

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی پتروشیمی

دانشکده مهندسی معدن نفت و ژئوفیزیک

گروه اکتشاف

# مقایسه مدل سازی داده های گرانی سنجی ناحیه دهنو به روش نمودارهای احتمال و روش های متداول تفکیک آنومالی در شناسایی ساختارهای تاقدیسی

دانشجو: سمیه طبسی

اساتید راهنما:

دکتر رضا قوامی ریابی

دکتر فرامرز دولتی ارده جانی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

تابستان ۱۳۸۹



بسمه تعالی

تاریخ:  
شماره:  
پیوست:

کد: FR/EA/14

شماره ویرایش: صفر

### فرم شماره ۱۱ - فرم صورتجلسه دفاع پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تاییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

خانم / آقای \_\_\_\_\_ سمیه طبسی \_\_\_\_\_ رشته . مهندسی معدن - گرایش \_\_\_\_\_ اکتشاف \_\_\_\_\_ تحت عنوان  
مقایسه مدل سازی داده های گرانی سنجی ناحیه دهنو به روش نمودارهای احتمال و روش های متداول تفکیک انومالی در شناسایی  
ساختارهای ناقدیسی

که در تاریخ - ۸۹/۴/۱۳ - با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح زیر است :

قبول ( با درجه : - عالی - امتیاز - ۱۹/۲۵ - )  دفاع مجدد  مردود

۱- عالی ( ۲۰ - ۱۸ )

۲- بسیار خوب ( ۱۷/۹۹ - ۱۶ )

۳- خوب ( ۱۵/۹۹ - ۱۴ )

۴- قابل قبول ( ۱۳/۹۹ - ۱۲ )

امضاء	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیأت داوران
	استادیار	دکتر مرتضی کزازی بیلک	۱- استاد راهنما -۱
	دانشیار	دکتر فرزین دلخواه حائری	۲- استاد مشاور -۲
	استادیار	دکتر علی رضا عرب لبرکی	۳- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی
	استادیار	دکتر ابوالفضل کامکار رحیمی	۴- استاد ممتحن
	استادیار	دکتر حمید آکاخانی	۵- استاد ممتحن

تایید رئیس دانشکده:

تقدیم بہ

خانوادہ عزیزم

دنیا تکرار بجز کاوش خداوند است

بجز ای از این جستجو غافل مباش.

سپاس بیکران مرخدا ای را که مرا منت نهاد در طریقت آموختن. باد الهامد کاهست را سکر گزارم و بندگانت را در حد توان پاسکزار. از زحمات اساتید کرامتقدر آقایان دکتر رضا قوامی ریایی و دکتر فرامرز دولتی ارده جانی که به عنوان اساتید راهنمای اول و دوم در تمام مراحل این پایان نامه مرا راهنمایی نموده اند شکر و قدردانی می نمایم. از رهنمودهای علمی و معنوی سرکار خانم دکتر آرزو عابدی و جناب آقای دکتر نجابتی کمال شکر را دارم. از تمام دوستان عزیزم، خواهرم خانم سمیرا طبسی، آقای شاه حسینی و کلیه عزیزانی که در دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک در تمام این مدت مرا همراهی نموده اند، صمیمانه سپاسگزارم.

## تعهد نامه

اینجانب ..... سمیه طیبی ..... دانشجوی دوره کارشناسی ارشد / دکتری رشته ..... مهندسی اکتشاف معدن .....  
دانشکده مهندسی معدن نفت و ... دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه/ رساله مقایسه مدل سازی داده های گران سنگی ناحیه دهنو په روش ژئوفیزیک  
نمونه های احتمال و روش های متداول تفکیک آنومالی در شناسایی ..... تحت راهنمایی دکتر رضا قوامی ریایی و ..... متعهد می شوم .  
ساختارهای تاقیدی دکتر فرامرز دولتی ارده جانی

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

### تاریخ :

امضای دانشجو

### مالکیت نتایج و حق نشر

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

\* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه/ رساله وجود داشته باشد .

## چکیده

روش گرانی‌سنجی از جمله روش‌های ژئوفیزیکی است که جهت اکتشاف مقدماتی ذخایر هیدروکربوری و بررسی وضعیت ساختمان‌های زیر سطحی، وسعت و ضخامت حوضه‌های رسوبی به کار می‌رود. با تفکیک داده‌های گرانی به مولفه‌های مختلف باقی‌مانده و ناحیه‌ای مربوط به ساختارهای مختلف، اطلاعات مفیدی از ویژگی‌های ساختارهای عمومی منطقه مورد نظر و تغییرات زمین‌شناسی به وجود آمده در حوضه رسوبی و پتانسیل هیدروکربوری منطقه حاصل می‌شود. در این راستا بررسی و توسعه روش‌هایی که به تحلیل و تفسیر دقیق داده‌های اکتشافی پرداخته و با بررسی تغییرپذیری رفتار داده‌ها، اطلاعات دقیق‌تری از ساختارهای منطقه در اختیار قرار دهند، ضروری به نظر می‌رسد.

در این پایان‌نامه، داده‌های گرانی‌سنجی منطقه دهنو واقع در جنوب غرب ایران جهت اکتشاف ساختارها و آنومالی‌های مرتبط با ذخایر هیدروکربوری مورد تعبیر، تفسیر و مدل‌سازی قرار گرفتند. به منظور تفکیک و نمایان سازی آنومالی‌ها روش‌های مختلف جداسازی آنومالی‌ها شامل گسترش به بالا و پایین، مشتق، گریفین و روند سطحی توسط نرم‌افزارهای WingLink و Modelvision Pro به اجرا در آمد. نقشه‌های آنومالی باقی‌مانده حاصل از روش‌های فوق، حضور دو آنومالی مثبت A و B و آنومالی‌های منفی C، D و E و آنومالی F ناشی از رخنمون‌های اطراف را در منطقه نشان می‌دهند. پس از مشخص شدن وضعیت ساختمان‌های منطقه و تعیین منابع زمین‌شناسی مولد آنومالی‌ها، مدل‌سازی‌های دو و سه بعدی روی نقشه آنومالی باقی‌مانده حاصل از روش روند سطحی مرتبه سه، به منظور تعیین پارامترهای هندسی و فیزیکی ساختمان‌های مذکور انجام شد. مدل‌سازی‌های دو و سه بعدی علاوه بر تعیین نوع ساختارهای منطقه، عمق کم‌قرارگیری آنومالی‌های مثبت A1، A2 و B، رخنمون سطحی تاقدیس دهنو و اعماق زیاد آنومالی‌های منفی D1، D2 و D3 که حاصل افزایش ضخامت رسوبات به سمت شمال غرب منطقه است را نشان می‌دهند. بر اساس نتایج مدل‌سازی سه بعدی، آنومالی A1 با عمق ۱۴۶۰ متر، ابعاد

۱۴۰۰۸×۷۵۱۵ متر ، آنومالی A2 با عمق ۱۰۷۳ متر، ابعاد ۱۱۸۶۰×۶۱۹۹ متر و آنومالی B با عمق ۱۲۳۵ متر و ابعاد ۱۱۵۰×۹۶۱۲ متر، آنومالی‌های تاقدیسی منطقه را تشکیل می‌دهند که می‌توانند از نظر پتانسیل هیدروکربوری مورد بررسی بیشتر قرار گیرند.

در ادامه با بهره‌گیری از روش مدل‌سازی نمودار احتمال، داده‌های گرانی‌سنجی منطقه مورد تفکیک قرار گرفتند. در این روش که برای اولین بار روی داده‌های گرانی اجرا شده است، با بررسی تغییرپذیری رفتار داده‌های گرانی روی نمودار احتمال، حدود اثرات مولفه‌های مختلف باقی‌مانده و ناحیه‌ای داده‌های گرانی بر اساس تغییرات شیب بخش‌های مختلف مدل برازش شده بر داده‌ها مشخص شدند. اثرات مربوط به حضور مقادیر ناحیه‌ای در داده‌های باقی‌مانده تفکیک یافته معین گردید. در نقشه تقریب بهینه مولفه باقی‌مانده داده‌های گرانی حاصل از روش مدل‌سازی نمودار احتمال، آنومالی A مربوط به تاقدیس دهنو با جزئیات بیشتری نشان داده شده است. بررسی‌های آماری و نتایج حاصل از آزمون تی-ستیودنت همبستگی بالای تغییرات دو سری داده نقشه‌های باقی‌مانده روش روند سطحی مرتبه سه و مدل‌سازی نمودار احتمال مربوط به محدوده تاقدیس دهنو را تایید می‌نمایند.

**کلمات کلیدی:** گرانی‌سنجی، مدل‌سازی، نمودار احتمال، آنومالی، روند سطحی، Modelvision Pro،

WingLink



## لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

۱- طبسی، س.، قوامی ریایی، ر.، دولتی ارده جانی، ف.، محمدو خراسانی، م.، "معرفی کاربردهای مدل‌سازی نمودار احتمال در اکتشافات معدنی و مسائل زیست محیطی به همراه مثال‌های موردی"، هفتمین کنفرانس دانشجویی مهندسی معدن ایران، تبریز، آبان ۸۸.

۲- طبسی، س.، قوامی ریایی، ر.، دولتی ارده جانی، ف.، محمدو خراسانی، م. "مبانی روش مدل‌سازی نمودارهای احتمال در مقایسه با روش‌های متداول تفکیک آنومالی‌های گرانی سنجی"، سومین کنفرانس مهندسی معدن ایران، یزد، بهمن ۸۸.

## فهرست مطالب

أ.....	تصویب‌نامه
ب.....	تقدیم اثر.....
ج.....	تشکر و قدردانی.....
د.....	اقرارنامه و واگذاری حقوق.....
ه.....	چکیده.....
ز.....	لیست مقالات مستخرج از پایان‌نامه.....
ح.....	فهرست مطالب.....
م.....	فهرست شکل‌ها.....
ف.....	فهرست جداول.....

## فصل اول: کلیات

۲.....	۱-۱- مقدمه.....
۲.....	۱-۲-۱- گرانی‌سنجی و کاربرد آن در اکتشاف ذخایر هیدروکربوری.....
۴.....	۱-۲-۱- برداشت و جمع‌آوری اطلاعات و داده‌ها.....
۵.....	۱-۲-۲- مرحله کاهش داده‌ها و اعمال تصحیحات.....
۶.....	۱-۲-۳- مرحله تفکیک داده‌ها و آشکارسازی آنومالی‌ها.....
۷.....	۱-۲-۴- تعیین پارامترها و مشخصات فیزیکی منابع آنومالی‌ها.....
۷.....	۱-۲-۵- تفسیر مدل فیزیکی به منبع زمین‌شناسی.....

- ۳-۱- سابقه مطالعات انجام شده در زمینه به کارگیری روش‌های گرانی‌سنجی ..... ۷
- ۴-۱- نمودارهای احتمال ..... ۹
- ۵-۱- خلاصه و ضرورت انجام طرح ..... ۱۱
- ۶-۱- ساختار پایان‌نامه ..... ۱۳

## فصل دوم: زمین‌شناسی و موقعیت جغرافیایی منطقه دهنو

- ۱-۲- مقدمه ..... ۱۶
- ۲-۲- موقعیت جغرافیایی و آب و هوایی منطقه دهنو ..... ۱۶
- ۳-۲- وضعیت زمین‌شناسی منطقه ..... ۱۷
- ۴-۲- مطالعات و عملیات اکتشافی منطقه ..... ۲۲

## فصل سوم: تعبیر و تفسیر و مدل‌سازی داده‌های گرانی‌سنجی منطقه دهنو

- ۱-۳- مقدمه ..... ۲۷
- ۲-۳- اصول و نظریات مقدماتی گرانی ..... ۲۷
- ۳-۳- عوامل موثر بر شتاب جاذبه زمین ..... ۲۸
- ۱-۳-۳- تصحیحات گرانی ..... ۲۹
- ۱-۳-۳-۱- تصحیح عرض جغرافیایی ..... ۲۹
- ۳-۳-۱-۲- تصحیح ارتفاع ..... ۳۰
- ۳-۳-۱-۳- تصحیح توپوگرافی ..... ۳۰

- ۳۰ ..... تصحیح جزر و مد ..... ۳-۱-۴-۳
- ۳۴ ..... تفکیک آنومالی‌ها ..... ۳-۴-۴
- ۳۶ ..... روش گریفین ..... ۳-۴-۱-۴
- ۳۶ ..... روش گسترش به بالا ..... ۳-۴-۲-۴
- ۳۷ ..... روش گسترش به پایین ..... ۳-۴-۳-۴
- ۳۸ ..... روش مشتق قائم ..... ۳-۴-۴-۴
- ۳۹ ..... روش تحلیل روند سطحی ..... ۳-۴-۵-۴
- ۳۹ ..... مدل‌سازی ..... ۳-۵-۵
- ۴۱ ..... مدل‌سازی پیشرو ..... ۳-۵-۱-۴
- ۴۱ ..... مدل‌سازی معکوس ..... ۳-۵-۲-۴
- ۴۳ ..... تعبیر و تفسیر داده‌های گرانی‌سنجی منطقه دهنو ..... ۳-۶-۶
- ۴۳ ..... نقشه آنومالی بوگه ..... ۳-۶-۱-۴
- ۴۴ ..... روش روند سطحی ..... ۳-۶-۲-۴
- ۴۶ ..... روش مشتق قائم ..... ۳-۶-۳-۴
- ۴۸ ..... روش گسترش به پایین ..... ۳-۶-۴-۴
- ۵۰ ..... روش گسترش بالا ..... ۳-۶-۵-۴
- ۵۱ ..... مدل‌سازی ساختمان‌های زمین‌شناسی موجود در ناحیه دهنو ..... ۳-۷-۷
- ۵۱ ..... مدل‌سازی دو بعدی ..... ۳-۷-۱-۴
- ۵۹ ..... مدل‌سازی سه بعدی ..... ۳-۷-۲-۴

## فصل چهارم: مدل سازی نمودار احتمال داده‌های گرانی سنجی منطقه دهنو

- ۴-۱- مقدمه ..... ۶۶
- ۴-۲- روش‌های تخمین مقدار زمینه و حد آستانه‌ای ..... ۶۶
- ۴-۳- نمودار احتمال ..... ۶۹
- ۴-۴- مدل سازی نمودارهای احتمال ..... ۷۲
- ۴-۵- مدل سازی نمودار احتمال داده‌های گرانی سنجی تاق‌دیس دهنو ..... ۷۵
- ۴-۶- مدل سازی نمودار احتمال داده‌های گرانی سنجی زیرجامعه آنومالی ..... ۸۰
- ۴-۷- تفکیک مولفه باقی مانده داده‌های گرانی سنجی ..... ۸۲

## فصل پنجم: مقایسه نتایج حاصل از روش مدل سازی نمودار احتمال و روش -

### های متداول تفکیک آنومالی‌ها

- ۵-۱- مقدمه ..... ۸۸
- ۵-۲- مقایسه روش‌ها ..... ۸۸
- ۵-۳- آزمون تی-ستیودنت ..... ۹۲

## فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

- ۶-۱- نتیجه‌گیری ..... ۹۹
- ۶-۲- پیشنهادات ..... ۱۰۱

## منابع و ماخذ

۱۰۳.....منابع و ماخذ

## پیوست

۱۱۸.....پیوست الف

۱۳۱.....پیوست ب

۱۳۶.....پیوست ج

## فهرست شکل‌ها

### فصل اول: کلیات

- شکل (۱-۱) نمایش شماتیکی اصول اندازه‌گیری گرانی روی یک ساختار زمین‌شناسی ..... ۳
- شکل (۲-۱) آنومالی گرانی حاصل از توده‌های با شکل‌های مختلف ..... ۴
- شکل (۳-۱) نمودار فراوانی یک مجموعه داده که شامل چند زیر جامعه می باشد ..... ۱۰
- شکل (۴-۱) نمای شماتیک مراحل اجرای تحقیق حاضر ..... ۱۴

### فصل دوم: زمین‌شناسی و موقعیت جغرافیایی منطقه دهنو

- شکل (۱-۲) موقعیت جغرافیایی و راه‌های دستیابی به منطقه دهنو ..... ۱۷
- شکل (۲-۲) مدل ارتفاعی ساختمان دهنو و ساختارهای اطراف آن ..... ۱۸
- شکل (۳-۲) نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه که در امتداد تقریباً عمود بر آن پروفیل‌های لرزه‌نگاری به صورت LA8 و LA10 نشان داده شده است ..... ۲۰
- شکل (۴-۲) مقطع راندگی اصلی زاگرس ..... ۲۱
- شکل (۵-۲) نقشه شماتیک تاقدیس دهنو ..... ۲۲
- شکل (۶-۲) مقطع زمانی لرزه‌نگاری پروفیل LA 8 ..... ۲۴
- شکل (۷-۲) مقطع زمانی لرزه‌نگاری پروفیل LA 10 ..... ۲۴
- شکل (۸-۲) موقعیت ایستگاه‌های برداشت گرانی بر روی عکس ماهواره‌ای منطقه دهنو ..... ۲۵

## فصل سوم: تعبیر و تفسیر و مدل سازی داده های گرانی سنجی منطقه دهنو

- شکل (۱-۳) پروفیل های مربوط به آنومالی گرانی لایه های گسل خورده با اختلاف دانسیته و اعماق مختلف ..... ۳۲
- شکل (۲-۳) آنومالی گرانی یک تاقدیس گسل خورده با لایه های با دانسیته بالا ..... ۳۳
- شکل (۳-۳) پروفیل های مربوط به آنومالی گرانی یک گنبد نمکی که تاثیر تغییرات دانسیته و عمق را نشان می دهد ..... ۳۴
- شکل (۴-۳) نقشه آنومالی بوگه منطقه دهنو ..... ۴۴
- شکل (۵-۳) نقشه آنومالی ناحیه ای روند ۳ گرانی منطقه دهنو ..... ۴۵
- شکل (۶-۳) نقشه آنومالی باقی مانده روند ۳ گرانی منطقه دهنو ..... ۴۶
- شکل (۷-۳) نقشه مشتق اول قائم گرانی منطقه دهنو در حوزه زمان ..... ۴۷
- شکل (۸-۳) نقشه مشتق دوم قائم گرانی منطقه دهنو در حوزه زمان ..... ۴۸
- شکل (۹-۳) نقشه آنومالی گسترش یافته به پایین با عمق گسترش ۱۰۰۰ متر منطقه دهنو ..... ۴۹
- شکل (۱۰-۳) نقشه آنومالی گسترش یافته به بالا منطقه دهنو با ارتفاع گسترش ۱۰۰۰ متر ..... ۵۰
- شکل (۱۱-۳) مقاطع رسم شده بر روی آنومالی های موجود در نقشه آنومالی باقی مانده روش روند سطحی مرتبه ۳ گرانی و مدل های دو بعدی به دست آمده برای هر یک از آنومالی ها ..... ۵۲
- شکل (۱۲-۳) مدل دو بعدی آنومالی A1 با خطای  $RMS=1/927$  ..... ۵۴
- شکل (۱۳-۳) مدل دو بعدی آنومالی A2 با خطای  $RMS=1/731$  ..... ۵۴
- شکل (۱۴-۳) مدل دو بعدی آنومالی B با خطای  $RMS=1/883$  ..... ۵۵
- شکل (۱۵-۳) مدل دو بعدی آنومالی C1 با خطای  $RMS=1/997$  ..... ۵۵



- شکل (۱۶-۳) مدل دو بعدی آنومالی C2 با خطای  $RMS=1/788$  ..... ۵۶
- شکل (۱۷-۳) مدل دو بعدی آنومالی D1 با خطای  $RMS=1/856$  ..... ۵۶
- شکل (۱۸-۳) مدل دو بعدی آنومالی D2 با خطای  $RMS=1/763$  ..... ۵۷
- شکل (۱۹-۳) مدل دو بعدی آنومالی D3 با خطای  $RMS=1/999$  ..... ۵۷
- شکل (۲۰-۳) مدل دو بعدی آنومالی E با خطای  $RMS=1/988$  ..... ۵۸
- شکل (۲۱-۳) مدل‌های سه بعدی بر روی نقشه آنومالی باقی‌مانده روند سطحی مرتبه ۳ گرانی  
با خطای  $RMS=2/998$  ..... ۶۰
- شکل (۲۲-۳) نمای سه بعدی آنومالی گرانی باقی‌مانده روند سطحی مرتبه ۳ ..... ۶۱
- شکل (۲۳-۳) نمای سه بعدی از پاسخ مدل‌سازی سه بعدی بر روی نقشه آنومالی باقی‌مانده  
روند سطحی مرتبه ۳ گرانی دهندو ..... ۶۱
- شکل (۲۴-۳) نمای سه بعدی از پاسخ مدل‌سازی سه بعدی به همراه مدل‌های به دست آمده  
برای آنومالی‌ها ..... ۶۲

### فصل چهارم: مدل‌سازی نمودار احتمال داده‌های گرانی سنجی منطقه دهندو

- شکل (۱-۴) توزیع فراوانی دو جامعه آنومالی و زمینه ..... ۶۹
- شکل (۲-۴) نمودار فراوانی یک سری داده که شامل دو زیرجامعه است ..... ۷۰
- شکل (۳-۴) نمودار احتمال داده‌های شکل (۲-۴) ..... ۷۱
- شکل (۴-۴) نمودار احتمال جامعه A با توزیع نرمال و جامعه B با توزیع غیر نرمال را نشان  
می‌دهد ..... ۷۲
- شکل (۵-۴) نمودار احتمال چند جامعه با متوسط تغییرات متفاوت و میزان پراکندگی یکسان... ۷۴

- شکل (۴-۶) هیستوگرام فراوانی داده های گرانی سنجی منطقه دهنو..... ۷۶
- شکل (۴-۷) نمودار احتمال داده های گرانی سنجی منطقه دهنو..... ۷۷
- شکل (۴-۸) مدل بهینه برازش شده بر نمودار احتمال داده های گرانی سنجی تاقدیس دهنو به  
روش تابع بهترین برازش بر اساس داده های خام پس از سه مرتبه تکرار مدل سازی..... ۷۸
- شکل (۴-۹) نمودار احتمال داده های تفکیک شده..... ۸۱
- شکل (۴-۱۰) مدل سازی نمودار احتمال داده های گرانی سنجی تفکیک شده تاقدیس دهنو با  
روش تابع بهترین برازش بر اساس داده های خام پس از پنج مرحله تکرار مدل سازی..... ۸۱
- شکل (۴-۱۱) تقریب اولیه از مولفه باقی مانده داده های گرانی سنجی منطقه دهنو که از روش  
مدل سازی نمودار احتمال حاصل شده است..... ۸۳
- شکل (۴-۱۲) تقریب مرتبه دوم از مولفه باقی مانده داده های گرانی سنجی منطقه دهنو پس از  
مدل سازی نمودار احتمال..... ۸۵
- شکل (۴-۱۳) تقریب بهینه از مولفه باقی مانده مربوط به داده های گرانی سنجی ناحیه دهنو..... ۸۶

## فصل پنجم: مقایسه نتایج حاصل از روش مدل سازی نمودار احتمال و روش -

### های متداول تفکیک آنومالی ها

- شکل (۵-۱) منحنی همبستگی بین زوج داده های سری اول حاصل از مدل سازی نمودار احتمال  
و روند سطحی مرتبه ۳..... ۹۴
- شکل (۵-۲) منحنی همبستگی بین زوج داده های سری دوم حاصل از مدل سازی نمودار  
احتمال و روند سطحی مرتبه ۳..... ۹۴

شکل (۳-۵) منحنی همبستگی بین زوج داده‌های سری سوم حاصل از مدل‌سازی نمودار  
احتمال و روند سطحی مرتبه ۳..... ۹۵

## فهرست جداول

### فصل سوم: تعبیر و تفسیر و مدل‌سازی داده‌های گرانی‌سنجی منطقه دهنو

جدول (۱-۳) نتایج حاصل از مدل‌سازی دو بعدی معکوس پارامتری ..... ۵۳  
جدول (۲-۳) نتایج حاصل از مدل‌سازی سه بعدی معکوس پارامتری ..... ۶۳

### فصل چهارم: مدل‌سازی نمودار احتمال داده‌های گرانی‌سنجی منطقه دهنو

جدول (۱-۴) نتایج حاصل از مدل‌سازی نمودار احتمال داده‌های گرانی‌سنجی تاقدیس دهنو..... ۷۹  
جدول (۲-۴) نتایج حاصل از مدل‌سازی مجدد داده‌های زیرجامعه آنومالی ..... ۸۲

### فصل پنجم: مقایسه نتایج حاصل از روش مدل‌سازی نمودار احتمال و روش -

#### های متداول تفکیک آنومالی‌ها

جدول (۱-۵) مقایسه روش‌های متداول تفکیک آنومالی‌های گرانی‌سنجی با روش مدل‌سازی  
نمودارهای احتمال ..... ۹۱

- جدول (۲-۵) اطلاعات آماری سری اول زوج نمونه مربوط به نقشه‌های باقی‌مانده روند سطحی  
 مرتبه ۳ و مدل‌سازی نمودار احتمال ..... ۹۲
- جدول (۳-۵) اطلاعات آماری سری دوم زوج نمونه مربوط به نقشه‌های باقی‌مانده روند سطحی  
 مرتبه ۳ و مدل‌سازی نمودار احتمال ..... ۹۳
- جدول (۴-۵) اطلاعات آماری سری سوم زوج نمونه مربوط به نقشه‌های باقی‌مانده روند سطحی  
 مرتبه ۳ و مدل‌سازی نمودار احتمال ..... ۹۳
- جدول (۵-۵) نتایج آزمون تی-ستیودنت زوج نمونه سری اول داده‌های حاصل از مدل‌سازی  
 نمودار احتمال و روند سطحی مرتبه ۳ ..... ۹۶
- جدول (۶-۵) نتایج آزمون تی-ستیودنت زوج نمونه سری دوم داده‌های حاصل از مدل‌سازی  
 نمودار احتمال و روند سطحی مرتبه ۳ ..... ۹۶
- جدول (۷-۵) نتایج آزمون تی-ستیودنت زوج نمونه سری سوم داده‌های حاصل از مدل‌سازی  
 نمودار احتمال و روند سطحی مرتبه ۳ ..... ۹۶

## فصل اول:

### کلیات

## ۱-۱- مقدمه

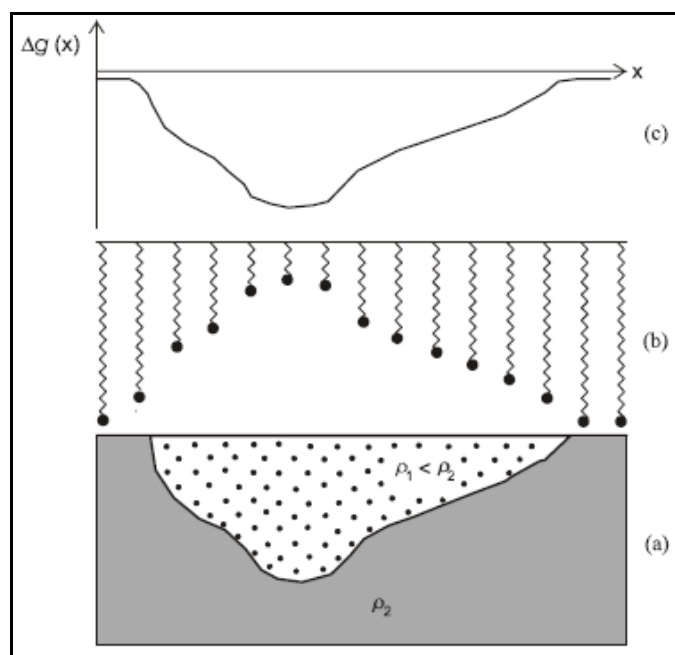
دانش مطالعه زمین با اندازه‌گیری یکی از ویژگی‌های فیزیکی آن را علم ژئوفیزیک می‌نامند. روش‌های ژئوفیزیکی یکی از روش‌های سریع و کم‌هزینه برای اکتشاف می‌باشند که قادر به آشکارسازی ناپیوستگی‌های فیزیکی متمایز کننده خواص فیزیکی یک محیط با محیط مجاور خود، می‌باشند و در تمام مراحل اکتشاف از پی‌جویی تا اکتشاف نیمه تفصیلی و حین استخراج ممکن است استفاده شوند. اکتشافات ژئوفیزیکی، از جمله روش‌هایی است که برای اکتشاف و پی‌جویی ذخایر عمیق که رخنمون سطحی ندارند و در سطح زمین قابل مشاهده نیستند، بکار می‌رود. در این میان با توجه به نیاز روزافزون به نفت و گاز و لزوم پی‌جویی و اکتشاف منابع هیدروکربوری جدید، می‌توان بررسی‌های ژئوفیزیکی را با صرفه اقتصادی و کاربرد آسان در پی‌جویی و اکتشاف ذخایر هیدروکربوری به کار برد.

## ۱-۲- گرانی‌سنجی و کاربرد آن در اکتشاف ذخایر هیدروکربوری

روش‌های ژئوفیزیکی از آغاز دهه ۱۹۴۰ در امر اکتشاف گاز و نفت به کار گرفته شده‌اند [۱۶]. روش‌های گرانی‌سنجی، مغناطیس‌سنجی و لرزه‌ای از جمله روش‌هایی هستند که برای تعیین محل حوضه‌های رسوبی و تشخیص ساختارهای حاوی نفت و هیدروکربورها، قبل از حفاری‌های پر هزینه به کار می‌روند. هم‌چنین توسط نقشه‌های گرانی‌سنجی می‌توان مسیر مهاجرت هیدروکربورها را شناسایی نمود [۸۶ و ۱۳۱]. در اکتشافات هیدروکربوری، هدف اصلی مطالعات ژئوفیزیکی پی‌بردن به وجود نفتگیرها و مشخص نمودن و اطلاع از وضع طبقات موجود در اعماق مختلف می‌باشد.

روش گرانی‌سنجی، به دلیل اختلاف دانسیته بین ساختارهای حاوی مواد هیدروکربوری و تشکیلات اطراف‌شان، با سرعت نسبتاً زیاد و هزینه کم، به شناسایی این ساختارها پرداخته و عمق و وسعت حوضه

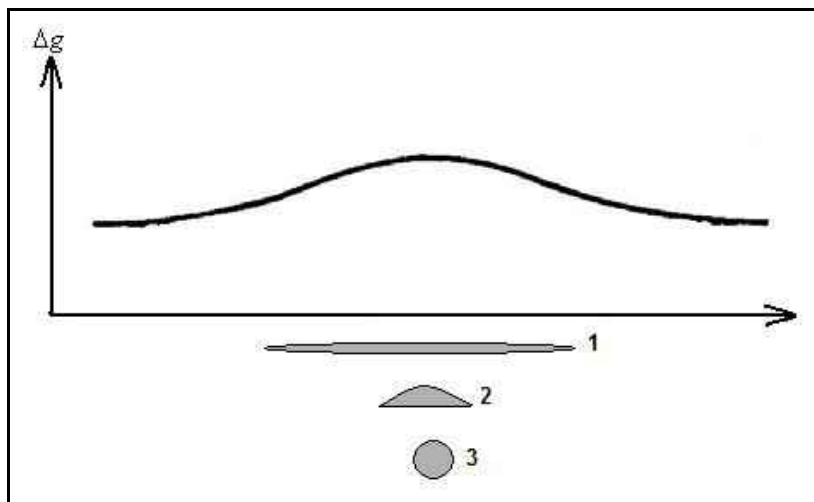
رسوبی مورد نظر را تعیین می‌نماید. شکل (۱-۱) اصول اندازه‌گیری گرانی در ساختاری با دانسیته  $\rho_1$ ، کم‌تر از دانسیته مواد در برگیرنده آن  $\rho_2$  ( $\rho_1 < \rho_2$ ) را به صورت شماتیک نشان می‌دهد. در این شکل تغییرات طول فنر گرانی‌سنج و منحنی گرانی در طول پروفیل مورد اندازه‌گیری با تغییر اختلاف دانسیته بین ساختار و مواد دربرگیرنده آن نشان داده شده است.



شکل (۱-۱) نمایش شماتیکی اصول اندازه‌گیری گرانی روی یک ساختار زمین‌شناسی. (a) ساختار زمین‌شناسی با دانسیته  $\rho_1$  و مواد در برگیرنده آن با دانسیته  $\rho_2$ ، (b) تغییرات طول فنر گرانی‌سنج در امتداد پروفیل اندازه‌گیری و (c) تغییرات گرانی اندازه‌گیری شده در امتداد پروفیل را نشان می‌دهد [۵۹].

اما از معایبی که برای این روش می‌توان برشمرد این است که تعداد زیادی منابع زیرسطحی با اشکال مختلف می‌توانند آنومالی‌های یکسانی را در سطح زمین نشان دهند. شکل (۲-۱) آنومالی یکسانی از ساختارهای مختلف با ضخامت‌های متفاوت موجود در اعماق مختلف را نشان می‌دهد. در این حالت برای

کاهش دامنه ابهامات و افزایش اعتبار اطلاعات کمی و غیر توصیفی روش‌های گرانی‌سنجی، از اطلاعات کیفی زمین‌شناسی باید بهره گرفت. هر چه میزان این اطلاعات بیشتر باشد، از ابهامات کاسته شده و تعبیر و تفسیر مطمئن‌تر می‌باشد [۱۳۳].



شکل (۱-۲) شکل‌های مختلف موجود در اعماق متفاوت که جرم کل یکسان دارند، گرانی یکسانی نشان می‌دهند. آنومالی گرانی مشاهده شده را می‌توان به کره یا توده‌های پهن و کم عمق ۱ و ۲ نسبت داد.

بکارگیری روش گرانی‌سنجی را می‌توان در مراحل زیر خلاصه نمود [۸۲]:

### ۱-۲-۱- برداشت و جمع‌آوری اطلاعات و داده‌ها

در این مرحله با طراحی شبکه برداشت داده‌ها بر اساس نوع برداشت (زمینی یا هوایی) و مشخصات منطقه، پارامترهایی نظیر امتداد پروفیل‌های برداشت، فواصل پروفیل‌ها، فواصل ایستگاه‌های برداشت، ارتفاع پرواز و نوع وسیله اندازه‌گیری تعیین می‌گردند. سپس داده‌ها بر اساس دقت مورد نظر اندازه‌گیری و



ثبت می‌شوند. اندازه‌گیری گرانی زمین به وسیله دستگاه‌های گرانی‌سنج انجام می‌شود که مولفه قائم گرانی زمین را به طور مستقیم اندازه‌گیری می‌نمایند. گرانی‌سنج‌ها به دو نوع پایدار<sup>۱</sup> و ناپایدار<sup>۲</sup> تقسیم می‌شوند. دو نوع گرانی‌سنج که بیشتر در کارهای مهندسی و زیست محیطی کاربرد دارند گرانی‌سنج‌های ساخت شرکت Lacoste and Romberg (مدل‌های D، E و G) و شرکت Scintrex (مانند CG3- M Autograv) می‌باشند [۱۰۶]. هم‌زمان با عملیات برداشت گرانی در هر ایستگاه، طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه مورد نظر نیز اندازه‌گیری می‌شود. در یک روش نسبتاً جدید، گرانی هر ایستگاه در مدت زمان مشخصی اندازه‌گیری می‌شود که به روش 4-D یا گرانی متغیر با زمان معروف است<sup>۳</sup> [۷۹ و ۱۳۵]. این تکنیک در مطالعات مهندسی و زیست محیطی به کار می‌رود [۱۰۶].

#### ۱-۲-۲- مرحله کاهش داده‌ها و اعمال تصحیحات

داده‌های گرانی حاصل از اندازه‌گیری، نشان دهنده میدان گرانی حاصل از تمام اجرام موجود در زمین و اثرات حاصل از چرخش زمین می‌باشند. برای حذف یا کاهش اثراتی که مربوط به تغییرات دانسیته زیر سطح نمی‌باشند تصحیحات بوگه<sup>۴</sup>، هوای آزاد<sup>۵</sup>، زمینگان<sup>۶</sup> و عرض جغرافیایی<sup>۷</sup> روی داده‌های مشاهده شده اعمال می‌گردند. به این ترتیب اندازه‌گیری‌ها بر روی یک سطح افقی مبنا قرار گرفته و می‌توان فیلترهای مختلف را جهت تفسیر بر روی آنها اعمال نمود.

---

1 - Stable gravimeter

2- Unstable gravimeter

3 - Time- Varying gravity

4 - Bouguer correction(BC)

5 - Free air correction(FAC)

6 - Terrain correction

7 - Latitude correction

### ۱-۲-۳- مرحله تفکیک داده‌ها و آشکارسازی آنومالی‌ها

هدف اصلی مطالعات گرانی‌سنجی، کسب اطلاعات از بخش‌های زیرسطحی زمین است. با بررسی مقادیر گرانی برداشت شده مشخص می‌گردد که میدان گرانی اندازه‌گیری شده شامل اثراتی می‌باشد که به آنومالی‌های زمین‌شناسی احتمالی یا ساختارهایی که در پی شناخت آنها هستیم، مربوط نیست. میدان اندازه‌گیری شده، مجموعه‌ای از اثرات مربوط به ساختارهای با عمق و دانسیته مختلف مربوط به محدوده مورد مطالعه یا اطراف آن را نشان می‌دهد.

جهت استفاده موثر از داده‌های گرانی‌سنجی در تعیین محل و طبیعت ساختارهای زیرسطحی، آنومالی‌های گرانی حاصل از این ساختارها باید تفکیک شوند. در نتیجه نیاز هست که اثرات مربوط به یک ساختار منفرد را از مقادیر مشاهده شده جدا نمود. این فرآیند به تفکیک مولفه باقی‌مانده<sup>۱</sup> از مقادیر ناحیه‌ای<sup>۲</sup> معروف است [۱۵۱].

آنومالی گرانی باقی‌مانده می‌تواند در مطالعات کیفی ساختار لایه‌های زیرین، تغییرات در جریان رسوب‌گذاری یک حوضه رسوبی [۱۳۷، ۵۴، ۱۱۷ و ۱۰۹]، بررسی منابع جریان آب زیرزمینی و پتانسیل نفت و گاز یک حوضه رسوبی، مفید واقع شود [۱۰۹].

در فرآیند تفکیک مقادیر باقی‌مانده و ناحیه‌ای سعی می‌شود تا اشکال حاصل از تغییرات دانسیته نزدیک سطح از اشکالی که توسط اجرام واقع در اعماق بیشتر تولید شده‌اند، جدا شوند. جهت به دست آوردن مقادیر باقی‌مانده روش‌های مختلفی وجود دارد که با کاربرد این روش‌ها و شناسایی و تعیین محل منابع زمین‌شناسی مولد آنومالی‌ها، تفسیر کیفی داده‌ها در این مرحله خاتمه می‌یابد.

---

<sup>۱</sup> - Residual

<sup>۲</sup> - Regional

## ۱-۲-۴- تعیین پارامترها و مشخصات فیزیکی منابع مولد آنومالی‌ها

از جمله مسائل مهم در تعبیر و تفسیر داده‌های گرانی‌سنجی، تعیین شکل، عمق و وضع اجسام تشکیل‌دهنده آنومالی‌ها می‌باشد. در این مرحله با استفاده از یک سری اطلاعات از جمله وضعیت زمین‌شناسی منطقه، دانسیته و غیره یک مدل مفهومی برای منبع مولد آنومالی ارائه می‌شود. با اصلاح این مدل توسط فرآیندهای مدل‌سازی پیشرو<sup>۱</sup> و معکوس<sup>۲</sup>، توزیع و گسترش منبع ایجاد کننده آنومالی تعیین می‌گردد.

## ۱-۲-۵- تفسیر مدل فیزیکی به منبع زمین‌شناسی

در این مرحله، مدل فیزیکی حاصل از فرآیندهای مدل‌سازی با استفاده از اطلاعات زمین‌شناسی منطقه به صورت مفهوم زمین‌شناسی تفسیر شده و به صورت کیفیت‌های فیزیکی بیان می‌شود تا به وسیله روش‌های محاسباتی مورد استفاده قرار گیرد.

## ۱-۳- سابقه مطالعات انجام شده در زمینه به کارگیری روش‌های

### گرانی‌سنجی

روش گرانی‌سنجی یکی از موثرترین روش‌های اکتشافی می‌باشد که کاربرد این روش توسط محققین زیادی گزارش شده است. طی سالیان گذشته، روش‌های مختلفی جهت پردازش و تفسیر کمی و کیفی داده‌های گرانی‌سنجی به کار گرفته شده‌اند. مطالعات انجام شده در مرحله تفسیر داده‌های گرانی‌سنجی و حذف اثرات ناحیه‌ای از داده‌های مشاهده شده منجر به ارائه روش‌هایی نظیر تحلیل روند سطحی<sup>۳</sup> [۲۳]،

<sup>۱</sup> - Forward modeling

<sup>۲</sup> - Inverse modeling

<sup>۳</sup> - Trend surface analysis

۱۳۹، ۱۱۵، ۶۰، ۱۵۶، ۴۶، ۱۴۴، ۵۶، ۷۳، ۲۱، ۱۳۶ و ۲۷]، وزن‌های شعاعی<sup>۱</sup> [۷۲ و ۵۷]، استریپینگ<sup>۲</sup> [۷۵ و ۴۸]، روش‌های طول موج پایین گذر<sup>۳</sup>، بالا گذر<sup>۴</sup> و پهنه گذر<sup>۵</sup> [۱۶۶، ۱۵۴، ۹۸ و ۱۲۱]، روش‌های مشتق<sup>۶</sup> [۱۲۴، ۵۷ و ۱۰۴]، روش‌های گسترش<sup>۷</sup> [۱۲۴، ۵۱، ۱۱۰، ۴۴، ۵۰، ۳۲، ۷۸، ۹۱، ۱۶۴، ۸۸، ۱۲۷، ۱۶۱، ۱۶۳ و ۶۳]، روش‌های تخمین منطقی<sup>۸</sup> [۲۲] و روش تقریب اسپلاین دو مکعبی<sup>۹</sup> [۲۹ و ۸۵] شده است. علاوه بر این روش‌ها، فیلترهایی نظیر وینر<sup>۱۰</sup> [۱۲۲]، تبدیلات فوریه سریع<sup>۱۱</sup> [۲۸، ۴۴، ۳۶، ۳۱ و ۱۰۵] و فیلترهای بازگشتی<sup>۱۲</sup> [۳۱ و ۱۵۵] نیز جهت تفکیک داده‌های گرانی‌سنجی ارائه شده‌اند. اگر چه این روش‌ها با تفکیک مولفه باقی‌مانده و ناحیه‌ای، اطلاعات مفیدی را از ویژگی‌های ساختارهای عمومی منطقه نشان می‌دهند؛ اما طی دهه‌های گذشته، در اصول و مبانی این روش‌ها تغییراتی ایجاد نشده است و با وجود صرف وقت و هزینه زیاد جهت تفکیک داده‌ها، هیچ‌گاه تفکیک به صورت کامل انجام نشده و طیف حاصل از اشکال مورد نظر، به صورت کامل یا جزئی با طیف مولفه روند ناحیه‌ای همپوشانی دارد. به منظور رسیدن به شناخت بهتر از داده‌های گرانی‌سنجی، طی سال‌های اخیر روش‌های مختلفی نظیر روش اجزاء محدود<sup>۱۳</sup> [۱۰۱ و ۸۹]، میدان تصادفی مارکوف تفاضلی<sup>۱۴</sup> [۱۵۳]، روش شبکه عصبی سلولی<sup>۱۵</sup> [۲۴]، روش تفکیک‌کننده روبوست بهینه<sup>۱۶</sup> [۱۵۷] و روش‌های دیگر جهت تفکیک داده‌های گرانی‌سنجی

1 - Radial weights method

2 - Stripping

3 - low pass

4 - High pass

5 - Band pass

6 - Derivative

7 - Continuation methods

8 - Rational approximation method

9 - Bicubic spline approximation method

10 - Wiener

11 - Fast Fourier Transform

12 - Recursion Filters

13 - Finite element method

14 - Differential Markov Random Field(DMRF)

15 - Cellular neural network

16 - Optimal Robust Separator(ORS)

پیشنهاد شده‌اند که محدودیت‌های کم‌تری نسبت به روش‌های متداول تفکیک داشته و در تفکیک مولفه‌های ناحیه‌ای و باقی‌مانده با سرعت و دقت بیشتر عمل می‌نمایند.

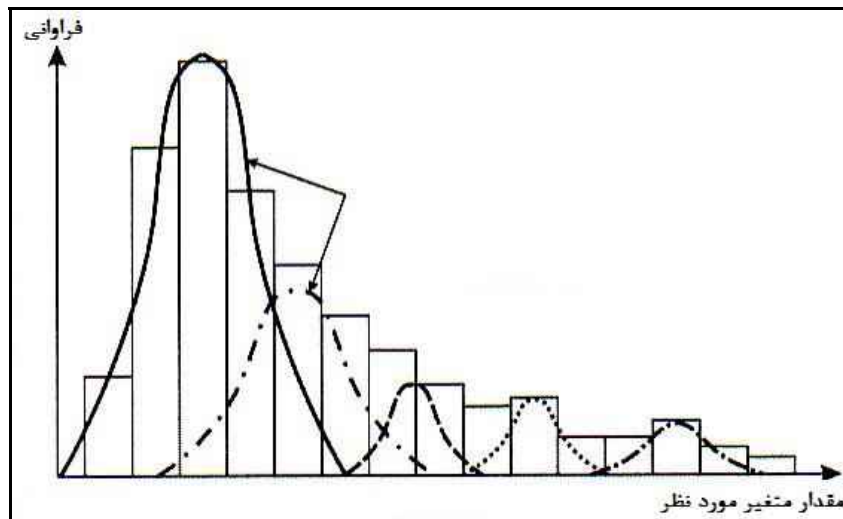
فرآیند مدل‌سازی با هدف تعیین پارامترهای هندسی و فیزیکی ساختارهای زمین‌شناسی، اطلاعات درباره عمق، ابعاد و یا توزیع پارامتر فیزیکی مورد اندازه‌گیری در زیر زمین را به صورت کمی ارائه می‌دهد. در زمینه مدل‌سازی پیشرو تحقیقات متعددی انجام شده است [۲۵، ۱۱۱، ۱۱۲، ۹۵، ۶۶، ۱۴۹، ۱۵۰، ۶۹، ۱۱۴، ۴۵، ۹۲، ۴۰، ۱۵۹، ۶۸، ۸۷، ۸۳، ۱۲۸، ۱۴۳ و ۱۲۹]. مدل‌سازی معکوس داده‌های گرانی‌سنجی نیز کاربرد گسترده‌ای در تعیین پارامترهای هندسی و فیزیکی ساختارهای زمین‌شناسی داشته است [۱۴۵، ۱۴۶، ۳۷، ۴۷، ۱۱۹، ۷۱، ۱۲۳، ۱۰۷، ۱۶۲، ۳۵، ۶۲، ۵۲، ۱۲۵، ۳۴، ۹۶، ۶۵، ۹۷ و ۱۲۶].

کاربرد روش‌های مختلف جداسازی آنومالی‌های گرانی و مغناطیسی در مناطق مختلف ایران نیز توسط افراد مختلف گزارش شده است [۱۲، ۸، ۱۵، ۹، ۱۰، ۱ و ۲].

## ۴-۱- نمودارهای احتمال

در ایجاد یک منطقه آنومال با شدت معین ممکن است چند عامل یا فازهای متفاوت اثر نموده باشند. چنانچه شدت تاثیر این عوامل یا فازها با یکدیگر متفاوت باشد، می‌توان عوامل و فازهای موثر را از یکدیگر تفکیک نمود. به عنوان مثال، هرگاه تمرکز ذخیره مورد نظر نتیجه اثر چند فاز مختلف باشد یا در شرایطی که محدوده مورد مطالعه شامل مناطقی که ذخیره اقتصادی در آن قرار دارد و یا بخش‌هایی که ذخیره وجود ندارد، باشند و یا سنگ‌های میزبان مختلفی برای ذخیره مورد نظر در منطقه وجود داشته باشد، داده‌های برداشت شده شامل چند زیر جامعه مختلف که هر کدام حد آستانه‌ای مربوط به خود را

دارند، می باشند. در شکل (۳-۱) نمودار فراوانی یک دسته داده که شامل چند زیرجامعه است که در بخش‌هایی با یکدیگر همپوشانی دارند، نمایش داده شده است.



شکل (۳-۱) نمودار فراوانی یک مجموعه داده که شامل چند زیر جامعه می باشد [اصلاح شده از ۱۰۲].

در ساختارهای تاکدیمی، ناودیمی و لایه‌بندی‌های معمولی تشکیلات رسوبی، شدت شتاب جاذبه متاثر از عوامل و فازهای مختلف می‌باشد و نحوه تغییرات آن در یال‌ها و قله ساختارها با یکدیگر متفاوت است. داده‌های گرانی‌سنجی که برای شناسایی یک تله نفتی با ساختار تاکدیمی برداشت شده‌اند، در بخش‌های دور از تاکدیس و لایه‌بندی افقی دارای شتاب جاذبه پایین‌تری نسبت به خود ساختار تاکدیمی خواهند بود. در ناودیس‌ها نیز این شتاب جاذبه در مقایسه با تاکدیس بسیار پایین‌تر است. به نظر می‌رسد که در تاکدیس، ناودیس و لایه بندی معمولی غیر چین خورده تشکیلات رسوبی اولاً شدت شتاب جاذبه متفاوت باشد و ثانیاً نحوه تغییرات آن در یال‌ها و قله ساختارها با یکدیگر متفاوت می‌باشند. در این صورت با بررسی پراکندگی داده‌های گرانی‌سنجی منطقه مورد مطالعه می‌توان در این خصوص اطلاعات بیشتری

کسب نمود. این موضوع بر این اساس است که در مجاورت یک ساختار تاقدیسی ممکن است ناودیس و یا لایه بندی‌های ملایم و فاقد ساختارهای چین خورده قرار گرفته باشند. در بین این زیر جوامع، بخشی از داده‌ها که مربوط به ذخیره مورد بررسی (یا فازهای دیگر نظیر منبع آلودگی) می‌باشد را می‌توان به عنوان جامعه آنومالی شناسایی و تفکیک نمود و با تعیین حد آستانه‌ای این بخش به هدف مورد نظر نزدیک شد. مدل‌سازی نمودارهای احتمال روشی ساده و سریع در تعیین تعداد زیر جوامع موجود در داده‌ها و تشخیص حدود آستانه‌ای مربوط به هر کدام از زیر جوامع آنومالی، زمینه و ناحیه گذر بین این دو می‌باشد. نمودارهای احتمال توسط افراد مختلفی به منظور تفکیک بخش‌های مختلف موجود در داده‌های اکتشافی و تعیین محدوده‌های آنومال و یا تشخیص مناطق آنومال به کار گرفته شده است [۸۰، ۱۵۲، ۱۵۸، ۹۴، ۳۳، ۱۶۰، ۱۴۰ و ۶۴].

## ۱-۵- خلاصه و ضرورت انجام طرح

داده‌های میدان پتانسیل منطقه دهنو توسط روش‌های متداول تفکیک آنومالی‌ها به کمک نرم‌افزار Modelvision Pro محصول شرکت Encom استرالیا [۵۸] مورد بررسی و جداسازی قرار گرفته‌اند [۱۱] و [۱۳]. مدل‌سازی دو بعدی نیز در مورد ساختمان‌های موجود در ناحیه انجام شده است [۲۰]. اما نتایج حاصل از این مدل‌سازی، به دلیل در نظر نگرفتن اثرات هم‌زمان آنومالی‌های اطراف، زیاد دقیق نمی‌باشد. به علاوه ممکن است آنومالی‌های باقی‌مانده تفکیک شده هنوز شامل مقادیری از مولفه ناحیه‌ای باشند. لذا به منظور بررسی وضعیت ساختارهای زیرسطحی منطقه و رفع نواقص موجود در مرحله تفکیک آنومالی‌ها و با توجه به این که منطقه دهنو از نظر پتانسیل هیدروکربوری برای مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران حائز اهمیت می‌باشد، تفکیک دقیق‌تر داده‌ها ضروری به نظر می‌رسد. در این مرحله برای اولین بار به کمک مدل‌سازی نمودارهای احتمال این امکان فراهم می‌شود تا به تحلیل تغییرپذیری‌های موجود در بین

داده‌ها پرداخت و بر اساس روندهای مختلف تغییرات داده‌ها روی نمودار احتمال و اطلاعات زمین‌شناسی و اکتشافی به دست آمده از منطقه، زیر جوامع موجود در داده‌ها تجزیه و تحلیل شده و زیر جامعه آنومالی (مولفه باقی‌مانده) را بدون تاثیر زمینه (مولفه ناحیه‌ای) تفکیک نمود. در مرحله مدل‌سازی نیز با توجه به این که اکثر تله‌های نفتی دارای ابعاد دو یا سه هستند و مدل‌سازی دو بعدی در مورد آنها جواب قابل قبول ارائه نمی‌دهد، اجرای مدل‌سازی سه بعدی جهت کسب نتایج دقیق‌تر از مشخصات فیزیکی و هندسی ساختارها برای اولین بار روی داده‌های گرانی‌سنجی این منطقه ضرورت دارد. تحقیق حاضر در جهت نیل به این هدف است که در مرحله تفکیک و آشکارسازی آنومالی‌ها با کاربرد روش مدل‌سازی نمودارهای احتمال بتوان روشی جدید در جداسازی اثرات مولفه زمینه و آنومالی ارائه نمود، بدون اینکه طیف آنومالی تفکیک یافته اثراتی از مولفه زمینه را نشان دهد. به علاوه عمق و ابعاد این آنومالی‌ها با مدل‌سازی ساختارهای تعیین شده، به دقت تعیین گردد. جهت نیل به این مقصود مراحل زیر برای انجام پایان‌نامه حاضر طراحی و انجام شد:

۱- تفکیک و جداسازی آنومالی‌های باقی‌مانده و ناحیه‌ای منطقه مورد نظر با روش‌های متداول توسط

نرم‌افزارهای Modelvision Pro و WingLink و مدل‌سازی دو و سه بعدی ساختارهای مورد نظر

۲- مدل‌سازی نمودار احتمال داده‌های گرانی‌سنجی منطقه و تعیین حد آستانه‌ای زیر جامعه زمینه و

آنومالی و تهیه نقشه‌های مناطق آنومال

۳- مقایسه نتایج حاصل از روش‌های متداول تفکیک آنومالی‌ها و نتایج حاصل از مدل‌سازی

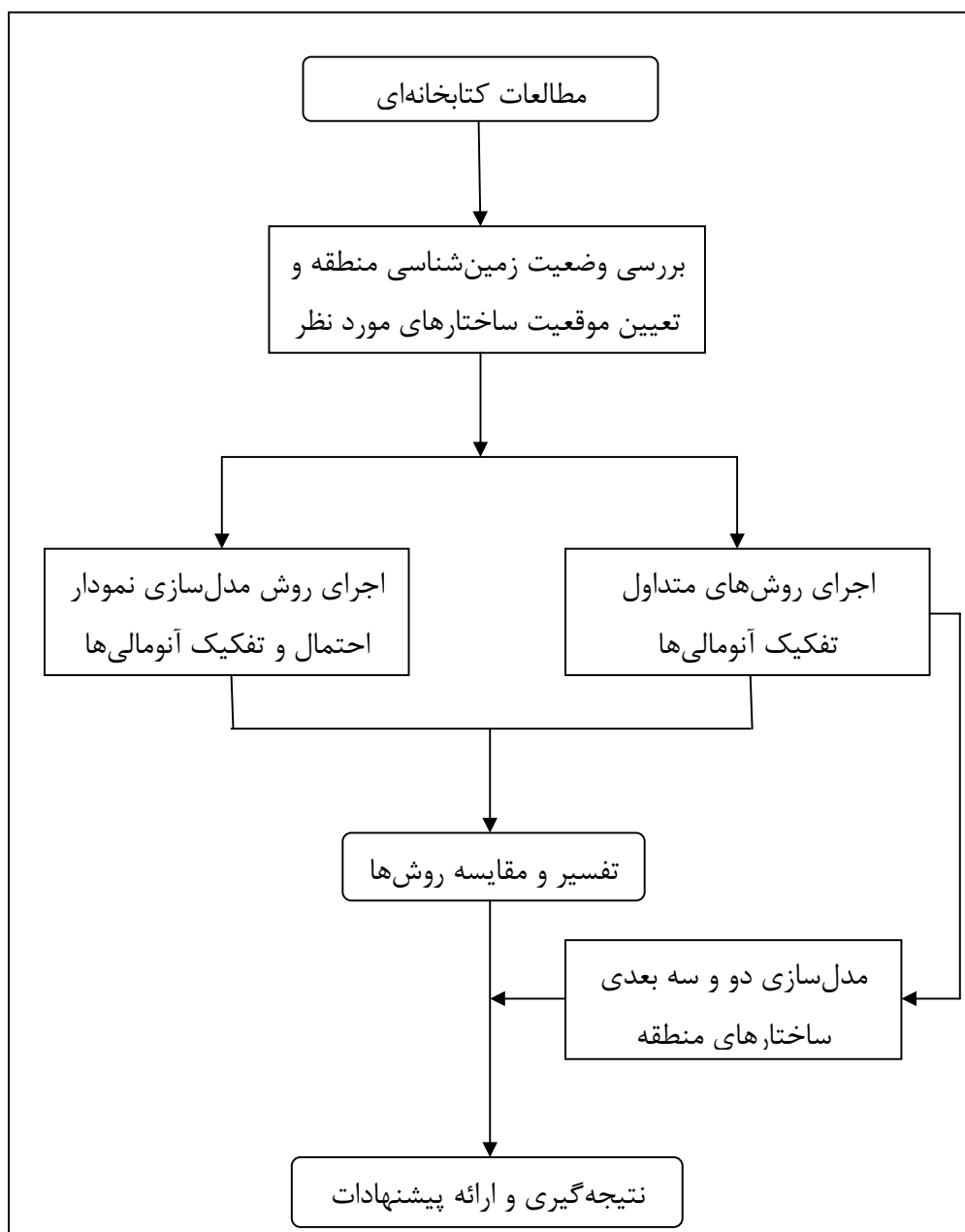
نمودارهای احتمال و تلفیق نتایج حاصل با اطلاعات زمین‌شناسی منطقه

در شکل (۱-۴) نمای شماتیک از مراحل مختلف انجام این پایان‌نامه ارائه شده است.



## ۱-۶- ساختار پایان نامه

این پایان نامه مشتمل بر شش فصل می باشد. در فصل اول پس از بیان کلیاتی در مورد به کارگیری روش های گرانی سنجی در اکتشافات هیدروکربوری و ضرورت تفکیک داده های گرانی سنجی در مورد سابقه روش های به کار رفته در زمینه تفکیک داده ها بحث شده و در نهایت ضرورت ارائه یک روش جدید برای تفکیک داده های گرانی سنجی مطرح گردیده است. در فصل دوم موقعیت زمین شناسی و جغرافیایی منطقه مورد مطالعه معرفی شده است. فصل سوم شامل اصول و مبانی روش گرانی سنجی، تئوری روش های مختلف تفکیک آنومالی ها و مدل سازی بوده و نتایج حاصل از تفکیک داده ها و مدل سازی دو و سه بعدی به کمک نرم افزارهای Modelvision Pro و WingLink ارائه شده است. در فصل چهارم اصول و مبانی روش نمودارهای احتمال توضیح داده شده است و نتایج حاصل از مدل سازی نمودار احتمال داده های گرانی سنجی منطقه دهنو در تفکیک داده ها ارائه گردیده است. فصل پنجم به مقایسه نتایج حاصل از تفکیک آنومالی ها با روش های متداول و روش مدل سازی نمودار احتمال که در فصل چهارم بررسی گردید، می پردازد. در نهایت فصل شش نتایج حاصل از اجرای این پایان نامه و پیشنهاداتی برای کارهای بعدی را در بر دارد.



شکل (۴-۱) نمای شماتیک مراحل اجرای تحقیق حاضر

## فصل دوم:

زمین‌شناسی و موقعیت جغرافیایی

منطقه دهنو

## ۲-۱- مقدمه

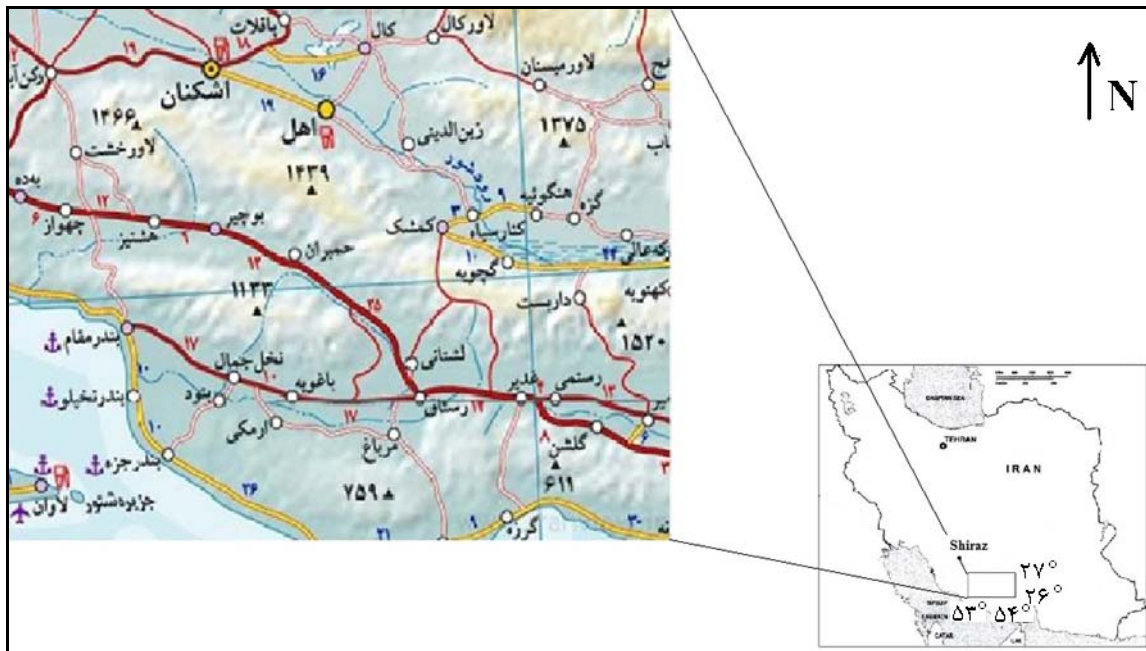
در این فصل ضمن معرفی منطقه مورد مطالعه، در خصوص شرایط آب و هوایی، وضعیت زمین‌شناسی و موقعیت جغرافیایی آن توضیحاتی ذکر خواهد شد. سابقه اکتشافات ژئوفیزیکی در خصوص بررسی ذخایر هیدروکربوری منطقه نیز به طور مختصر در ادامه توضیح داده می‌شود.

## ۲-۲- موقعیت جغرافیایی و آب و هوایی منطقه دهنو

تاق‌دیس دهنو با وسعتی حدود ۷۶۵ کیلومتر مربع بین عرض‌های جغرافیایی  $1^{\circ} 27'$  و  $14^{\circ} 27'$  شمالی و طول‌های جغرافیایی  $35^{\circ} 53'$  و  $59^{\circ} 53'$  شرقی واقع شده است (شکل ۲-۱). از شمال به شهر اشکنان و اهل، از جنوب به بوجیر و حمیران و هشتیز و از غرب به ساختمان گازی تابناک محدود می‌شود. منطقه از لحاظ وضعیت توپوگرافی خشن بوده و دارای ارتفاعات بلند و پرتگاه‌های غیر قابل دسترسی می‌باشد و به طور میانگین اختلاف ارتفاعی در حدود ۱۱۰۰ متر دارد. وضعیت آب و هوایی منطقه در تابستان بسیار گرم و شرجی و در زمستان معتدل می‌باشد. بارندگی‌های فصلی امکان دارد در نصف سال ادامه یابد [۱۳].

تاق‌دیس دهنو یکی از ساختارهای مهم زمین‌شناسی با روند WNW- ESE است که در میدان گازی فارس ساحلی واقع شده است [۱۳]. فاصله هوایی محدوده مورد بررسی تا غرب شهرستان لامرد حدود ۶۰ کیلومتر می‌باشد و از نظر تقسیمات جغرافیایی کشور در استان فارس واقع شده است. راه‌های دسترسی به منطقه از طریق جاده شوسه شیراز، فیروزآباد، خنج، اشکنان و جاده اصلی بندرعباس- بوشهر که از جنوب تاق‌دیس دهنو می‌گذرد، می‌باشد. در مرز تاق‌دیس‌های دهنو و نمکی، جاده شوسه‌ای با شیب نسبتاً زیاد و

ناهموار که جاده اصلی را به روستای کمشک وصل می‌کند واقع شده و دسترسی به پهلو شمالی تاقدیس از طریق آن امکان‌پذیر می‌باشد.

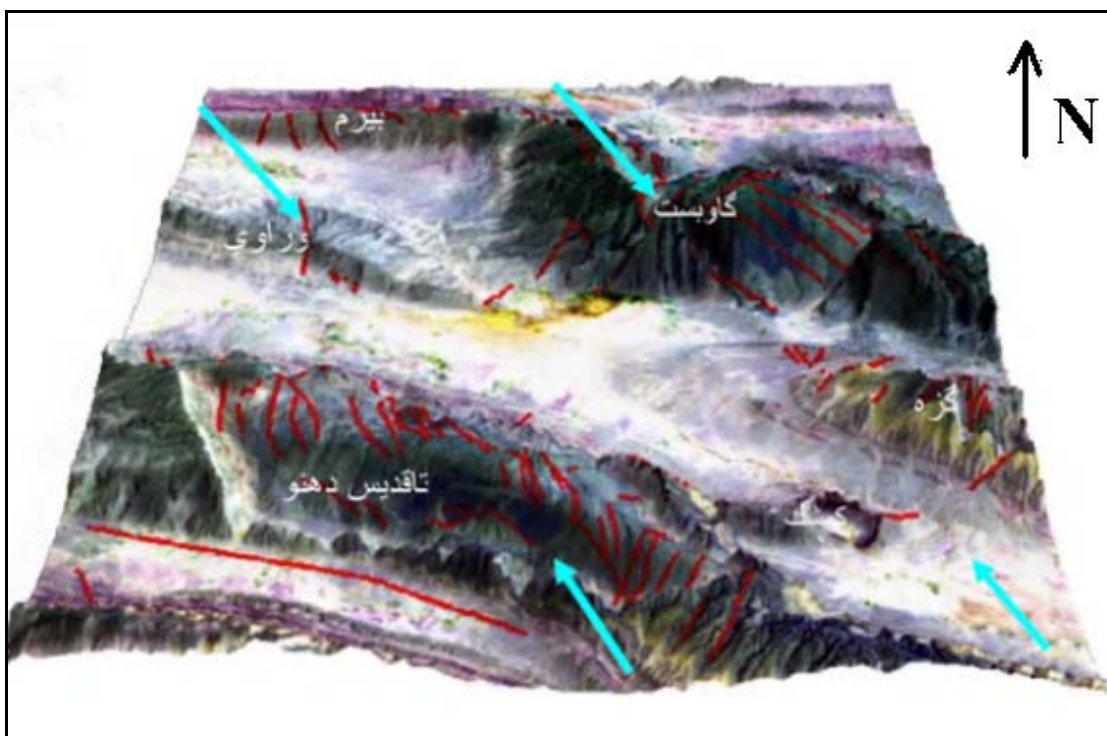


شکل (۱-۲) موقعیت جغرافیایی و راههای دستیابی به منطقه دهنو [۵]

## ۳-۲- وضعیت زمین‌شناسی منطقه

تاقدیس دهنو در جنوب شرقی کمربند چین‌خورده- رانده زاگرس، در حوزه رسوب گذاری و ایالت زمین‌ساختی فارس، در بین خطواره‌های رازک و هندورابی قرار گرفته است. تاقدیس مذکور از شرق به تاقدیس نمکی یا سفید و گسل هندورابی، از غرب به تاقدیس تابناک، از شمال به تاقدیس گاوبست (گنبد نمکی گاوبست) و تاقدیس گزه و وراوی (شکل ۲-۲) و از جنوب به تاقدیس خلفانی و سواحل شمالی خلیج فارس محدود می‌شود [۶]. این تاقدیس شامل دو تاقدیس کوچک‌تر به نام‌های لاوارستان (تاقدیس

جنوبی) و اشکنان (تاقدیس شمالی) است که هر دو تاقدیس روند تقریباً یکسان شمال غربی- جنوب شرقی دارند. ناودیس حرج با دره ای پهن و گسترده بین این دو تاقدیس قرار گرفته است.



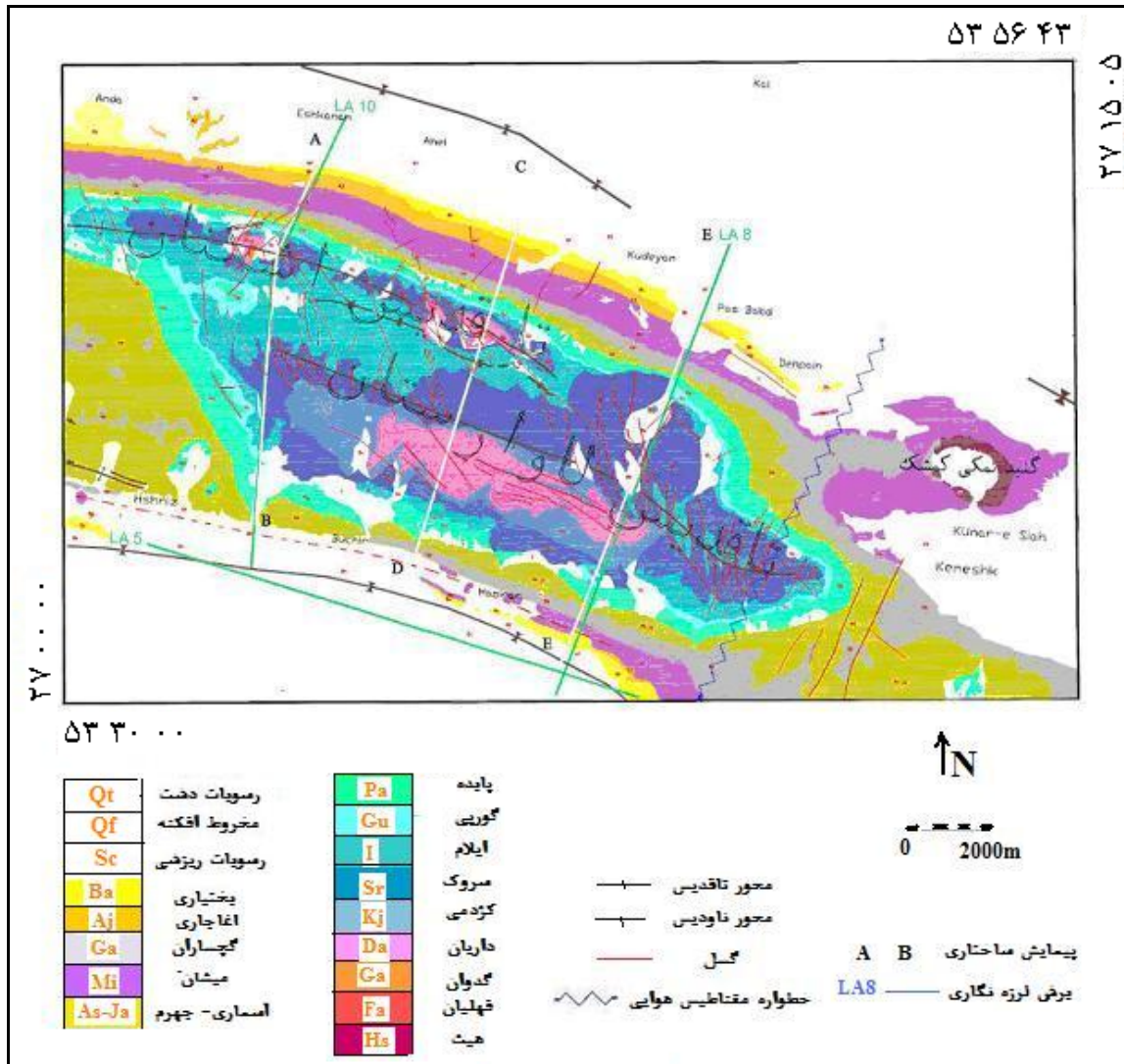
شکل (۲-۲) مدل ارتفاعی ساختمان دهنو و ساختارهای اطراف آن، دید به شمال [۶]

شکل (۳-۲) نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی را نشان می‌دهد. روند چین‌خوردگی عمومی منطقه شمال غرب- جنوب شرق می‌باشد که در بخش مرکزی نقشه رخنمون آن دیده می‌شود. قدیمی‌ترین سازندهای رخنمون‌دار منطقه، گروه خامی و بنگستان بوده و سازندهای جوان‌تر به ترتیب بختیاری،

آجاجاری، میشان، گچساران و آسماری می‌باشند [۴]. در شکل (۲-۴) مقطع اصلی راندگی منطقه زاگرس دیده می‌شود.

بررسی‌های تکمیلی صورت گرفته در منطقه، گویای آن است که روند عمومی گسل‌های برداشت شده مطابق نقشه زمین‌شناسی منطقه (شکل ۲-۳) عبارتند از:

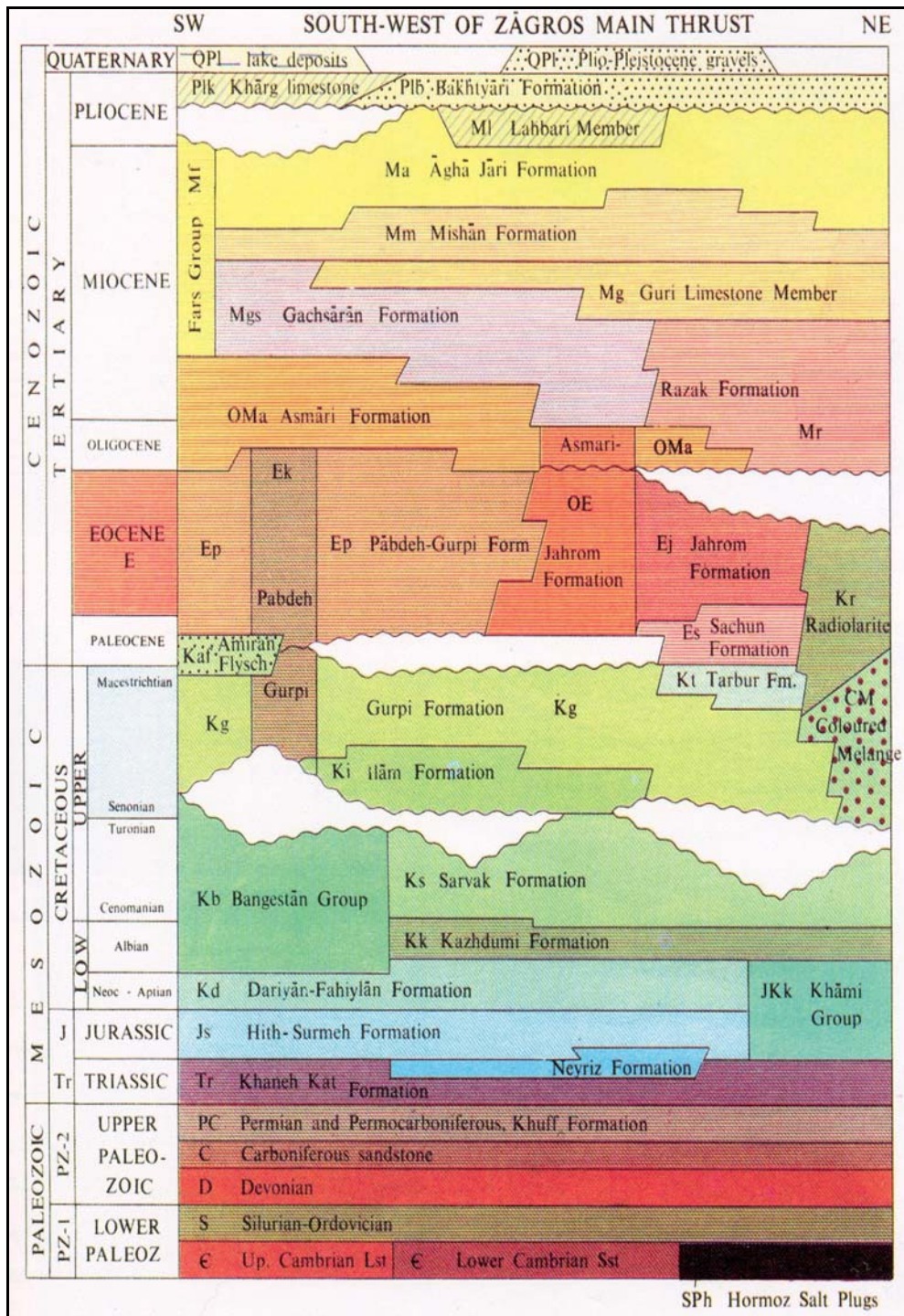
- گسل‌های با روند شمالی- جنوبی که بیشتر در هسته تاقدیس دهنو تجمع دارند،
  - گسل‌های با روند شمال شرقی- جنوب غربی که بیشتر در مرز بین دو تاقدیس دهنو و نمکی و در پهلو شمالی تاقدیس دهنو دیده می‌شوند،
  - گسل‌های با روند شرقی- غربی که بیشتر در ناحیه لولایی تاقدیس اشکنان و دامنه جنوبی تاقدیس لاوارستان مشاهده می‌شوند. برخی گسل‌های راندگی با روند شرقی- غربی در پهلوهای تاقدیس دهنو دیده می‌شوند ولی روند شمال غربی- جنوب شرقی، روند غالب گسل‌های منطقه می‌باشد.
- گسل‌های هم امتداد با محور تاقدیس بر روی قله تاقدیس و روی سازندهای قدیمی‌تر قرار دارند و گسل‌های عمود بر امتداد محور تاقدیس بر روی سازندهای جوان‌تر و در ارتفاع کمتر دیده می‌شوند [۶].
- داده‌های گرانی‌سنجی [۱۳] و بازدیدهای میدانی [۶] آثار دو راندگی در پهلوهای تاقدیس دهنو که راندگی موجود در جنوب، شیبی به سمت شمال دارد و بهم‌ریختگی لایه‌های سازند گچساران را نشان می‌دهند. هم‌چنین بالآمدگی بخشی از هسته تاقدیس باعث بیرون‌زدگی سازندهای داریان و فهلیان شده است [۶].



شکل (۲-۳) نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه که در امتداد تقریباً عمود بر آن پروفیل‌های لرزه نگاری به صورت

LA10 و LA8 نشان داده شده است [۶].

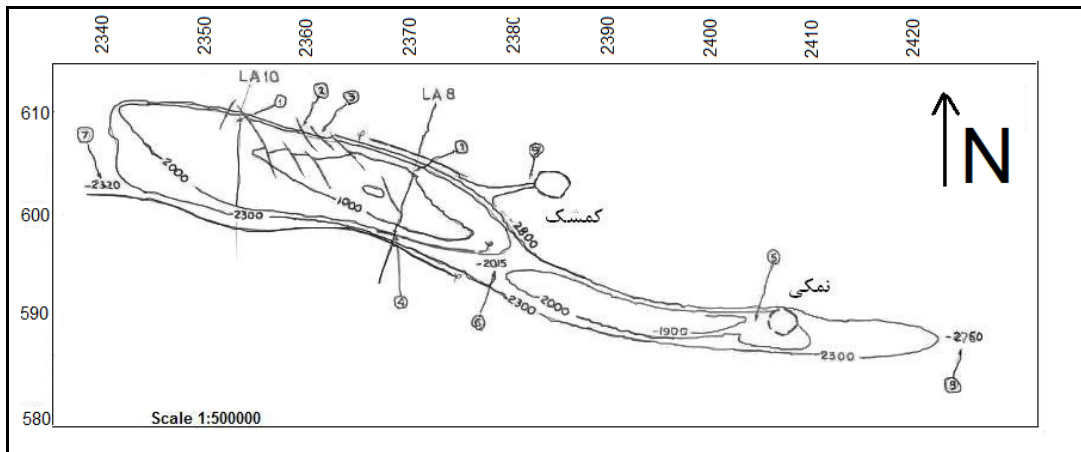




شکل (۲-۴) مقطع راندگی اصلی زاگرس [۱۷]

## ۴-۲- مطالعات و عملیات اکتشافی منطقه

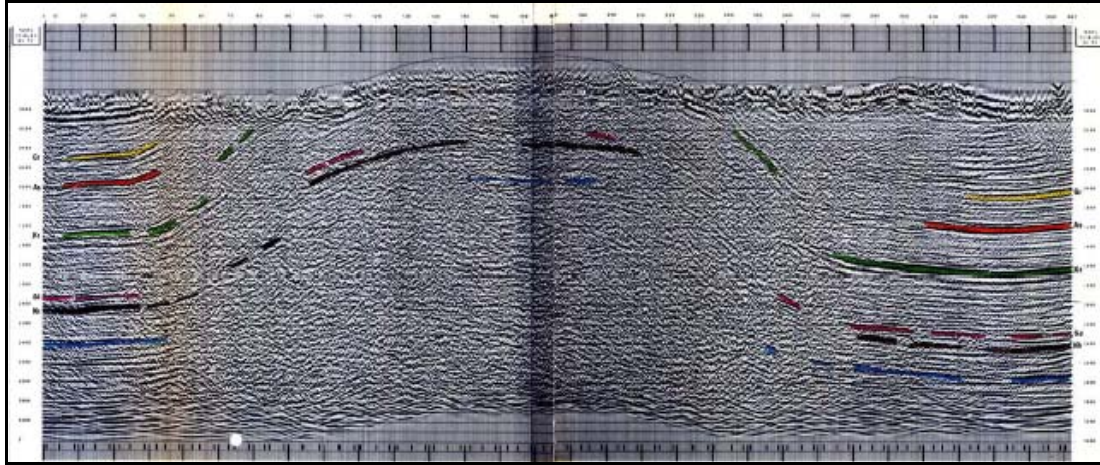
مطالعات شناسایی منطقه از سال ۱۹۷۰ میلادی آغاز شده است [۶۷]. گزارش اجرای روش لرزه نگاری در منطقه با توجه به کوهستانی بودن منطقه نتایج رضایت بخشی را نشان نمی دهد. شکل (۵-۲) نقشه شماتیک گستردگی تاقدیس دهنو با روند شمال غرب- جنوب شرق که در روی آن پروفیل های لرزه نگاری مشخص شده است را نشان می دهد. شکل های (۶-۲) و (۷-۲) نیز به ترتیب مقاطع زمانی لرزه نگاری پروفیل های LA 8 و LA 10 که روی تاقدیس دهنو انتخاب شده اند را نشان می دهند [۶۷]. همان گونه که ملاحظه می شود وضعیت چین خوردگی تاقدیسی به خوبی بر روی این مقاطع زمانی نمایان است.



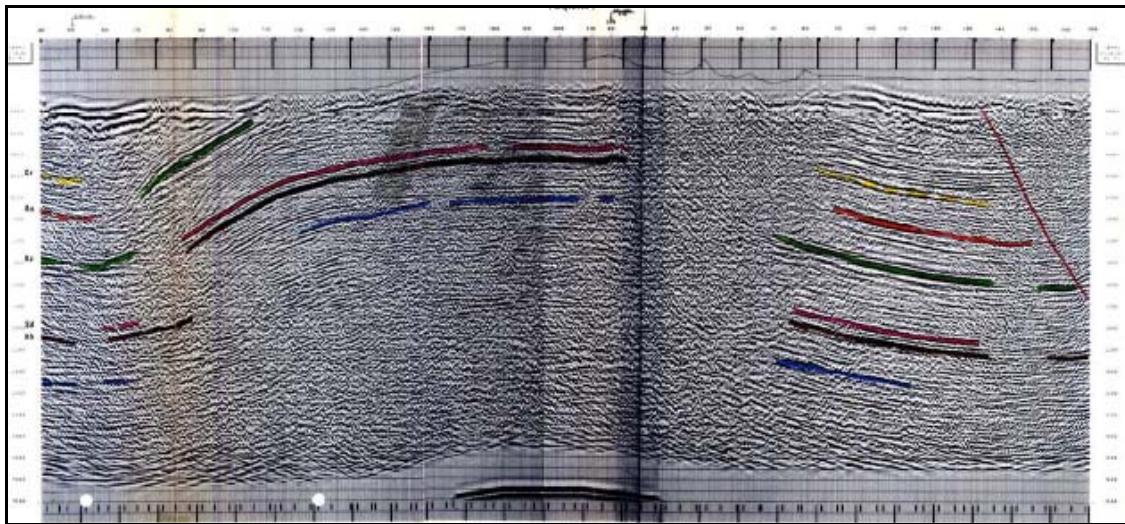
شکل (۵-۲) نقشه شماتیک تاقدیس دهنو [۶۷]

عملیات گرانی و مغناطیس‌سنجی ساختمان دهنو به منظور مشخص کردن وضعیت توپوگرافی ساختمان‌های زیرسطحی و ارزیابی آنها از نظر پتانسیل هیدروکربوری و مشخص نمودن وضعیت احتمالی نمک در این ساختمان انجام پذیرفته است. عملیات گرانی‌سنجی در سال ۱۳۸۲ بر حسب پیشنهاد اداره زمین‌شناسی و توافق مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران در تاریخ ۸/۵/۸۲ شروع و در تاریخ ۴/۷/۸۲ به پایان رسید. پیمانکار عملیات گرانی و مغناطیس‌سنجی شرکت عملیات OEOC بوده است. این عملیات در دو فاز با مجموع ۹۹۰ ایستگاه تحت نام پروژه دهنو که بعد از برداشت شبکه و ایستگاه‌های فاز اول (۵۷۹ ایستگاه در امتداد ۱۷ پروفیل)، فاز دوم حذف گردید انجام شد. در شکل (۲-۸) موقعیت ایستگاه‌های اندازه‌گیری گرانی و پروفیل‌های برداشت بر روی عکس ماهواره‌ای منطقه نشان داده شده است.

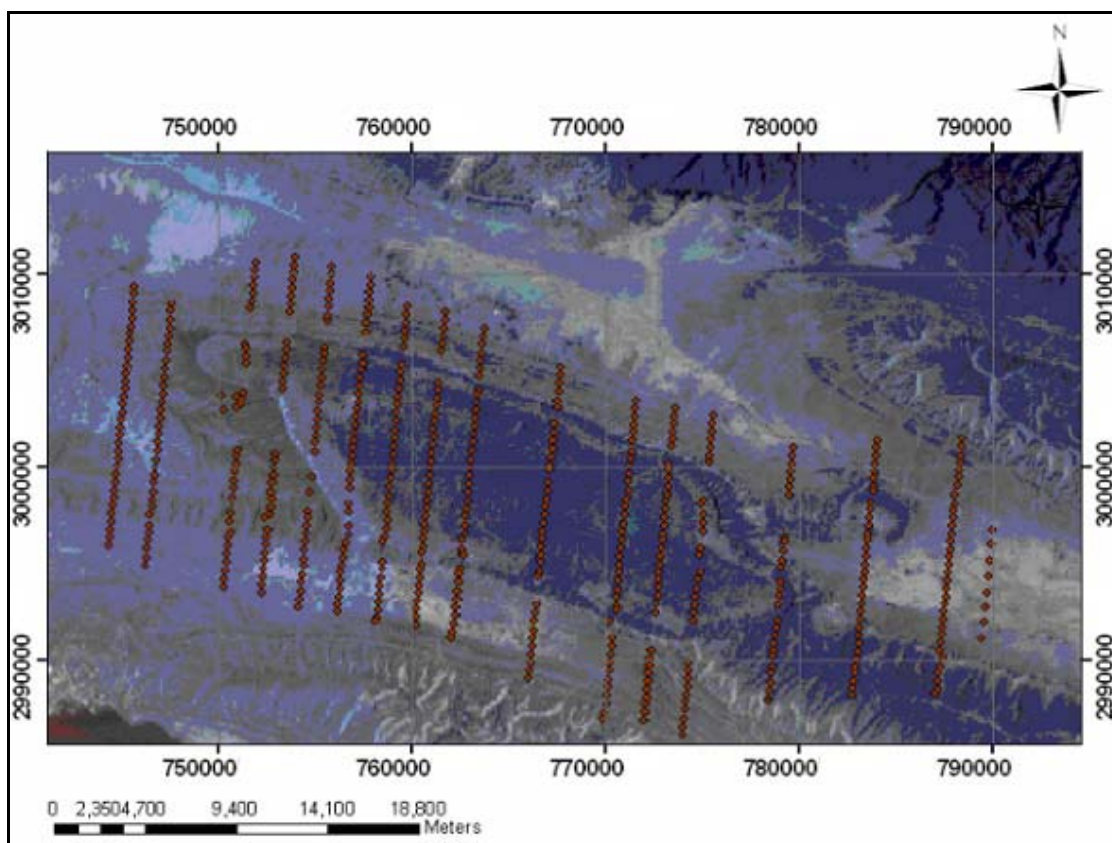
عملیات گرانی‌سنجی با دو دستگاه لاکوست رومبرگ و CG-3M بدون در نظر گرفتن محدودیت زمانی و با اعمال اثرات جزر و مد انجام پذیرفت. برای تعیین موقعیت ایستگاه‌های برداشت از دستگاه GPS استفاده شده است. در ساختمان دهنو، قبل از عملیات گرانی و مغناطیس‌سنجی، عملیات مگنتوتلوریک نیز توسط شرکت Geosystem در ۳ خط عملیاتی انجام پذیرفته است که به طور کلی عملکرد نمک را در ساختمان دهنو مشخص نکرد. داده‌های گرانی و مغناطیس‌سنجی توسط طباطبایی رئیسی [۱۳] و دولتی‌ارده‌جانی [۱۱] و داده‌های مگنتوتلوریک توسط مهندس ایوبی تفسیر و مدل‌سازی شده‌اند.



شکل (۶-۲) مقطع زمانی لرزه‌نگاری پروفیل LA 8 [۶۷]



شکل (۷-۲) مقطع زمانی لرزه‌نگاری پروفیل LA 10 [۶۷]



شکل (۲-۸) موقعیت ایستگاه‌های برداشت گرانی بر روی عکس ماهواره‌ای منطقه دهنو [۳]

مطالعه بر روی گسل‌های منطقه و اثر آنها بر روی تاقدیس دهنو توسط باقری [۶] انجام شده است. یعقوبی پور (۱۳۸۴) مدل‌سازی دو بعدی داده‌های گرانی و مغناطیس‌سنجی این ناحیه را به کمک نرم‌افزار Modelvision Pro انجام داده است [۲۰]. قاضی مرادی با استفاده از فیلتر سیگنال تحلیلی به تعیین مرز توده‌های آنومال منطقه پرداخته است [۱۴]. اسماعیل زاده (۱۳۸۸) با تلفیق داده‌های ژئوفیزیکی، زمین‌شناسی و سنجش از دور منطقه، یک مدل دو و سه بعدی در محیط GIS به منظور آشکارسازی ساختارهای زیرسطحی دهنو ارائه داده است [۳].

## فصل سوم:

تعبیر و تفسیر و مدل سازی داده‌های

گرانی سنجی منطقه دهنو

## ۳-۱- مقدمه

گرانی‌سنجی از روش‌های چشمه طبیعی زمین است که تغییرات در میدان گرانی زمین را که حاصل اختلاف چگالی سنگ‌های پوسته زمین است، اندازه‌گیری می‌نماید. داده‌های حاصل از برداشت‌های گرانی‌سنجی تاثیرات اجسام گوناگون موجود در اعماق مختلف با چگالی‌های متفاوت را نشان می‌دهند. با شناسایی آن بخش از داده‌های گرانی که اثرات حاصل از توده یا ساختار مورد نظر را که در پی اکتشاف آن هستیم نشان می‌دهد، می‌توان به محدوده مورد نظر نزدیک شد و طرح‌های اکتشافی آینده را به این بخش محدود نمود. برای جدا کردن اثرات یا بخش‌های مورد نظر از داده‌های گرانی‌سنجی، روش‌های مختلفی وجود دارد که در این فصل با بیان اصول و نظریه کلی روش گرانی‌سنجی، به توصیف روش‌های مختلف مورد استفاده توسط نرم‌افزارهای Modelvision Pro و WingLink که جهت تفکیک داده‌های مورد استفاده در این پایان‌نامه به کار رفته اند، پرداخته شده و سپس به بررسی روش‌های مختلف مدل‌سازی به عنوان روشی در رسیدن به ترکیبی از خصوصیات و مشخصات هندسی و فیزیکی آنومالی‌های مورد نظر پرداخته می‌شود.

## ۳-۲- اصول و نظریات مقدماتی گرانی

مبنای روش گرانی‌سنجی را می‌توان با دو قانون جهانی گرانش نیوتن<sup>۱</sup> و قانون دوم حرکت نیوتن<sup>۲</sup>

بیان نمود:

طبق قانون جهانی گرانش:

---

<sup>۱</sup> - Newton's law of universal gravitation.

<sup>۲</sup> - Newton's second law of motion

$$F = G \frac{Mm}{R^2} \quad (1-3)$$

که در آن  $G$  ثابت جهانی گرانش و مقدار آن  $\frac{Nm^2}{kg^2}$  ،  $6.67 \times 10^{-11}$  ،  $M$  جرم کل زمین و  $R$  فاصله بین جرم  $m$  و زمین است.

با توجه به قانون دوم حرکت نیوتن که عبارت است از:

$$F = mg \quad (2-3)$$

و با ترکیب این دو قانون، شتاب جاذبه‌ای که از طرف زمین بر سنگ‌های زمین وارد می‌شود، به صورت زیر محاسبه می‌شود [۱۳۳]:

$$g = \frac{Gm}{R^2} \quad (3-3)$$

شتاب جاذبه "g" را به طور ساده، گرانی می‌گویند.

واحد  $g$  در سیستم S.I، متر بر مجذور ثانیه و در گرانی‌سنجی گال<sup>۱</sup> نامیده می‌شود که یک گال معادل ۱ سانتی‌متر بر مجذور ثانیه است. اما در عمل از واحدهای کوچک‌تر میلی‌گال و یا میکروگال استفاده می‌شود.

### ۳-۳- عوامل موثر بر شتاب جاذبه زمین

شدت جاذبه یا گرانی اندازه‌گیری شده در نقاط مختلف سطح زمین تغییراتی را نشان می‌دهد. این تغییرات ناشی از عوامل مختلف عرض جغرافیایی<sup>۲</sup>، اختلاف ارتفاع<sup>۳</sup>، جزر و مد<sup>۱</sup> و کشش حاصل از ماه و

<sup>۱</sup> - Gal

<sup>۲</sup> - Latitude

<sup>۳</sup> - Elevation



خورشید، عوارض توپوگرافی نزدیک ایستگاه‌های گرانی‌سنجی و تغییرات زمین‌شناسی که باعث توزیع جرم می‌شوند، می‌باشند [۸].

اثر چهار پارامتر اول توسط تصحیحات گرانی<sup>۲</sup> از داده‌ها حذف شده یا کاهش می‌یابند اما اثر تغییرات توزیع جرم ناشی از لایه‌های زمین‌شناسی که باعث بروز اختلافاتی بین مقادیر گرانی قرائت شده در ایستگاه‌های مختلف می‌شوند، هدف اصلی اکتشافات گرانی‌سنجی می‌باشند.

### ۳-۳-۱- تصحیحات گرانی

کلیه تصحیحاتی که روی داده‌های حاصل از برداشت‌های گرانی‌سنجی انجام می‌شود تا تمام اثرات مربوط به تغییرات میدان گرانی زمین که ناشی از تغییرات دانسیته ساختارهای زیر سطحی نمی‌باشند را حذف نماید، تصحیحات گرانی نامند [۹۳]. این تصحیحات به قرار زیر می‌باشند:

### ۳-۳-۱-۱- تصحیح عرض جغرافیایی

نیروی گریز از مرکز حاصل از حرکت وضعی زمین که در استوا حداکثر و در قطبین مساوی صفر است، اجسام سطح زمین را تحت تاثیر قرار داده و باعث تغییر گرانی زمین، بسته به موقعیت جغرافیایی نقاط می‌شود.

---

<sup>۱</sup> - Tidal

<sup>۲</sup> - Data reduction

### ۳-۳-۱-۲- تصحیح ارتفاع<sup>۱</sup>

اختلاف ارتفاع بین ایستگاه‌های اندازه‌گیری سبب تغییرات در شدت جاذبه اندازه‌گیری شده می‌شود. به طوری که هر چه ارتفاع یک ایستگاه از سطح دریا بیشتر باشد، شدت جاذبه آن نقطه کمتر است. با انجام تصحیح ارتفاع که شامل دو مولفه تصحیح هوای آزاد و تصحیح بوگه است، کلیه مقادیر اندازه‌گیری شده روی یک سطح مبنا انطباق می‌یابند.

### ۳-۳-۱-۳- تصحیح توپوگرافی

شتاب جاذبه اندازه‌گیری شده تحت تاثیر جرم ناشی از تپه‌ها که مولفه شتابی به سمت بالا دارند و دره‌ها که عدم ربایش به سمت پایین ایجاد می‌کنند، قرار می‌گیرد. وجود تپه‌ها و دره‌ها، هر دو سبب کاهش شتاب جاذبه اندازه‌گیری شده می‌شود [۹۰].

### ۳-۳-۱-۴- تصحیح جزر و مد<sup>۲</sup>

گرانی اندازه‌گیری شده در یک مکان مشخص به دلیل تغییرات دوره‌ای اثرات گرانی ماه و خورشید و حرکات چرخشی آن‌ها، با زمان تغییر می‌کند. معمولاً اثرات جزر و مد هنگام اعمال تصحیح دریافت، از داده‌ها حذف می‌شوند. در دستگاه‌های جدیدتر، این تصحیح به صورت اتوماتیک بر کلیه داده‌های برداشت شده اعمال می‌گردد.

پس از اعمال تصحیحات لازم و حذف اثر عوامل موثر بر گرانی اندازه‌گیری شده، آنومالی بوگه<sup>۳</sup> به صورت زیر حاصل می‌شود:

---

<sup>۱</sup> - Elevation correction

<sup>۲</sup> - Tidal correction

<sup>۳</sup> - Bouguer anomaly

$$\Delta g_B = g_{obs} - g_\phi + dg_{f.a} + dg_b + dg_{t.c} \quad (4-3)$$

$\Delta g_B$  آنومالی بوگه،  $g_{obs}$  گرانی اندازه‌گیری شده،  $g_\phi$  گرانی نرمال (تئوری)،  $dg_{f.a}$  تصحیح هوای آزاد،  $dg_b$  تصحیح بوگه و  $dg_{t.c}$  تصحیح توپوگرافی می‌باشد.

شکل آنومالی گرانی، بسته به مشخصات هر محدوده در نتیجه یک یا چند پارامتر فیزیکی، نحوه قرارگیری زون‌های آنومال نسبت به هم، دانسیته، گرانروی، اختلاف تخلخل و فاصله سطح اندازه‌گیری تا محدوده آنومال متفاوت می‌باشد. دامنه آنومالی با تغییرات عمق و افزایش اختلاف دانسیته تغییر می‌نماید اما ویژگی‌های شکل آنومالی حاصل از هر ساختار تغییر نمی‌کند [۱۳۲].

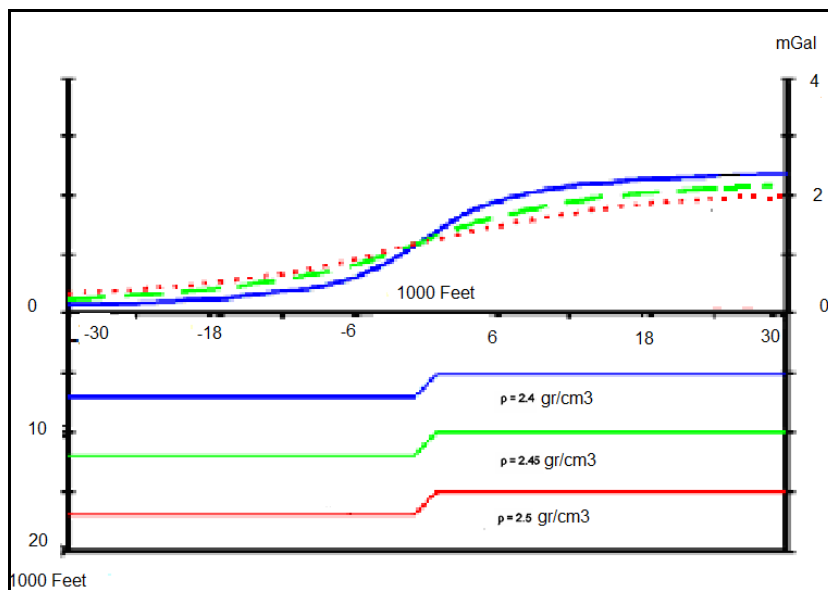
یکی از روش‌های نمایش آنومالی گرانی، پروفیل گرانی است. از آنجا که داده‌های گرانی‌سنجی مورد استفاده در این پایان‌نامه مربوط به اکتشاف نفت در یک ساختمان تاقدیسی می‌باشد و غالب ذخایر هیدروکربوری در انواع نفتگیرهای ساختمانی (تاقدیسی، گسلی و گنبد نمکی) متمرکز شده‌اند و اطلاع از شکل آنومالی گرانی حاصل از این ساختارها در بررسی پتانسیل اکتشافات هیدروکربوری اهمیت بسیار دارد، در این قسمت پروفیل آنومالی گرانی استاندارد که برای انواع نفتگیرهای تاقدیسی، گسلی و گنبد نمکی می‌توان دید، ارائه می‌شود:

#### الف- نفتگیر گسلی

شکل استاندارد که از آنومالی گرانی مربوط به گسل می‌توان دید، فشردگی زیاد منحنی‌ها در نقشه گرانی در امتداد گسل است. همان‌طور که در شکل (۳-۱) دیده می‌شود، هر چه گسل به سطح نزدیک‌تر بوده و اختلاف دانسیته لایه‌های گسل‌خورده افزایش یابد، شیب منحنی بیشتر می‌شود. اما در تمام اعماق، نقطه انحنای منحنی در مرکز گسل قرار دارد [۱۳۲]. در این شکل پروفیل‌های مربوط به آنومالی گرانی لایه‌های گسل‌خورده با اختلاف دانسیته و اعماق مختلف نشان داده شده است.

## ب- نفتگیر تاقدیسی

یک تاقدیس متقارن به صورت ساده چین خورده، آنومالی گرانی مثبت متقارنی را نشان می‌دهد. دامنه تغییرات و مشخصات گرانی حاصل از یک تاقدیس به عمق، میزان رسوبات تغییر شکل یافته و تغییر شکل سنگ بستر بستگی دارد. در شکل (۲-۳) مدل گرانی حاصل از یک تاقدیس گسل خورده دیده می‌شود. یکی از دو آنومالی مثبت با دامنه بزرگی که دیده می‌شود، مربوط به سطح بیرون زدگی گسل و دیگری مربوط به رأس بالآمدگی تاقدیس می‌باشد. محدوده مینیمم بین این دو بالآمدگی مربوط به مرز با دانسیته پایین بین گسل و بالآمدگی تاقدیس است. افزایش اختلاف دانسیته طبقات چین خورده باعث واضح تر شدن دامنه آنومالی حاصل می‌شود [۱۳۲].

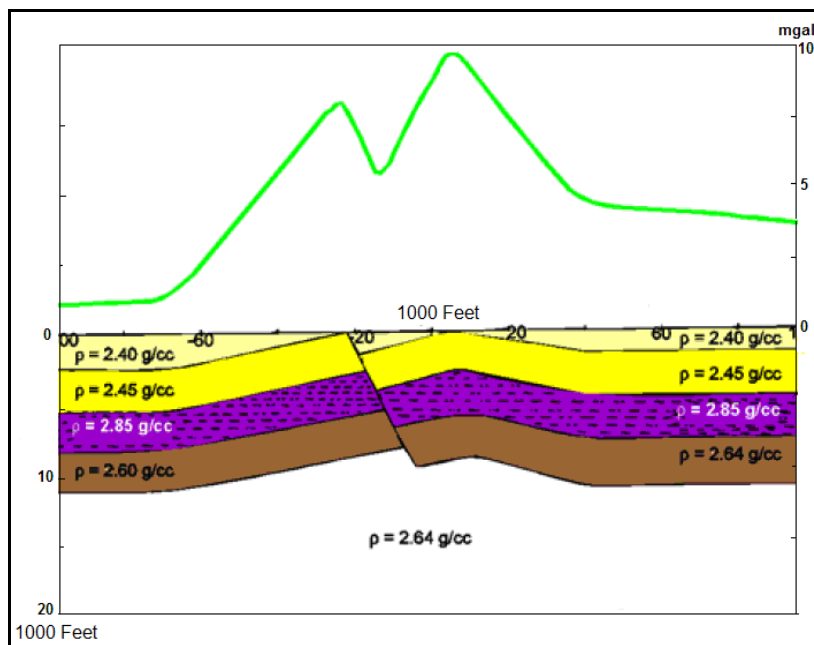


شکل (۱-۳) پروفیل‌های مربوط به آنومالی گرانی لایه‌های گسل خورده با اختلاف دانسیته و اعماق مختلف [اصلاح

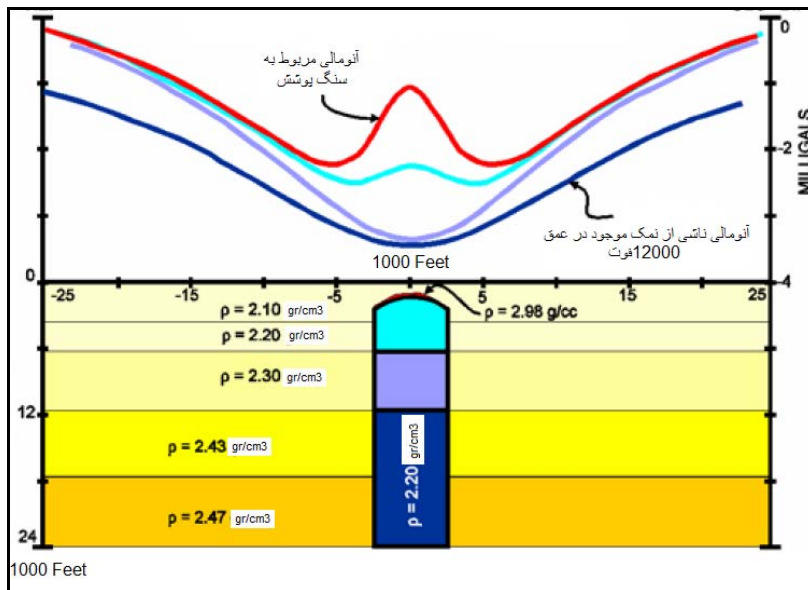
شده از ۱۳۲]

ج- نفتگیر گنبد نمکی

گنبد نمکی یک آنومالی گرانی منفی تولید می‌کند که مرکز آنومالی در وسط گنبد قرار دارد. هرچه گنبد نمکی به سطح زمین نزدیک‌تر باشد، آنومالی واضح‌تر می‌شود. حضور سنگ پوشش، آنومالی مثبتی تولید می‌نماید که از آنومالی منفی بزرگ‌تر است (شکل ۳-۳) [۱۳۲].



شکل (۳-۲) آنومالی گرانی یک تاق‌دیس گسل خورده با لایه‌های با دانسیته بالا [اصلاح شده از ۱۳۲]



شکل (۳-۳) پروفیل‌های مربوط به آنومالی گرانی یک گنبد نمکی که تاثیر تغییرات دانسیته و عمق را نشان می‌دهد [اصلاح شده از ۱۳۲].

### ۳-۴- تفکیک آنومالی‌ها

یک آنومالی گرانی، نتیجه توزیع ناهمگون چگالی در زمین است [۱۰۰]. نقشه‌های گرانی، شکل یک ساخت زیرسطحی را نشان نمی‌دهند بلکه فرم میدان جاذبه حاصل از اشکال زیرسطحی که نشان‌دهنده مجموع کشش‌های گرانی حاصل از تمام منابع زیرسطحی موجود در اعماق مختلف و با چگالی‌های متفاوت است را نشان می‌دهند [۱۶].

آنومالی حاصل از اشکال بزرگ مقیاس که در عمق بیشتری قرار دارند، گسترده‌تر بوده و دامنه بزرگ‌تری دارند [۱۳۳] و در نقشه آنومالی بوگه با تغییرات خطی ملایم و کوچک خود را نشان می‌دهند [۸]. اما آنومالی‌های محلی مربوط به منابع سطحی‌تر، با گستردگی جانبی محدود و فرکانس فضایی نسبتاً بالای خود، سهم کوچکی در گرانی مشاهده شده دارند. این آنومالی‌های سطحی در اکتشافات معدنی

اهمیت دارند اما در اکتشافات نفتی نويز محسوب می‌شوند [۱۵۱]. مولفه حاصل از اشکال منطقه‌ای را آنومالی ناحیه‌ای و مولفه آنومالی حاصل از اشکال محلی را باقی‌مانده یا پس‌ماند می‌نامند. جهت دستیابی به ناهنجاری‌های زمین‌شناسی احتمالی، ساختارها یا تله‌هایی که در پی شناخت آنها هستیم، باید به تفکیک داده‌های گرانی‌سنجی پردازیم. در کارهای اکتشافی گرانی‌سنجی معمولاً آنومالی‌های ناحیه‌ای و در مطالعات ناحیه‌ای گرانی، آنومالی‌های باقی‌مانده را از مقادیر مشاهده شده حذف می‌نمایند [۱۶]. با حذف اثرات ناحیه‌ای از میدان گرانی، مولفه باقی‌مانده حاصل می‌شود. با تمایز آنومالی‌های متداخل، موقعیت توده‌های آنومال مشخص شده و آنومالی‌هایی که در موقعیت‌های مختلف افقی و قائم قرار گرفته اند، مشخص می‌شوند.

تأثیرات منطقه‌ای را می‌توان توسط روش‌های ترسیمی و تحلیلی از بین برد [۱۳۳]. در روش‌های ترسیمی، یک روند ناحیه‌ای بر مقادیر گرانی مشاهده شده برازش شده و با تفریق نقطه به نقطه آن از گرانی بوگه، مقادیر باقی‌مانده به صورت مثبت یا منفی حاصل می‌شود [۱۱۳ و ۱۵۱]. روش‌های تحلیلی که به صورت متداول جهت تفکیک داده‌های گرانی‌سنجی به کار می‌روند عبارتند از:

- ۱- روش گریفین ۲- روش گسترش به بالا ۳- روش گسترش به پایین ۴- روش مشتق ۵- روش تحلیل روند سطحی.

در این قسمت پس از توضیح اصول تئوری هر کدام از این روش‌ها، نتایج حاصل از اجرای این روش‌ها توسط نرم‌افزارهای Modelvision Pro و WingLink ارائه می‌شود.

### ۳-۴-۱- روش گریفین

روش گریفین، روش ساده تحلیلی برای حذف اثرات منطقه‌ای از طریق تحلیل مشتق دوم می‌باشد [۱۴۸]. مولفه باقی‌مانده هر ایستگاه به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$g_{res} = g_B - g_{reg} \quad (۵-۳)$$

در این رابطه،  $g_B$  گرانی بوگه آن ایستگاه بر حسب میلی‌گال است و جهت محاسبه مولفه ناحیه‌ای گرانی،  $g_{reg}$ ، هر ایستگاه، معمولاً نقشه آنومالی بوگه که به شکل مربع یا مستطیل است را به طور منظم شبکه‌بندی نموده (از محدودیت‌های این روش) و از یک سری آباک‌های دایره‌ای با شعاع‌های مختلف، متناسب با مقیاس نقشه استفاده می‌کنند [۸]. مرکز این آباک‌های دایره‌ای روی ایستگاه‌های گرانی قرار گرفته و مقدار متوسط گرانی روی هر دایره که مولفه ناحیه‌ای آن ایستگاه خوانده می‌شود از رابطه زیر به دست می‌آید [۷۲ و ۱۵۱]:

$$g_{reg} = \bar{g}(r) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} g(r, \theta) d\theta \quad (۶-۳)$$

نتیجه به دست آمده از این روش به شعاع دایره و تعداد نقاط انتخاب شده بستگی دارد. اگر شعاع خیلی کوچک باشد، مولفه ناحیه‌ای به آنومالی بوگه ایستگاه نزدیک شده و باقی‌مانده به صفر میل می‌کند. برای شعاع‌های بزرگ‌تر، مولفه ناحیه‌ای ناچیز بوده و مقدار باقی‌مانده تقریباً با آنومالی بوگه برابر می‌شود [۸].

### ۳-۴-۲- روش گسترش به بالا

فرآیند گسترش به بالا در واقع یک نوع هموارسازی است که توسط آن گرانی بوگه به طریق ریاضی بر روی سطوح ترازوی بالای سطح برداشت (بدون این که اندازه گیری گرانی روی آن سطح انجام شود)



محاسبه می‌شود. روش گسترش به بالا برای افزایش و آشکارسازی پاسخ‌های منابع عمیق‌تر در جایی که منابع کم عمق‌تر نیز موجودند، بکار می‌رود [۶۳].

فرآیند گسترش به بالا اثرات فرکانس‌های بالا، نزدیک سطح و توده‌های کوچک را از میدان گرانی حذف نموده و میدان هموارتری که حاصل منابع عمیق‌تر و ساختارهای با دانسیته بیشتر است را نشان می‌دهد [۸۱]. بنابراین در یک سطح بالاتر، آنومالی‌های منطقه‌ای به طور واضح‌تر نمایان شده و آنومالی‌های محلی کم‌تر واضح می‌باشند [۱۳۴].

از مزایای این روش این است که هر نوع نویز موجود در داده‌های اولیه با افزایش ارتفاع گسترش کم می‌شود [۱۳۳]. اما باید توجه داشت که نتیجه حاصل از گسترش به بالا فقط یک تخمین است چون در واقع با گسترش به بالا جاذبه محلی از منطقه‌ای جدا نمی‌شود [۱۳۴].

### ۳-۴-۳- روش گسترش به پایین

فرآیند گسترش به پایین، داده‌های میدان پتانسیل را از یک سطح مبنا به طریق ریاضی بر روی سطوح ترازوی در زیر سطح مبنای اصلی تصویر می‌کند. تابع گسترش به پایین، میدان گرانی پراکنده حاصل از توده‌های عمیق را به میدانی واضح‌تر تبدیل می‌کند. این تبدیل، آنومالی حاصل از اجرام موجود در عمق گسترش را از آنومالی‌های حاصل از سایر توده‌های عمیق‌تر جدا می‌کند [۵۴]. بنابراین گسترش باید تا عمق بالای منبع مورد نظر انجام گیرد. به این ترتیب با نزدیک شدن به سطح بالایی منبع، دامنه آنومالی حاصل افزایش می‌یابد.

اگر چه در نقشه‌های گسترش یافته به پایین، هم آنومالی‌های کوچک عمیق و هم آنومالی‌های منطقه‌ای به طور بارزتری نمایان می‌شوند اما هم‌زمان نویزهای کوچک موجود در میدان گرانی اولیه گسترده‌تر شده و ممکن است باعث پیچیده‌تر یا مخفی شدن سیگنال‌های مورد نظر شود [۸۱].

### ۳-۴-۴- روش مشتق قائم

مشتق قائم در روش‌های گرانی‌سنجی قادر به جداسازی اثرات اجرام محلی از اثرات ناحیه‌ای می‌باشد. دلیل استفاده از مشتقات به این خاطر است که در نقشه‌های مشتق، آنومالی‌های ناحیه‌ای و عمیق به دلیل خطی بودن آنها خیلی ضعیف شده و یا از بین می‌روند [۸]. بنابراین نقشه‌های مشتق شکل تقریبی از منبع آنومالی را نشان می‌دهند [۸۲].

میدان گرانی اندازه‌گیری شده با تغییرات ارتفاع تغییر می‌نماید. بنابراین گرادیان قائم به صورت حاصل  $\frac{\partial g}{\partial z} = g'$  می‌شود. نسبت تغییرات  $g'$  به عمق،  $(\frac{\partial g'}{\partial z})$ ، مشتق دوم قائم گرانی  $g''$ ،  $(\frac{\partial^2 g}{\partial z^2})$ ، نامیده می‌شود [۱۳۳].

مشتق دوم قائم گرانی اثرات توده‌های نزدیک سطح را در مقابل آنومالی‌های عمیق‌تر شدت می‌بخشد [۵۷]. در اکتشافات نفتی معمولاً از مشتق اول که تاثیرات سطحی عمیق‌تر را مشخص می‌کند، استفاده می‌شود [۸].

### ۳-۴-۵- روش تحلیل روند سطحی

از انعطاف‌پذیرترین تکنیک‌های تحلیلی جهت تعیین مولفه ناحیه‌ای داده‌های میدان پتانسیل، روش برازش سطح چند جمله‌ای بر مقادیر گرانی مشاهده شده می‌باشد. در این روش سعی می‌شود از طریق تکنیک‌های حداقل‌سازی مربع انحرافات [۲۳، ۱۳۹ و ۲۱]، سطح بهینه‌ای که از طریق ریاضی قابل توصیف باشد به عنوان اثر ناحیه‌ای گرانی بر داده‌ها انطباق داده شود. گرانی باقی‌مانده، تفاوت بین مقادیر مشاهده شده و مولفه ناحیه‌ای می‌باشد [۵۴].

سطح روند برازش یافته، یک تابع چند جمله‌ای از مختصات موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های برداشت

می‌باشد. در تحلیل‌های سه بعدی، متغیر وابسته Z تابعی از مختصات جغرافیایی U و V می‌باشد:

$$Z = f(U, V) + \mu \quad (7-3)$$

$\mu$  خطای تصادفی است که توزیع نرمال (میانگین صفر و واریانس  $\sigma^2$ ) دارد.

معادله سطح مذکور را در حالت دو بعدی می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

$$Z = b_0 + b_1U + b_2V + b_3U^2 + b_5UV + b_4V^2 + \mu \quad (7-3)$$

$b_i$  ( $i = 0, 1, 2, \dots$ ) ضرایب سطح مذکور می‌باشند. معمولاً پارامترهای این روند توسط روش کمترین مربعات

تعیین می‌شوند [۱۱۶].

در برازش چند جمله‌ای، اثرات توزیع ایستگاه‌های برداشت و نتایج حاصل از پیچیدگی سطح محاسبه

شده (مرتبه سطح) باید در نظر گرفته شود [۸۱]. مرتبه روند سطحی به پیچیدگی زمین‌شناسی منطقه

بستگی دارد [۵۴]. هر چه مرتبه روند سطحی بیشتر باشد، امکان دسترسی به سطحی که بهترین تطابق

را با مقادیر مشاهده شده داشته باشد، بیشتر است [۸]. اما انتخاب چند جمله‌ای‌های با مرتبه خیلی بالا

ممکن است موجب تفکیک سیگنال‌های نامناسب شود.

نتایج تحلیل‌های روند سطحی به تعداد ایستگاه‌های برداشت و پراکندگی یکنواخت این ایستگاه‌ها

بستگی دارد. به طوری که هر چه تعداد ایستگاه‌های برداشت بیشتر بوده و یکپارچگی بیشتری داشته

باشند، روند تخمینی دقت بیشتری داشته و ویژگی‌های گرانی برداشت شده را بهتر نشان می‌دهد [۱۱۶].

### ۳-۵- مدل سازی

پس از حذف اثرات ناحیه‌ای از نقشه‌های گرانی، آنومالی گرانی باقی‌مانده باید به عنوان یک توزیع چگالی آنومال مورد تفسیر کیفی و کمی قرار گیرد. تحلیل‌های پیشرفته بر اساس مدل‌سازی کمی آنومالی مورد نظر عمل می‌کنند. مدل‌سازی به فرآیند شبیه‌سازی بی‌هنجاری مشاهده شده توسط یک آنومالی محاسبه شده به وسیله تکنیک‌های عددی و تحلیلی، از یک مدل فرضی در زیر زمین و تخمین پارامترهای فیزیکی و هندسی آن از آنومالی گفته می‌شود [۸۲]. به عبارت دیگر، تکنیک‌های مدل‌سازی جهت افزایش اطلاعات درباره ارتباط بین داده‌های مشاهده شده و تغییر خواص فیزیکی اجرام زیر سطحی مختلف و یا ناپیوستگی‌هایی که این تغییرات را به وجود آورده‌اند، به کار می‌روند [۱۰۳]. هم چنین به کمک مدل‌سازی می‌توان تقریبی از توزیع اجرام زیر سطحی را به دست آورد [۶۹].

به طور کلی سه روش مختلف جهت مدل‌سازی وجود دارد: ۱- راه حل‌های تحلیلی که در مورد شکل‌های هندسی ساده به کار می‌روند ۲- مدل‌سازی پیشرو و ۳- مدل‌سازی معکوس [۱۰۶]. در اکثر این روش‌ها، مدل‌سازی به صورت فرآیندهای تکرار<sup>۱</sup> و از طریق مقایسه میدان گرانی حاصل از مدل با آنومالی‌های گرانی باقی‌مانده یا مشاهده شده انجام می‌پذیرد. چنانچه مقادیر محاسبه‌ای با مقادیر مشاهده‌ای برآزش نشود، مدل تغییر نموده و فرآیند تا زمانی که برآزش کافی بین مقادیر محاسبه شده و مقادیر مشاهده شده برقرار شود ادامه می‌یابد.

مدل‌سازی داده‌های میدان پتانسیل به صورت دو و سه بعدی انجام می‌شود. در روش دو بعدی (2D) فرض می‌شود که توده آنومال به صورت نامحدودی با امتداد ساختار موازی است و در یک جهت گسترش دارد. زمانی که توده مورد مدل‌سازی ساختار پیچیده‌ای دارد که نمی‌توان تغییرات فیزیکی توده را در یک جهت یکنواخت در نظر گرفت، مدل‌سازی به صورت سه بعدی (3D) انجام می‌شود [۱۵].

---

<sup>۱</sup> - Iterative modeling

### ۳-۵-۱- مدل سازی پیشرو

در مدل سازی پیشرو ابتدا یک مدل اولیه با کمک اطلاعات زمین شناسی و تجربه مفسر تخمین زده شده و سپس آنومالی حاصل از این مدل فرضی با تکرار محاسبات بر پایه تغییر پارامترهای مدل، محاسبه می شود. فرآیند مدل سازی تا زمانی که انطباق مناسب بین آنومالی محاسبه شده و آنومالی مشاهده شده ایجاد گردد، ادامه می یابد [۸۲ و ۵۳]. فرآیند کاهش خطای مدل سازی پیشرو به صورت آزمون و خطا<sup>۱</sup> انجام می شود. بنابراین، این فرآیند بسیار وقت گیر و خسته کننده بوده و در مواردی با تغییر پارامترهای مدل هرگز نمی توان به برازش لازم بین داده های اندازه گیری شده و محاسبه شده دست یافت [۱۹].

### ۳-۵-۲- مدل سازی معکوس

در این روش ابتدا یک مدل هندسی اولیه تخمین زده شده و مقادیر اولیه تمام پارامترهای متغیر نیز تعیین می شوند. سپس آنومالی حاصل از مدل محاسبه می گردد و با آنومالی مشاهده شده مقایسه می شود. اثر تغییرات پارامترهای مدل روی کیفیت تطابق آنومالی محاسبه و مشاهده شده بررسی می گردد و مدل به طریقی اصلاح می شود که موثرترین همگرایی بین آنومالی های مشاهده شده و محاسبه شده در تکرار بعدی حاصل گردد [۸].

به دلیل ابهامات ذاتی ناشی از تعداد بی شمار جوابی که برای یک آنومالی میدان پتانسیل وجود دارد و عدم استفاده از داده های مناسب که اطلاعات مطلوبی را برای یک جواب منحصر به فرد در مورد مسأله ارائه نمی کنند [۱۲۵]، اجرای بعضی محدودیت ها به منظور محدود کردن جواب های حاصل از مدل، جهت جلوگیری از بروز برخی ناپایداری ها در فرآیند مدل سازی معکوس لازم است [۱۰۳ و ۱۲۵].

---

<sup>۱</sup> - Trial and error

مدل‌سازی معکوس به دو نوع پارامتری<sup>۱</sup> و هموار<sup>۲</sup> تقسیم می‌شود. روش پارامتری کردن مدل برای شبیه‌سازی ساختارهای خیلی پیچیده بسیار مناسب می‌باشد و قادر است مسأله را به صورت واقعی‌تری فرمول‌بندی نماید [۱۹]. در این روش مدل به بلوک‌های مستطیل شکل منظمی تفکیک می‌شود که هر بلوک پارامترهای فیزیکی ثابت (نظیر دانسیته) اما مجهول دارد [۲۶، ۹۶، ۱۳۰، ۳۸، ۱۰۸، ۴۱ و ۱۶۵]. در مرحله بعد به کمک روش‌های تفاوت‌های محدود [۶۱]، اجزاء محدود یا الگوریتم ژنتیک [۱۶۵] و تبدیلات فوریه سریع [۱۳۸]، پاسخ مدل به ازای یک حدس اولیه به روش تکرار محاسبه می‌شود. خطای حاصل از هر بار تکرار مدل‌سازی، تابعی از پارامترهای مدل بوده و تابع هدف نامیده می‌شود. با به حداقل رساندن تابع هدف با برازش داده‌های محاسبه شده با داده‌های مشاهده شده، می‌توان پارامترهای هر بلوک را تخمین زد.

روش‌های مختلفی جهت انجام بهترین تطابق و حداقل‌سازی تابع هدف وجود دارد. مهم‌ترین این روش‌ها عبارتند از: حداقل‌سازی کمترین مربعات<sup>۳</sup>، روش شبه نیوتن<sup>۴</sup>، روش گاوس-نیوتن<sup>۵</sup> و یا روش رگرسیون ریبج<sup>۶</sup> [۸۴ و ۹۹] که با سرعت و دقت متفاوت عمل می‌کنند.

روش معکوس‌سازی هموار، در حل مسائلی که تعداد داده‌ها کم می‌باشد به کار می‌رود. زمانی که پارامترهای مدل نسبت به مکان تغییرات کمی داشته باشند، با استفاده از روابط ریاضی می‌توان اختلاف بین پارامترهای مجاور را به حداقل رساند [۹۹]. اما استفاده از توابع اضافی یا اجرای محدودیت‌های دیگر نظیر روش پارامتری امکان‌پذیر نیست. چون در این نوع مدل‌سازی، هاله‌ای از توده آنومالی که به تدریج به زمینه تقلیل می‌یابد نشان داده می‌شود، تعیین محل دقیق آنومالی مورد نظر و مرز جدایی توده‌های مختلف با این روش مشکل و گاهی غیر ممکن است [۱۸].

---

<sup>۱</sup> - Parametric modeling

<sup>۲</sup> - Smooth modeling

<sup>۳</sup> - Least square minimization

<sup>۴</sup> - Quasi-Newton

<sup>۵</sup> - Gauss-Newton

<sup>۶</sup> - Ridge regression

### ۳-۶- تعبير و تفسير داده‌های گرانی‌سنجی منطقه دهنو

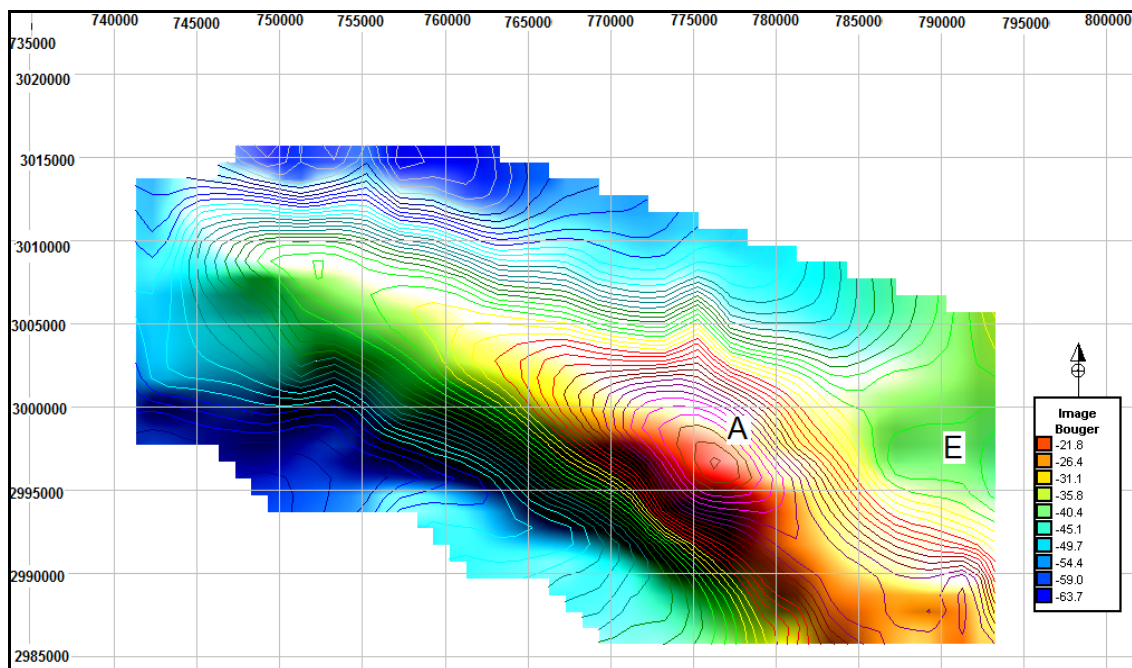
به منظور انجام پایان‌نامه حاضر، داده‌های گرانی‌سنجی منطقه دهنو به صورت یک فایل داده از مدیریت اکتشاف شرکت نفت اخذ گردید.

در مرحله پردازش داده‌ها برای تفکیک آنومالی‌های ناحیه‌ای و باقی‌مانده از پنج روش گریفین، مشتق قائم، گسترش به بالا، گسترش به پایین و روند سطحی استفاده شده است.

#### ۳-۶-۱- نقشه آنومالی بوگه

نقشه آنومالی بوگه که تغییرات گرادیان جاذبه را بین ۲۷- تا ۶۳- میلی‌گال نشان می‌دهد، با فواصل خطوط کنتوری ۱ میلی‌گال رسم و در شکل (۳-۴) نشان داده شده است. این نقشه، وضعیت ساختمان زیر سطحی منطقه را به صورت یک آنومالی مثبت (high) بسته با روند شمال غرب- جنوب شرق که توسط دو آنومالی منفی (low) نیمه بسته با روند مشابه در برگرفته شده است، نشان می‌دهد.

آنومالی مثبت A که با دامنه بزرگ و فرکانس پایین، محدوده وسیعی را در نقشه اشغال نموده است، تاقدیس دهنو را نشان می‌دهد. فشردگی کنتورهای گرانی، شیب زیاد دامنه‌های تاقدیس مورد نظر را نشان می‌دهد. آنومالی منفی واقع در جنوب شرق منطقه که با حرف E در شکل (۳-۴) نشان داده شده است، اثر نمک با دانسیته پایین را مشخص می‌کند.



شکل (۳-۴) نقشه آنومالی بوگه منطقه دهنو

### ۳-۶-۲- روش روند سطحی

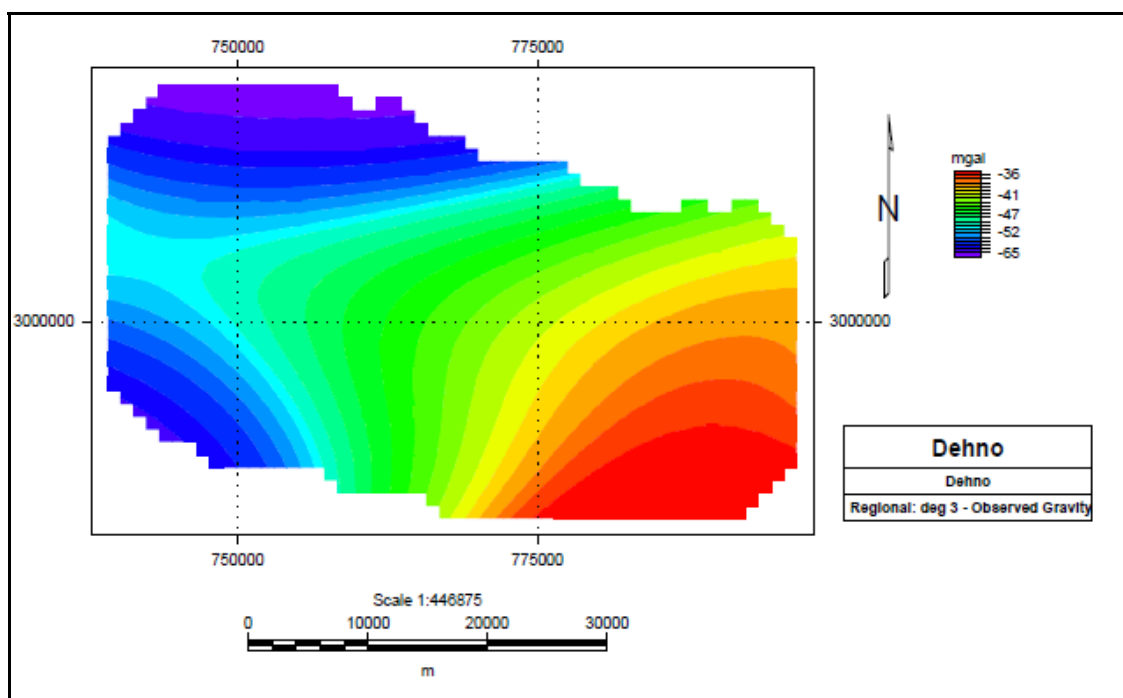
روش روند سطحی، در سه روند متفاوت مرتبه ۲، ۳ و ۴ روی نقشه آنومالی بوگه منطقه دهنو اعمال شد و آنومالی‌های ناحیه‌ای و باقی‌مانده هر کدام از این روندها تهیه گردید. در نقشه آنومالی ناحیه‌ای گرانی با روند مرتبه ۳ (شکل ۳-۵)، کاهش مقدار گرانی از جنوب‌شرق به سمت شمال‌غرب منطقه دیده می‌شود که احتمالاً نشان دهنده افزایش عمق رسوبات به سمت شمال‌غرب می‌باشد. نقشه‌های آنومالی ناحیه‌ای روندهای مرتبه ۲ و ۴ (شکل‌های ۱ و ۲ پیوست الف) نیز تقریباً این موضوع را تایید می‌نمایند [۸].

با کسر اثرات ناحیه‌ای مربوط به هر کدام از روندهای مرتبه ۲، ۳ و ۴ از نقشه آنومالی بوگه، نقشه‌های آنومالی باقی‌مانده مربوط به هر روند حاصل می‌شود (شکل‌های ۳-۶، الف-۳ و الف-۴). در نقشه آنومالی

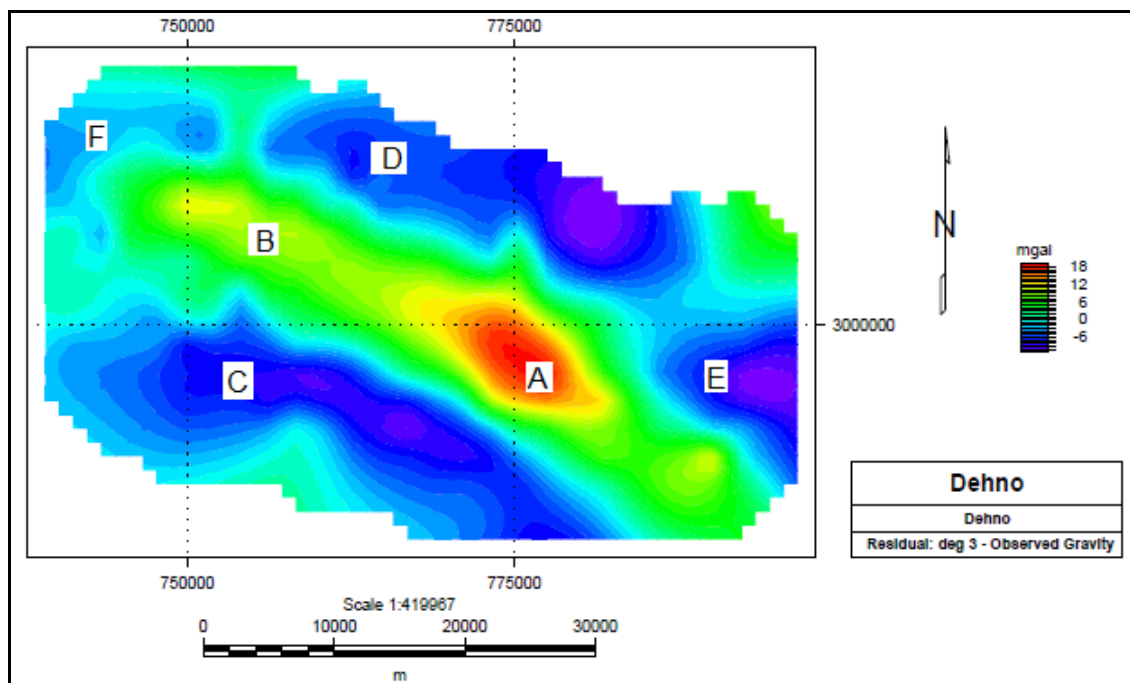


باقی مانده روند مرتبه ۳ (شکل ۳-۶) آنومالی‌های A، C، D و E با روندهای شمال غرب- جنوب شرق و آنومالی B با روند تقریباً شرقی- غربی دیده می‌شوند که در بین آنها آنومالی‌های مثبت A و B ساختمان‌های تاقدیسی و آنومالی‌های C، D و E ساختمان‌های ناودیسی می‌باشند. آنومالی E نیمه بسته و سایر آنومالی‌ها بسته می‌باشند. اکثر این آنومالی‌ها با طول موج و دامنه بزرگ و فرکانس پایین، محدوده وسیعی را در نقشه آنومالی باقی مانده روند مرتبه ۳ اشغال نموده‌اند.

نقشه آنومالی باقی مانده روند مرتبه ۲ گرانی (شکل الف-۳) تقریباً مشابه شکل (۳-۶)، آنومالی‌های مثبت A و B (ساختمان‌های تاقدیسی) و آنومالی‌های منفی C، D و E را نشان می‌دهد. علاوه بر این آنومالی‌ها، آنومالی نیمه بسته F که در ادامه تشکیلات زمین‌شناسی رخنمون دار منطقه می‌باشد، نیز نشان دهنده یک ساختمان ناودیسی می‌باشد.



شکل (۳-۵) نقشه آنومالی ناحیه‌ای روند مرتبه ۳ گرانی منطقه دهنو



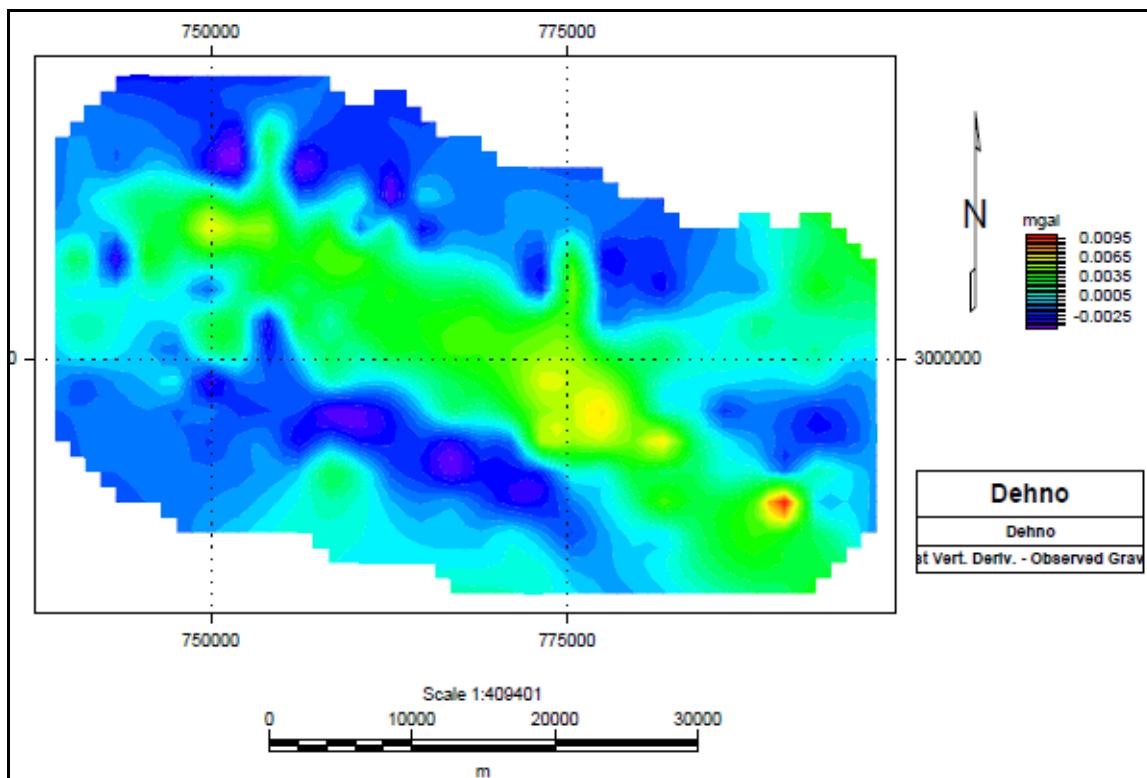
شکل (۳-۶) نقشه آنومالی باقی مانده روند مرتبه ۳ گرانی منطقه دهنو

### ۳-۶-۳- روش مشتق قائم

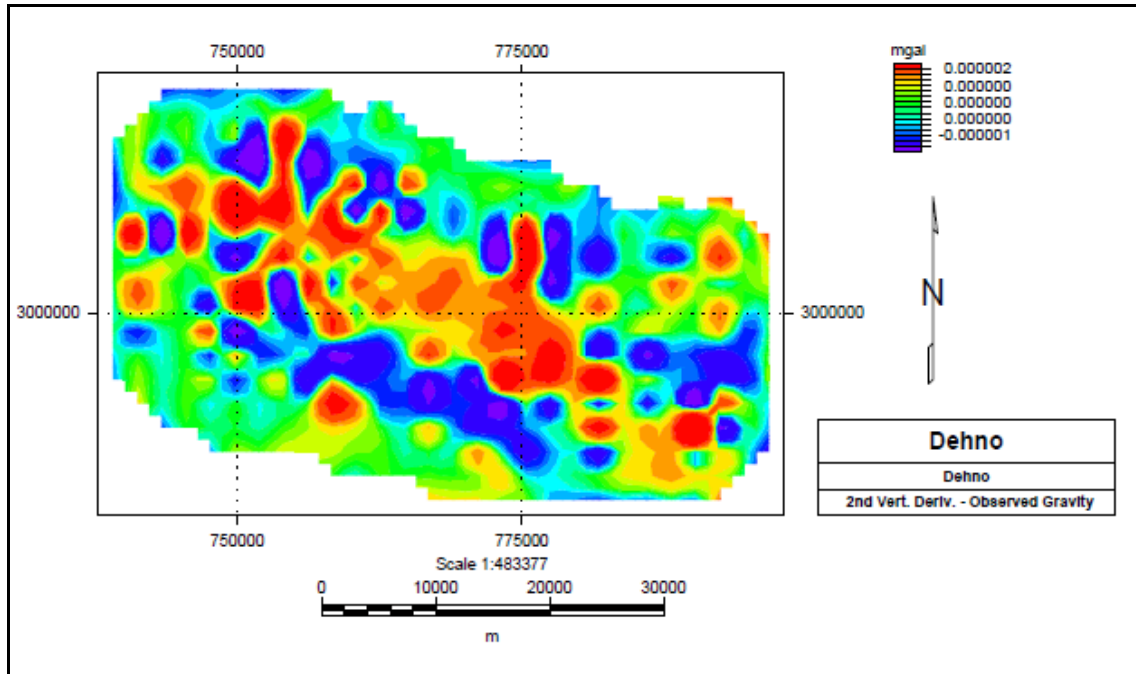
شکل‌های (۳-۷) و (۳-۸) نقشه‌های باقی مانده مربوط به مشتقات قائم مرتبه اول و دوم داده‌های گرانی دهنو را که در حوزه زمان تهیه شده است، نشان می‌دهند. در این نقشه‌ها اثرات مولفه‌های ناحیه‌ای به طور قابل ملاحظه‌ای تضعیف شده و یا از بین رفته‌اند و اثرات باقی مانده مربوط به ساختمان‌های سطحی نشان داده می‌شود.

نقشه مشتق اول (شکل ۳-۷) آنومالی‌های عمیق‌تر و نقشه مشتق دوم (شکل ۳-۸)، آنومالی‌های خیلی نزدیک سطح زمین را نشان می‌دهد. در این نقشه‌ها، آنومالی‌های مشخص شده بر روی نقشه‌های باقی مانده حاصل از روندهای سطحی (شکل‌های ۳-۶، الف-۳ و الف-۴) با روندی مشابه، تنها با اندکی

تغییر شکل و جابجایی که ناشی از افزایش نویز در روش مشتق است، قابل مشاهده می‌باشند. در نقشه آنومالی باقی‌مانده مشتق دوم شکل (۸-۳) روند ساختمان‌های منطقه و تاقدیس دهنو به خوبی دیده می‌شود. البته آنومالی‌های کوچکی در این نقشه ظاهر شده‌اند که نشان دهنده افزایش نویز و یا آنومالی‌های نزدیک سطح می‌باشند. روی این نقشه مرز بین تاقدیس دهنو و ساختمان‌های ناودیسی اطراف به خوبی دیده می‌شود. عدم پیوستگی در مرزهای این تاقدیس احتمالاً گویای گسل‌های کم عمقی است که گسترش عمقی ضعیف دارند.



شکل (۷-۳) نقشه مشتق اول قائم گرانی منطقه دهنو در حوزه زمان

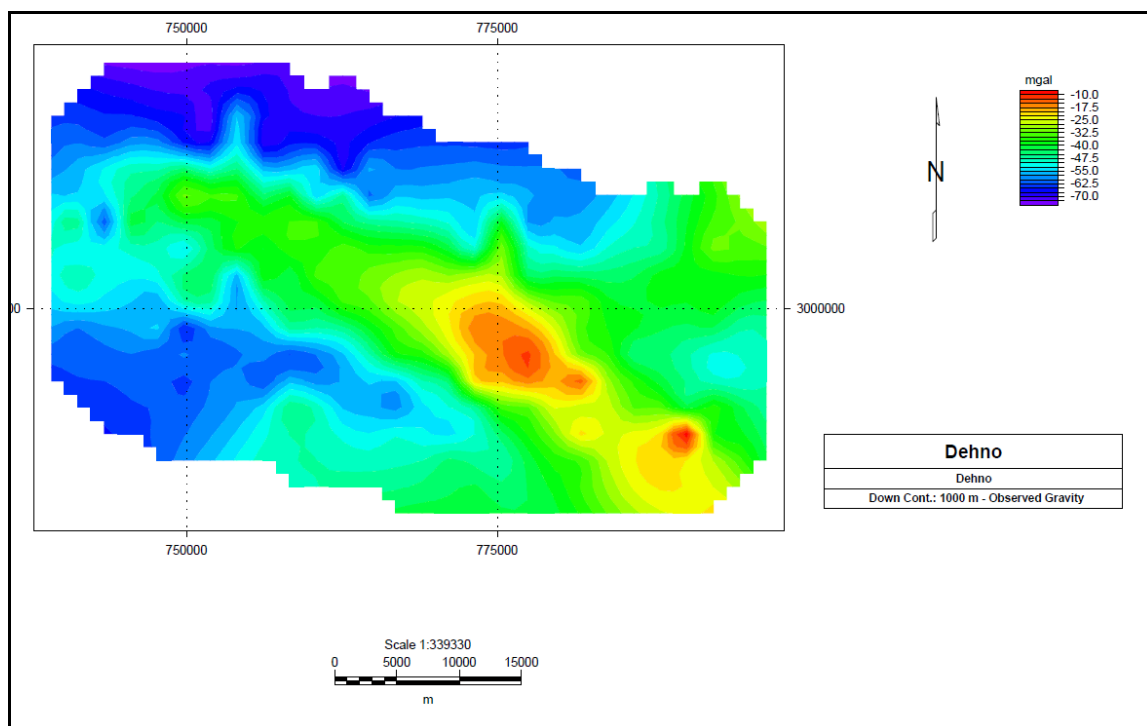


شکل (۳-۸) نقشه مشتق دوم قائم گرانی منطقه دهنو در حوزه زمان

### ۳-۶-۴- روش گسترش به پایین

نقشه‌های گسترش به پایین داده‌های گرانی‌سنجی دهنو، به ازای عمق‌های گسترش ۷۵۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۲۵۰، ۱۵۰۰، ۱۶۰۰، ۱۷۰۰، ۱۷۵۰ و ۲۰۰۰ متری به منظور بررسی نفوذ توده‌های نمک سازند هرمز که زیر ساختمان‌های فارس گسترش دارد، تهیه و در شکل‌های (۳-۹) و (الف-۵) تا (الف-۱۲) نشان داده شده‌اند. این روش اثر آنومالی‌های ضعیف عمقی را برجسته‌تر نموده و آنومالی‌های قوی عمیق‌تر نیز نشان داده می‌شوند.

آنومالی مثبت A در تمام اعماق دیده می‌شود که عمق زیاد این آنومالی را تایید می‌کند. با افزایش عمق بررسی و نزدیک شدن به منبع آنومالی‌های گرانی، ساختمان‌ها کم‌کم نمایان می‌شوند که این موضوع به‌خصوص در مورد ساختمان مثبت B و ساختمان منفی C قابل درک می‌باشد.

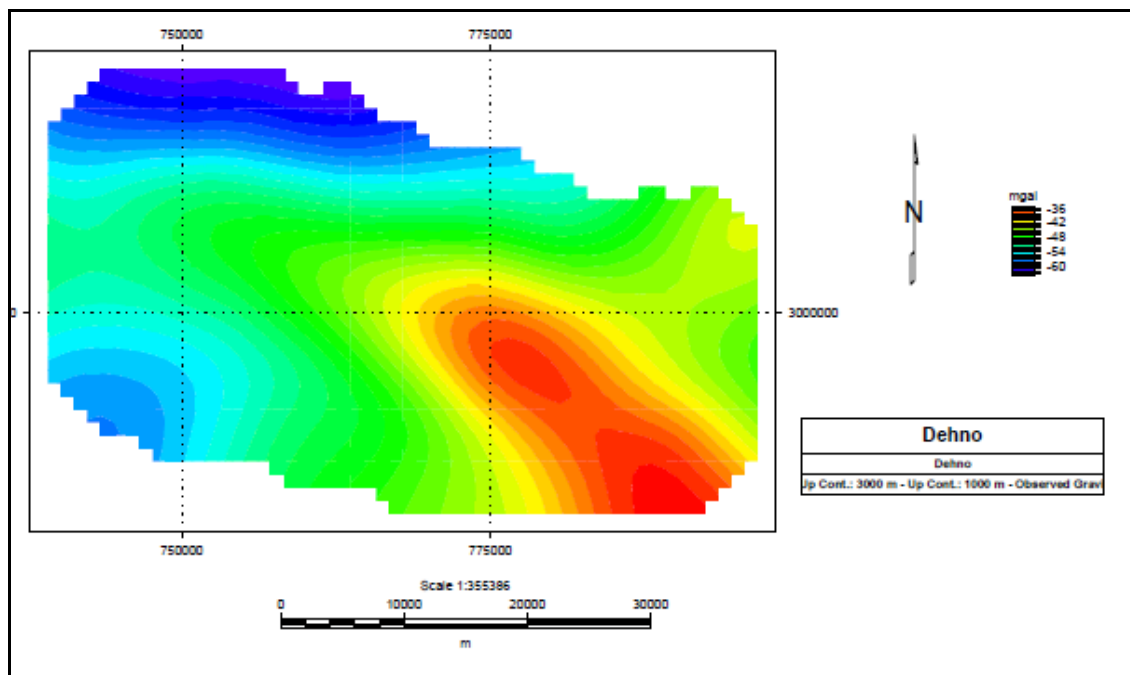


شکل (۹-۳) نقشه آنومالی گسترش یافته به پایین با عمق گسترش ۱۰۰۰ متر منطقه دهنو

بررسی نقشه‌های گسترش به پایین تا عمق گسترش ۱۷۵۰ متری، عملکرد نمک را در مرکز تاقدیس دهنو نشان نمی‌دهد. ولی در اعماق بیشتر از ۱۵۰۰ متر اختلال‌هایی در بخش جنوب‌شرقی ساختمان مثبت A دیده می‌شود (شکل‌های الف-۸ تا الف-۱۲) که می‌توان آن را به جابجایی محور تاقدیس در اثر بالآمدگی نمک هرمز که در این قسمت از تاقدیس بیشتر از سایر بخش‌هاست، نسبت داد [۸].

### ۳-۶-۵- روش گسترش به بالا

فیلتر گسترش به بالا نیز با ارتفاعات گسترش ۲۵۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۱۲۵۰، ۱۵۰۰، ۱۷۵۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ متر بر روی نقشه آنومالی بوگه اعمال و نقشه هر کدام از آنها رسم گردید (شکل های ۳-۱۰ و الف-۱۳ تا الف-۱۹). نقشه‌های حاصل از ارتفاعات مختلف مشابه هم بوده و نشان دهنده تاثیرات عمیق آنومالی مثبت A یعنی تاقدیس دهنو می‌باشد. با توجه به حضور آنومالی مثبت A در تمام نقشه‌های حاصل از این روش، می‌توان نتیجه گرفت که این آنومالی احتمالاً از عمق کم تا اعماق زیاد گسترش دارد که این مطلب در نتایج حاصل از روش‌های قبلی نیز تایید شده است.



شکل (۳-۱۰) نقشه آنومالی گسترش یافته به بالا منطقه دهنو با ارتفاع گسترش ۱۰۰۰ متر

به این ترتیب با مشخص شدن محل و نوع منبع مولد آنومالی‌های موجود در منطقه، مرحله تفسیر کیفی آنومالی‌ها پایان می‌پذیرد. برای تایید نتایج حاصل از مرحله تفکیک آنومالی‌ها و تعیین پارامترهای هندسی و فیزیکی منابع زیر سطحی مولد آنومالی‌ها در این مرحله به مدل‌سازی و تفسیر کمی داده‌های گرانی‌سنجی دهنو می‌پردازیم.

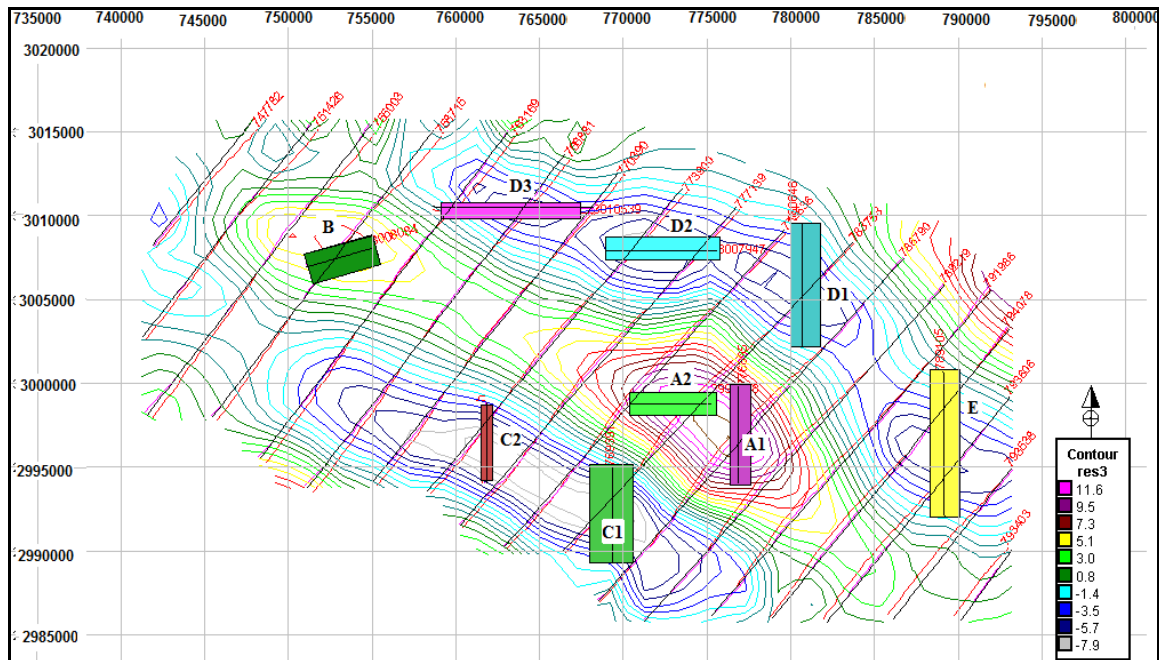
### ۳-۷- مدل‌سازی ساختمان‌های زمین‌شناسی موجود در ناحیه دهنو

#### ۳-۷-۱- مدل‌سازی دو بعدی

نقشه آنومالی باقی‌مانده گرانی حاصل از روش روند سطحی مرتبه ۳، با توجه به شواهد زمین‌شناسی موجود و رخنمون تاقدیس دهنو، در مقایسه با نقشه‌های باقی‌مانده حاصل از سایر روش‌های تفکیک آنومالی‌ها آلودگی کمتری به نويز داشته و آنومالی‌ها را با تغییر شکل و جابجایی کمتری نشان می‌دهد، لذا این نقشه جهت انجام مدل‌سازی و بررسی گسترش دو بعدی زیر سطحی ساختمان‌های منطقه و به دست آوردن یک دید اولیه از مشخصات هر یک از ساختمان‌های موجود انتخاب گردید. برای این منظور در امتداد عمود بر محور هر کدام از ساختمان‌ها روی نقشه باقی‌مانده انتخابی، پروفیل‌هایی رسم شد (شکل ۳-۱۱). سپس روی مقاطع عرضی ساختارها در راستای هر کدام از پروفیل‌ها، یک چند ضلعی با توجه به مثبت یا منفی بودن آنومالی مورد مدل‌سازی به صورت یک تاقدیس یا ناودیس ساده به عنوان مدل اولیه و مقدار  $2/3$  و  $2/6$  به ترتیب به عنوان دانسیته زمینه و مدل فرضی در نظر گرفته شد.

پاسخ حاصل از مدل فرضی اولیه به وسیله مدل‌سازی پیشرو محاسبه و خطای حاصل از مدل‌سازی با خطای هدف که در اینجا ۲ در نظر گرفته شده است، مقایسه گردید. برای کاهش خطا و انطباق گرانی حاصل از مدل با مقادیر برداشت شده، از فرآیند مدل‌سازی معکوس پارامتری استفاده گردید. برای این منظور پارامترهای هندسی و فیزیکی چند ضلعی مورد نظر یک به یک آزاد گذاشته می‌شود و با ۲۰

مرتبته تکرار عملیات، جواب حاصل از مدل محاسبه گردید. این فرآیند تا زمانی که خطای حاصل از مدل سازی کمتر از خطای هدف به دست آید، ادامه می یابد. با اتمام مدل سازی، پارامترهای هندسی و فیزیکی هر یک از مدل ها برای ساختمان های مورد نظر تعیین گردید که در جدول (۳-۱) ارائه شده است. مدل های دو بعدی ساختمان های منطقه در شکل های (۳-۱۲) تا (۳-۲۰) دیده می شوند.

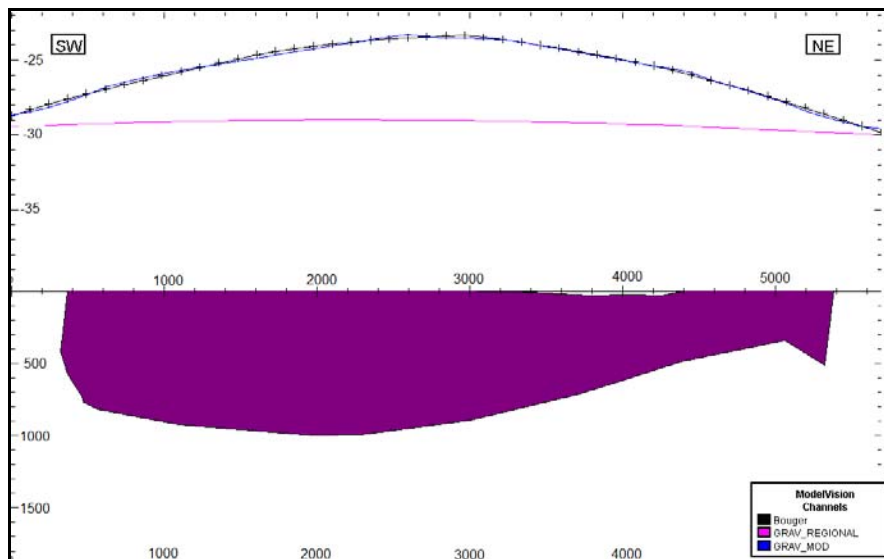


شکل (۳-۱۱) مقاطع رسم شده بر روی آنومالی های موجود در نقشه آنومالی باقی مانده روش روند سطحی مرتبه ۳ گرانی و مدل های دو بعدی به دست آمده برای هر یک از آنومالی ها

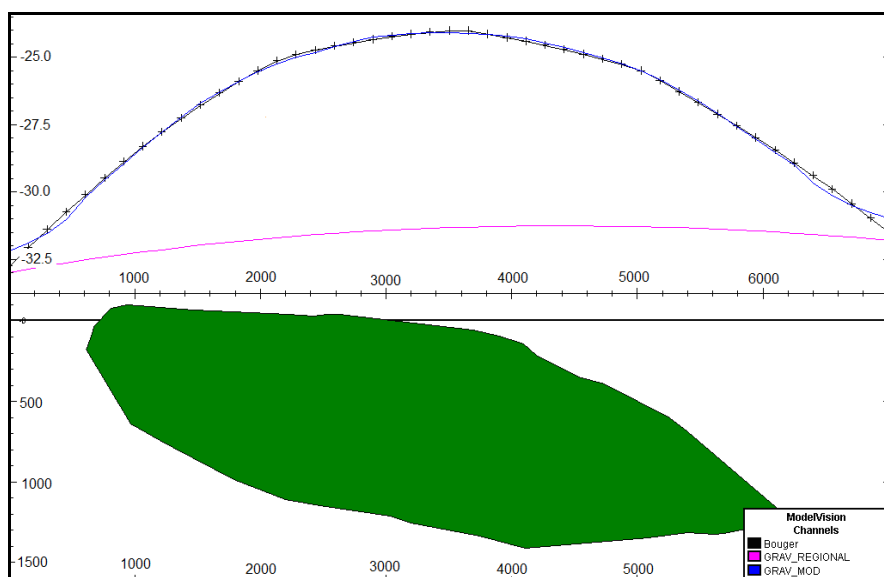


جدول (۱-۳) نتایج حاصل از مدل سازی دو بعدی معکوس پارامتری

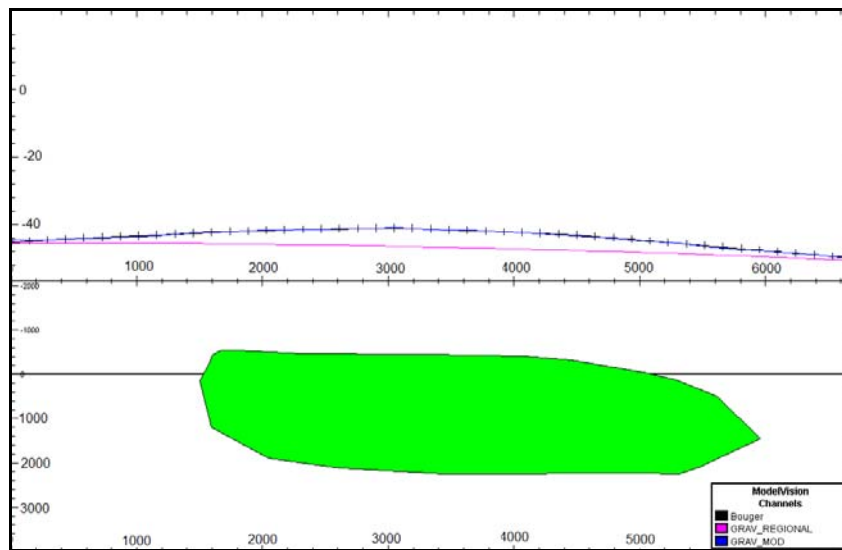
آنومالی	نوع ساختار	عمق بر حسب m	دانسیتته بر حسب $gr/cm^3$	ابعاد بر حسب m
A1	تاقدیس	۳۷۰	۲/۳۹	۹۲۰ × ۴۷۷۳
A2	تاقدیس	۳۹۲	۲/۵۶	۶۳۰۰ × ۱۴۶۰
B	تاقدیس	۴۴۳	۲/۹۱	۴۳۰۵ × ۲۰۹۰
C1	ناودیس	۲۴۰۰	۲/۰۴	۴۷۱۴ × ۲۴۰۰
C2	ناودیس	۲۳۰۰	۲/۰۲	۳۹۵۰ × ۲۰۵۰
D1	ناودیس	۲۶۰۰	۱/۸۵	۳۱۰۰ × ۱۰۰۳
D2	ناودیس	۵۳۵۰	۲/۰۹	۴۰۳۰ × ۶۵۶۸
D3	ناودیس	۲۹۱۰	۱/۹۴	۲۴۶۵۰ × ۲۲۰۰
E	ناودیس	۲۵۵۰	۱/۸۱	۵۹۶۶ × ۱۷۸۰



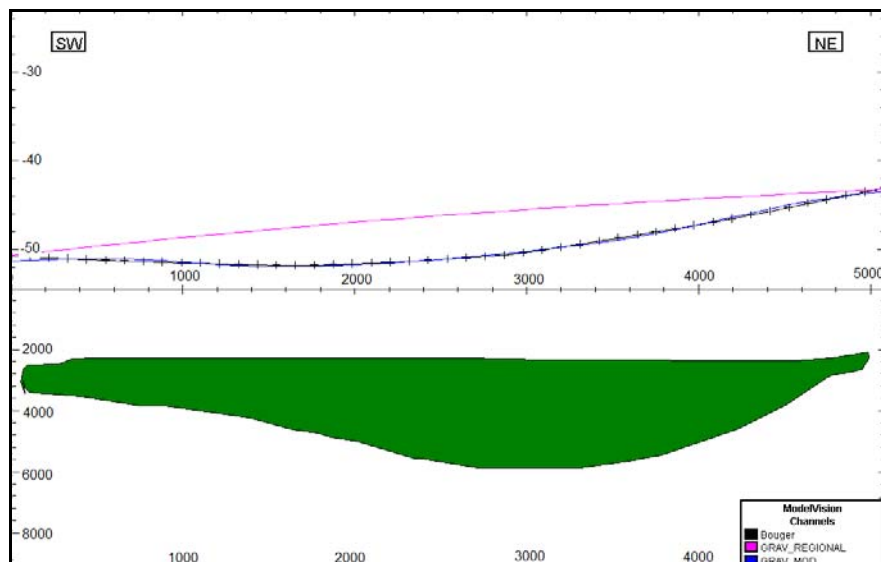
شکل (۱۲-۳) مدل دو بعدی آنومالی A1 با خطای  $RMS=1/927$



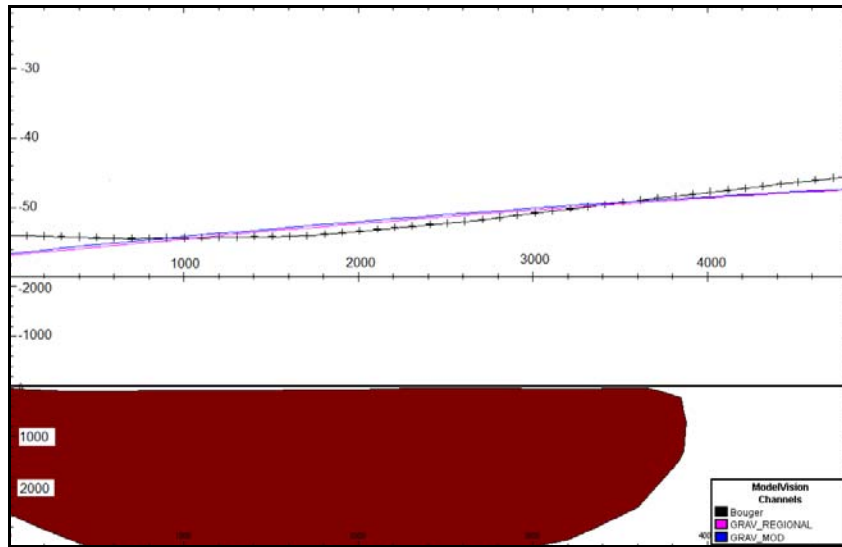
شکل (۱۳-۳) مدل دو بعدی آنومالی A2 با خطای  $RMS=1/731$



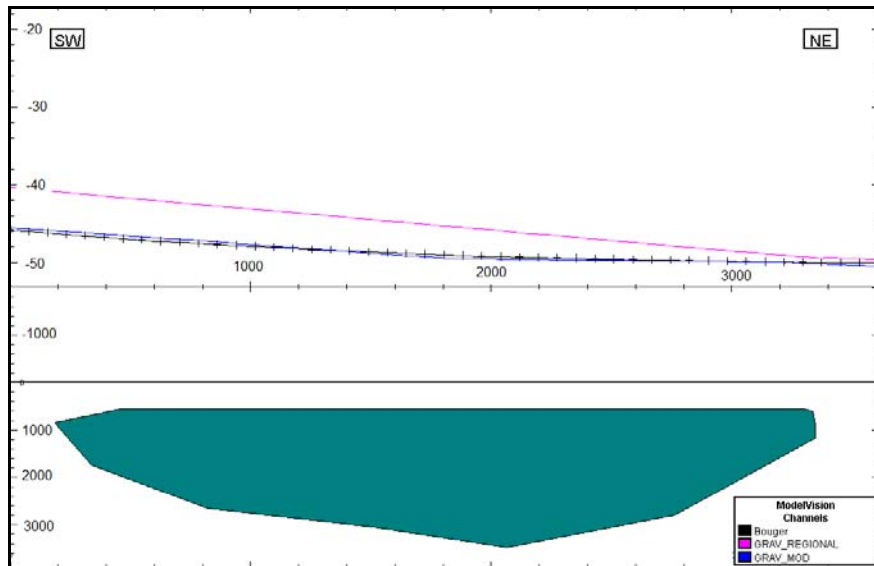
شکل (۳-۱۴) مدل دو بعدی آنومالی B با خطای  $RMS=1/883$



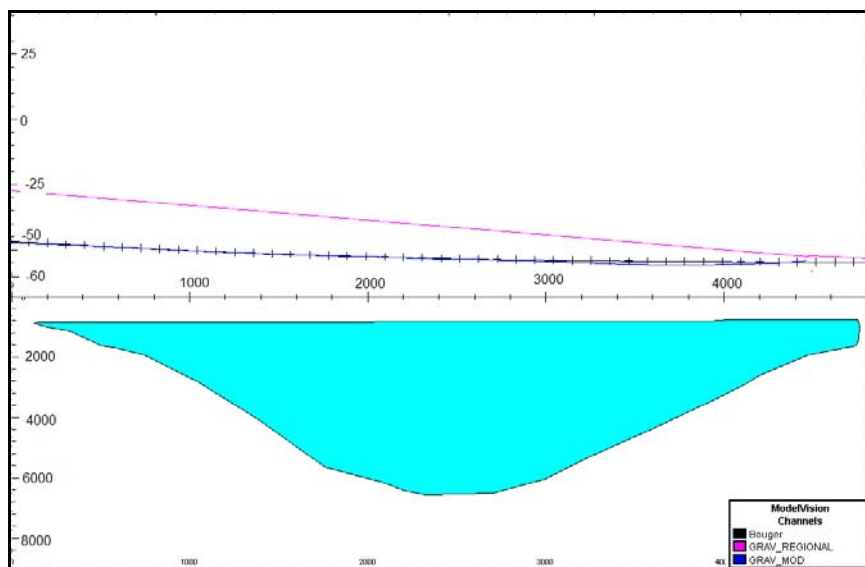
شکل (۳-۱۵) مدل دو بعدی آنومالی C1 با خطای  $RMS=1/997$



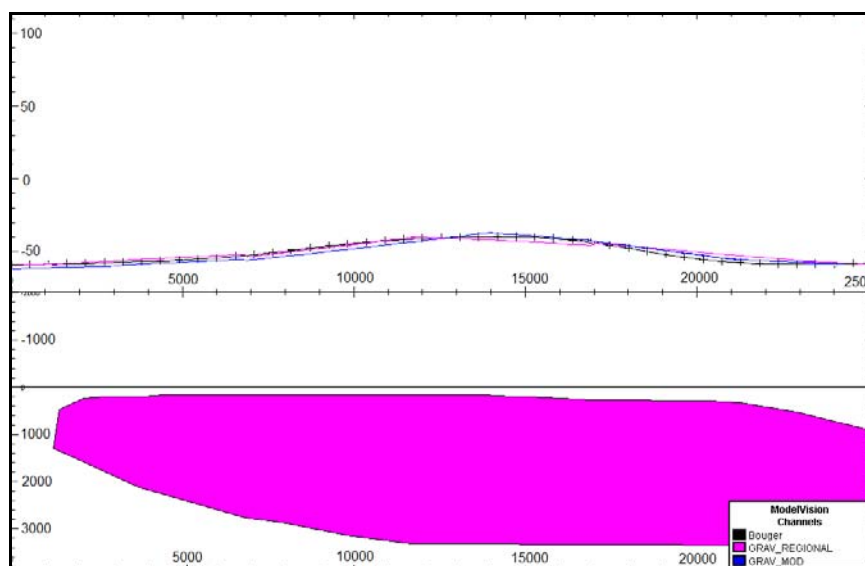
شکل (۱۶-۳) مدل دو بعدی آنومالی C2 با خطای  $RMS=1/788$



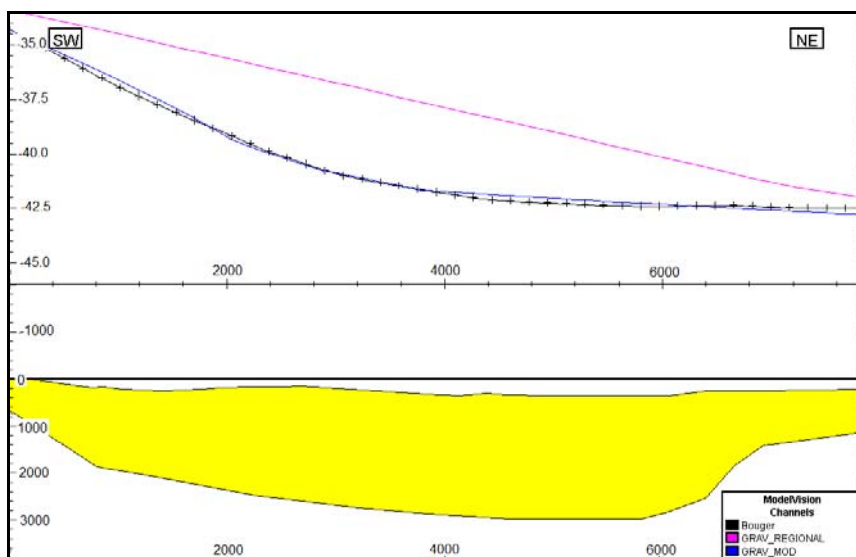
شکل (۱۷-۳) مدل دو بعدی آنومالی D1 با خطای  $RMS=1/856$



شکل (۱۸-۳) مدل دو بعدی آنومالی D2 با خطای  $RMS=1/763$



شکل (۱۹-۳) مدل دو بعدی آنومالی D3 با خطای  $RMS=1/999$



شکل (۳-۲۰) مدل دو بعدی آنومالی E با خطای  $RMS=1/988$

با توجه به نتایج حاصل از مدل‌سازی دو بعدی (جدول ۳-۱) آنومالی‌های A1، A2 و B که نسبت به زمینه دانسیته بیشتر دارند، وضعیت ساختمانی تاقدیسی دارند. آنومالی‌های C1، C2، D1، D2، D3 و E که دانسیته کم‌تر از زمینه دارند، ساختمان‌های ناودیسی تصور می‌گردند.

همان‌طور که شکل‌های ۳-۱۲، ۳-۱۳ و ۳-۱۴ نشان می‌دهند، عمق قرارگیری آنومالی‌های A1، A2 و B کم بوده و رخنمون سطحی تاقدیس دهنو را در سطح نشان می‌دهد. همچنین این مدل‌ها گسترش تاقدیس دهنو را از عمق کم تا اعماق بیشتر از ۱ کیلومتر نشان می‌دهند و با توجه به سالم بودن ساختارها، نفوذ نمک در محدوده پروفیل‌های گرفته شده روی این تاقدیس را منتفی می‌داند که این مطلب با مدل ارتفاعی و نقشه زمین‌شناسی منطقه (شکل‌های ۲-۲ و ۳-۲) مطابقت دارد.

با توجه به این که اکثر تله‌های نفتی در حوضه‌های رسوبی، دارای ابعاد ۲ یا ۳ می‌باشند و احتمالاً مدل‌سازی دو بعدی در مورد آنها جواب قابل قبول نمی‌دهد، لذا مدل‌سازی سه بعدی به منظور

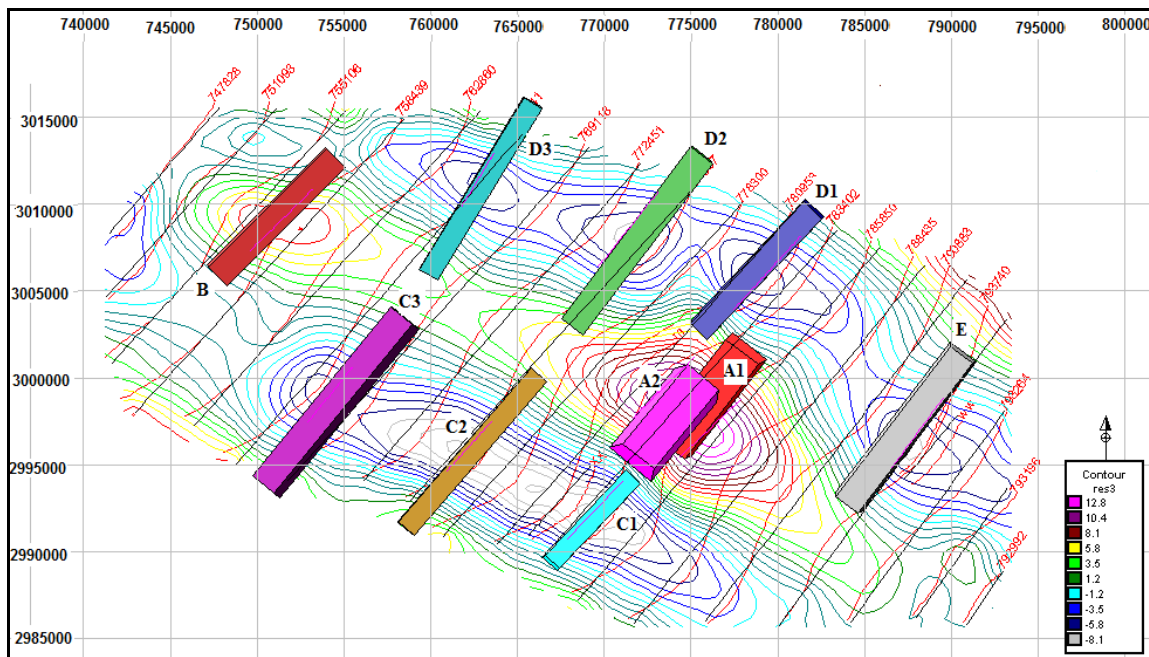
در نظر گرفتن اثرات احتمالی ساختارهای مجاور و برای دستیابی به نتایج مطمئن تر روی نقشه آنومالی باقی مانده روش روند سطحی مرتبه ۳ گرانی دهنو، انجام شد.

### ۳-۷-۲- مدل سازی سه بعدی

جهت کسب اطلاعات بیشتر و بررسی تغییر خواص فیزیکی آنومالی‌هایی که ممکن است ساختار پیچیده‌ای داشته باشند، مدل‌سازی سه بعدی بطور همزمان بر روی تمام پروفیل‌های منطقه انجام شد. برای شروع مدل‌سازی سه بعدی، بر روی هر کدام از آنومالی‌های موجود در نقشه آنومالی باقی مانده مرتبه ۳ گرانی یک مدل اولیه به صورت چند ضلعی در نظر گرفته شد. مقادیر  $2/3$  و  $2/6$   $\frac{gr}{cm^3}$  به ترتیب برای دانسیته زمینه و چند ضلعی‌ها فرض شد و پاسخ حاصل از مدل‌سازی پیشرو محاسبه گردید (شکل ۳-۲۱).

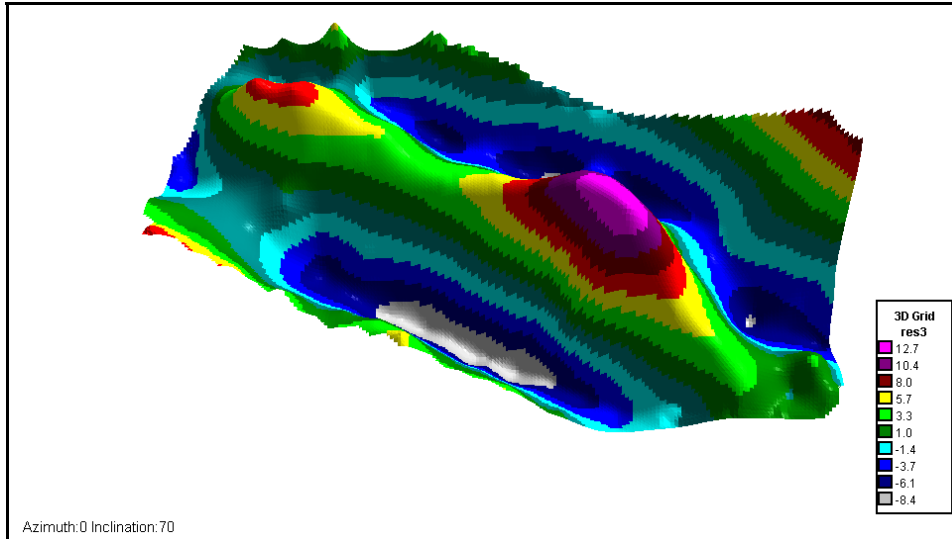
از آنجا که فرآیند مدل‌سازی پیشرو بسیار وقت‌گیر و خسته‌کننده است و شاید با تغییر پارامترهای مدل نتوان بین داده‌های اندازه‌گیری شده و محاسبه شده، تطابق لازم را ایجاد نمود در این مرحله برای کاهش خطای مدل‌سازی پیشرو به زیر خطای هدف که در اینجا ۳ انتخاب شده است؛ مدل‌سازی معکوس پارامتری با انتخاب پارامترهای آزاد و ۲۰ مرتبه تکرار عملیات انجام شد. به محض انطباق منحنی جواب حاصل از مدل با منحنی داده‌های اندازه‌گیری شده و کاهش خطا به زیر خطای هدف، مدل‌سازی معکوس متوقف گردید. در این مرحله، خطای مدل‌سازی سه بعدی داده‌های گرانی دهنو به  $2/998$  رسید که در مقایسه با خطای هدف تعیین شده قابل قبول می‌باشد. این موضوع در مقایسه مدل‌های سه بعدی حاصل از مولفه باقی مانده مرتبه ۳ گرانی (شکل ۳-۲۲) و مقادیر به دست آمده از مدل‌سازی سه بعدی (شکل ۳-۲۳) تایید می‌شود. لذا مدل‌سازی سه بعدی در حد مطلوبی توانسته است که خصوصیات منابع مولد

آنومالی‌ها را بازگو نماید (شکل ۳-۲۴). نتایج حاصل از مدل‌سازی سه بعدی در جدول (۳-۲) آورده شده است.

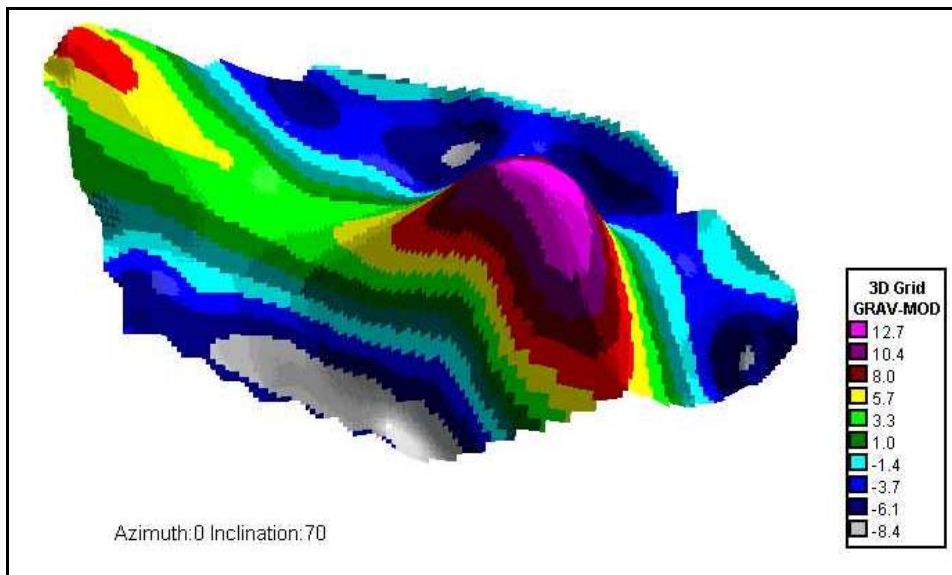


شکل (۳-۲۱) مدل‌های سه بعدی بر روی نقشه آنومالی باقی‌مانده روند سطحی مرتبه ۳ گرانی با خطای  $RMS=2/998$

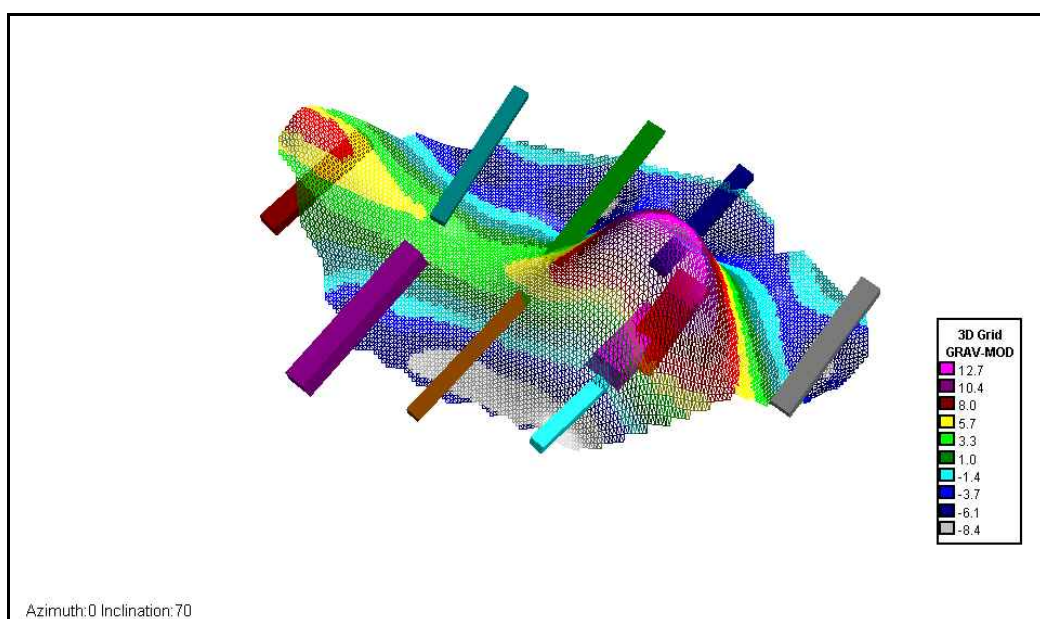




شکل (۳-۲۲) نمای سه بعدی آنومالی گرانی باقی مانده روند سطحی مرتبه ۳



شکل (۳-۲۳) نمای سه بعدی از پاسخ مدل سازی سه بعدی بر روی نقشه آنومالی باقی مانده روند سطحی مرتبه ۳ گرانی دهنو



شکل (۳-۲۴) نمای سه بعدی از پاسخ مدل سازی سه بعدی به همراه مدل های به دست آمده برای آنومالی ها

جدول (۳-۲) نتایج حاصل از مدل سازی سه بعدی معکوس پارامتری

انومالی	نوع ساختار	عمق بر حسب m	دانسیتته بر حسب $gr/cm^3$	ابعاد بر حسب m
A1	تاقدیس	۱۴۰۶	۲/۴۱	۱۴۰۰۸×۷۵۱۵
A2	تاقدیس	۱۰۷۳	۲/۸۷	۱۱۸۶۰×۶۱۹۹
B	تاقدیس	۱۲۳۵	۲/۳۳	۱۱۵۰×۹۶۱۲
C1	ناودیس	۶۸۹۶	۱/۶۴	۱۲۲۸۶×۶۸۴۴
C2	ناودیس	۵۱۹۶	۱/۹۹	۴۸۰۳×۱۱۷۰۰
C3	ناودیس	۶۱۱۹	۲/۰۲	۵۶۴۰×۱۲۵۵۱
D1	ناودیس	۱۱۰۴۳	۱/۸۷	۱۱۸۶۰×۹۷۱۳
D2	ناودیس	۱۱۸۵۰	۲/۰۱	۷۱۳۰×۱۲۴۰۸
D3	ناودیس	۱۱۳۱۲	۱/۹۲	۶۳۴۸×۱۱۵۵۸
E	ناودیس	۵۸۳۴	۱/۵۵	۸۴۹۵×۱۰۹۹۲

با توجه به نتایج حاصل از مدل سازی سه بعدی مشخص می گردد که آنومالی های A1، A2 و B نسبت به زمینه دانسیته بالاتر و آنومالی های C1، C2، C3، D1، D2، D3 و E دارای دانسیته پایین تر می باشند. بنابراین این آنومالی ها به ترتیب وضعیت ساختمانی تاقدیس و ناودیس دارند که این مساله بر اساس مدل سازی های دو بعدی و تفسیر کیفی داده ها تایید شده است. همان طور که نتایج حاصل از مدل سازی سه بعدی نیز نشان می دهند عمق قرارگیری تاقدیس دهنو کم است و در برخی قسمت ها رخنمون سطحی دارد. عمق زیاد آنومالی های D1، D2 و D3 نظیر نتایج حاصل از مرحله تفکیک آنومالی ها و تفسیر

کیفی داده‌ها در شکل‌های (۳-۵) و (۳-۶) با توجه به ضخامت زیاد رسوبات در بخش‌های شمال غرب منطقه قابل توصیف می‌باشد. هم‌چنین مدل‌سازی سه بعدی تخمین بهتری از عمق قرارگیری آنومالی B نسبت به مدل‌سازی دو بعدی ارائه داده است. با مقایسه نتایج جداول (۳-۱) و (۳-۲) مشخص می‌گردد که در مورد دانسیته ساختمان‌های منطقه، مدل‌سازی‌های دو و سه بعدی جواب مشابه و معقولی را ارائه داده‌اند.

## فصل چهارم:

مدل سازی نمودار احتمال داده‌های

گرانی سنجی منطقه دهنو

#### ۴-۱- مقدمه

هدف از به کارگیری روش‌های جداسازی آنومالی، تعریف حد آستانه‌ای (حداقل مقدار آنومالی) است که بر اساس آن بتوان مناطق دارای ارزش اکتشافی (دارای ذخیره معدنی و یا ساختارهای مناسب به عنوان تله نفتی) را برای فازهای بعدی مطالعات از مناطق فاقد ارزش مطالعاتی (به عنوان منطقه زمینه) تفکیک نمود. بر اساس حد آستانه‌ای و مقادیر بالاتر از این حد، مرز شروع آنومالی تعریف می‌گردد. جهت تفکیک داده‌های آنومال اکتشافی از بخش‌های زمینه که فاقد ارزش اکتشافی می‌باشند، روش‌های مختلفی توسط محققین ارائه شده است. یکی از این روش‌ها که در این فصل مورد بررسی جزئی قرار خواهد گرفت و برای اولین بار در تعبیر، تفسیر و تفکیک داده‌های گرانی‌سنجی مورد استفاده قرار گرفته است، کاربرد روش مدل‌سازی داده‌های نمودار احتمال می‌باشد. در این روش سعی می‌شود تا مرز دقیق جدایش داده‌های دربرگیرنده مولفه ناحیه‌ای مشخص گردد و بخش متاثر از دو مولفه ناحیه‌ای و باقی‌مانده تعیین شود تا بر این اساس ارزیابی دقیق‌تری از مولفه باقی‌مانده صورت گیرد.

#### ۴-۲- روش‌های تخمین مقدار زمینه و حد آستانه‌ای

در پروژه‌های اکتشافی، روش‌های تفکیک بخش‌های آنومالی از زمینه به منظور تفسیر جامع داده‌ها اجرا می‌شوند. هدف اصلی روش‌های مختلف جداسازی آنومالی‌ها، تعریف حد آستانه‌ای می‌باشد. حد فوقانی تغییرات مقدار جامعه زمینه، حداقل مقدار آنومالی یا اصطلاحاً حد آستانه‌ای نامیده می‌شود. این حد، مقدار یا مشخصه‌ای است که بخش‌های آنومال را از زمینه جدا نموده و اجازه طبقه‌بندی داده‌ها را می‌دهد [۱۴۲]. بنابراین انتخاب حد آستانه‌ای از نظر هدایت طرح اکتشافی به سمت مناطق آنومال که احتمال اکتشاف یک ذخیره اقتصادی را افزایش می‌دهد، مهم می‌باشد.

در دهه‌های اخیر، روش‌های مختلفی جهت تخمین مقدار زمینه و حد آستانه‌ای پایه‌ریزی شده اند. در بین این روش‌ها، روش‌های آماری نقش مهمی را ایفا می‌کنند. در بسیاری از روش‌های انتخاب حد آستانه‌ای، بین نحوه پراکندگی داده‌های مشاهده شده<sup>۱</sup> و یک مدل تئوری<sup>۲</sup> از پراکندگی داده‌ها مقایسه‌ای انجام شده و انحراف بین این دو منجر به شناخت حد آستانه‌ای و تشخیص مناطق آنومال گردیده است [۱۴۷].

استانلی و سینکلر در سال ۱۹۸۹ روش‌های انتخاب حد آستانه‌ای را به ۳ گروه طبقه بندی نمودند [۱۴۷]:

۱- روش‌های تجربی<sup>۳</sup>: در این روش‌ها مبنای انتخاب، تجربه مفسر بدون در نظر گرفتن مدل تجربی پراکندگی داده‌ها می‌باشد.

۲- روش‌هایی که بر اساس مدل پراکندگی و همراه با نظر شخصی می‌باشند<sup>۴</sup>: در این روش‌ها برای تعیین حد آستانه‌ای، نحوه پراکندگی داده‌ها و نظر شخصی مفسر مد نظر قرار می‌گیرند.

۳- روش‌هایی که بر اساس نحوه پراکندگی داده‌ها و بدون نظر شخصی مفسر عمل می‌نمایند<sup>۵</sup>: در این روش‌ها، حد آستانه‌ای با استفاده از خود داده‌ها و بر اساس مدل محاسبه شده برای پراکندگی داده‌ها تعیین می‌گردد و نظرات شخصی مفسر در این محاسبات اثری ندارد. هر چه مدل تئوریک یا مدل برازش یافته بر داده‌ها، توزیع داده‌ها را بهتر توجیه نمایند، بر اعتبار و حساسیت روش افزوده شده و اطلاعات بیشتری حاصل می‌شود. روش مدل‌سازی نمودارهای احتمال از جمله روش‌های این گروه محسوب می‌گردد [۱۴۷ و ۱۰۲].

---

<sup>۱</sup>- Observed data distribution

<sup>۲</sup>- Theoretical distribution model

<sup>۳</sup>- Experimental methods

<sup>۴</sup>- Model- Based- Subject method

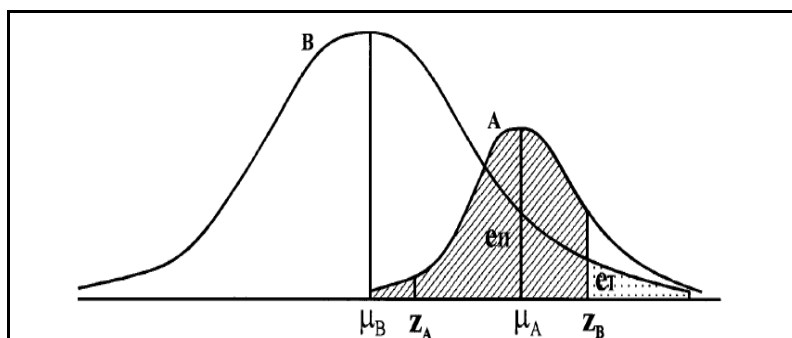
<sup>۵</sup>- Model- Based- Objective method

در جداسازی داده‌های متعلق به جامعه آنومالی از زمینه، احتمال رخداد دو خطا وجود دارد. در شکل (۱-۴) نحوه پراکندگی یا توزیع داده‌های دو جامعه آنومالی A و زمینه B نمایش داده شده است. اگر میانگین داده‌های هر یک از دو جامعه را محاسبه نمائیم ملاحظه خواهد شد که این دو مقدار با یکدیگر متفاوت می‌باشند. مطابق شکل، دو جامعه بر اساس اختلاف در میانگین از یکدیگر جدا شده‌اند ولی با یکدیگر همپوشانی دارند. اگر  $Z_A$  حد پایین آنومالی و  $Z_B$  حد بالایی جامعه زمینه باشد، مقادیر کمتر از  $Z_A$  جزء زمینه و مقادیر بیشتر از  $Z_B$  به جامعه آنومالی تعلق می‌گیرند. به دلیل همپوشانی داده‌ها در بخش زمینه و آنومالی، مقادیری که در فاصله  $Z_A$  تا  $Z_B$  ظاهر می‌شوند را نمی‌توان به طور واضح طبقه بندی نمود. لذا یکی از این دو حد یا مقداری بین این دو باید به عنوان حد آستانه‌ای معرفی شوند.

همان گونه که ملاحظه می‌شود با دو نوع خطا در طبقه بندی روبرو هستیم: نوع اول ( $e_1$ ) خطای رد کردن یا به عبارتی خطای طبقه بندی یک نمونه متعلق به جامعه زمینه در جامعه آنومالی و نوع دوم ( $e_2$ ) خطای پذیرش یا پذیرش یک نمونه متعلق به جامعه آنومالی در جامعه زمینه است. این دو نوع خطا به طور معکوس با یکدیگر در ارتباط می‌باشند. یعنی اگر با تغییر حد آستانه‌ای، یکی از آنها کوچک شود، دیگری بزرگ می‌شود [۴۲]. بعضی مواقع مینیمم کردن یکی از خطاها جواب بهینه را می‌دهد ولی در مواقع دیگر بهتر است کل خطا (مجموع خطاهای نوع اول و دوم) را حداقل کرد [۴۳].

در بین روش‌های مختلف تفکیک آنومالی از زمینه، اگر بتوان داده‌ها را به گونه‌ای مورد بررسی قرار داد که قادر به نمایش مرز گذر از یک جامعه به جامعه دیگر باشند حالت بهینه تفکیک اتفاق خواهد افتاد.





شکل (۴-۱) توزیع فراوانی دو جامعه آنومالی و زمینه [۴۲]

(A آنومالی با میانگین  $\mu_A$ ، B) زمینه با میانگین  $\mu_B$

### ۳-۴- نمودار احتمال

نمودار احتمال یک روش گرافیکی ساده و مستقیم است که به بررسی متغیر مورد مطالعه و نحوه پراکندگی آن در جامعه مورد نظر می‌پردازد [۷۷] و در بررسی این که آیا یک توزیع احتمال به خوبی یک سری داده را توصیف می‌نماید، به کار می‌رود [۷۴].

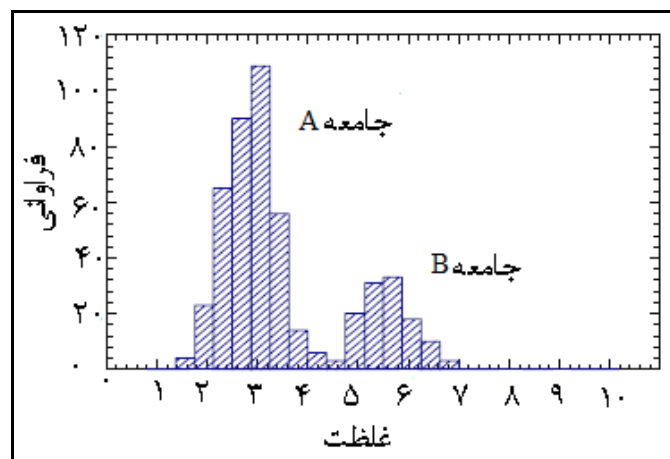
نمودار احتمال، نموداری است که مقادیر متغیر مورد نظر را در مقابل مقادیر احتمالات تجمعی آن متغیر نشان می‌دهد و در مقیاس نرمال یا لگاریتمی ترسیم می‌گردد. انواع کاغذهای احتمال را می‌توان با استفاده از نرم‌افزارهای کامپیوتری جهت برازش مدل‌ها، ارزیابی پارامترهای توزیع و تحلیل داده‌های اکتشافی<sup>۱</sup> به کار برد [۳۹].

نمودارهای احتمال اولین بار توسط هازن در سال ۱۹۱۴، در ساده کردن داده‌های مربوط به یک ذخیره مورد استفاده قرار گرفت [۸۰]. تنانت و وایت برای اولین بار کاربرد نمودارهای احتمال را در نمایش ساده داده‌های ژئوشیمیایی نشان دادند [۱۵۲]. ویلیامز و لپتیر به کاربرد این نمودارها در تحلیل‌های

<sup>۱</sup>- Exploratory data analysis

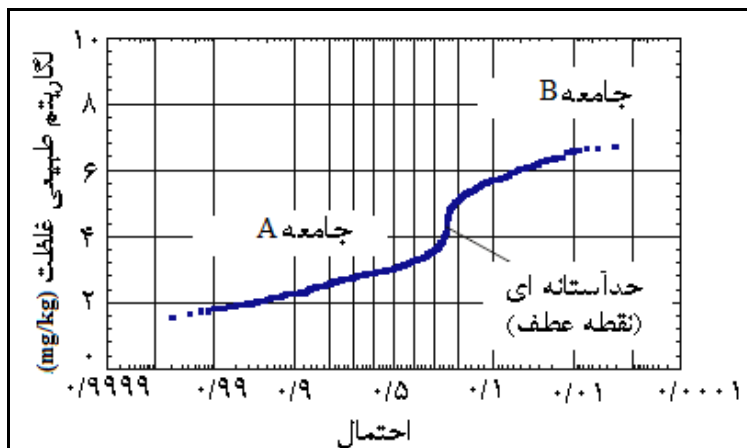
گرافیکی و سریع حجم بالایی از داده‌ها اشاره نمودند [۹۴ و ۱۵۸]. فلیشر و کورت در تعیین یک فاکتور استاندارد جهت پاک‌سازی خاک‌های آلوده از نمودارهای احتمال استفاده کرده‌اند [۶۴]. مشخص نمودن شکل پراکندگی داده‌ها، نمایش چندین مجموعه داده روی یک نمودار و تشخیص شباهت‌ها و تفاوت‌های آنها از جمله مزایای کاربرد نمودارهای احتمال در تحلیل حجم زیادی از داده‌های اکتشافی می‌باشد [۱۴۰]. نمودارهای احتمال جهت جداسازی جوامع مختلف موجود در داده‌ها استفاده می‌شوند [۷۴]. به طور کلی می‌توان به دامنه کاربرد متنوع این نمودارها در بررسی چگونگی رفتار داده‌های ژئوشیمیایی، تخمین ذخیره، آلودگی‌های زیست محیطی، تخمین میزان گاز یک مخزن گازی و جداسازی جوامع مختلف موجود در بین داده‌ها اشاره نمود [۱۴۱ و ۷].

به منظور ارزیابی اولیه از پراکندگی داده‌ها، ترسیم نمودار فراوانی داده‌ها ضروریست. در شکل (۴-۲) نمونه‌ای از نمودار فراوانی داده‌ها ترسیم گردیده است. این نمودار، فراوانی یک دسته داده که از دو زیرجامعه A و B تشکیل شده است را نشان می‌دهد.



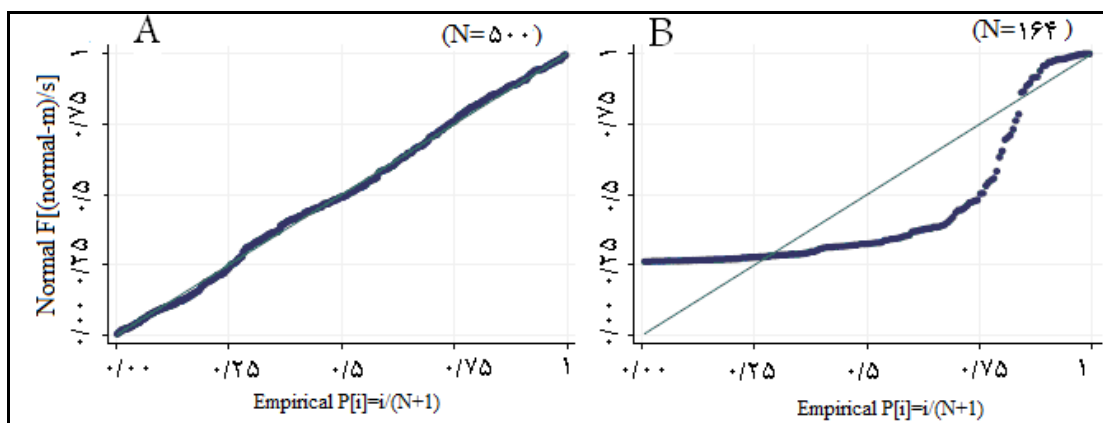
شکل (۴-۲) نمودار فراوانی یک سری داده که شامل دو زیرجامعه است [اصلاح شده از ۴۹].

با رسم فراوانی نسبی تجمعی داده‌ها در برابر مقدار پارامتر مورد مطالعه، نمودار احتمال داده‌ها به دست خواهد آمد. نمودار احتمال هیستوگرام فراوانی شکل (۲-۴) در شکل (۳-۴) نشان داده شده است. همان طور که دیده می‌شود، نمودار احتمال داده‌ها دو جامعه A و B را با روندهای مختلف نشان می‌دهد.



شکل (۳-۴) نمودار احتمال داده‌های شکل (۲-۴) [۴۹].

روند خطی حاکم بر نمودارهای احتمال، می‌تواند معیاری برای تشخیص نحوه پراکندگی داده‌ها باشد. در شرایط پراکندگی یکنواخت و تاثیر یک فرآیند یا فاز در تغییرپذیری فاکتور مورد ارزیابی، داده‌ها بر روی نمودار احتمال به روند خطی نزدیک می‌شوند. در هر شرایطی، ایجاد حالت کاملاً خطی ممکن است میسر نباشد. وجود فرآیندها یا فازهای متعدد می‌تواند تغییرات و پراکندگی وضعیت موجود را برهم زده و دچار انحرافات نماید [۱۴۲، ۷۴ و ۱۱۸]. شکل (۴-۴) نمودار احتمال دو جامعه با توزیع نرمال (حاصل عملکرد یک فرآیند در تغییرپذیری فاکتور مورد ارزیابی) و غیر نرمال (نشان دهنده عملکرد عوامل متعدد در تغییرپذیری رفتار متغیر مورد بررسی است) را نشان می‌دهد.



شکل (۴-۴) نمودار احتمال جامعه A با توزیع نرمال و جامعه B با توزیع غیر نرمال را نشان می‌دهد [۱۱۸].

#### ۴-۴- مدل سازی نمودارهای احتمال

با مدل سازی نمودارهای احتمال سعی می‌شود، تغییرات موجود در داده‌ها را بر روی نمودار احتمال شناسایی و بررسی نمود. برای این منظور از تکنیک‌های حداقل سازی مربع انحرافات بین مدل و داده‌ها کمک گرفته می‌شود تا بتوان به بهترین انطباق ممکن بین مدل تخمین زده شده و داده‌ها دسترسی پیدا کرد. معادله‌ای که بر این روند محاسباتی حاکم خواهد بود مطابق رابطه زیر می‌باشد:

$$(۴-۱) \quad \text{بخش تصادفی} + \text{بخش تعیین شده} = \text{پاسخ مدل آماری}$$

در این رابطه بخش تعیین شده همان داده‌های خام و بخش تصادفی معرف میزان خطا یا انحراف مدل انطباق یافته از داده‌های خام می‌باشد. هرگاه بخش تصادفی یا خطا با تکنیک‌های حداقل سازی مربع انحرافات و تکرار مدل سازی حداقل شود؛ مدل ارائه شده، رفتار و اختصاصات کامل داده‌های خام را نشان می‌دهد. برازش یک خط راست بر این مدل (منحنی)، نشان دهنده حضور یک جامعه یا روند تغییرات در داده‌هاست. حضور عوامل و فازهای تاثیرگذاری که سبب تغییرات در متغیر مورد نظر می‌شوند، سبب

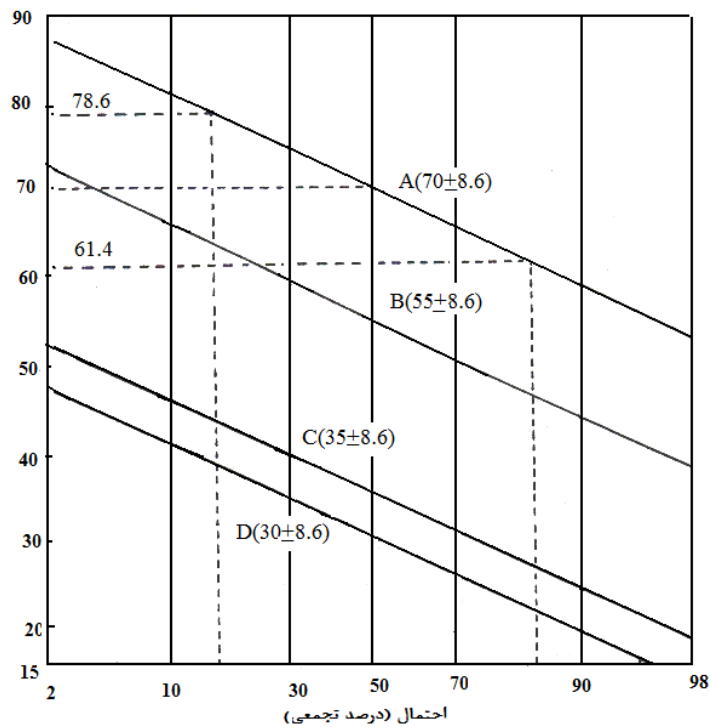
خواهد شد تا تغییرات این متغیر از روند عمومی انحراف پیدا کرده و از روند خطی تبعیت نکند. انحرافات یا روندهای مختلف (تغییر شیب)، یا جدایش در منحنی نمودار احتمال وجود زیرجوامع مختلف در داده‌ها را نشان می‌دهد. بنابراین نقطه انحنا یا تغییر روند منحنی نمودار احتمال را می‌توان به عنوان نقطه تفکیک سهم زیرجوامع [۱۴۰] و حد آستانه ای جدایش دو زیرجامعه در نظر گرفت.

از ویژگی‌های مدل‌سازی نمودار احتمال می‌توان به قابلیت این روش در جداسازی هر یک از این زیرجوامع از یکدیگر در یک فایل ورودی داده‌ها که همپوشانی دارند، اشاره نمود. میزان پراکندگی و متوسط تغییرات درونی داده‌های هر زیرجامعه، از جمله اختصاصات عمده در شناسایی آن زیرجامعه محسوب می‌گردد. بر اساس مدل‌سازی نمودارهای احتمال می‌توان میزان پراکندگی را در بین داده‌ها مشخص نمود. در شکل (۴-۵) نمودار احتمال چند جامعه که هر کدام متوسط تغییرات درونی متفاوت ۳۰، ۳۵، ۵۵ و ۷۰ دارند، نمایش داده شده است. همه خطوط دارای شیب‌های یکسان بوده و موازی‌اند. ولی نقطه متناظر با درصد فراوانی تجمعی ۵۰ درصد (متوسط تغییرات هر جامعه) آنها با هم متفاوت است. شیب خطوط که نشان دهنده میزان پراکندگی داده‌های هر جامعه می‌باشد یکسان و برابر  $\frac{1}{6}$  است. با تغییر میزان پراکندگی یا تغییرپذیری بین داده‌ها، شیب روندهای خطی هر یک از جوامع نیز تغییر خواهد کرد. به طور کلی در صورتی که داده‌ها بر روی نمودار احتمال با یک مقیاس رسم شوند، آنگاه خطی که دارای شیب بیشتری است در واقع نشان دهنده تغییرات بیشتر داده‌ها است. در حالی که خطوط با شیب ملایم نشان دهنده میزان پراکندگی کمتر می‌باشند.

در مدل‌سازی نمودار احتمال داده‌هایی که دارای زیرجوامع مختلف می‌باشند، علاوه بر رسم نمودار احتمال و انطباق بهترین مدل بر داده‌ها سعی می‌شود تا خطوط مختلفی که هر یک معرف اختصاصات خاص یک زیرجامعه می‌باشد، ترسیم گردند و به این ترتیب فرآیند تفکیک جوامع صورت می‌گیرد. البته این مساله در حالت ساده قابل حل است و به محض زیاد شدن تعداد زیرجوامع و همپوشانی آنها،

جدایش به صورت کامل انجام نمی‌شود [۶۴]. با کاهش تعداد داده‌ها یا وابستگی بین آن‌ها نیز جدایش

جوامع به کمک نمودارهای احتمال امکان‌پذیر نیست [۵۵].



شکل (۴-۵) نمودار احتمال چند جامعه با متوسط تغییرات متفاوت و میزان پراکندگی یکسان [۷].

در انتهای فرآیند جداسازی جوامع و دسترسی به بهترین مدل، اختصاصات، محدوده تغییرات یا حدود آستانه‌ای و سهم هر زیرجامعه از کل داده‌های برداشت شده منطقه محاسبه می‌گردد. توجیه عملی تعداد زیرجوامع، موضوع بسیار مهمی است که باید بر اساس اطلاعات زمین‌شناسی و اکتشافی به دست آمده از منطقه قابل پذیرش باشد.

#### ۴-۵- مدل سازی نمودار احتمال داده‌های گرانی سنجی تاقدیس دهنو

همان طور که قبلاً اشاره شد، داده‌های گرانی سنجی برداشت شده از یک منطقه اکتشافی، طیفی از آنومالی‌های مربوط به ساختارهای محلی با طول موج کوتاه و آنومالی‌های ناحیه‌ای با طول موج بلند و فرکانس فضایی پایین که مربوط به ساختارهای عمقی‌تر است را مطابق رابطه زیر نشان می‌دهند [۱۲۱]:

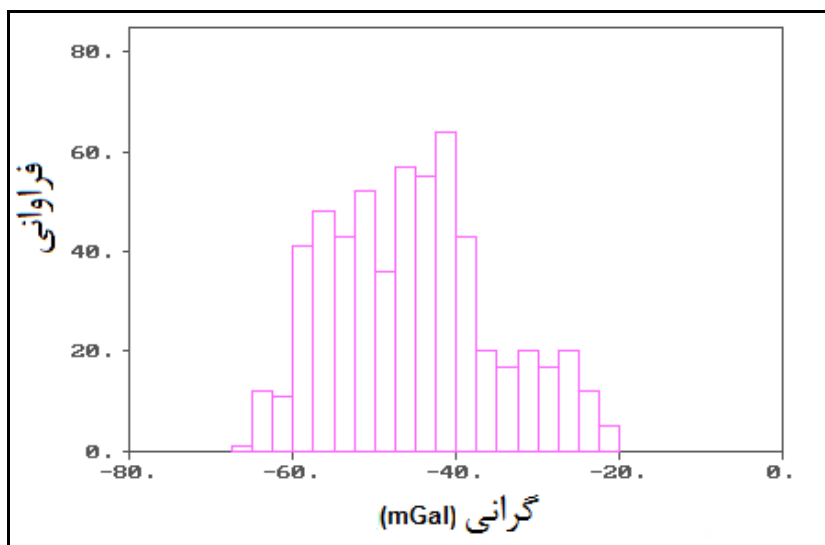
$$g(x, y) = g_A(x, y) + g_B(x, y) \quad (۴-۲)$$

در این رابطه  $g(x, y)$  گرانی اندازه گیری شده،  $g_A(x, y)$  گرانی مربوط به ساختارهای محلی و  $g_B(x, y)$  گرانی مرتبط با ساختارهای عمقی‌تر است. در مجموعه داده‌های برداشت شده، مولفه مربوط به ساختارهای محلی زیرجامعه آنومالی (باقی‌مانده) اهداف اکتشافی مورد نظر و مولفه ساختارهای ناحیه‌ای، جامعه زمینه را تشکیل می‌دهند که در بخش‌هایی این جوامع با یکدیگر همپوشانی دارند. از طریق مدل سازی نمودار احتمال این داده‌ها و تشخیص روندهای مختلف، می‌توان زیرجوامع ناحیه‌ای و باقی‌مانده را تفکیک نمود و به بررسی و تحلیل تغییرات گرانی در هر کدام از این بخش‌ها پرداخت.

در ابتدا به منظور کسب اطلاعات اولیه در مورد نحوه پراکندگی داده‌ها، هیستوگرام و نمودار احتمال داده‌ها ترسیم شده است. شکل (۴-۶) هیستوگرام فراوانی داده‌های گرانی سنجی منطقه دهنو را نمایش می‌دهد. بر اساس پراکندگی داده‌ها، وجود حداقل سه زیرجامعه در بین داده‌ها قابل شناسایی است.

شکل (۴-۷) نمودار احتمال داده‌های دسته‌بندی شده مقادیر گرانی منطقه مورد بررسی را نشان می‌دهد. هر یک از دواير توخالی بر روی این نمودار معرف یک دسته از داده‌های گروه‌بندی شده، است. در این نمودار انحرافات از روند عمومی خطی در دو مرز بالایی و پایینی داده‌ها دیده می‌شود که از لحاظ اختصاصات با یکدیگر تفاوت دارند.

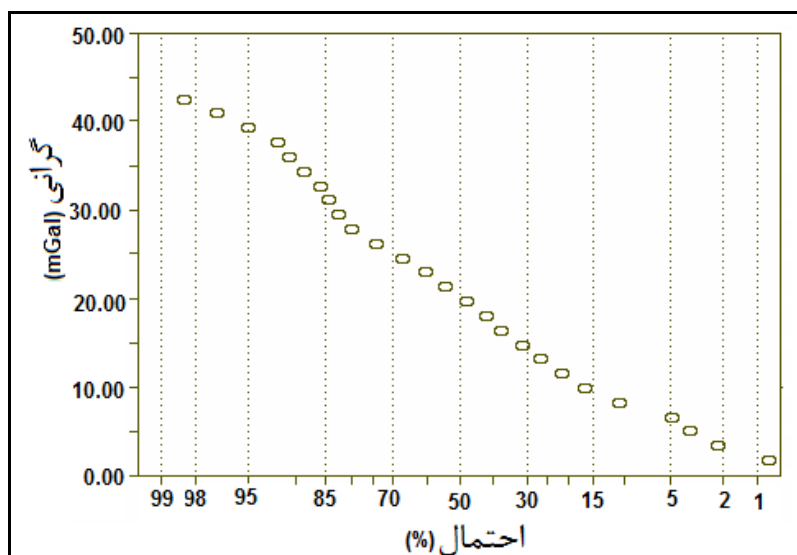
اولین قدم در مرحله بعد، برازش بهترین مدل بر داده‌ها و ایجاد بیشترین انطباق ممکن بین مدل و داده‌های خام است تا بر این اساس بتوان روند تغییرپذیری داده‌ها را بررسی نمود. برای این منظور تکنیک‌های متفاوتی در محیط نرم‌افزار Prob Plot موجود می‌باشد که بر اساس روابط ریاضی متفاوتی به ارزیابی میزان انحراف مدل از داده‌های خام می‌پردازند. از جمله می‌توان به روش‌های کای اسکویر<sup>۱</sup> [۷]، فاصله بین دسته‌ها<sup>۲</sup>، تابع بهترین برازش بر اساس داده‌های خام<sup>۳</sup> و تابع بهترین برازش که در نرم‌افزار تعریف شده است<sup>۴</sup> اشاره نمود. منحنی پیوسته‌ای که از بین دو ایر تو خالی عبور می‌کند، مدل برازش یافته بر داده‌ها می‌باشد. شکل‌های ۱ تا ۴ پیوست ب مدل‌های حاصل از روش‌های مختلف به کار رفته برای ایجاد بهترین انطباق را نشان می‌دهند.



شکل (۴-۶) هیستوگرام فراوانی داده های گرانی سنجی منطقه دهنو

1 - Chi-Square  
 2 - Class interval  
 3 - Raw data ML Function  
 4 - Default ML Function

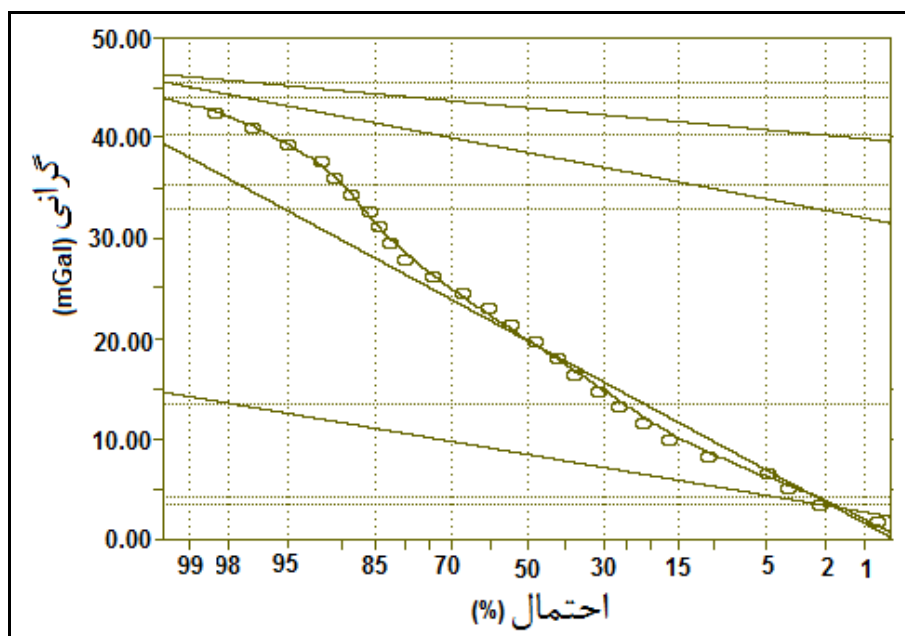




شکل (۴-۷) نمودار احتمال داده های گرانی سنجی منطقه دهنو

پس از مدل سازی نمودار احتمال داده های گرانی سنجی تاقدیس دهنو به کمک روش های مختلف، مدل حاصل از روش تابع بهترین برازش بر اساس داده های خام با سه مرتبه تکرار مدل سازی، به عنوان بهترین مدل برازش شده بر داده ها انتخاب شده است (شکل ۴-۸).

نتایج به دست آمده از روش های مختلف مدل سازی داده ها، گویای آن می باشد که بیشترین انطباق بین مدل و داده های خام با لحاظ کردن چهار زیرجامعه حاصل می گردد. مبنای تفکیک این زیرجوامع بر اساس تحلیل تغییرپذیری داده های خام می باشد، به طوری که داده ها چهار روند تغییرپذیری را در درون خود نمایش می دهند که هر یک از این روندها شبیهی متفاوت با روندهای دیگر دارند که این مطلب گویای حضور چهار زیرجامعه با اختصاصات متفاوت در بین کل داده ها می باشد. در این قسمت در خصوص اختصاصات این زیرجوامع بیشتر توضیح داده خواهد شد و سپس بر روی نقشه های ترسیم شده در مورد ماهیت این زیرجوامع و شرایط زمین شناسی منطقه جزئیات بیشتری بیان خواهد گردید.



شکل (۴-۸) مدل بهینه برازش شده بر نمودار احتمال داده های گرانی سنجی تاقدیس دهنو به روش تابع بهترین برازش بر اساس داده های خام پس از سه مرتبه تکرار مدل سازی

اختصاصات هر یک از زیرجوامع چهارگانه که بعد از مدل سازی و تفکیک، معین گردیده است شامل حدود و درصد سهم هر کدام از این زیرجوامع از کل داده ها، مقدار متوسط داده های هر زیرجامعه و میزان تغییرپذیری درون هر زیرجامعه است که در جدول (۴-۱) ارائه شده اند.

نتایج به دست آمده از این جدول در تلفیق با اطلاعات حاصل از نمودار فراوانی ترسیم شده در شکل (۴-۶)، بسیاری از جزئیاتی که در نمودار فراوانی کل داده ها قابل تشریح نبود را به خوبی توضیح می دهد. نمودار مذکور اطلاعات ریاضی را که به عنوان اختصاصات یک جامعه بیان می کند مربوط به کل داده ها می باشند، حال آنکه در جدول (۴-۱) کلیه زیرجوامع موجود در بین داده ها با استناد به خود داده ها از یکدیگر تفکیک گردیده اند و اختصاصات هر یک به طور جداگانه در این جدول ذکر گردیده است. نتایج محاسبه حد آستانه ای زیرجوامع تفکیک یافته (جدول ۴-۱) گویای آن است که زیرجامعه سوم که حدود

۸/۲ درصد کل داده‌ها را در بر دارد، با حد آستانه‌ای شروع ۳۳/۱۵۷- میلی گال را می‌توان به عنوان محدوده آنومالی در نظر گرفت.

جدول (۴- ۱) نتایج حاصل از مدل سازی نمودار احتمال داده های گرانی سنجی تاقدیس دهنو

زیرجوامع	مقدار متوسط داده‌های هر زیرجامعه	میزان تغییرپذیری درون هر زیرجامعه	حدود آستانه‌ای زیرجوامع		درصد سهم هر زیرجامعه از کل داده‌ها
۱	-۵۷/۶۲۵	۲/۴۸۸	-۶۲/۶۰۱	-۵۲/۴۴۹	۷/۶
۲	-۴۶/۲۸	۷/۸۱۹	-۶۱/۹۱۸	-۳۰/۶۴۱	۸۲/۸
۳	-۲۷/۵۴۶	۲/۸۰۵	-۳۳/۱۵۷	-۲۱/۹۳۵	۸/۲
۴	-۲۳/۱۲۷	۱/۳۳۹	-۲۵/۸۰۶	-۲۰/۴۴۸	۱/۵

در یک دید کلی، زیرجوامع مختلف موجود در بین داده‌های گرانی‌سنجی را می‌توان بر اساس اختصاصات آنها به داده‌هایی که تحت تاثیر روند عمومی تشکیل لایه‌های رسوبی منطقه قرار گرفته و بخشی که می‌تواند در اثر حوادث بعدی و تکتونیک منطقه یا به عبارت دیگر چین‌خوردگی‌ها ایجاد شده باشند، تفکیک نمود. ساختارهایی مانند تله‌های تاقدیسی و گنبد‌های نمکی از جمله ساختارهایی هستند که در اکتشافات نفتی اهمیت دارند. لذا در این تحقیق نیز هدف، ارزیابی محدوده‌های دارای ساختارهای چین‌خورده‌ای از این نوع می‌باشد. در بین زیرجوامع چهارگانه، زیرجامعه اول بیشتر می‌تواند راهنمایی از روند عمومی تشکیلات رسوبی منطقه باشد و در زیرجامعه دوم عملاً قاطی‌شدگی از اثرات گرانی حاصل از ساختارهای تکتونیک و رسوبی منطقه وجود خواهد داشت. از زیرجامعه سوم مرزی

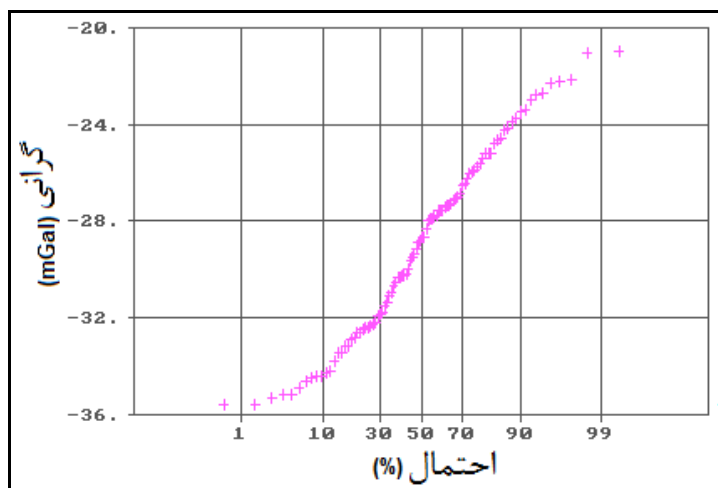
مربوط به داده‌های گرانی حاصل از ساختارهای تکتونیکی موجود در منطقه شروع می‌شود که با توجه به روند مجزایی که در مدل ارائه شده (با میزان گرانی‌های بالاتر) از خود نشان می‌دهد، تایید می‌گردد.

#### ۴-۶- مدل‌سازی نمودار احتمال داده‌های گرانی سنجی زیرجامعه آنومالی

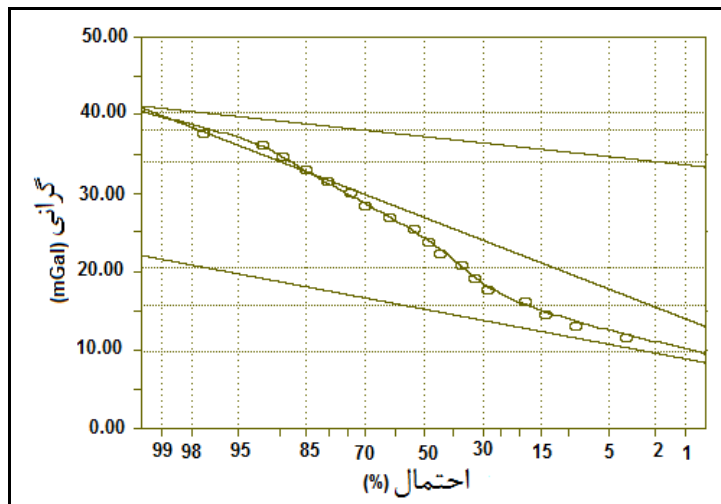
در این مرحله جهت بررسی بیشتر زیرجامعه آنومالی، داده‌های با مقادیر بزرگتر از ۳۵- میلی‌گال را به صورت جداگانه مورد بررسی و مدل‌سازی قرار می‌دهیم. در این تحلیل بخشی از داده‌های قاطی شده نیز مورد استفاده قرار گرفته تا تفکیک روندها با دقت بیشتر انجام شود. در شکل (۴-۹) نمودار احتمال این داده‌ها ترسیم شده است. در این نمودار در دو کرانه بالا و پایین مجدداً جدایش یا انحراف بخشی داده‌ها را از روند خطی حاکم می‌توان ملاحظه نمود. آن چه در این قسمت باید مدنظر قرار گیرد این است که روند خطی کلی حاکم بر داده‌ها مرتبط با بخش آنومال داده‌ها می‌باشد. به منظور بررسی تغییرات این بخش از داده‌ها به صورت جزئی، به مدل‌سازی نمودار احتمال این داده‌ها پرداخته شد. شکل (۴-۱۰)، بهترین مدل انطباق داده شده بر نمودار احتمال داده‌های گرانی سنجی تفکیک یافته را با روش تابع بهترین برازش بر اساس داده‌های خام، پس از پنج مرحله تکرار مدل‌سازی نشان می‌دهد. مدل حاصل، سه زیرجامعه را در بین این داده‌ها نشان می‌دهد.

اختصاصات هر یک از زیرجوامع سه گانه موجود، پس از مدل‌سازی تعیین و در جدول (۴-۲) ارائه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، مدل‌سازی داده‌های تفکیک شده تغییرات زیادی را در زیرجامعه آنومالی نشان نمی‌دهد. با استناد بر این موضوع با اطمینان می‌توان در مورد تفکیک زیرجوامع آنومالی و زمینه اظهار نظر نمود. از آنجا که در زیرجامعه آنومالی مدل‌سازی شده، نشانه‌هایی از حضور مقادیر زمینه دیده نمی‌شود، می‌توان گفت که خطاهایی که در مورد تفکیک زیرجوامع نگران آن‌ها بودیم

رخ نداده است و طیف باقی مانده حاصل، با مقادیر ناحیه‌ای همپوشانی ندارد و در واقع تفکیک داده‌ها به صورت کامل انجام شده است.



شکل (۴-۹) نمودار احتمال داده های تفکیک شده



شکل (۴-۱۰) مدل سازی نمودار احتمال داده های گرانی سنجی تفکیک شده تاقدیس دهندو با روش تابع بهترین برازش بر اساس داده‌های خام پس از پنج مرحله تکرار مدل سازی

جدول (۲-۴) نتایج حاصل از مدل‌سازی مجدد داده‌های زیرجامعه آنومالی

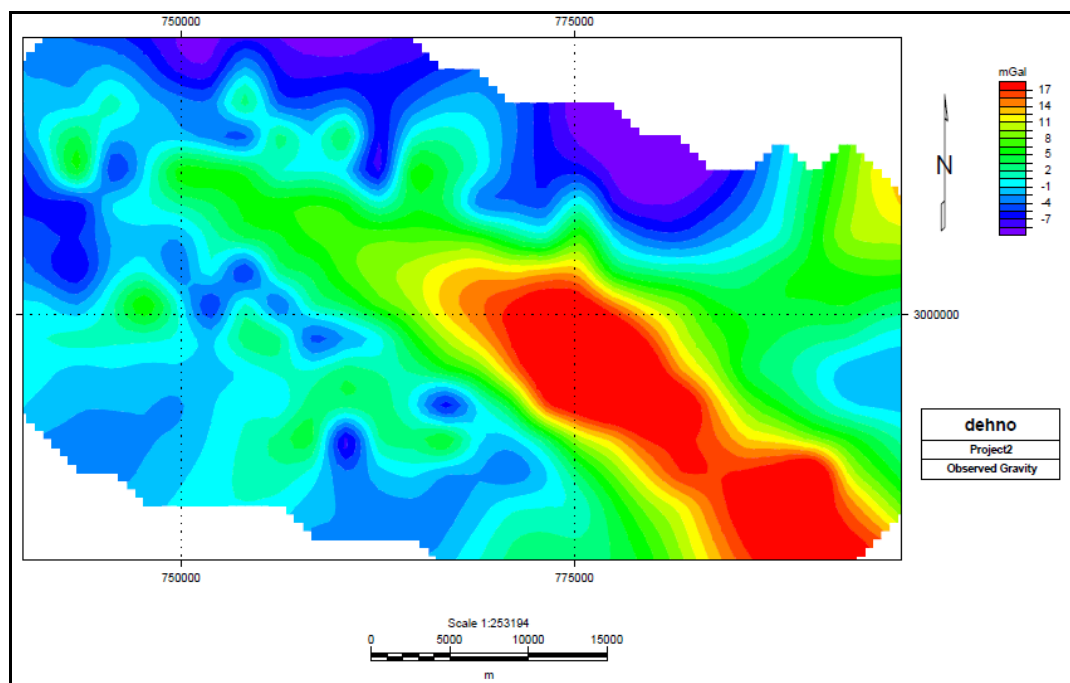
زیر جوامع	مقدار متوسط داده‌های هر زیرجامعه	میزان تغییرپذیری درون هر زیرجامعه	حدود آستانه‌ای زیرجوامع		درصد سهم هر زیرجامعه از داده‌های موجود
۱	-۳۳/۴۴۵	۱/۳۵۶	-۳۶/۱۵۷	-۳۰/۷۳۲	۲۸/۳
۲	-۲۷/۵۴۴	۲/۸۰۲	-۳۳/۱۴۹	-۲۱/۹۴	۶۶/۳
۳	-۲۲/۴۳۴	۰/۷۹۶	-۲۴/۰۲۵	-۲۰/۸۴۳	۵/۵

در جدول (۲-۴)، داده‌های زیرجامعه اول نماینده بخش قاطی شده بین ساختارهای تکتونیکی و رسوبی منطقه است که به منظور مشخص سازی دقیق‌تر مرزهای تفکیک مورد استفاده قرار گرفته است. زیرجامعه دوم، مرز ساختارهای تکتونیکی بر روی داده‌های گرانی‌سنجی منطقه را نشان می‌دهد. نتایج به دست آمده از دو مرحله مدل‌سازی، (اطلاعات جداول ۱-۴ و ۲-۴)، را جهت ارزیابی وضعیت آنومالی‌های ناحیه‌ای و باقی‌مانده داده‌های گرانی‌سنجی منطقه مورد بررسی قرار می‌دهیم.

## ۴-۷- تفکیک مولفه باقی مانده داده‌های گرانی‌سنجی دهنو

در این مرحله جهت دستیابی به نقشه باقی مانده، با استفاده از اختصاصات آماری که از تحلیل تغییرپذیری رفتار داده‌های گرانی‌سنجی روی نمودار احتمال حاصل شده است به برآورد مولفه باقی مانده می‌پردازیم. در نخستین گام با در نظر گرفتن حد بالای تغییرات داده‌های گرانی‌سنجی در اولین بخش تفکیک یافته نمودار احتمال، یک تقریب اولیه از مولفه باقی مانده به کمک مدل برازش شده بر این بخش از داده‌ها حاصل می‌شود (شکل ۴-۱۱). نقشه باقی مانده حاصل از تقریب مرتبه اول، تقریبی از ویژگی‌های ساختارهای عمومی منطقه را نشان می‌دهد. طیف تفکیک یافته حاصل از این مرحله بیشتر معرف اثرات مربوط به آنومالی‌های ناحیه‌ای با طول موج بلند و فرکانس پایین می‌باشد.

گام دوم شامل محاسبه حد بالای تغییرات داده‌های گرانی‌سنجی در دومین بخش مدل نمودار احتمال به همراه محدودیت‌های در نظر گرفته شده در گام اول و ارائه تقریب دوم از مولفه باقی مانده می‌باشد. در نقشه شکل (۴-۱۲) که تقریب دوم مولفه باقی مانده را نشان می‌دهد، اثرات مربوط به مولفه‌های ناحیه‌ای با طول موج بلند و مولفه‌های باقی مانده با طول موج کوتاه (فرکانس بالا) در بخش‌های شرقی نقشه با یکدیگر همپوشانی دارند.



شکل (۴-۱۱) تقریب اولیه از مولفه باقی مانده داده‌های گرانی‌سنجی منطقه دهنو حاصل روش مدل‌سازی نمودار احتمال

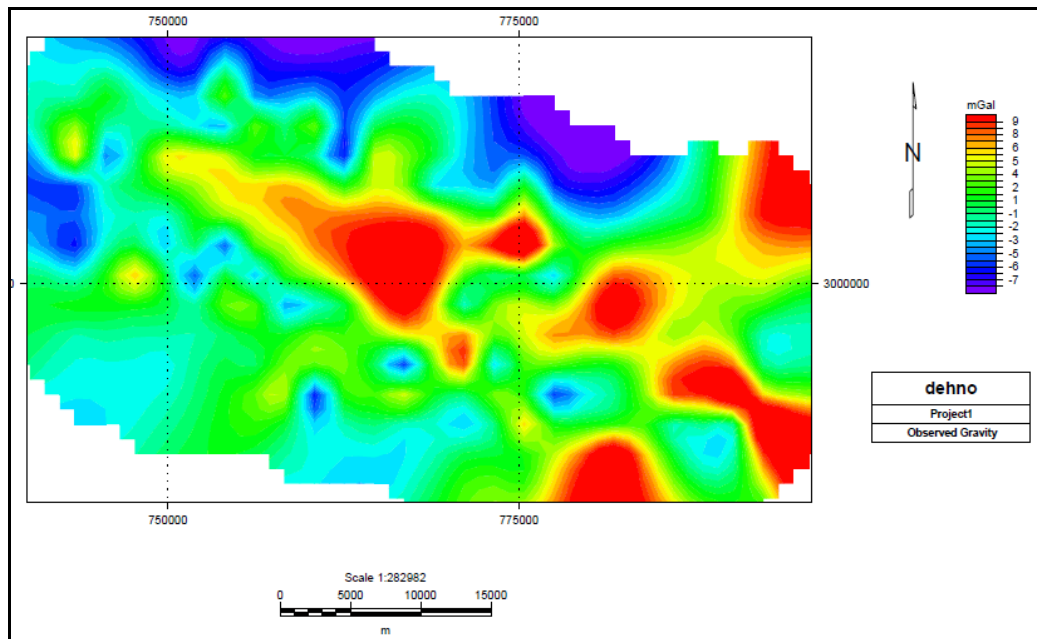
در سومین گام، با ادامه این فرآیند و افزودن حد بالای تغییرات گرانی سومین بخش تفکیک شده مدل برازش یافته بر نمودار احتمال (۲۱- میلی‌گال) که حدود ۸ درصد از کل داده‌ها را شامل می‌شود، نقشه باقی مانده حاصل از گام دوم در این مرحله بهبود یافته و تقریب بهینه از مولفه باقی مانده مربوط به داده‌های گرانی‌سنجی منطقه دهنو حاصل می‌شود. در شکل (۴-۱۳) نقشه باقی مانده حاصل از تقریب بهینه مولفه باقی مانده ارائه شده است.

با بررسی نقشه باقی مانده حاصل از مدل‌سازی نمودار احتمال داده‌های گرانی‌سنجی و با توجه به اطلاعات زمین‌شناسی منطقه می‌توان مرز شروع تاقدیس (تله نفتی) مورد نظر را با تغییرات گرانی حدود ۳۳- میلی‌گال در نظر گرفت. با در نظر گرفتن توالی لایه‌های زمین‌شناسی منطقه و تصویر ماهواره‌ای

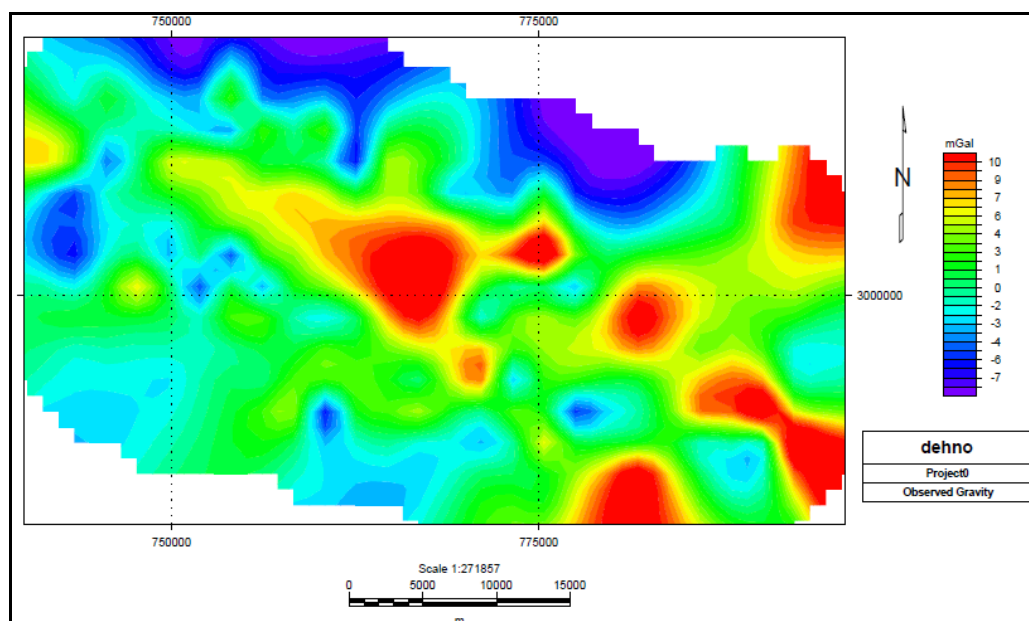


مشخص است که تاقدیس مورد نظر خود از دو تاقدیس کوچک‌تر که روند تقریباً یکسان شمال غربی- جنوب شرقی آنها مطابق روند تاقدیس اولیه است و ناودیسی با دره پهن و گسترده بین این دو تاقدیس قرار گرفته است. اثرات مربوط به مرز شروع این دو تاقدیس در مرکز نقشه مشخص است. آنومالی‌های مثبتی که در بخش‌های شرقی نقشه رخنمون دارند مربوط به ساختارهای کوچکی هستند که به علت عدم در اختیار بودن داده‌های اکتشافی نمی‌توان تفسیر صحیحی از نقشه باقی‌مانده حاصل انجام داد.

با مدل‌سازی نمودار احتمال داده‌های گرانی سنجی منطقه دهنو که برای اولین بار انجام شده است، بخش عمده‌ای از خطاهای مربوط به تداخل داده‌های زمینه و آنومالی که در طیف آنومالی باقی‌مانده حاصل از روش‌های متداول تفکیک وجود داشت مرتفع شد و روندهای تغییرات موجود در بین داده‌ها با کم‌ترین محاسبات ممکن، طی مراحل مدل‌سازی در تفسیر لحاظ گردیدند. به عبارت دیگر در این روش، تحلیل‌ها بر اساس روند تغییرات داده‌های خام انجام می‌شود نه بر اساس روابط ریاضی که به تفکیک داده‌ها می‌پردازند. بر این اساس زیرجوامع موجود در بین داده‌ها شناسایی و تفکیک شدند و اختصاصات هر زیرجامعه محاسبه گردید. مرزهای جدایش زیرجامعه آنومالی از زمینه (مولفه ناحیه‌ای) محاسبه و سهم بخش باقی‌مانده از کل داده‌ها تعیین گردید.



شکل (۴-۱۲) تقریب مرتبه دوم از مولفه باقی مانده داده‌های گرانی‌سنجی منطقه دهنو پس از مدل‌سازی نمودار احتمال



شکل (۴-۱۳) تقریب بهینه از مولفه باقی مانده مربوط به داده‌های گرانی‌سنجی ناحیه دهنو

## فصل پنجم:

مقایسه نتایج حاصل از روش مدل سازی

نمودار احتمال و روش های متداول

تفکیک آنومالی ها

## ۵-۱- مقدمه

همان طور که قبلاً اشاره شد، تعبیر و تفسیر داده‌های گرانی‌سنجی مهم‌ترین مرحله در به کارگیری این روش می‌باشد. در این مرحله برای کاستن از دامنه ابهامات، علاوه بر استفاده از اطلاعات زمین‌شناسی باید به تفکیک مولفه‌های مختلف داده‌های اندازه‌گیری شده پرداخت. به این ترتیب به هدف اصلی پروژه‌های اکتشاف ناحیه‌ای که بررسی در خصوص وجود یا عدم وجود ساختارهای زیر سطحی به عنوان تله نفتی است، پرداخته می‌شود.

در این فصل به مقایسه نتایج حاصل از به کارگیری روش‌های متداول تفکیک آنومالی‌ها که با استفاده از نرم‌افزارهای Modelvision Pro و WingLink حاصل شده است و نتایج مدل‌سازی نمودارهای احتمال که برای اولین بار در تفکیک داده‌های گرانی‌سنجی به کار رفته است می‌پردازیم:

## ۵-۲- مقایسه روش‌ها

برای اعمال روش‌های تفکیک آنومالی‌ها شامل مشتق، گسترش به بالا و پایین و روش متوسط‌گیری وزنی به کمک نرم‌افزارهای Modelvision Pro، ابتدا باید پروفیل‌هایی بر روی نقشه آنومالی بوگه رسم شود. سپس این فیلترها بر روی داده‌های درون‌یابی شده روی این پروفیل‌ها اجرا شوند که این عمل با خطا و تقریب همراه بوده و نویز را افزایش می‌دهد. به این ترتیب این فیلترها روی تمام داده‌ها اعمال نمی‌شوند. اما در روش روند سطحی، محاسبات بر اساس تک تک نقاط انجام می‌شود. در این حالت خطای محاسبات از دیگر روش‌ها کم‌تر است. بنابراین این روش بدون تغییر در دامنه و شکل آنومالی‌ها، اثر گرانی مربوط به آنومالی‌های سطحی و عمقی را جدا می‌نماید. اما با توجه به این که مولفه ناحیه‌ای از تمام نقاط ورودی که شامل بخشی از باقی‌مانده‌ها هم می‌باشند، محاسبه می‌شود باید مقادیری انحراف برای باقی‌مانده محاسبه شده توسط روش روند سطحی در نظر گرفت [۱۴۴ و ۱۲۰].

در روش‌های متداول تفکیک آنومالی‌ها، کسب اطلاعات اولیه در مورد داده‌ها لازم است به طوری که باید اطلاعاتی از روند عمومی ساختارهای زمین‌شناسی منطقه، گسل‌های موجود و وضعیت زمین‌شناسی منطقه در دست باشد. با کاربرد این روش‌ها، بسته به نوع روش به کار رفته، بخشی از اطلاعات حذف می‌گردند و در شماری از آنها، نسبت به سیستم تفکیک داده‌ها کنترل زیادی وجود ندارد و در واقع ماهیت داده‌ها در روند تفکیک‌سازی در نظر گرفته نمی‌شود و نقشه‌های باقی‌مانده حاصل، هنوز شامل اثراتی از مولفه ناحیه‌ای می‌باشند.

در روش‌های مشتق، روند سطحی، گسترش به بالا و پایین و گریفین، نظرات شخصی مفسر در تعیین روند عمومی مولفه ناحیه‌ای و ضرایب وزنی لازم، تاثیرگذار است. به طوری که در اجرای این روش‌ها به کمک نرم‌افزارهای فوق‌الذکر، کاربر می‌تواند تعیین نماید که فیلتر مورد نظر بر روی کدام یک از پروفیل‌ها و با چه طول موج حدی<sup>۱</sup> اعمال شود.

از دیگر محدودیت‌های روش‌های متداول تفکیک می‌توان به این مساله اشاره نمود که این روش‌ها در تفکیک داده‌های مرزی با مشکل مواجه‌اند. در واقع این روش‌ها که برای تفسیر کیفی آنومالی‌های ناحیه‌ای و باقی‌مانده مفید می‌باشند، با انجام یک سری عملیات ریاضی بر روی داده‌ها، ممکن است آنومالی‌هایی تولید نمایند که به اختلافات واقعی چگالی ساختارهای زیرسطحی مربوط نیستند [۱۵۴]. فیلترهای اجرا شده بر داده‌های گرانی مشاهده‌ای، باعث ایجاد انحرافات در شکل آنومالی‌های گرانی می‌شوند [۷۶]. همان طور که در نقشه‌های حاصل از روش‌های گریفین (شکل الف-۲۱)، مشتق (شکل‌های ۳-۷ و ۳-۸) و گسترش به پایین (شکل‌های ۳-۹ و الف-۵ تا الف-۱۲) دیده می‌شود، آنومالی‌های سطحی با تغییر شکل و جابجایی نشان داده شده‌اند و تشخیص دقیق ساختمان‌های موجود در منطقه به کمک این روش‌ها ممکن نیست.

---

<sup>۱</sup> - Cut- off Wavelength

نقشه‌های حاصل از روش گسترش به بالا، شباهت زیادی به نقشه آنومالی بوگه دارند که نشان می‌دهد با افزایش ارتفاع گسترش به بالا، دسترسی به ارتفاعی که جهت حذف کامل آنومالی‌های سطحی مناسب باشد، امکان‌پذیر نیست.

از آن جا که منطق و ریاضیات حاکم بر هر یک از روش‌های مشتق، گسترش به بالا و پایین، گریفین و روند سطحی متفاوت بوده و هر کدام از این روش‌ها نتیجه‌ای خاص می‌دهند و نتایج حاصل از همه این روش‌ها ممکن است یکسان نباشند؛ در عمل، آنومالی‌ها باید با چند روش مختلف مورد تفکیک قرار گیرند و سپس با مقایسه نتایج، بهترین نقشه باقی‌مانده را انتخاب و تفسیر نمود. بنابراین در مجموع با تکیه بر هر کدام از این روش‌ها به تنهایی نمی‌توان آنومالی‌های موجود در منطقه را به طور دقیق شناسایی نمود و کاربرد این روش‌ها در کنار یکدیگر می‌تواند به تفسیر درست داده‌ها کمک نماید.

مدل‌سازی نمودار احتمال داده‌ها که برای اولین بار جهت تفکیک داده‌های گرانی‌سنجی در این پایان‌نامه به کار رفته است، با کمترین محاسبات ممکن سعی می‌کند تا بر اساس نحوه پراکندگی داده‌ها به جداسازی روندهای مختلف اثرات ناحیه‌ای، باقی‌مانده و بخش همپوشانی موجود در بین داده‌ها بپردازد. بر اساس مدل‌سازی داده‌ها بر روی نمودار احتمال، این امکان وجود دارد تا آن بخش از داده‌ها که وابسته به مولفه باقی‌مانده یا آنومالی هستند، شناسایی و ویژگی‌های آنها بررسی شود. در این روش پس از شناسایی اولیه مرزهای حد آستانه‌ای، بدون نیاز به کسب اطلاعات اولیه از قبیل دانسیته و تغییرات آن، فرآیند جداسازی و تفکیک مستقیماً بر مبنای داده‌های خام، صورت می‌گیرد.

همان طور که شکل (۴-۸) نشان می‌دهد، در این روش سعی می‌شود تا بر اساس اجرای توابع مختلف و فرآیند تکرار، بهترین مدل بر داده‌ها برآزش شده تا انطباق کامل بین مدل و داده‌های خام صورت گیرد و مدل برآزش یافته بر داده‌ها، توزیع داده‌ها را بهتر توجیه نماید و اطلاعات بیشتری حاصل گردد.

روش مدل‌سازی نمودار احتمال را می‌توان با سرعت و دقت بالا برای تحلیل حجم زیادی از داده‌ها بدون حذف محدوده‌ای از اطلاعات به کار برد. با تشخیص روندهای مختلف موجود در مدل برازش شده بر داده‌ها، تعداد فازهای تاثیرگذار بر تغییرات گرانی اندازه‌گیری شده که دارای شدت‌های مختلف می‌باشند، مشخص می‌شوند. به این ترتیب با تعیین حد آستانه‌ای شروع هر کدام از زیر جوامع، محدوده شروع بخش آنومال در داده‌ها تعیین و نقشه باقی‌مانده بهینه تهیه می‌شود. جدول (۵-۱) به صورت خلاصه نتایج حاصل از مقایسه روش‌های کلاسیک تفکیک آنومالی‌ها و روش مدل‌سازی نمودار احتمال را بیان می‌دارد:

جدول (۵-۱) مقایسه روش‌های متداول تفکیک آنومالی‌های گرانی‌سنجی با روش مدل‌سازی نمودارهای احتمال

روش مدل‌سازی نمودارهای احتمال	روش‌های متداول تفکیک آنومالی‌ها
مدل‌سازی مستقیماً بر مبنای داده‌های خام و بدون اعمال تغییرات بر داده‌ها صورت می‌گیرد.	لزوم کسب اطلاعات اولیه در مورد داده‌ها و تاثیرگذاری نظرات شخصی مفسر در تفکیک آنومالی‌ها
عدم حذف داده‌ها و بررسی تغییرات کل داده‌ها در نمودار احتمال	حذف محدوده‌ای از اطلاعات به صورت اتوماتیک بسته به روش به کار رفته جهت تفکیک
مدل‌سازی نمودار احتمال بر اساس پراکندگی داده‌ها و تفکیک روندهای مختلف تغییر پذیری داده‌ها بر روی نمودار احتمال ترسیم شده با کمترین محاسبات ممکن	انجام یک سری عملیات ریاضی بر روی داده‌ها و عدم وجود کنترل زیاد نسبت به سیستم تفکیک داده‌ها
تشخیص مرز قاطی‌شدگی داده‌های ناحیه‌ای و باقی‌مانده و شناسایی حدآستانه‌ای شروع آنومالی بدون همپوشانی با مولفه ناحیه‌ای	به دلیل وجود نویز نقشه‌های باقی‌مانده هنوز شامل اثراتی از مولفه ناحیه‌ای می‌باشند و آنومالی‌های سطحی با تغییر شکل و جابجایی نشان داده می‌شوند.

### ۵-۳- آزمون تی-ستیودنت<sup>۱</sup>

به منظور بررسی میزان هم‌خوانی بین نقشه باقی‌مانده بهینه محاسبه شده از روش مدل‌سازی نمودار احتمال و نقشه باقی‌مانده روند سطحی مرتبه ۳، داده‌های مربوط به هر کدام از نقشه‌ها به سه بخش مربوط به محدوده تاقدیس و آنومالی‌های مثبت، داده‌های مربوط به آنومالی‌های منفی ناودیس و داده‌های مربوط به محدوده بین آنومالی‌های مثبت و منفی تقسیم شدند و سپس آزمون تی-ستیودنت [۷] به منظور تعیین میزان معنی‌دار بودن اختلاف دو سری داده مربوط به محدوده‌های متناظر با یکدیگر در سطح اعتماد ۹۵٪ انجام شد. جداول (۲-۵) تا (۴-۵) اطلاعات آماری مربوط به هر دو سری داده مربوط به محدوده‌های مشخص از نقشه باقی‌مانده روش روند سطحی مرتبه ۳ و روش مدل‌سازی نمودار احتمال را نشان می‌دهند. در این جداول میانگین، انحراف معیار و خطای میانگین استاندارد مربوط به هر سری داده که در محاسبات آزمون تی-ستیودنت به کار می‌روند، بیان شده‌اند. نمودارهای (۱-۵) تا (۳-۵) میزان همبستگی بین هر دو سری داده متناظر با یکدیگر را نشان می‌دهند. ضرایب همبستگی مربوط به این نمودارها، همبستگی بالاتر از ۹۷٪ را بین هر کدام از جفت داده‌ها نشان می‌دهند.

جدول (۲-۵) اطلاعات آماری سری اول زوج نمونه مربوط به نقشه‌های باقی‌مانده روند سطحی مرتبه ۳ و مدل‌سازی نمودار احتمال

خطای میانگین استاندارد	انحراف معیار	تعداد	میانگین	زوج نمونه
۰/۱۵۵۶۶	۲/۰۹۹۹۱	۱۸۲	-۵/۸۰۵۹	سری اول داده مربوط به روند سطحی مرتبه ۳
۰/۱۳۳۶۹	۱/۸۰۳۵۳	۱۸۲	-۲/۹۲۵۳	سری اول داده مربوط به مدل‌سازی نمودار احتمال

<sup>۱</sup> - T- Student

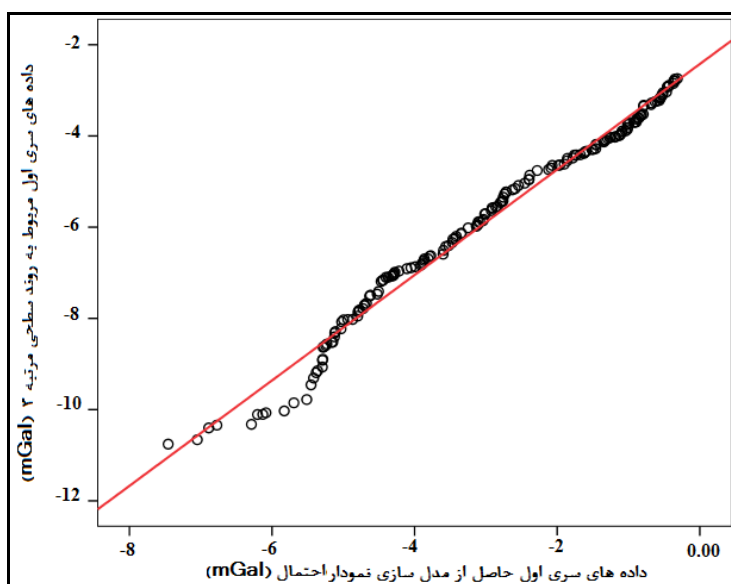


جدول (۳-۵) اطلاعات آماری سری دوم زوج نمونه مربوط به نقشه‌های باقی‌مانده روند سطحی مرتبه ۳ و مدل‌سازی نمودار احتمال

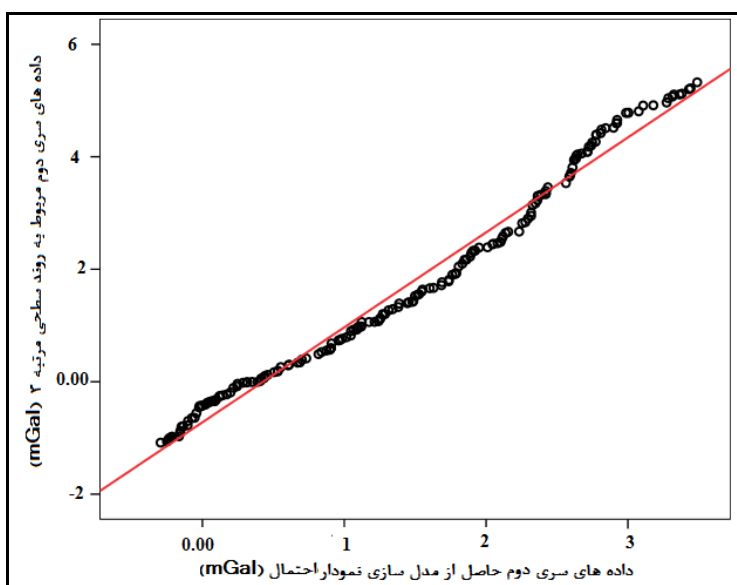
خطای میانگین استاندارد	انحراف معیار	تعداد	میانگین	زوج نمونه
۰/۱۳۶۷۲	۱/۸۴۹۵	۱۸۳	۱/۷۱۷۳	سری دوم داده مربوط به روند سطحی مرتبه ۳
۰/۸۰۲۶	۱/۰۸۵۷۵	۱۸۳	۱/۴۴۴۵	سری دوم داده مربوط به مدل‌سازی نمودار احتمال

جدول (۴-۵) اطلاعات آماری سری سوم زوج نمونه مربوط به نقشه‌های باقی‌مانده روند سطحی مرتبه ۳ و مدل‌سازی نمودار احتمال

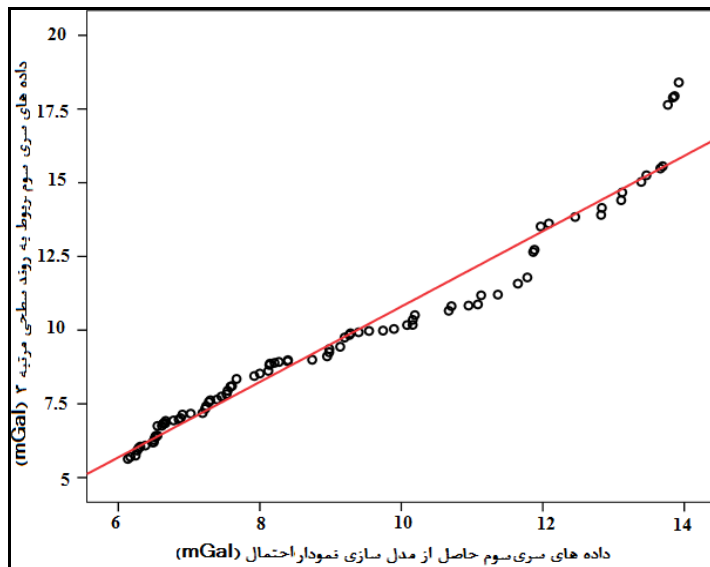
خطای میانگین استاندارد	انحراف معیار	تعداد	میانگین	زوج نمونه
۰/۳۴۲۸۴	۳/۲۱۶۱۳	۸۸	۹/۵۷۵۱	سری سوم داده مربوط به روند سطحی مرتبه ۳
۰/۲۶۲۳۷	۲/۴۶۱۲۱	۸۸	۹/۰۴۲۲	سری سوم داده مربوط به مدل‌سازی نمودار احتمال



شکل (۱-۵) منحنی همبستگی بین زوج داده‌های سری اول حاصل از مدل‌سازی نمودار احتمال و روند سطحی مرتبه ۳



شکل (۲-۵) منحنی همبستگی بین زوج داده‌های سری دوم حاصل از مدل‌سازی نمودار احتمال و روند سطحی مرتبه ۲



شکل (۳-۵) منحنی همبستگی بین زوج داده‌های سری سوم حاصل از مدل‌سازی نمودار احتمال و روند سطحی مرتبه ۳

آزمون تی-ست‌یودنت با در نظر گرفتن دو فرض صفر مبنی بر یکسان بودن دو سری داده یا وجود خطای تصادفی در اختلاف بین داده‌ها و فرض یک مبنی بر متفاوت بودن دو سری داده یا وجود اختلاف معنی‌دار بین داده‌ها برای دو سری داده مربوط به محدوده‌های مشخص شده اجرا و نتایج آن در جداول (۵-۵) تا (۷-۵) ارائه شده است.

جدول (۵-۵) نتایج آزمون تی-ستیدنت زوج نمونه سری اول داده‌های حاصل از مدل‌سازی نمودار احتمال و روند سطحی مرتبه ۳

زوج نمونه مربوط به سری اول	متوسط اختلاف زوج نمونه	انحراف معیار اختلاف زوج نمونه	t	df
	-۲/۸۸۰۵۳	۰/۰۲۸۰۱	۴/۲۸	۱۸۱

جدول (۶-۵) نتایج آزمون تی-ستیدنت زوج نمونه سری دوم داده‌های حاصل از مدل‌سازی نمودار احتمال و روند سطحی مرتبه ۳

زوج نمونه مربوط به سری دوم	متوسط اختلاف زوج نمونه	انحراف معیار اختلاف زوج نمونه	t	df
	۰/۲۷۲۷۸	۰/۰۵۸۱۲	۳/۰۴	۱۸۲

جدول (۷-۵) نتایج آزمون تی-ستیدنت زوج نمونه سری سوم داده‌های حاصل از مدل‌سازی نمودار احتمال و روند سطحی مرتبه ۳

زوج نمونه مربوط به سری سوم	متوسط اختلاف زوج نمونه	انحراف معیار اختلاف زوج نمونه	t	df
	۰/۵۳۲۹۱	۰/۱۰۱۹۵	۰/۱۴۸	۸۷

با مقایسه  $t$  محاسبه شده و مقدار  $t$  بحرانی موجود در جدول مقادیر توزیع تی-ستودنت (جدول ج-۱) مشاهده می‌شود که مقدار  $t$  محاسباتی برای زوج نمونه‌های اول با درجه آزادی ۱۸۱، بزرگ‌تر از مقدار  $t$  بحرانی بوده و اختلاف دو روش را در شناسایی موقعیت ناودیس‌های منطقه نشان می‌دهد. مقدار  $t$  محاسباتی برای زوج نمونه‌های دوم کوچک‌تر از  $t$  بحرانی جدول است و لذا فرض صفر مبنی بر یکسان بودن دو سری داده در تشخیص موقعیت آنومالی‌های مربوط به محدوده دوم پذیرفته می‌شود [۱۴۸]. با توجه به این که مقدار  $t$  محاسبه شده برای سومین سری کمتر از مقدار  $t$  بحرانی جدول است لذا، محاسبات آماری یکسان بودن تغییرات دو سری داده مربوط به محدوده سه را تایید می‌نمایند و نشان می‌دهد که آنومالی‌های مربوط به بخش‌های مرتبط با ساختارهای تاقدیسی روی نقشه باقی‌مانده حاصل از روش جدید مدل‌سازی نمودار احتمال در مقایسه با آنومالی‌های تعیین شده توسط نقشه باقی‌مانده روند سطحی مرتبه ۳ به خوبی تشخیص داده شده‌اند. به این ترتیب بر مبنای محاسبات آماری می‌توان همبستگی مناسب بین نقشه باقی‌مانده حاصل از دو روش و موفقیت روش مدل‌سازی نمودار احتمال را در تشخیص محدوده‌های تاقدیسی و یال‌های آن اعلام نمود.

با تلفیق نتایج محاسبات آماری صورت گرفته و نتایج حاصل از مدل‌سازی مجدد زیرجامعه آنومالی (جدول ۴-۲) می‌توان گفت در روش جدید مدل‌سازی نمودار احتمال داده‌های گرانی پیشنهاد شده، نگرانی‌های موجود در مورد خطاهایی که هنگام تفکیک آنومالی‌ها رخ می‌دهد (در شکل ۴-۱ توضیح داده شده است)، مرتفع شده و بخش قاطی شده اثرات ناحیه‌ای و باقی‌مانده کاملاً مشخص می‌شود و مولفه ناحیه‌ای، کمترین اثرات ممکن را بر آنومالی باقی‌مانده تفکیک شده گذاشته است.

## فصل ششم:

### نتیجه‌گیری و پیشنهادات

## ۶-۱- نتیجه گیری

تفسیر نقشه‌های حاصل از روش‌های مختلف تفکیک داده‌های گرانی‌سنجی منطقه دهنو با توجه به مشاهدات زمین‌شناسی صورت گرفته و مقاطع زمانی لرزه‌نگاری انجام شده، حضور دو آنومالی مثبت تاقدیسی A و B و آنومالی‌های منفی ناودیسی C، D و E و آنومالی نیمه بسته F را در منطقه نشان می‌دهند. در نقشه‌های ناحیه‌ای حاصل از روش‌های روند سطحی و گریفین، افزایش عمق رسوبات به سمت شمال غرب تاقدیس دهنو قابل رویت است.

نتایج حاصل از مدل‌سازی‌های دو و سه بعدی ساختارهای منطقه نیز حضور آنومالی‌های مثبت A و B و آنومالی‌های منفی C، D و E را تایید می‌کنند. بر اساس نتایج حاصل از مدل‌سازی‌های دو و سه بعدی ساختارهای D1، D2 و D3 واقع در شمال غرب تاقدیس دهنو و ساختارهای C1، C2 و C3 واقع در جنوب غرب تاقدیس (شکل ۳-۲۱) را می‌توان ادامه چین‌خوردگی ساختمان دهنو به صورت ناودیس در قسمت‌های شمالی و جنوبی دانست. زون با گرانی پایین واقع در محدوده جنوب شرقی منطقه اثرات حضور نمک را نشان می‌دهد.

نقشه مشتق دوم قائم گرانی، وضعیت چین‌خوردگی ساختمان دهنو را به صورت دو بستگی مجزا با روند شمال غرب و جنوب شرق نشان می‌دهد. به این ترتیب با توجه به اطلاعات زمین‌شناسی منطقه، وضعیت چین‌خوردگی ساختمان دهنو را می‌توان به صورت دو ساختار چین‌خورده تاقدیسی و یک ساختار چین‌خورده ناودیسی در مرکز آنها توصیف نمود. نقشه‌های مزبور و نتایج حاصل از مدل‌سازی‌های دو و سه بعدی عملکرد هیچ گسلی را در سطح نشان نمی‌دهد و به نظر می‌رسد که ساختمان تاقدیس مورد نظر سالم است.

نقشه‌های گسترش به بالا و پایین نیز در اعماق و ارتفاعات مختلف، دو بستگی ساختمان دهنو و سالم بودن آن را نشان می‌دهند. همچنین حضور آنومالی مثبت A در تمام اعماق، گسترش تاقدیس دهنو را از اعماق کم تا زیاد نشان می‌دهد.

نتایج حاصل از مدل‌سازی‌های دو و سه بعدی نوع ساختارهای منطقه، دانسیته متوسط این آنومالی‌ها و عمق تقریبی هر کدام را نشان می‌دهند. همان‌طور که مدل‌های دو بعدی آنومالی‌های A1، A2 و B نشان می‌دهند، تاقدیس دهنو در بخش‌هایی رخنمون سطحی دارد که این مطلب نیز توسط اطلاعات زمین‌شناسی منطقه تایید شده است. عمق زیاد آنومالی‌های D1، D2 و D3 نظیر نتایج حاصل از مرحله تفکیک آنومالی‌ها و تفسیر کیفی داده‌ها در شکل‌های (۳-۵) و (۳-۶) با توجه به ضخامت زیاد رسوبات در بخش‌های شمال غرب منطقه قابل توصیف می‌باشد.

روش مدل‌سازی نمودار احتمال که برای اولین بار به منظور تفکیک داده‌های گرانی‌سنجی در این تحقیق به کار رفته است، بدون حذف محدوده‌ای از اطلاعات و ضمن تحلیل تغییرپذیری داده‌ها، به بررسی شدت و ضعف تعداد فازهای مختلف تاثیرگذار بر تشکیل ساختارهای منطقه پرداخته است. پس از بررسی مدل برازش یافته بر روندهای تغییرات داده‌ها روی نمودار احتمال، اختصاصات هر کدام از بخش‌های تفکیک شده بررسی و در طی سه گام، مولفه باقی‌مانده داده‌های گرانی منطقه محاسبه شده است. مولفه باقی‌مانده حاصل، حدود ساختارهای مختلف موجود در منطقه را نسبت به سایر روش‌های متداول در تفکیک داده‌های گرانی با صرف حجم محاسبات کمتری نشان می‌دهد. بر اساس تحلیل اطلاعات موجود در منطقه (نه صرفاً کمک گرفتن از یک منطق ریاضی)، روند مولفه‌های ناحیه‌ای و باقی‌مانده شناسایی و بخش همپوشانی اثرات دو مولفه نیز مشخص شده است و بر اساس تعریف محدوده عملکرد هر یک از مولفه‌های حاصل از مدل‌سازی نمودار احتمال نقشه باقی‌مانده ترسیم گردیده است. نتایج بررسی‌های آماری و آزمون تی-ستودنت، یکسان بودن تغییرات داده‌های مربوط به محدوده تاقدیس را در دو سری



داده مربوط به نقشه باقی مانده روند سطحی مرتبه ۳ و نقشه باقی مانده حاصل از مدل سازی نمودار احتمال نشان می دهد. تلفیق اطلاعات حاصل از روش جدید مدل سازی نمودار احتمال داده های گرانی و سایر اطلاعات موجود را می توان جهت تهیه نقشه های پتانسیل مطلوب برای بررسی تله های هیدروکربوری در اعماق مختلف به کار برد.

## ۶-۲- پیشنهادات

با توجه به نتایج حاصل از اجرای روش های مختلف در تفسیر و مدل سازی داده های گرانی سنجی ارائه پیشنهادات زیر جهت بهینه سازی پروژه اکتشاف تاقدیس دهنو و یا سایر محدوده های اکتشافی ضروری به نظر می رسد:

- در تفکیک داده های میدان پتانسیل استفاده از روش هایی که محاسبات تحلیلی را بر اساس تغییرپذیری رفتار داده ها در تک تک ایستگاه های برداشت و بدون حذف محدوده ای از داده ها انجام می دهند، نتایج قابل قبول تری ارائه می دهند.
- داده های اکتشافی که حاصل تاثیر فرآیندهای مختلف در تشکیل ذخیره هستند را می توان بر اساس نمودار احتمال مدل سازی نمود و تعداد و شدت عملکرد هر یک از فرآیندها را تعیین نمود.
- روش های مدل سازی سه بعدی معکوس به دلیل حذف ابهامات ذاتی موجود در داده ها در تعیین پارامترهای هندسی و تغییرات عمق ساختارها نتایج مناسبی را ارائه می دهند.
- استفاده از نتایج مدل سازی های دو و سه بعدی که اطلاعات به دست آمده را به صورت نیم رخ عمقی در جهت عمود بر داده های مشاهده شده ارائه می دهند، لازم است.
- نتایج حاصل از مدل سازی سه بعدی ساختارهای منطقه اطلاعات مفیدی در خصوص گسترش عمقی آن ها فراهم می سازد.

- روش مدل‌سازی نمودار احتمال را می‌توان جهت تفکیک داده‌های اکتشافی که قابلیت تغییرپذیری بر اساس تاثیر فرآیندهای مختلف موثر در تشکیل ذخیره دارند، مورد استفاده قرار داد.
- تلفیق نتایج حاصل از لایه‌های اطلاعاتی مختلف نظیر اکتشافات مغناطیس‌سنجی، لرزه‌ای و مگنتوتلوریک که منطقه را به صورت کامل پوشش دهند، می‌تواند در تهیه برنامه‌های بعدی پروژه اکتشافی مفید باشد.

منابع و ماخذ

## فهرست منابع

۱. آقا بابایی، ح.، طباطبایی رئیسی، ه. و حلاجیان محمدی، ر.، (۱۳۸۲)، "شناسایی گل‌فشان‌ها به روش گرانی‌سنجی و بررسی پتانسیل هیدروکربوری دشت گرگان از تلفیق اطلاعات گرانی‌سنجی و لرزه نگاری"، یازدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، تهران.
۲. آگاه، آ.، (۱۳۸۳)، پایان نامه کارشناسی ارشد، "مدل سازی و تفسیر داده‌های گرانی و مغناطیس ناحیه طبس"، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.
۳. اسماعیل زاده، ا.، (۱۳۸۸)، پایان نامه کارشناسی ارشد، "ارائه یک مدل دو و سه بعدی در محیط GIS برای تلفیق داده‌های ژئوفیزیکی، زمین‌شناسی و سنجش از دور به هدف آشکارسازی ساختار زیرسطحی دهنو"، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.
۴. اسماعیلی و بابایی، (۱۳۸۲)، "گزارش عملیات گرانی و مغناطیس‌سنجی ناحیه دهنو و مدار"، بهمن ۱۳۸۲.
۵. اطلس راه‌های ایران.
۶. باقری، ج.، (۱۳۸۴)، پایان نامه کارشناسی ارشد، "تحلیل هندسی و جنبشی تاقدیس دهنو و گسل‌های عرضی-برشی همراه (فارس ساحلی)"، دانشگاه تربیت مدرس.
۷. حسنی پاک ع.ا.، شرف الدین م.، (۱۳۸۴)، "تحلیل داده‌های اکتشافی"، انتشارات دانشگاه تهران، ۸۵۰ ص.
۸. دولتی ارده جانی، ف.، (۱۳۷۲)، پایان نامه کارشناسی ارشد، "برداشت اطلاعات خام و تعبیر و تفسیر گرانی‌سنجی منطقه اکتشافی مرودشت"، دانشکده معدن، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
۹. دولتی ارده جانی، ف.، (۱۳۷۵)، "تفکیک آنومالی‌های گرانی منطقه بابلسر به روش روند سطحی ارتونرمال"، نهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، تهران.

۱۰. دولتی ارده جانی، ف.، (۱۳۷۶)، "گزارش تعبیر و تفسیر گرانی سنجی و مغناطی سنجی رودان"، اداره ژئوفیزیک مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران، ۸۲.
۱۱. دولتی ارده جانی، ف.، (۱۳۸۳)، "گزارش تعبیر و تفسیر داده‌های گرانی و مغناطی سنجی تاقدیس دهنو"، گزارش ژئوفیزیکی.
۱۲. طباطبایی رئیسی، ه.، (۱۳۶۸)، "کاربرد روش گرادیان مختلط در تعبیر و تفسیر آنومالی‌های گرانی و مغناطیس‌سنجی با استفاده از تبدیل هیلبرت و اعمال بر اطلاعات گرانی‌سنجی گیلان"، دومین کنگره نفت و گاز، تهران.
۱۳. طباطبایی رئیسی، س. ه.، (۱۳۸۳)، "گزارش تعبیر و تفسیر گرانی و مغناطیس‌سنجی و مگنتو تلوریک طاقدیس دهنو"، گروه غیر لرزه‌ای، شماره گزارش ژئوفیزیکی ۲۰۳۸، ۳۳ص.
۱۴. قاضی‌مرادی، م.، (۱۳۸۷)، پایان نامه کارشناسی ارشد "تعیین مرز توده‌های آنومال میدان پتانسیل با استفاده از روش سیگنال تحلیلی"، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.
۱۵. قوامی ریابی، ر.، (۱۳۷۲)، پایان نامه کارشناسی ارشد "تعبیر و تفسیر سه بعدی آنومالی‌های گرانی‌سنجی با استفاده از تغییرات دانسیته"، دانشکده معدن، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
۱۶. کلاگری، ع.ا.، (۱۳۷۱)، "اصول اکتشافات ژئوفیزیکی"، ۵۸۵ص.
۱۷. متشرعی، آ. و زمردیان، ح.، (۱۳۸۶)، "تعیین عمق سنگ بستر با استفاده از روش گرانی‌سنجی در منطقه جنوب زاگرس"، مجله ژئوفیزیک ایران، (۱)، ۶۱-۶۹.
۱۸. مرادزاده، ع. و عرب امیری، ع. ر.، (۱۳۸۳)، "مدل‌سازی معکوس پارامتری داده‌های پلاریزاسیون القایی و مقاومت ویژه اندیس معدنی پاینده"، هشتمین همایش زمین‌شناسی ایران، دانشگاه صنعتی شاهرود.

۱۹. مرادزاده، ع.، دولتی ارده جانی، ف.، یعقوبی پور، م.، محمدوخراسانی، م.، (۱۳۸۵)، "مدل سازی دو بعدی معکوس پارامتری داده های گرانی منطقه نفتی دهنو"، اولین کنگره مهندسی نفت ایران (صنایع بالادستی نفت)، خرداد ۱۳۸۵.

۲۰. یعقوبی پور، م.، (۱۳۸۴)، پایان نامه کارشناسی ارشد، "تفکیک آنومالی های میدان پتانسیل با استفاده از روش اجزاء محدود در ناحیه دهنو (فارس جنوبی)"، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

21. Abdelrahman, E.M., Riad, S., Refai, E., and Amin, Y., (1985), "On the least-squares residual anomaly determination", **Geophysics**, 50, 473-480.
22. Agarwal, B.N.P., Lal, L.T., (1971), "Application of rational approximation in the calculation of the second derivative of the gravity field", **Geophysics**, 36, 571-581.
23. Agocs, W. B., (1951), "Least-square residual anomaly determination", **Geophysics**, 16, 686-696.
24. Albora, A. M., Ucan, O. N., Ozmen, A., Ozkan, T., (2001), "Separation of Bouguer anomaly map using cellular neural network", **Journal of Applied Geophysics**, 129-142.
25. Athy, L.F., (1930), "Density, porosity, and compact ion of sedimentary rocks", **Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists**, 14, 1-24.
26. Bear, G.W., Al-Shukri, H.J., Rudman, A.J., (1995), "Linear inversion of gravity data for 3-D density distributions", **Geophysics**, 60, 1354-1364.
27. Beltrao, J. F., Silva, J. B. C., and Costa, J. C., (1991), "Robust polynomial fitting method for regional gravity estimation", **Geophysics**, 56, 1, P. 80-89.
28. Bhattacharyya, B. K., (1965), "Two-dimensional harmonic analysis as a tool for magnetic interpretation", **Geophysics**, 30, 829-857.
29. Bhattacharyya, B. K., (1969), "Bicubic spline interpretation as a method for treatment of potential field data", **Geophysics**, 34, 402-423.
30. Bhattacharyya, B. K., (1976), "Recursion filters for digital processing of potential field data", **Geophysics**, 41, 712-726.

31. Bhattacharya, B.K., Navolio, M.E., (1976), "A Fast Fourier Transform method for rapid computation of gravity and magnetic anomalies due to arbitrary bodies", **Geophysical Prospecting**, 20, 633– 649.
32. Bhattacharyya, B. K. and Chan, K. C., (1977), "Reduction of gravity and magnetic data on an arbitrary surface acquired in a region of high topographic relief", **Geophysics**, 42, 1411-1430.
33. Bolviken, B., (1971), "A statistical approach to the problem of interpretation in geochemical prospecting", *Can. Inst. Min. Metall., Spec*, 11, 564-567.
34. Bosch, M., (1998), "Lithologic tomography: method and application to the Co<sup>^</sup>te di'Armor region (France). Conference Abstracts: 3D Modeling of Natural Objects: a Challenge for the 2000, Vol. 2. Nancy, France, 4–5th June.
35. Boschetti, F., Dentith, M., List, R., (1997), "Inversion of potential-field data by genetic algorithms", **Geophysical Prospecting**, 45, 461–478.
36. Botezatu, R., (1970), "Sur La separation des anomalies gravimetriques et magnetiques", **Geophysical Prospecting**, 18, 800-815.
37. Bott, M.P.H., (1960), "The use of rapid digital computing methods for direct gravity interpretation of sedimentary basins", **Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society**, 3, 63– 67.
38. Boulanger, O., Chouteau, M., (2001), "Constraints in 3D gravity inversion", **Geophysical Prospecting**, 49, 265–280.
39. Burmaster D. E. and Thompson K. M. (1999). "Using Animated Probability Plots to Explore the Suitability of Mixture Models with Two Component Distributions". **Risk Analysis**, 19(6), 1185- 1192.
40. Cady, J. W., (1980), "Calculation of gravity and magnetic anomalies of finite-length right polygonal prisms", **Geophysics**, 45, 1507-1512.
41. Chasseriau, P., Chouteau, M., (2003), "3D gravity inversion using a model of parameter covariance", **Journal of Applied Geophysics**, 52, 59–74.
42. Cheng, Q., (1999), "Spatial and scaling modeling for geochemical anomaly separation", **Journal of Geochemical Exploration**, 65, 175-194.

43. Cheng Q., Agterberg F.P., Bonham-Carter G.F. (1996). "A spatial analysis method for geochemical anomaly separation", **Journal of Geochemical Exploration**, 56, 183–195.
44. Clarke. G. K. C., (1969), "Optimum second derivative and downward continuation filters", **Geophysics**, 34, 424-437.
45. Coggon, J. H., (1976), "The magnetic and gravity anomalies of polyhedral", **Geoexploration**, 14, 93-105.
46. Coons, R. L., Woollard, G. P. and Hershey, G., (1967), "Structural Significance and analysis of mid- continent high", **Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists**, 51, 2381-2399.
47. Cordell, L., Henderson, R.G., (1968), "Iterative three-dimensional solution of gravity data using a digital computer", **Geophysics**, 33, 596– 601.
48. Cordell, L., (1985), "A stripping filter for potential-field data", 55th Annual International Meeting of Society of Exploration Geophysics, Expanded Abstracts, 217- 218.
49. Craig A., George H. (1996). "Evaluation of background of metal concentrations in ohio soils". Cox- colvin & Associates, Inc. 18 pp.
50. Dampney, C. N. G., (1969), "The equivalent source technique", **Geophysics**, 34, 39-53.
51. Dean, W. C., (1958), "Frequency analysis for gravity and magnetic interpretation", **Geophysics**, 23, 97-127.
52. Debeglia, N., Corpel, J., (1997), "Automatic 3-D interpretation of potential field data using analytic signal derivatives", **Geophysics** 62, 87–96.
53. Dimri, V., (1992), "**Deconvolution and inverse theory: application to geophysical problems**", Elsevier, 230 pp.
54. Dobrin, M. B. and Savit, C. H., (1988), "**Introduction geophysical prospecting**", McGraw-Hill, 867 pp.
55. Earth Tech, Inc., NewFields, Inc., Battelle. (2003), "Guidance for Environmental Background Analysis Volume III: Groundwater", 213 pp.
56. El-Batroukh, S. I., and Zentani, A. S., (1980), "Gravity interpretation of Raguba field, Sirte basin, Libya", **Geophysics**, 45, 1153-1 163.



57. Elkins, T. A., (1951), "The second derivative method of gravity interpretation", **Geophysics**, 16, 29-50.
58. Encom Technology Pty Ltd, (2003), Modelvision Pro Microsoft, The 3D workbench for magnetic and gravity interpretation, version 5.
59. Environmental Geology, Handbook of Field Methods and Case Studies, (2007), Springer Berlin Heidelberg, [www.springerLink.com](http://www.springerLink.com).
60. Fajkiewicz, Z., (1959), "The use of cracovian computation in estimating the regional gravity", **Geophysics**, 24, 456-478.
61. Farquharson, C.G., Mosher, C.R., (2009), "Three-dimensional  $\mathbb{I}$  modeling of gravity data using finite differences", **Journal of Applied Geophysics**, 68, 417–422.
62. Fedi, M. and Rapolla, A., (1999), "3-D inversion of gravity and magnetic data with depth Resolution", **Geophysics**, 64, 452-460.
63. Fedi, M., Rapolla, A. and Russo, G., (1999), "Upward continuation of scattered potential field data", **Geophysics**, 64, 443-451.
64. Fleischhauer H. L., and Korte N., (1990). "Formulation of cleanup standards for trace elements with probability plots", **Environmental Managements**, 14(1), 95-105.
65. Gallardo-Delgado, L. A., Perez-Flores, M. A. and Gomez-Trevino, E., (2003), "A versatile algorithm for joint 3-D inversion of gravity and magnetic data", **Geophysics**, 68, 949-959.
66. Gassman, F., (1951), "Graphical evaluation of the anomalies of gravity and of the magnetic field caused by three-dimensional bodies", **Proceeding of the Third World Petroleum Congress**, 613-621.
67. Genevraye P. and Seguret M. and Nikpour S. and Moulle C. and Perrier R. and Ahmadnia P. (1976), Denhow and Namaki Geological Survey, Total Iran Petroleum co. Report NO.5517-9-1.
68. Goetze, H.J., Lahmeyer, B., (1988), "Application of three-dimensional interactive modelling in gravity and magnetics", **Geophysics**, 53, 1096–1108.

69. Grant, F. S. and West, G. F., (1965), “**Interpretation theory in applied geophysics**”, McGraw-Hill Book co.
70. Grant, F. S., (1957), “A problem in the analysis of geophysical data”, **Geophysics**, 22, 309-344.
71. Green, W. R., (1975), “Inversion of gravity profiles by use of a Backus- Gilbert approach”, **Geophysics**, 40, 763-772.
72. Griffin. W. R., (1949), “Residual gravity in theory and practice”, **Geophysics**, 14, 39-58.
73. Gupta, V. K., and Ramani, N., (1980), “Some aspects of regional-residual separation of gravity anomalies in a Precambrian terrain”, **Geophysics**, 45, 1412-1426.
74. Hadley, A., Toumi, R., (2003), “Assessing changes to the probability distribution of sulphur dioxide in the UK using a lognormal model”, **Atmospheric Environment** 37, 1461–1474.
75. Hammer, S., (1963), “Deep gravity interpretation by stripping”, **Geophysics**, 28, 369-378.
76. Hammer, S., (1977), “Graticule versus depth determination in gravity interpretation”, **Geophysics**, 42, 60-65.
77. Handbook of Statistical Methods, Engineering Statistics Handbook, <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook>.
78. Hansen, R. O. and Miyazaki, Y., (1984), “Continuation of potential fields between arbitrary surfaces”, **Geophysics**, 49, 787-795.
79. Hare, J., Ferguson, J., Aiken, C., and Brady, J., (1999), “The 4-D microgravity method for waterflood surveillance: A model study for the Prudhoe Bay reservoir, Alaska”, **Geophysics**, 64, 78-87.
80. Hazen S.W.Jr, (1967), “Some Statistical Techniques for Analyzing Mine and Mineral Deposit Sample and Assay Data”, US Bureau of Mines, Bull 621, Washington, pp.22.
81. Hearst R. B., Morris W. A. (2001). “Regional gravity setting of the Sudbury Structure, Case History”. **Geophysics**, 66, 1680-1690.

82. Hinze, W. J., (1990), "The role of gravity and magnetic methods in engineering and environmental studies. In: Ward (Ed), Geotechnical and environmental geophysics", **The Society of Exploration Geophysicists**, 75-126.
83. Holstein, H., Ketteridge, B., (1996), "Gravimetric analysis of uniform polyhedral", **Geophysics**, 61, 357–364.
84. Inman, J. R., (1975), "Resistivity inversion with ridge regression", **Geophysics**, 40, 798-817.
85. Inoue, H., (1986), "A least-squares smooth fitting for irregularly spaced data: Finite-element approach using the cubic B-spline basis", **Geophysics**, 51, 2051-2066.
86. INTEGRATED GEOPHYSICS CORPORATION (IGC), (1995), "Bouguer gravity maps identify regional basin structure and resultant preferred directions of lateral oil and gas migration", IGC Footnotes Series on interpretation, 3(1), 1-6. Houston, Texas.
87. Ivan, M., (1990), "Comment on optimum expression for computation of gravity field of a homogeneous polyhedral body, by V. Pohanka", **Geophysical Prospecting** 38, 331–332.
88. Jacobsen, B. H., (1987), "A case for upward continuation as a standard separation filter for potential-field maps", **Geophysics**. 52. 1138- 1148.
89. Kaftan I., Salk M., Sari C., (2005), "Application of the finite element method to gravity data case study: Western Turkey", **Journal of Geodynamics**, 39, 431–443.
90. Keary, P., Brooks, M., Hill I., (2002), "**An introduction to geophysical exploration**". Blackwell Science.
91. Keller, G. R., Smith, R. A., Hinze, W. J. and Aiken, C. L. V., (1985), "Regional gravity and magnetic study of west Texas. In: Hinze, W.J. (Ed), the utility of regional gravity and magnetic anomaly maps", **Society of Exploration Geophysicists**, 198-212.
92. Lee, T. J., (1980), "Rapid computation of magnetic anomalies with demagnetization include for arbitrarily shaped magnetic bodies", **Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society**, 60, 67-75.
93. LeFehr, T. R. (1991), "Standardization in gravity reduction", **Geophysics**, 56, 1170-1178.

94. Lepeltier C. (1969), "A simplified statistical treatment of geochemical data by graphical representation", **Economic Geology**, 64, 538- 550.
95. Levine, S., (1941), "The calculation of gravity anomalies due to bodies of finite extent", **Geophysics**, 6, 180-196.
96. Li, Y., Oldenburg, D.W., (1998), "3-D inversion of gravity data", **Geophysics**, 63, 109–119.
97. Li, Y., Oldenburg, D.W., (2003), "Fast inversion of large-scale magnetic data using wavelet transforms and a logarithmic barrier method", **Geophysical Journal International**, 152, 251–265.
98. Lidiak, E. G., Hinze, W. J., Keller, G. R., Reed, J. E., Braile, L. W. and Johnson, R. W., (1985), Geologic significance of regional gravity and magnetic anomalies in the east-central Midcontinent. In: Hinze, W.J. (Ed), the utility of regional gravity and magnetic anomaly maps. **Society of Exploration Geophysicists**, 287-307.
99. Loke, M. H. and Barker, R. D., (1996), "Rapid least-square inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method", **Geophysical Prospecting**, 44, 131-152.
100. Lowrie, W., (1997). "**Fundamentals of geophysics**", Cambridge university press, 354pp.
101. Mallick K., Sharma K.K., (1999), "A finite element method for computation of the regional gravity anomaly", **Geophysics**, 64 (2), 461–469.
102. McQueen K.G. (2000). "Identifying Geochemical Anomalies" Department of Earth and Marine Sciences, Australian National University, ACT.
103. Meju, M. A., (1994), "**Geophysical data analysis: Understanding inverse problem theory and practice**", Society of Exploration Geophysicists, 296pp.
104. Mesko, C. A., (1966), "Two-dimensional filtering and the second derivative method", **Geophysics**, 31, 606-617.
105. Mesko. A., (1984), "**Digital filtering applications in geophysical exploration for oil**" Akademiai Kiado, Budapest; Pitman Publishing Ltd. and Halsted Press.
106. Mickus, k., "**Gravity Method: Environmental and Engineering Applications**", Department of Geosciences, Southwest Missouri State University, Springfield, MO 65804; OVERVIEW, [www.dot.state.fl.us/statematerialsoffice/geotechnical](http://www.dot.state.fl.us/statematerialsoffice/geotechnical)

107. Mickus, K. L., and Peeples, W. J., (1992), "Inversion of gravity and magnetic data for the lower surface of a 2.5 dimensional sedimentary basin", **Geophysical Prospecting**, 40, 171-194.
108. Nagihara, S., Hall, S.A., (2001), "Three-dimensional gravity inversion using simulated annealing: Constraints on the diapiric roots of allochthonous salt structures", **Geophysics** 66, 1438–1449.
109. Ndougsa Mbarga, T., (2004), Thèse Doctorat/ PhD, "Etude géophysique par méthode gravimétrique des structures profondes et superficielles de la région de Mamfé", Fac., Sci., Univ., Youndé I, 255 p.
110. Negi, J. G., (1967), "Convergence and divergence in downward continuation", **Geophysics**, 32, 867.
111. Nettleton, L. L., (1940), "**Geophysical Prospecting for Oil**", McGraw-Hill Book Company Inc.
112. Nettleton, L. L., (1942), "Gravity and magnetic calculation", **Geophysics**, 7, 293-310.
113. Nettleton, L. L., (1954), "Regional, residual and structures", **Geophysics**, 19, 1-22,
114. Nettleton, L.L., (1968), "Gravity anomalies over salt diapirs. Northern Spain". **Geological Society of America Special Publication**, 88, 75– 82.
115. Oldham, C. H. and Sutherland, D. B., (1955), "Orthogonal polynomials and their use in estimating the regional effect", **Geophysics**, 20, 295-306.
116. Pan, G., Harris, D.P., (2000), "**Information synthesis for mineral exploration**", Oxford University Press, 461 pp.
117. Parasnis, D. S., (1997), "**Principles of Applied Geophysics**", 5th edition Chapman and Hall, London, England, 400 p.
118. Park, H. M., (2008). "**Univariate Analysis and Normality Test Using SAS, Stata, and SPSS**", Technical Working Paper. The University Information Technology Services (UITs) Center for Statistical and Mathematical Computing, Indiana University."
119. Parker, R. L., (1974), "Best bounds on density and depth from gravity data", **Geophysics**, 39, 644-649.

120. Paul, M. K., (1967), "A method of computing residual anomalies from Bouguer gravity map by applying relaxation technique", **Geophysics**, 32, 708--719.
121. Pawlowski R.S., (1994), "Green's equivalent-layer concept in gravity band-pass filter design". **Geophysics**, 5, 69--76.
122. Pawlowski, R.S., Hansen, R.O., (1990), "Gravity anomaly separation by Wiener filtering", **Geophysics**, 55, 539--548.
123. Pedersen, L. B., (1977), "Interpretation of potential field data: A generalized inverse approach", **Geophysical Prospecting**, 25, 199-230.
124. Peters, L. J., (1949), "The direct approach to magnetic interpretation and its practical application", **Geophysics**, 14, 290-320.
125. Pilkington, M., (1997), "3-D magnetic imaging using conjugate gradients", **Geophysics**, 62, 1132-1142.
126. Pilkington, M., (2009), "3D magnetic data-space inversion with sparseness constraints" **Geophysics**, 74, L7-L15.
127. Pilkington, M. and Urquhart, W. E. S., (1990), "Reduction of potential field data to a horizontal plane", **Geophysics**, 55, 449-455.
128. Pinto, V., Casas, A., (1996), "An interactive 2D and 3D gravity modeling program for IBM-compatible personal computers", **Computer Geoscience**, 22, 535-- 546.
129. Pinto, V., Casas, A., Rivero, L., Torne', M., (2005), "3D gravity modeling of the Triassic salt diapirs of the Cubeta Alavesa (northern Spain)", **Tectonophysics**, 405, 65-- 75.
130. Portniaguine, O., Zhdanov, M.S., (1999), "Focusing geophysical inversion images", **Geophysics** 64, 874--887.
131. Pratsch, J. C., (1986), "The distribution of major oil and gas reserves in regional basin structures an example from the Powder River basin, Wyoming, USA", **Journal of Petroleum Geology**, 9(4), 393-412.
132. Prieto, C., (1996). "Gravity/ magnetic signatures of various geologic models- An exercise in pattern recognition". IGC FOOTNOTE SERIES, volume 4, number 4.
133. Reynolds, J. M., (1997), "**An introduction to applied and environmental geophysics**", John Wiley & Sons, 796 pp.

134. Robinson, E. S. and Coruh, C., (1988), “**Basic exploration geophysics**”, John Wiley & Sons, 562 pp.
135. Rybakov, M., Goldshmidt, V., Fleischer, L., and Yostein, Y., (2001), “Cave detection and 4-D monitoring: A microgravity case history near the Dead Sea”, **The Leading Edge**, 20, 896-900.
136. Sarma, D. D. and Selvaraj, J. B., (1990), “Two-dimensional orthonormal trend surfaces for Prospecting”, **Computer & Geosciences**, 16, 897-909.
137. Schoeffler, J., (1975), Gravimétrie appliquée aux recherches structurales et à la prospection pétrolière et minière: Eds. Technip, Paris, France, 288 p.
138. Shin, Y. H., Choi, K. S., Xu, H., (2006), “Three-dimensional forward and inverse models for gravity fields based on the Fast Fourier Transform”, **Computers & Geosciences** 32, 727- 738.
139. Simpson S. M., (1954), “Least squares polynomial fitting to gravitational data and density plotting by digital computers”. **Geophysics**, 9, 255-270.
140. Sinclair A.J. (1974). “Selection of Threshold Values in Geochemical Data Using Probability Graphs”, **Journal of Geochemical Exploration**, 3, 129-149.
141. Sinclair A.J. (1981), “Application of probability graphs in mineral exploration”. **The association of exploration geochemist**, pp.95.
142. Sinclair A.J. (1991). “A fundamental approach to threshold estimation in exploration geochemistry. Probability plots revisited”. **Journal of Geochemical Exploration**, 41, 1-22.
143. Singh, B., Sarma, D.G., (2001), “New method for fast computation of gravity and magnetic anomalies from arbitrary polyhedral”, **Geophysics** 66 (2), 521–526.
144. Skeels, D. C., (1967), “What is residual gravity?”, **Geophysics**. 32, 872-876.
145. Smith, R. A., (1959), “Some depth Formulae for local magnetic and gravity anomalies”, **Geophysical Prospecting**, 7, 55-63.
146. Smith, R. A., (1960), “Some formulae for interpreting local gravity anomalies”, **Geophysical Prospecting**, 7, 607-613.
147. Stanley C.R., Sinclair A.J. (1989). “Comparison of probability plots and gap statistics in the selection of threshold for exploration geochemistry data”, **Journal of Geochemical Exploration**, 32, 355-357.

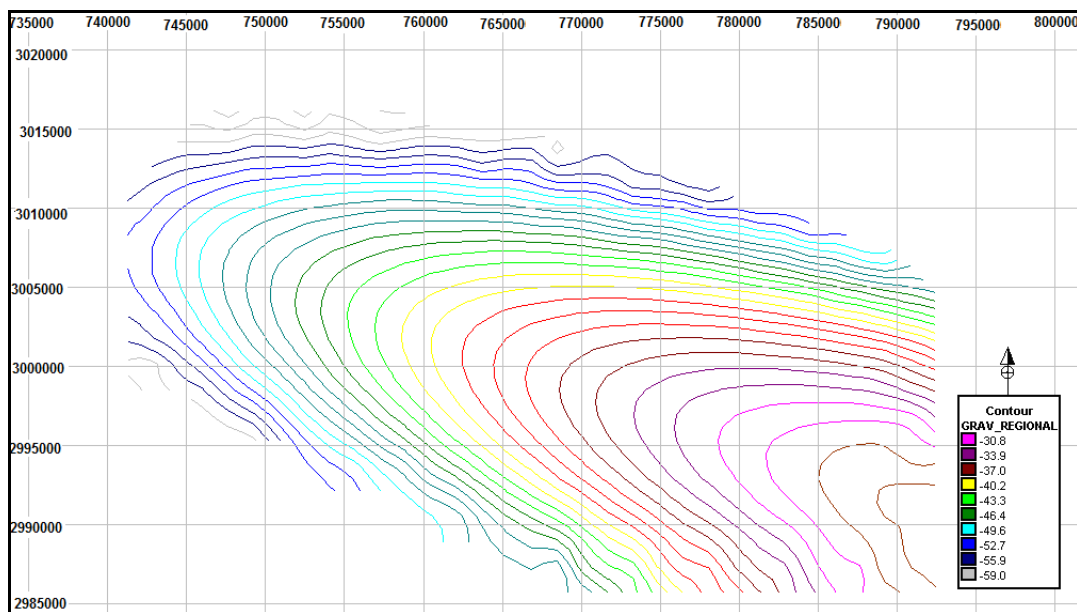
148. Swan, A.R.H., Snadilands, M. and McCabe, P. (1995), “**Introduction to Geological Data Analysis**”, Backwill Science, pp. 446.
149. Talwani, M., Worzel, J. I. and Landisman, M., (1959), “Rapid gravity computation for tow-dimensional bodies with application to the Mendicino submarine fracture zone” **Geophysical Researches**, 64, 49-59.
150. Talwani, M. and Ewing, M., (1960), “Rapid computation of gravitational attraction of three-dimensional bodies of arbitrary shape”, **Geophysics**, 25, 203-225.
151. Telford W. M., Geldart L. P. and Sheriff R. E., (1990), “**Applied Geophysics**” Cambridge University press, 770 pp.
152. Tennant C.B. and White M.L. (1959). “Study of the distribution of some geochemical data”. **Economic Geology**, 54, 1281-1290.
153. Ucan, O.N., Sen, B., Albora, A.M., Ozmen, A., (2000), “A New Gravity Anomaly Separation Approach: Differential Markov Random Field (DMRF)”, **Electronic Geosciences**. 5,1.
154. Ulrych, T.J., (1968), “Effect of wavelength filtering on the shape of the residual anomaly”, **Geophysics**, 33, 15–18.
155. Vaclac, B., Jan, H., Karel, S., (1992), “Linear filters for solving the direct problem of potential fields”, **Geophysics**, 57, 1348–1351.
156. Van Voorthis, G. D. and Davis, T. M., (1964), “Magnetic anomalies of North of Puerto Rico:Trend removal with orthogonal polynomials”, **Geophysical Researches**, 69, 5363-5371.
157. Wessel, P., (1998), “An Empirical Method for Optimal Robust Regional-Residual Separation of Geophysical Data”, **Mathematical Geology**, Vol. 30, No. 4.
158. Williams X.K. (1967). “Statistics in the interpretation of geochemical data”, **New Zealand Journal of Geology and Geophysics**, 10, 771-797.
159. Won, I. J. and Bevis, M., (1987), “Computing the gravitational and magnetic anomalies due to polygon: Algorithms and FORTRAN subroutines”, **Geophysics**, 52, 232-238.
160. Woodsworth, G.J., (1972), “A geochemical drainage survey and its implications for metallogenesis, central Coast Mountains, British Columbia”; **Economic Geology**, 68, 1104- 1120.



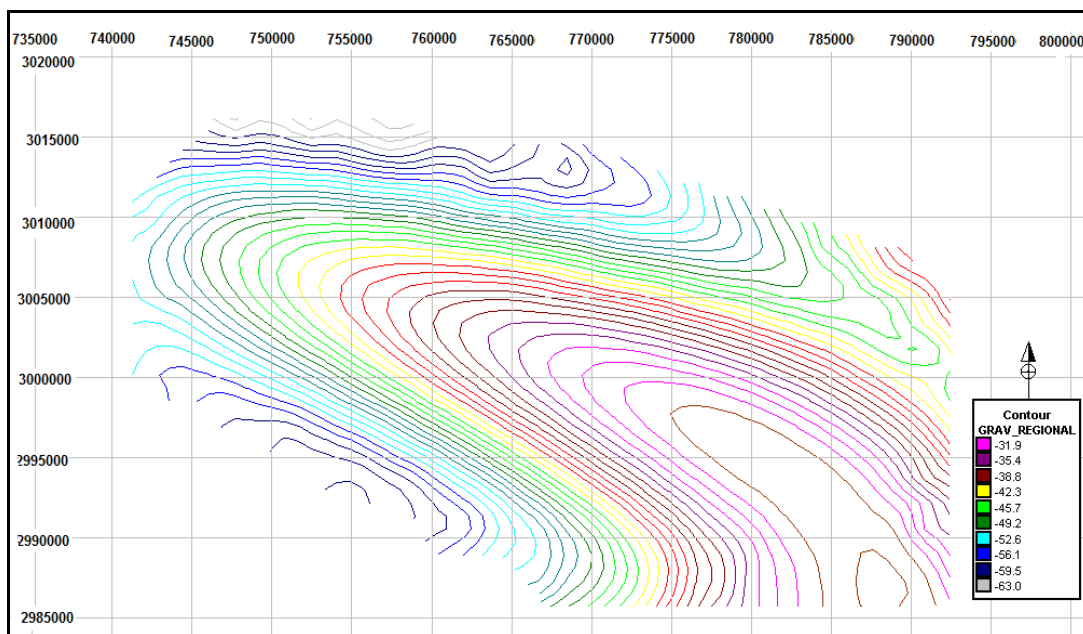
161. Xia, J. and Sprowl, D. R., (1991), "Correction of topographic distortion in gravity data", **Geophysics**, 56, 537-541.
162. Xia, J. and Sprowl, D. R., (1992), "Inversion of potential field data by iterative forward modeling in the wavenumber domain", **Geophysics**, 57, 126-130.
163. Xia, J., Sprowl, D. R. and Adkins-Heljeson, D., (1993), "Correction of topographic distortion in potential field data", **Geophysics**, 58, 515-523.
164. Yarger, H. L., (1985), "Kansas basement study using spectrally filtered aeromagnetic data. In: Hinze, W.J. (Ed), the utility of regional gravity and magnetic anomaly maps. **Society of Exploration Geophysicists**, 213-232.
165. Zhang, J., Wang, C.Y., Shi, Y., Cai, Y., Chi, W.C., Dreger, D., Cheng, W.-B., Yuan, Y.-H., (2004), "Three-dimensional crustal structure in central Taiwan from gravity inversion with a parallel genetic algorithm", **Geophysics**, 69, 917-924.
166. Zurflueh, E. G., (1967), "Applications of two-dimensional linear wavelength filtering", **Geophysics**, 32, 1015-1035.

پیوست الف:

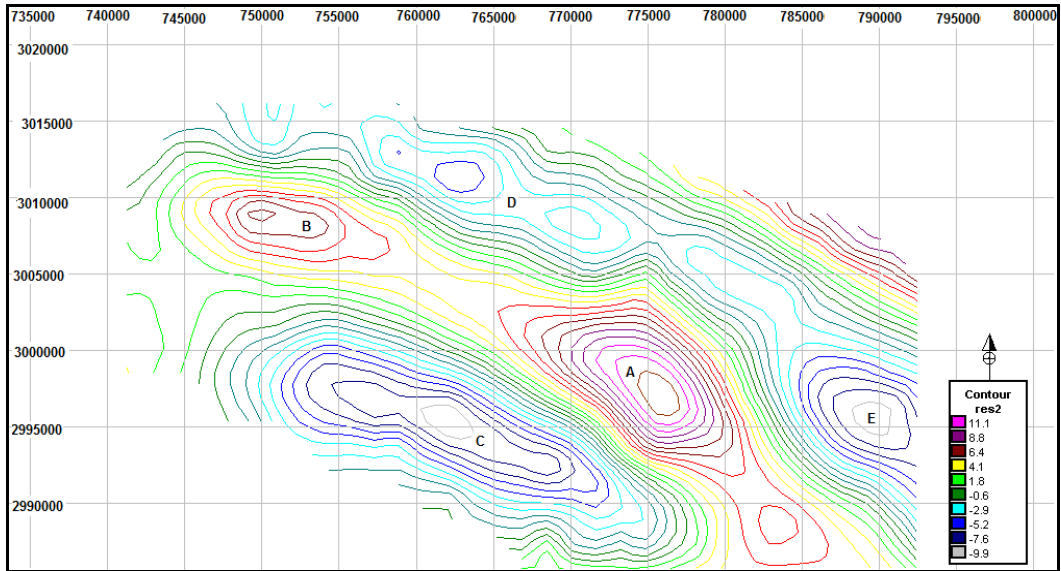
نتایج حاصل از روش‌های مختلف تفکیک  
داده‌های گرانی



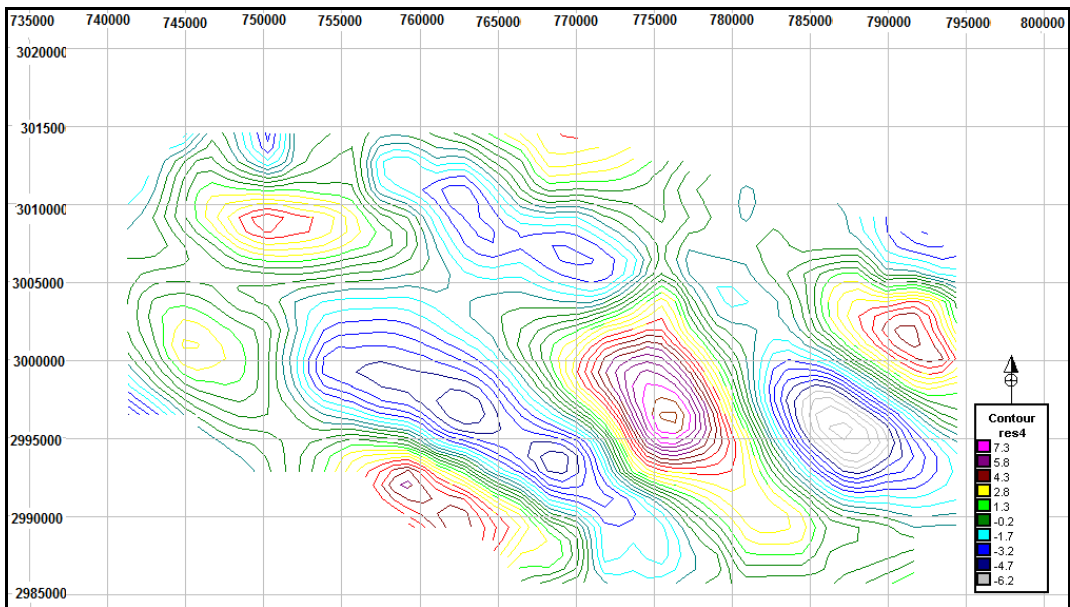
شکل (الف-۱) نقشه آنومالی ناحیه‌ای روند ۲ گرانی منطقه دهنو [اصلاح شده از ۱۱]



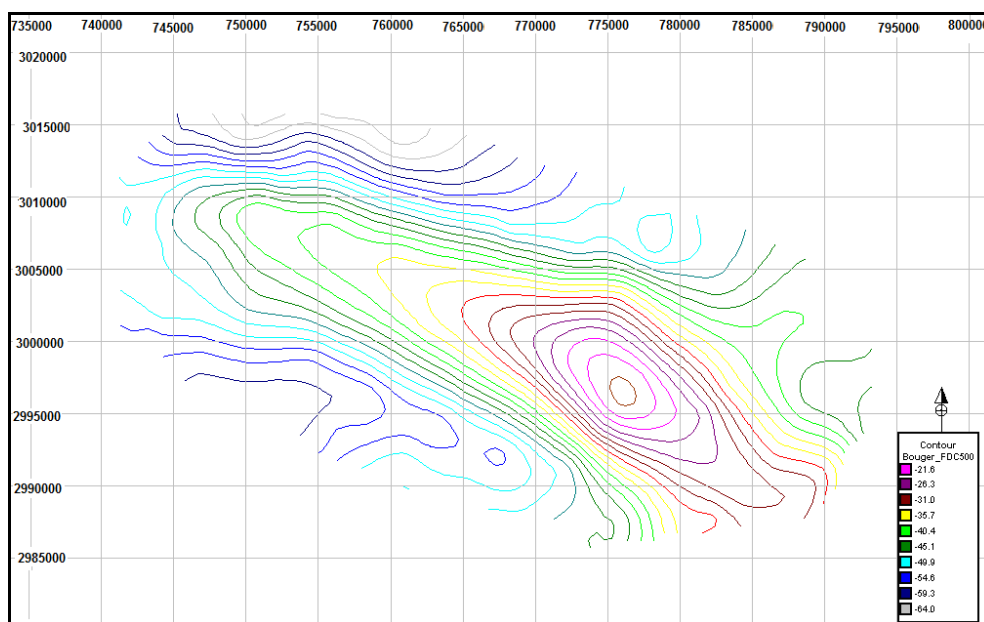
شکل (الف-۲) نقشه آنومالی ناحیه‌ای روند ۴ گرانی منطقه دهنو [اصلاح شده از ۱۱]



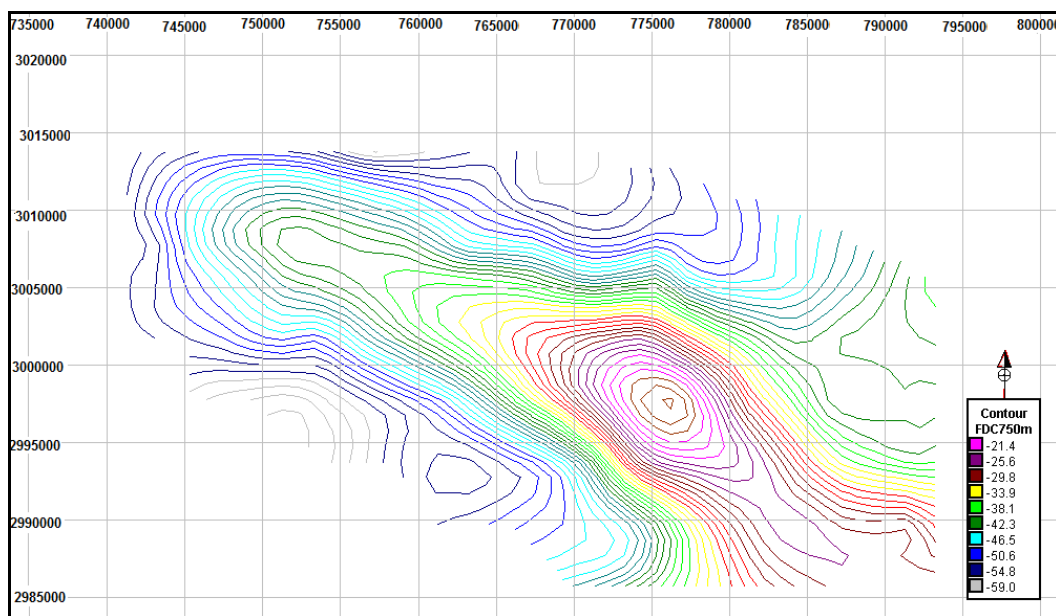
شکل (الف-۳) نقشه آنومالی باقی مانده روند ۲ گرانی منطقه دهنو [اصلاح شده از ۱۱]



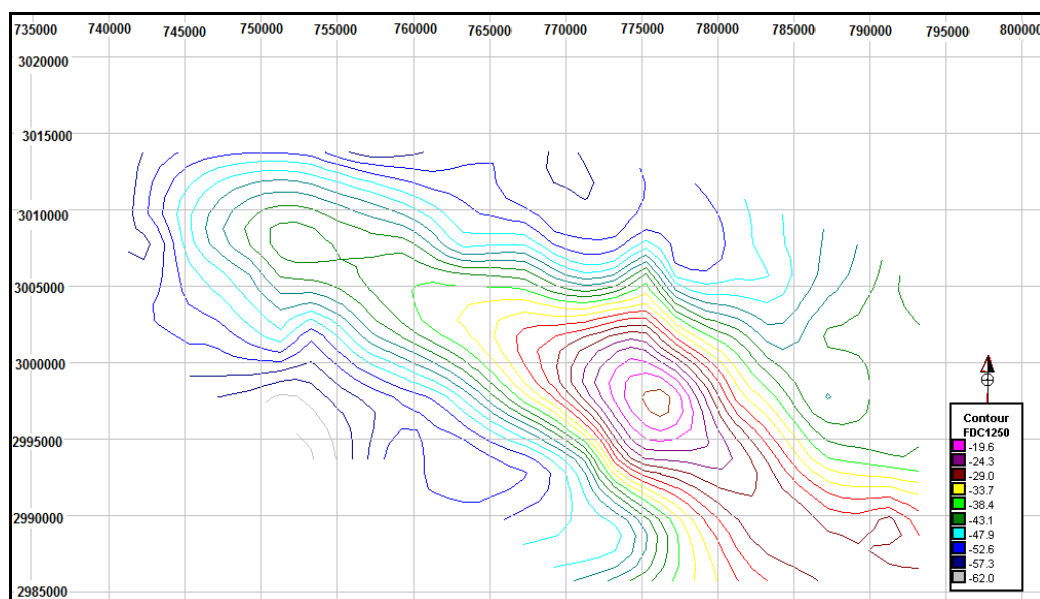
شکل (الف-۴) نقشه آنومالی باقی مانده روند ۴ گرانی منطقه دهنو [اصلاح شده از ۱۱]



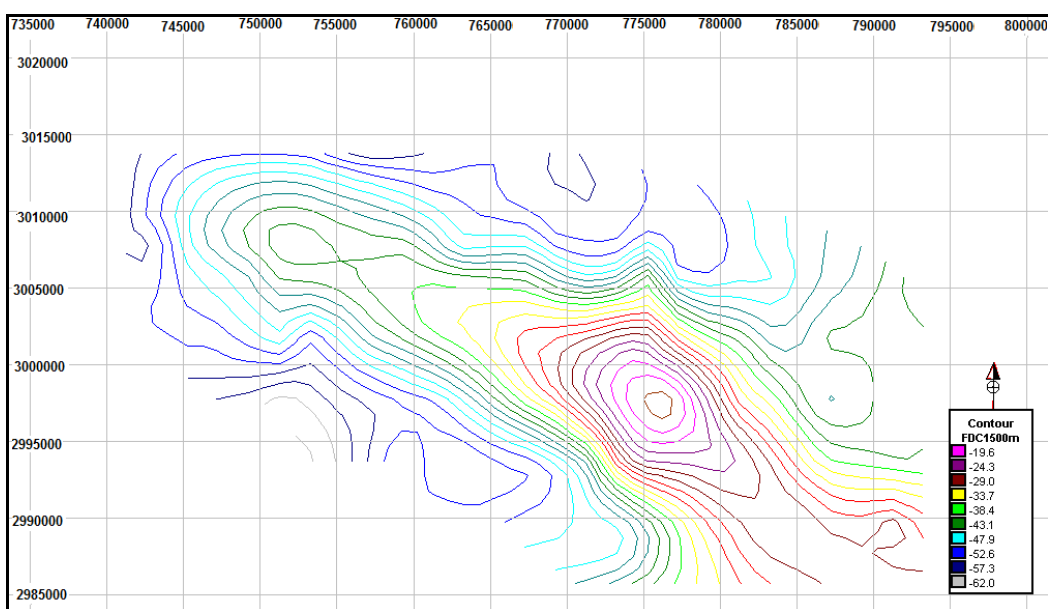
شکل (الف-۵) نقشه آنومالی گسترش یافته به پایین با عمق گسترش ۵۰۰ متر منطقه دهنو [اصلاح شده از ۱۱]



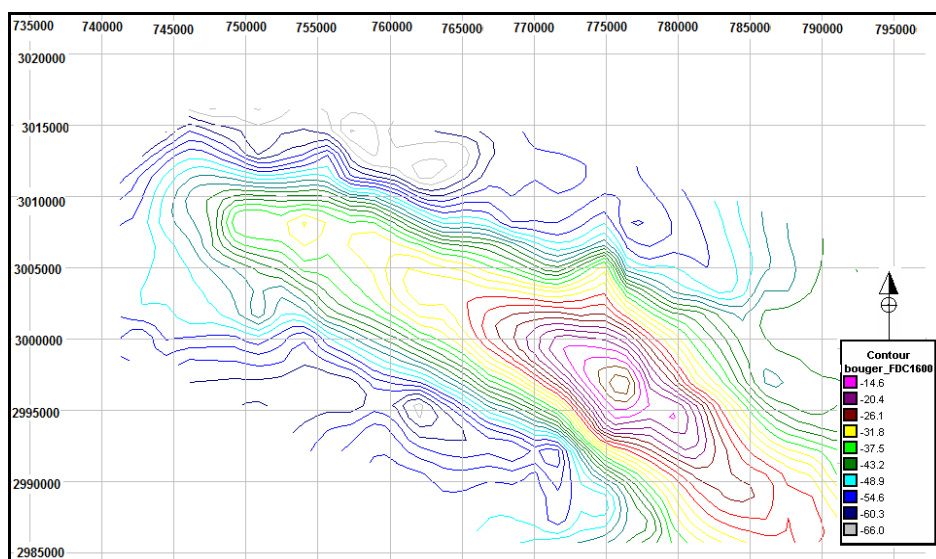
شکل (الف-۶) نقشه آنومالی گسترش یافته به پایین با عمق گسترش ۷۵۰ متر منطقه دهنو [اصلاح شده از ۱۱]



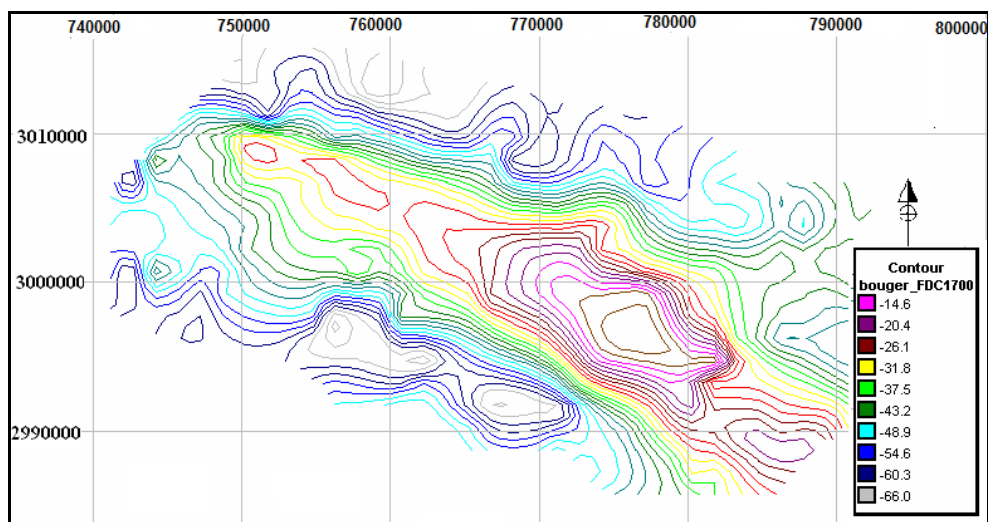
شکل (الف-۷) نقشه آنومالی گسترش یافته به پایین با عمق گسترش ۱۲۵۰ متر منطقه دهنو [اصلاح شده از ۱۱]



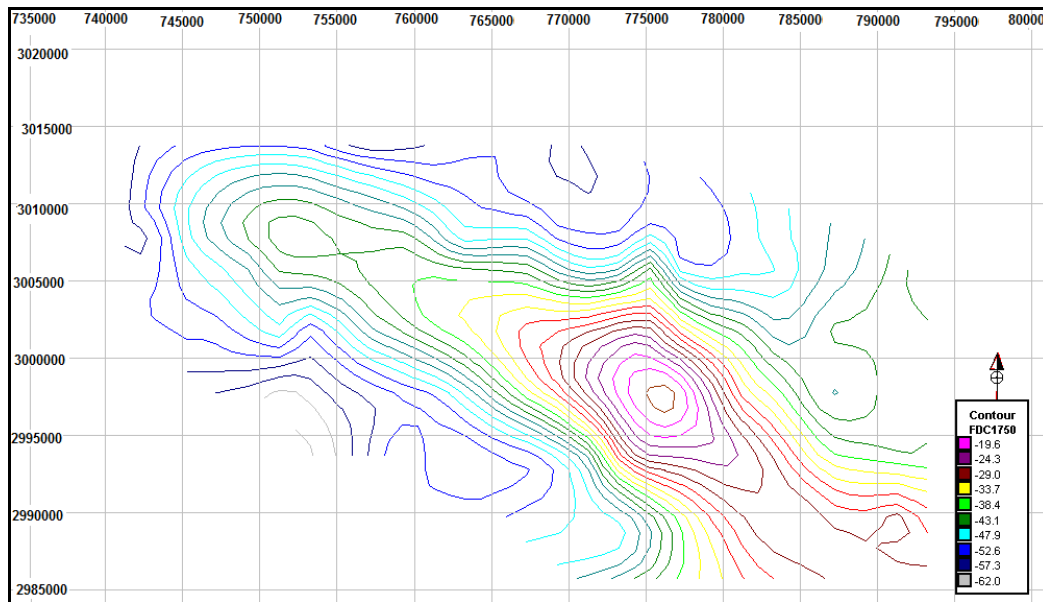
شکل (الف-۸) نقشه آنومالی گسترش یافته به پایین با عمق گسترش ۱۵۰۰ متر منطقه دهنو [اصلاح شده از ۱۱]



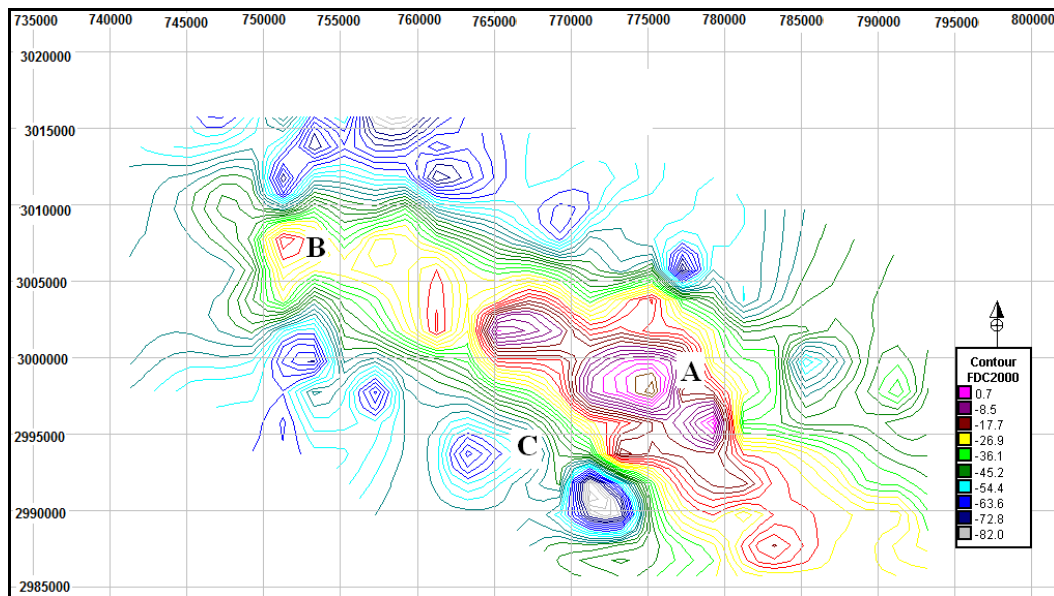
شکل (الف-۹) نقشه آنومالی گسترش یافته به پایین با عمق گسترش ۱۶۰۰ متر منطقه دهنو [اصلاح شده از ۱۱]



شکل (الف-۱۰) نقشه آنومالی گسترش یافته به پایین با عمق گسترش ۱۷۰۰ متر منطقه دهنو [۱۱]

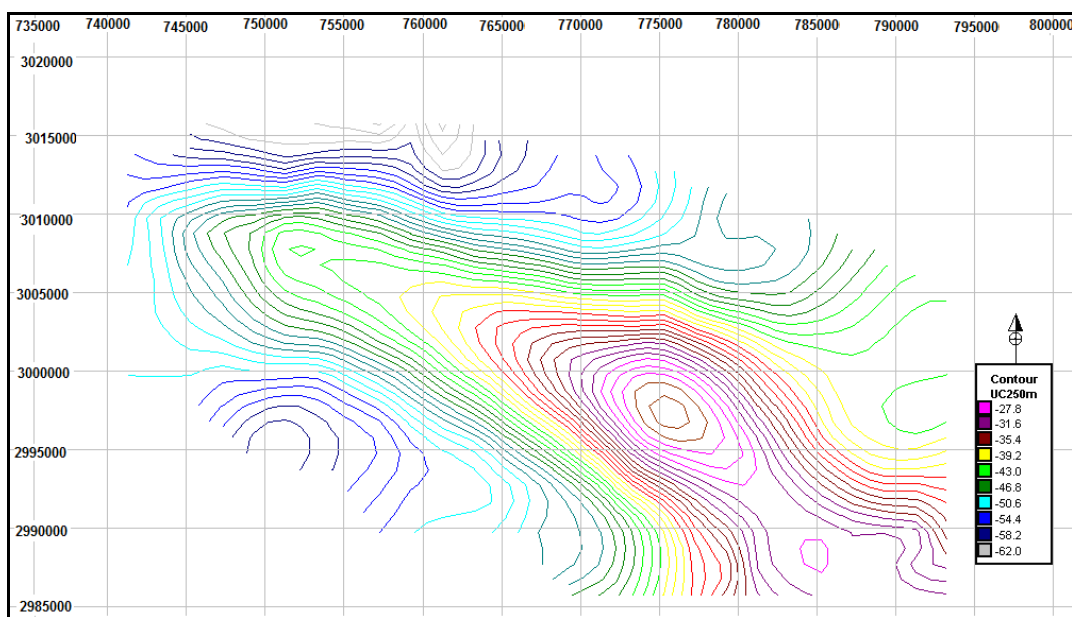


شکل (الف-۱۱) نقشه آنومالی گسترش یافته به پایین با عمق گسترش ۱۷۵۰ متر منطقه دهنو [اصلاح شده از ۱۱]

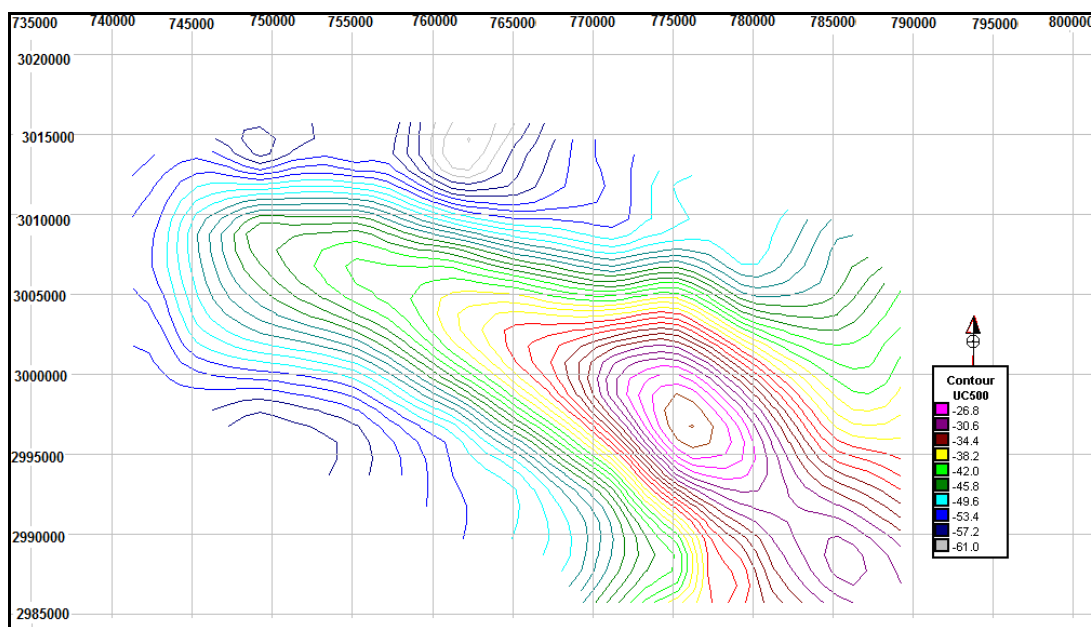


شکل (الف-۱۲) نقشه آنومالی گسترش یافته به پایین با عمق گسترش ۲۰۰۰ متر منطقه دهنو

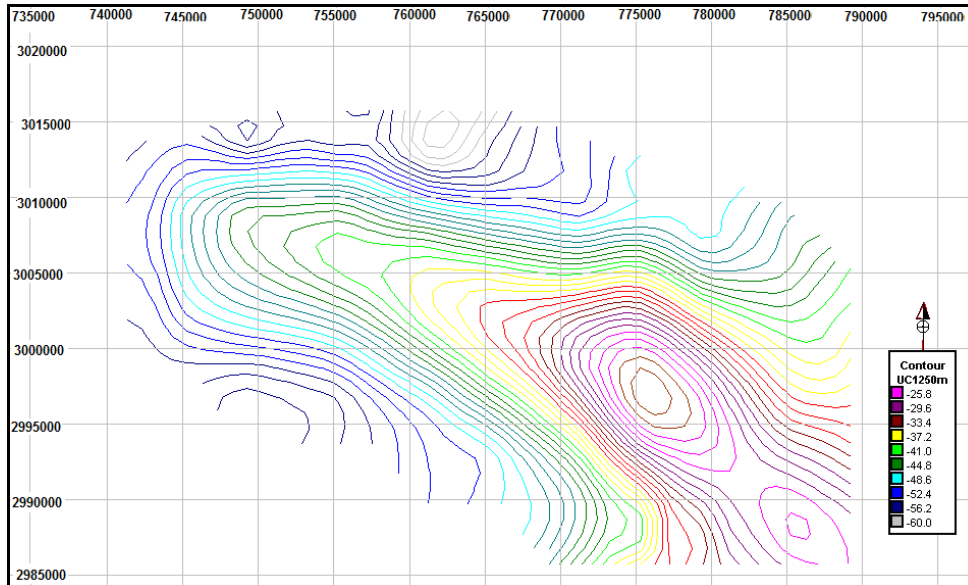




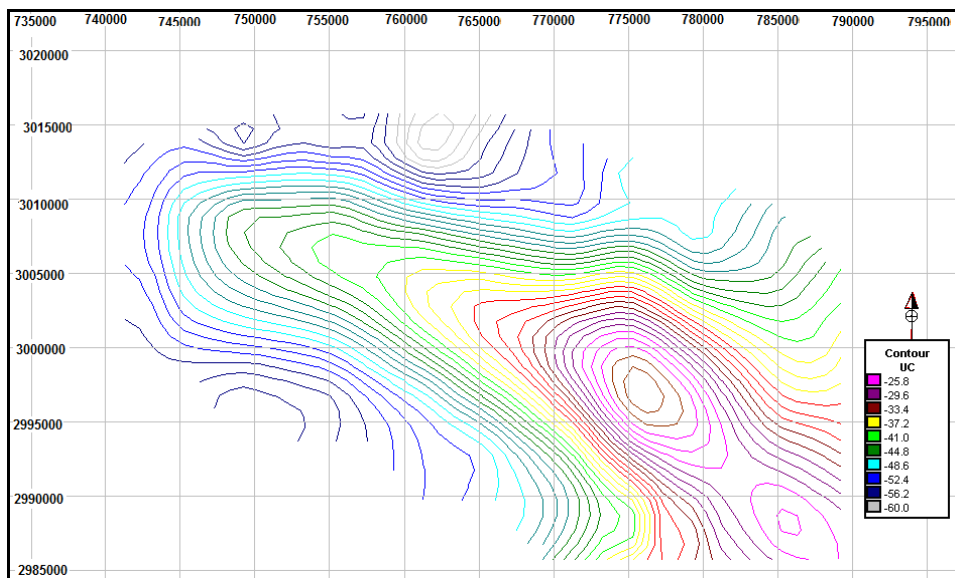
شکل (الف-۱۳) نقشه آنومالی گسترش یافته به بالا منطقه دهنو با ارتفاع گسترش ۲۵۰ متر [اصلاح شده از ۱۱]



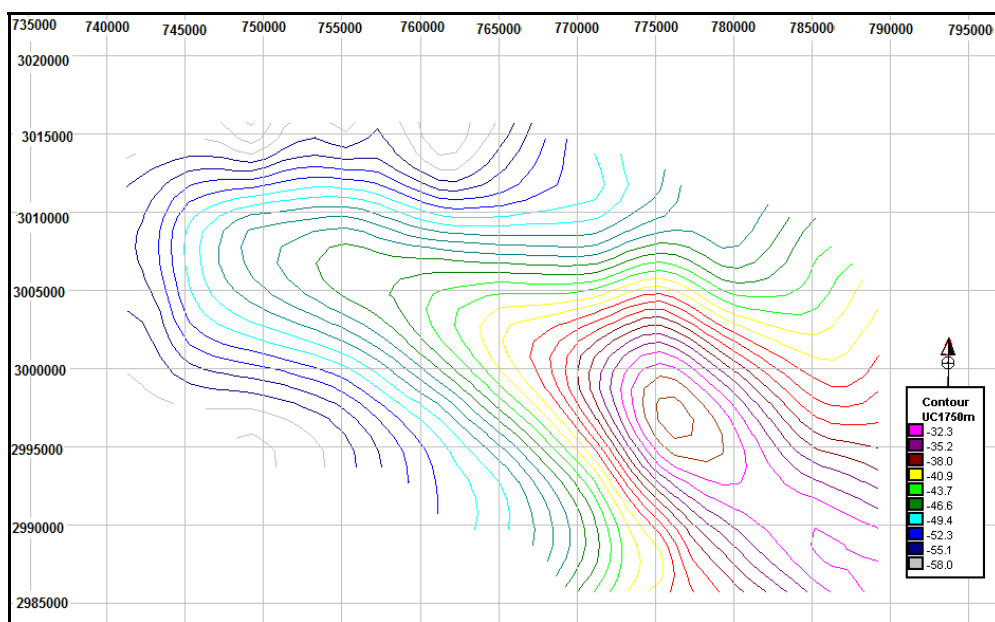
شکل (الف-۱۴) نقشه آنومالی گسترش یافته به بالا منطقه دهنو با ارتفاع گسترش ۵۰۰ متر [اصلاح شده از ۱۱]



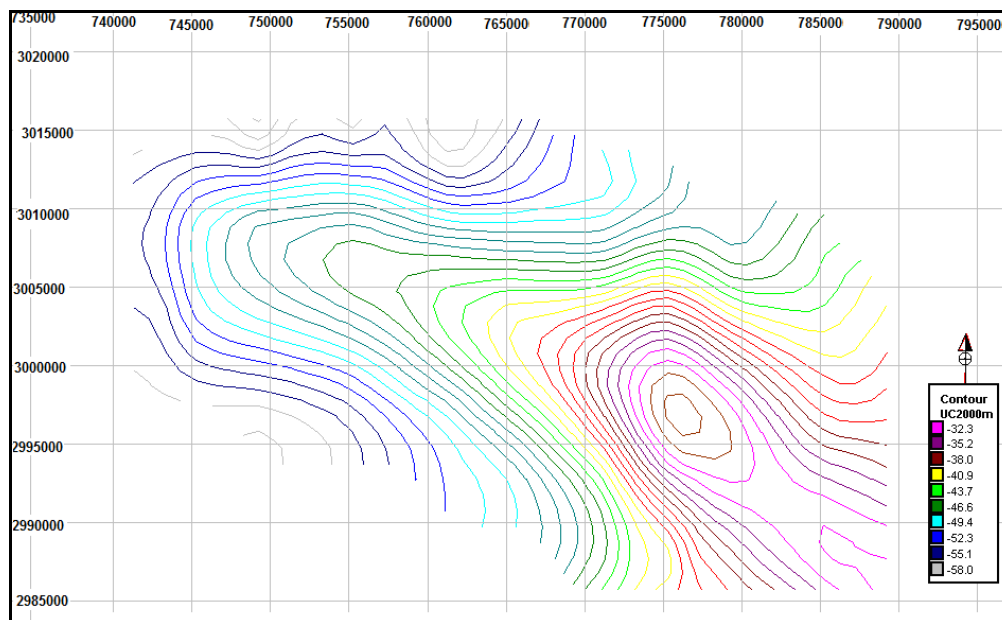
شکل (الف-۱۵) نقشه آنومالی گسترش یافته به بالا منطقه دهنو با ارتفاع گسترش ۱۲۵۰ متر [اصلاح شده از ۱۱]



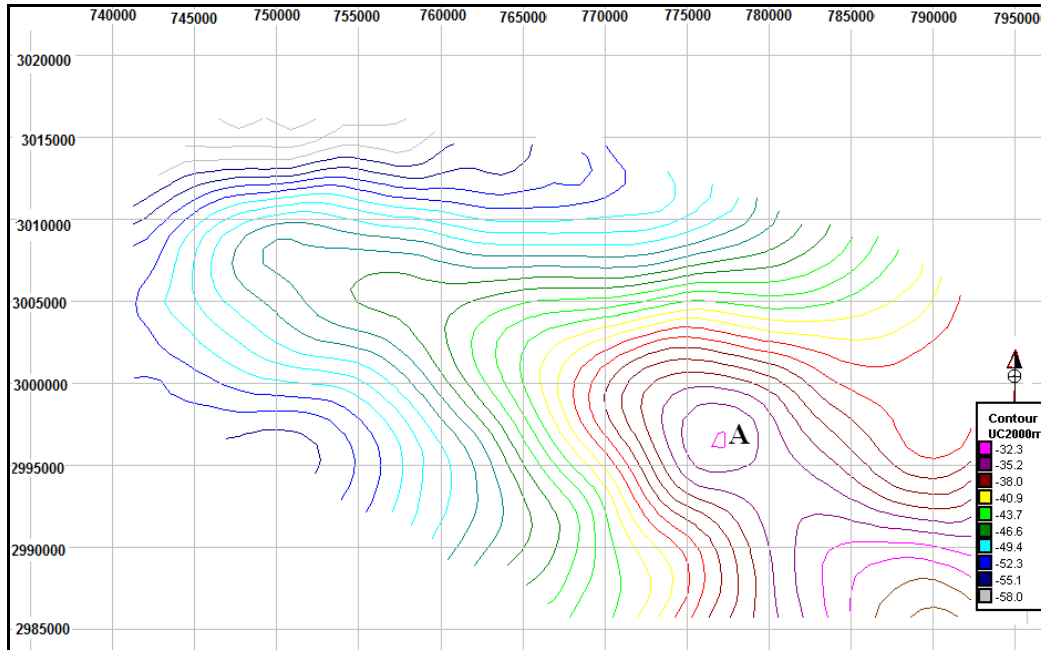
شکل (الف-۱۶) نقشه آنومالی گسترش یافته به بالا منطقه دهنو با ارتفاع گسترش ۱۵۰۰ متر [اصلاح شده از ۱۱]



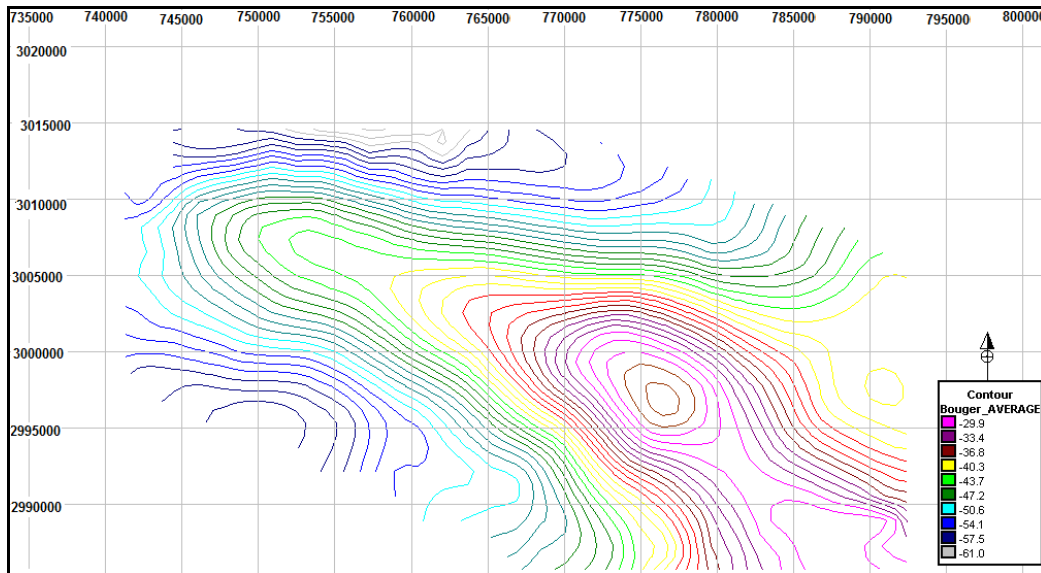
شکل (الف-۱۷) نقشه آنومالی گسترش یافته به بالا منطقه دهنو با ارتفاع گسترش ۱۷۵۰ متر [اصلاح شده از ۱۱]



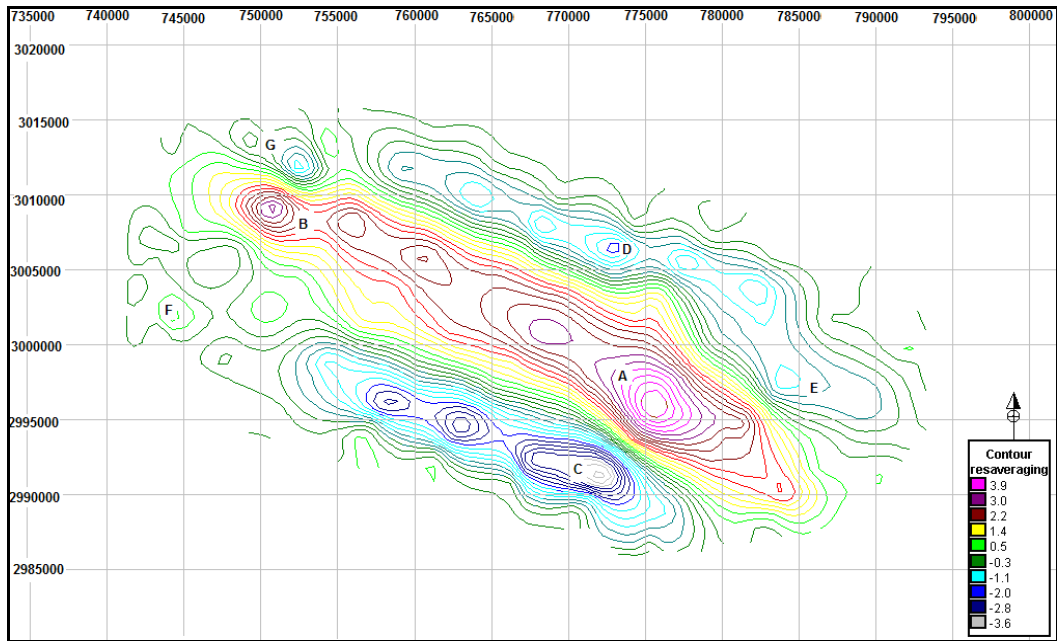
شکل (الف-۱۸) نقشه آنومالی گسترش یافته به بالا منطقه دهنو با ارتفاع گسترش ۲۰۰۰ متر [اصلاح شده از ۱۱]



شکل (الف-۱۹) نقشه آنومالی گسترش یافته به بالا منطقه دهنو با ارتفاع گسترش ۳۰۰۰ متر



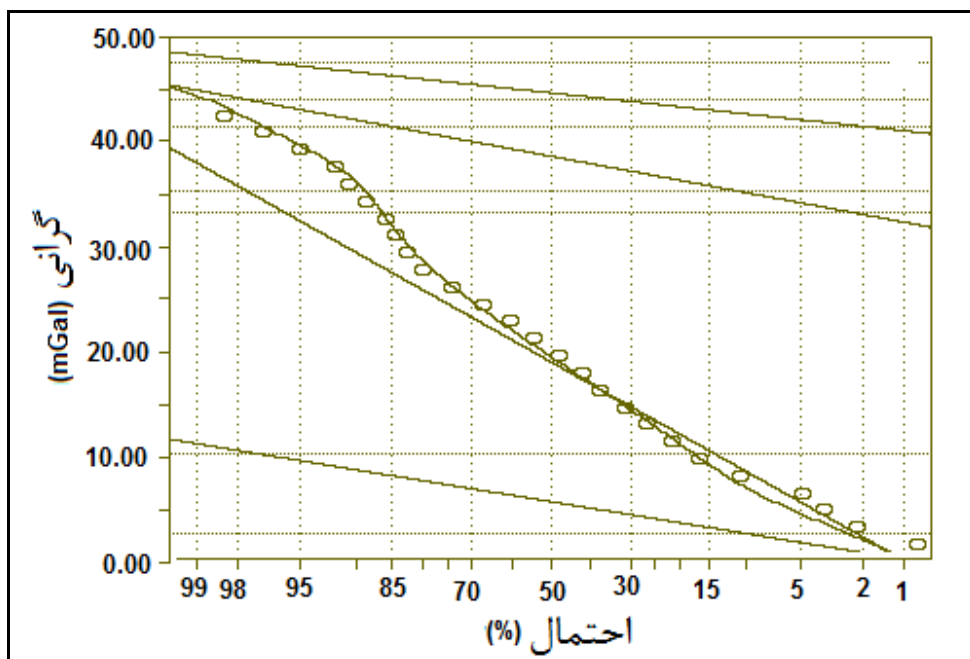
شکل (الف-۲۰) نقشه آنومالی ناحیه‌ای گرانی منطقه دهنو به روش گریفین [اصلاح شده از ۱۱]



شکل (الف-۲۱) نقشه آنومالی باقی مانده گرانی منطقه دهنو به روش گریفین [اصلاح شده از ۱۱]

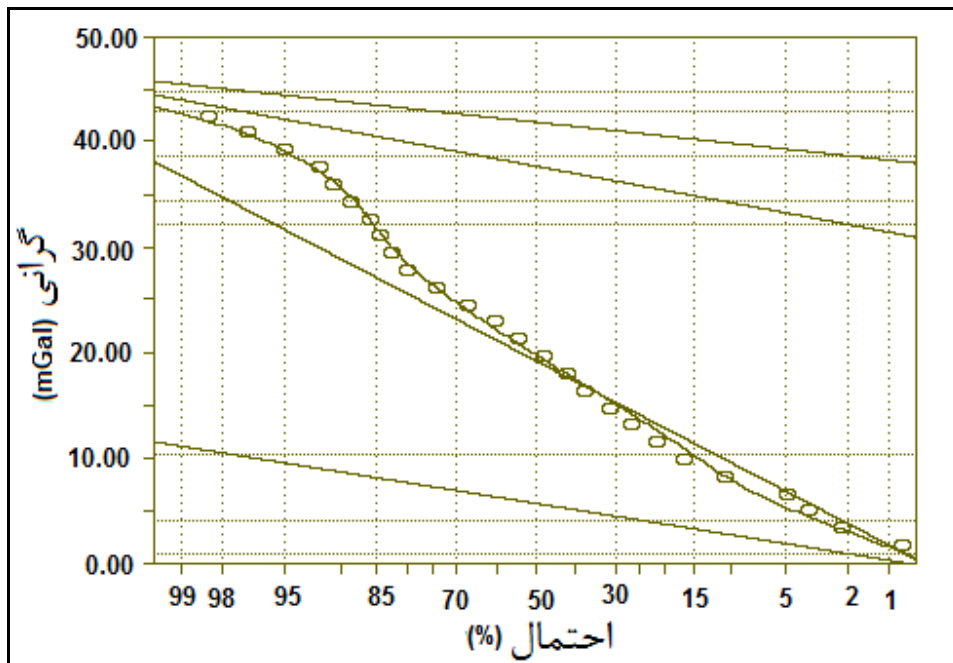
پیوست ب:

مدل سازی نمودارهای احتمال



شکل (ب-1) مدل برازش شده بر نمودار احتمال داده های گرانی سنجی تاقدیس دهنو به روش کای اسکویئر

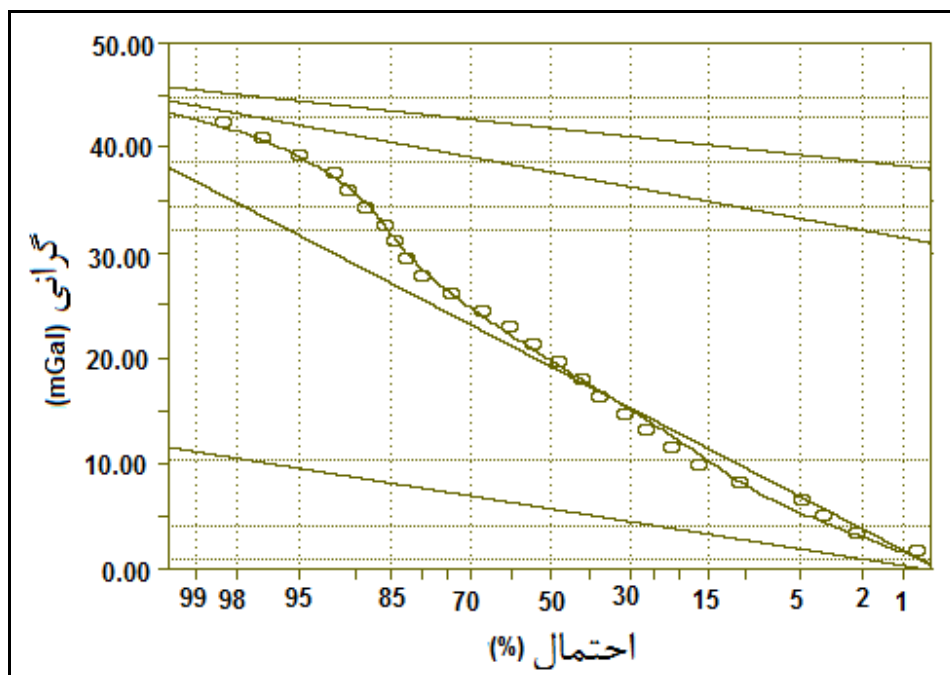
نتیجه مدل سازی بر اساس روش کای اسکویئر، چهار جامعه را برای داده ها معرفی نموده است که در کرانه پایین، بین مدل انطباق داده شده و داده های خام مقداری انحراف دیده می شود.



شکل (ب-۲) مدل برازش شده بر نمودار احتمال داده های گرانی سنجی تاقدیس دهنو بر اساس فاصله بین دسته‌ها

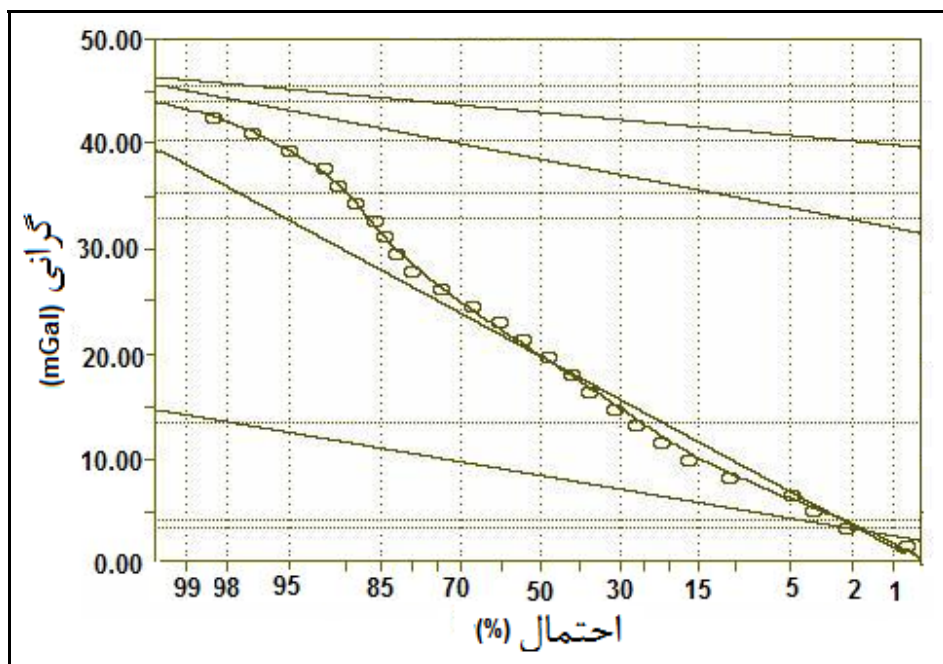
نتیجه مدل سازی بر اساس فاصله بین دسته‌ها، چهار جامعه را برای داده ها معرفی نموده است و در دو طرف مرز احتمال ۱۵٪ مقدار جزئی انحراف میان مدل و داده های خام را نمایش می‌دهد.





شکل (ب-۳) مدل برازش شده بر نمودار احتمال داده های گرانی سنجی تاقدیس دهنو بر اساس تابع بهترین برازش که در نرم افزار تعریف شده است.

نتیجه مدل سازی بر اساس تابع بهترین برازش که در نرم افزار تعریف شده است، چهار جامعه را برای داده ها معرفی نموده است و در این روش نیز مشابه روش فاصله بین دسته ها در دو طرف مرز احتمال ۱۵٪ مقدار جزئی انحراف میان مدل و داده های خام وجود دارد.



شکل (۴-ب) مدل برازش شده بر نمودار احتمال داده های گرانی سنجی تاقدیس دهنو به روش تابع بهترین برازش بر اساس داده های خام

نتیجه مدل سازی بر اساس روش تابع بهترین برازش بر اساس داده های خام ، چهار جامعه را برای داده ها معرفی نموده است. در این روش انحرافات موجود در دو روشی که بر اساس فاصله بین دسته ها و روشی که بر اساس تابع بهترین برازش که در نرم افزار تعریف شده است عمل می نماید، برطرف گردیده و همچنین انحراف موجود در کرانه پایین داده ها با مدلی که در روش کای اسکویئر بیان گردید، ملاحظه نمی گردد.

پیوست ج:

آزمون‌های آماری

## ج-۱- آزمون‌های آماری

در مباحث آماری حالات متعددی پیش می‌آید که در آن نیاز به تحقیق در صدق فرض انجام شده می‌باشد. این امر از طریق به کارگیری روش آزمون فرض‌ها انجام می‌پذیرد. روش حل این مسائل استفاده از برهان خلف است به طوری که در این گونه مسائل به جای اثبات و قبول یک فرض به دنبال رد خلاف آن هستیم. به این گونه فرض‌ها که اگر خلاف آن‌ها رد شود می‌توان آن‌ها را پذیرفت، فرض صفر یا تهی<sup>۱</sup> گفته می‌شود و در آمار با نماد ( $H_0$ ) نشان داده می‌شوند. در مقابل فرض صفر فرض دیگری به نام فرض یک یا فرض مخالف<sup>۲</sup> وجود دارد که با نماد ( $H_1$ ) نشان داده می‌شود. در صورت رد ( $H_0$ )، فرض ( $H_1$ ) پذیرفته می‌شود. بنابراین فرض‌های صفر و یک مخالف یکدیگرند و از نظر احتمالات دو رخداد متمم را تشکیل می‌دهند. معمولاً فرض یک، فرضی است که آزمون آن مورد نظر ماست. در مبحث آزمون فرض‌ها لازم است احتمال صحت آزمون در نظر گرفته شود.

از آنجا که در هر آزمونی احتمال خطا وجود دارد، لازم است نتیجه هر آزمون با احتمال صحت آن بیان شود. اگر فرض صفر صحیح را به اشتباه رد کنیم مرتکب خطای نوع اول شده‌ایم. رد کردن فرض صفر صحیح به معنای رد نکردن فرض یک غلط است. همچنین اگر فرض صفر غلط را به صورت اشتباه رد نکنیم، مرتکب خطای نوع دوم شده‌ایم.

رد نکردن فرض صفر غلط به معنی رد کردن فرض یک صحیح است. بنابراین در آزمون فرض‌ها می‌توان حداکثر احتمال ارتکاب خطای نوع اول را به عنوان معیاری از عدم اطمینان به آزمون مورد نظر در نظر گرفت. به این مقدار احتمال سطح معنی‌دار بودن<sup>۳</sup> گفته می‌شود.

---

1 - Null hypothesis

2 - alternative hypothesis

3 - Significant Level

اعتبار یک آزمون فرض تابع احتمال صحت رد یا عدم رد فرض صفر است. به عنوان مثال وقتی آزمونی در سطح ۹۵ درصد اطمینان انجام می‌شود، بدان معنی است که از هر ۱۰۰ بار آزمون مورد نظر ۹۵ بار پیش‌بینی درست و فقط ۵ بار پیش‌بینی نادرست انجام خواهیم داد، یعنی ۵ درصد احتمال دارد فرض صفر صحیح را رد کنیم و مرتکب خطا شویم. به حداکثر خطای نوع اول سطح معنی‌دار بودن آزمون گفته می‌شود و با حرف  $(\alpha)$  نشان داده می‌شود. در یک آزمون بسته به تناسب دقت مورد نیاز، در مورد سطح معنی‌دار بودن قضاوت تصمیم‌گیری می‌شود. برای محاسبه سطح معنی‌دار بودن یک آزمون از قضیه حد مرکزی استفاده می‌شود.

سطح معنی‌دار بودن برابر است با احتمال رد فرض صفر صحیح که همان حداکثر خطای نوع اول است. این موارد بدان معنی نیست که خطای نوع دوم اهمیتی ندارد، بلکه هر دو خطا مهم بوده و بایستی به حداقل ممکن برسند ولی تعیین فرض صحیح یک و محاسبه احتمال رد آن در اکثر موارد امکان‌پذیر نیست.

## ج-۲- توزیع تی-ستیودنت [۷]

در صورتی که کمیت مورد نظر در جامعه کل دارای توزیع نرمال باشد و جامعه نمونه برداشت شده از آن به اندازه کافی بزرگ باشد می‌توان جامعه نمونه را بر اساس روابط و آزمون‌های توزیع نرمال بررسی کرد. اگر تعداد نمونه برداشت شده از جامعه کل کم باشد ( $n < 30$ ) روابط حاکم بر آن با روابط حاکم بر توزیع نرمال متفاوت است. در این‌گونه موارد که با جوامع کوچک آماری سروکار داریم لازم است از توزیعی به نام توزیع تی-ستیودنت یا توزیع  $t$  استفاده کنیم. اگر جامعه متغیر  $(X)$  توزیع نرمال با میانگین  $(\mu)$

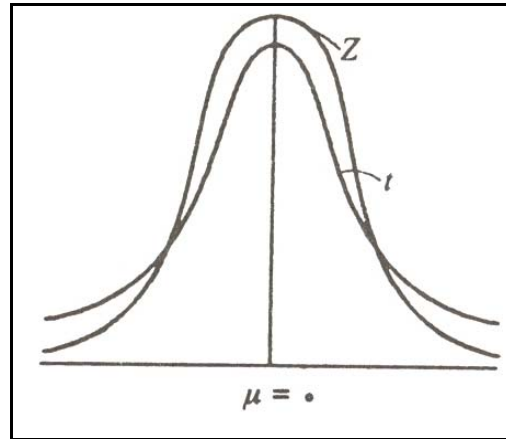
داشته باشد و از آن تمام سری نمونه‌های ( $n$ ) تایی ممکن برداشت شود و میانگین آن‌ها ( $\bar{x}$ ) باشد در این صورت خواهیم داشت:

$$t = \frac{\bar{X} - \mu}{S / \sqrt{n}} \quad (\text{ج-۱})$$

مقدار  $t$  دارای توزیع تی-ستودنت است. توزیع  $t$  برای مقادیر مختلف درجه آزادی متفاوت است. تابع توزیع احتمال  $t$  به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$y = y_0 \left(1 + \frac{t^2}{\gamma}\right)^{-\frac{(\gamma+1)}{2}} \quad (\text{ج-۲})$$

که در آن ( $\gamma$ ) درجه آزادی، ( $y_0$ ) مقدار ثابتی است که به ( $\gamma$ ) بستگی دارد و به نحوی انتخاب می‌شود که سطح کل زیر منحنی احتمال برابر واحد باشد. احتمال وقوع مقادیر مختلف برای توزیع  $t$  (متغیر توزیع  $t$ ) نیز مانند توزیع نرمال محاسبه شده و به صورت جدول (ج-۱) در دسترس می‌باشد. هر چه درجه آزادی بیشتر باشد توزیع  $t$  به نرمال نزدیک‌تر می‌شود به طوری که برای درجه آزادی ۱۲۰ دو توزیع مشابه می‌شوند. منحنی توزیع  $t$  متقارن است و در قسمت‌های مرکزی توزیع پایین‌تر از منحنی نرمال و در دو کرانه توزیع بالاتر از توزیع نرمال قرار می‌گیرد (شکل ج-۱). با افزایش درجه آزادی این دو منحنی به هم نزدیک می‌شوند.



شکل (ج-۱) مقایسه منحنی توزیع فراوانی ستیودنت-t با توزیع نرمال [۷]

### ج-۳- مقایسه میانگین دو جامعه نمونه

فرض کنید دو جامعه با میانگین‌های  $\mu_1$  و  $\mu_2$  داشته باشیم و از هر کدام از آن‌ها یک جامعه نمونه برداشت کرده باشیم. جامعه نمونه برداشت شده از جامعه  $\mu_1$  دارای میانگین  $\bar{X}_1$ ، انحراف معیار  $s_1$  و تعداد نمونه  $n_1$  می‌باشد و جامعه نمونه برداشت شده از جامعه  $\mu_2$  دارای میانگین  $\bar{X}_2$ ، انحراف معیار  $s_2$  و تعداد نمونه  $n_2$  می‌باشد. هدف مقایسه میانگین‌های دو جامعه نمونه است تا مشخص شود اختلاف پارامتری این دو جامعه در سطح معنی‌دار است یا خیر؟

بنابراین فرض صفر در این آزمون عبارت است از:  $H_0: \bar{x}_1 - \bar{x}_2 = 0$ . لازم به یادآوری است که در این آزمون فرض بر این است که دو جامعه کل نرمال بوده و پراش آن‌ها برابر باشد. حال متغیر زیر را که دارای توزیع تی-ستیودنت با درجه آزادی  $(n_1 + n_2 - 2)$  می‌باشد تعریف می‌کنیم:

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{s_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}}$$

فرض صفر به طور معمول می‌گویند اختلافی بین میانگین دو جامعه کل یعنی  $\mu_1$  و  $\mu_2$  وجود ندارد و

لذا معمولاً ( $\mu_1 - \mu_2 = 0$ ) است بنابراین رابطه فوق به صورت زیر در می‌آید:

$$t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{s_{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}}$$

مخرج کسر فوق انحراف معیار تفاوت میانگین‌ها می‌باشد. می‌توان اثبات نمود که این مقدار برابر است

با  $(\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}})$  که در این رابطه  $s_1$  و  $s_2$  انحراف معیار در دو جامعه نمونه ۱ و ۲ و  $n_1$  و  $n_2$  تعداد

نمونه‌های آن‌ها است.

لازم به یادآوری است که پراش متوسط دو جامعه ( $s_p^2$ ) از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$s_p^2 = \frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{(n_1 - 1) + (n_2 - 1)}$$

که در آن  $s_1^2$  و  $s_2^2$  پراش‌های دو جامعه نمونه ۱ و ۲ و تعداد نمونه‌های موجود در آن‌ها است. بنابراین

می‌توان رابطه زیر را برای تعیین مقدار  $t$  به کار برد:

$$t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{s_p \sqrt{\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}}}$$



جدول (ج-۱) مقادیر توزیع ستیودنت-t

درجه آزادی	سطح معنی دار آزمون دوطرفه								
	0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.05	0.02	0.01	0.001
1	1	1.376	1.963	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	636.619
2	0.816	1.061	1.386	1.886	2.92	4.303	6.965	9.925	31.598
3	0.765	0.978	1.25	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	12.941
4	0.741	0.941	1.19	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	8.61
5	0.727	0.92	1.156	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	6.859
6	0.718	0.906	1.134	1.44	1.943	2.447	3.143	3.707	5.959
7	0.711	0.896	1.119	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499	5.405
8	0.706	0.889	1.108	1.397	1.86	2.306	2.896	3.355	5.041
9	0.703	0.883	1.1	1.383	1.833	2.262	2.821	3.25	4.781
10	0.7	0.879	1.093	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.587
11	0.697	0.876	1.088	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.437
12	0.695	0.873	1.083	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	4.318
13	0.694	0.87	1.079	1.35	1.771	2.16	2.65	3.012	4.221
14	0.692	0.868	1.076	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	4.14
15	0.691	0.866	1.074	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	4.073
16	0.69	0.865	1.071	1.337	1.746	2.12	2.583	2.921	4.015
17	0.689	0.863	1.069	1.333	1.74	2.11	2.567	2.898	3.965
18	0.688	0.862	1.067	1.33	1.734	2.101	2.552	2.878	3.922
19	0.688	0.861	1.066	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.883
20	0.687	0.86	1.064	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.85
21	0.686	0.859	1.063	1.323	1.721	2.08	2.518	2.831	3.819
22	0.686	0.858	1.061	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.792
23	0.685	0.858	1.06	1.319	1.714	2.069	2.5	2.807	3.767
24	0.685	0.857	1.059	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.745
25	0.684	0.856	1.058	1.316	1.708	2.06	2.485	2.787	3.725
26	0.684	0.856	1.058	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.707
27	0.684	0.855	1.057	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.69
28	0.683	0.855	1.056	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.674
29	0.683	0.854	1.055	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.659
30	0.683	0.854	1.055	1.31	1.697	2.042	2.457	2.75	3.646
40	0.681	0.851	1.05	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.551
60	0.679	0.848	1.046	1.296	1.671	2	2.39	2.66	3.46
120	0.677	0.845	1.041	1.289	1.658	1.98	2.358	2.617	3.373
∞	0.674	0.842	1.036	1.282	1.645	1.96	2.326	2.576	3.291
df	0.25	0.2	0.15	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0005
	سطح معنی دار آزمون یک طرفه								

## **Abstract**

Gravity method is one of the geophysical methods that can be applied in oil reservoirs preliminary exploration, identification the geological features, subsurface structures and depth of the sedimentary basins. Separating the gravity data to the residual and regional components gives useful information about the main geological structures in the interested area under investigation, the geological and tectonic events occurred in the sediment basin and hydrocarbon potential of the region. Studying the methods that analyze the exploration data and their variations and give more reliable information about the geological structures is an essential task.

In this study, the Dehno gravity data located at southwest Iran, are interpreted and modeled to better identify the Dehno anticline and its subsurface extension. The common anomaly separation methods including trend surface analysis, filtering and analytical methods are carried out using Modelvision Pro and WingLink softwares. The residual maps plotted from these methods show two positive anomalies A and B and negative anomalies C, D and E and anomaly F that can be related to the surrounding outcrops. After identifying the structures of the area and determining the geological sources of the anomalies, two and three dimensional (2D and 3D) modeling are carried out on the residual anomaly map associated with the order 3 of the trend surface method in order to determine the geometry and the physical properties of the geological structures. The results of 3D modeling determine the type of the structures, a low depth for positive anomalies A1, A2 and B and high depths for negative anomalies D1, D2 and D3; describing an increase in depth of the sedimentary basin to northwest parts. Anomaly A1 with a depth about 1406 m and dimensions 7515×14008 meters, anomaly A2 with a depth about 1073 m and dimensions 6199×11860 meters and finally anomaly B with 1235 m depth and dimensions 9612×1150 meters were detected based on the 3D modeling results.

The gravity data of the study area was also separated by applying modeling of the probability plot of gravity data for the first time that is based on the data variations analysis on the modeled probability graphs. The boundaries of the residual and regional effects were completely separated according to the different variation slopes. The boundary of the mixed regional and residual effects was finally identified. The optimum residual anomaly map resulted from the modeling of the probability plots has separated the Dehno anticline (A anomaly) from the adjacent anomalies with more details.

T- Student test was used for comparison of the anomalous areas detected by trend surface and the modeling of the probability graph which has shown a high correlation between the residual maps obtained by this two methods in identification the Dehno anticline and oil trap structures in this study area.

**Keywords:** Gravity, Modeling, Probability plot, Anomaly, Trend surface, Modelvision Pro .WingLink



**Shahrood University of Technology**

**Faculty of mining, petroleum and geophysics engineering**

**The comparison of gravity anomalies in Dehno area  
modeled by probability plot method and common  
anomaly separation methods in order to identify the  
anticlinal structures (as oil trap)**

**Somayeh Tabasi**

**Supervisors:**

**Dr Reza Ghavami-Riabi**

**Dr Faramarz Doulati Ardejani**

June 2010