دست آید به بررسی این فیلتر در مورد داده های واقعی پرداخته می شود تا قابلیت این فیلتر در مورد داده های واقعی نیز محک زده شود. بدین منظور توسط سابروتین های نوشته شده مشتقات افقی و قائم آنومالی میدان پتانسیل منطقه دهنو و سپس سیگنال تحلیلی مربوط به آنها محاسبه شده است. جهت اطمینان از صحت نتایج به دست آمده از برنامه نویسی، این نتایج با نتایج حاصل از نرم افزار Profile Analyst [۱۰] مقایسه شده است.

۱-۵- ساختار پایان نامه

در فصل اول به کلیاتی در خصوص اهمیت تفسیر داده های میدان پتانسیل و نقش روش سیگنال تحلیلی در تعیین مرز آنومالی ها اشاره شد. در فصل دوم به مبانی روش های میدان پتانسیل، محاسبه اثر گرانی و مغناطیسی یک توده مکعب مستطیلی شکل، تبدیل فوریه، اعمال فیلترهای مورد نظر در بازه عدد موج و سیگنال تحلیلی پرداخته می شود. فصل سوم به بررسی فیلتر سیگنال تحلیلی در مورد توده های مصنوعی می پردازد. فصل چهارم نیز مختص به داده های واقعی اندازه گیری شده در منطقه دهنو می باشد و تمامی فرآیندهای لازم جهت محاسبه اندازه سیگنال تحلیلی این داده ها به طور کامل شرح داده شده است. در انتها نیز نتایج به دست آمده از اعمال روش سیگنال تحلیلی بر روی داده های مصنوعی و داده های منطقه دهنو بیان گردیده و پیشنهاداتی در این زمینه ارائه شده است.



فصل دوم

مبانی روش های میدان پتانسیل



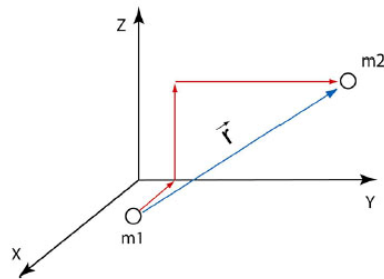
۲-۱- مقدمه

به طور کلی هر روش ژئوفیزیکی دارای سه بخش عمده می باشد که به ترتیب عبارتند از برداشت داده ها، پردازش و تفسیر آنها. در تمامی این مراحل، از قوانین فیزیکی برای رسیدن به هدف مورد نظر استفاده می شود. بنابراین لازمه رسیدن به نتایج صحیح، آگاهی از قوانین فیزیکی و آشنا بودن به روابط ریاضی بین پارامترهای مختلف می باشد. با این توضیح در این بخش سعی شده تا مبانی روش های میدان پتانسیل و فیلترهای متداول تفکیک آنومالی، بخصوص سیگنال تحلیلی به صورت تئوری شرح داده شود تا ارتباط بین پارامترهای مختلف مشخص گردند. آنومالی گرانی و مغناطیسی ناشی از یک مکعب مستطیل، تبدیل فوریه، فیلترهای مشتق افقی و قائم و سیگنال تحلیلی از جمله مباحثی است که در این فصل صرف نظر از کاربردهای عملی آنها شرح داده می شود.

۲-۲- پتانسیل گرانشی

طبق قانون کشش جاذبه ای نیوتن نیروی کشش متقابل بین دو جسم به جرم آن دو و فاصله بین آنها وابسته است بطوریکه این نیرو با جرم هریک از اجسام بستگی مستقیم و با مجذور فاصله آنها رابطه عکس دارد (شکل ۱-۲). برای تبدیل تناسب به تساوی از ضریب ثابتی به نام ثابت عمومی جاذبه $(\gamma = 6.67 \times 10^{-8} \text{ cm}^3 \cdot \text{gr}^{-1} \cdot \text{s}^{-2})$ استفاده می شود [۱۱]. بنابراین داریم :

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



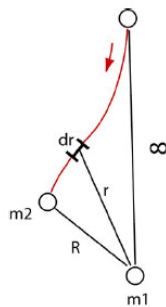
شکل ۱-۲ نیروی کشش متقابل بین دو جسم با جرم آنها رابطه مستقیم و با مجذور فاصله بین آنها رابطه عکس دارد.

طبق قانون دوم نیوتن نیروی وارد بر جسم برابر حاصلضرب جرم جسم در شتاب وارد بر آن می باشد ($F=m.a$). اگر این رابطه را در رابطه قبل جاگذاری کنیم خواهیم داشت :

$$a = \gamma \frac{m_e}{r^2} \quad (2-2)$$

که در این رابطه m_e جرم زمین و a مقدار شتاب گرانی زمین را نشان می دهد که با حرف (g) نیز نمایش داده می شود. واحد اندازه گیری g همان واحد شتاب می باشد ولی در روشهای اکتشافی از واحد دیگری به نام گال و یا واحد کوچکتری به نام میلی گال^۱ استفاده می شود [۱۱].

اگر جسمی به جرم m_2 در داخل میدان گرانشی جسمی به جرم m_1 قرار گرفته باشد (شکل ۲-۲) برای جابجایی آن به اندازه المان dr نیاز به کار dw می باشد. بنا به تعریف بیان شده برای کار، می توان میدان پتانسیل را به صورت رابطه (۳-۲) تعریف نمود [۱۱].



شکل ۲-۲ جرم m_1 در میدان گرانشی جسمی به جرم m_2 قرار گرفته است.

$$dw = -\gamma \frac{m_1}{r^2} dr \Rightarrow U = \int_{\infty}^r -\gamma \frac{m_1}{r^2} dr \quad (3-2)$$

^۱ 1 gal=1000 mgal

که در نهایت خواهیم داشت [۱۱]:

$$\Rightarrow U = -\gamma \frac{m_1}{r} \quad (۴-۲)$$

که در این رابطه U پتانسیل گرانشی ناشی از جرم m_1 می باشد. جهت برداشت داده های گرانی، دستگاه های مختلفی ارائه شده اند که می توان آنها را به دو گروه اساسی پایدار و ناپایدار اشاره کرد. امروزه دستگاه های مورد استفاده در برداشت های گرانی سنجی از نوع ناپایدار بوده و از آن جمله می توان به دستگاه گرانی سنج لاکوست رومبرگ سری G-440 اشاره نمود که در اکثر برداشت های گرانی در ایران از این دستگاه استفاده می شود. با این وجود، داده های برداشت شده به تنهایی قابل تفسیر نبوده و نیاز به اعمال تصحیحاتی دارند. این تصحیحات شامل تصحیح هوای آزاد^۱، تصحیح بوگه^۲، تصحیح زمینگان^۳ و تصحیح عرض جغرافیایی^۴ می باشند. به دلیل عدم ضرورت، از شرح این تصحیحات صرف نظر می شود و اطلاعات بیشتر را می توان از منابع [۱۲] و [۱۱] به دست آورد. با اعمال این تصحیحات تمام اندازه گیری ها بر روی یک سطح افقی مبنا قرار می گیرند و می توان فیلترهای مختلف جهت تفسیر را بر روی آنها اعمال کرد.

۳-۲- مغناطیس سنجی

مغناطیس سنجی شامل بررسی خاصیت مغناطیسی شونده^۵ سنگها و یا بعضی کانیهای است که با قرار گرفتن در میدان مغناطیسی زمین ایجاد آنومالی می کنند. در میان سنگها، سنگهای آذرین و دگرگونی دارای مغناطیس شونده^۵ بیشتری نسبت به سنگهای رسوبی می باشند. بنابراین از جمله اهداف اصلی در برداشت های مغناطیسی، برآورد تقریبی عمق توده های دارای خاصیت مغناطیسی، تعیین عمق تقریبی سنگ کف و ضخامت لایه های رسوبی می باشد.

نیروی مغناطیسی شامل نیرویی است که دو قطب غیر همنام به یکدیگر وارد می کنند و طبق تعریف عبارت است از [۱۱]:

^۱ Free air correction
^۲ Bouguer Correction
^۳ Terrain correction
^۴ Latitude correction
^۵ Magnetization

$$F = \frac{p_1 p_2}{\mu r^2} \quad (5-2)$$

در این رابطه F نیروی مغناطیسی بر حسب دین، r فاصله بین دو قطب بر حسب سانتی متر و جهت نیرو نیز از قطب p_1 به سمت p_2 می باشد. ضریب μ یا ضریب نفوذ مغناطیسی^۱ نیز کمیتی بدون بعد بوده که مقدار آن در خلا و هوا برابر ۱ می باشد. واحد قطب های مغناطیسی در سیستم CGS بر حسب emu^۲ می باشد.

شدت میدان مغناطیسی نیروی وارد شده بر واحد قطب مغناطیسی می باشد. بنابراین طبق تعریف داریم [۱۱]:

$$H = \frac{F}{p_2} \quad (6-2)$$

در این رابطه H شدت میدان مغناطیسی بر حسب ارستد (دین بر emu) می باشد. با این وجود قطبهای مغناطیسی همواره به صورت زوج وجود دارند بنابراین محتوای اصلی میدان مغناطیسی به صورت دوقطبی مغناطیسی می باشد. دو قطبی مغناطیسی از دو قطب مثبت و منفی مغناطیسی تشکیل شده است که به اندازه l از هم فاصله دارند. بنابراین در دو قطبی های مغناطیسی کمیتی به نام گشتاور مغناطیسی مدنظر قرار می گیرد که طبق رابطه زیر بیان می گردد [۱۱]:

$$\vec{M} = pl \vec{r} \quad (7-2)$$

در این رابطه p قدرت قطبهای مغناطیسی، l فاصله دو قطب مغناطیسی و \vec{r} برداری واحد و در جهت قطب مثبت به منفی است.

۲-۳-۱- مغناطیس شونده

اگر یک جسم مغناطیسی در یک میدان مغناطیسی قرار گیرد در اثر القاء دارای خاصیت مغناطیسی می گردد. مقدار و جهت مغناطیس شونده با اندازه میدان مغناطیسی که جسم در آن قرار گرفته (H) ، متناسب است. به عبارت دیگر می توان گفت [۱۱]:

^۱ Magnetic permeability
^۲ Electromagnetic Unite

$$M = KH \quad (۸-۲)$$

که در این رابطه M شدت مغناطیس شوندگی و K خودپذیری مغناطیسی^۱ نامیده می شود. تفاوت در خاصیت مغناطیس شوندگی سنگ های مختلف باعث می شود تا با برداشت های مغناطیسی بتوان آنها را از یکدیگر متمایز نمود. مقدار مغناطیس شوندگی در سنگهای آذرین زیاد و در سنگهای رسوبی معمولاً کم می باشد. به عبارت دیگر در سنگهای آذرین و دگرگونی حامل های اصلی مغناطیس شوندگی مخلوطی از اکسیدهای آهن و تیتانیوم است که کانی مگنتیت آشناترین آنها است. سنگهای رسوبی اغلب کمتر مغناطیسی هستند و ذرات مغناطیسی خود را در ابتدای تشکیل از سنگهای آذرین و دگرگونی و همچنین از فرآیندهای اکسایش کسب می کنند. در این مورد هماتیت اهمیت ویژه ای دارد.

یکی از مباحث برداشت های مغناطیسی القاء مغناطیسی^۲ است. در واقع در اثر وجود این خاصیت و به علت وجود مغناطیسی شوندگی وقتی جسمی در یک میدان مغناطیسی قرار می گیرد یک میدان مغناطیسی در آن جسم القا می شود که از برآیند این میدان و میدان مغناطیسی اصلی یک میدان نتیجه به وجود می آید. در برداشت ها نیز برآیند این دو میدان اندازه گیری می گردد و طبق رابطه زیر محاسبه می گردد [۱۱]:

$$B = \mu_0(H + M) = \mu_0(1 + k)H \quad (۹-۲)$$

در این رابطه B میدان مغناطیسی برآیند بر حسب تسلا می باشد.

در مورد آنومالی های محلی میدان مغناطیسی زمین باید این واقعیت مهم در نظر گرفته شود که برای یک جسم مغناطیسی با شکل معین، شکل منحنی آنومالی نه تنها از شکل جسم بلکه از زاویه میل میدان مغناطیسی کنونی زمین و همچنین از جهت گیری خود جسم متأثر می باشد. لذا مفسر در مواجهه با آنومالی مغناطیسی با خصیصه ای روبرو می شود که بسیار متغیرتر از خصیصه ای است که در موقع تفسیر گرانی با آن روبرو می باشد. هرچند مطمئناً این امکان وجود دارد که بین سنگ های ضعیف و قوی مغناطیس شده تمایز گسترده برقرار کنیم (در واقع آنومالی های برجسته اغلب بر اثر

^۱ Magnetic susceptibility

^۲ Magnetic induction

پهلوی هم قرار گرفتن اعضای دوگونه با خواص متفاوت پیدا می شود) ولی تفسیر اندازه و شکل جسم آسان نیست. به همین علت تفسیر داده های مغناطیسی بسیار پیچیده تر از داده های گرانی است [۱۳].

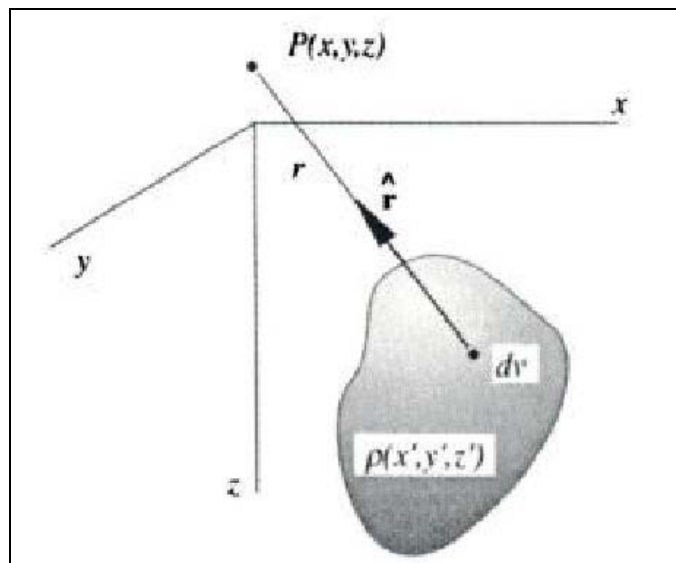
در برداشت های مغناطیسی نیز دستگاه های مختلفی جهت اندازه گیری میدان مغناطیسی استفاده می شود که از آن جمله می توان به دستگاه های مگنتومتر پروتون سری MP2 و MP3 اشاره کرد. همانند روش گرانی سنجی، انجام تصحیحات بر روی داده های مغناطیسی برداشت شده نیز امری ضروری می باشد. از جمله این تصحیحات می توان به تصحیح تغییرات روزانه، تصحیح طول و عرض جغرافیایی، تصحیح دریافت و تصحیح توپوگرافی اشاره نمود. جهت کسب اطلاعات بیشتر در مورد این تصحیحات می توان به منبع [۱۴] مراجعه کرد.

۲-۴- محاسبه اثر گرانی یک توده سه بعدی مکعب مستطیلی شکل

مطابق شکل ۲-۳ پتانسیل گرانشی U و شتاب جاذبه g در نقطه P و ناشی از توده ای با چگالی ρ به صورت زیر بیان می شود [۱۲]:

$$U(p) = \gamma \int_R \frac{\rho}{r} dv \Rightarrow g(p) = \nabla U = -\gamma \int_R \rho \frac{\hat{r}}{r^2} dv \quad (۱۰-۲)$$

که در این رابطه r فاصله از نقطه P تا المان حجمی dv و γ ثابت جهانی گرانش است.



شکل ۲-۳ توده سه بعدی با شکل دلخواه [۱۲].

با توجه به اینکه دستگاه های گرانی سنج شتاب جاذبه قائم را اندازه گیری می کنند (در جهت افزایش z) بنابراین در دستگاه کارترین خواهیم داشت [۱۲]:

$$g(x, y, z) = \frac{\partial U}{\partial z} = -\gamma \iiint_{z' y' x'} \rho(x', y', z') \frac{(z - z')}{r^3} dx' dy' dz' \quad (11-2)$$

که در این رابطه

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

همچنین قابل ذکر است که رابطه (۱۱-۲) را می توان به صورت کلی زیر نوشت :

$$g(x, w, z) = \frac{\partial U}{\partial z} = -\gamma \iiint_{z' y' x'} \rho(x', y', z') \varphi(x - x', y - y', z - z') dx' dy' dz' \quad (12-2)$$

که در این رابطه

$$\varphi(x, y, z) = -\gamma \frac{z}{(x^2 + y^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}}$$

مقدار $\varphi(x, y, z)$ تابع گرین^۱ نامیده می شود.

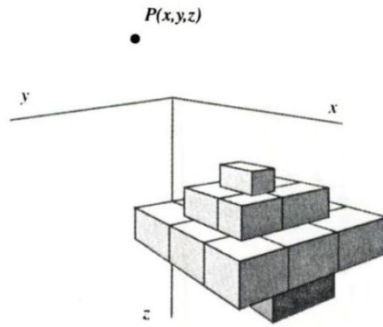
در روش های مدل سازی پیشرو نیاز به تکرار محاسبات $g(x, y, z)$ طبق رابطه (۱۲-۲) دارد که در عمل کمی پیچیده است. پیچیدگی این روش از اینجاست که باید شرایط پیچیده زمین شناسی طوری مدل شوند که بتوان انتگرال حجمی آنها را توسط کامپیوتر محاسبه کرد. به همین دلیل می توان توده های گرانشی فرضی را به N بخش ساده تر تقسیم کرد و رابطه (۱۲-۲) را به رابطه زیر تبدیل نمود:

$$g_m = \sum_{n=1}^N \rho_n \varphi_{mn} \quad (13-2)$$

که در این رابطه g_m شتاب جاذبه قائم در m امین نقطه برداشت، ρ_n دانسیته بخش n ام و φ_{mn} مقدار تابع گرین در نقطه m در نتیجه بخش n ام با دانسیته واحد می باشد.

توسط مجموعه ای از مکعب ها می توان راه حل ساده ای را برای تخمین یک توده سه بعدی ارائه نمود (شکل ۲-۴). اگر حجم مکعب ها به اندازه کافی کوچک باشد می توان دانسیته هر یک از آنها را ثابت فرض کرد و آنومالی گرانی را از مجموع اثر هر یک از مکعب ها در هر نقطه دلخواه توسط رابطه (۱۳-۲) به دست آورد.

^۱ Green's Function



شکل ۲-۴ تخمین یک توده سه بعدی توسط تعدادی مکعب مستطیل [۱۲].

شتاب جاذبه یک مکعب از انتگرال گیری از رابطه (۲-۱۱) در محدوده مکعب به دست می آید. به عنوان مثال یک مکعب با دانسیته ثابت ρ و اندازه تعریف شده به صورت $x_1 < x < x_2$ ، $y_1 < y < y_2$ و $z_1 < z < z_2$ ، در مبدأ مختصات دارای جاذبه قائم زیر است [۱۲]:

$$g = \gamma\rho \int_{z_1}^{z_2} \int_{y_1}^{y_2} \int_{x_1}^{x_2} \frac{z'}{[x'^2 + y'^2 + z'^2]^{3/2}} dx' dy' dz' \quad (۲-۱۴)$$

انتقال نقطه برداشت به مبدأ مختصات باعث ساده سازی انتگرال می شود. پلوف حاصل این انتگرال را به صورت زیر بیان کرده است [۱۵]:

$$g = \gamma\rho \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^2 \mu_{i,j,k} \left[z_k \tan^{-1} \frac{x_i y_i}{z_k R_{i,j,k}} - x_i \log(R_{i,j,k} + y_i) - y_i \log(R_{i,j,k} + x_i) \right] \quad (۲-۱۵)$$

که در این رابطه

$$R_{i,j,k} = \sqrt{x_i^2 + y_j^2 + z_k^2}$$

$$\mu_{i,j,k} = (-1)^i (-1)^j (-1)^k$$

رابطه (۲-۱۵) برای محاسبه هر $\varphi_{m,n}$ در رابطه (۲-۱۳) استفاده می شود و سپس از مجموع آنها جاذبه گرانشی یک توده با شکل دلخواه و دانسیته متغیر به دست می آید.

۲-۵- محاسبه اثر مغناطیسی یک توده سه بعدی مکعب مستطیلی شکل:

میدان مغناطیسی ناشی از حجمی از مواد مغناطیس شونده طبق رابطه زیر محاسبه می شود [۱۲]:

$$B = -c_m \nabla_p \int_R M \cdot \nabla_Q \frac{1}{r} dv \quad (16-2)$$

که در این رابطه M مغناطیس شونگی و r فاصله از نقطه برداشت P تا المان dv توده (که در نقطه Q قرار گرفته) است. مقدار c_m نیز به سیستمی که واحدها بر حسب آن بیان می شود بستگی دارد. اکثر برداشت های مغناطیسی، آنومالی کل میدان را محاسبه می کنند، اما در مواقعی ممکن است یک مولفه خاص از میدان مغناطیسی برداشت شود. آنومالی کل میدان مغناطیسی به صورت تقریبی طبق رابطه زیر بیان می شود [۱۲]:

$$\Delta T = -c_m \hat{F} \cdot \nabla_p \int_R M \cdot \nabla_Q \frac{1}{r} dv \quad (17-2)$$

که در این رابطه F بردار یکه در جهت میدان زمین است.

در این روش نیز مشابه مدل سازی پیشرو داده های گرانی توده مورد نظر به المان های ساده تر تقسیم می شود. این المانها به طور مثال می توانند به صورت دو قطبی مغناطیسی، مکعب مستطیل و یا قطاع های چند ضلعی باشند [۱۲].

رابطه محاسبه میدان مغناطیسی ناشی از یک مکعب مستطیل توسط باتاچاریا^۱ ارائه شده است. اضلاع هر مکعب به صورت موازی با محورهای x ، y و z قرار گرفته و دارای مغناطیس شونگی M است که به صورت زیر بیان می شود [۱۲]:

$$M = M(\hat{i} M_x + \hat{j} M_y + \hat{k} M_z) \quad (18-2)$$

در این رابطه M_x مغناطیس شونگی در جهت محور x ، M_y مغناطیس شونگی در جهت محور y و M_z مغناطیس شونگی در جهت محور z می باشد. اگر میدان مغناطیسی زمین برابر $\hat{F} = (F_x, F_y, F_z)$ باشد آنگاه آنومالی کل مشاهده شده در مبدأ طبق رابطه زیر ارائه می شود [۱۲]:

$$\Delta T = c_m M \left[\begin{array}{l} \frac{\alpha_{23}}{2} \log\left(\frac{r-x'}{r+x'}\right) + \frac{\alpha_{13}}{2} \log\left(\frac{r-y'}{r+y'}\right) - \frac{\alpha_{12}}{2} \log(r+z_1) - \hat{M}_x \hat{F}_x \arctan\left(\frac{x'y'}{x'^2 + rz_1 + z_1^2}\right) \\ - \hat{M}_y \hat{F}_y \arctan\left(\frac{x'y'}{x'^2 + rz_1 + x'^2}\right) + \hat{M}_z \hat{F}_z \arctan\left(\frac{x'y'}{rz_1}\right) \end{array} \right] \Bigg|_{x'=x_1, y'=y_1}^{x'=x_2, y'=y_2} \quad (19-2)$$

^۱ Bhattacharyya

که در این رابطه داریم :

$$\begin{aligned}\alpha_{12} &= \hat{M}_x \hat{F}_y + \hat{M}_y \hat{F}_x \\ \alpha_{13} &= \hat{M}_x \hat{F}_z + \hat{M}_z \hat{F}_x \\ \alpha_{23} &= \hat{M}_y \hat{F}_z + \hat{M}_z \hat{F}_y \\ r^2 &= x'^2 + y'^2 + z'^2\end{aligned}$$

رابطه (۲-۱۹) آنومالی کل مغناطیسی یک مکعب که از عمق z_1 تا بینهایت ادامه یافته است را نتیجه می دهد. برای محاسبه آنومالی یک مکعب که از عمق z_a تا z_b ادامه دارد باید این رابطه را دو بار محاسبه کرد، به طوری که ابتدا برای منشور چهار وجهی از عمق z_a تا بینهایت با مغناطیس شونده $+M_0$ و سپس برای مکعب مستطیل از عمق z_b تا بینهایت با مغناطیس شونده $-M_0$ محاسبه شود [۱۲].

با تقسیم توده به مجموعه ای از مکعب مستطیل ها و با استفاده از تکرار محاسبه این رابطه می توان آنومالی مغناطیسی توده مورد نظر را به دست آورد. همچنین با تکرار این فرآیند برای نقاط برداشت مختلف می توان آنومالی میدان کل مغناطیسی این توده را برای نقاط مختلف شبکه به دست آورد.

۲-۶- تبدیل فوریه

بطور خلاصه یک تابع متناوب را می توان بصورت یک سری نامتناهی از ضرایب سینوسی معادل کرد. بعنوان مثال اگر $f(x)$ تابعی با دوره تناوب X باشد آنگاه می توان $f(x)$ را بصورت زیر نمایش داد [۱۲]:

$$f(x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} F_n e^{ik_n x} \quad (2-20)$$

که در این رابطه :

$$i = \sqrt{-1}, k_n = \frac{2\pi n}{X}$$

ضرایب F_n در این سری توسط رابطه زیر بیان می گردند:

$$F_n = \frac{1}{X} \int_{x_0}^{x_0+X} f(x) e^{-ik_n x} dx \quad (21-2)$$

اکنون فرض کنید که تابع $f(x)$ در یک بازه محدود بر روی محور x ها تکرار نمی شود. در این حالت باید تغییرات $f(x)$ را محدود به طول محدودی بر روی محور x ها کرد. در واقع داریم:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} |f(x)| dx < \infty \quad (22-2)$$

به بیان دیگر می توان گفت که اگر تابعی در رابطه (22-2) صدق کند می توان تبدیل فوریه را در مورد آنها اعمال کرد. از آنجایی که آنومالی های گرانی و مغناطیس شامل تعداد محدودی نقطه برداشت هستند همواره این شرط در مورد آنها صادق است. بنابراین می توان گفت که اگر $X \rightarrow \infty$ باشد رابطه (21-2) تبدیل به تبدیل فوریه تابع غیر متناوب $f(x)$ تغییر می یابد [12].

$$F(k) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) e^{-ikx} dx \quad (23-2)$$

متغیر k در این رابطه عدد موج نامیده می شود و دارای واحد عکس فاصله است که قابل مقایسه با فرکانس زاویه ای در تبدیل فوریه در بازه زمان می باشد. عدد موج ارتباط معکوس با طول موج λ دارد و بصورت زیر بیان می شود:

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (24-2)$$

تبدیل فوریه $F(k)$ یک تابع مختلط با بخش های حقیقی (Re) و موهومی (Im) است که آن را می توان بصورت زیر نمایش داد:

$$F(k) = |F(k)| e^{i\theta(k)} \quad (25-2)$$

که در این رابطه

$$|F(k)| = \left[(\text{Re } F(k))^2 + (\text{Im } F(k))^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\theta(k) = \arctan \frac{\text{Im } F(k)}{\text{Re } F(k)}$$

تابع $|F(k)|$ و $\theta(k)$ فاز و طیف دامنه مربوط به این تابع نامیده می شوند. انرژی کل تابع $f(x)$ نیز از رابطه زیر بدست می آید [12]:

$$E = \int_{-\infty}^{+\infty} |F(k)|^2 dx \quad (26-2)$$

و $|F(K)|^2$ نیز طیف انرژی-چگالی نامیده می شود.

از نکات بخصوص تبدیل فوریه این است که این تبدیل دارای تبدیل معکوس نیز می باشد که بصورت زیر بیان می گردد [۱۲]:

$$f(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} F(k) e^{ikx} dk \quad (27-2)$$

تا این جا توابع مورد بحث تنها شامل یک متغیر x بودند اما در موارد بسیار زیادی از جمله اندازه گیری های گرانی و مغناطیسی در یک سطح، امکان مواجهه با توابعی وجود دارد که شامل دو متغیر

x, y هستند. در این حالت تبدیل فوریه تابع $f(x, y)$ و عکس آن به صورت زیر بیان می شوند [۱۲]:

$$F(k_x, k_y) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x, y) e^{-i(k_x x + k_y y)} dx dy \quad (28-2)$$

$$f(x, y) = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} F(k_x, k_y) e^{i(k_x x + k_y y)} dk_x dk_y \quad (29-2)$$

که k_x و k_y عدد موج درجهت x و y می باشند و در نتیجه داریم:

$$k_x = \frac{2\pi}{\lambda_x}, k_y = \frac{2\pi}{\lambda_y} \quad (30-2)$$

در واقع $F(k)$ و $f(x)$ دو روش نمایش متفاوت از یک موج است و تبدیل فوریه تنها یک تابع را از یک بازه (زمان یا فاصله) به بازه دیگر (عدد موج یا فرکانس) به تصویر درمی آورد.

۷-۲- تبدیل فوریه ناپیوسته^۱

در عمل ما با یکسری از داده ها و اعداد برداشت شده ناپیوسته مواجه هستیم که باعث می شود تا با نوع خاصی از تبدیل فوریه سروکار داشته باشیم. تبدیل فوریه داده های برداشت شده تحت عنوان تبدیل فوریه ناپیوسته شناخته می شود. این تبدیل دارای دو محدوده بلندترین و کوتاه ترین طول موج است. در واقع طول موج هایی که دو برابر فاصله نمونه برداری هستند توسط تبدیل فوریه ناپیوسته غیرقابل شناسایی هستند [۱۲].

^۱ Discrete Fourier Transform

تبدیل فوریه ناپیوسته، متناوب است که دوره تناوب آن نسبت عکس با فاصله نمونه برداری دارد. فرض کنید تابع $f(x)$ توسط N نمونه متوالی با فاصله برداشت Δx نمونه برداری شده است. اگر مقدار $f(x)$ را در خارج محدوده این N نمونه صفر در نظر بگیریم آنگاه می توان فرض کرد که N نامتناهی است. در این حالت $F_D(k)$ (تبدیل فوریه ناپیوسته) مرتبط با تبدیل فوریه $F(k)$ است. دوره تناوب تبدیل فوریه ناپیوسته برابر $k_s = \frac{2\pi}{\Delta x}$ است و k_s عدد موج نمونه برداری نامیده می شود و نصف این عدد، عدد موج نایکوئیست^۱ نامیده می شود. به دلیل اینکه تبدیل فوریه ناپیوسته در هر $\frac{2\pi}{\Delta x}$ تکرار می شود داده های غیر تکراری در بازه $\pm \frac{\pi}{\Delta x}$ قرار می گیرد. بنابراین عدد موج نایکوئیست بزرگترین عدد موج بکارگرفته شده است. شایان ذکر است که طول موج نایکوئیست دوبرابر فاصله نمونه هاست [۱۲].

در نهایت تبدیل فوریه ناپیوسته و عکس آن طبق رابطه زیر بیان می شود [۹]:

$$F(u, v) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-j2\pi(ux/M + vy/N)} \quad (۳۱-۲)$$

$$f(x, y) = \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u, v) e^{j2\pi(ux/M + vy/N)}$$

۲-۸- تبدیل هیلبرت^۲

تبدیل هیلبرت نقش بسیار مهمی را در محاسبه مشتق قائم و سیگنال تحلیلی دارد و به صورت زیر تعریف می شود [۱۲]:

$$F_I(x) = -\frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{f(x')}{x' - x} dx' \quad (۳۲-۲)$$

و تبدیل معکوس آن نیز بصورت زیر تعریف می شود:

$$f(x') = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{F_I(x)}{x' - x} dx \quad (۳۳-۲)$$

از ضرب تبدیل فوریه تابع $f(x)$ در تبدیل فوریه $-\frac{1}{\pi x}$ خواهیم داشت:

^۱ Nyquist wave number
^۲ Hilbert Transform

$$F[F_t] = i \cdot \text{sgn}(k) \cdot F[f] \quad (۳۴-۲)$$

که در این رابطه:

$$\Rightarrow \text{sgn}(k) = \begin{cases} +1 \Leftrightarrow k > 0 \\ -1 \Leftrightarrow k < 0 \end{cases}$$

تبدیل هیلبرت دارای تاثیر عجیبی روی تابع $f(x)$ است، به طوری که این تبدیل دامنه تابع $f(x)$ را بدون تغییر باقی می گذارد اما فاز تابع $f(x)$ را به اندازه $\pi/2$ (اگر $K > 0$) و $-\pi/2$ (اگر $K < 0$) باشد تغییر می دهد [۱۲].

۲-۹- روش های تفکیک آنومالی

یکی از مهمترین بخش های تفسیر داده های میدان پتانسیل تعیین موقعیت توده های آنومال و تفکیک آنومالی هایی است که در موقعیت های مختلف افقی و قائم قرار گرفته اند. به بیان دیگر در برداشت داده های میدان پتانسیل برآیند اثر توده های مختلف اندازه گیری می شود که این مساله در تفسیر این داده ها نامطلوب است. زیرا ممکن است تعدادی از این توده ها مربوط به توده های سطحی بوده که به طور کلی خارج از هدف اکتشاف می باشند. از طرف دیگر ممکن است به دلیل نزدیک بودن دو توده آنومال، اثر برداشت شده آنها با یکدیگر تداخل داشته باشد و مفسر در نگاه اول قادر به تمایز این دو توده نباشد. بنابراین جهت تفسیر داده ها لازم است تا از روش هایی استفاده شود که بتوان آنومالی های متداخل را از یکدیگر تمایز داد و یا به عبارت دیگر جداسازی آنومالی ها از موارد بسیار مهم در تفسیر داده های میدان پتانسیل است.

جداسازی آنومالی های میدان پتانسیل، براساس این واقعیت صورت می گیرد که توده هایی که در اعماق مختلف قرار گرفته اند دارای آنومالی هایی با طول موج های مختلف هستند. به طور کلی هر چه عمق قرار گیری توده بیشتر باشد عرض آنومالی حاصل از آن بیشتر می شود [۱۲] و یا به عبارت دیگر توده هایی که در اعماق بیشتر قرار گرفته اند دارای طول موج بیشتری نسبت به توده های سطحی می باشند.

بر همین اساس روش های مختلفی برای تفکیک آنومالی ها ارائه شده است که از آن جمله می توان به فیلتر های بالا گذر^۱، پایین گذر^۲، ادامه فراسو (گسترش به سمت بالا) و ادامه فروسو (گسترش به

^۱ High-pass filter

^۲ Low-pass filter

سمت پایین) و روند سطحی^۱ [۱۶] اشاره کرد. در تمامی این فیلترها از تفاوت طول موج آنومالی های مختلف، برای جداسازی آنها استفاده می شود.

با استفاده از فیلتر بالا گذر آنومالی های با طول موج کوتاه (فرکانس بالا) از سایر داده ها جدا می گردند که قاعدتا مربوط به آنومالی های سطحی می باشند [۱۷]. در فیلتر پایین گذر نیز عکس مطلب فوق اتفاق می افتد، به طوری که آنومالی های با طول موج بلند (فرکانس پایین) که مربوط به آنومالی های عمیق می باشد، از سایر داده ها تفکیک می شود [۱۷].

در فیلتر ادامه فراسو (گسترش به سمت بالا)، آنومالی های حاصل بر روی سطحی بالاتر از سطح برداشت داده ها تصویر می شود که این مطلب خود باعث حذف آنومالی های با طول موج کم می گردد [۱۲]. بنابراین آنومالی حاصل مربوط به توده های عمیق می باشد. در صورتی که آنومالی های برداشت شده بر روی سطحی پایین تر از سطح برداشت شده تصویر شوند، آنومالی های با طول موج کم تقویت می گردد. در این روش آنومالی مربوط به توده های سطحی به صورت تیز در می آید که این کار از طریق اعمال فیلتر ادامه فرسو (گسترش به سمت پایین) امکان پذیر است [۱۲].

در روش روند سطحی نیز یک سطح به داده های برداشت شده برازش می شود که این سطح معرف آنومالی های عمیق می باشد. اختلاف بین آنومالی برداشت شده و سطح برازش شده بیانگر آنومالی های باقیمانده^۲ می باشد [۱۶]. در واقع از این روش جهت تفکیک آنومالی زمینه از آنومالی توده های سطحی استفاده می گردد.

همانطور که اشاره شد، فیلترهای مذکور بر اساس طول موج های مختلف آنومالی ها، توده هایی که در اعماق مختلف قرار گرفته اند را مشخص می کنند. با این حال این فیلترها هیچ کمکی به تعیین موقعیت افقی توده های آنومال نمی کنند و برای رسیدن به این هدف از روش های دیگری باید استفاده نمود. از جمله فیلترهایی که در تعیین موقعیت افقی توده های آنومال موثر هستند می توان به مشتقات جهتی، گرادیان افقی و سیگنال تحلیلی اشاره کرد که در ادامه به طور مفصل به شرح این فیلترها پرداخته می شود.

^۱ Trend surface

^۲ Residual

۲-۱۰- مشتقات جهتی میدان پتانسیل

فرض کنید متغیر $\varphi(x, y)$ که دارای تغییرات همواری است در روی یک صفحه افقی اندازه گیری شده است. مشتق های افقی $\varphi(x, y)$ با استفاده از روش های تفاوت محدود^۱ و برداشت های ناپیوسته $\varphi(x, y)$ به راحتی قابل محاسبه است. به عنوان مثال اگر $\varphi(i, j)$ ($i=1,2,\dots, j=1,2,\dots$) برداشتهای ناپیوسته $\varphi(x, y)$ را در فواصل برداشت مساوی Δx و Δy نشان دهد آنگاه مشتق های افقی این تابع در نقطه i, j بصورت تقریبی برابر است با [۱۲]:

$$\frac{d\varphi(x, y)}{dx} \approx \frac{\varphi_{i+1,j} - \varphi_{i-1,j}}{2\Delta x} \quad (۳۵-۲)$$

$$\frac{d\varphi(x, y)}{dy} = \frac{\varphi_{i,j+1} - \varphi_{i,j-1}}{2\Delta y}$$

مشتقات افقی در بازه فوریه نیز به راحتی قابل محاسبه می باشند. با توجه به خاصیت مشتق گیری تبدیل فوریه مشتق های افقی $\varphi(x, y)$ به صورت زیر بیان می شود [۱۲]:

$$F\left[\frac{d^n \varphi}{dx^n}\right] = (ik_x)^n F[\varphi] \quad (۳۶-۲)$$

$$F\left[\frac{d^n \varphi}{dy^n}\right] = (ik_y)^n F[\varphi]$$

بنابراین $(ik_x)^n, (ik_y)^n$ فیلترهایی هستند که تابع اندازه گیری شده بر روی یک سطح را به مشتق درجه n ام آن تابع در جهت x و یا y تبدیل می کنند.

اگر φ یک تابع پتانسیل باشد می توان گرادیان قائم آنرا نیز محاسبه کرد. مشتق دوم قائم این تابع را می توان طبق قاعده لاپلاس (اگر φ یک تابع پتانسیل باشد آنگاه $\nabla^2 \varphi = 0$) به دست آورد. به طوری که داریم [۱۲]:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = 0 \Rightarrow \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = -\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} \quad (۳۷-۲)$$

اگر φ روی یک سطح افقی برداشت شده باشد به کمک رابطه (۳۶-۲) می توان تبدیل فوریه رابطه لاپلاس را بدست آورد.

^۱ Finite difference

$$F\left[\frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2}\right] = k_x^2 F[\phi] + k_y^2 F[\phi] = |k|^2 F[\phi] \quad (38-2)$$

بنابراین محاسبه مشتق قائم مرتبه دوم یک میدان پتانسیل که بر روی یک صفحه افقی اندازه گیری شده است شامل سه مرحله است:

(۱) تبدیل فوریه میدان پتانسیل

(۲) ضرب کردن در $|K|^2$

(۳) تبدیل فوریه معکوس

مشتق قائم دوم از روشهای اساسی در تفسیر داده ها می باشد [۱۸ و ۱۹]، زیرا این روش کمک بسیاری را به جداسازی و آشکارسازی آنومالی های سطحی می کند. به عنوان مثال دو تک قطبی را در نظر بگیرید که یکی در عمق d_1 و دیگری در عمق d_2 ($d_2 > d_1$) نسبت به نقطه اندازه گیری P قرار گرفته است. میدان هریک از تک قطبی ها نسبت عکس با مجذور فاصله آنها از نقطه P دارد. بنابراین اگر نقطه P به تک قطبی ها نزدیک شود میدان حاصل از تک قطبی سطحی تر سریعتر از میدان حاصل از تک قطبی عمقی تر افزایش می یابد.

خواص مشتق دوم قائم را می توان در رابطه (۳۸-۲) جستجو کرد. ضرب میدان پتانسیل در $|K|^2$ باعث تقویت مولفه های با طول موج کوتاه میدان می شود.

مشتق قائم درجه n ام میدان پتانسیل از روی تعریف مشتق محاسبه می شود. اگر Z به سمت عمق افزایش یابد و $\Delta z > 0$ باشد آنگاه داریم [۱۲]:

$$\frac{\partial}{\partial z} \phi(x, y, z) = \lim_{\Delta z \rightarrow 0} \frac{\phi(x, y, z) - \phi(x, y, z - \Delta z)}{\Delta z} \quad (39-2)$$

با تبدیل این رابطه به رابطه ای در حوزه عدد موج داریم [۱۲]:

$$F\left[\frac{\partial \phi}{\partial z}\right] = \lim_{\Delta z \rightarrow 0} \frac{F[\phi] - F[\phi]e^{-|k|\Delta z}}{\Delta z} = \lim_{\Delta z \rightarrow 0} \frac{1 - e^{-|k|\Delta z}}{\Delta z} F[\phi] = |k|F[\phi] \quad (40-2)$$

به طریق مشابه می توان گرادیان قائم درجه n ام یک میدان پتانسیل را بدست آورد که بصورت زیر است [۱۲]:

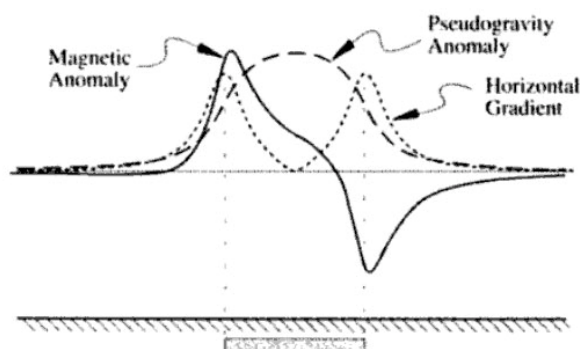
$$F\left[\frac{\partial^n \phi}{\partial z^n}\right] = |k|^n F[\phi] \quad (۴۱-۲)$$

۱۱-۲- گرادیان افقی

شدت گرادیان افقی آنومالی های گرانی یا مغناطیسی طبق رابطه زیر بیان می شود [۱۲]:

$$h(x, y) = \left[\left(\frac{\partial g_z(x, y)}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial g_z(x, y)}{\partial y} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (۴۲-۲)$$

بیشترین مقادیر گرادیان افقی درست در بالای مرز های توده های آنومال قرار می گیرد (شکل ۵-۲). به عبارت دیگر هنگامی که این روش روی داده های میدان پتانسیل پیاده می شود باعث می گردد تا نقاط عطف منحنی این آنومالی ها، در بالای توده های مغناطیسی و گرانی قرار گیرد [۱۲].



شکل ۵-۲ آنومالی مغناطیسی، گرانی و گرادیان افقی یک توده استوانه ای [۱۲].

تفسیر نقشه های گرادیان افقی جهت تعیین تباین دانسیته و مغناطیس شونگی و در نهایت پی بردن به شرایط زمین شناسی، با تعدادی فرض در مورد شرایط زیر زمین همراه است. بخصوص فرض می شود که تباین خواص فیزیکی یک توده در مرزهای قائم و پرشیب روی داده و یک توده از سایر توده ها جدا می گردد. مطمئنا زمین شناسی تا این اندازه ساده نیست و در داخل یک واحد زمین شناسی مغناطیس شونگی و دانسیته در سه بعد تغییر می کنند و سطح تماس بین واحدها نیز بطور کلی قائم نیست. بنابراین استفاده از این روش در مواردی که مرز توده ها قائم نیست، توصیه نمی شود.

۱۲-۲- روش بلکلی و سیمپسون در تعیین مرزهای آنومال

کردل^۱ و گروچ^۲ [۲۰] روشی را شرح داده اند که توسط آن می توان محل تغییرات ناگهانی دانسیته و مغناطیس شونددگی را تعیین کرد. مرحله نهایی این روش به تعیین بیشترین مقدار گرادیان افقی در روی یک نقشه تراز اختصاص دارد. کردل و گروچ جهت تهیه نقشه مرزهای آنومال، یک فرآیند سه مرحله ای را به کار برده اند. در این فرآیند ابتدا آنومالی گرانی و مغناطیسی شبکه بندی می شوند. سپس در مرحله دوم گرادیان افقی داده های حاصل از مرحله قبل محاسبه می گردد. توده های سطحی طوری تولید آنومالی می کنند که بیشترین مقدار گرادیان افقی این توده ها درست در بالای مرز آنها قرار می گیرد، به همین دلیل این دو مرحله باعث تبدیل آنومالی های گرانی و مغناطیسی به نقشه بیشترین گرادیان افقی می شود که مرزهای آنومالی را در خود نهفته است. در مرحله سوم نقشه خطوط تراز نتایج رسم می گردد تا محل بیشترین مقادیر تعیین گردد.

در روش بلکلی و سیمپسون، سعی بر این است تا مرحله نهایی روش کردل و گروچ به صورت یک برنامه کامپیوتری درآورده شود [۲۱]. بدین منظور باید ابتدا داده ها را بر روی یک شبکه مربعی یا مستطیلی پیاده کرد (شکل ۲-۶). هر یک از نقاط گره این شبکه به صورت یک عضو از یک آرایه است که با هشت عضو اطراف خود مقایسه می گردد. این مقایسه توسط نامساوی های زیر انجام می گیرد [۲۱]:

$$\begin{aligned} g_{i-1,j} < g_{i,j} > g_{i+1,j} \\ g_{i,j-1} < g_{i,j} > g_{i,j+1} \\ g_{i+1,j-1} < g_{i,j} > g_{i-1,j+1} \\ g_{i-1,j-1} < g_{i,j} > g_{i+1,j+1} \end{aligned} \quad (۴۳-۲)$$

در صورتی که هر یک از این نامساوی ها برقرار باشد به یک متغیر شمارشگر (N) عدد یک اضافه می گردد. بنابراین مقدار N بین صفر تا ۴ خواهد بود و تعداد نامساوی های درست را در این آرایه بیان می کند. برای هر نامساوی درست موقعیت افقی و مقدار ماکزیمم با درونیابی یک چند جمله ای درجه دو در امتداد سه نقطه به دست می آید. به عنوان مثال اگر نامساوی $g_{i-1,j} < g_{i,j} > g_{i+1,j}$ برقرار باشد موقعیت افقی ماکزیمم نسبت به $g_{i,j}$ برابر است با [۲۱]:

^۱ Cordell
^۲ Grouch

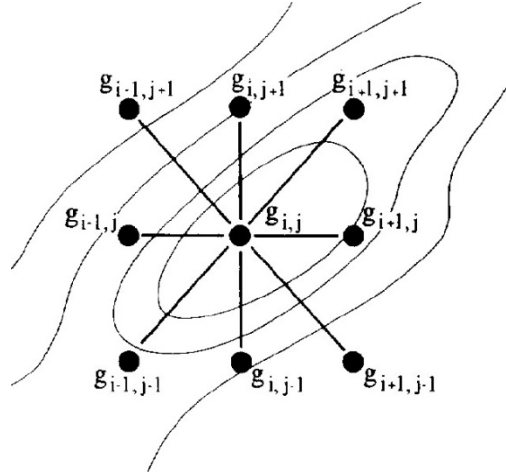
$$x_{\max} = -\frac{bd}{2a} \quad (۴۴-۲)$$

که در این رابطه:

$$a = \frac{1}{2}(g_{i-1,j} - 2g_{i,j} + g_{i+1,j})$$

$$b = \frac{1}{2}(g_{i+1,j} - g_{i-1,j})$$

و متغیر d هم برابر با فاصله بین نقاط تقاطع شبکه است.



شکل ۶-۲ پیاده کردن داده ها بر روی یک شبکه مربعی [۲۱].

مقدار گرادیان افقی در موقعیت تعیین شده از رابطه (۴۴-۲)، x_{\max} ، به شکل زیر به دست می آید:

$$g_{\max} = ax_{\max}^2 + bx_{\max} + g_{i,j} \quad (۴۵-۲)$$

اگر بیش از یک نا مساوی در این رابطه صدق کند، بیشترین مقدار g_{\max} و x_{\max} به آن گره اختصاص داده می شود. توسط حلقه های تودرتو می توان این فرآیند را برای سایر داده ها نیز تکرار کرد و مقدار g_{\max} و x_{\max} و N برای نقاط گره ای که در آن $N > 0$ است را ثبت نمود. حال مفسر می تواند محل ماکزیمم ها را در هر یک از چهار سطح مورد نظر نمایش دهد، اما پرکارترین نقشه در سطح ۲ یا ۳ می باشد [۲۱].

لازم به ذکر است که در سطوح مرزی غیرقائم با اطمینان کمتری می توان مرزهای توده را تعیین کرد. همچنین در پاره ای از موارد گرادیان افقی توده ها هیچ ارتباطی با نحوه قرارگیری افقی آنها ندارد. به عنوان مثال آنومالی گرانی یا شبه گرانی در بالای یک توده کروی به صورت یک حلقه است اما قطر این حلقه متناسب با عمق کره می باشد و هیچ رابطه ای با اندازه کره ندارد [۲۱].

۲-۱۳- سیگنال تحلیلی^۱

سیگنال تحلیلی در نتیجه ترکیب گرادیان قائم و افقی آنومالی میدان پتانسیل به وجود می آید. منحنی سیگنال تحلیلی بر روی منابع تولید کننده آنومالی دارای شکل خاصی می باشد که به موقعیت توده بستگی دارد [۱۲]. به همین دلیل می توان با استفاده از این خاصیت سیگنال تحلیلی به روشی رسید که در تفسیر داده های میدان پتانسیل کمک شایانی به مفسر شود. در مورد کاربردهای سیگنال تحلیلی در تفسیر داده های میدان پتانسیل دو بعدی افراد مختلفی از جمله نبیقیان^۲ [۱]، مقالات مختلفی را ارائه کرده اند. کاربرد سیگنال تحلیلی در تفسیر داده های مغناطیس دو بعدی اولین بار توسط نبیقیان برای تخمین عمق و محل توده ها استفاده شد [۱]. وی جهت محاسبه سیگنال تحلیلی، یک مقطع دو بعدی که دارای ضخامت واحد بوده و مغناطیس شونده آن ثابت است را در نظر گرفت. وی پس از محاسبه مشتق افقی این توده با استفاده از تبدیل هیلبرت مشتق قائم آن را نیز محاسبه کرد و سیگنال تحلیلی آن را به صورت زیر ارائه نمود:

$$A(x) = \varphi(x) - i\varphi_z(x) \quad (2-46)$$

که در این رابطه $\varphi(x)$ مشتق افقی آنومالی میدان مغناطیسی کل ناشی از توده و $\varphi_z(x)$ مشتق قائم آن می باشد. وی چند ویژگی مهم را در مورد این تابع بیان کرده است که عبارتند از

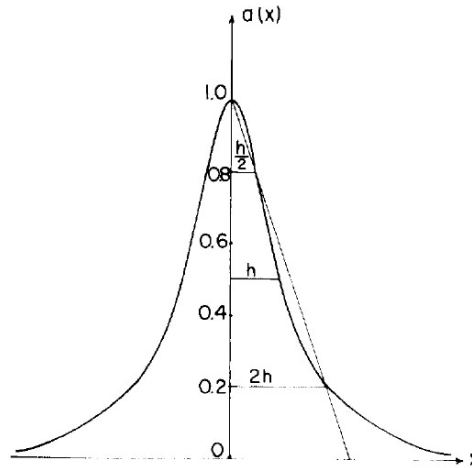
۱- $A(x)$ یک تابع تحلیلی از متغیر موهومی $z = x + iy$ است.

۲- اندازه تابع $A(x)$ نسبت به نقطه $x = 0$ دارای تقارن است. (شکل ۲-۷)

۳- می توان آن را بصورت کلی $W(x, y) = U(x, y) + iV(x, y)$ نوشت که در همه نقاط تحلیلی است بجز در روی توده ها. لازم به ذکر است که $U(x, y)$ و $V(x, y)$ در شرایط

$$\text{کاچی-ریمن}^3 \left(\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial v}{\partial y}, \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{\partial v}{\partial x} \right) \text{ صدق می کنند.}$$

^۱ Analytic signal
^۲ Misac N. Nabighian
^۳ Cauchy-Riemann Conditions



شکل ۷-۲ نمودار اندازه تابع سیگنال تحلیلی که دارای شکل زنگوله ای است [۱].

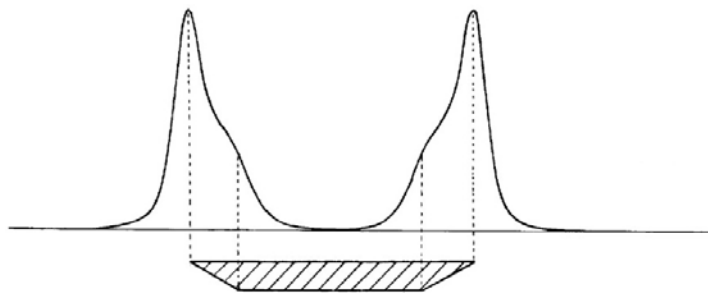
پس از آن در سال ۱۹۷۴ نبیقیان به توسعه روابط حاصله در مقاله قبل پرداخت و مشتقات مرتبه n ام سیگنال تحلیلی دو بعدی را به صورت زیر ارائه کرد [۲۲]:

$$A_n(x) = \left(\frac{\partial^n \varphi}{\partial x^n} \right)^2 + \left(\frac{\partial^n H}{\partial x^n} \right)^2 \quad (۴۷-۲)$$

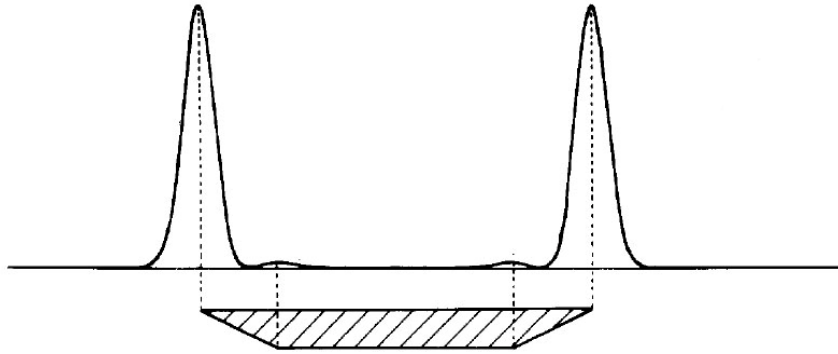
که در این رابطه داریم:

$$H(x) = \frac{\partial \varphi}{\partial y}$$

وی بیان کرد که استفاده از مشتقات درجه بالاتر سیگنال تحلیلی باعث افزایش اختلاف بین مقدار سیگنال تحلیلی در بالای نقاط گوشه ای سطحی تر نسبت به نقاط گوشه ای عمیق می گردد (شکل ۸-۲ و شکل ۹-۲).



شکل ۸-۲ نمودار اندازه سیگنال تحلیلی حاصل از یک چند ضلعی [۲۲].



شکل ۹-۲ نمودار اندازه مشتق سوم سیگنال تحلیلی حاصل از یک چند ضلعی [۲۲]. اندازه سیگنال تحلیلی در بالای نقاط گوشه ای سطحی تر نسبت به نقاط گوشه ای عمیق تر بارز شده اند.

وی در سال ۱۹۸۴ به بررسی سیگنال تحلیلی در بازه عدد موج پرداخت و طی مقاله ای روش محاسبه سیگنال تحلیلی دو بعدی و سه بعدی را در بازه عدد موج بیان کرد. با استفاده از توسعه روابط حاصله از سیگنال تحلیلی در دو بعد می توان سیگنال تحلیلی سه بعدی یک توده را نیز محاسبه نمود. همانطور که قبلا نیز اشاره شد مشتق میدان پتانسیل در جهت z از تبدیل هیلبرت این تابع حاصل می شود به طوریکه داریم [۲]:

$$\frac{\partial \varphi}{\partial z} = H \left[\frac{\partial \varphi}{\partial x} \right] \quad (۴۸-۲)$$

یا به عبارت دیگر

$$F \left[\frac{\partial \varphi}{\partial z} \right] = -i \cdot \text{sgn}(k) F \left[\frac{\partial \varphi}{\partial x} \right] \quad (۴۹-۲)$$

بنابراین سیگنال تحلیلی دو بعدی میدان پتانسیل φ در بازه عدد موج به صورت زیر تعریف می شود:

$$F \left[\frac{\partial \varphi}{\partial x} + i \frac{\partial \varphi}{\partial z} \right] = [1 + \text{sgn}(k)] F \left[\frac{\partial \varphi}{\partial x} \right] \quad (۴۹-۲)$$

تعمیم این رابطه به سیگنال تحلیلی سه بعدی از راه های زیادی امکان پذیر است. با این وجود برای این کار می توان از رابطه زیر آغاز نمود [۲]:

$$\sqrt{k_x^2 + k_y^2} = i k_x \frac{-i k_x}{\sqrt{k_x^2 + k_y^2}} + i k_y \frac{-i k_y}{\sqrt{k_x^2 + k_y^2}} \quad (۵۰-۲)$$

اگر طرفین رابطه در $F[\varphi]$ ضرب گردد و با توجه به تعریف مشتق میدان پتانسیل در جهت های x و y ، و در بازه عدد موج خواهیم داشت:

$$F\left[\frac{\partial\varphi}{\partial z}\right] = \frac{-ik_x}{\sqrt{k_x^2+k_y^2}} F\left[\frac{\partial\varphi}{\partial x}\right] + \frac{-ik_y}{\sqrt{k_x^2+k_y^2}} F\left[\frac{\partial\varphi}{\partial y}\right] \quad (51-2)$$

سپس یک تابع علامت جدید $\text{sgn}(k_x, k_y)$ به صورت یک بردار یکه در صفحه (k_x, k_y) به صورت زیر تعریف شده است:

$$\text{sgn}(k_x, k_y) = \frac{k_x}{\sqrt{k_x^2+k_y^2}} e_x + \frac{k_y}{\sqrt{k_x^2+k_y^2}} e_y \quad (52-2)$$

که e_x و e_y بردارهای یکه در جهت های x و y می باشد. بنابراین با توجه به این روابط می توان تبدیل هیلبرت تعمیم داده شده را در حالت سه بعدی به صورت زیر بیان کرد:

$$H = -i.\text{sgn}(k_x, k_y) = H_1 e_x + H_2 e_y \quad (53-2)$$

که در این رابطه H_1 و H_2 (عملگر توسعه یافته تبدیل هیلبرت) به صورت زیر تعریف می گردد:

$$H_1 = -\frac{ik_x}{\sqrt{k_x^2+k_y^2}} \quad (54-2)$$

$$H_2 = -\frac{ik_y}{\sqrt{k_x^2+k_y^2}}$$

اگر عملگر گرادیان افقی به صورت زیر تعریف شود:

$$\nabla_h = \frac{\partial}{\partial x} e_x + \frac{\partial}{\partial y} e_y \quad (55-2)$$

آنگاه خواهیم داشت :

$$F\left[\frac{\partial\varphi}{\partial z}\right] = H.F[\nabla_h\varphi] \quad (56-2)$$

و یا به عبارت دیگر

$$F\left[\frac{\partial\varphi}{\partial z}\right] = H_1 F\left[\frac{\partial\varphi}{\partial x}\right] + H_2 F\left[\frac{\partial\varphi}{\partial y}\right] \quad (57-2)$$

رابطه فوق یک روش مناسب برای محاسبه مشتق اول قائم از روی مشتقات افقی می باشد. در نهایت مقدار سیگنال تحلیلی در بازه عدد موج به صورت زیر به دست می آید [۲]:

$$F \left[\frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial M}{\partial y} + i \frac{\partial M}{\partial z} \right] = \left(1 + \frac{k_x}{\sqrt{k_x^2 + k_y^2}} \right) F \left(\frac{\partial M}{\partial x} \right) + \left(1 + \frac{k_y}{\sqrt{k_x^2 + k_y^2}} \right) F \left(\frac{\partial M}{\partial y} \right) \quad (59-2)$$

برای به دست آوردن سیگنال تحلیلی یک توده کافی است تا تبدیل فوریه معکوس بر روی مقدار به دست آمده از رابطه (2-59) اعمال شود و پس از محاسبه اندازه سیگنال تحلیلی آن را تفسیر نمود. در صورتی که هر یک از مشتقات افقی و قائم آنومالی به صورت جداگانه محاسبه شوند مقدار سیگنال تحلیلی طبق رابطه زیر محاسبه می شود [3]:

$$A(x, y) = \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x} \right) \hat{x} + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial y} \right) \hat{y} + i \left(\frac{\partial \varphi}{\partial z} \right) \hat{z} \quad (60-2)$$

همانطور که در رابطه (2-60) دیده می شود سیگنال تحلیلی سه بعدی دارای دو مولفه حقیقی و یک مولفه موهومی می باشد. مولفه های حقیقی سیگنال تحلیلی را مشتقات افقی میدان پتانسیل و مولفه موهومی آن را مشتق قائم این میدان تشکیل می دهد. رابطه (2-60) تنها تعریف سیگنال تحلیلی به صورت تئوری است زیرا در عمل از اندازه سیگنال تحلیلی استفاده می شود که طبق رابطه زیر به دست می آید [3]:

$$|A(x, y)| = \sqrt{\left(\frac{\partial \varphi}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial z} \right)^2} \quad (61-2)$$

توسعه سیگنال تحلیلی دو بعدی به سه بعدی باعث می شود تا تفسیر بهتر و کاملتری از مرزهای آنومال صورت بگیرد. اندازه سیگنال تحلیلی سه بعدی علاوه بر وابسته بودن به جهت میدان مغناطیسی زمین و بردار مغناطیس شونده به عواملی نظیر شیب مرز و مقدار اختلاف مغناطیس شونده نیز وابسته است [23].

رابطه (2-60) را می توان به صورت دیگری نیز بیان کرد. اگر \hat{x} ، \hat{y} و \hat{z} بردارهای یکه در سه جهت متعامد باشند و همچنین فرض شود که $\hat{t} = \hat{x} + \hat{y} + \hat{z}$ و $\hat{h} = \hat{x} + \hat{y}$ ، آنگاه سیگنال تحلیلی سه بعدی میدان پتانسیل φ در بازه فوریه از رابطه زیر به دست می آید [3]:

$$\hat{t}.F[A(x, y)] = \hat{h}.\nabla F(\varphi) + i\hat{z}.\nabla F(\varphi) \quad (62-2)$$

در این رابطه ∇ عملگر گرادیان می باشد. با توجه به اینکه مولفه های حقیقی و موهومی سیگنال تحلیلی زوج هیلبرت یکدیگر هستند^۱ بنابراین می توان سیگنال تحلیلی مرتبه های بالاتر یک میدان پتانسیل را به دست آورد. به طوری که اگر φ_n^z مشتق قائم مرتبه n ام میدان پتانسیل φ باشد آنگاه سیگنال تحلیلی مرتبه n ام این میدان از رابطه زیر به دست می آید [۲۳]:

$$\hat{t}.F[A_n(x, y)] = \hat{h}.\nabla F(\varphi_n^z) + i\hat{z}.\nabla F(\varphi_n^z) \quad (۶۳-۲)$$

بنابراین اندازه سیگنال تحلیلی مرتبه n ام نیز به صورت زیر به دست می آید [۲۳]:

$$|A_n(x, y)| = \sqrt{\left(\frac{\partial \varphi_n^z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial \varphi_n^z}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial \varphi_n^z}{\partial z}\right)^2} \quad (۶۴-۲)$$

همچنین اگر φ_n^h مشتق افقی مرتبه n ام میدان پتانسیل باشد می توان نوشت [۲۳]:

$$|A_n(x, y)| = \sqrt{\left(\frac{\partial \varphi_n^h}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial \varphi_n^h}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial \varphi_n^h}{\partial z}\right)^2} \quad (۶۵-۲)$$

با استفاده از این روابط، محاسبه سیگنال تحلیلی درجه یک و دو عملاً امکان پذیر است و مرتبه های بالاتر به دلیل به وجود آمدن نویز و اثرات مرزی نقشه های مطلوبی نمی باشند که البته این مساله به قابلیت تفکیک پذیری داده ها نیز بستگی دارد [۷].

مطالبی که تا اینجا عنوان گردید مبانی روش ها و مفاهیم به کار برده شده در این تحقیق است. در واقع با استفاده از روابط ارائه شده می توان هر یک از کمیت های مورد نظر را به صورت تئوری محاسبه کرد و یا به بررسی عوامل موثر در هر یک از این کمیت ها پرداخت. با این وجود، موثر بودن هر یک از این مفاهیم در تفسیر داده های میدان پتانسیل، مساله ای است که از طریق اعمال این فیلترها بر روی داده هایی که مشخصات توده های آنومال آنها معلوم است، مشخص می شود. جهت به دست آوردن داده هایی که مشخصات منابع آن معلوم باشد، نیاز به مدل سازی مصنوعی چند توده فرضی است. جهت بررسی قابلیت های سیگنال تحلیلی در تعیین مرز توده های آنومال چند توده آنومال در نظر گرفته شده و اثر گرانی و مغناطیسی آنها بر روی یک شبکه مسطح اندازه گیری شده است که در فصل بعد به طور مفصل به این مطالب پرداخته می شود.

^۱ تبدیل هیلبرت یکی از مولفه ها برابر با مولفه دیگر می باشد.

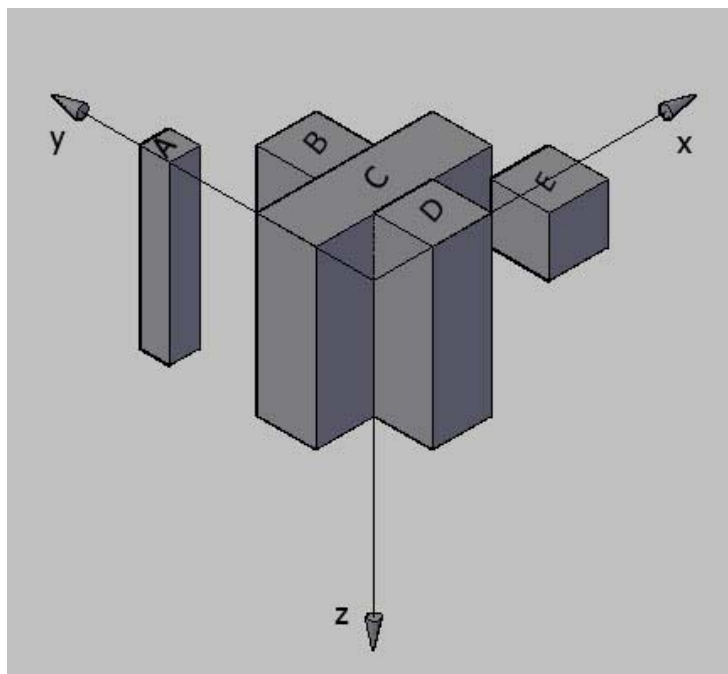
فصل سوم

بررسی عملکرد فیلترهای مختلف بر
روی مدل مصنوعی میدان پتانسیل



۱-۳- مقدمه

به منظور اعمال فیلترهای مختلف بر روی داده های میدان پتانسیل ابتدا لازم است تا این فیلترها بر روی داده های حاصل از مدل های مصنوعی آزمایش شوند تا در صورت گرفتن نتیجه مناسب بتوان آنها را روی داده های واقعی اعمال کرد. بر خلاف توده های واقعی، در مدل های مصنوعی ماهیت و موقعیت توده ها کاملاً مشخص است. بنابراین می توان با اعمال فیلترهای مختلف روی آنها به مزایا و معایب فیلتر مورد نظر پی برد. در واقع مدل های ساخته شده ماتریس هایی هستند که به عنوان تابع چگالی و یا مغناطیس شوندگی در برنامه کامپیوتری مورد استفاده قرار می گیرند. در این پایان نامه ۵ توده فرضی (شکل ۱-۳) تعریف شده و اثر گرانی و مغناطیسی آنها روی یک سطح افقی محاسبه گردیده اند و سپس روش های مختلف روی آنها مورد بررسی قرار گرفته است.



شکل ۱-۳ نمایش توده های مصنوعی

مشخصات این توده های فرضی در جدول ۳-۱ ارائه شده و آنومالی میدان پتانسیل حاصل از این توده ها بر روی یک شبکه برداشت مسطح محاسبه شده است. جهت محاسبه آنومالی حاصل از هر یک از توده ها اثر یک المان مکعب مستطیلی شکل که دانسیته آن ثابت در نظر گرفته می شود محاسبه شده و با استفاده از فرآیند تکرار مجموع آنومالی حاصل از هر یک از المانها به دست می آید. این عدد در واقع مقدار آنومالی گرانی و یا مغناطیسی در یکی از نقاط برداشت می باشد. با تکرار این فرآیند برای سایر نقاط شبکه یک ماتریس از داده های آنومالی گرانی یا مغناطیسی به دست می آید. پس از به دست آوردن اثر گرانی و مغناطیسی توده های فرضی به صورت یک ماتریس، ابتدا داده ها توسط تبدیل فوریه به بازه عدد موج انتقال یافته و فیلترهای مورد نظر بر روی این ماتریس اعمال شده و توسط تبدیل فوریه معکوس به بازه اعداد حقیقی برگردانده شده است. بدین ترتیب سیگنال تحلیلی آنومالی ها از روی مشتقات افقی و قائم محاسبه می شود. پس از اعمال این فیلترها بر روی آنومالی های میدان پتانسیل، توسط روش بلکلی و سیمپسون مرزهای توده های آنومال تخمین زده شده و توسط نرم افزار Surfer [۲۴] به نقشه درآمد شده است. لازم به ذکر است که محاسبه فیلترهای مختلف تماماً توسط سابروتین هایی که در نرم افزار Matlab نوشته شده اند صورت می گیرد و نتایج برای تهیه نقشه به نرم افزارهای دیگر انتقال داده شده است.

جدول ۳-۱ مشخصات توده های فرضی. (کلیه واحدهای طول بر حسب متر می باشند).

توده	x_{\min}	x_{\max}	y_{\min}	y_{\max}	z_{\min}	z_{\max}	$\rho(\text{gr.cm}^{-3})$	$M(\text{Am}^{-1})$
A	۱۰	۲۰	۸۰	۹۰	۱۰	۷۰	۲/۵	۰/۱
B	۴۰	۶۰	۶۰	۸۰	۲۰	۸۰	۲/۵	۰/۱
C	۲۰	۸۰	۴۰	۶۰	۲۰	۸۰	۲/۵	۰/۱
D	۴۰	۶۰	۲۰	۴۰	۲۰	۸۰	۳	۰/۱۵
E	۷۰	۹۰	۱۰	۳۰	۲۰	۴۰	۳	۰/۱۵

در مدل های سه بعدی، آرایه مربوط به خاصیت فیزیکی توسط حلقه های تودرتو در یک سابروتین مدل سازی می شود. برای این کار ابتدا یک آرایه سه بعدی تعریف شده و به تمام مقادیر آن یک عدد پیش فرض (ترجیحاً صفر) تعلق می گیرد. سپس توسط سه حلقه تودرتو به نقاطی که توده در آن قرار دارد مقادیر دانسیته و یا مغناطیس شونده نظیر می شوند. به عنوان مثال برای مدل کردن یک توده

$$^1 \text{Am}^{-1} = \text{انگستر م بر متر}$$

مکعبی شکل با ابعاد $10 \times 10 \times 10$ و با موقعیت مکانی $40 < x < 50$ ، $40 < y < 50$ ، $40 < z < 50$ و مغناطیس شونده‌گی ثابت M ابتدا یک آرایه سه بعدی با ابعاد $100 \times 100 \times 100$ و با نام m تعریف می‌شود. سپس طبق برنامه زیر مکعب مدل می‌شود:

For i = 40:50

For j = 40:50

For x = 40:50

$M(i, j, x) = m_i$

Next x

Next j

Next i

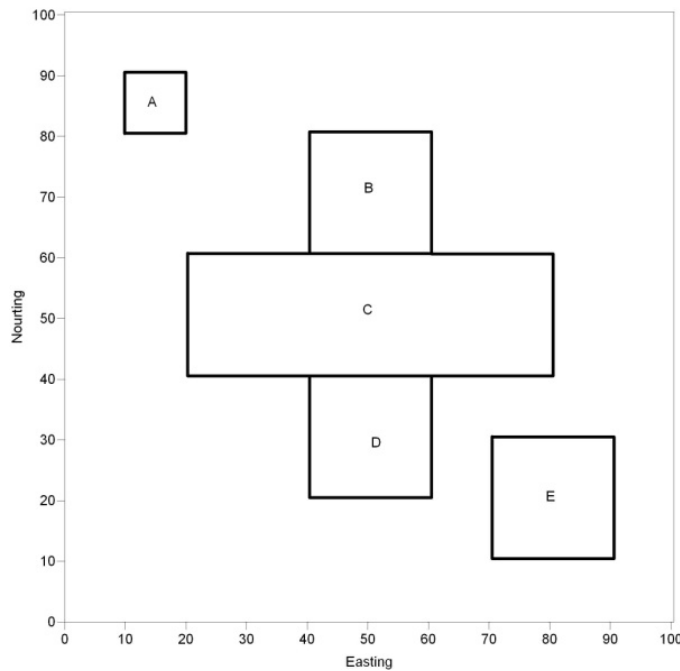
حلقه‌های تودرتو ارائه شده را می‌توان در Matlab به صورت زیر خلاصه کرد:

$M(40:50, 40:50, 40:50) = m_i;$

لازم به ذکر است که در این پایان نامه اندازه هریک از آرایه‌ها معادل ۱ متر در نظر گرفته شده است. به عبارت دیگر در ماتریس‌های سه بعدی هر آرایه ماتریس معادل یک متر مکعب از توده است که با مشخص بودن موقعیت سلول در ماتریس می‌توان آن را به نقطه خاصی از توده مدل شده اختصاص داد. به عنوان مثال آرایه M_{ijk} معادل توده‌ای با حجم ۱ متر مکعب با مغناطیس شونده‌گی مقدار معادل آرایه در مختصات $x=i$ و $y=j$ و $z=k$ قرار گرفته است. همچنین این مساله را می‌توان به این صورت بیان کرد که خاصیت فیزیکی مورد نظر در زمین در نقاطی با فاصله ۱ متر از هم و در سه بعد معلوم هستند.

در شکل ۲-۳ شمای کلی توده های مصنوعی در نظر گرفته شده نشان داده شده اند که اثر آنها بر روی یک صفحه افقی با ابعاد $100m \times 100m$ و با فواصل $10m \times 10m$ برداشت شده است. کاهش دادن فواصل برداشت باعث افزایش تعداد محاسبات و وقت گیر شدن آن می‌گردد و از طرف دیگر افزایش این فواصل باعث کاهش داده های معلوم در فرآیند تخمین شده و منحنی های چشم گاوی^۱ در نقشه های خطوط تراز رسم شده به وجود می‌آید. بنابراین باید این فواصل به نحوی انتخاب گردند که نه محاسبات زیاد گردد و نه منحنی های چشم گاوی در نقشه های رسم شده دیده شوند.

^۱ Bulls eyes effect



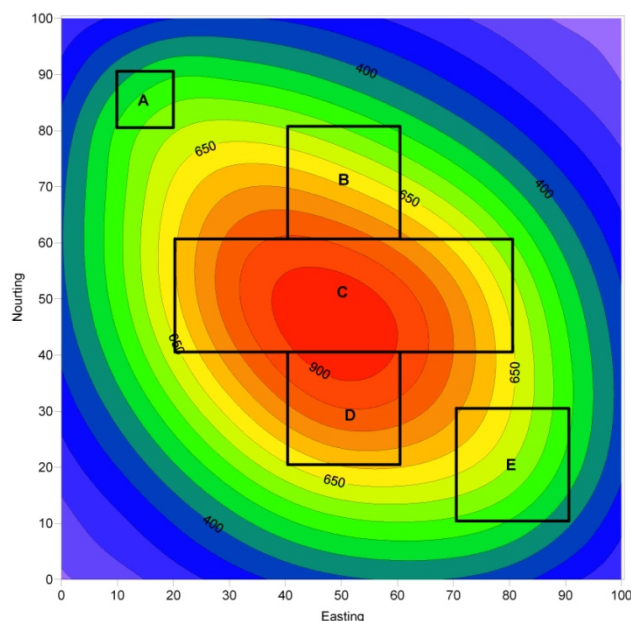
شکل ۲-۳ پلان توده های مصنوعی در نظر گرفته شده

لازم به ذکر است علاوه بر برنامه های تهیه شده جهت محاسبه آنومالی گرانی و مغناطیسی ناشی از توده های مصنوعی، سابروتین هایی جهت اعمال فیلترهای مختلف نوشته شده است که در پیوست الف ارائه گردیده اند. بدین ترتیب در داخل متن به دلیل حفظ پیوستگی مطالب از آوردن کل سابروتین صرف نظر شده و تنها به منبع آن در پیوست الف اشاره می شود. علاوه بر این در پیوست الف فلوجارتی ارائه شده است که مراحل مختلف اعمال فیلترها بر روی داده ها را نشان داده است.

۲-۳- محاسبه شدت میدان گرانشی توده های مصنوعی سه بعدی

جهت محاسبه آنومالی گرانی ناشی از توده های مذکور، برنامه ای تحت عنوان Gravanomaly.m نوشته شده است (سابروتین (الف-۱۷)). در این برنامه ابتدا ماتریس سه بعدی دانسیته ساخته شده و سپس در آرایه های متناظر با توده، مقادیر دانسیته نظیر گردیده است. سپس شبکه برداشتی با فواصل $10m \times 10m$ در سطح مبنا طراحی شده و در نهایت نیز اثر این توده ها در نقاط برداشت مختلف محاسبه شده است. در این برنامه از ۵ حلقه تودرتو برای محاسبه شدت میدان گرانشی هر المان در هر یک از نقاط برداشت استفاده شده است که بدین منظور به ۵ متغیر شمارشگر نیاز است. این متغیرها شامل x_o, y_o, i, j, k می باشند که جهت شمارش موقعیت نقطه اندازه گیری و i, j, k جهت تعیین موقعیت المان های توده در سه بعد در نظر گرفته شده اند. در حلقه آخر محاسبات مربوط به اندازه گیری شتاب جاذبه ناشی از المان در نقطه برداشت جاری صورت می گیرد که برای سهولت بیشتر سابروتین grav.m نوشته شده است (سابروتین (الف-۱۶)) و محاسبات توسط آن انجام

می شود. خروجی این برنامه در ماتریس gravity ذخیره می گردد که دارای سه ستون است. ستون اول مربوط به مختصات نقطه اندازه گیری در جهت x و ستون دوم مربوط به مختصات این نقطه در جهت y است. ستون سوم نیز مقدار شتاب جاذبه محاسبه شده در این نقطه برداشت را نشان می دهد. در شکل ۳-۳ نقشه آنومالی گرانی توده های مصنوعی را نشان داده شده است. لازم به ذکر است که در این نوع مدل سازی تنها اثر توده های آنومال محاسبه می شود. در واقع فرض بر این است که اثرات سنگهای زمینه حذف گردیده اند. بنابراین شدت جاذبه به دست آمده را می توان معادل آنومالی باقیمانده در داده های واقعی در نظر گرفت.



شکل ۳-۳ شتاب جاذبه ناشی از توده های مصنوعی.

در شکل ۳-۳ دیده می شود که آنومالی گرانی یک روند شمال غربی - جنوب شرقی را برای توده ها نشان می دهد. این مساله در واقع به علت تداخل آنومالی های ناشی از هر یک از توده ها می باشد. به علت نزدیک بودن توده ها به هم و اختلاف کم دانسیته بین آنها امکان تفکیک هر یک از توده ها از روی آنومالی گرانی وجود ندارد.

۳-۳- محاسبه شدت میدان کل مغناطیسی توده های مصنوعی سه بعدی

همانطوری که در فصل ۲ اشاره شد شدت میدان کل مغناطیسی ناشی از یک توده مکعبی شکل با مغناطیس شونده یکسان، توسط رابطه (۲-۱۹) به دست می آید. اگر توده سه بعدی مورد نظر را بتوان به المانهای مکعبی شکل کوچکتری تقسیم کرد می توان آنومالی کل مغناطیسی را از مجموع

آنومالی ناشی از هر یک از المان‌ها در هر یک از نقاط برداشت به دست آورد. اما با توجه به اینکه این فرآیند بسیار وقتگیر است استفاده از برنامه‌نویسی امری لازم می‌باشد. بنابراین برای محاسبه آنومالی ناشی از تمام توده‌ها برنامه mod.m نوشته شده است (سابروتین (الف-۲۰)). در این برنامه نیز برای بدست آوردن آنومالی کل میدان مغناطیسی در هر یک از نقاط برداشت، کافی است تا در یک برنامه با استفاده از حلقه‌های تودرتو اثر هر یک از المان‌های مکعبی را به دست آورده (سابروتین (الف-۱۹)) و در نهایت از مجموع همه آنها، آنومالی کل میدان مغناطیسی برای نقطه مورد نظر به دست می‌آید. با توجه به اینکه در محاسبات از زوایای انحراف و میل استفاده می‌شود و از آن جایی که این زوایا باید برحسب رادیان باشند سابروتین دیگری تحت عنوان dtarad.m نوشته شده است (سابروتین (الف-۱۸)). جهت فراخوانی این سابروتین باید دستور زیر در Matlab نوشته شود:

$[a, b, c] = \text{datorad}(\text{incl}, \text{decl}, \text{azim});$

که در این دستور incl شامل زاویه انحراف، decl شامل زاویه میل و Azim شامل زاویه آزیموت محور x نسبت به شمال مغناطیسی است. همچنین خروجی‌های a و b و c به ترتیب شامل تصویرهای برداری زوایای داده شده بر روی محورهای x و y و z می‌باشد. (a روی محور x در جهت شمال، b در جهت y و c در جهت z).

جهت فراخوانی سابروتین Tmanomaly.m می‌توان از دستور زیر استفاده کرد:

$[t] = \text{tmanomaly}(x_0, y_0, z_0, x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, m_i, m_d, f_i, f_d, m, \text{theta});$

که در این دستور x_0, y_0, z_0 مختصات نقاط برداشت، x_1, y_1, z_1 کوچکترین مختصات‌های توده مکعبی شکل، x_2, y_2 بزرگترین مختصات‌های توده مکعبی شکل، m_i و m_d زوایای میل و انحراف مغناطیس شوندگی، f_i و f_d زاویه میل و انحراف مغناطیسی میدان زمین، m شدت مغناطیسی شوندگی توده مکعبی بر حسب A/m و theta زاویه انحراف محور x بر حسب درجه است. لازم به ذکر است که در این دستور تمام زوایا بر حسب درجه بوده و همچنین زوایای انحراف در جهت حرکت عقربه‌های ساعت ثبت و زوایای میل نیز از سطح افق به سمت پایین مثبت می‌باشند.

با اجرای این سابروتین آنومالی کل میدان مغناطیسی ناشی از یک توده مکعبی شکل که از عمق z_1 تا بینهایت ادامه دارد، حاصل می‌گردد. بنابراین برای به دست آوردن آنومالی کل میدان مغناطیسی برای این توده از عمق z_1 تا z_2 لازم است تا این سابروتین یک بار دیگر برای توده مکعبی شکل دیگری با

همین مشخصات اما از عمق Z_2 تا بینهایت محاسبه گردد. برای این کار تنها لازم است تا در دستور بالا به جای مقدار Z_1 از مقدار Z_2 استفاده شود. سرانجام آنومالی مورد نظر به صورت زیر بدست می‌آید:

$$t_1 = T_{\text{manomaly}}(x_0, y_0, z_0, x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, m_i, m_d, f_i, f_d, m, \theta);$$

$$t_2 = T_{\text{manomaly}}(x_0, y_0, z_0, x_1, y_1, z_2, x_2, y_2, m_i, m_d, f_i, f_d, m, \theta);$$

$$t = t_1 - t_2;$$

اکنون برای تهیه نقشه آنومالی کل میدان مغناطیسی نیاز است تا شبکه برداشتی بر روی توده طراحی گردد و آنومالی کل میدان مغناطیسی برای هر یک از این نقاط محاسبه شود. لازم به ذکر است که توده‌های سه بعدی همان توده‌هایی هستند که در قسمت قبل مدل سازی شدند.

پس از به دست آوردن ماتریس آنومالی کل به صورت یک آرایه مکانی، داده‌ها به نرم‌افزار surfer انتقال داده شده و نقشه خطوط تراز برای آن رسم گردیده است.

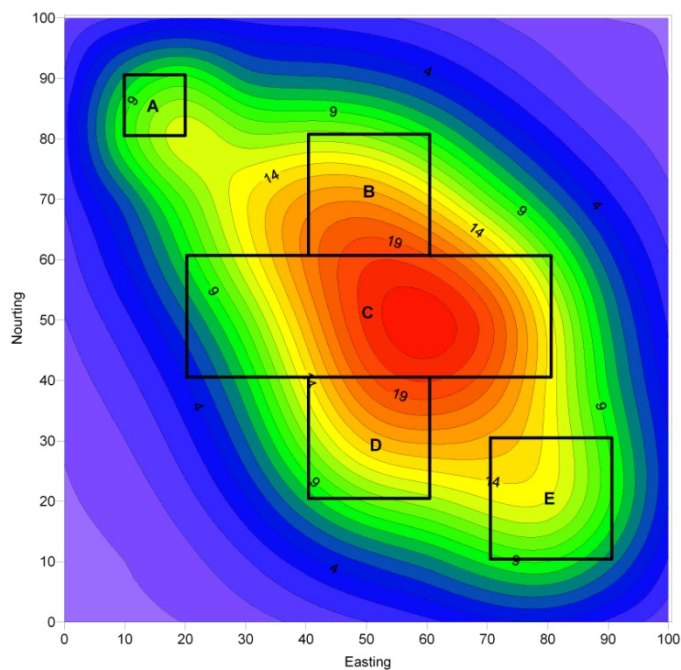
در شکل ۳-۴ نقشه خطوط تراز برای آنومالی میدان کل مغناطیسی ناشی از توده‌هایی که در قطب قرار گرفته‌اند نشان داده شده است. با توجه به اینکه فرض شده است که توده‌ها در قطب قرار گرفته‌اند بنابراین میدان مغناطیسی زمین و بردار مغناطیس شونددگی توده دارای زاویه انحراف صفر و زاویه میل ۹۰ درجه می‌باشند.

همانطور که در شکل ۳-۴ نیز دیده می‌شود آنومالی مغناطیسی نیز قادر به تفکیک توده‌ها از هم نیست و همانند آنومالی گرانی پدیده تداخل آنومالی‌ها مانع از تشخیص صحیح هر یک از توده‌ها از روی اثر مغناطیسی آنها است.

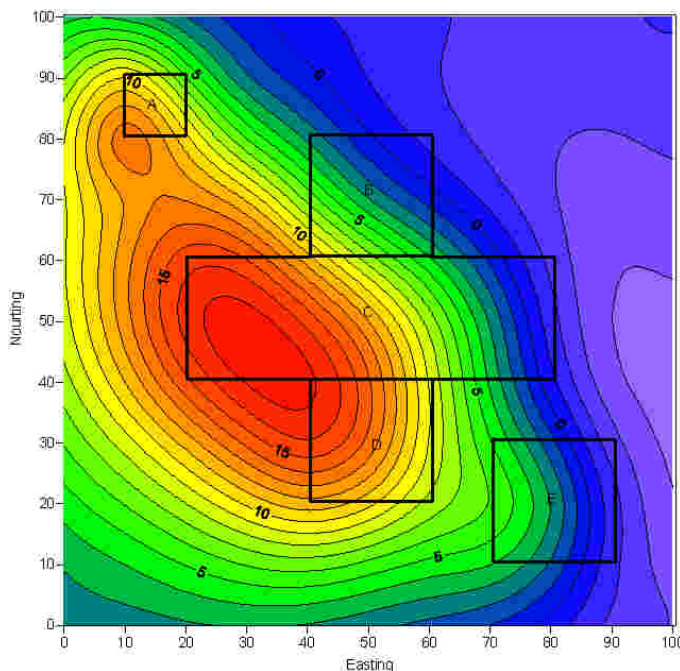
همچنین محاسبات یکبار دیگر برای حالتی که توده‌ها در شرایطی قرار گرفته‌اند که بردار میدان مغناطیسی زمین دارای زاویه میل ۶۰ درجه و انحراف صفر است، تکرار می‌گردد. به دلیل اینکه میدان مغناطیسی پس ماند توده ناچیز در نظر گرفته می‌شود زاویه مغناطیس شونددگی توده و زاویه بردار میدان مغناطیس زمین همسو خواهند بود. با تکرار فرآیند ذکر شده نقشه آنومالی میدان کل مغناطیسی برای توده‌های مذکور به دست می‌آید.

شکل ۳-۵ آنومالی میدان کل مغناطیسی را در حالتی که میدان مغناطیسی زمین دارای زاویه میل ۶۰ درجه است، نشان می‌دهد. همانطوری که در این شکل دیده می‌شود آنومالی میدان کل مغناطیسی نامتقارن شده و تا حدودی جابجایی نسبت به موقعیت توده‌ها نشان می‌دهد. این مطلب

تایید می کند که برای تفسیر بهتر این نوع داده ها حتما باید فیلتر برگردان به قطب بر روی داده ها اعمال شود.



شکل ۳-۴ آنومالی میدان کل مغناطیسی ناشی از توده های در نظر گرفته شده با فرض اینکه توده ها در قطب مغناطیسی واقع شده و بردار میدان مغناطیسی زمین کاملا عمود بر سطح زمین است.



شکل ۳-۵ آنومالی میدان کل مغناطیسی توده های مصنوعی در شرایطی که بردار میدان مغناطیسی دارای زاویه میل ۶۰ درجه است.

۳-۴- مشتقات افقی و قائم آنومالی های میدان پتانسیل

برای محاسبه مشتقات جهتی آنومالی های میدان پتانسیل حاصل از مدل مصنوعی سه بعدی لازم است تا ابتدا این داده‌ها در یک ماتریس دو بعدی قرار گیرند. در این ماتریس مقادیر آنومالی گرانی بر حسب مختصات نقطه برداشت ذخیره شده است به طوری که به عنوان مثال اگر در نقطه برداشتی با مختصات (۴۰،۴۰) آنومالی گرانی برابر a به دست آمده باشد در این صورت آرایه سطر چهارم و ستون چهارم برابر مقدار a قرار می‌گیرد. بنابراین در این ماتریس آرایه‌هایی که موقعیت آنها متناظر با نقاط برداشت می‌گردد دارای مقدار می‌باشد و سایر آرایه‌ها برابر با صفر می‌گردند. این مسأله در محاسبه مشتق افقی و تبدیل فوریه و مشتق جهتی نامطلوب می‌باشد زیرا مقدار آنومالی در این نقاط واقعاً صفر نیست. از آنجایی که محاسبه آنومالی در تک‌تک این نقاط حتی با کامپیوتر نیز فرآیند وقت‌گیری است بنابراین به ناچار باید مقدار آنومالی در این نقاط تخمین زده شود. برای حل این مشکل می‌توان یک شبکه برای این داده‌ها طراحی کرد و مقدار آنومالی گرانی از روی نقاط معلوم (نقاط برداشت شده) برای تک‌تک گره‌های این شبکه تخمین زده شود. روش‌های مختلفی برای تخمین این مقدار وجود دارد که از جمله آنها می‌توان به روش عکس فاصله، عکس مجذور فاصله، کمترین انحنای^۱ و حتی از روش‌های زمین آماری نیز می‌توان استفاده کرد که در اینجا از روش کمترین انحنای استفاده شده است. بدین منظور می‌توان از دستور زیر در نرم‌افزار Matlab استفاده کرد.

$ZI = \text{griddata}(x, y, z, XI, YI, 'v4')$,

در این دستور x یک آرایه سطری شامل مختصات x داده‌های معلوم، y آرایه ستونی از مختصات y داده‌های معلوم و z مقادیر معلوم آنومالی میدان پتانسیل در نقاط برداشت شده است که برای تخمین مدنظر قرار می‌گیرد. آرایه‌های XI و YI مختصات‌های گره‌های شبکه است. مقدار 'v4' نیز معرف روش تخمین است که در آن یک سطح با تابع $z = f(x, y)$ به داده‌های معلوم برازش می‌شود. برای راحتی بیشتر برنامه grid.m در این نرم‌افزار نوشته شده است (سابروتین (الف-۲۱)).

همانطور که قبلاً نیز بدان اشاره شد برای محاسبه مشتقات افقی میدان پتانسیل روش‌های گوناگونی وجود دارد که از آن جمله می‌توان به روش‌های عددی و همچنین استفاده از فیلترها اشاره کرد. جهت محاسبه مشتق با استفاده از اعمال فیلتر در بازه عدد موج، مراحل زیر باید روی داده‌ها صورت گیرد:

^۱ Minimum curvature

۱- محاسبه تبدیل فوریه دو بعدی ماتریس آنومالی گرانی

این کار از طریق سابروتین four.m در نرم افزار Matlab و به صورت دستور زیر قابل انجام است (سابروتین (الف-۷)).

```
Fd=fourn(data,nn,ndim,isign);
```

در صورتی که مقدار متغیر isign برابر با ۱ وارد شود نتایج این سابروتین تبدیل فوریه ماتریس data و در صورتی که مقدار این متغیر برابر ۱- وارد شود حاصل آن تبدیل فوریه معکوس ماتریس data خواهد بود. همچنین nn شامل یک متغیر با n آرایه است که هر یک از آرایه ها شامل تعداد نقاط در آن بعد است و ndim نیز شامل ابعاد تبدیل فوریه است. برای اعمال تبدیل فوریه بر روی داده ها توسط سابروتین (الف-۷) باید داده ها به صورت یک آرایه دو بعدی درآیند به طوری که سطرهای ماتریس دو بعدی بطور منظم کنار هم قرار گرفته و تشکیل یک آرایه یک بعدی را بدهد. اینکار توسط سابروتین Gridtrans.m قابل انجام است (سابروتین (الف-۹)).

۲- ضرب هر یک از آرایه های ماتریس حاصل از تبدیل فوریه در مختصات عدد موج در جهت k_x برای محاسبه k_x از سابروتین kvalue.m که در پیوست ارائه شده است استفاده گردیده است (سابروتین (الف-۱۰)). این سابروتین از طریق دستور زیر قابل اجرا است.

```
[kx , ky] = kvalue (i,j,nx,ny,dx,dy) ;
```

که در این دستور i و j مختصات نقطه مورد نظر و n_x و n_y تعداد آرایه های ماتریس در جهت های x و y و همچنین dx و dy نیز فواصل برداشت در جهت های x و y می باشند. در نهایت نیز k_x و k_y مختصات های عدد موج در جهت x و y می باشند. برای ضرب هر یک از آرایه های ماتریس f_u در مختصات عدد موج متناظر با آن از دو حلقه تودر تو بصورت زیر استفاده شده است.

```
For r = 1 : nx
```

```
For t = 1:ny
```

```
[kx , ky] = kvalue (r, t, nx , ny) ;
```

```
DDx (r , t) = ((j × kx)n) × fu ( r, t) ;
```

```
End
```

```
End
```

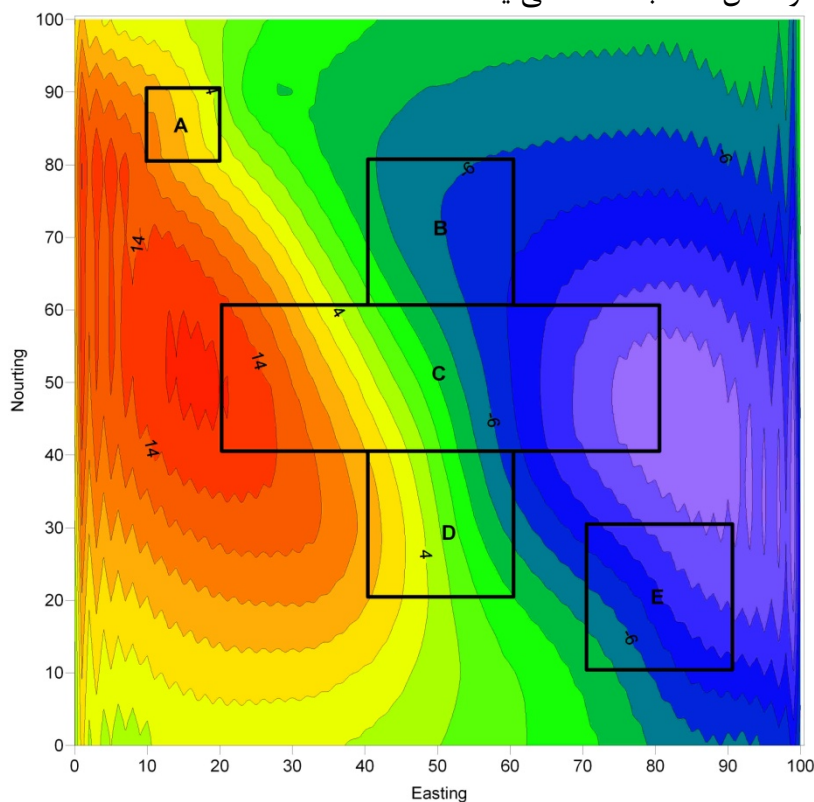
^۱ ماتریسی که از اعمال تبدیل فوریه بر روی ماتریس آنومالی میدان پتانسیل به دست آمده است.

۳- در مرحله آخر نیز باید ماتریس حاصلضرب ماتریس تبدیل فوریه و فیلتر مشتق که در مرحله ۲ محاسبه شد از بازه عدد موج به بازه اعداد حقیقی تبدیل گردند. این فرآیند نیز توسط سابروتین four و با قرار دادن مقدار متغیر isign مساوی با ۱- به راحتی قابل محاسبه است. برای راحتی بیشتر تمام مراحل بیان شده به صورت یک سابروتین تحت عنوان FDDX.m در آمده است (سابروتین (الف-۵)) که به صورت زیر قابل اجرا است.

$$f = \text{FDDX}(\text{data}, n_x, n_y, d_x, d_y, n);$$

که در این دستور متغیر data شامل ماتریس یک بعدی آنومالی میدان پتانسیل، n_x و n_y تعداد آرایه‌های ماتریس data در جهت x و y، d_x و d_y فاصله نمونه برداری در جهت x و y در نهایت متغیر n نیز معرف درجه مشتق می‌باشد. ماتریس f حاصل نیز به صورت یک آرایه با سه ستون و به تعداد داده‌ها سطر می‌باشد. که می‌توان آنها را وارد نرم‌افزارهای دیگر کرده و نقشه خطوط تراز آن را رسم نمود.

پس از انجام مراحل ذکر شده نقشه مشتق اول در جهت x برای داده‌های گرانی و مغناطیسی به صورت شکل ۳-۶ و شکل ۳-۷ به دست می‌آید.



شکل ۳-۶ نقشه حاصل از اعمال فیلتر مشتق افقی در جهت x بر روی آنومالی گرانی ناشی از توده های مصنوعی.

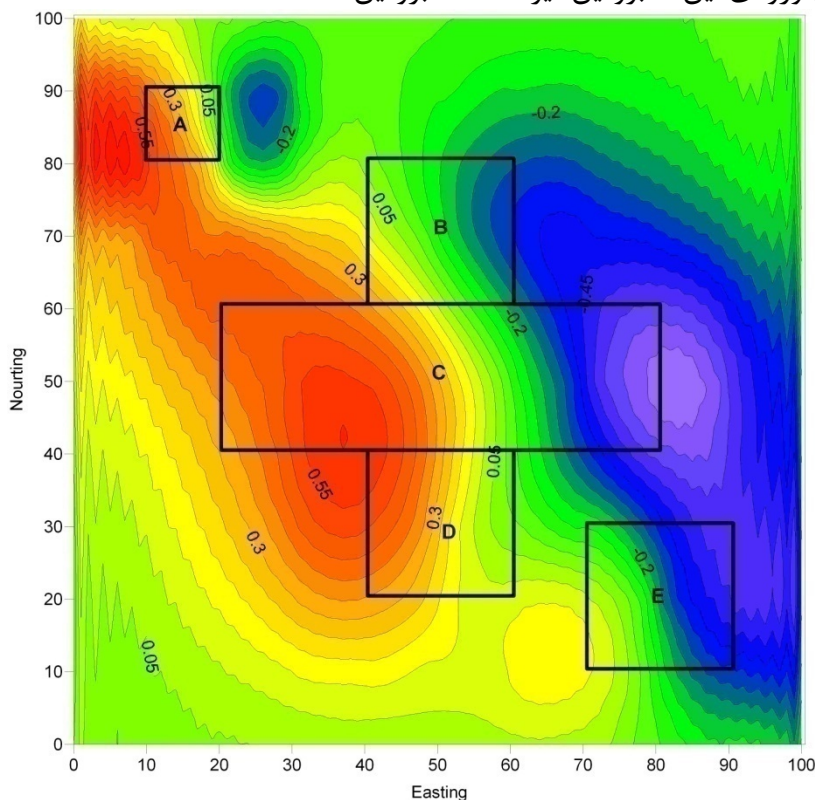
همانطوری که در نقشه مشتقات افقی در جهت x که از میدان های گرانی و مغناطیس بدست آمده است دیده می شود دو آنومالی مثبت و منفی در روی مرزهای توده ها به دست آمده است. حتی با اعمال این فیلتر توده های A و E نیز تا حدودی مشخص شده اند. بنابر این می توان گفت که توسط این فیلتر می توان مرزهایی که عمود بر محور x هستند را براحتی نمایان کرد. با این توضیح لازم است تا برای مشخص کردن مرزهای عمود بر محور y مشتق افقی در جهت y بر روی داده ها اعمال گردد.

به همین ترتیب می توان مشتق اول جهتی را در جهت y محاسبه کرد. بدین منظور تنها کافیست تا در حلقه های تودرتو متغیر k_y حاصل از سابروتین kvalue که معرف مختصات عدد موج در جهت y است در متغیر موهومی و همچنین در تک تک آرایه های متناظر ماتریس حاصل از تبدیل فوریه داده ها ضرب نمود.

جهت محاسبه مشتق افقی در جهت y نیز سابروتین FDDY.m نوشته شده است. (سابروتین (الف-۶))
این سابروتین به صورت زیر قابل اجرا است:

$D=FDDY(data,nx,ny,dx,dy,n);$

تمام متغیرهای ورودی این سابروتین نیز مانند سابروتین FDDX است.



شکل ۳-۷ نقشه حاصل از اعمال فیلتر مشتق افقی در جهت x بر روی آنومالی میدان مغناطیس کل ناشی از توده های مصنوعی تحت شرایطی که زاویه میل بردار میدان مغناطیسی برابر ۹۰ درجه در نظر گرفته شده است.

پس از اعمال فیلتر مشتق افقی در جهت y بر روی آنومالی های گرانی و مغناطیسی و انتقال نتایج به نرم افزار Surfer و رسم خطوط تراز دو نقشه به دست می آید که در شکل ۳-۸ و شکل ۳-۹ نشان داده شده است.

جهت محاسبه مشتق اول قائم طبق رابطه (۲-۴۱) مراحل، شبیه به مراحل محاسبه مشتق جهتی است با این تفاوت که در مرحله دوم مقدار فیلتر متفاوت خواهد بود. در این مرحله مقدار فیلتر به صورت زیر تعریف می شود [۱۲].

$$|k| = \sqrt{k_x^2 + k_y^2} \quad (۳-۱)$$

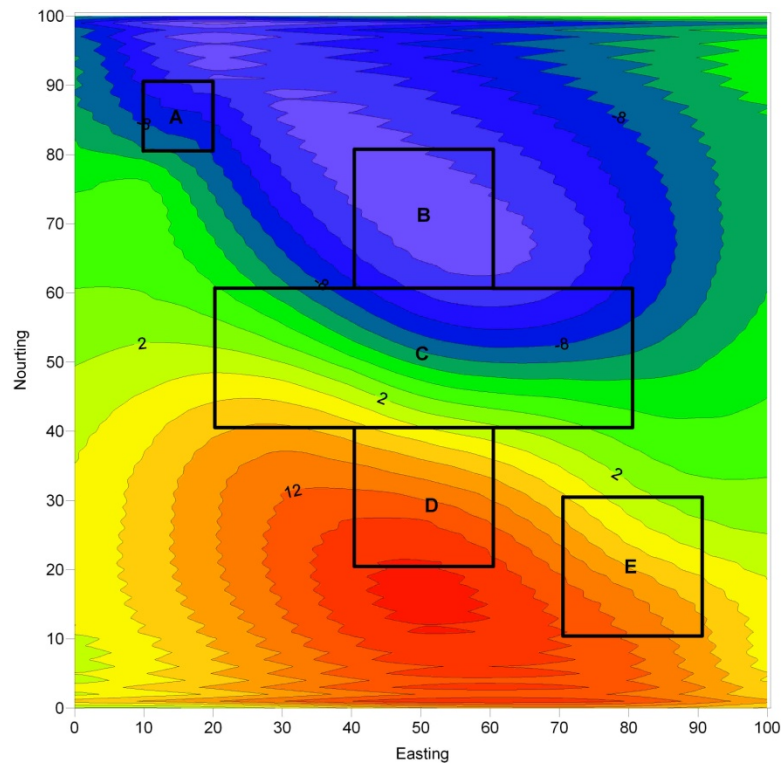
که می توان این رابطه را طبق دستور زیر در Matlab محاسبه کرد.

`sqrt (k_x^2 + k_y^2);`

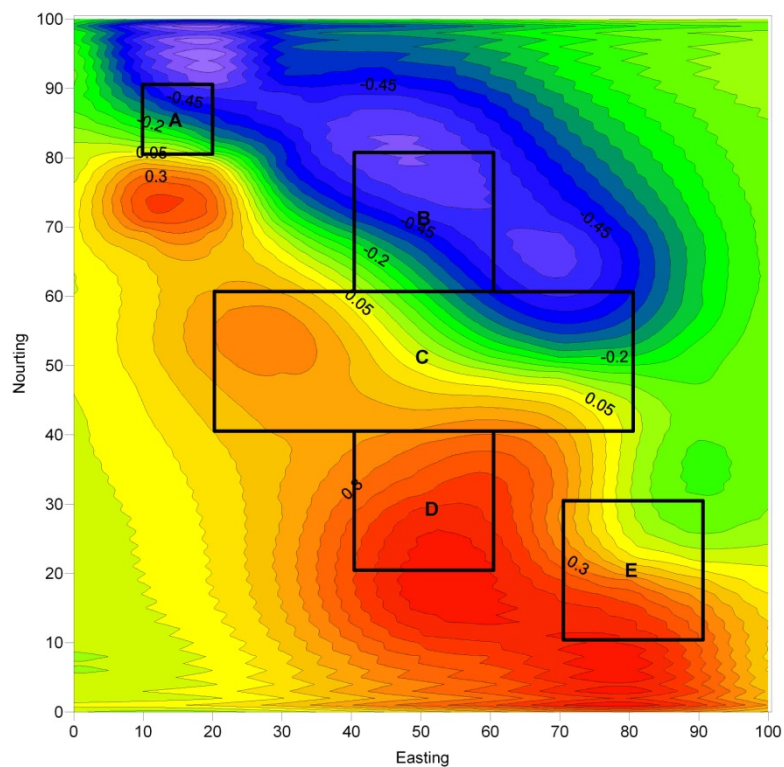
بنابراین در حلقه های تودرتو کافیسیت تا حاصل این عبارت در تک تک آرایه های ماتریس تبدیل فوریه ضرب گردد و سپس توسط تبدیل فوریه معکوس به بازه اعداد حقیقی تبدیل گردند. بدین ترتیب با انجام مراحل ذکر شده توسط سابروتین FDDZ (سابروتین (الف-۱۴)) نقشه مشتق اول قائم آنومالی های گرانی و مغناطیسی به صورت شکل ۳-۱۰ و شکل ۳-۱۱ به دست می آید.

برای محاسبه مشتقات درجه بالاتر تنها کافیسیت تا در هر یک از سابروتین های یاد شده مقدار n را برابر مقدار مورد نظر قرارداد. بنابراین نقشه های مشتق دوم جهتی در جهت های x و y و نقشه مشتق قائم دوم به دست خواهد آمد.

با توجه به نقشه های مربوطه دیده می شود که هیچ یک از فیلترها به تنهایی نمی توانند مرزهای توده ها را مشخص کنند و هر یک تنها دید کلی در مورد موقعیت توده ها ارائه می دهند. بطوریکه با اعمال مشتق افقی در جهت x تنها مرزهایی که در امتداد عمود بر این محور قرار دارند مشخص می گردند و مرزهایی که در امتداد محور x هستند مشخص نمی گردند. همین مساله در مورد مشتق افقی در جهت y نیز صادق است به طوریکه با اعمال این فیلتر تنها مرزهای عمود بر محور y تعیین می گردند. علت این مساله نیز کاملا واضح است. با توجه به اینکه مشتق افقی در جهت خاص تنها تغییرات میدان پتانسیل در همین جهت را مشخص می کند، بنابراین مرزهایی که در جهت مشتق گیری بوده و آنومالی میدان پتانسیل در امتداد این مرزها بدون تغییر است، از دید مفسر پنهان می ماند.



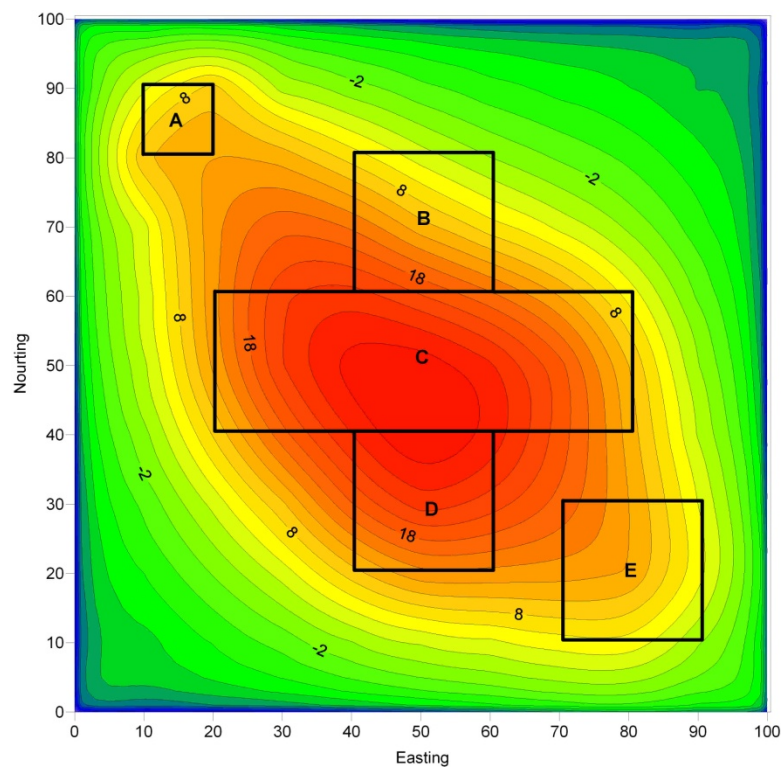
شکل ۳-۸ نقشه حاصل از اعمال فیلتر مشتق افقی در جهت Y بر روی آنومالی گرانی ناشی از توده های مصنوعی.



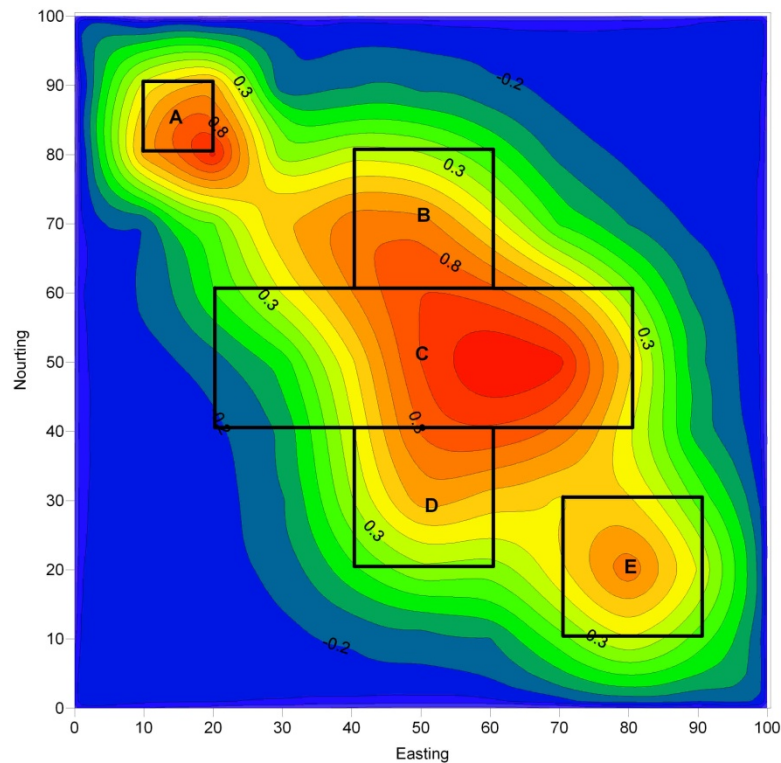
شکل ۳-۹ نقشه حاصل از اعمال فیلتر مشتق افقی در جهت Y بر روی آنومالی میدان کل مغناطیسی در شرایط قائم بودن بردار میدان مغناطیسی زمین.

مشتق قائم آنومالی میدان پتانسیل، همانطور که در شکل ۳-۱۰ و شکل ۳-۱۱ دیده می شود، بر روی توده ها دارای مقدار بیشینه است. اما این اختلاف در حدی نیست که مفسر بتواند با یک نگاه مرزهای توده را تشخیص دهد. به علاوه، این فیلتر نسبت به نویز بسیار حساس می باشد و در صورت وجود نویز در داده ها مفسر را در تعیین مرزها گمراه می کند.

با توجه به مطالب بیان شده، بهترین راه برای تعیین مرزهای توده های آنومال استفاده از روشی است که از هر سه فیلتر نام برده شده، بهره ببرد. با توجه به اینکه فیلتر سیگنال تحلیلی از ترکیب مشتقات افقی و قائم حاصل می شود به نظر می رسد که بهترین راه حل برای تعیین مرز توده های آنومال باشد.



شکل ۳-۱۰ مشتق قائم مرتبه اول آنومالی گرانی داده های مصنوعی.



شکل ۳-۱۱ مشتق قائم مرتبه اول آنومالی میدان کل مغناطیسی ناشی از توده های مصنوعی.

۳-۵- تعیین مرزهای توده های آنومال

برای تعیین مرزهای افقی توده های آنومال روش های متفاوتی ارائه شده است که از آن جمله می توان به روش سیگنال تحلیلی، گرادیان افقی، و غیره اشاره نمود. در این پایان نامه هدف اصلی استفاده از روش سیگنال تحلیلی برای تعیین مرزهای توده های آنومال می باشد. اما برای مقایسه نتایج این روش با سایر روشها، علاوه بر تعیین مرزهای این توده ها با استفاده از روش سیگنال تحلیلی روش های دیگر نیز پیاده شده که در ادامه شرح داده خواهند شد.

همانطور که در رابطه (۲-) (فصل دوم صفحه ۳۳) نیز اشاره شد، اندازه سیگنال تحلیلی یک آنومالی

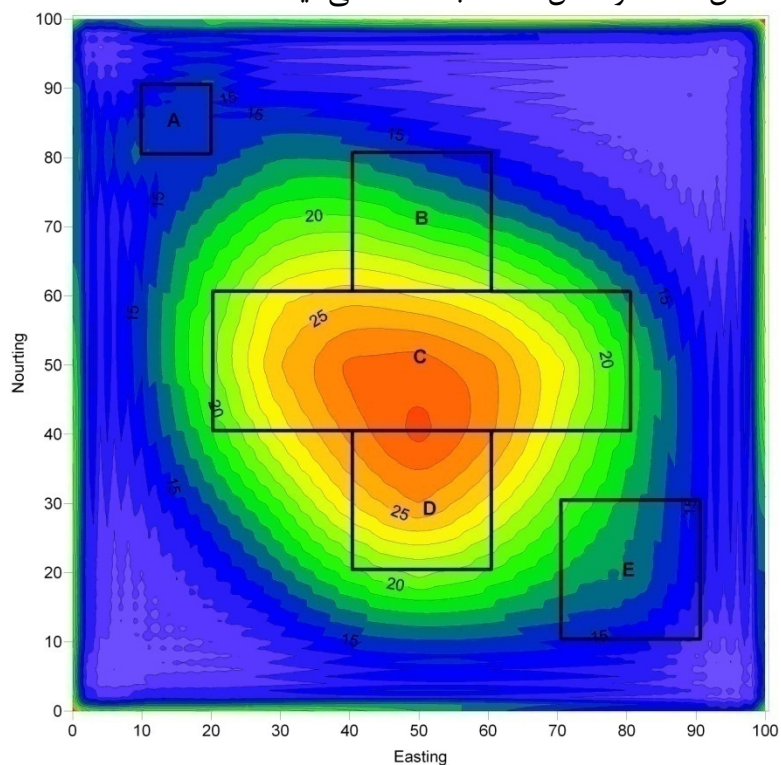
سه بعدی میدان پتانسیل طبق رابطه زیر به دست می آید:

$$|A(x, y)| = \sqrt{\left(\frac{\partial \phi}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial \phi}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial \phi}{\partial z}\right)^2}$$

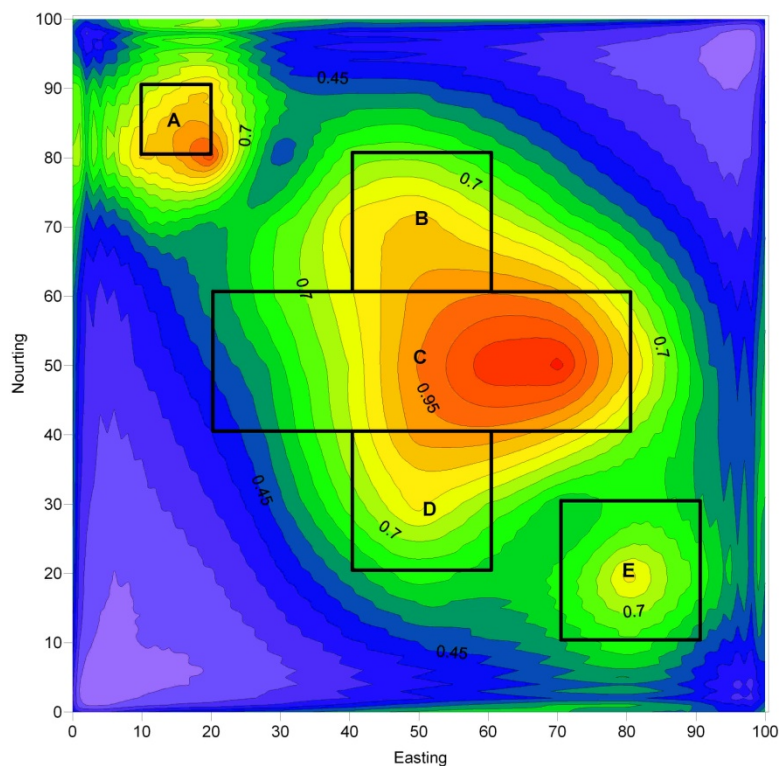
در این رابطه سیگنال تحلیلی از مجذور مجموع مربعات مشتقات افقی و قائم حاصل شده است. بنابراین کافی است تا از داده های برداشت شده در جهت های x و y و z مشتق گیری شود. سپس هر یک از نتایج به دست آمده در یک ماتریس جداگانه ذخیره گردد. سپس لازم است تا هر یک از آرایه های این ماتریس ها مربع شده و در نهایت تمامی آنها با یکدیگر جمع شده و در نهایت از تک تک آرایه ها جذر گرفته شود. تمام این مراحل را می توان توسط دستور زیر در Matlab انجام داد.

$$As = \sqrt{mx.^2 + my.^2 + mz.^2};$$

بدین ترتیب نقشه اندازه سیگنال تحلیلی آنومالی میدان گرانی و مغناطیسی توده های سه بعدی مورد مطالعه به صورت شکل ۳-۱۲ و شکل ۳-۱۳ به دست می آید.



شکل ۳-۱۲ اندازه سیگنال تحلیلی آنومالی گرانی حاصل از توده های مصنوعی.



شکل ۳-۱۳ اندازه سیگنال تحلیلی آنومالی کل میدان مغناطیسی ناشی از توده های مصنوعی.

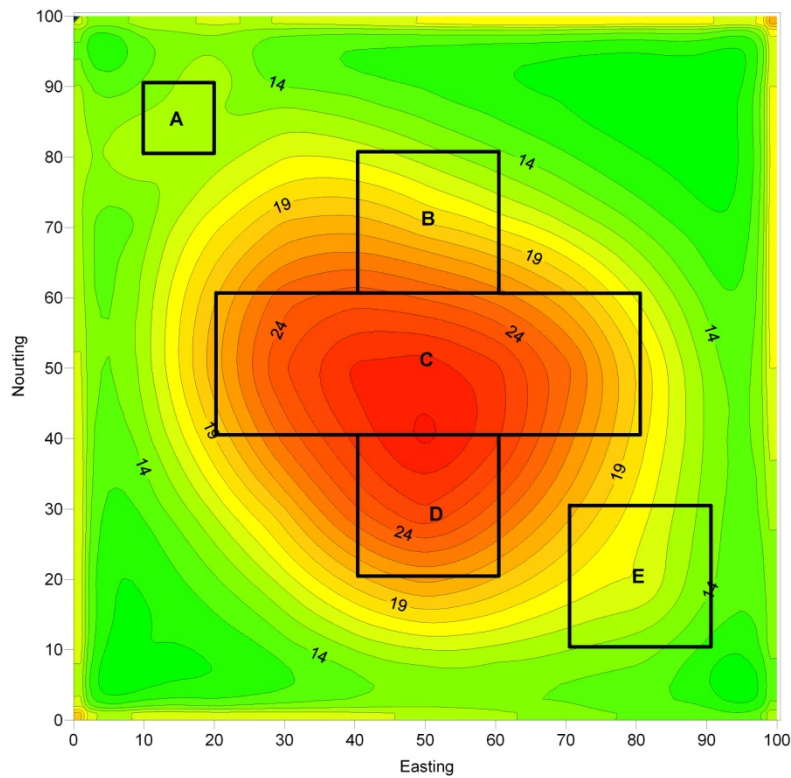
در تمام موارد فوق، اعمال فیلترهای مختلف بر روی داده ها باعث ایجاد نویزهایی با فرکانس بالا در داده ها می گردد. به همین دلیل سابروتین Smootgrid.m (سابروتین (الف-۱۲)) در نرم افزار Matlab نوشته شد تا با استفاده از آنها در سابروتین های مشتق گیری داده های خروجی هموارتر گردند و همچنین تا حدودی از اثرات داده های مرزی کاسته شود. در سابروتین مذکور هموار سازی از طریق جایگزین کردن هر یک از مقادیر آرایه با میانگین وزنی ۸ مقدار اطراف خود صورت می گیرد. در این روش داده های مرزی با میانگین به دست آمده برای داده های مرزی جایگزین می گردد. در جدول ۳-۲ ضریب اعمال شده در هر یک از مقادیر مجاور، نشان داده شده است. توجه داشته باشید که آرایه مرکزی آرایه ای است که برای آن میانگین گیری صورت می گیرد.

جدول ۳-۲ ضرایب اعمال شده برای میانگین گیری از داده ها.

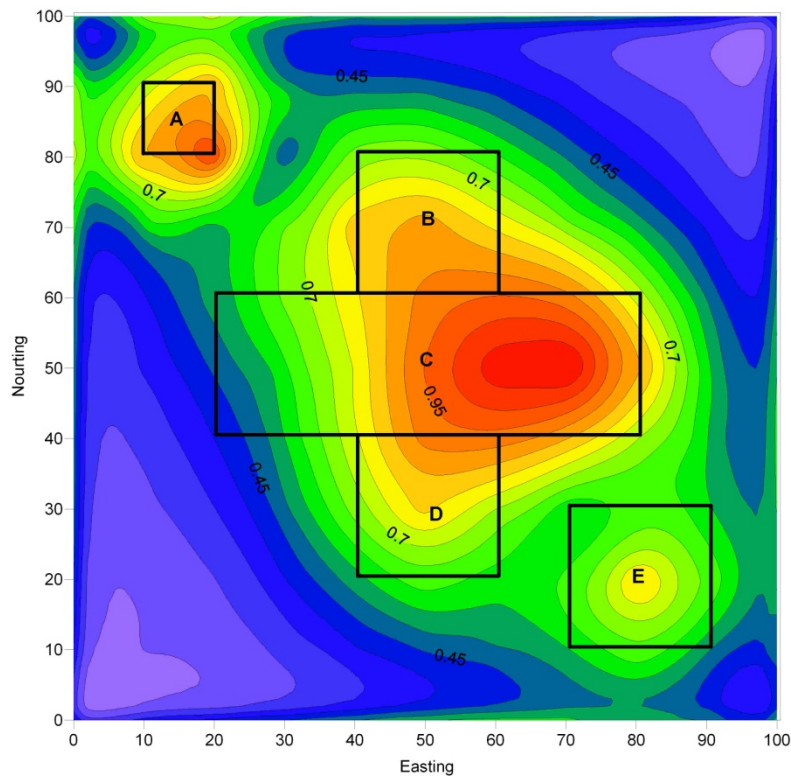
۱	۲	۱
۲	۴	۲
۱	۲	۱

پس از ضرب مقادیر هر یک از آرایه ها در ضریب متناظر آن و جمع کردن کل آنها و تقسیم بر مجموع ضرایب، مقدار میانگین وزنی برای این آرایه به دست می آید. نتایج حاصل از اعمال این روش بر روی نقشه ها در شکل ۳-۱۴ و شکل ۳-۱۵ نشان داده شده است. همانطور که در این شکل ها دیده می شود خطوط تراز نسبت به حالت قبل هموارتر شده اند.

با توجه به این شکل می توان گفت که سیگنال تحلیلی درست بر روی توده ها دارای بیشترین مقدار است. اما با توجه به اینکه در این روش هدف ایجاد اختلاف زیاد بین داده های مرزی توده ها با سایر داده ها است این نقشه چندان مطلوب نیست. البته لازم به ذکر است که با توجه به کم بودن فاصله توده E از توده های D و C آنومالی های حاصل از آنها با یکدیگر تداخل پیدا کرده اند که ممکن است باعث گردد تا آنومالی ها کاملاً به صورت واضح از هم قابل تمایز نباشند.



شکل ۳-۱۴ اندازه سیگنال تحلیلی آنومالی گرانی توده های مصنوعی که هموارسازی روی آنها صورت گرفته است.



شکل ۳-۱۵ نقشه اندازه سیگنال تحلیلی آنومالی مغناطیسی توده های مصنوعی که هموارسازی روی آنها صورت گرفته است.

علاوه بر روش ذکر شده برای محاسبه مشتق قائم می توان از تبدیل هیلبرت نیز استفاده کرد. بدین منظور پس از به دست آوردن ماتریس داده های حاصل از اعمال فیلتر مشتق افقی در جهت x و یا y می توان طبق دستور زیر از تبدیل هیلبرت استفاده نمود.

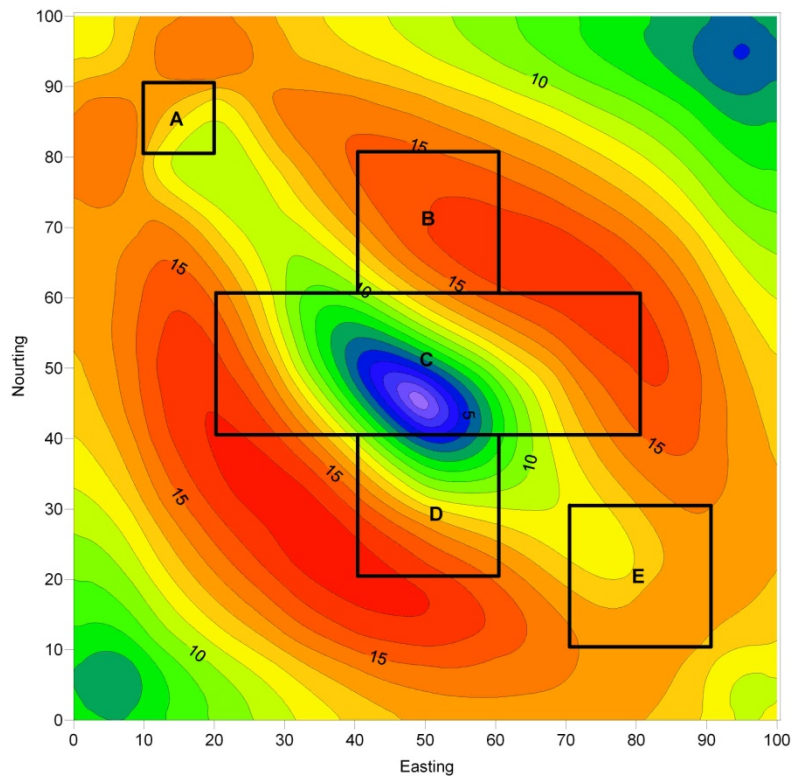
$Fz = \text{imag}(\text{Hilbert}(\text{data}))$;

در این دستور data ماتریس دو بعدی مشتق افقی آنومالی میدان پتانسیل در یکی از جهت های x یا y است. با توجه به اینکه تبدیل هیلبرت باعث ایجاد یک اختلاف فاز 90° درجه ای در داده ها می شود بنابراین قسمت موهومی این تبدیل در واقع همان مشتق قائم آنومالی را نتیجه می دهد. البته این روش یک روش کاربردی بوده و ممکن است در تمام موارد نتیجه دلخواه را شامل نشود بخصوص در مواردی که توده دارای عدم تقارن است. با استفاده از این روش در مورد توده های مصنوعی در نظر گرفته شده نقشه اندازه سیگنال تحلیلی ناشی از آنومالی های ثقل و مغناطیس به دست می آید که در شکل ۳-۱۶ و شکل ۳-۱۷ نشان داده شده اند.

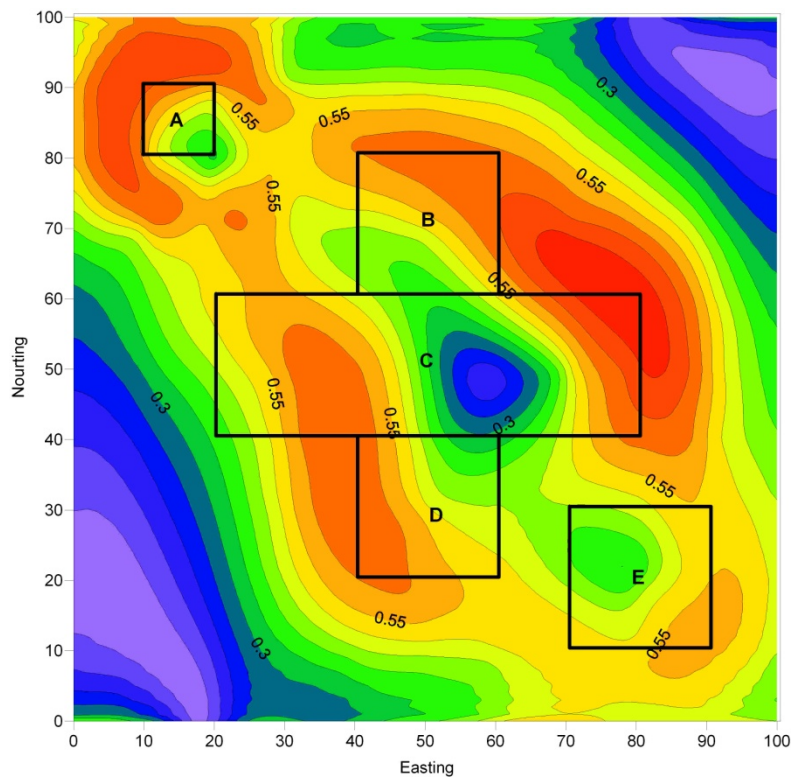
همانطوری که در این شکل ها دیده می شود با استفاده از تبدیل هیلبرت برای به دست آوردن مشتق قائم از مشتقات افقی و محاسبه اندازه سیگنال تحلیلی بیشترین مقادیر اندازه سیگنال تحلیلی در اطراف توده های مورد نظر واقع می شوند که این امر در تعیین مرزهای آنومال این توده ها کمک شایانی به مفسر می نماید. بخصوص اینکه در این حالت می توان از روش بلکلی و سیمپسون برای به دست آوردن نقشه مرزهای آنومال استفاده کرد.

استفاده از تبدیل هیلبرت در محاسبه مشتق قائم باعث می شود که نقاط بیشینه اندازه سیگنال تحلیلی در بالای مرزهای توده ها قرار گیرد. این ویژگی باعث می شود تا بتوان از روش بلکلی استفاده کرد و نقشه مرز توده ها را به دست آورد.

بنابراین با اعمال روش بلکلی و سیمپسون بر روی نقشه های حاصل، نقشه مرزهای توده های آنومال به دست می آید که در شکل های ۳-۱۸ تا ۳-۲۷ نشان داده شده اند.



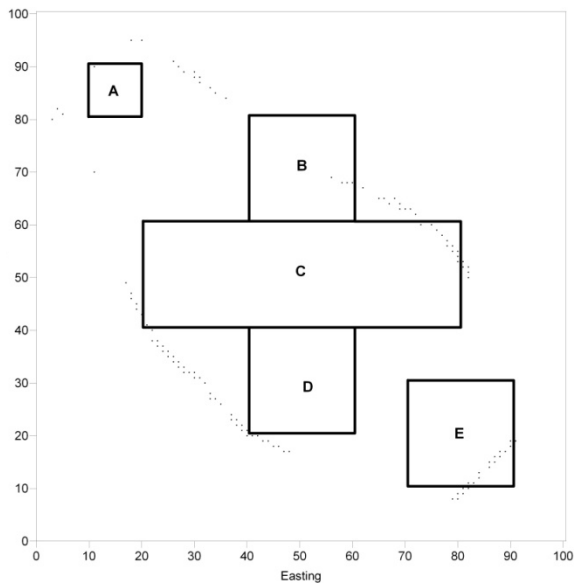
شکل ۳-۱۶ نقشه اندازه سیگنال تحلیلی آنومالی گرانی با استفاده از تبدیل هیلبرت.



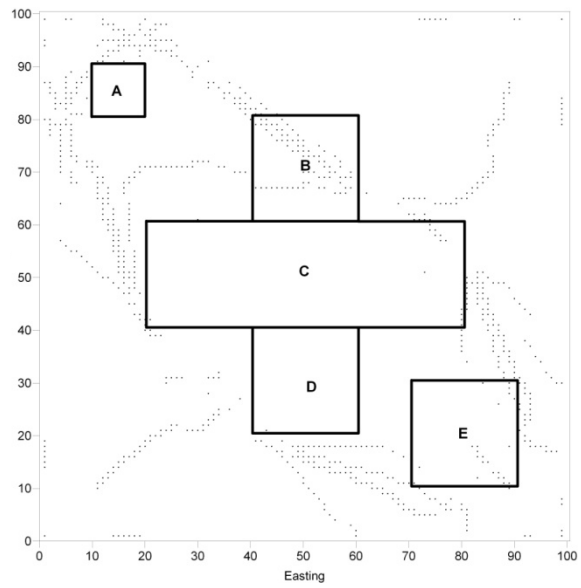
شکل ۳-۱۷ نقشه اندازه سیگنال تحلیلی آنومالی میدان کل مغناطیسی با استفاده از تبدیل هیلبرت.

همانطور که در شکل های ۳-۱۸ تا ۳-۲۱ دیده می شود نقشه مرزهای آنومال به دست آمده از اعمال روش بلکلی و سیمپسون بر روی سیگنال تحلیلی سه بعدی که توسط روش تبدیل هیلبرت به دست آمده است، تطابق خوبی با مقادیر واقعی آنها دارد. در روش بلکلی و سیمپسون نقشه مرزهای آنومال مرتبه اول بیشتر روندهای خطی را نشان می دهد که در آن مرزهای غیر واقعی زیادی وجود دارد. بهترین مرتبه های این مرزها مرتبه دوم و سوم می باشد. در صورت نشان دادن همزمان نقشه های مرتبه دوم تا چهارم نقشه مرزها کاملتر می گردد. اجرای همین مراحل بر روی داده های میدان کل مغناطیسی نتایج مشابهی را نتیجه می دهد که در شکل های ۳-۲۲ تا ۳-۲۶ نشان داده شده است. همانطوری که دیده می شود مرزهای حاصل از سیگنال تحلیلی تا حدودی مرزهای واقعی را نشان می دهد. اما در محل هایی که تداخل آنومالی ها وجود دارد، این روش تا حدودی ضعف نشان داده و مرزهای پیوسته ای را نشان نمی دهد. در نقشه مرزهای حاصل از اعمال فیلتر سیگنال تحلیلی بر روی داده های میدان مغناطیسی به دلیل تباین بهتر خاصیت مغناطیس شوندگی، توده ها به صورت واضح تری از یکدیگر جدا می گردند.

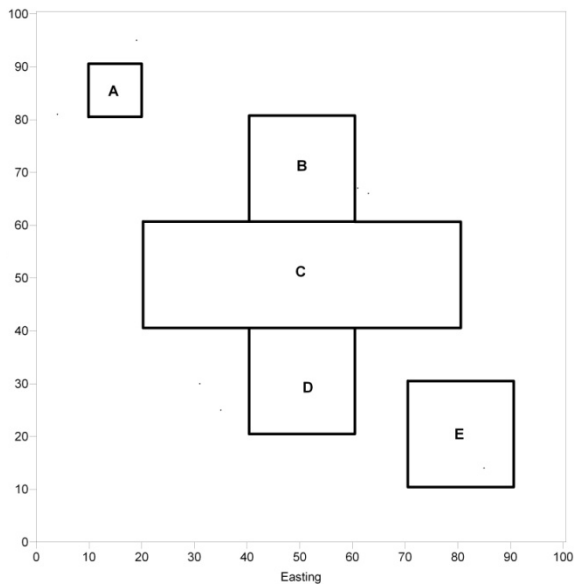
یکی دیگر از روش های تعیین مرزها استفاده از مرتبه های بالاتر سیگنال تحلیلی است. این روش به صورت تئوری در بخش ۲-۱۰ شرح داده شد. برای به دست آوردن سیگنال تحلیلی مرتبه دوم طبق رابطه (۲-) لازم است تا ابتدا از داده ها نسبت به Z مشتق گرفته شده و سپس مشتقات افقی و قائم ماتریس به دست آمده محاسبه گردند. با انجام اینکار و انتقال نتایج به نرم افزار Surfer جهت به نقشه درآوردن آنها، سیگنال تحلیلی مرتبه دوم میدان مغناطیسی به دست می آید (شکل ۳-۲۷).



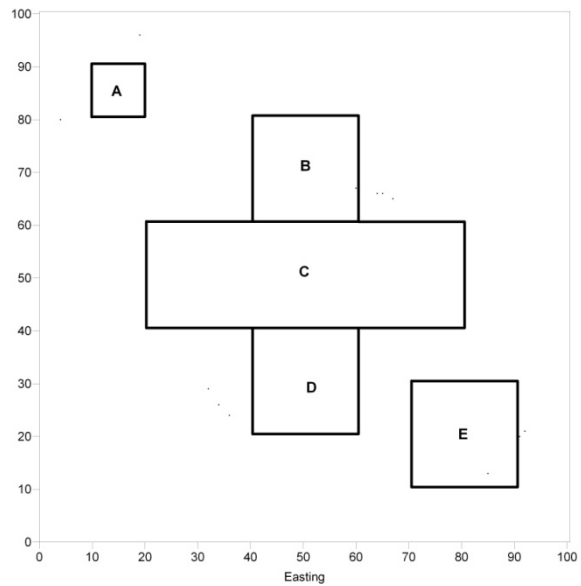
شکل ۳-۱۹ نقشه مرزهای آنومال مرتبه دوم آنومالی
گرانی.



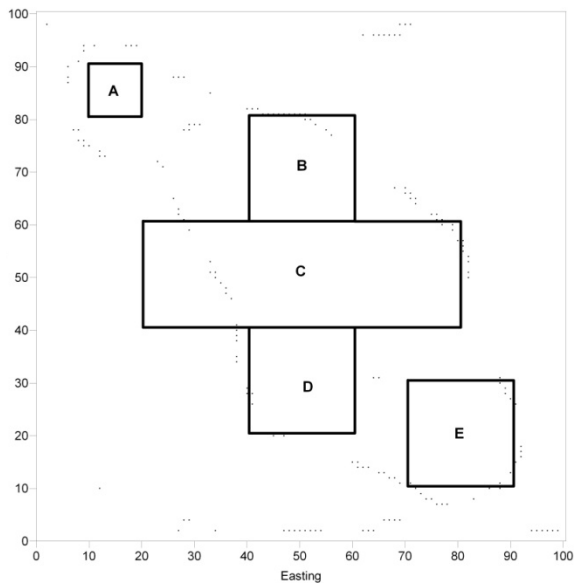
شکل ۳-۱۸ نقشه مرزهای آنومال مرتبه اول آنومالی
گرانی.



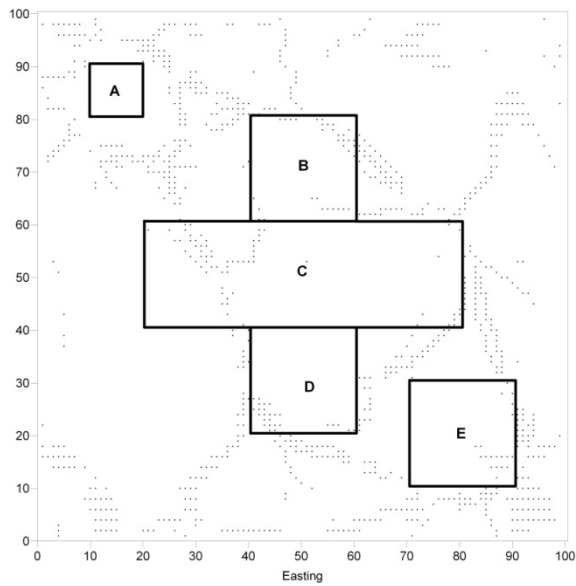
شکل ۳-۲۱ نقشه مرزهای آنومال مرتبه چهارم آنومالی
گرانی.



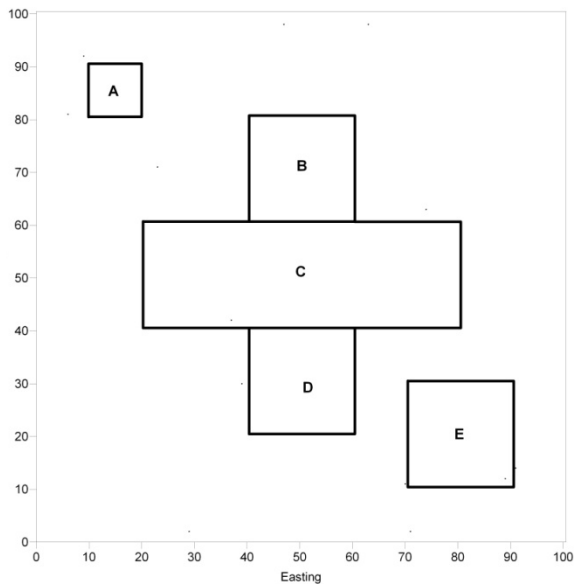
شکل ۳-۲۰ نقشه مرزهای آنومال مرتبه سوم آنومالی
گرانی.



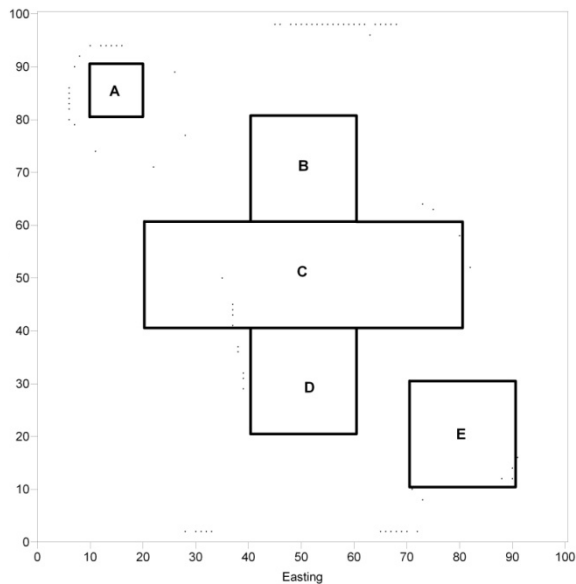
شکل ۲۳-۳ نقشه مرزهای آنومال مرتبه دوم آنومالی مغناطیسی.



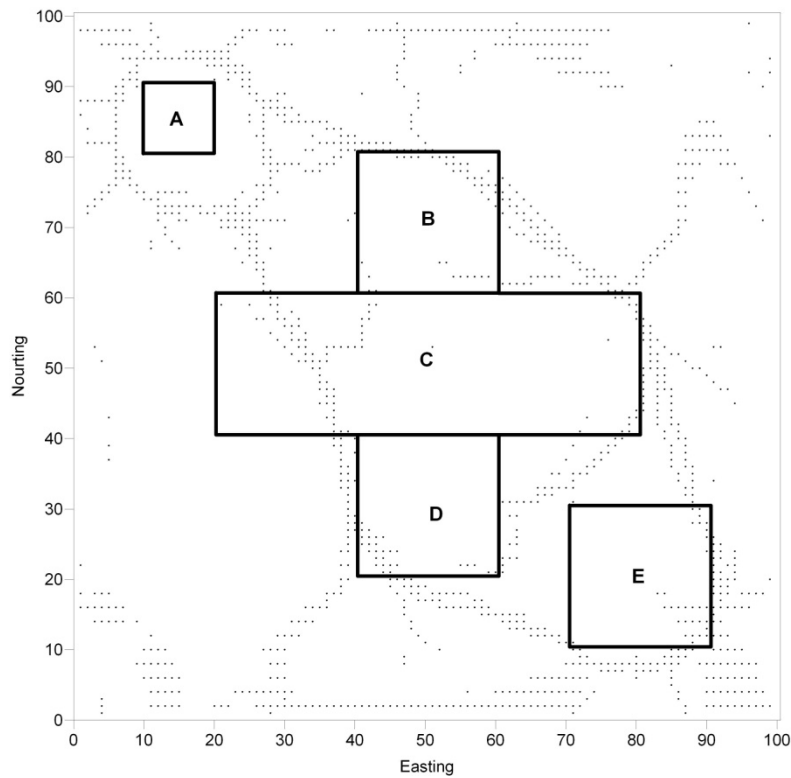
شکل ۲۲-۳ نقشه مرزهای آنومال مرتبه اول آنومالی مغناطیسی.



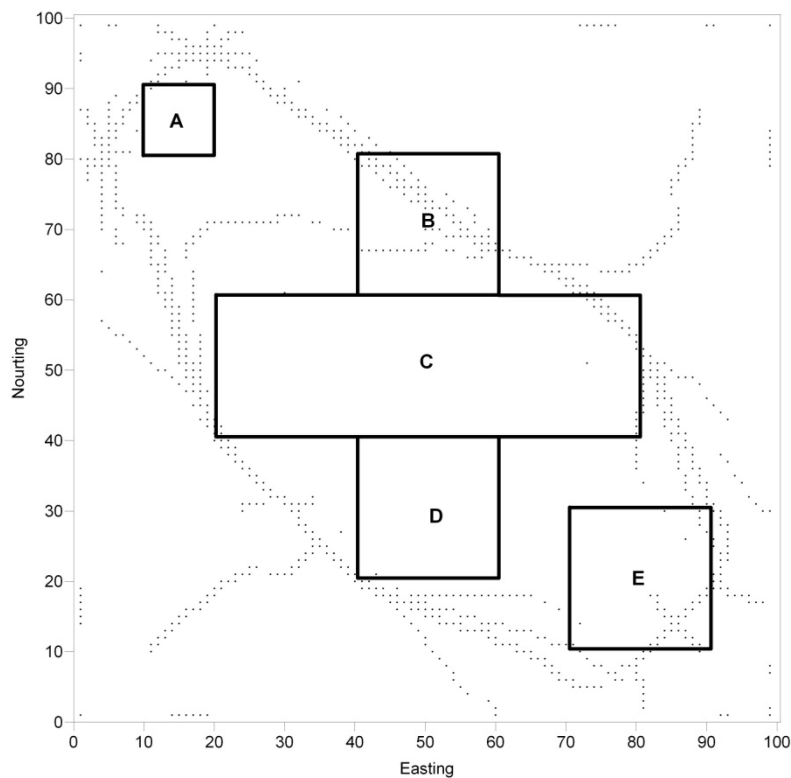
شکل ۲۵-۳ نقشه مرزهای آنومال مرتبه چهارم آنومالی مغناطیسی.



شکل ۲۴-۳ نقشه مرزهای آنومال مرتبه سوم آنومالی مغناطیسی.



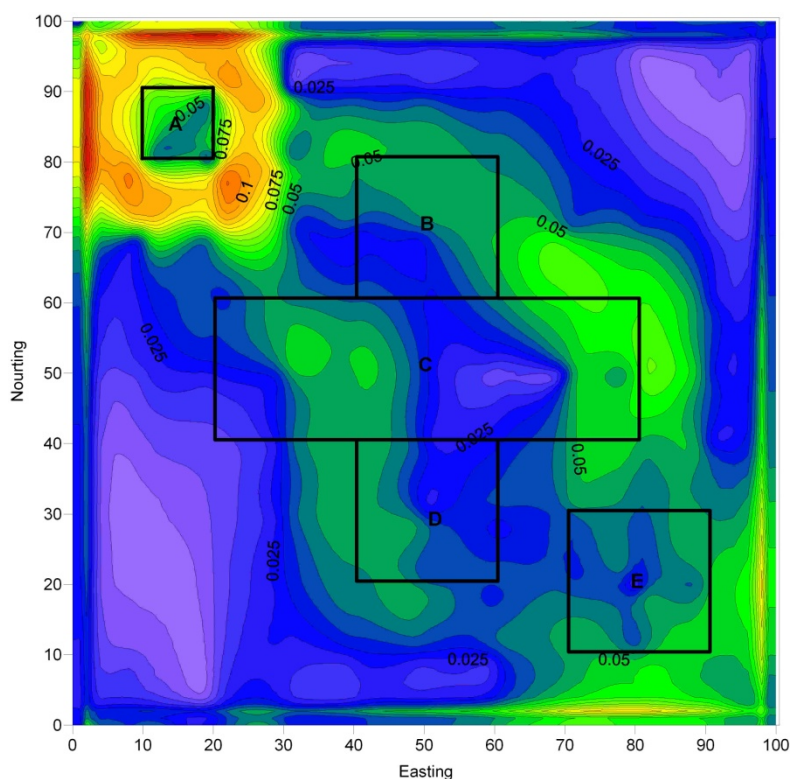
شکل ۲۶-۳ نقشه مرزهای توده های آنومال مغناطیسی مرتبه دوم تا چهارم.



شکل ۲۷-۳ نقشه مرزهای توده های آنومال گرانی مرتبه دوم تا چهارم.

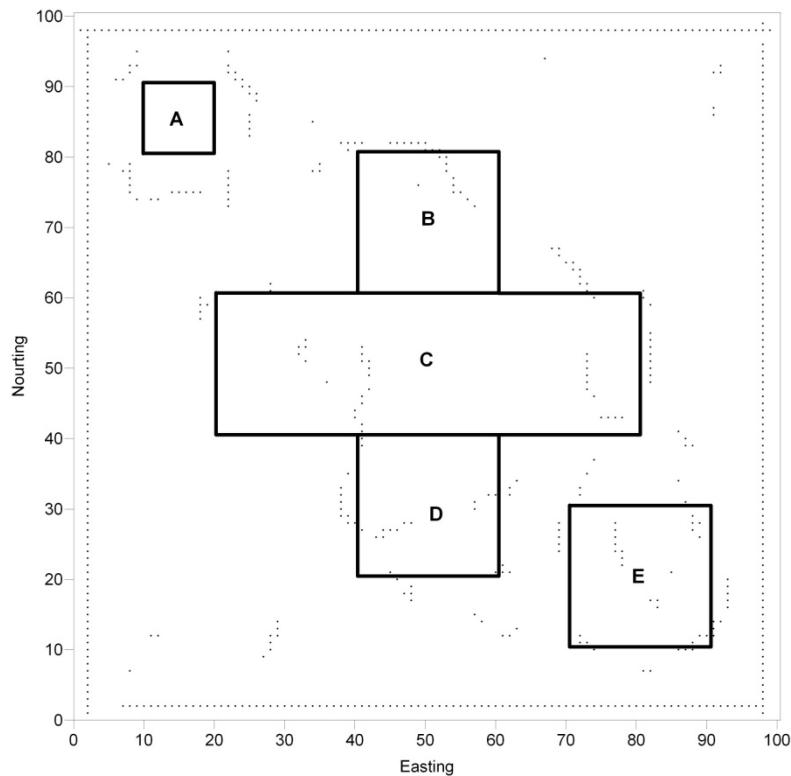
در شکل ۲۸-۳ نقشه اندازه سیگنال تحلیلی مرتبه دوم آنومالی میدانی کل مغناطیسی نشان داده شده است. همانطور که در این شکل دیده می شود اندازه سیگنال تحلیلی مرتبه دوم در روی مرزهای

آنومال تا حدودی بارزتر شده و بخصوص توده شمال غربی نقشه که از سایر توده ها به سطح برداشت نزدیک تر است را بخوبی از سایر توده ها متمایز کرده است که در نقشه های دیگر سیگنال تحلیلی چندان بارز نبود.



شکل ۳-۲۸ اندازه سیگنال تحلیلی مرتبه دوم آنومالی میدان کل مغناطیسی.

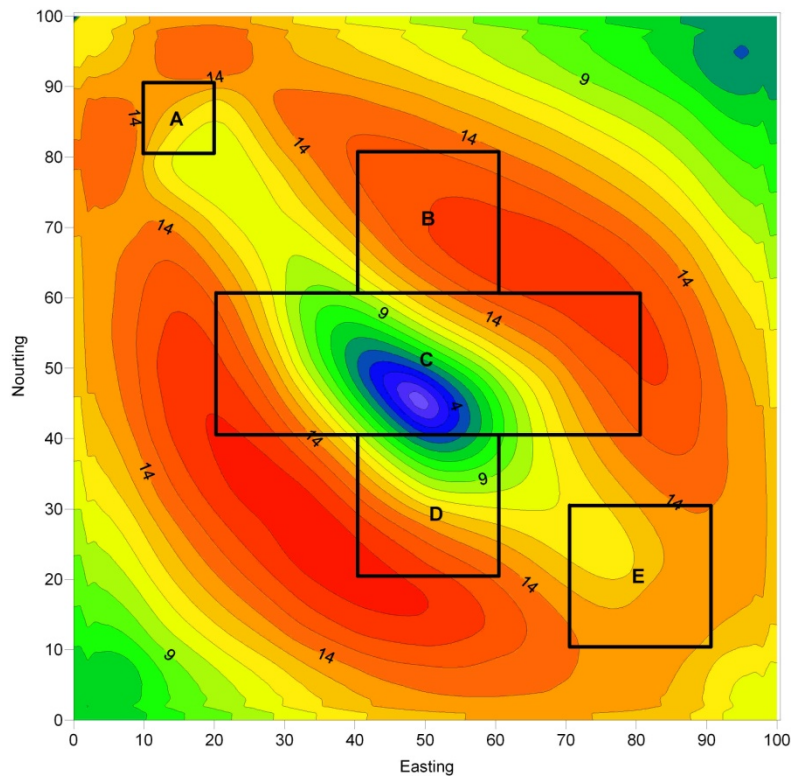
پس از این، توسط روش بلکلی و سیمپسون نقشه مرزهای آنومال به دست آمده است (شکل ۳-۲۹). همانطور که در شکل ۳-۲۹ دیده می شود تعدادی نقاط در حاشیه نقشه دیده می شوند که ناشی از اثرات داده های مرزی است و ارتباطی با توده های آنومال ندارند. لازم به ذکر است که اندازه سیگنال تحلیلی مرتبه دوم آنومالی گرانی توده های مصنوعی به دلیل وجود نویز زیاد غیر قابل تفسیر بوده و از ارائه آن صرف نظر شده است.



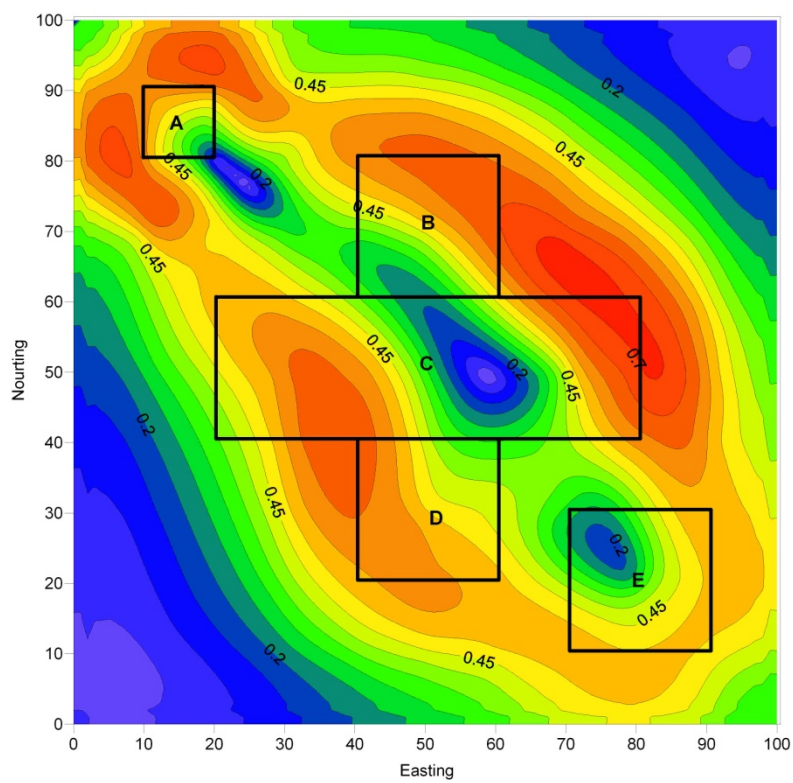
شکل ۳-۲۹ نقشه مرزهای بی هنجار مرتبه دوم تا چهارم به دست آمده از اندازه سیگنال تحلیلی مرتبه دوم آنومالی میدان کل مغناطیسی.

در تمامی موارد فوق استفاده از اندازه سیگنال تحلیلی تا حدودی مرزهای توده ها را نمایان می کند اما دارای اشکالاتی نیز است. از آن جمله می توان به این مورد اشاره کرد که این مرزها کاملاً پیوسته نیست و در بعضی موارد باعث می شود تا دنبال کردن مرزها کاری دشوار باشد. از طرف دیگر این مرزها در پاره ای موارد به مرزهای واقعی نزدیک نیستند و مفسر را در تفسیر به اشتباه می اندازد. این مشکلات در روشهای دیگر تعیین مرزها از جمله گرادیان افقی نیز دیده می شود.

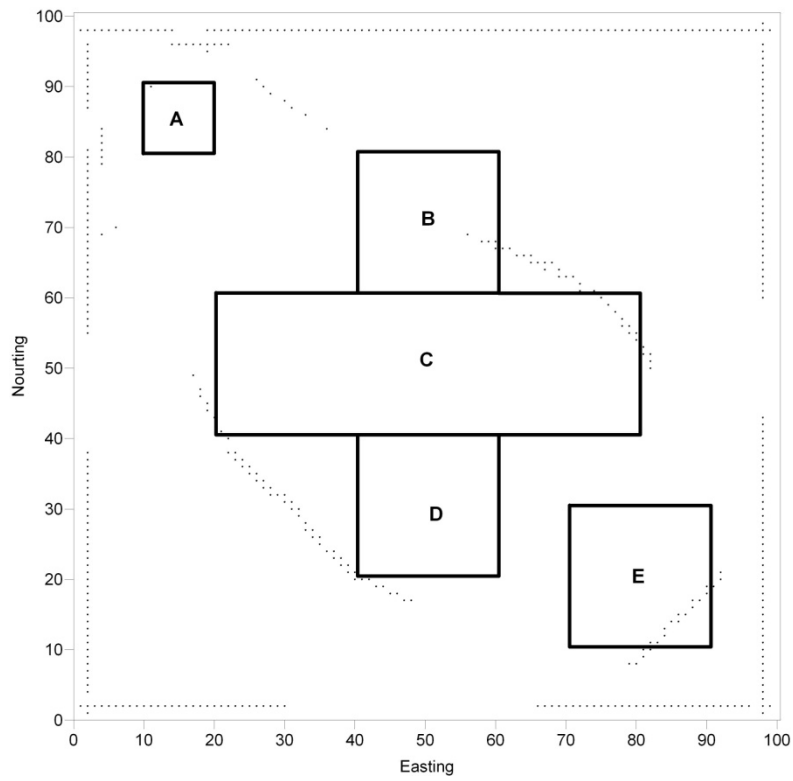
در شکل ۳-۳۰ و شکل ۳-۳۱ گرادیان افقی آنومالی های گرانی و مغناطیسی نشان داده شده است. این نقشه ها که از مجذور مربعات مشتقات افقی به دست آمده اند نیز در روی مرزهای بی هنجار دارای بیشترین مقدار می باشند. در این مورد نیز از روش بلکلی و سیمپسون برای تعیین مرزهای توده های آنومال استفاده شده است که در شکل ۳-۳۲ و شکل ۳-۳۳ نشان داده شده اند. همانطور که در این شکل ها دیده می شود مرزهای حاصل از گرادیان افقی با مرزهای حاصل از سیگنال تحلیلی تقریباً مشابه هستند.



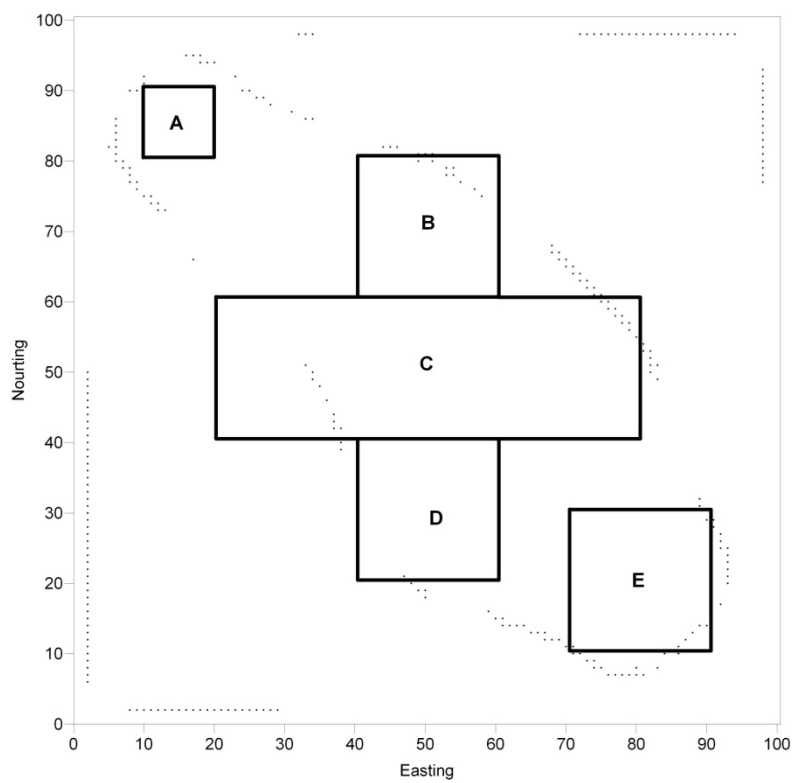
شکل ۳۰-۳ نقشه گرادیان افقی آنومالی گرانی.



شکل ۳۱-۳ نقشه گرادیان افقی آنومالی مغناطیسی.



شکل ۳-۳۲ نقشه مرزهای بی هنجار مرتبه دوم تا چهارم به دست آمده از گرادیان افقی آنومالی گرانی.



شکل ۳-۳۳ نقشه مرزهای بی هنجار مرتبه دوم تا چهارم به دست آمده از گرادیان افقی آنومالی میدان کل مغناطیسی

با توجه به شکل ۳-۳۲ و شکل ۳-۳۳ دیده می شود که روش گرادیان افقی قادر به نمایش مرزهای آنومال به صورت پیوسته نمی باشد. علاوه بر این، با مقایسه شکل ۳-۲۶ و شکل ۳-۲۷ با شکل ۳-۳۳ و شکل ۳-۳۲ دیده می شود که هر دو روش گرادیان افقی و سیگنال تحلیلی می توانند مرز توده ها را مشخص کنند اما در بخش هایی که تداخل آنومالی ها وجود دارد، روش سیگنال تحلیلی بهتر عمل کرده و توانسته تا حدودی توده های نزدیک به هم را تفکیک نماید. با این حال در نتایج هر دو روش دیده می شود که مرزهای تعیین شده دارای پیوستگی نیستند. برای رفع این مشکل و ایجاد پیوستگی در نقشه مرزها، می توان از فیلتر هایی که در سال های اخیر معرفی شده اند استفاده کرد. از جمله این فیلترها می توان به فیلتر های فاز محلی^۱ اشاره کرد [۲۵]. لازم به ذکر است که فیلترهای فاز محلی شامل چندین فیلتر مختلف می باشند که نتایج متفاوتی را در مورد مرز توده ها ارائه می دهند.^۲ این فیلترها بر روی داده های میدان پتانسیل توده های مصنوعی اعمال شده اند که نتایج آنها در پیوست (ج) ارائه شده اند. با مقایسه این نتایج، نقشه تتا از سایر نقشه ها بهتر تشخیص داده شده و به طور بارزتری در این بخش به آن پرداخته شده است.

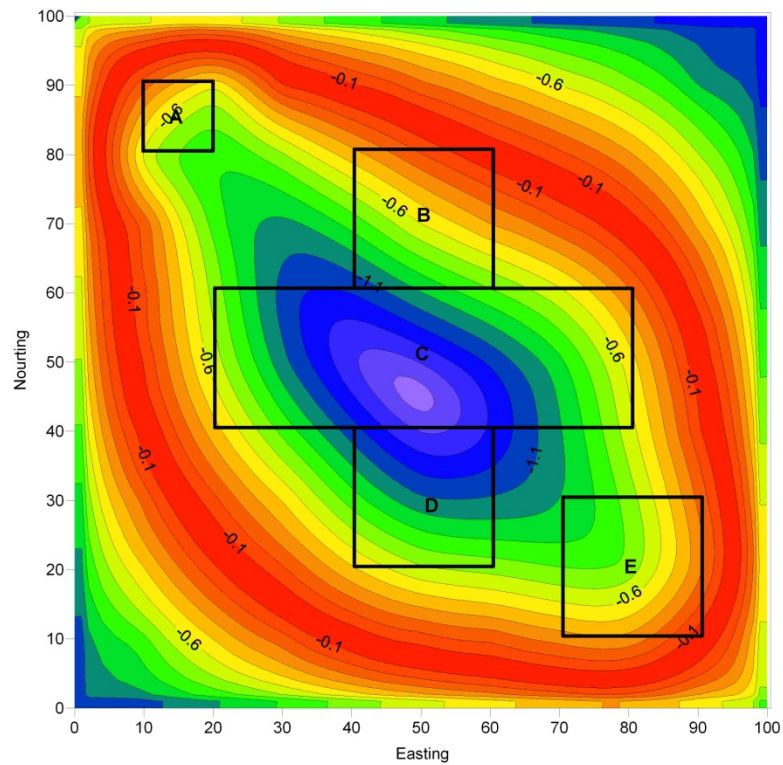
فیلتر تتا توسط رابطه زیر تعریف می شود [۲۵]:

$$Theta = \cos^{-1} \left(\frac{\sqrt{\left(\frac{\partial \phi}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial \phi}{\partial y}\right)^2}}{\sqrt{\left(\frac{\partial \phi}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial \phi}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial \phi}{\partial z}\right)^2}} \right) \quad (۲-۳)$$

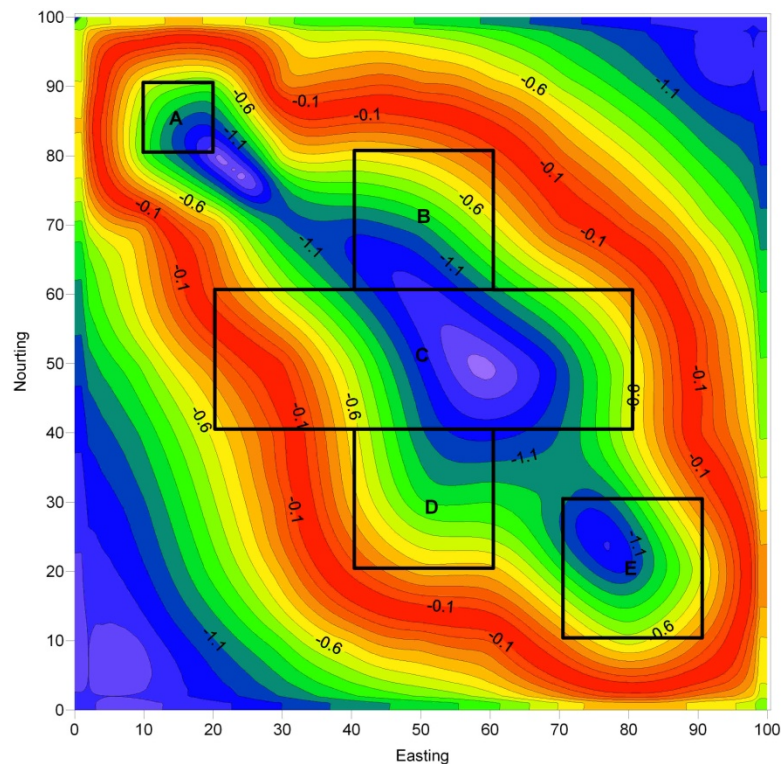
همانطور که در این رابطه دیده می شود فیلتر تتا از نرمال کردن گرادیان افقی آنومالی میدان پتانسیل با استفاده از اندازه سیگنال تحلیلی سه بعدی به دست آمده است. با استفاده از این رابطه نقشه تتا آنومالی های گرانی و مغناطیسی ناشی از توده های مصنوعی به دست آمده است که در شکل ۳-۳۴ و شکل ۳-۳۵ نشان داده شده است.

^۱ Local phase

^۲ برای به دست آوردن اطلاعات بیشتر به منبع [۲۰] مراجعه شود.



شکل ۳-۳۴ نقشه تنا آنومالی گرانی.



شکل ۳-۳۵ نقشه تنا آنومالی میدان کل مغناطیسی.

با توجه به شکل ۳-۳۴ می توان دید که در این نقشه ها دو خاصیت بارز نسبت به نقشه های حاصل از روش های سیگنال تحلیلی و گرادیان افقی وجود دارد. اول اینکه در این نقشه در روی مرزها تباین بیشتری دیده می شود و دوم اینکه تقریباً تمام توده ها در داخل مرز نشان داده شده

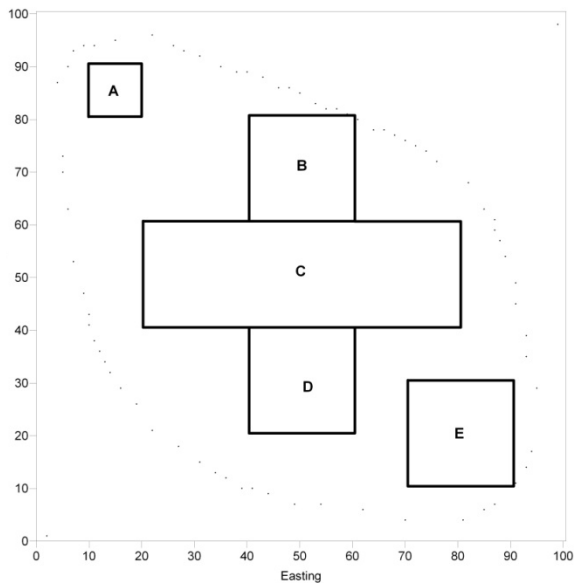
وجود دارد. با استفاده از روش بلکلی و سیمپسون نقاط بیشینه نقشه تتا به دست آمده است که در شکل ۳-۳۶ تا شکل ۳-۴۳ ارائه شده است. با توجه به این نقشه ها می توان دید که در این نقشه ها مرزهای متمایز شده، از پیوستگی بسیار مناسب تری نسبت به روشهای سیگنال تحلیلی و گرادیان افقی برخوردار هستند و به راحتی می توان مرزها را از روی نقاط دنبال نمود.

از اعمال روش های مختلف بر روی آنومالی گرانی و مغناطیسی توده های مصنوعی می توان به نتایج زیر رسید:

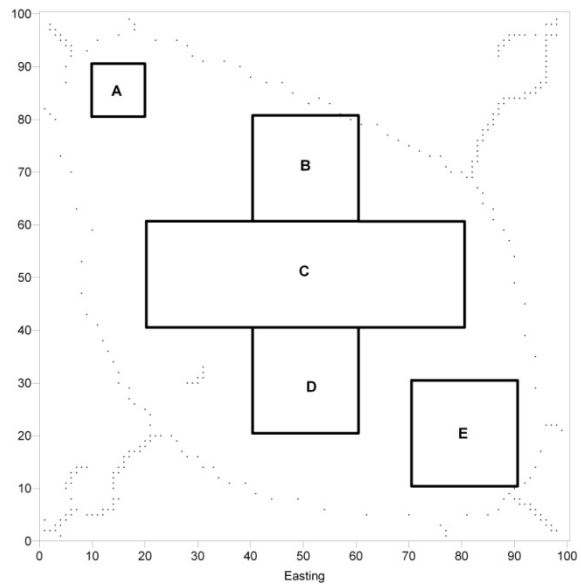
اگرچه استفاده از تبدیل هیلبرت برای محاسبه مشتق قائم در محاسبه اندازه سیگنال تحلیلی باعث می شود تا بیشترین مقادیر اندازه سیگنال تحلیلی در بالای مرزها قرار گیرد اما نقشه حاصل به نقشه گرادیان افقی شبیه می گردد. این مساله می تواند در نتیجه ناچیز بودن اعداد مشتق قائم نسبت به اعداد مشتقات افقی باشد. به همین دلیل اشکالات بیان شده در مورد روش گرادیان افقی در این روش نیز دیده می شود.

بنابراین با توجه به نتایج حاصل، استفاده از سیگنال تحلیلی که در بازه فوریه به دست آمده است، می باشد. به عبارت دیگر بهتر است تا هر یک از مشتقات افقی و قائم در بازه فوریه محاسبه شوند و سپس اندازه سیگنال تحلیلی از روی این نتایج محاسبه گردد. اگرچه در این روش بیشترین مقادیر اندازه سیگنال تحلیلی در روی مرزها قرار نمی گیرد اما می توان با استفاده از فیلتر تتا این نقص را جبران کرده و نقشه مرز توده های آنومال را به دست آورد.

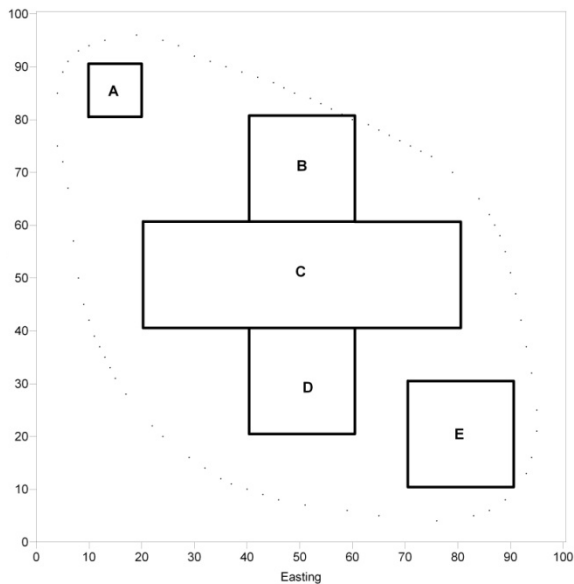
با توجه به این مطالب در فصل ۴ به عنوان یک مطالعه موردی ابتدا مشتقات افقی و قائم آنومالی گرانی و مغناطیسی دهنو در بازه فوریه محاسبه می شود و سپس اندازه سیگنال تحلیلی از روی این نتایج محاسبه می گردد. در نهایت نیز برای پیوسته شدن مرزها از فیلتر تتا استفاده می گردد.



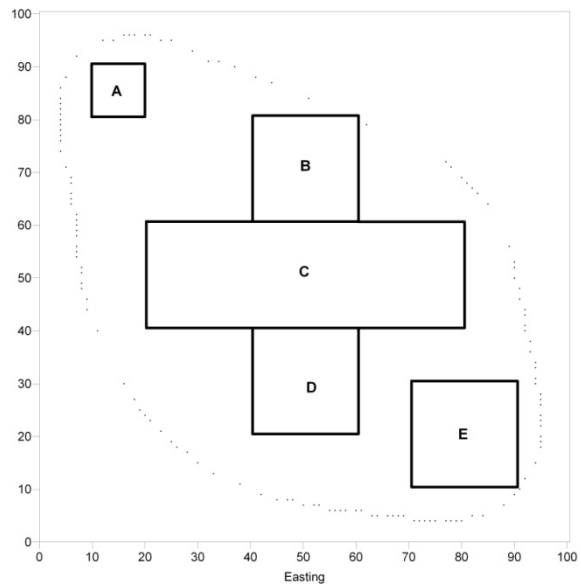
شکل ۳-۳۷ نقشه مرزهای بی‌هنجار مرتبه دوم با استفاده از نقشه تنا‌آنومالی گرانی.



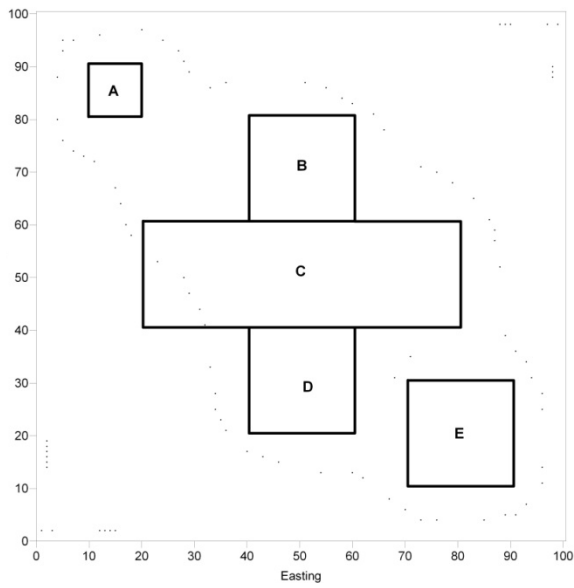
شکل ۳-۳۶ نقشه مرزهای بی‌هنجار مرتبه اول با استفاده از نقشه تنا‌آنومالی گرانی.



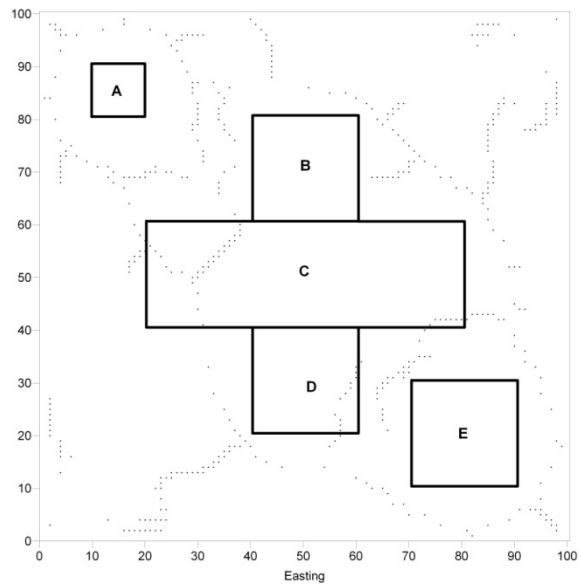
شکل ۳-۳۹ نقشه مرزهای بی‌هنجار مرتبه چهارم با استفاده از نقشه تنا‌آنومالی گرانی.



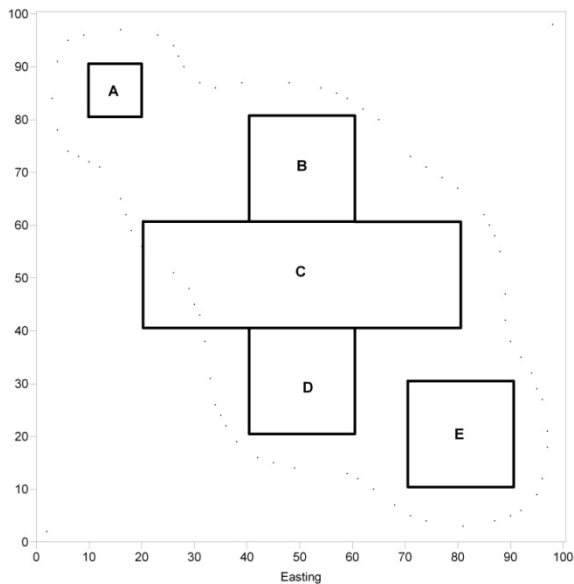
شکل ۳-۳۸ نقشه مرزهای بی‌هنجار مرتبه سوم با استفاده از نقشه تنا‌آنومالی گرانی.



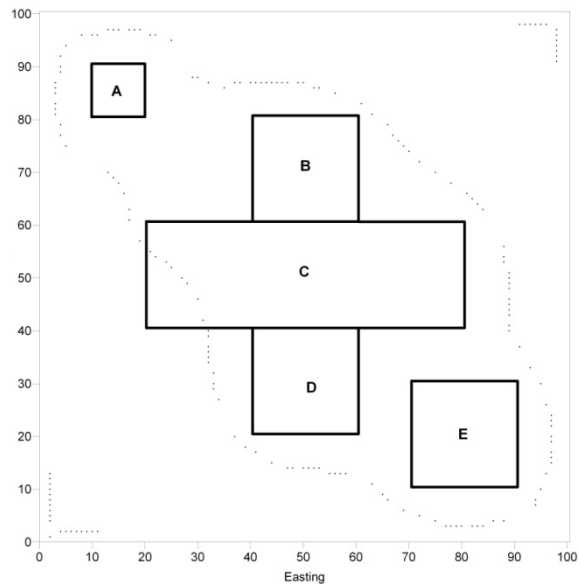
شکل ۳-۴۱ نقشه مرزهای بی هنجار مرتبه دوم با استفاده از نقشه تتا آنومالی میدان کل مغناطیسی.



شکل ۳-۴۰ نقشه مرزهای بی هنجار مرتبه اول با استفاده از نقشه تتا آنومالی میدان کل مغناطیسی.



شکل ۳-۴۳ نقشه مرزهای بی هنجار مرتبه چهارم با استفاده از نقشه تتا آنومالی میدان کل مغناطیسی.



شکل ۳-۴۲ نقشه مرزهای بی هنجار مرتبه سوم با استفاده از نقشه تتا آنومالی میدان کل مغناطیسی.

فصل چهارم

تعیین مرزهای آنومال منطقه دهنو با
استفاده از سیگنال تحلیلی سه بعدی



۴-۱- مقدمه

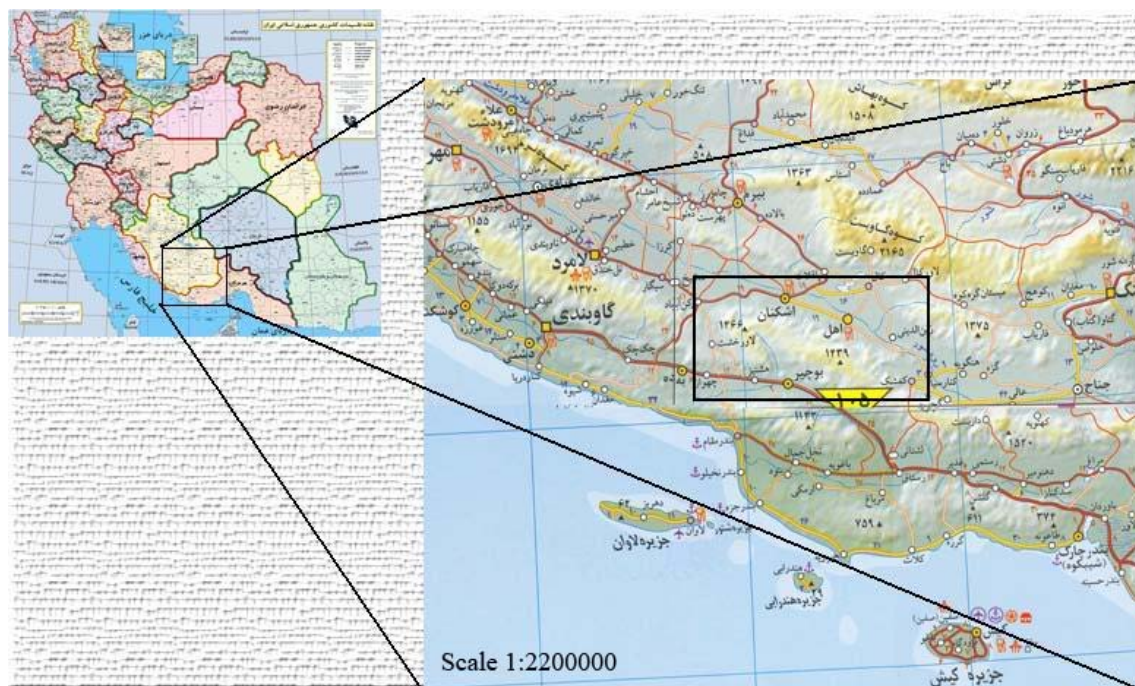
پس از آزمایش روش سیگنال تحلیلی برای تعیین مرزهای آنومال در مورد توده های مصنوعی، این روش در مورد داده های واقعی اعمال می شود تا کارایی این فیلتر در تعیین مرز توده های آنومال واقعی مورد بررسی قرار گیرد. در واقع داده های ذکر شده شامل برداشتهای گرانی و مغناطیسی انجام شده توسط شرکت ملی نفت ایران در منطقه دهنو می باشد [۲۶]. پروژه عملیات گرانی و مغناطیسی سنجی دهنو در سال ۱۳۸۲ توسط شرکت عملیات اکتشاف OEOC انجام پذیرفت. هدف از انجام پروژه مذکور مشخص نمودن وضعیت احتمالی نفوذ نمک در ساختمان دهنو می باشد. لذا این پروژه به پیشنهاد اداره زمین شناسی شرکت نفت و به توافق مدیریت اکتشاف انجام پذیرفت. پروژه گرانی و مغناطیسی سنجی دهنو در دو فاز که جمعاً شامل ۹۹۰ ایستگاه بود طراحی گردید. البته پس از اتمام برداشت فاز اول پروژه که ۵۷۹ ایستگاه را شامل می شد، فاز دوم عملیات بنابه پیشنهاد گروه غیر لرزه ای مدیریت اکتشاف حذف گردید. عملیات گرانی سنجی بوسیله دو دستگاه G-440 و CG-3M بدون در نظر گرفتن محدودیت زمانی با اعمال اثرات جزر و مد انجام پذیرفت. عملیات مغناطیسی سنجی نیز توسط شش دستگاه مگنتومتر پروتون MP2، MP3 و بالاخره عملیات نقشه برداری بوسیله ۴ دستگاه جدید تعیین موقعیت ماهواره ای (GPS)، جهت تعیین مختصات نقاط برداشت و ارتفاع آنها انجام پذیرفت [۲۷].

هدف از اعمال فیلتر سیگنال تحلیلی بر روی داده های میدان پتانسیل منطقه دهنو بررسی کارایی این فیلتر برای تعیین مرزهای آنومال این منطقه می باشد. در واقع سعی شده است تا با بررسی نتایج حاصل از اعمال سیگنال تحلیلی بر روی داده های میدان پتانسیل به سوالات زیر پاسخ داد :

- آیا می توان با اعمال سیگنال تحلیلی مرزهای تاقدیس دهنو و وضعیت آن را مشخص نمود؟
- آیا می توان وضعیت نفوذ نمک را در تاقدیس مزبور تعیین کرد؟
- آیا می توان عملکرد تکتونیک در این منطقه را توسط این روش مشخص کرد؟

۲-۴- موقعیت جغرافیایی منطقه

منطقه دهنو در بین طولهای جغرافیایی $27^{\circ} 01'$ الی $27^{\circ} 14'$ و عرض های $53^{\circ} 35'$ الی $53^{\circ} 59'$ واقع شده است [۲۷]. در شکل ۴-۱ موقعیت منطقه و راه های دسترسی مربوطه نشان داده شده است.



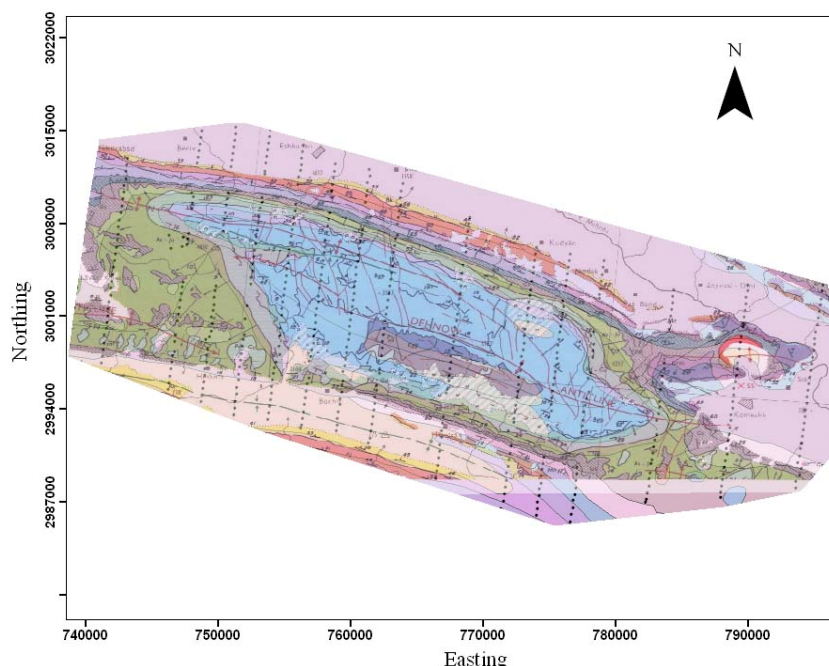
شکل ۴-۱ موقعیت جغرافیایی منطقه و راههای دسترسی آن (برگرفته از اطلس راه های ایران).

منطقه دهنو در استان فارس واقع شده طوری که از شمال به شهر اشکنان و اهل و از جنوب به بوجیر، حمیران و هشتیز و از غرب به ساختمان گازی تابناک محدود می شود. راههای دسترسی به منطقه از طریق بندر عباس و بندر لنگه به اشکنان و هم از طریق بندر عسلویه و گاو بندی به اشکنان امکان پذیر است.

۳-۴- زمین شناسی منطقه

در شکل ۴-۲ نقشه زمین شناسی منطقه نشان داده شده است که نقاط برداشت داده های گرانی و مغناطیسی روی آن مشخص شده است. قدیمی ترین سازند موجود در منطقه، سازند خامی و گروه بنگستان بوده به طوری که سازند های جوانتری همچون آغا جاری، مختاری، میشان، گچساران و آسماری نیز مشاهده می شوند. روند ساختمانی عمومی منطقه شمال غرب-جنوب شرق است. لازم به ذکر است که منطقه مورد نظر دارای توپوگرافی شدیدی است. در منطقه رخنمون تشکیلات دیگری قابل تشخیص هستند که از قدیم به جدید می توان به بختیاری، آغا جاری، میشان، گچساران، پابده-

گورپی و غیره اشاره نمود. در جدول ۴-۱ انواع سازند های زمین شناسی قابل تشخیص در حوزه رسوبی زاگرس و اهمیت آنها از نظر ذخایر هیدروکربنی نشان داده شده است.



شکل ۴-۲ نقاط برداشت گرانی و مغناطیسی بر روی نقشه زمین شناسی منطقه [۲۸].

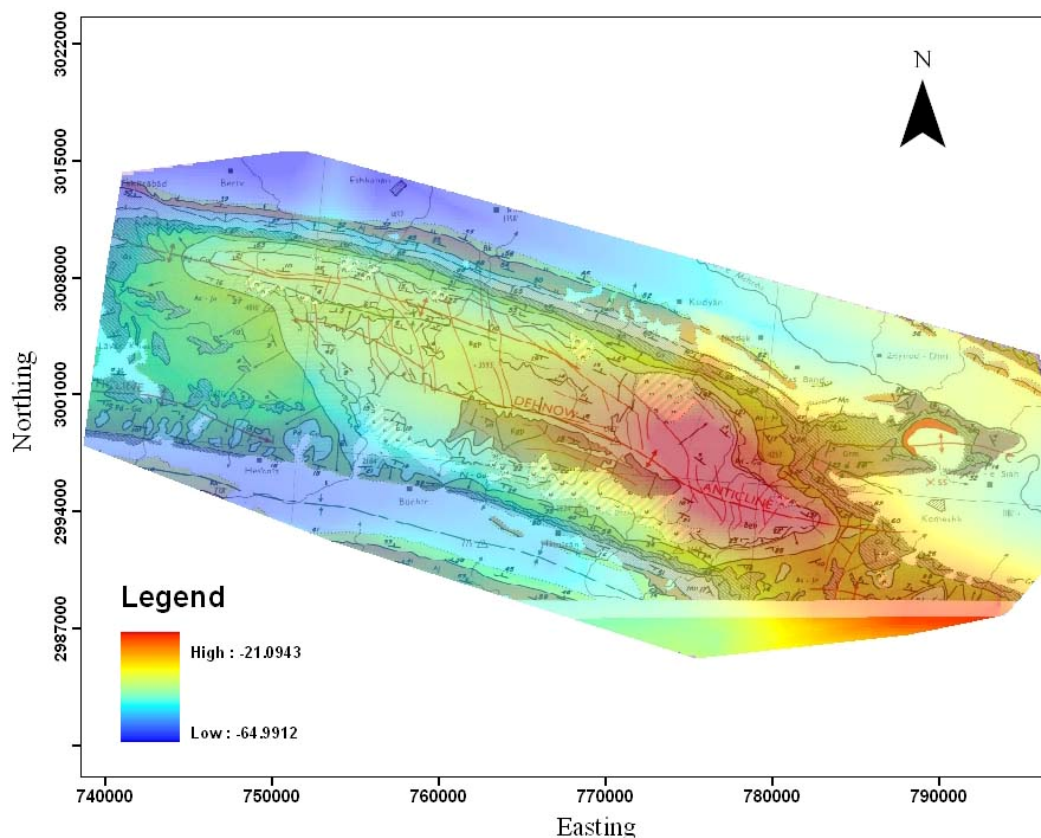
جدول ۴-۱ خلاصه ای از سازندهای زاگرس و نقش آنها در منشا، مخزن و یا سنگ پوشش بودن [۲۸].

سنگ پوشش	سنگ منشا	سنگ مخزن	لیتولوژی	سازند یا بخش	زمان
			کنگلوмера	بختیاری	پلیوسن
			ماسه سنگ و شیل و مارن	آغاچاری	میو- پلیوسن
■			مارن و آهک	میشان - بخش گوری	
■			تبخیری و دولومیت	گچساران	میوسن بالایی
		■	آهک - ماسه سنگ	آسماری بخش ماسه سنگ اهواز	الیگومیوسن
		■	آهک و مارن و شیل	پابده	پالئوسن
■		■	شیل و مارن و آهک	گورپی	کرتاسه بالایی
		■	آهک	سروک	سنومانین
		■	شیل و آهک	کزدمی	آلبین
		■	آهک	داریان	آپسین
		■	شیل و آهک	گدوان - بخش خلیج	آپسین
		■	آهک	فهلپان	نئوکومین

۴-۴- نقشه آنومالی های میدان پتانسیل دهنو

پس از برداشت داده های گرانی و اعمال تصحیحات مربوطه شامل تصحیحات هوای آزاد ، بوگه، زمینگان، تصحیح عرض جغرافیایی و جزر و مد، آنومالی بوگه به دست می آید که با به نقشه درآوردن

این داده ها، نقشه آنومالی بوگه به دست می آید. داده های آنومالی گرانی و مغناطیسی منطقه دهنو پس از شبکه بندی^۱ بصورت نقشه درآمدند و در شکل ۳-۴ و شکل ۴-۴ نشان داده شده اند. در این شکل ها برای مقایسه بهتر آنومالی ها و نقشه زمین شناسی، این دو نقشه برهم نهی شده اند.



شکل ۳-۴ تلفیق نقشه آنومالی بوگه دهنو و نقشه زمین شناسی.

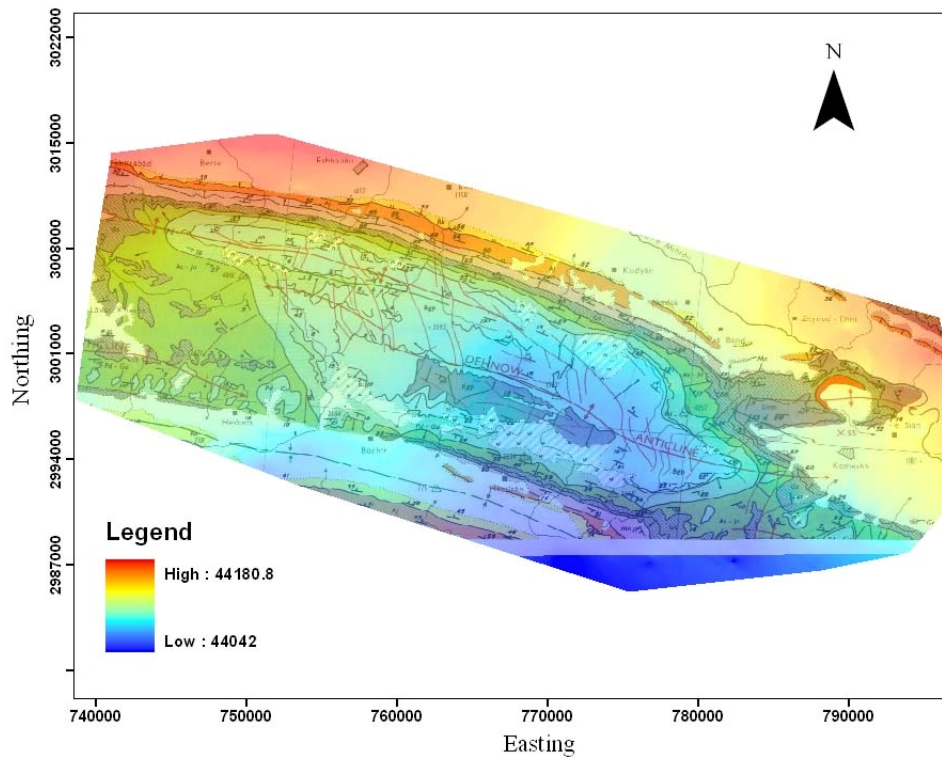
با توجه به شکل ۳-۴ می توان دید که آنومالی بوگه در بالای تاقدیس دهنو دارای مقدار بیشینه است. با توجه به این آنومالی می توان روند شمال غربی - جنوب شرقی این توده را مشاهده کرد که با نقشه زمین شناسی نیز تطابق کامل دارد. بیشترین مقدار آنومالی بوگه در بخش جنوب شرقی تاقدیس دیده می شود. در مرز رخنمون تاقدیس که در نقشه زمین شناسی نشان داده شده است فاصله خطوط تراز آنومالی بوگه کم شده که نشان دهنده تغییرات شدید دانسیته در این محل ها است.

در نقشه های آنومالی میدان کل مغناطیسی وجود عاملی بنام زاویه میل و انحراف میدان زمین باعث می شود تا آنومالی ها درست در بالای محل توده های مربوط قرار نگیرند. بدین ترتیب لازم است تا فیلتر برگردان به قطب بر روی داده ها اعمال شود تا آنومالی ها درست در بالای محل توده های

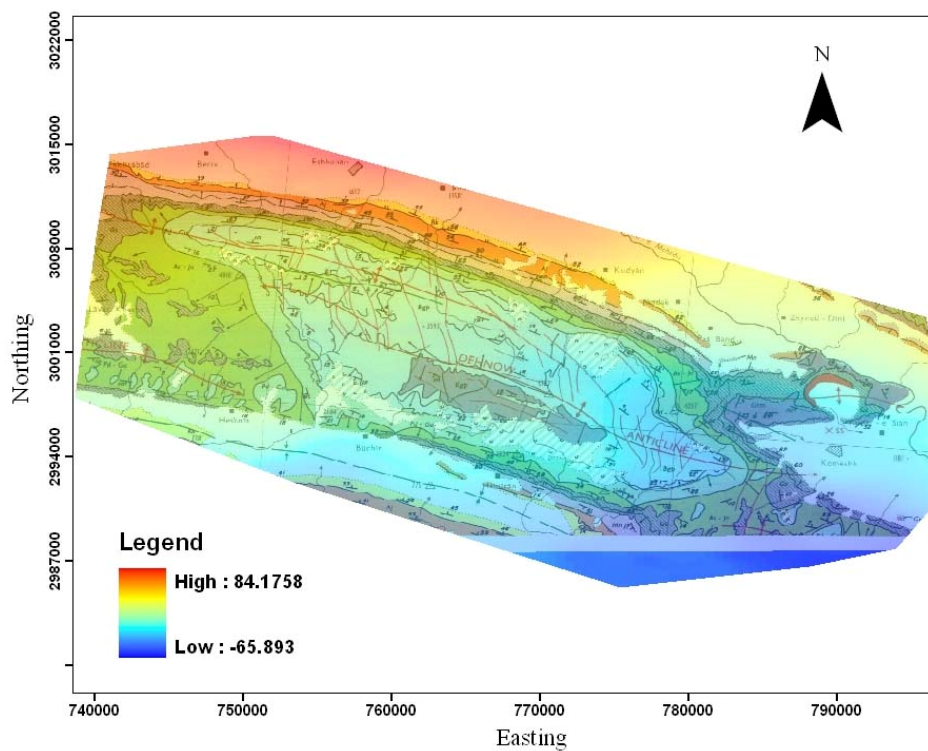
^۱ Gridding

بوجود آورنده قرار گیرد. به همین دلیل برنامه کامپیوتری (سابروتین (الف-۲۲) نوشته شده است تا داده های برداشت شده که تحت زاویه میل و انحراف خاصی برداشت شده اند را به شرایط میدان مغناطیسی زمین در قطب شمال تبدیل کند. توضیحات بیشتر در مورد این سابروتین در پیوست (الف) ارائه شده است. لازم به ذکر است که میدان مغناطیسی زمین در منطقه دهنو دارای زاویه میل ۴۱ درجه و زاویه انحراف ۲ درجه می باشد. با استفاده از سابروتین مذکور فیلتر برگردان به قطب بر روی داده های برداشت شده اعمال شده است.

نقشه حاصل در شکل ۴-۵، نشان دهنده نقشه برگردان به قطب شده آنومالی میدان کل مغناطیسی دهنو می باشد. در این نقشه مقدار میدان مغناطیسی از سمت جنوب شرق به سمت شمال غرب افزایش می یابد. در واقع این روند نشان می دهد که ضخامت رسوبات از سمت جنوب شرق به سمت شمال غرب کاهش می یابد. بخصوص در بخش شمال غربی نقشه کاهش مقدار میدان مغناطیسی افزایش داشته است که می تواند ناشی از عوامل مختلفی از جمله گسل در این منطقه باشد. اما به طور کلی میدان مغناطیسی بر روی تاقدیس دهنو مقدار کمی دارد که ناشی از زیاد بودن عمق رسوبات است [۲۶]. دستیابی به عمق دقیق رسوبات در بخش های مختلف و یا تحلیل فرآیند عملکرد تکتونیک در این منطقه نیاز به مدل سازی داده های مربوطه دارد که از حیثه بحث خارج است. اما هدف از اعمال فیلتر سیگنال تحلیلی بر روی این داده ها بررسی قابلیت این فیلتر در تشخیص مرزهای آنومال موجود در منطقه است. این مرزها می توانند شامل مرز توده های مختلف و یا گسل های موجود باشند.



شکل ۴-۴ تلفیق نقشه آنومالی میدان کل مغناطیسی دهنو و نقشه زمین شناسی منطقه دهنو.



شکل ۴-۵ تلفیق نقشه برگردان به قطب شده آنومالی میدان کل مغناطیسی دهنو و نقشه زمین شناسی.

۴-۵- مشتقات افقی میدان پتانسیل دهنو

روابط ریاضی محاسبه مشتق در فصول قبل بیان شد اما در این بخش به نحوه محاسبه مشتقات افقی مرتبه اول میدان پتانسیل منطقه دهنو پرداخته می شود که توسط سابروتین های مربوطه محاسبه شده و به صورت نقشه درآمدن اند. برای محاسبه مشتقات افقی داده های دهنو ابتدا داده های مربوطه شبکه بندی شده و سپس توسط سابروتین های $FDDX^1$ (سابروتین (الف-۵)) و $FDDY^2$ (سابروتین (الف-۶)) مشتق افقی داده ها در جهت های x و y به دست آمده است^۳. نقشه های حاصل در ادامه ارائه شده اند.

شکل ۴-۶ نقشه حاصل از اعمال فیلتر مشتق افقی در جهت x را به همراه نقشه زمین شناسی نشان می دهد. همانطور که در این شکل دیده می شود مرز تغییر مشتق افقی تقریباً بر روی محور تاقدیس مزبور قرار گرفته است. در بخش میانی تاقدیس این مرز به سمت جنوب منحرف شده است که می تواند نشان دهنده تاثیر یک روند تکتونیکی بر روی تاقدیس باشد که با روند شمال شرقی-جنوب غربی این تاقدیس را قطع کرده است.

در شکل ۴-۷ نقشه حاصل از اعمال فیلتر مشتق افقی در جهت Y ، به همراه نقشه زمین شناسی نشان داده شده است. در این نقشه نیز همانند نقشه مشتق افقی مرز تغییرات بر روی محور تاقدیس افتاده است. اما نکته قابل مشاهده این است که در این نقشه اثری از گسل خوردگی بخش میانی این تاقدیس دیده نمی شود که علت آن را می توان شمالی جنوبی بودن امتداد گسل بیان کرد. به عبارت دیگر در جهت محور Y (شمال نقشه) تغییری در دانسیته سنگها ایجاد نشده است تا توسط مشتق گیری از داده ها نشان داده شود.

نتیجه اعمال فیلتر مشتق افقی در جهت x بر روی داده های آنومالی میدان کل مغناطیسی در شکل ۴-۸ نشان داده شده است. بیشترین تغییرات میدان مغناطیسی در بخش شمالی تاقدیس دیده می شود. در این نقشه نیز می توان تاثیر گسل خوردگی احتمالی را بر روی مرکز این تاقدیس مشاهده نمود

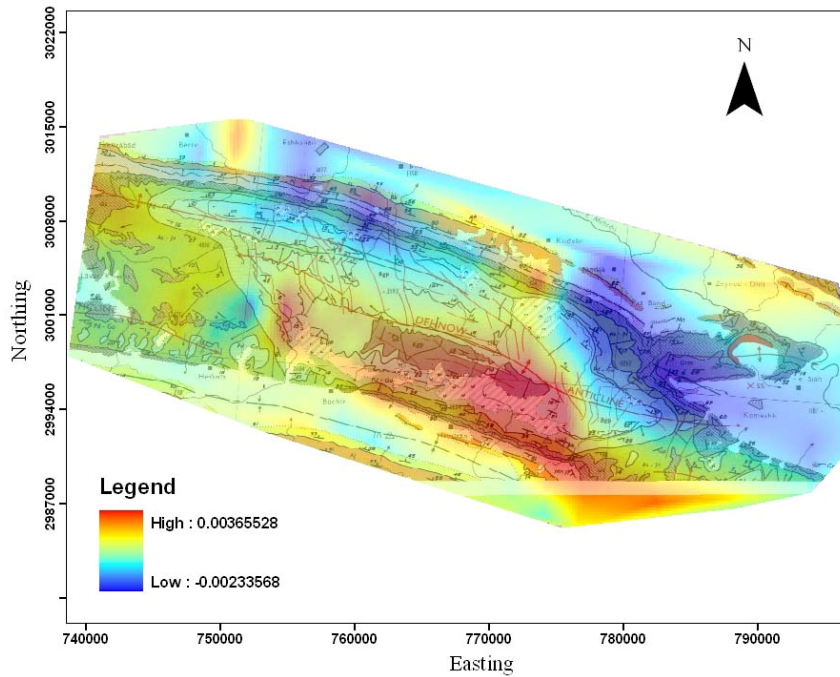
شکل ۴-۹ نقشه مشتق افقی آنومالی میدان کل مغناطیسی در جهت Y را به همراه نقشه زمین شناسی منطقه نشان می دهد. در بخش شمال غربی این نقشه بیشترین مقادیر مشتق یک روند خطی

^۱ سابروتین (الف-۵)

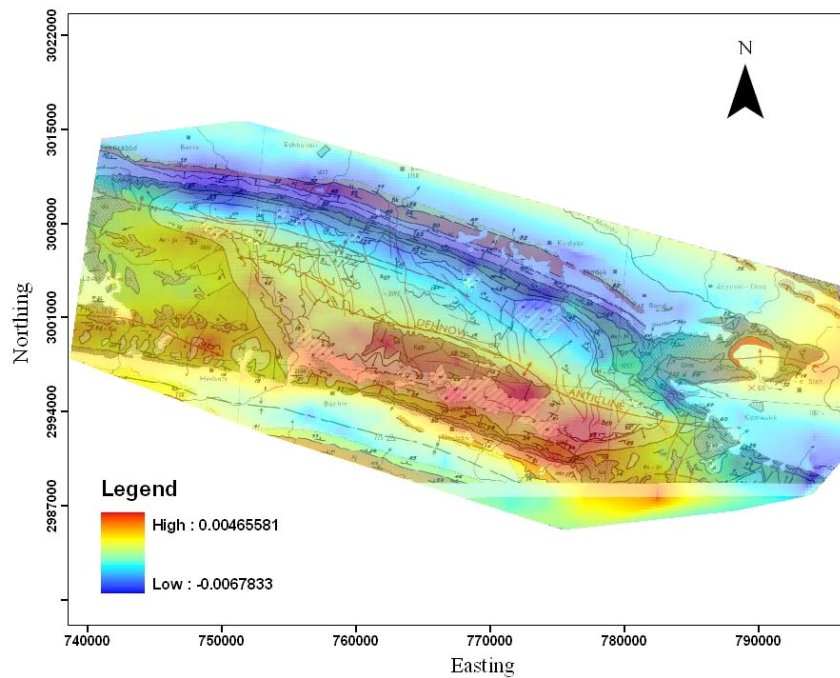
^۲ سابروتین (الف-۶)

^۳ منظور از محور x ، محور افقی و منظور از محور y ، محور قائم می باشد.

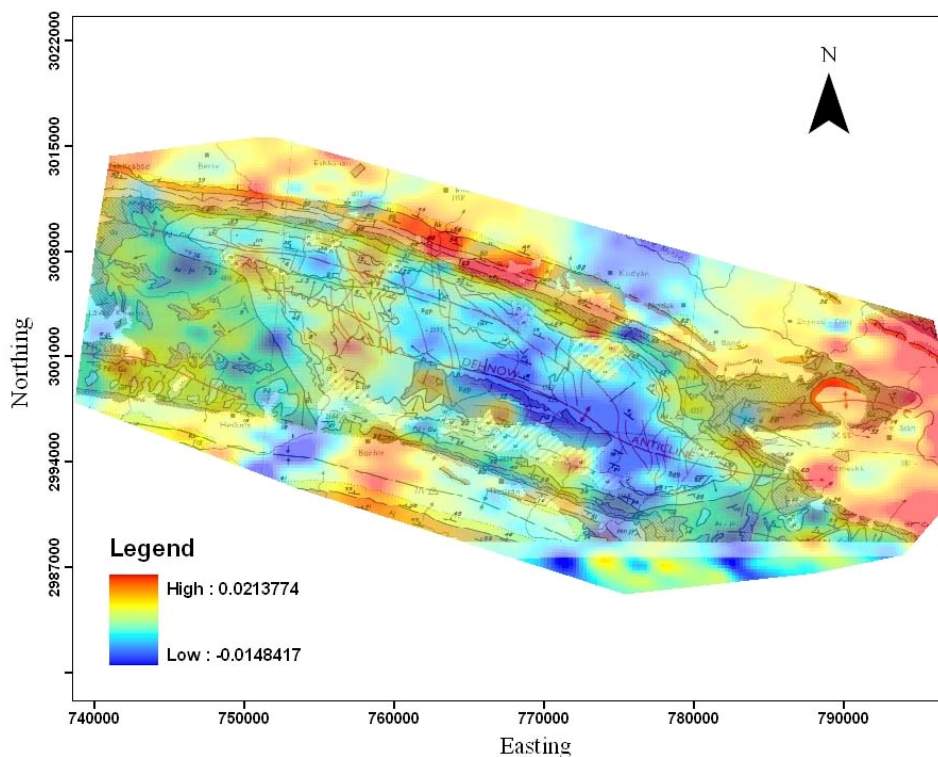
را نشان می دهند که می تواند نشان دهنده علت افزایش ناگهانی میدان مغناطیسی در این بخش باشد. این روند خطی تقریباً بر روی رخنمون سازندهای میشان و گچساران قرار گرفته است. با توجه به اینکه جهت مشتق گیری در این نقشه شمالی - جنوبی است اثری از گسل نام برده شده در مرکز تاقدیس در این نقشه دیده نمی شود.



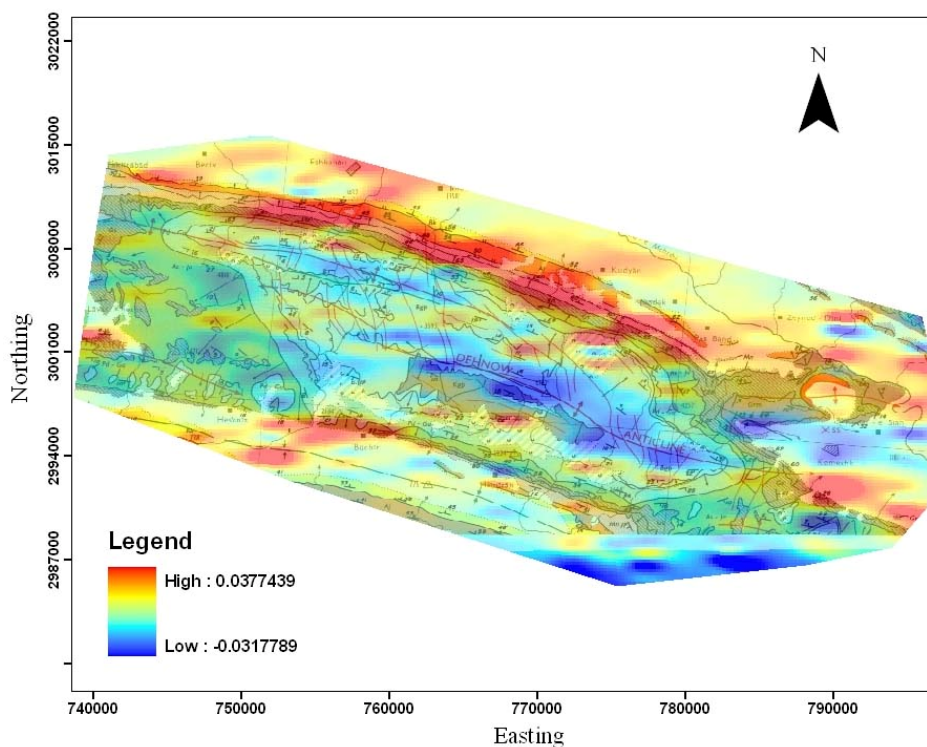
شکل ۴-۶ تلفیق نقشه مشتق افقی آنومالی گرانی در جهت X و نقشه زمین شناسی منطقه.



شکل ۴-۷ تلفیق نقشه مشتق افقی آنومالی گرانی در جهت Y و نقشه زمین شناسی منطقه.



شکل ۴-۸ تلفیق نقشه مشتق افقی در جهت x آنومالی مغناطیسی و نقشه زمین شناسی منطقه.



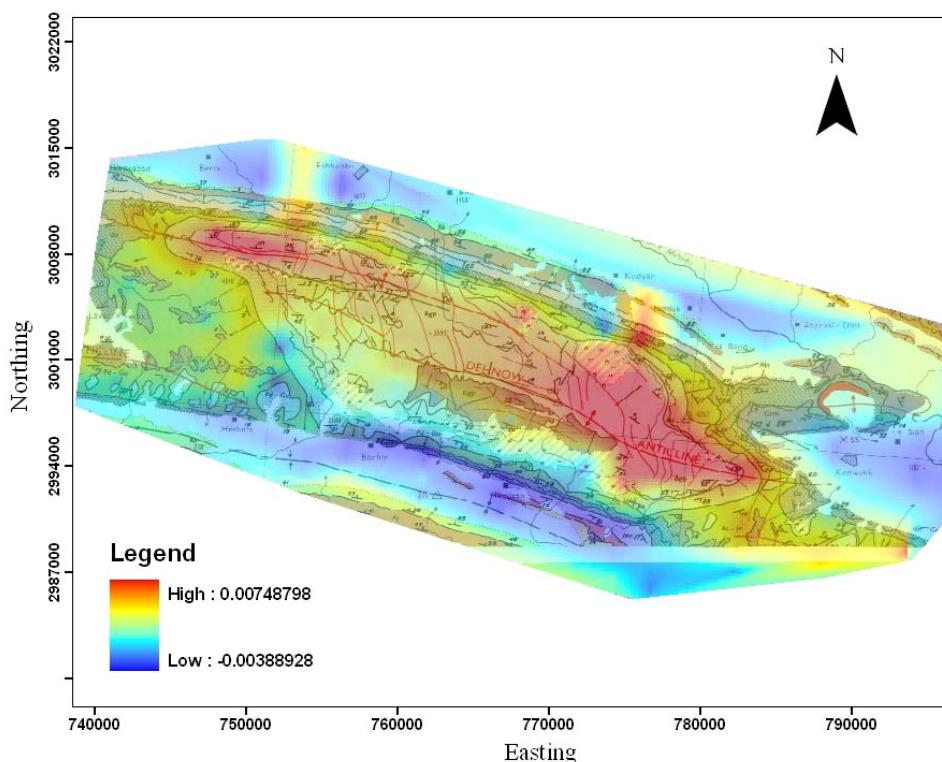
شکل ۴-۹ تلفیق نقشه مشتق افقی در جهت y آنومالی مغناطیسی و نقشه زمین شناسی منطقه.

۴-۶- مشتق قائم آنومالی میدان پتانسیل دهنو

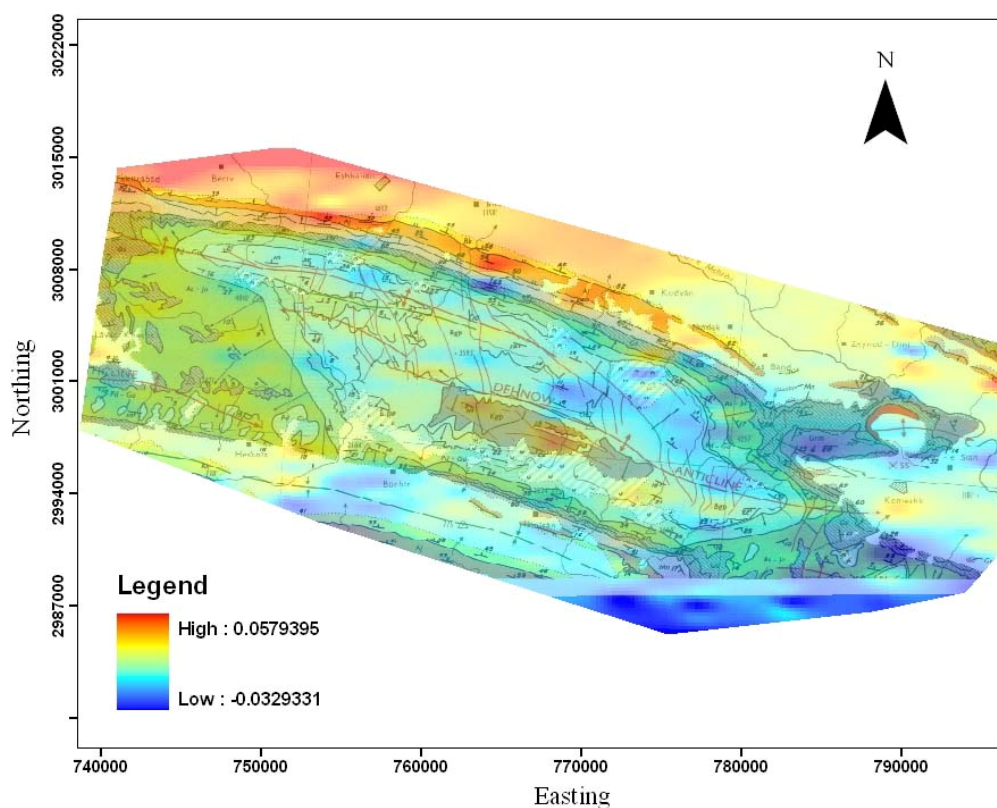
طریقه محاسبه مشتق قائم میدان پتانسیل در بازه عدد موج و توسط تبدیل فوریه در بخش های قبل شرح داده شد. در این بخش نیز مشتق قائم آنومالی های میدان گرانی و مغناطیسی توسط سابروتین (الف-۱۴) پیوست محاسبه شده است. شکل ۴-۱۰ نقشه مشتق قائم آنومالی گرانی و شکل ۴-۱۱ نیز مشتق قائم آنومالی میدان کل مغناطیسی را نشان می دهد.

در شکل ۴-۱۰ دیده می شود که بیشترین مقادیر مشتق قائم بر روی تاقدیس دهنو قرار گرفته است، اما این مساله به صورت ناپیوسته می باشد به طوری که دو آنومالی مشتق قائم دیده می شود. در واقع این ناپیوستگی احتمال درست بودن فرضیه عمل کردن تکتونیک در مرکز تاقدیس را افزایش می دهد.

شکل ۴-۱۱ نیز تایید می کند که عمق رسوبات در بخش جنوبی تا جنوب شرقی زیاد است و در بخش شمال غربی عمق رسوبات کاهش می یابد.



شکل ۴-۱۰ تلفیق نقشه مشتق قائم آنومالی گرانی و نقشه زمین شناسی منطقه.



شکل ۴-۱۱ تلفیق نقشه مشتق قائم آنومالی مغناطیسی و نقشه زمین شناسی منطقه.

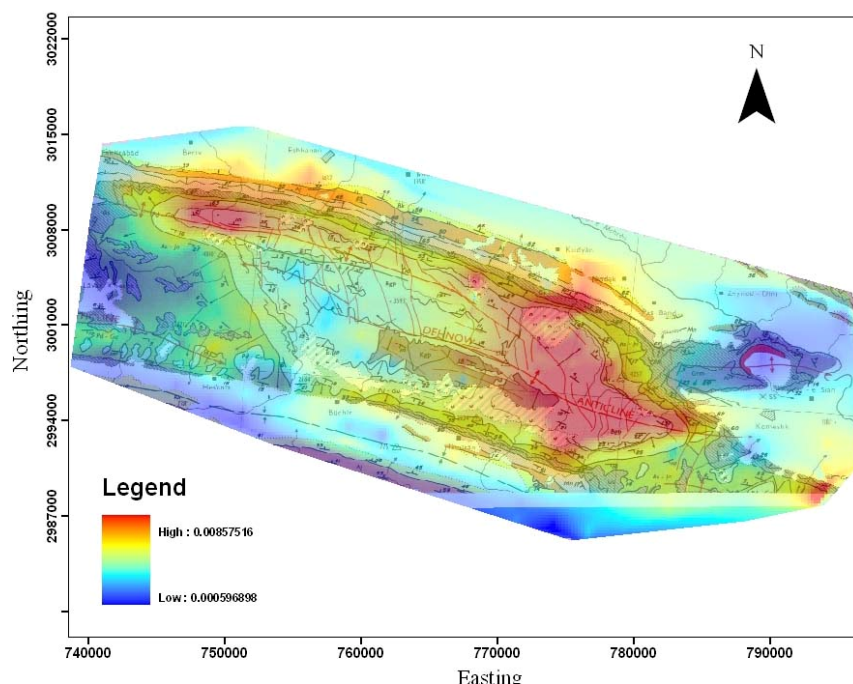
۴-۷- سیگنال تحلیلی آنومالی میدان پتانسیل دهنو

برای محاسبه اندازه سیگنال تحلیلی آنومالی میدان پتانسیل طبق رابطه (۲-۶۱) از فصل دوم (صفحه ۳۲) لازم است تا مشتقات افقی و قائم میدان پتانسیل محاسبه شوند که این کار در قسمت های قبل انجام شده است. بنابراین تنها لازم است تا مجذور مجموع مربعات مشتق های افقی و قائم آنومالی میدان پتانسیل را محاسبه نمود. نحوه انجام این کار نیز در بخشهای قبل شرح داده شده است. با اینکار نقشه سیگنال تحلیلی آنومالی های میدان پتانسیل دهنو به صورت ارائه شده در شکل ۴-۱۲ و شکل ۴-۱۳ حاصل می شود.

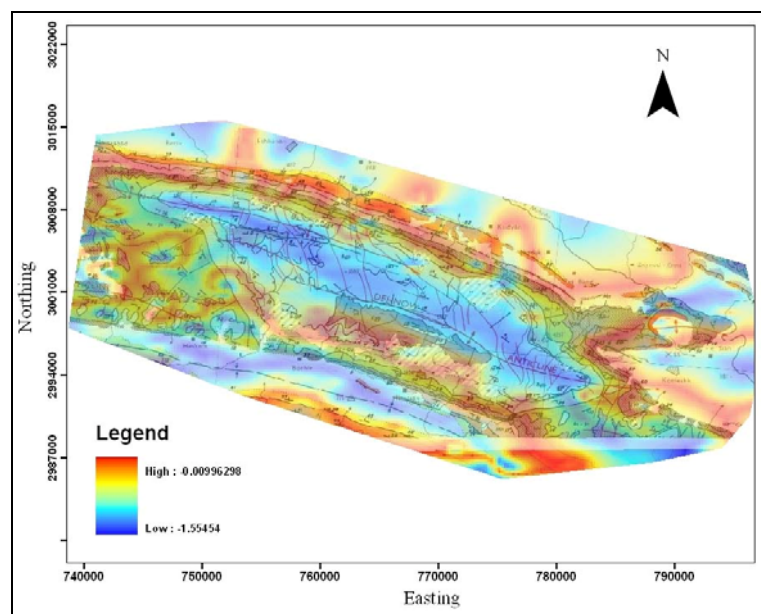
همانطور که در شکل ۴-۱۲ دیده می شود سیگنال تحلیلی آنومالی گرانی، دو آنومالی قرمز رنگ تقریباً مجزا از هم را نشان می دهد که یکی در بخش جنوب شرقی نقشه و دیگری در بخش شمال غربی نقشه قرار گرفته اند. بیشینه نقاط سیگنال تحلیلی با مرزهای تاقدیس دهنو در نقشه زمین شناسی در این دو بخش تطابق بسیار خوبی دارد و حتی تا حدودی ارتباط این دو بخش را بیان می کند اما نتوانسته نحوه عملکرد تکتونیک را در بخش میانی تاقدیس را به خوبی نشان دهد. به منظور

بارزتر کردن مرزهای آنومال از فیلتر تتا استفاده شده است. شکل ۴-۱۳ نقشه تتا آنومالی گرانی را نشان می دهد.

با توجه به نقشه تتا آنومالی گرانی می توان دید که مرزهای تاقدیس تقریبا توسط این روش تعیین شده اند. در این نقشه تاقدیس به صورت پیوسته مشخص شده است و در بخش های مرکزی آن اثری از بالا آمدگی توده های نمکی دیده نمی شود. اما در بخش های شمالی مرزهای تعیین شده انحرافاتی دارد که می توان علت آن را به تغییرات شدید دانسیته در این بخش ها نسبت داد.



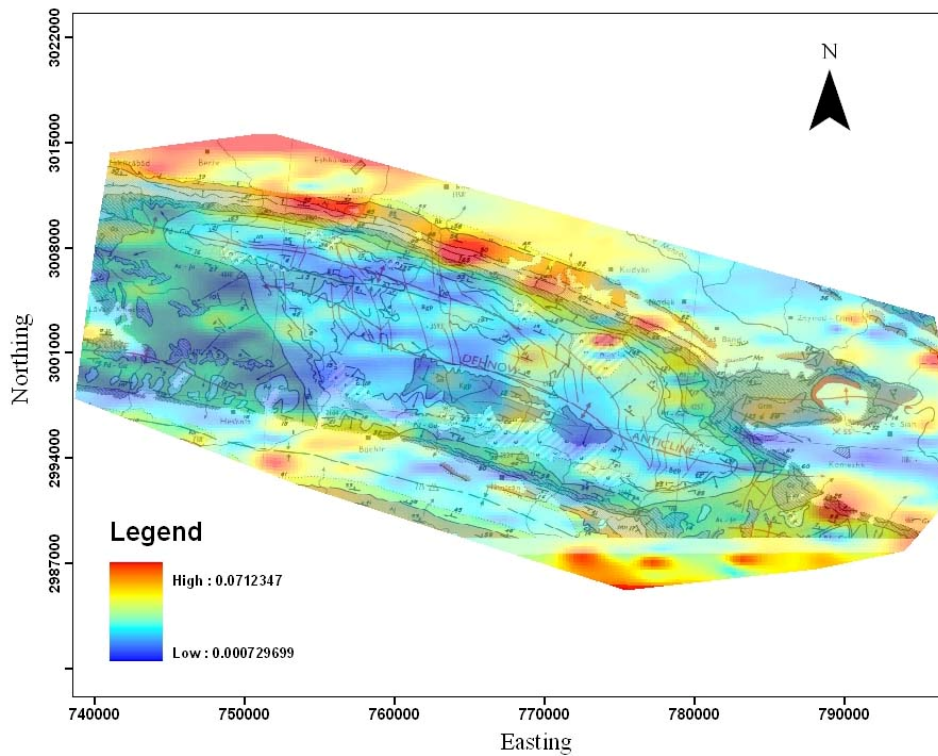
شکل ۴-۱۲ تلفیق نقشه سیگنال تحلیلی سه بعدی حاصل از آنومالی گرانی و نقشه زمین شناسی.



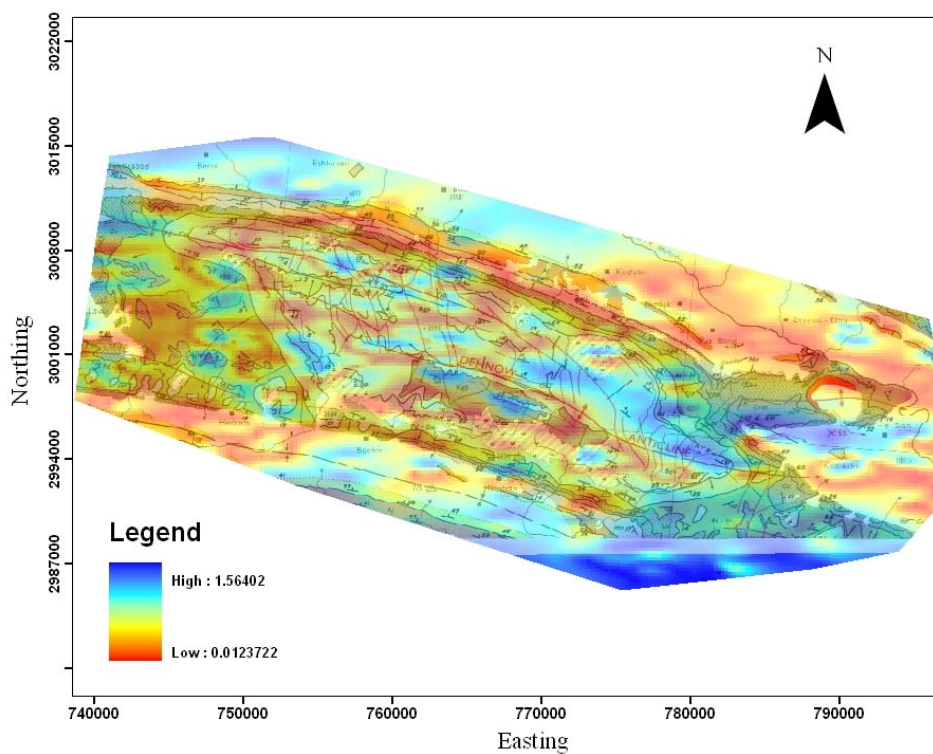
شکل ۴-۱۳ تلفیق نقشه تتا حاصل از آنومالی گرانی و نقشه زمین شناسی.

علاوه بر این می توان توسط الگوریتم بلکلی و سیمپسون نقشه مرزهای آنومال را به دست آورد. در این نقشه نقاط مشکلی رنگ بیشینه نقاط نقشه تتا را نشان می دهد که توسط الگوریتم بلکلی به دست آمده است. البته با وجود نقشه تتا که مرزهای آنومال را به صورت بارز نشان می دهد تعیین نقاط بیشینه امری غیر ضروری است اما برای مقایسه کارایی این دو روش، این نقاط نیز نمایش داده شده اند که نقشه حاصل در پیوست (ب) ارائه شده است [(شکل ب-۱۸) و (شکل ب-۱۹)].

در مورد داده های مغناطیسی نیز برای تعیین دقیق تر مرزهای آنومال از فیلتر تتا استفاده شده است. نقشه حاصل در شکل ۴-۱۵ نشان داده شده است. در این نقشه روندهای خطی در بخش شمال غربی تاقدیس باعث شده است تا تفسیر در این بخش مشکل گردد. اما در بخشهای دیگر تقریباً هماهنگی خوبی بین مرزهای تاقدیس دهنو که در نقشه زمین شناسی نشان داده شده اند و مرزهای آنومال نقشه تتا دیده می شود. در این نقشه، مرز شمالی تاقدیس به صورت بارز با نقشه زمین شناسی هماهنگ است و انحرافات مذکور نیز در آن دیده نمی شود. اما در داخل تاقدیس روندهای بسته ای دیده می شود که اکثر آنها رخنمون های سازند خامی را نشان می دهد. به طور کلی همانطور که در این نقشه دیده می شود در بخش غربی تاقدیس توده های با مغناطیس شونده گی بالا فراوانتر از بخش شرقی است که می تواند ناشی از عمق کمتر سنگ بستر در این بخش نسبت به بخش شرقی آن باشد. علاوه بر آن در انتهای بخش شرقی تاقدیس یک نفوذ توده نمک گزارش شده است که توسط این نقشه کاملاً مشخص شده است.



شکل ۴-۱۴ تلفیق نقشه سیگنال تحلیلی آنومالی میدان کل مغناطیسی و نقشه زمین شناسی منطقه.



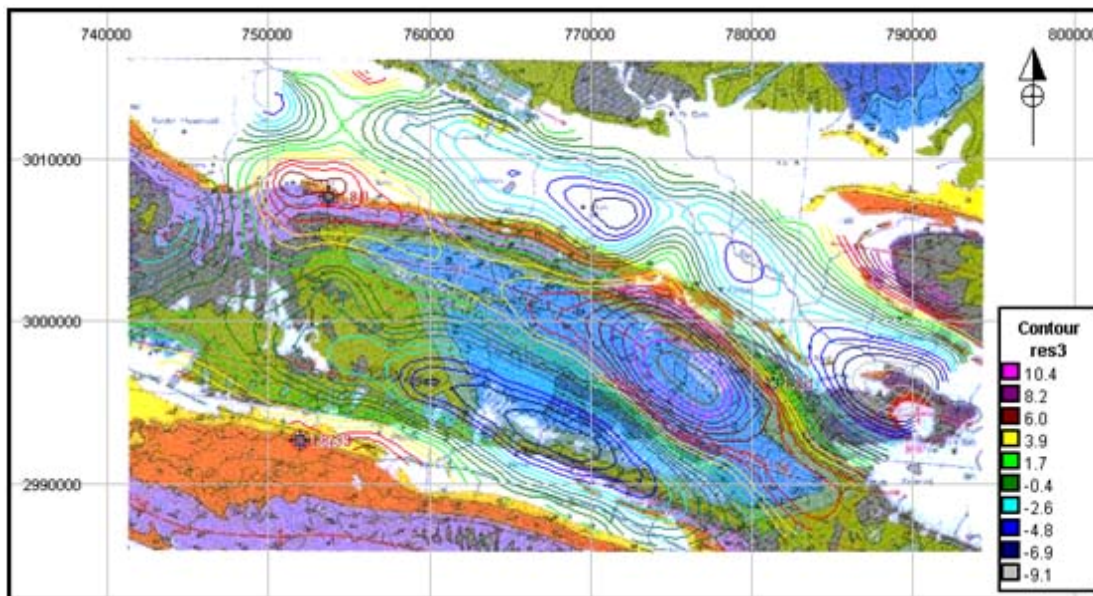
شکل ۴-۱۵ تلفیق نقشه تتا آنومالی میدان کل مغناطیسی و نقشه زمین شناسی.

لازم به ذکر است که نقشه های حاصل از اعمال فیلترهای مختلف بر روی داده های گرانی منطقه دهنو توسط نرم افزار Profile Analyst نیز تهیه شده است که در پیوست (ب) نشان داده شده اند. با مقایسه این نقشه ها و نقشه های حاصل از سابروتین ها می توان به درستی نتایج سابروتین ها پی برد.

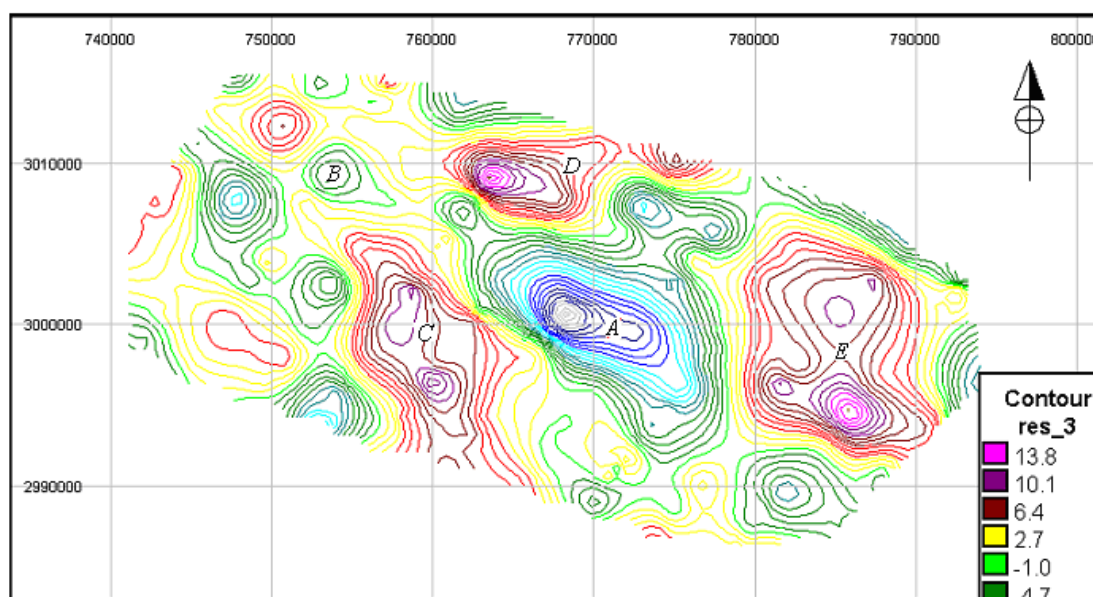
شکل ۴-۱۶ نقشه آنومالی های باقیمانده منطقه دهنو که با استفاده از روش روند سطحی مرتبه سوم به دست آمده است [۳۰] را به همراه نقشه زمین شناسی منطقه نشان می دهد. با مقایسه این شکل با نقشه تتا آنومالی گرانی، می توان دید که هر دو روش دارای کارایی بسیار بالایی هستند. علاوه بر این گسستگی در مرکز تاقدیس که با استفاده از سیگنال تحلیلی تعیین گردید در نقشه آنومالی باقیمانده نیز دیده می شود.

علاوه بر این در شکل ۴-۱۷ نقشه آنومالی های باقیمانده مغناطیسی منطقه دهنو نشان داده شده است. همانطور که در این نقشه دیده می شود یک توده با مغناطیس شونده پایین در مرکز شکل قرار گرفته (توده A) و در اطراف آن نیز تعدادی توده های نفوذی با مغناطیس شونده بالا دیده می شود. این مطلب در نقشه سیگنال تحلیلی و تتا آنومالی مغناطیسی نیز دیده می شود.

در این فصل فیلترهای مختلف بر روی داده های میدان پتانسیل منطقه دهنو اعمال شد تا قابلیت این فیلترها در تعیین مرز توده ها مشخص شود. این فیلترها شامل مشتقات افقی، قائم، سیگنال تحلیلی و تتا می باشند. از بین تمامی این فیلترها، فیلتر سیگنال تحلیلی پاسخ مناسبی را ارائه داد به طوری که اندازه سیگنال تحلیلی درست در روی تاقدیس دهنو دارای بیشترین مقدار است. اما یک اشکال عمده در این روش وجود دارد. عدم وجود اختلاف قابل توجه بین داده های روی توده آنومال و خارج توده باعث می شود تا مرز توده دقیقاً قابل شناسایی نباشد. این مساله با استفاده از فیلتر تتا که از نرمال کردن گرادیان افقی توسط سیگنال تحلیلی به دست می آید، قابل حل بوده و نقشه های حاصل مرز توده ها را با دقت خوبی نشان می دهد.



شکل ۴-۱۶ نقشه تلفیقی آنومالی باقیمانده گرانی و زمین شناسی [۲۹].



شکل ۴-۱۷ نقشه آنومالی باقیمانده مغناطیسی منطقه دهنو [۲۹].

فصل پنجم

نتیجه گیری و پیشنهادات



۵-۱- جمع بندی

در این تحقیق روش سیگنال تحلیلی و کلیه فیلترهایی که بر اساس این روش توسعه یافته اند مورد بررسی قرار گرفتند و کارایی آنها در تعیین مرز توده های آنومال با روش های دیگری مانند گرادیان افقی مقایسه گردید. جهت بررسی فیلترهای مذکور ابتدا این فیلترها بر روی داده های مصنوعی اعمال گردیدند. بدین ترتیب که ابتدا با در نظر گرفتن چند توده مکعب مستطیلی شکل، پاسخ گرانی و مغناطیسی آنها محاسبه شده و سپس فیلترهای مورد نظر بر روی این داده ها اعمال شده است. پس از اطمینان از موثر بودن فیلتر سیگنال تحلیلی در تعیین مرز توده های آنومال، این فیلتر بر روی داده های واقعی میدان گرانی و مغناطیسی منطقه دهنو اعمال شد تا عملکرد این فیلتر در مورد داده های واقعی نیز مورد ارزیابی قرار گیرد.

لازم به ذکر است که تمامی مراحل مذکور، از محاسبه پاسخ مدل های مصنوعی تا اعمال فیلترهای مختلف بر روی داده ها، از طریق برنامه نویسی در نرم افزار Matlab به دست آمده اند. بدین ترتیب که برای هر فیلتر مورد نظر یک سابروتین نوشته شده است^۱ و تنها از طریق فراخوانی این سابروتین در نرم افزار Matlab می توان نتایج مورد نظر را به دست آورد. علاوه بر این برای به نقشه درآوردن نتایج از نرم افزار های Surfer و ArcGIS استفاده گردیده است.

۵-۲- نتایج به دست آمده

استفاده از فیلتر سیگنال تحلیلی برای تشخیص مرزهای توده های آنومال میدان پتانسیل روش کارا و موثری است. البته استفاده از این فیلتر به همراه فیلتر فاز تتا باعث افزایش کارایی این فیلتر در تعیین مرزها می شود. استفاده از فیلتر فاز تتا که بر اساس اندازه سیگنال تحلیلی آنومالی میدان پتانسیل بنا شده است نه تنها مرزهای توده های آنومال را بهتر مشخص می کند بلکه باعث می شود تا استفاده از روش بلکلی نیز جواب بهتر و پیوسته تری را ارائه نماید.

همانطور که در مطالعه حاضر دیده شد زمانی که توده های آنومال به یکدیگر نزدیک باشند و آنومالی های آنها با هم تداخل داشته باشند، استفاده از سیگنال تحلیلی نیز چندان موثر نبوده و توسط این فیلتر نمی توان توده ها را از هم تفکیک کرد. این مطلب در فصل ۳ نشان داده شده است که به علت نزدیک بودن توده های A و E به توده های B، C و D تداخل آنومالی های مربوطه اتفاق افتاده و فیلتر سیگنال تحلیلی نیز نتوانست دقیقاً مرز این توده ها را مشخص کند. همچنین در مورد توده

^۱ تمامی سابروتین ها به همراه توضیحات در پیوست (الف) ارائه شده اند.

های B، C و D که مرزهای آنها زوایای قائمه با هم تشکیل می‌دادند مرز تعیین شده تا حدودی خطا داشت. در واقع این روش قادر نبود تا مرزهای قائم و با زاویه زیاد را نشان دهد. البته وجود چنین شرایطی در زمین بندرت اتفاق می‌افتد و اکثر توده‌ها دارای هاله‌هایی هستند. کاربرد روش سیگنال تحلیلی در مورد داده‌های منطقه دهنو نیز نتایج خوب و موثری را ارائه نمود. نتایج نشان داد که در قسمت میانی تاقدیس دهنو یک ناپیوستگی وجود دارد. گرچه این روش نتوانست به دقت نحوه عملکرد تکتونیک و علت ناپیوستگی را تعیین کند اما با این حال کمک زیادی به تفسیر این داده‌ها نمود به طوری که مرز تاقدیس دهنو، روند و سایر مشخصات آن را به درستی نشان داد. علاوه بر این فیلتر تتا توانست تا به نحو مطلوبی مرز توده‌های آنومال را بارز کند به طوری که در بخش‌هایی که توده‌های نمکی بر روی زمین رخنمون داشتند فیلتر تتا توانست به درستی مرز آنها را تعیین کند.

از جمله معایبی نیز که در روش سیگنال تحلیلی دیده می‌شود حساسیت به وجود نویز در داده‌ها می‌باشد. همانطور که در تحقیق حاضر دیده شد با وجود اینکه هیچ نویزی در مدل‌ها وجود نداشت، در نقشه سیگنال تحلیلی حاصل، نویزهایی به وجود آمده است. به عبارت دیگر وجود نویز در داده‌ها یا وجود توده‌های سطحی باعث پایین آوردن کارایی این روش می‌گردد. بخصوص در مورد سیگنال تحلیلی مرتبه‌های بالاتر دیده شد که وجود یک توده سطحی تر (A) باعث محو شدن سایر توده‌ها می‌شود. بنابراین باید کاملاً دقت داشت که در داده‌های برداشت شده هیچگونه نویزی وجود نداشته باشد و یا در صورت وجود نویز، توسط روشهای پردازش متداول، این نویزها از داده‌ها حذف و یا تعدیل گردند.

۵-۳- پیشنهادات

با توجه به اینکه تعریف سیگنال تحلیلی در بازه عدد موج صورت گرفته است بنابراین برای محاسبه این فیلتر ناگزیر به استفاده از تبدیل فوریه بر روی داده‌ها می‌باشیم که این مساله محاسبه این فیلتر را تا حدودی پیچیده تر می‌کند. بنابراین مفسر برای استفاده از این فیلتر ملزم به استفاده از کامپیوتر و برنامه‌های کامپیوتری طراحی شده در این زمینه مانند Profile Analyst می‌باشد. با توجه به راه حل‌های ارائه شده برای محاسبه سیگنال تحلیلی و فیلتر تتا، توصیه می‌شود که از این فیلترها در تفسیر داده‌های آنومالی میدان پتانسیل استفاده شود، تا محدوده توده‌های آنومال تا حدودی مشخص گردد و از این طریق کمک شایانی به تفسیر و مدلسازی این داده‌ها شود.

فهرست منابع

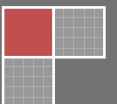
- [۱] Nabighian, M., 1972. The analytic signal of a tow dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: its properties and use for automated anomaly interpretation. *Geophysics*, **39(3)**, 507-517.
- [۲] Nabighian, M., 1984. Toward a tree dimensional automatic interpretation of potential field data via generalized hilbert transforms: Fundamental and relations. *Geophysics*, **49(6)**, 780-786.
- [۳] Pilkington, M., Roest, W.R. and Verhoef, J., 1992. Magnetic interpretation using the 3D analytic signal. *Geophysics*, **57(1)**, 116-125.
- [۴] Linping, H., Zhining, G. and Changli, Y., 1997. An analytic signal approach to the interpretation of total field magnetic anomalies By Shuang Qin. *Geophysical prospecting*, **45**, 879-881.
- [۵] Salem, A., Ravat, D., Gamey, T.J. and Ushijima, K., 2002. Analytic signal approach and its applicability in enviromental magnetic investigation. *Applied Geophysics*, **49**, 231-244.
- [۶] Bilim, F. and Ates, A., 2003. Analytic signal inferred from redused to pole data. *Balcan geophysical society*, **6(2)**, 66-74.
- [۷] Salem, A., 2005. Interpretation of magnetic data using analytic signal derivatives. *Geophysical prospecting*, **53**, 75-82.
- [۸] Li, X., 2006. Understanding 3D Analytic signal method. *Geophysics*, **71(2)**, 13-16.
- [۹] <http://www.mathwork.com>. [Online] © 1994-2005 The MathWorks, Inc.
- [۱۰] Encom Technology Pty Ltd, 2003. Reference Manual of Profile Analyst Microsoft
- [۱۱] Telford, W.M., Geldart, L.P. and Sheriff, R.E., 1990. Applied Geophysics. Cambridge University Press.
- [۱۲] Blackly, R.j., 1996. Potential theory in gravity and magnetic application. Cambridge Univerity Press.
- [۱۳] حاجب حسینیہ ح، ۱۳۷۳. ژئوفیزیک کاربردی برای زمین شناسان و مهندسان. انتشارات دانشگاه تهران.
- [۱۴] یوسفی، س، ۱۳۸۱. مطالعات مغناطیس سنجی بر روی نهشته های احتمالی منگنز در منطقه داراب فارس. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی اکتشاف معدن دانشگاه تهران.
- [۱۵] Plouff, D., 1976. Gravity and magnetic fields of polygonal prisms and application to magnetic terrain corrections. *Geophysics*, **41(4)**, 727-741.

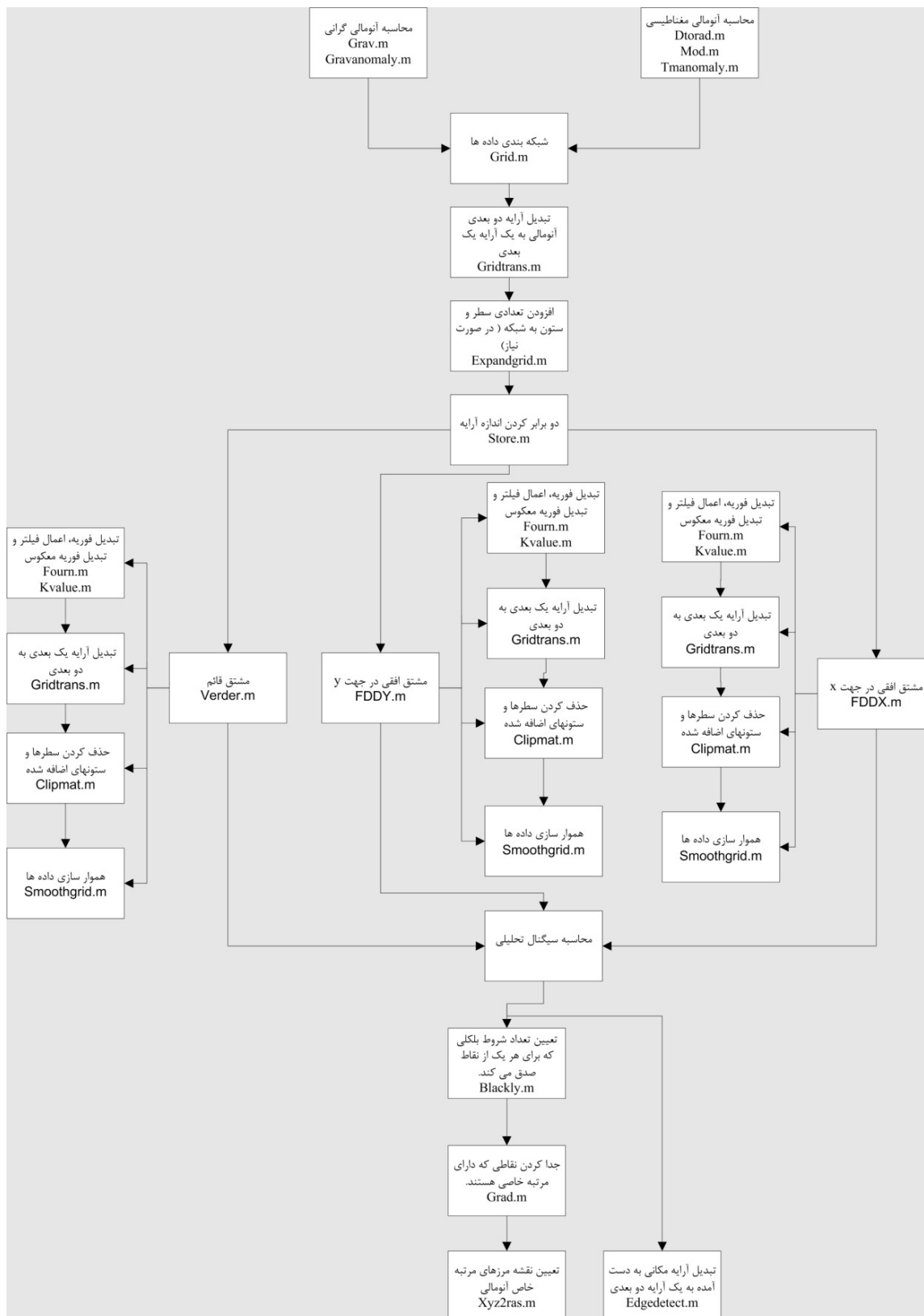
- [۱۶] دولتی ارده جانی، ف. ۱۳۷۲. برداشت اطلاعات خام و تعبیر و تفسیر گرانی سنجی منطقه اکتشافی مرودشت شیراز. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، ۲۲۱ص.
- [۱۷] قمی، ش، ۱۳۸۲. تفسیر داده های گرانی کرج با استفاده از تبدیل فوریه. پایان نامه کارشناسی ارشد. موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران.
- [۱۸] Evjen, H.M., 1936. The place of the vertical gradient in gravitational interpretation. *Geophysics*, **1**, 127-136.
- [۱۹] Henderson, R.G. and Zietz, I., 1949. The computation of second vertical derivatives of geo magnetic fields. *Geophysics*, **14**, 508-516.
- [۲۰] Grouch, V.J.S. and Cordell, L., 1987. Limitation of determining density and magnetic boundaries from the horizontal gradient of gravity or pseudogravity data. *Geophysics*, **52(1)**, 118-121.
- [۲۱] Simpson, R.W. and Blackly, R.J., 1986. Approximating edge of source bodies from magnetic or gravity anomalies. *Geophysics*, **51(7)**, 1494-1498.
- [۲۲] Nabighian, M., 1974. Additinal comments on the analytic signal of a tow dimensional magnetic bodies with polygonal cross section. *Geophysics*, **39(1)**, 85-92.
- [۲۳] Debeglia, N. and Coppel, J., 1997. Automatic 3D interpretation of potential field data using analytic signal derivatives. *Geophysics*, **62(1)**, 87-96.
- [۲۴] <http://www.Goldensoftware.com>.
- [۲۵] Cooper, G.R.J. and Cowan, D.R., 2006. Enhancing potential field data using filters based on the local phase. *Computer & Geosciences*, **32**, 1585-1591.
- [۲۶] طباطبایی رئیسی، س ه. (۱۳۸۳). گزارش تعبیر و تفسیر گرانی و مغناطیس سنجی و مگنتو تلوریک طاقدیس دهنو، گروه غیر لرزه ای، شماره گزارش ژئوفیزیکی ۲۰۳۸، ۳۳ص.
- [۲۷] بابایی و اسمائیلی، ۱۳۸۲. گزارش نهایی عملیات گرانی و مغناطیس سنجی ناحیه دهنو و مدار. مدیریت اکتشاف شرکت شرکت ملی نفت ایران.
- [۲۸] نقشه زمین شناسی برگه گاوبندی تهیه شده توسط مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران.
- [۲۹] خسرو تهرانی، خ، ۱۳۸۶. چینه شناسی ایران. انتشارات دانشگاه تهران.
- [۳۰] دولتی ارده جانی، ف، ۱۳۸۳. تفسیر داده های گرانی و مغناطیسی تاکدیس دهنو. شرکت ملی نفت ایران.

پیوست (الف)

سابروتین ها

در این بخش سابروتین هایی که جهت اعمال فیلترهای مختلف بر روی داده ها نوشته شده اند ارائه گردیده است. این سابروتین ها در نرم افزار Matlab نوشته شده اند و در تمامی نسخه های این نرم افزار قابل اجرا می باشند. متغیر های ورودی در هر سابروتین و خروجی های آن در بالای همان سابروتین توضیح داده شده اند. همچنین نحوه استفاده از این سابروتین ها یا به عبارت دیگر ارتباط بین آنها در فلوجارتی نشان داده شده است





شکل (الف-۱) نمای شماتیک نحوه محاسبه سیگنال تحلیلی سه بعدی میدان پتانسیل با استفاده از سابروتین ها.

سابروتین (الف-۱) درجه بندی آرایه های یک ماتریس براساس اینکه چه تعدادی از شروط بلکلی و سیمپسون برای هر یک از نقاط صادق است.

ورودی این سابروتین یک آرایه دو بعدی است و خروجی آن یک آرایه که دارای ۳ ستون و به تعداد نقاط ماتریس ورودی دارای سطر می باشد، است.

```
function [data]=blakly(g)
    [nx,ny]=size(g);
    xmax(1:4)=0;
    ymax(1:4)=0;
    gmax(1:4)=0;
    n=0;
    d=1;
    s=1;
    for i=2:(nx-1)
        for j=2:(ny-1)
            if g(i,j)>g(i-1,j) & g(i,j)>g(i+1,j)
                n=n+1;
                d=1;
                a=0.5*(g(i-1,j)-2*g(i,j)+g(i+1,j));
                b=0.5*(g(i+1,j)-g(i-1,j));
                xmax(1)=-b*d/(2*a);
                ymax(1)=0;
                gmax(1)=a*xmax(1)^2+b*xmax(1)+g(i,j);
            end
            if g(i,j-1)<g(i,j) & g(i,j)>g(i,j+1)
                n=n+1;
                d=1;
                a=0.5*(g(i,j-1)-2*g(i,j)+g(i,j+1));
                b=0.5*(g(i,j+1)-g(i,j-1));
                ymax(2)=-b*d/(2*a);
                gmax(2)=a*ymax(2)^2+b*ymax(2)+g(i,j);
                xmax(2)=0;
            end
            if g(i+1,j-1)<g(i,j) & g(i,j)>g(i-1,j+1)
                n=n+1;
                d=sqrt(2);
                a=0.5*(g(i+1,j-1)-2*g(i,j)+g(i-1,j+1));
                b=0.5*(g(i-1,j+1)-g(i+1,j-1));
                dmax=-b*d/(2*a);
                gmax(3)=a*dmax^2+b*dmax+g(i,j);
                xmax(3)=dmax*0.71;
                ymax(3)=dmax*0.71;
            end
        end
    end
```



```

if g(i-1,j-1)<g(i,j) & g(i,j)>g(i+1,j+1)
    n=n+1;
    d=sqrt(2);
    a=0.5*(g(i-1,j-1)-2*g(i,j)+g(i+1,j+1));
    b=0.5*(g(i+1,j+1)-g(i-1,j-1));
    dmax=-b*d/(2*a);
    gmax(4)=a*dmax^2+b*dmax+g(i,j);
    xmax(4)=dmax*0.71;
    ymax(4)=dmax*0.71;
end
if n>0
    xm=max(xmax);
    ym=max(ymax);
    gm=max(gmax);
    xm=i+xm;
    ym=j+ym;
    data(s,1)=xm;
    data(s,2)=ym;
    data(s,3)=n;
    n=0;
    s=s+1;
    d=1;
    xmax(1:4)=0;
    ymax(1:4)=0;
    gmax(1:4)=0;
end
end
end
return;

```

سابروتین (الف-۲) استخراج یک ماتریس با ابعاد nx2 و ny2 از ماتریس اصلی.

ورودیهای این سابروتین یک آرایه دوبعدی (grid) و تعداد آرایه های ماتریس مورد نظر در جهت شرقی - غربی (nx2) و شمالی - جنوبی (ny2) می باشند. خروجی نیز یک آرایه دوبعدی است که از سمت جنوب غربی ماتریس اصلی جدا شده است.

```

function [cmat]=clipmat(grid,nx2,ny2)
[nx,ny]=size(grid);
for j=1:ny2
    for i=1:nx2
        cmat(nx2-i+1,j)=grid(nx-i+1,j);
    end
end
return;

```

سابروتین (الف-۳) تعیین نقاط بیشینه بروش بلکلی و سیمپسون.

این سابروتین مقادیر بیشینه از یک مرتبه خاص (n) را که در آرایه `grid` وجود دارد پیدا کرده و با در نظر گرفتن کمترین مقدار مختصات داده ها در جهت های x و y ($xmin$ و $ymin$) و فواصل بین داده ها در جهت x و y (dx و dy) آنها را به صورت داده های مکانی در یک آرایه دیگر نظیر می کند.

```
function [edg]=edgedetect(grid,n,xmin,ymin,dx,dy);
    bl=blackly(grid);
    gr=grad(bl,n);
    ed=xyz2ras(gr,101,101);
    [nx,ny]=size(ed);
    t=1;
    for j=1:nx
        for i=1:ny
            if ed(i,j)==n
                edg(t,1)=xmin+(j-1)*dx;
                edg(t,2)=ymin+(ny-i)*dy;
                edg(t,3)=ed(i,j);
                t=t+1;
            end
        end
    end
    return;
```

سابروتین (الف-۴) توسعه تعداد آرایه های یک ماتریس.

ورودیهای این سابروتین شامل یک آرایه دو بعدی (`grid`) با ابعاد `ncol` در جهت شرقی - غربی و `nrow` در جهت شمالی - جنوبی است. همچنین ابعاد ماتریس خروجی نیز `ncol2` در جهت شرقی - غربی و `nrow2` در جهت شمالی - جنوبی می باشد.

```
function [d]=expandgrid(grid,ncol,nrow,ncol2,nrow2)
    grid2=0;
    for j=1:nrow
        for i=1:ncol
            ij=(j-1)*ncol+i;
            ij2=(j-1)*ncol2+i;
            grid2(ij2)=grid(ij);
        end
    end
    if ncol2>ncol
        for j=1:nrow
            i1=(j-1)*ncol2+1;
            i2=(j-1)*ncol2+ncol;
            i3=(j-1)*ncol2+ncol2;
            step=(grid2(i1)-grid2(i2))/(ncol2-ncol+1);
```

```

        for i=ncol+1:ncol2
            ij=(j-1)*ncol2+i;
            grid2(ij)=grid2(i2)+step*(i-ncol);
        end
    end
end
if nrow2>nrow
    for i=1:ncol2
        j1=(1-1)*ncol2+i;
        j2=(nrow-1)*ncol2+i;
        j3=(nrow2-1)*ncol2+i;
        step=(grid2(j1)-grid2(j2))/(nrow2-nrow+1);
        for j=nrow+1:nrow2
            ij=(j-1)*ncol2+i;
            grid2(ij)=grid2(j2)+step*(j-nrow);
        end
    end
end
end
d=grid2;
return;

```

سابروتین (الف-۵) محاسبه مشتق افقی در جهت x.

ورودی ها شامل یک آرایه دو بعدی از داده های میدان پتانسیل که دارای n_x آرایه در جهت X و n_y آرایه در جهت Y است. فاصله آرایه ها از هم برابر dx در جهت X و dy در جهت Y می باشد. پارامتر $norder$ نیز مرتبه مشتق گیری را بیان می کند. خروجی این سابروتین یک ماتریس دو بعدی با همان ابعاد ماتریس ورودی می باشد.

```

function [fvd]=FDDX(grid,nx,ny,dx,dy,norder)
    ax=nx;
    ay=ny;
    d=gridtrans(grid,1);
    d=expandgrid(d,nx,ny,128,128);

    nx=128;
    ny=128;
    nn(1)=nx;
    nn(2)=ny;
    ndim=2;
    dkx=2*pi/(nx*dx);
    dky=2*pi/(ny*dy);
    str=store(d);
    str=fourn(str,nn,ndim,-1);
    for j=1:nx
        for i=1:ny
            ij=(j-1)*ny+i;
            [kx,ky]=kvalue(i,j,nx,ny,dkx,dky);
            cgrid=str(2*ij-1)+sqrt(-1)*str(2*ij);
            cgrid=cgrid*(sqrt(-1)*kx)^norder;
        end
    end
end

```

```

        str(2*ij-1)=real(cgrid);
        str(2*ij)=imag(cgrid);
    end
end
str=fourn(str,nn,ndim,1);
b=0;
for j=1:nx
    for i=1:ny
        ij=(j-1)*ny+i;
        b(ij)=str(2*ij-1)/(nx*ny);
    end
end
fvd=gridtrans(b,-1);
fvd=clipmat(fvd,ax,ay);
fvd=smootgrid(fvd);
return;

```

سابروتین (الف-۶) محاسبه مشتق افقی در جهت y .

ورودی‌ها شامل یک آرایه دو بعدی از داده‌های میدان پتانسیل که دارای nx آرایه در جهت x و ny آرایه در جهت y است. فاصله آرایه‌ها از هم برابر dx در جهت x و dy در جهت y می‌باشد. پارامتر $norder$ نیز مرتبه مشتق‌گیری را بیان می‌کند. خروجی این سابروتین یک ماتریس دو بعدی با همان ابعاد ماتریس ورودی می‌باشد.

```

function [fvd]=FDDY(grid,nx,ny,dx,dy,norder)
    ax=nx;
    ay=ny;
    d=gridtrans(grid,1);
    d=expandgrid(d,nx,ny,128,128);

    nx=128;
    ny=128;
    nn(1)=ny;
    nn(2)=nx;
    ndim=2;
    dkx=2*pi/(nx*dx);
    dky=2*pi/(ny*dy);
    str=store(d);
    str=fourn(str,nn,ndim,-1);
    for j=1:nx
        for i=1:ny
            ij=(j-1)*ny+i;
            [kx,ky]=kvalue(i,j,nx,ny,dkx,dky);
            cgrid=str(2*ij-1)+sqrt(-1)*str(2*ij);
            cgrid=cgrid*(sqrt(-1)*ky)^norder;
            str(2*ij-1)=real(cgrid);
            str(2*ij)=imag(cgrid);
        end
    end
end

```

```

        end
    end
    str=fourn(str,nn,ndim,1);
    b=0;
    for j=1:nx
        for i=1:ny
            ij=(j-1)*ny+i;
            b(ij)=str(2*ij-1)/(nx*ny);
        end
    end
    fvd=gridtrans(b,-1);
    fvd=clipmat(fvd,ax,ay);
    fvd=smootgrid(fvd);
return;

```

سابروتین (الف-۷) محاسبه تبدیل فوریه n بعدی و همچنین تبدیل فوریه معکوس آن.

در صورتیکه پارامتر `isign` برابر ۱ قرار داده شود این سابروتین تبدیل فوریه n بعدی (`ndim`) آرایه `data` را محاسبه کرده و در صورتیکه این پارامتر برابر -۱ وارد شود تبدیل فوریه معکوس این آرایه را محاسبه می کند. آرایه `data` یک آرایه یک بعدی است که تعداد آرایه های آن دوبرابر حاصلضرب تعداد داده ها در هر بعد می باشد. پارامتر `nn` نیز شامل یک آرایه یک بعدی است که تعداد داده ها در هر بعد را شامل می شود.

```

function [d]=fourn(data,nn,ndim,isign)
    ntot=1;
    for iidim=1:ndim
        ntot=ntot*nn(iidim);
    end
    nprev=1;
    for iidim=1:ndim
        n=nn(iidim);
        nrem=ntot/(n*nprev);
        ip1=2*nprev;
        ip2=ip1*n;
        ip3=ip2*nrem;
        i2rev=1;
        for i2=1:ip1:ip2
            if i2<i2rev
                for i1=i2:2:i2+ip1-2
                    for i3=i1:ip2:ip3
                        i3rev=i2rev+i3-i2;
                        tempr=data(i3);
                        tempi=data(i3+1);
                        data(i3)=data(i3rev);
                        data(i3+1)=data(i3rev+1);
                        data(i3rev)=tempr;
                        data(i3rev+1)=tempi;
                    end
                end
            end
        end
    end
end

```

```

        end
    end
    ibit=ip2/2;
    while ibit>=ip1&i2rev>ibit
        i2rev=i2rev-ibit;
        ibit=ibit/2;
    end
    i2rev=i2rev+ibit;
end
ifp1=ip1;
while ifp1<ip2
    ifp2=ifp1*2;
    theta=isign*2*pi/(ifp2/ip1);
    wpr=-2*(sin(0.5*theta))^2;
    wpi=sin(theta);
    wr=1;
    wi=0;
    for i3=1:ip1:ifp1
        for i1=i3:2:i3+ip1-2
            for i2=i1:ifp2:ip3
                k1=i2;
                k2=k1+ifp1;
                tempr=real(wr)*data(k2)-
real(wi)*data(k2+1);
                tempi=real(wr)*data(k2+1)+real(wi)*data(k2);
                data(k2)=data(k1)-tempr;
                data(k2+1)=data(k1+1)-tempi;
                data(k1)=data(k1)+tempr;
                data(k1+1)=data(k1+1)+tempi;
            end
        end
        wtemp=wr;
        wr=wr*wpr-wi*wpi+wr;
        wi=wi*wpr+wtemp*wpi+wi;
    end
    ifp1=ifp2;
end
nprev=n*nprev;
end
d=data;
return;

```

سابروتین (الف-۸) جداسازی نقاط با درجه خاص که از سابروتین بلکلی به دست آمده اند .

این سابروتین نقاطی که n شرط از شروط بلکلی در آنها صادق است و طبق سابروتین بلکلی طبقه بندی شده اند را از سایر نقاط جدا کرده و به صورت داده های مکانی در یک آرایه ذخیره می کند. پارامتر `data` نیز آرایه به دست آمده از سابروتین بلکلی می باشد.

```
function [edge]=grad(data,n)
    [nx,ny]=size(data);

    j=1;
    for i=1:nx
        if data(i,3)==n
            edge(j,1)=data(i,1);
            edge(j,2)=data(i,2);
            edge(j,3)=n;
            j=j+1;
        end
    end
    return;
```

سابروتین (الف-۹) تبدیل یک آرایه دو بعدی به یک آرایه یک بعدی و بالعکس.

در صورتیکه پارامتر `isign` برابر ۱ وارد شود آرایه دو بعدی `data` به یک آرایه یک بعدی تبدیل می شود و در صورتیکه این پارامتر برابر -۱ وارد شود آرایه یک بعدی `data` به یک آرایه دو بعدی تبدیل می گردد.

```
function [m]=gridtrans(data,isign)
    if isign==1
        [x,y]=size(data);
        t=1;
        for j=1:x
            for i=y:-1:1
                m(t)=data(i,j);
                t=t+1;
            end
        end
    else isign==-1
        x=128;
        y=128;
        t=1;
        [e,r]=size(data);
        while t<=r
            for j=1:x
                for i=y:-1:1
                    m(i,j)=data(t);
                    t=t+1;
                end
            end
        end
    end
end
```

```
return;
```

سابروتین (الف-۱۰) محاسبه مختصات عدد موج برای یک آرایه خاص.

پارامترهای ورودی این سابروتین شامل مختصات المان مورد نظر از آرایه دو بعدی در جهت X (i) و در جهت Y (j)، تعداد المانها در جهت X (nx) و Y (ny) و فاصله نمونه برداری در جهت X (dkx) و در جهت Y (dky) می باشد. پارامترهای خروجی نیز شامل مختصات عدد موج در جهت X (kx) و در جهت Y (ky) می باشد.

```
function [kx,ky]=kvalue(i,j,nx,ny,dkx,dky)
    nyqx=(nx/2)+1;
    nyqy=(ny/2)+1;
    if j<=nyqx
        kx=(j-1)*dkx;
    else
        kx=(j-nx-1)*dkx;
    end
    if i<=nyqy
        ky=(i-1)*dky;
    else
        ky=(i-ny-1)*dky;
    end
return;
```

سابروتین (الف-۱۱) تبدیل یک آرایه دو بعدی به داده های مکانی.

این سابروتین آرایه دو بعدی $grid$ را با در نظر گرفتن کمترین مقدار مختصات در جهت X ($xmin$) و در جهت Y ($ymin$) و همچنین فواصل بین نمونه ها در جهت X (dx) و در جهت Y (dy) به یک آرایه با سه ستون و به تعداد آرایه های ماتریس دو بعدی سطر تبدیل می کند.

```
function [data]=mat2data(grid,xmin,ymin,dx,dy)
    [nx,ny]=size(grid);
    t=1;
    for j=1:nx
        for i=1:ny
            data(t,1)=xmin+(j-1)*dx;
            data(t,2)=ymin+(ny-i)*dy;
            data(t,3)=grid(i,j);
            t=t+1;
        end
    end
return;
```

سابروتین (الف-۱۲) اعمال هموارسازی روی داده ها.

این سابروتین نوعی هموار سازی را بر روی آرایه دو بعدی $grid$ اعمال می کند.

```
function [data]=smootgrid(grid)
    [nx,ny]=size(grid);
```



```

for i=2:nx-1
    for j=2:ny-1
        data(i,j)=(4*grid(i,j)+grid(i-1,j-1)+2*grid(i-1,j)+grid(i-1,j+1)+2*grid(i,j+1)+2*grid(i,j-1)+grid(i+1,j-1)+2*grid(i+1,j)+grid(i+1,j+1))/16;
    end
end
for j=1:ny
    data(1,j)=data(2,j);
    data(ny,j)=data(ny-1,j);
    data(j,1)=data(j,2);
    data(j,nx)=data(j,nx-1);
end
return;

```

سابروتین (الف-۱۳) دو برابر کردن ابعاد آرایه.

این سابروتین ابعاد یک آرایه یک بعدی را طوری دو برابر می کند که به آرایه های با شاخص فرد همان مقدار قبلی و به آرایه های با شاخص زوج مقدار صفر تعلق گیرد.

```

function [st]=store(data)
[x,y]=size(data);
t=1;
for i=1:y
    st(t)=data(i);
    st(t+1)=0;
    t=t+2;
end
return;

```

سابروتین (الف-۱۴) محاسبه مشتق قائم آنومالی میدان پتانسیل.

ورودی ها شامل یک آرایه دو بعدی از داده های میدان پتانسیل که دارای n_x آرایه در جهت x و n_y آرایه در جهت y است. فاصله آرایه ها از هم برابر dx در جهت x و dy در جهت y می باشد. پارامتر $norder$ نیز مرتبه مشتق گیری را بیان می کند. خروجی این سابروتین یک ماتریس دو بعدی با همان ابعاد ماتریس ورودی می باشد.

```

function [fvd]=verder(grid,nx,ny,dx,dy,norder)
ax=nx;
ay=ny;
d=gridtrans(grid,1);
d=expandgrid(d,nx,ny,128,128);
nx=128;
ny=128;
nn(1)=nx;
nn(2)=ny;
ndim=2;
dkx=2*pi/(nx*dx);
dky=2*pi/(ny*dy);
str=store(d);
str=fourn(str,nn,ndim,-1);

```

```

for j=1:nx
    for i=1:ny
        ij=(j-1)*ny+i;
        [kx,ky]=kvalue(i,j,nx,ny,dkx,dky);
        k=sqrt(kx^2+ky^2);
        cgrid=str(2*ij-1)+sqrt(-1)*str(2*ij);
        cgrid=cgrid*k^norder;
        str(2*ij-1)=real(cgrid);
        str(2*ij)=imag(cgrid);
    end
end
str=fourn(str,nn,ndim,1);
b=0;
for j=1:nx
    for i=1:ny
        ij=(j-1)*ny+i;
        b(ij)=str(2*ij-1)/(nx*ny);
    end
end
fvd=gridtrans(b,-1);
fvd=clipmat(fvd,ax,ay);
fvd=smootgrid(fvd);
return;

```

سابروتین (الف-۱۵) تبدیل داده های مکانی به یک ماتریس.

این سابروتین آرایه `data` را که یک آرایه مکانی است بر روی یک آرایه با `nx` سطر و `ny` ستون نظیر می کند.

```

function [raster]=xyz2ras(data,nx,ny)
n=size(data);
raster=zeros(nx,ny);
for i=1:n
    raster(round(data(i,1)),round(data(i,2)))=data(i,3);
end
return;

```

سابروتین (الف-۱۶) محاسبه شدت میدان گرانی یک توده مکعب مستطیلی شکل.

این سابروتین آنومالی گرانی ناشی از یک المان مکعب مستطیلی را محاسبه می کند. ورودی های این سابروتین شامل مختصات های دو گوشه از المان $(x_2, y_2, z_2, x_1, y_1, z_1)$ و مختصات نقطه برداشت (x_0, y_0, z_0) و مقدار دانسیته این المان (ρ) می باشد. خروجی این سابروتین نیز شدت میدان گرانشی ناشی از این المان در نقطه برداشت مورد نظر است.

```

function [g]=grav(xo,yo,zo,x1,y1,z1,x2,y2,z2,rho)
if rho~=0
    gamma=6.67e-11;
    si2mg=1e5;
    km2m=1e3;

```

```

x(1)=xo-x1;
y(1)=yo-y1;
z(1)=zo-z1;
x(2)=xo-x2;
y(2)=yo-y2;
z(2)=zo-z2;

sum=0;
for i=1:2
    for j=1:2
        for k=1:2
            r=sqrt(x(i)^2+y(j)^2+z(k)^2);
            ijk=(-1)^i*(-1)^j*(-1)^k;
            arg1=atan(x(i)*y(j)/(z(k)*r));
            if arg1==0
                arg1=2*pi;
            end
            arg2=log(r+y(j));
            arg3=log(r+x(i));
            sum=sum+ijk*(z(k)*arg1-x(i)*arg2-y(j)*arg3);
        end
    end
end
g=rho*gamma*sum*si2mg*km2m*1000;
else
    g=0;
end
return;

```

سابروتین (الف-۱۷) محاسبه شدت جاذبه ناشی از توده های مصنوعی

در این برنامه ابتدا توده های مصنوعی تعریف شده و سپس میدان گرانی آن از مجموع آنومالی گرانی ناشی از هر یک از المانهای آن که توسط سابروتین ۱۶ محاسبه شده ، به دست آمده است. نقاط برداشت شامل ۱۰ خط برداشت با فاصله ۱۰ متر می باشد که شامل ۱۰ نقطه برداشت با فاصله ۱۰ متر است. ارتفاع این شبکه صفر در نظر گرفته شده است.

```

rho=zeros(100,100,100);
rho(10:20,10:20,10:70)=2.5;
rho(20:40,20:40,20:80)=2.5;
rho(20:80,40:60,20:80)=2.5;
rho(40:60,60:80,20:80)=3;
rho(70:90,70:90,20:40)=3;
gr=zeros(101,101);
zo=0;
c=1;
sum=0;
for xo=0:10:100
    for yo=0:10:100

```

```

        for i=1:100
            for j=1:100
                for k=1:100
                    sum = sum +
grav(xo,yo,zo,i,j,k,i+1,j+1,k+1,rho(i,j,k));
                end
            end
        end
        gr(xo+1,yo+1)=sum;
        gravity(c,1)=xo;
        gravity(c,2)=yo;
        gravity(c,3)=sum;
        fprintf('xo=%d\t\tyo=%d\t\tgr=%f\n',xo,yo,sum);
        sum=0;
        c=c+1;
    end
end

```

سابروتین (الف-۱۸) تبدیل زوایا از درجه به رادیان

```

function [a,b,c]=dtorad(incl,decl,azim)
    rad=0.017453293;
    xincl=incl*rad;
    xdecl=decl*rad;
    xazim=azim*rad;
    a=cos(xincl)*cos(xdecl-xazim);
    b=cos(xincl)*sin(xdecl-xazim);
    c=sin(xincl);
return;

```

سابروتین (الف-۱۹) محاسبه شدت میدان کل مغناطیسی ناشی از یک مکعب مستطیل.

(x_0, y_0, z_0) مختصات نقطه برداشت، $(x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2)$ مختصات المان مورد نظر، m_i و f_i زاویه میل میدان مغناطیسی توده و زمین، m_d و f_d زاویه انحراف میدان مغناطیسی توده و زمین می باشد. m مقدار مغناطیس شونده المان مورد نظر و θ اختلاف زاویه بین شمال شبکه و شمال مغناطیسی است. خروجی این سابروتین میدان کل مغناطیسی ناشی از المان است.

```

function
[t]=tmanomaly(xo,yo,zo,x1,y1,z1,x2,y2,mi,md,fi,fd,m,theta)
    if m~=0
        cm=1e-7;
        t2nt=1e9;
        [ma,mb,mc]=dtorad(mi,md,theta);
        [fa,fb,fc]=dtorad(fi,fd,theta);
        fm1=ma*fb+mb*fa;
        fm2=ma*fc+mc*fa;
        fm3=mb*fc+mc*fb;
        fm4=ma*fa;
    end

```

```

fm5=mb*fb;
fm6=mc*fc;
alpha(1)=(x1-xo);
alpha(2)=(x2-xo);
beta(1)=(y1-yo);
beta(2)=(y2-yo);
h=z1-zo;
t=0;
hsq=h^2;
for i=1:2
    alphasq=alpha(i)^2;
    for j=1:2
        sign=1;
        if i~=j
            sign=-1;
        end
        r0sq=alphasq+beta(j)^2+hsq;
        r0=sqrt(r0sq);
        r0h=r0*h;
        alphabeta=alpha(i)*beta(j);
        arg1=(r0-alpha(i))/(r0+alpha(i));
        arg2=(r0-beta(j))/(r0+beta(j));
        arg3=alphasq+r0h+hsq;
        arg4=r0sq+r0h-alphasq;
        tlog=fm3/2*log(arg1)+fm2/2*log(arg2)-
fm1*log(r0+h);
        tatan=-fm4*atan(alphabeta/arg3)-
fm5*atan(alphabeta/arg4)+fm6*atan(alphabeta/r0h);
        t=t+sign*(tlog+tatan);
    end
end
t=t*m*cm*t2nt;
else
    t=0;
end
return;

```

سابروتین (الف-۲۰) محاسبه آنومالی ناشی از توده های مصنوعی

در این برنامه ابتدا توده های مصنوعی تعریف شده و سپس شدت میدان مغناطیسی آن از مجموع آنومالی گرانی ناشی از هر یک از المانهای آن که توسط سابروتین ۱۹ محاسبه شده ، به دست آمده است. نقاط برداشت شامل ۱۰ خط برداشت با فاصله ۱۰ متر می باشد که شامل ۱۰ نقطه برداشت با فاصله ۱۰ متر است. ارتفاع این شبکه صفر در نظر گرفته شده است.

```

susp=zeros(100,100,100);
susp(10:20,10:20,10:70)=0.1;
susp(20:40,20:40,20:80)=0.1;

```

```

susp(20:80,40:60,20:80)=0.1;
susp(40:60,60:80,20:80)=0.15;
susp(70:90,70:90,20:40)=0.15;
xo=0;
yo=0;
zo=0;
t=0;
p=1;
for xo=0:10:100
    for yo=0:10:100
        for i=1:100
            for j=1:100
                for k=1:100

deltat1=tmanomaly(yo,xo,zo,i,j,k,i+1,j+1,90,0,90,0,susp(i,j,k),0
);

deltat2=tmanomaly(yo,xo,zo,i,j,k+1,i+1,j+1,90,0,90,0,susp(i,j,k)
,0);

                    deltat=deltat1-deltat2;
                    t=t+deltat;

                end
            end
        end
        data(i+1,j+1)=t;
        answ(p,1)=xo;
        answ(p,2)=yo;
        answ(p,3)=t;
        fprintf('xo=%d\t\tyo=%d\t\tt=%f\n',xo,yo,answ(p,3));
        p=p+1;
        t=0;
    end
end
end

```

سابروتین (الف-۲۱) شبکه بندی داده های مکانی

این سابروتین برای شبکه بندی داده های مکانی یا داده هایی که دارای ۳ ستون می باشند به کار رفته است. ورودی های این سابروتین یک آرایه با ۳ ستون و تعدادی سطر (XYZ) و همچنین تعداد سطرها (m) و ستونهای (n) شبکه مورد نظر می باشد. خروجی این ماتریس نیز یک آرایه دو بعدی است.

```

function [ZI]=grid(xyz,m,n);
x=xyz(:,1);
y=xyz(:,2);
z=xyz(:,3);
xmin=min(x);
xmax=max(x);
ymin=min(y);
ymax=max(y);

```

```

XI=xmin:(xmax-xmin)/m:xmax;
YI=ymin:-(ymax-ymin)/n:ymin;
ZI=griddata(x,y,z,XI,YI','v4');
return;

```

سابروتین (الف-۲۲) تبدیل آنومالی میدان کل مغناطیسی به آنومالی به دست آمده تحت زوایای میل و انحراف جدید

ورودی های این سابروتین شامل شبکه آنومالی مغناطیسی (grid)، تعداد داده ها در جهت های X و Y (nx و ny)، فاصله نقاط شبکه در جهت های X و Y (dx و dy)، زاویه انحراف و میل میدان مغناطیسی زمین و مغناطیس شونگی توده (mi1, fd1, fi1)، (md1, fd2, fi2) و زاویه میل و انحراف میدان مغناطیسی زمین و مغناطیس شونگی توده (mi2, fd2, fi2) می باشد و خروجی آن نیز ماتریس دو بعدی آنومالی حاصل است.

```

function
[rtp]=newvec(grid,nx,ny,dx,dy,fi1,fd1,mi1,md1,fi2,fd2,mi2,md2)
    ax=nx;
    ay=ny;
    d=gridtrans(grid,1);
    d=expandgrid(d,nx,ny,128,128);
    nx=128;
    ny=128;
    nn(1)=nx;
    nn(2)=ny;
    ndim=2;
    dkx=2*pi/(nx*dx);
    dky=2*pi/(ny*dy);
    [mx1,my1,mz1]=dtorad(mi1,md1,0);
    [fx1,fy1,fz1]=dtorad(fi1,fd1,0);
    [mx2,my2,mz2]=dtorad(mi2,md2,0);
    [fx2,fy2,fz2]=dtorad(fi2,fd2,0);
    str=store(d);
    str=fourn(str,nn,ndim,-1);
    for j=1:nx
        for i=1:ny
            ij=(j-1)*ny+i;
            if ij==1
                cphase=0;
            else
                [kx,ky]=kvalue(i,j,nx,ny,dkx,dky);
                k=sqrt(kx^2+ky^2);
                thetam1=mz1+sqrt(-1)*(kx*mx1+ky*my1)/k;
                thetaf1=fz1+sqrt(-1)*(kx*fx1+ky*fy1)/k;
                thetam2=mz2+sqrt(-1)*(kx*mx2+ky*my2)/k;
                thetaf2=fz2+sqrt(-1)*(kx*fx2+ky*fy2)/k;
                cphase=thetam2*thetaf2/(thetam1*thetaf1);
            end
            cgrid=str(2*ij-1)+sqrt(-1)*str(2*ij);
        end
    end

```

```

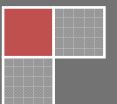
        cgrid=cgrid*cphase;
        rtp(2*ij-1)=real(cgrid);
        rtp(2*ij)=imag(cgrid);
    end
end
rtp=fourn(rtp,nn,ndim,1);
b=0;
for j=1:nx
    for i=1:ny
        ij=(j-1)*ny+i;
        b(ij)=rtp(2*ij-1)/(nx*ny);
    end
end
rtp=gridtrans(b,-1);
rtp=clipmat(rtp,ax,ay);
rtp=smootgrid(rtp);
return;

```


پیوست (ب)

نحوه کار با نرم افزار Profile Analyst و نتایج حاصل از کاربرد آن

با توجه به اینکه جهت کنترل نتایج حاصل از سابروتین ها از نرم افزار Profile Analyst استفاده شده است بنابراین در این پیوست بطور مختصر به نحوه کار با این نرم افزار پرداخته می شود. در انتهای این بخش نیز نقشه های حاصل از اعمال فیلترهای مختلف بر روی داده های گرانی دهنو ارائه گردیده است.



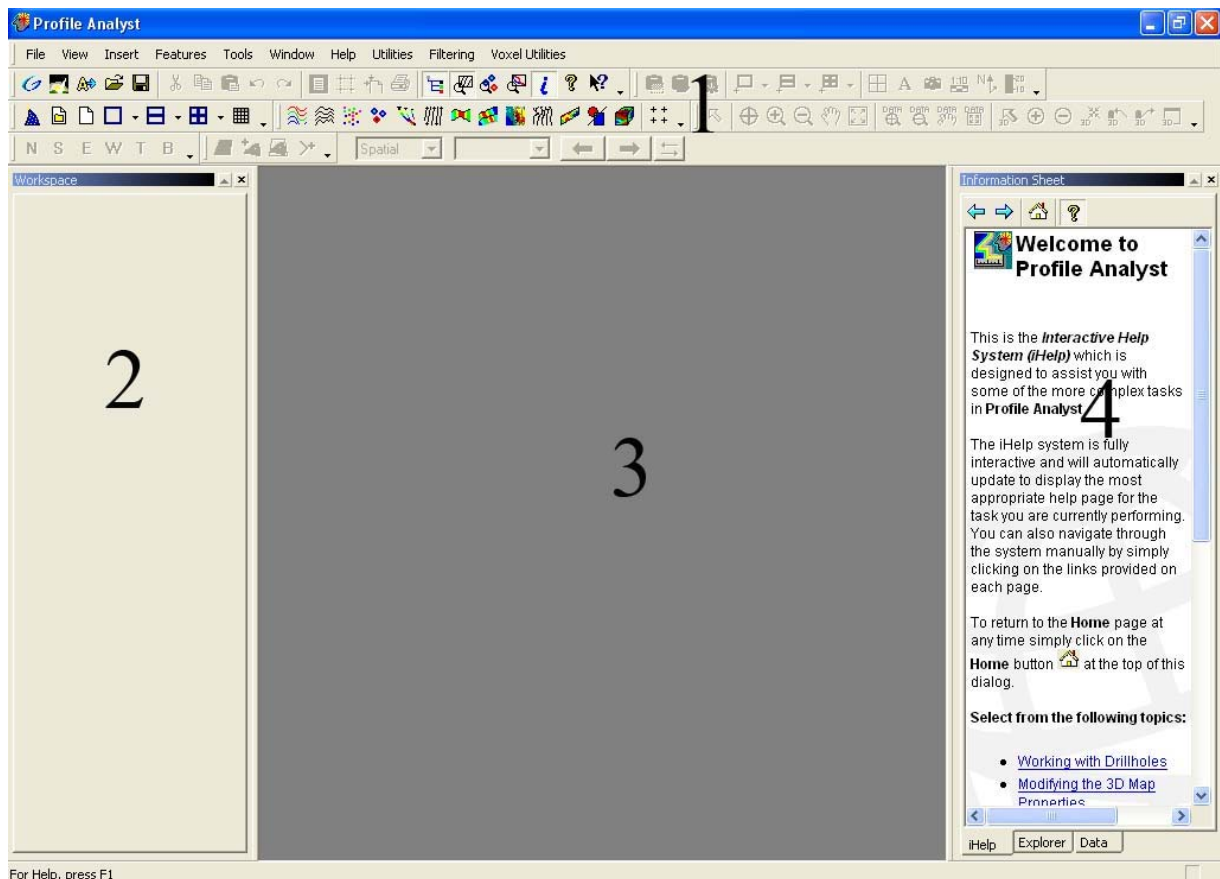
ب-۱ مقدمه :

نرم افزار Profile Analyst یکی از بسته های ارائه شده در مجموعه Encom است که کارایی هایی زیادی در زمینه تفسیر داده های ژئوفیزیکی دارد. این نرم افزار جهت شبکه بندی، نمایش و اعمال فیلترهای گوناگون بر روی داده های میدان پتانسیل، استفاده می شود. قابلیت نمایش سه بعدی آنومالی ها به همراه نتایج مدل سازی شده مربوط به آنها و همچنین نمایش چاه های حفاری و غیره از جمله نکات منحصر به فرد این نرم افزار است که آن را از سایر نرم افزارهای ژئوفیزیکی متمایز می کند. در این پایان نامه سعی شده است تا برای کنترل نقشه های به دست آمده از طریق برنامه نویسی، از این نرم افزار استفاده شود. به همین دلیل لازم است تا نکاتی هر چند مختصر از نحوه کار با این نرم افزار ارائه گردد. همچنین نقشه های حاصل از آنومالی گرانی منطقه دهنو توسط این نرم افزار نیز در همین بخش ارائه گردیده است.

ب-۲ صفحه اصلی نرم افزار:

پس از اجرای نرم افزار در محیط ویندوز و پس از نمایش صفحه خوشامد گویی صفحه اصلی نرم افزار Profile Analyst نشان داده می شود که در شکل (ب-۱) آورده شده است. همان طور که در این شکل دیده می شود این صفحه از ۴ بخش اصلی تشکیل شده است که با اعداد ۱ تا ۴ نشان داده شده اند. بخش ۱ شامل منوهای اصلی نرم افزار است که شامل File ، View ، Insert ، Help و غیره می باشد که کارایی آنها در اکثر نرم افزارهای تحت ویندوز مشابه هستند. علاوه بر منوهای ذکر شده منوهای مانند Tools ، Utility و Filtering در نرم افزار وجود دارد که از طریق آنها فرآیندهای مختلفی بر روی داده های ژئوفیزیکی صورت می گیرد. بخش ۲ شامل فضای کار نرم افزار می باشد که لایه های اطلاعاتی مختلف در آن نشان داده می شود که می توان کنترل کاملی بر روی آنها داشت. از آن جمله می توان به نمایش و یا عدم نمایش تعدادی از لایه های

اطلاعاتی توسط افزودن یا برداشتن تیک کنار لایه مربوطه اشاره کرد. بخش ۳ نیز صفحه نمایش نرم افزار را تشکیل می دهد که در آن نقشه های مورد نظر در آن نمایش داده می شوند. بخش ۴ نیز بخش کمک رسانی است که اطلاعاتی را در مورد دستورات جاری در اختیار کاربر قرار می دهد.

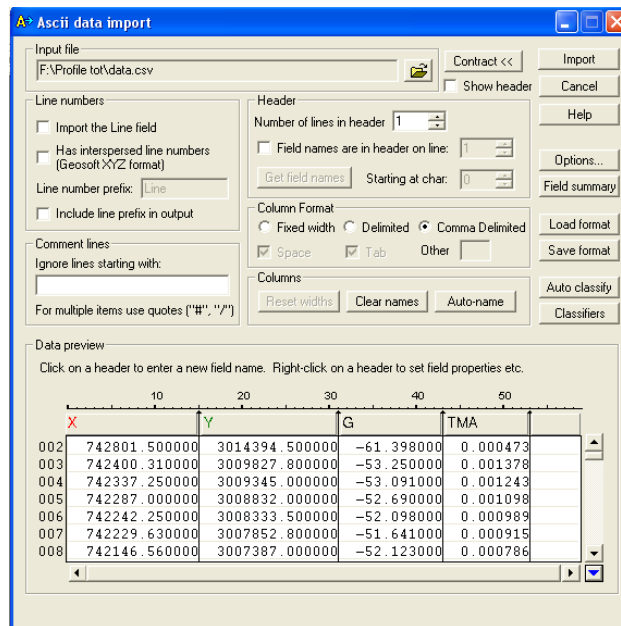


شکل (ب-۱) صفحه اصلی نرم افزار و بخش های مختلف آن.

ب-۳ وارد کردن داده ها:

داده های ژئوفیزیکی نیز نوعی داده مکانی هستند که دارای دو مولفه مختصاتی و یک مولفه مربوط به خاصیت فیزیکی مورد نظر هستند. بنابراین در حالت کلی این داده ها دارای سه ستون می باشند و البته در فرمت های مختلفی ذخیره می شوند. در صورتی که داده های ژئوفیزیکی به صورت فایل متنی Ascii ذخیره شده باشد توسط آیکون Import Ascii می توان این داده ها را وارد نرم افزار کرد. بدین صورت که پس از انتخاب این آیکون و انتخاب فایل مورد نظر پنجره Ascii data import باز شده که با تنظیم تغییراتی مانند Column format و انتخاب کاراکتر جدا کننده ستون ها، سطر در بر گیرنده توضیحات ستونها و غیره در این پنجره

می توان داده ها را در نرم افزار وارد کرد. این کار با کلیک کردن بر روی گزینه Import انجام می شود (شکل (ب-۲)) که در نهایت پس از انتخاب نحوه ذخیره بانک اطلاعاتی حاصل از داده های وارد شده این بانک اطلاعاتی به صورت یک جدول در صفحه نمایش نشان داده می شود (شکل (ب-۳)).



شکل (ب-۲) وارد کردن داده ها به نرم افزار.

	ChordLength	G	TMA	X	Y
1	0	-61.398	0.000473	742801.5	3014394.5
2	4584.2886	-53.25	0.001378	742400.31	3009827.8
3	5071.1895	-53.091	0.001243	742337.25	3009345
4	5586.6447	-52.69	0.001098	742287	3008832
5	6087.1492	-52.098	0.000989	742242.25	3008333.5
6	6568.0148	-51.641	0.000915	742229.63	3007852.8
7	7041.1641	-52.123	0.000786	742146.56	3007387
8	7571.8157	-51.442	0.000498	742133.88	3006856.5
9	8074.6136	-51.404	0.000339	742055.81	3006359.8
10	8558.5057	-51.565	0.000229	742013.06	3005877.8
11	9068.4687	-51.312	0.000157	741963	3005370.3
12	17660.7	-60.973	0.000501	742791.44	3013922.5
13	26751.274	-50.911	2.6e-005	741938.81	3004872
14	27269.466	-50.75	-0.00013	741878.75	3004357.3
15	27761.792	-50.586	-0.0003	741828.94	3003867.5
16	28240.497	-50.566	-0.000364	741797.94	3003389.8
17	28752.992	-50.499	-0.000351	741721.75	3002883
18	29216.809	-50.651	-0.000257	741663.94	3002422.8
19	29756.788	-51.078	-0.00018	741641.19	3001883.3
20	30238.69	-51.217	-7.1e-005	741582.38	3001405
21	30728.9	-51.794	5.5e-005	741556	3000915.5
22	31215.653	-52.993	0.000155	741462.56	3000437.8
23	44172.382	-57.86	0.000523	742725.81	3013332.8

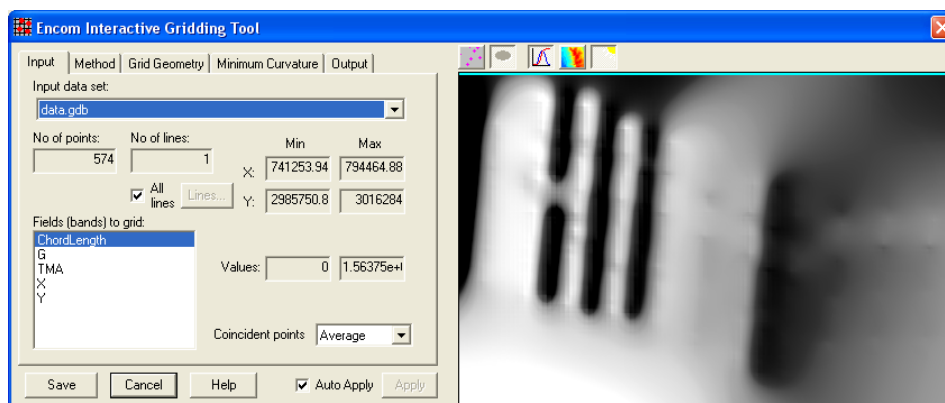
شکل (ب-۳) نمایش داده های وارد شده به نرم افزار به صورت بانک اطلاعاتی.

در جدول ارائه شده در شکل (ب-۳) علاوه بر نمایش داده ها می توان با تغییر گزینه Display type از Field data به Statistical data می توان اطلاعات آماری شامل کمترین و بیشترین مقدار داده ها را مشاهده کرد و از این طریق صحت داده های وارد شده را بررسی نمود.

ب-۴ شبکه بندی داده ها

یکی از قدم های اولیه در نمایش داده ها، شبکه بندی این داده ها می باشد. روش های مختلفی برای شبکه بندی داده ها وجود دارد که از آن جمله می توان به نزدیکترین همسایگی، عکس توان فاصله و کمترین انحنای اشاره کرد.

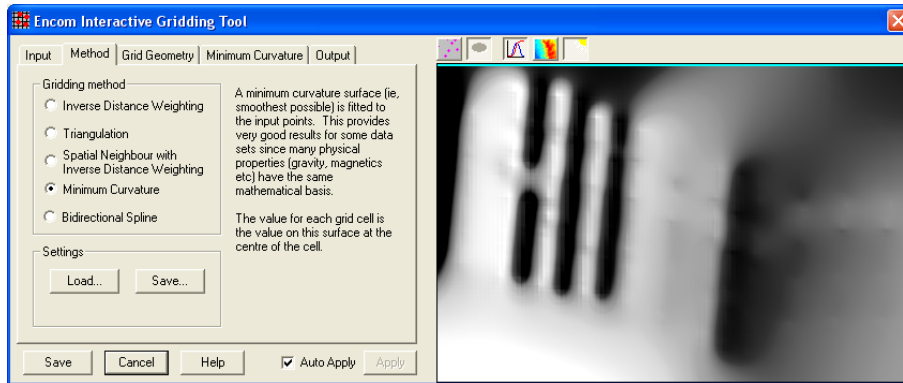
شبکه بندی داده ها در نرم افزار Profile Analyst از طریق منوی Utilities و گزینه Interactive Gridding قابل انجام است (شکل (ب-۴)). پنجره Encom Interactive Gridding Tool را نشان می دهد. این پنجره شامل بخش های مختلفی است که شامل Input Method، Grid Geometry، Minimum Curvature و Output می شود. بخش Input تنظیماتی را در بر دارد که از آن جمله می توان به گزینه انتخاب بانک اطلاعاتی مورد نظر اشاره کرد. در بخش Fields (bands) to grid می توان مولفه مورد نظر برای شبکه بندی را انتخاب نمود.



شکل (ب-۴) شبکه بندی داده ها.

در بخش Method روش های مختلف برای شبکه بندی داده ها وجود دارد که می توان روش مورد نظر برای شبکه بندی را انتخاب نمود. این بخش در شکل (ب-۵) نشان داده شده است.

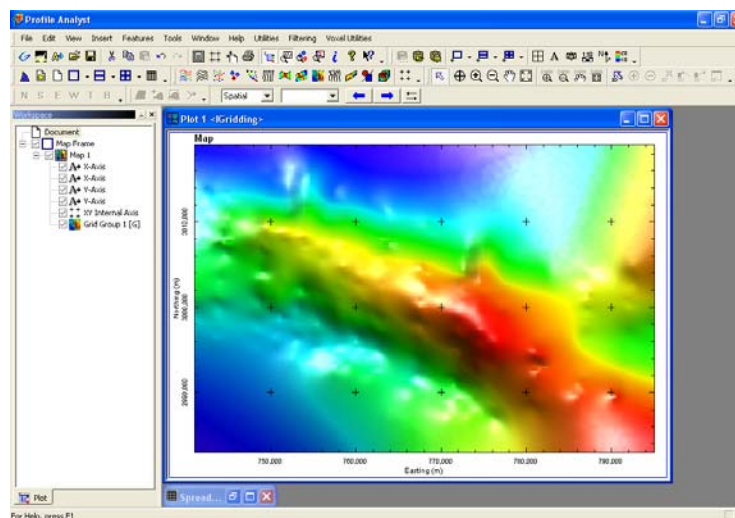
در نهایت پس از تنظیم پارامترهای مورد نظر می توان در بخش Output فرمت و محل ذخیره سازی شبکه را انتخاب نمود.



شکل (ب-۵) انتخاب روش شبکه بندی داده ها.

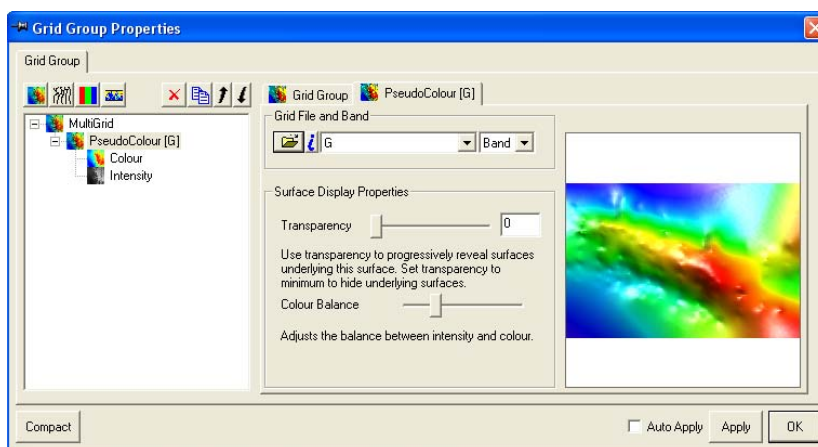
ب-۵ نمایش و تنظیم نقشه ها:

پس از شبکه بندی داده ها به صورت خودکار این نقشه در صفحه نمایش نشان داده می شود. با افزودن شدن این نقشه به صفحه نمایش اصلی نرم افزار در بخش فضای کار نیز یک شاخه به نام این نقشه ایجاد می شود. (شکل (ب-۵)).

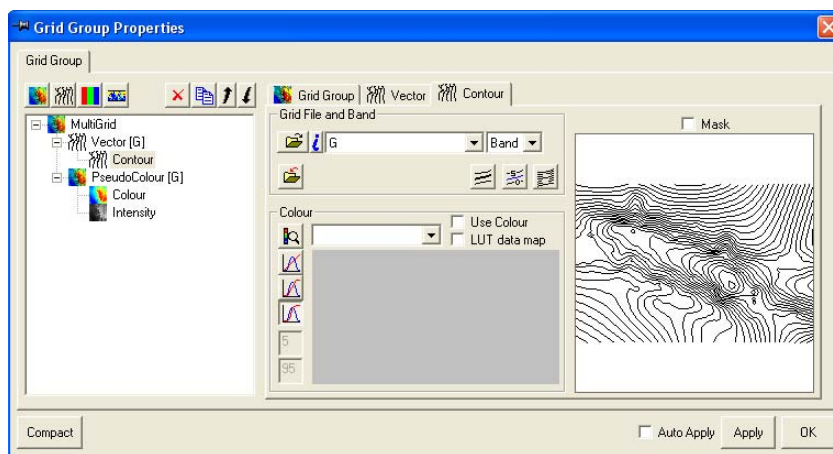


شکل (ب-۶) نمایش شبکه ساخته شده بصورت نقشه در صفحه نمایش اصلی.

برای تغییر تنظیمات مربوط به نمایش نقشه می توان با دوبار کلیک کردن بر روی گزینه Grid Group مربوطه در فضای کار پنجره ای تحت عنوان Grid Group properties باز می شود که در آن تنظیماتی را در زمینه رنگ و شدت برجستگی و غیره مربوط به نقشه را اعمال کرد. همچنین می توان خطوط تراز را به شبکه مورد نظر افزود که در شکل (ب-۷) و شکل (ب-۸) نمونه هایی از آن ارائه شده است.



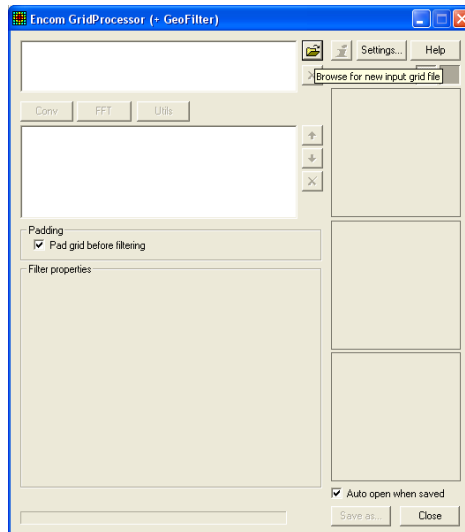
شکل (ب-۷) اعمال تنظیمات دلخواه بر روی نقشه ها.



شکل (ب-۸) افزودن خطوط تراز به نقشه.

ب-۶ اعمال فیلتر بر روی داده ها

جهت اعمال فیلترهای مختلف بر روی داده های ژئوفیزیکی می توان از منوی Filtering گزینه Grid Processor استفاده نمود. شکل (ب-۹) پنجره باز شده پس از اجرای این دستور را نشان می دهد.

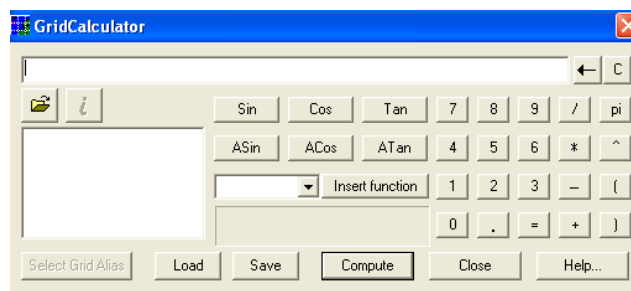


شکل (ب-۹) اعمال فیلترهای مختلف بر روی شبکه ها.

در این پنجره ابتدا باید شبکه مورد نظر را باز نمود. سپس از بین گزینه های Conv ، FFT و Utils یکی را انتخاب کرده و سپس فیلتر مورد نظر را از این بخش انتخاب نمود. پس از انتخاب فیلتر مورد نظر می توان نقشه حاصل را به صورت شبکه ذخیره کرد. این کار از طریق گزینه Save as در این پنجره صورت می گیرد. نتایج اعمال این فرآیند بر روی داده های دهنو در ادامه ارائه شده است.

ب-۷ انجام عملیاتهای ریاضی بر روی شبکه ها

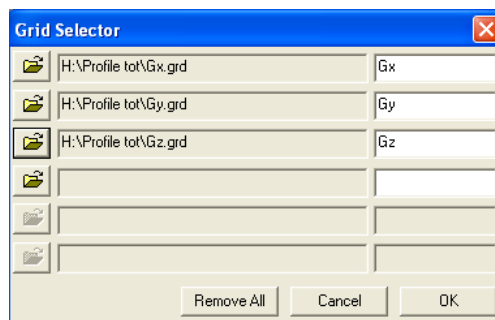
برای اعمال یک رابطه ریاضی بر روی شبکه های به دست آمده از گزینه Grid Calculator از منوی Utilities استفاده می شود. پنجره این دستور در شکل (ب-۱۰) نشان داده شده است.



شکل (ب-۱۰) اعمال یک رابطه ریاضی بر روی شبکه های دلخواه

برای انتخاب شبکه ها از گزینه Open استفاده می شود. با کلیک کردن بر روی این گزینه پنجره ای باز می شود که می توان در آن شبکه های مختلف مورد نظر را انتخاب کرده و نام دلخواه را به هر یک از آنها نسبت داد

(شکل (ب-۱۱)). سپس در پنجره Grid Calculator می توان فرمول نویسی کرده و شبکه مورد نظر را محاسبه کرد. فرمول نویسی در این بخش بسیار ساده بوده و تنها کافیسیت تا همانند یک متغیر با هر یک از شبکه ها برخورد شود. به عنوان مثال برای به دست آوردن سیگنال تحلیلی از روی شبکه مشتقات افقی و قائم می توان از فرمول $AS = \sqrt{Gx^2 + Gy^2 + Gz^2}$ استفاده کرد.



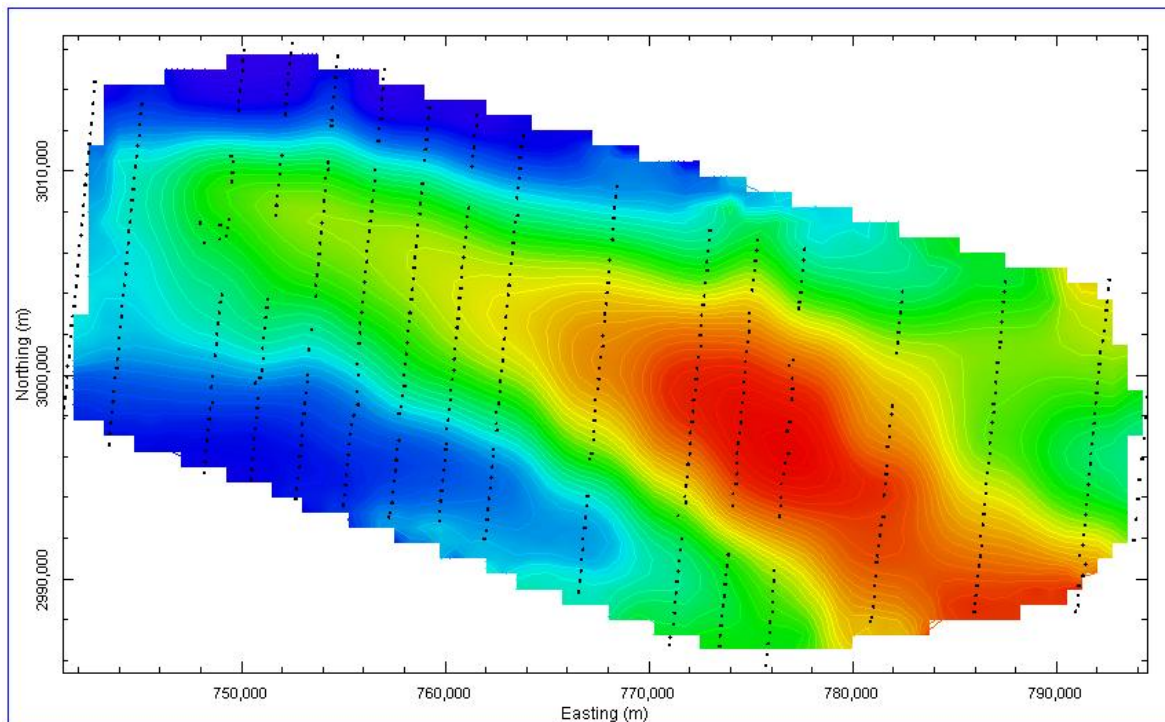
شکل (ب-۱۱) انتخاب شبکه های مورد نظر برای اعمال روابط ریاضی

پس از نوشتن فرمول با کلیک کردن بر روی گزینه Compute پنجره ای باز می شود که در آن می توان محل ذخیره سازی شبکه به دست آمده را تعیین نمود. با این کار شبکه مورد نظر به صورت نقشه در صفحه نمایش نشان داده می شود.

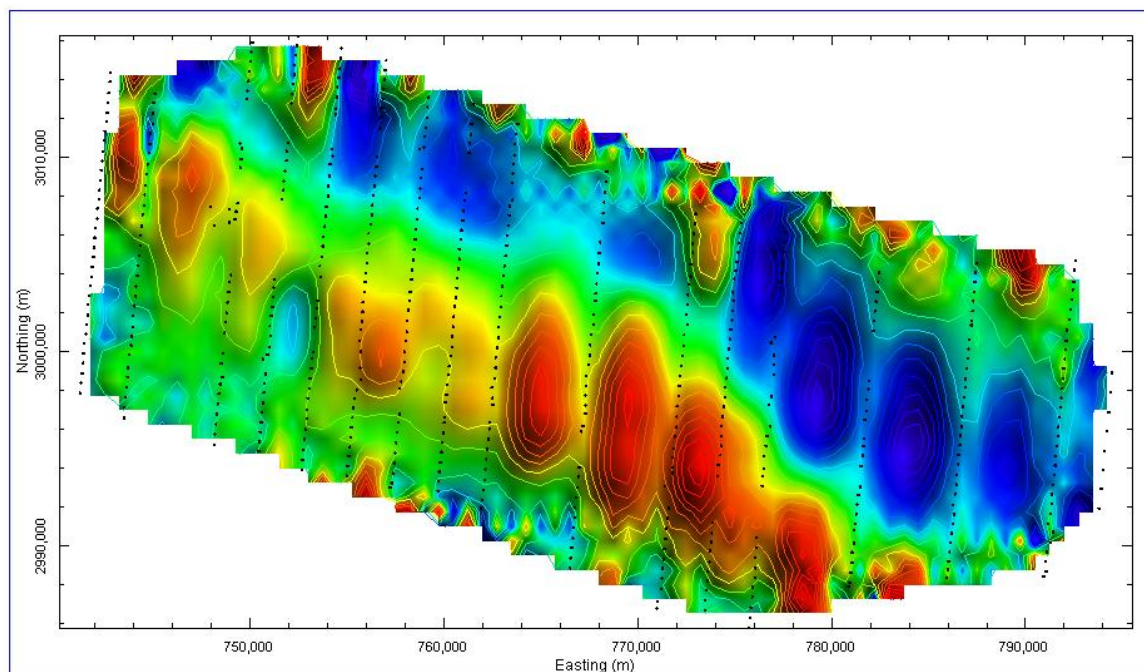
ب-۸ نقشه ها:

برای کنترل سابروتین های نوشته شده لازم است تا نتایج آنها با نتایج حاصل از نرم افزار Profile Analyst مقایسه شود. بدین منظور کلیه نقشه های حاصل از این نرم افزار که با توجه به داده های گرانی دهنو به دست آمده است که در ادامه در شکل های (ب-۱۲) تا (ب-۱۷) ارائه شده است.

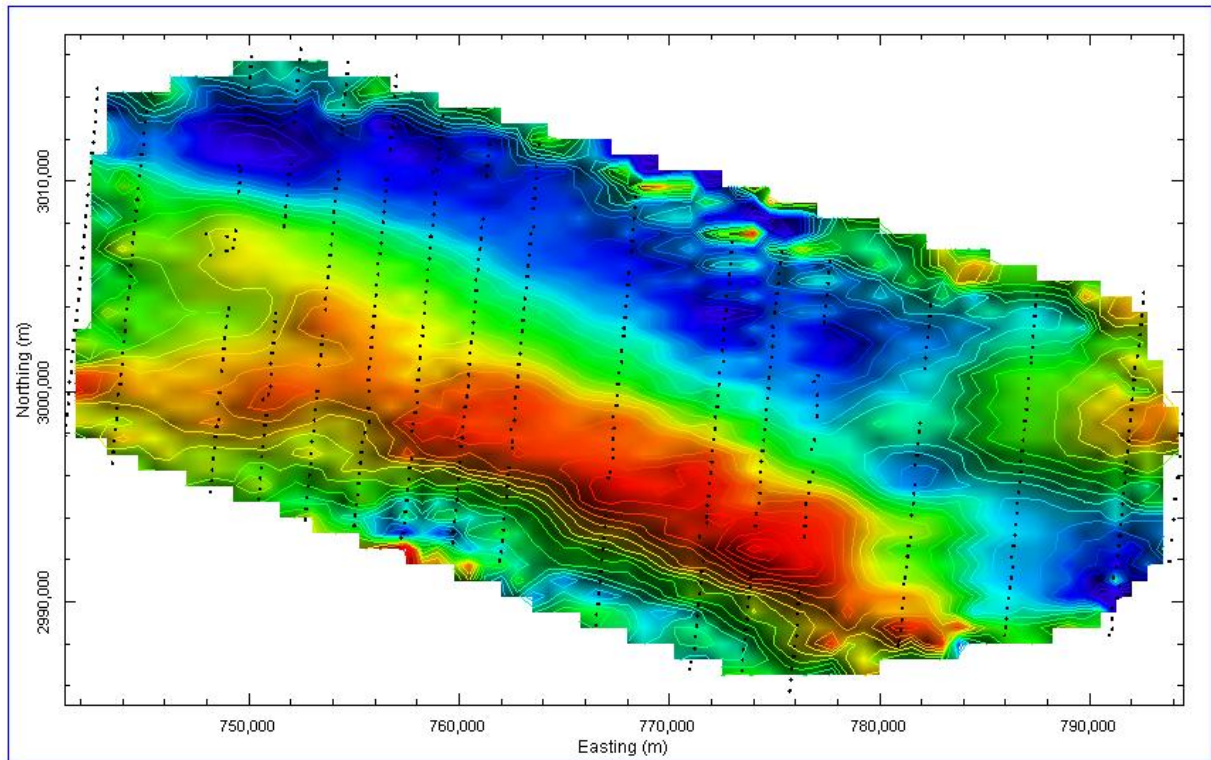
در شکل های (ب-۱۸) و (ب-۱۹) دو نقشه حاصل از اعمال روش بلکلی و سیمپسون، بر روی آنومالی تتا گرانی و مغناطیسی، نیز ارائه گشته است.



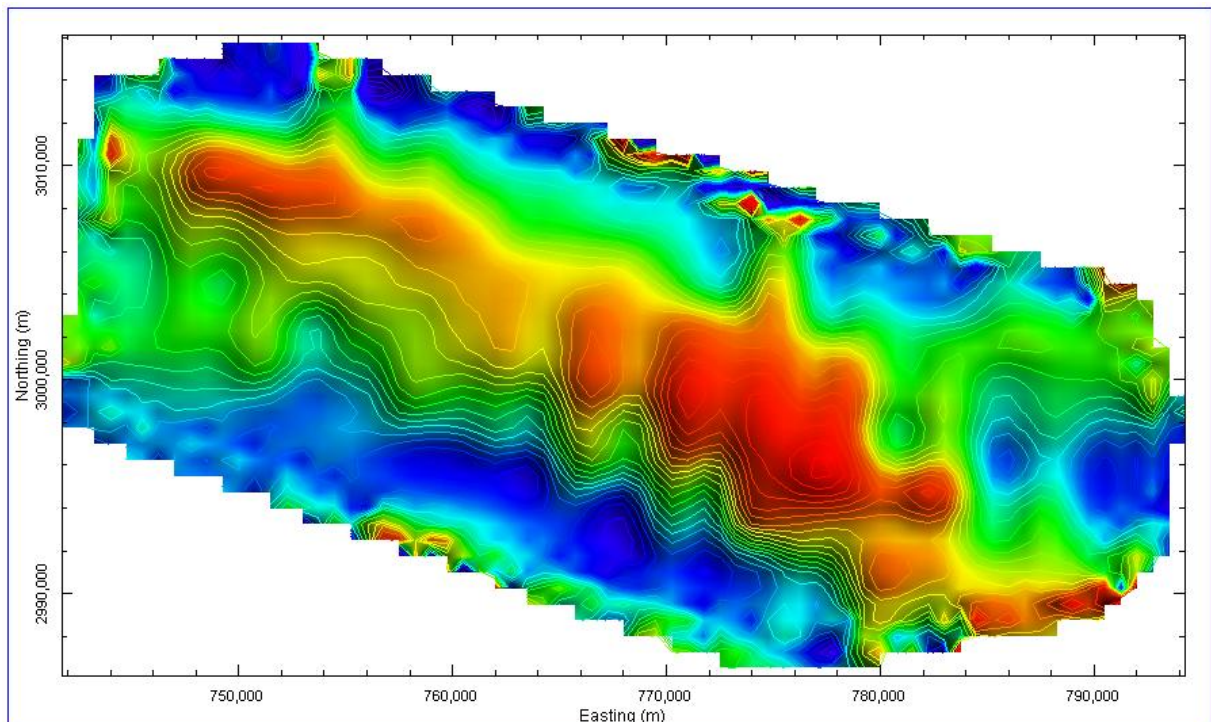
شکل (ب-۱۲) آنومالی بوگه منطقه دهنو.



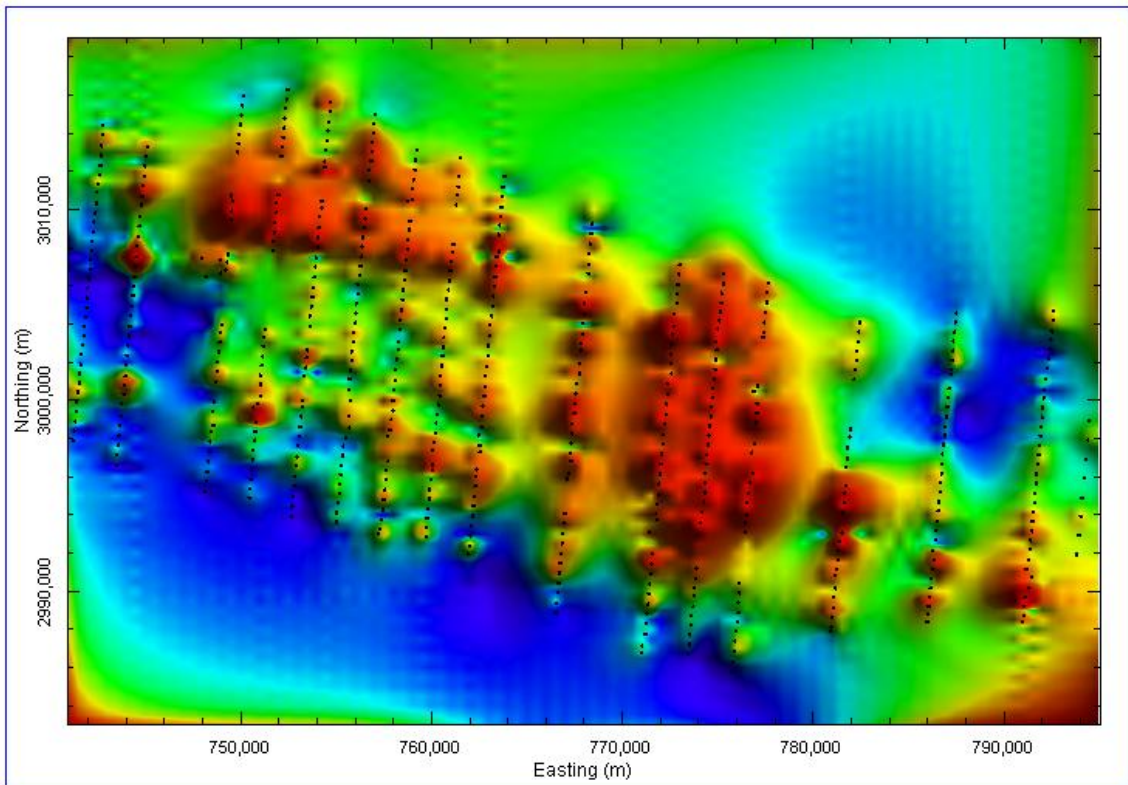
شکل (ب-۱۳) مشتق افقی آنومالی گرانی منطقه دهنو در جهت محور X.



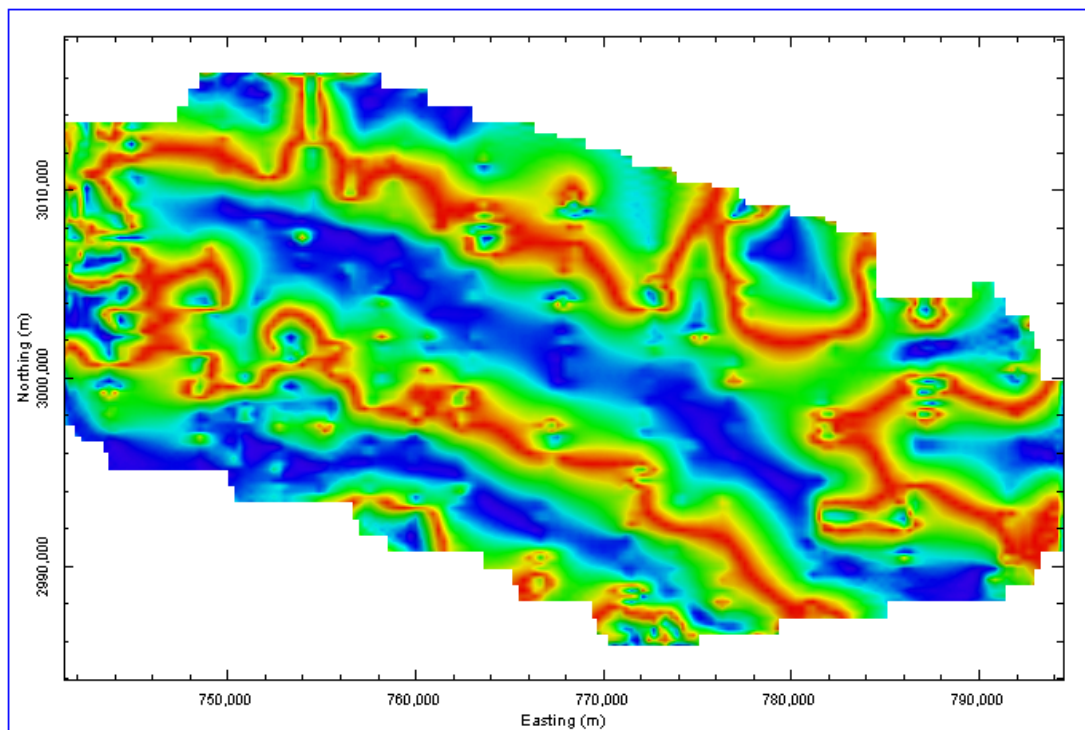
شکل (ب-۱۴) مشتق افقی آنومالی گرانی منطقه دهنو در جهت Y.



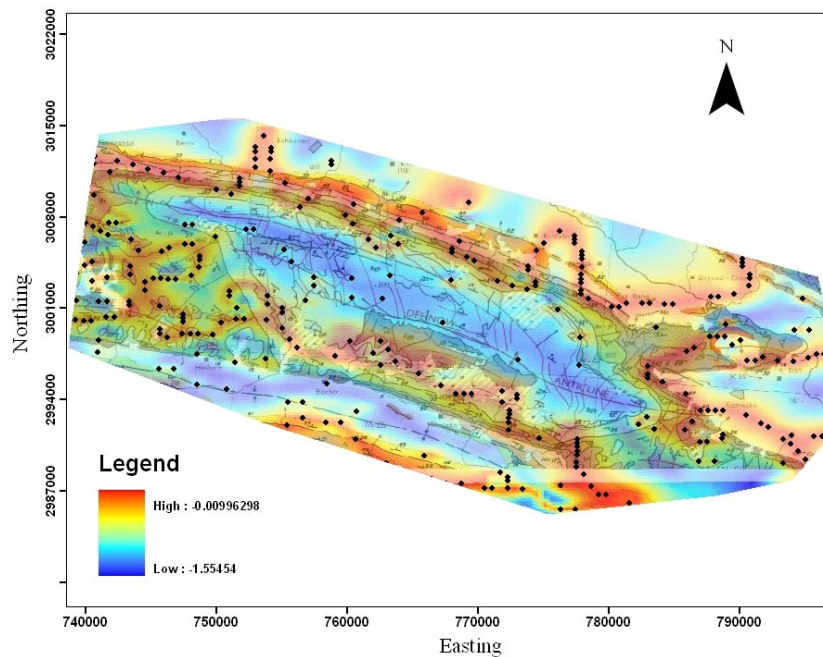
شکل (ب-۱۵) مشتق قائم آنومالی گرانی منطقه دهنو.



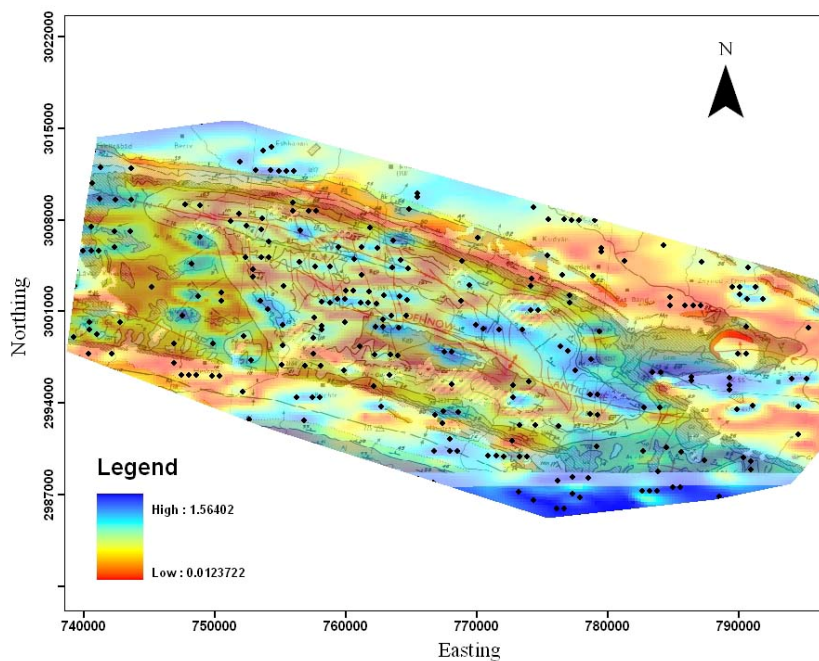
شکل (ب-۱۶) سیگنال تحلیلی سه بعدی حاصل از مشتقات آنومالی گرانی منطقه دهنو.



شکل (ب-۱۷) نقشه تتا به دست آمده از آنومالی گرانی منطقه دهنو.



شکل (ب-۱۸) نقشه مرز توده های آنومال گرانی که با استفاده از روش بلکلی و سیمپسون بر روی نقشه تتا آنومالی گرانی به دست آمده است.

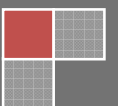


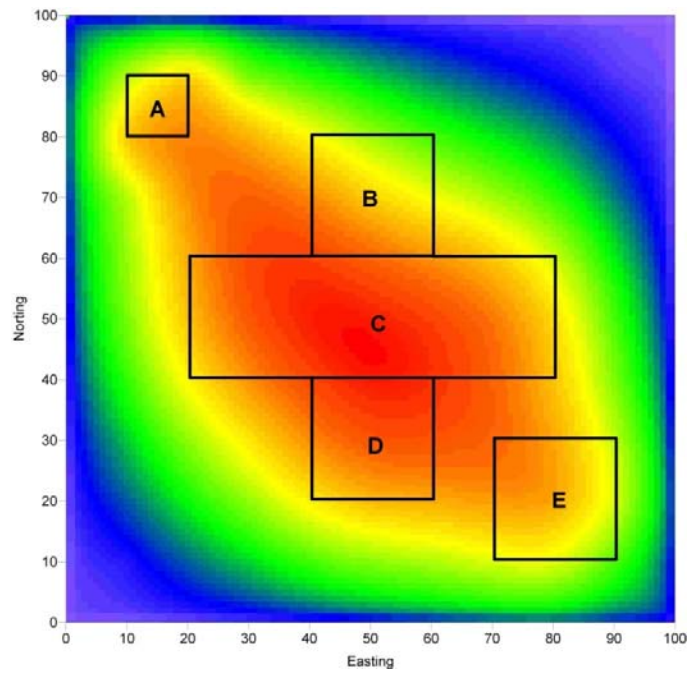
شکل (ب-۱۹) نقشه مرز توده های آنومال گرانی که با استفاده از روش بلکلی و سیمپسون بر روی نقشه تتا آنومالی مغناطیسی به دست آمده است.

پیوست (ج)

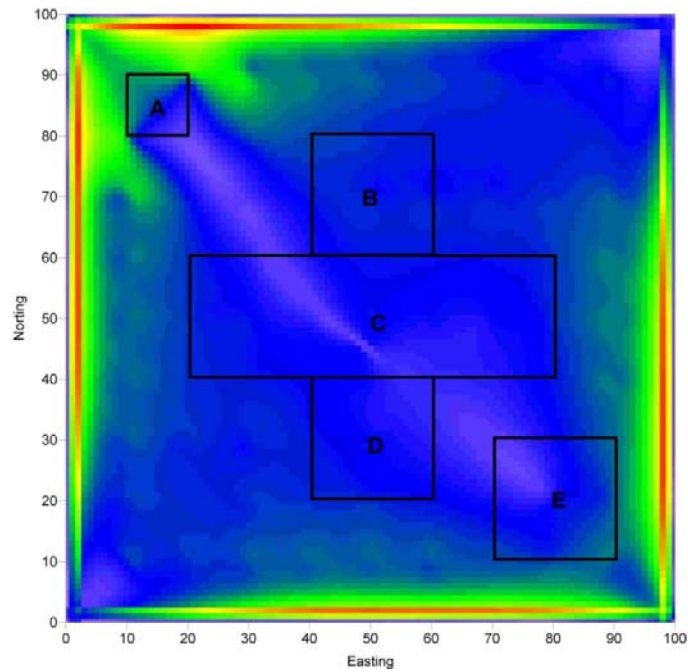
نقشه های حاصل از اعمال فیلترهای فاز محلی بر روی پاسخ مدل های مصنوعی

در این بخش نقشه هایی که از اعمال فیلترهای مختلف فاز محلی بر روی آنومالی های
گرانی و مغناطیسی مدل های مصنوعی به دست آمده اند، ارائه گردیده اند.



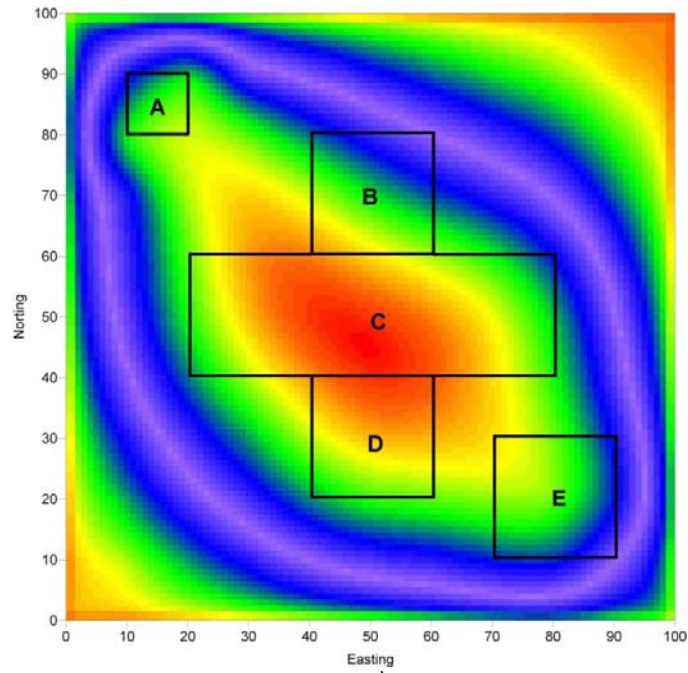


شکل (ج-۱) اعمال فیلتر زاویه انحراف^۱ بر روی پاسخ مدل مصنوعی گرانی.

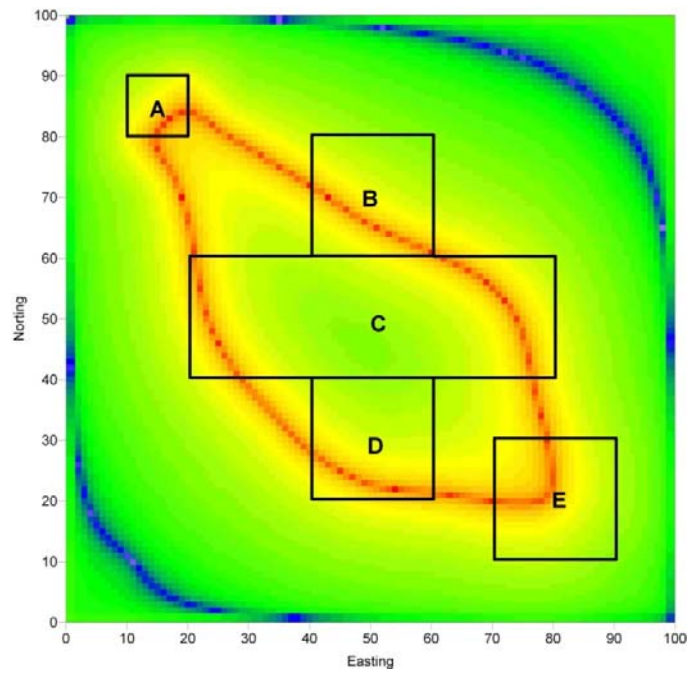


شکل (ج-۲) اعمال فیلتر مشتق افقی زاویه انحراف^۲ بر روی پاسخ مدل مصنوعی گرانی.

Tilt angle^۱
 Total horizontal derivative of the tilt angle^۲

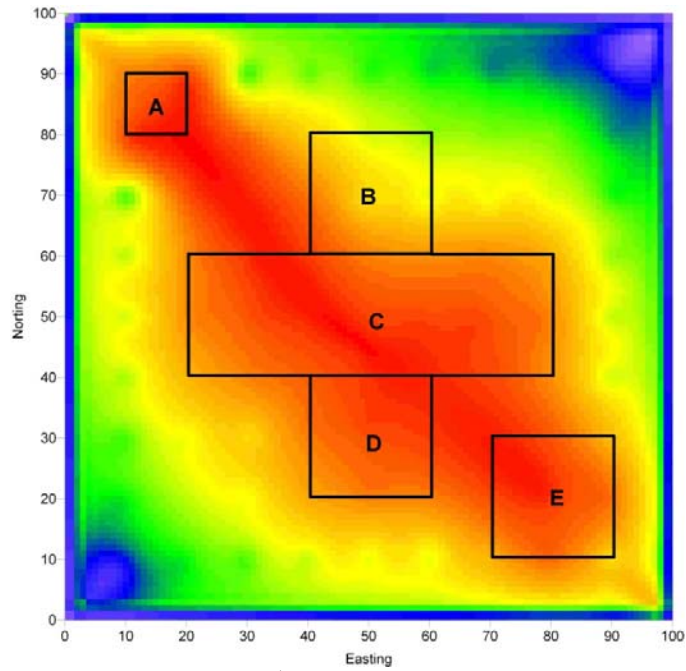


شکل (ج-۳) اعمال فیلتر تتا^۱ بر روی پاسخ مدل مصنوعی گرانی.

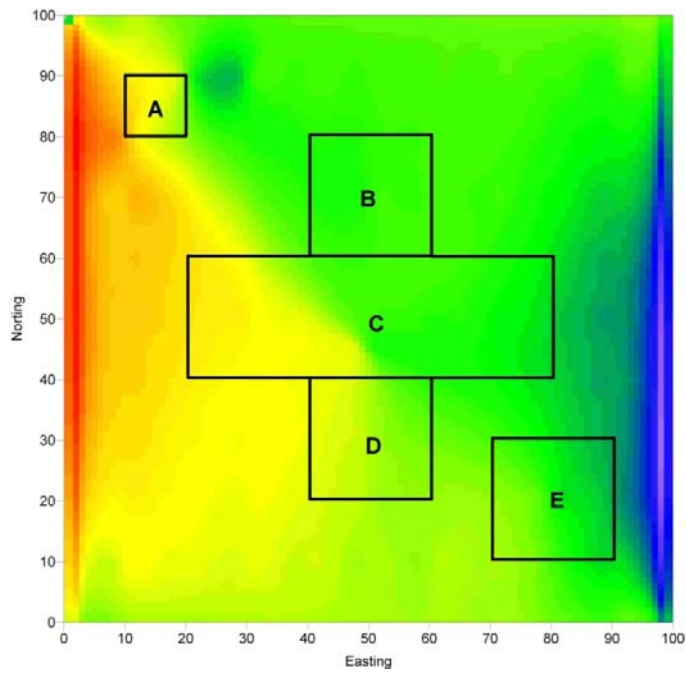


شکل (ج-۴) اعمال فیلتر زاویه انحراف هیپربولیک^۲ بر روی پاسخ مدل مصنوعی گرانی.

Theta^۱
Hyperbolic tilt angle^۲

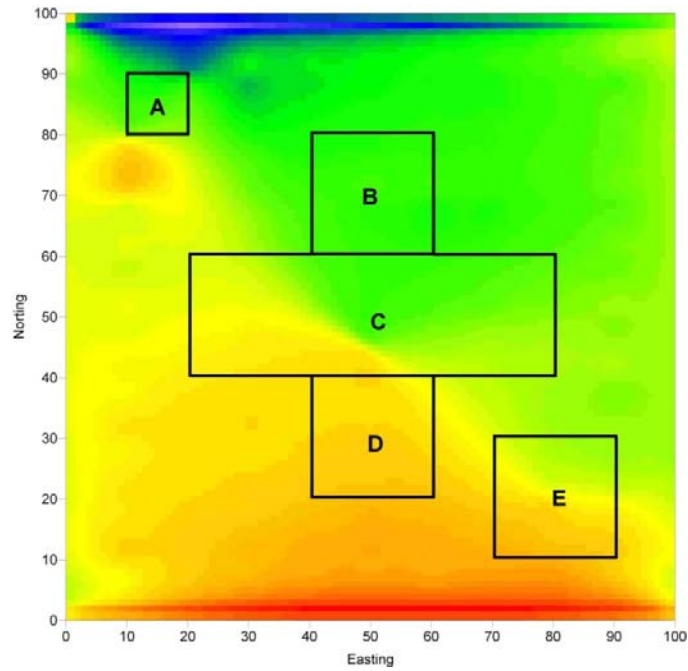


شکل (ج-۵) اعمال فیلتر زاویه انحراف مرتبه دوم^۱ بر روی پاسخ مدل مصنوعی گرانی

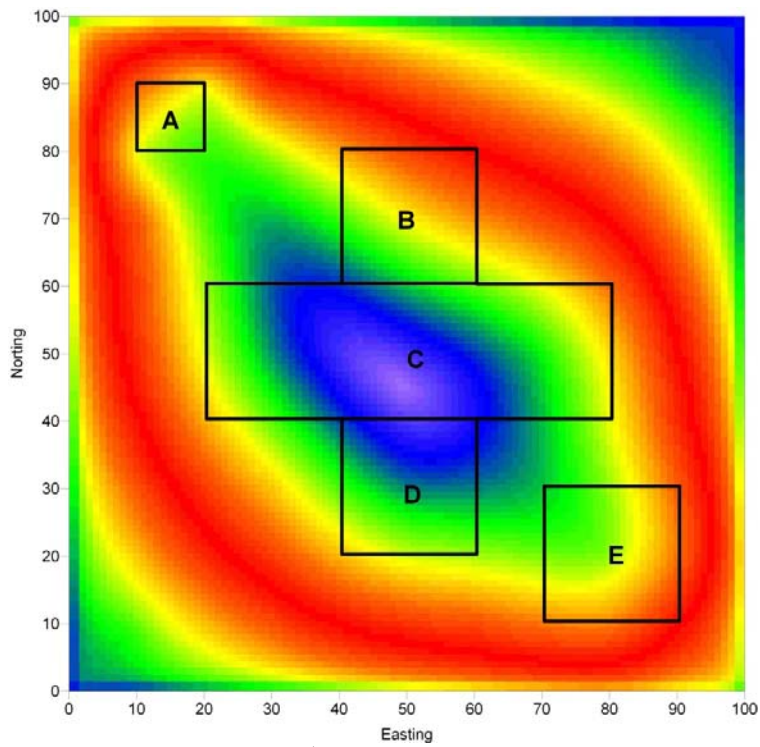


شکل (ج-۶) اعمال فیلتر زاویه انحراف جهتی^۲ (در جهت محور x) بر روی پاسخ مدل مصنوعی گرانی

Second order tilt angle^۱
Directional tilt angle^۲

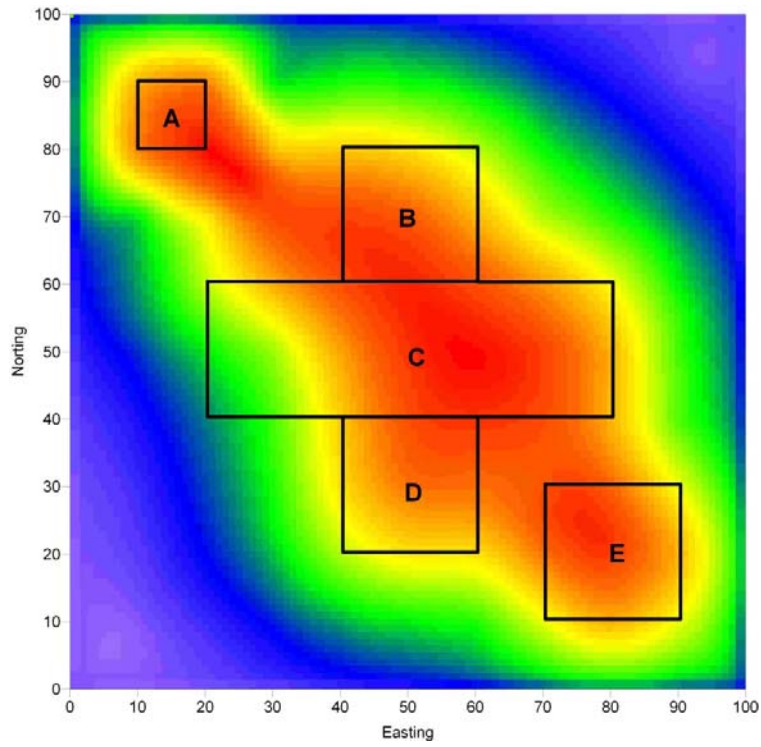


شکل (ج-۷) اعمال فیلتر زاویه انحراف جهتی (در جهت محور y) بر روی پاسخ مدل مصنوعی گرانی.

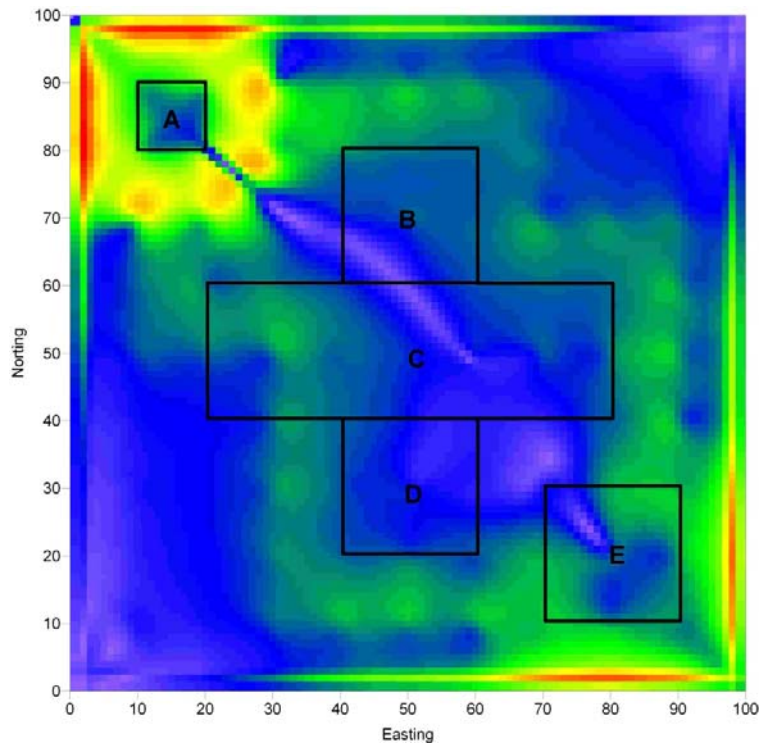


شکل (ج-۸) اعمال فیلتر گرادیان افقی نرمال شده^۱ بر روی پاسخ مدل مصنوعی گرانی.

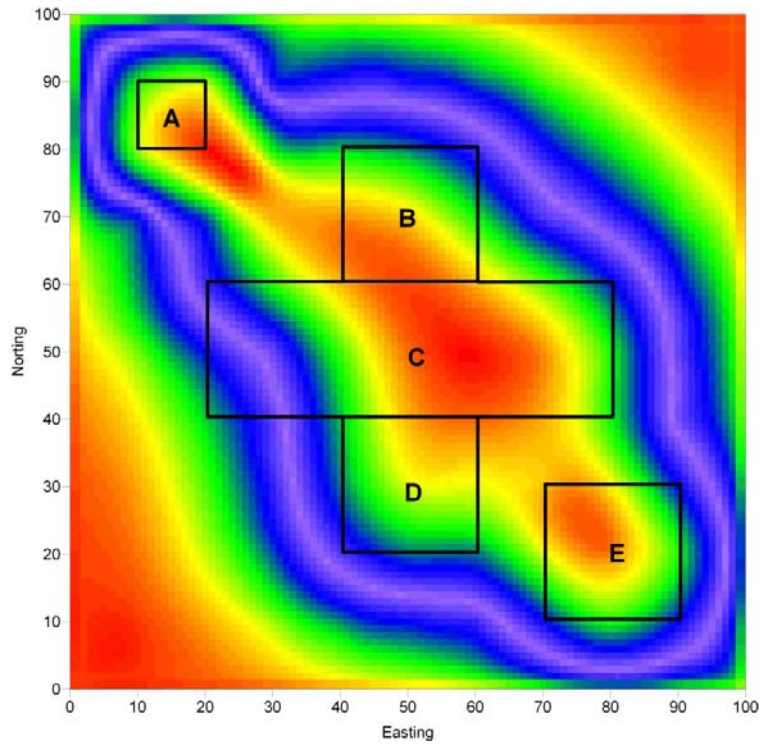
^۱ Normalised horizontal gradient



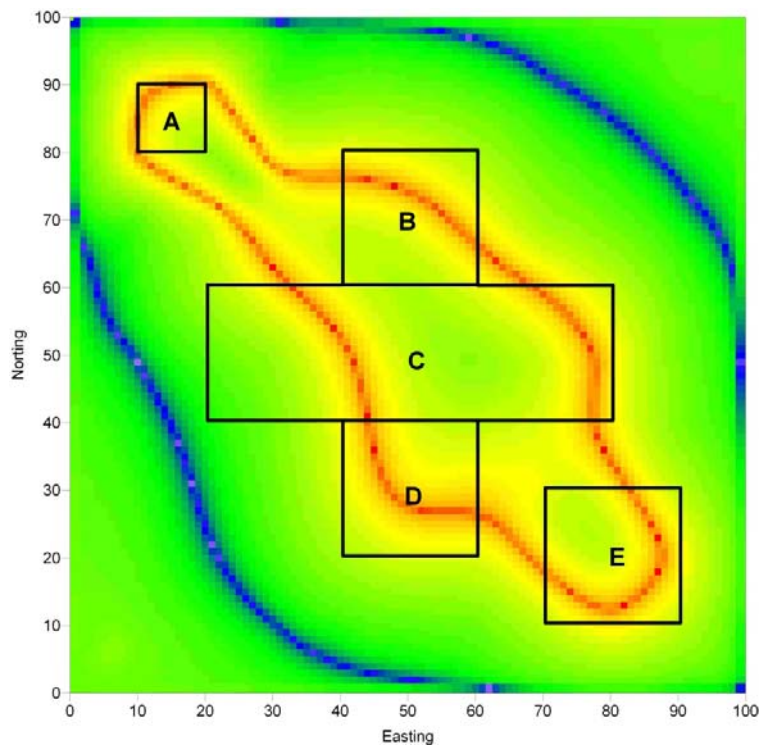
شکل (ج-۹) اعمال فیلتر زاویه انحراف بر روی پاسخ مدل مصنوعی مغناطیسی.



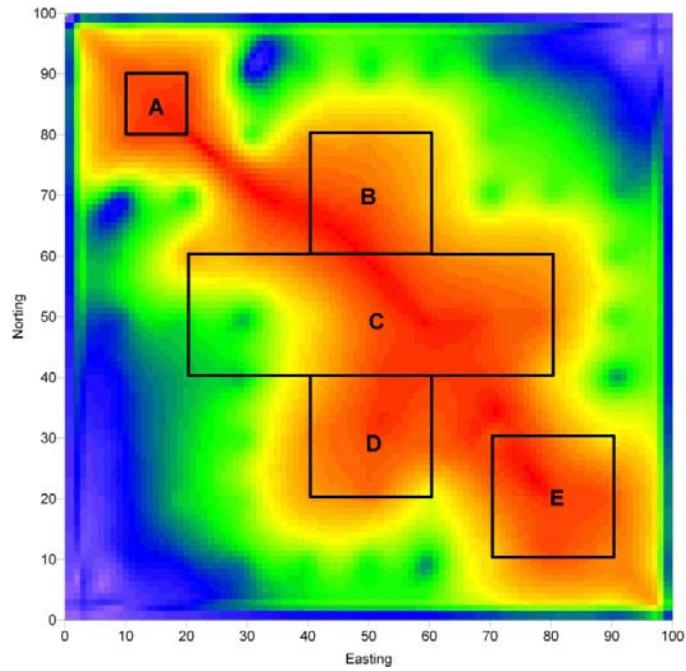
شکل (ج-۱۰) اعمال فیلتر مشتق افقی زاویه انحراف بر روی پاسخ مدل مصنوعی مغناطیسی



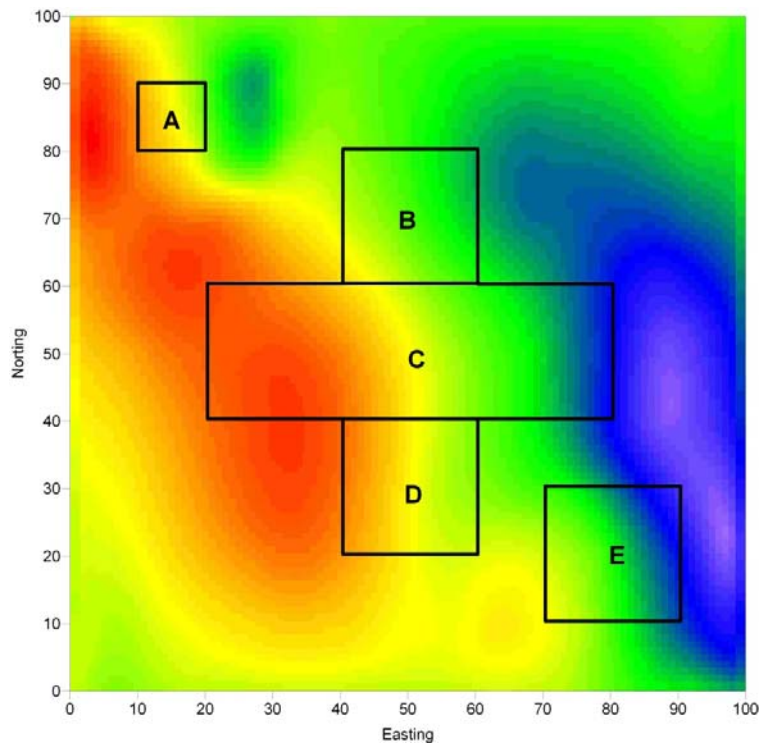
شکل (ج-۱۱) اعمال فیلتر تتا بر روی پاسخ مدل مصنوعی مغناطیسی



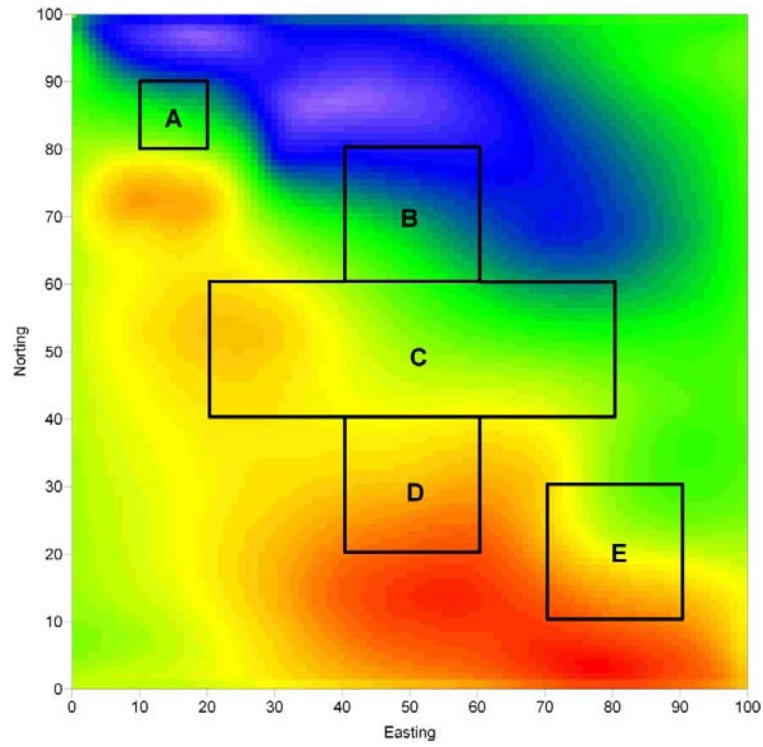
شکل (ج-۱۲) اعمال فیلتر زاویه انحراف هیپربولیک بر روی پاسخ مدل مصنوعی مغناطیسی



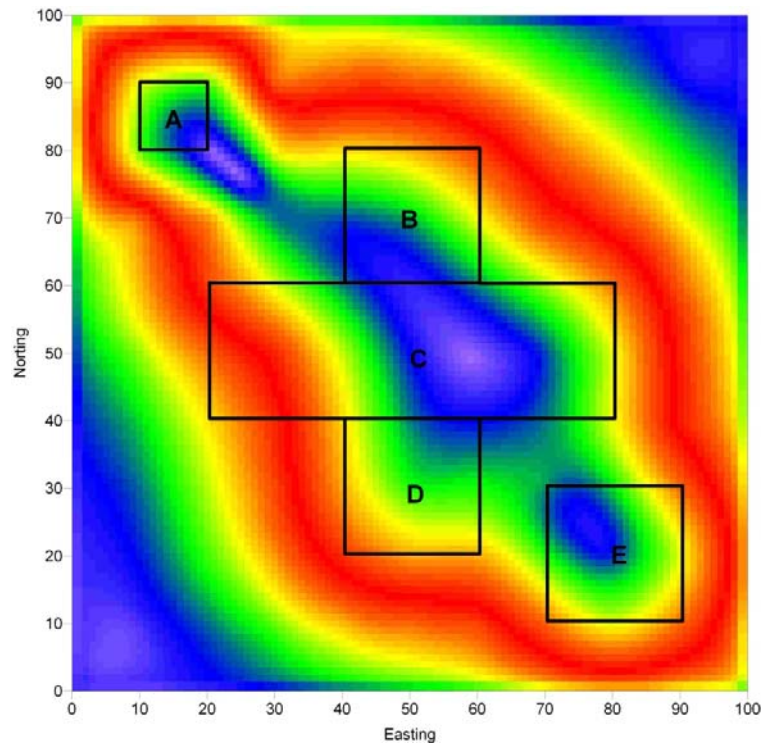
شکل (ج-۱۳) اعمال فیلتر زاویه انحراف مرتبه دوم بر روی پاسخ مدل مصنوعی مغناطیسی



شکل (ج-۱۴) اعمال فیلتر زاویه انحراف جهتی (در جهت محور X) بر روی پاسخ مدل مصنوعی مغناطیسی



شکل (ج-۱۵) اعمال فیلتر زاویه انحراف جهتی (درجهت محور Y) بر روی پاسخ مدل مصنوعی مغناطیسی



شکل (ج-۱۶) اعمال فیلتر گرادیان افقی نرمال شده بر روی پاسخ مدل مصنوعی مغناطیسی

Abstract:

Geophysical methods are routinely used for the exploration of the subsurface masses. They can provide appropriate information about the position of such masses. Amongst the geophysical methods, gravity and magnetic surveys as the potential field methods, are recognized to be efficient and inexpensive methods which are particularly used in prospecting large areas. The measured data should be interpreted as soon as the field operation has ceased. Determination of shape, position and edges of the subsurface bodies are principal in the interpretation of the potential field data. It has been suggested that the analytic signal method is superior in the determination of the anomalies edges. In this research, a three dimensional analytic signal method was used to determine the edges of the gravity and magnetic data. In order to investigate the capability of the analytic signal method in edge detection, this filter was first applied on the artificial gravity and magnetic anomalies. The results were then compared with those obtained using vertical and horizontal derivatives, horizontal gradient and local phase filters. It was found that, the local phase filters in particular, theta filter which is derived based on the analytic signal and horizontal gradient of the potential field anomaly, more accurately detected the edges of the artificial mode. All computations were carried out by providing the necessary routines for the multi-purpose MATLAB software. For further evaluation of the method in edge detection, the three dimensional analytic signal method and theta filter were applied on the real gravity and magnetic data measured at Dehno area. These methods could properly detect the edges of the Dehno anticline.



Shahrood University of Technology
Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics

**This thesis submitted in part fulfillment of the degree of Master of
Engineering in Mining Exploration**

**Edge detection of potential field anomalies using
analytic signal method**

By:

M.R Ghazimorady

Supervisors:

Dr. A. Moradzadeh

Dr. F. Doulati Ardejani

Advisor:

S. Ghomy

July 2008