



تعیین مرز بیهنجاریهای میدان پتانسیل با استفاده از عملگر مشتق تعمیم یافته ( مطالعه موردی: معدن دهملا - شاهرود )

لفركم به

**بدر عزیزم** که خاطرش بامن است

مادم که به من صبرواشقامت، بادداد...

9

هر جند که قابل تقدیم نیست.

هر ذره ز حاك كيتبادي و حمى است

. شادی بطلب که حاصل عمر دمی است

خوابی و خپایی و فریبی و دمی است

خيام

احوال جهان و اصل این عمر که ہست

تقديرونسكر: شایسة است از زحات کلیه کسانی که در به ثمر رساندن این مجموعه مرایاری نمودن تشکر نایم . از اساد را بهای پایان نامه، آقای دکتر علی نجاتی کلاته و همچنین اساتید مشاور دکتر حمید آقاجانی و دکتر امین روشدل کاهو که در طول دوره کارشاسی ارشد یاری رسان من بوده اند، سپسکزارم . بهچنین از کلیه معلان و اسانیدی که از دستان پاکنون دلسوزانه به من علم و دانش آموختند، تشکر می کنم . برخودلازم می دانم تشکّری ویژه از دوستان عرنیزم؟ آقای وحید جعفرزاده، آقای فرزاد غلامیان، آقای ابراہیم مسرِکایی که در علیات صحرابي برداشت داده به، پردازش و تفسیر بود هم فکری در این اثر مرایاری رساندند، صمیانه سپاسکزاری نمایم .

ناصرفارس-شهربور ۹۴

# تعهد نامه

اینجانب ناصر فارسی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته ژئوفیزیک دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه شاهرود نویسنده پایان نامه کارشناسی ارشد تحت عنوان: تعیین مرز بیهنجاریهای میدان پتانسیل با استفاده از عملگر مشتق تعمیم یافته تحت راهنمائی دکتر علی نجاتیکلاته متعهد می شوم.

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

تاريخ

#### 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 شاهرود می باشد. این مطلب
   باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
  - استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیدہ

تصاویر بدست آمده از برداشت دادههای گرانی زمین، به منظور کشف منابع معدنی، حفرهها و ذخایر هیدروکربنی و… مورد استفاده قرار میگیرند. در این تصاویر، تعیین مرز و لبههای دادههای گرانی که ناشی از اختلاف چگالی در آن نقاط است، از اهمیت بالایی برخوردار میباشد. حضور نوفه و آلیاسینگ فرآیند تفسیر این تصاویر به دست آمده را با مشکل مواجه میکند؛ به همین منظور، باید با بکارگیری فیلترهای مختلف تاثیر عوامل مزاحمی نظیر منابع ایجاد کننده نوفه و تاثیرات عمق، شیب چشمه و همچنین همپوشانی چشمهها که مانع از تفسیر صحیح میشوند؛ تقلیل داده و یا تصحیح شوند. برای تعیین مرز بیهنجاریهای میدان پتانسیل از فیلترهای متفاوتی استفاده میشود، که هیچ یک از آنها

در این تحقیق به منظور شناسایی مرز چشمههای بیهنجار، مانند فضاهای خالی زیرزمینی، که ناشی از اختلاف گرانی در آن نقاط است، فیلتر عملگر مشتق تعمیم یافته معرفی می شود. نتایج حاصل از اعمال این فیلتر بر روی دادههای گرانی با نتایج به دست آمده از فیلترهای دیگر مانند سیگنال تحلیلی، مشتق افقی کل، نقشه تتا و ... مقایسه می گردد.

برای این منظور ابتدا کدها و توابع مورد نیاز با استفاده از نرم افزار MATLAB تهیه و سپس این فیلترها بر روی مدلهای مصنوعی اعمال میشوند؛ تا قابلیت هر کدام از این فیلترها در شناسایی مرز چشمههای بیهنجار مشخص گردد. با اعمال این فیلترها بر روی دادههای گرانی حاصل از مدلهای مصنوعی مشاهده میشود که فیلتر عملگر مشتق تعمیم یافته نتایج خوبی در مقایسه با دیگر فیلترها ارائه میدهد. با توجه به این نکته که کارایی فیلترها در مواجه با دادههای گرانی واقعی متفاوت است، به همین منظور اقدام به انجام عملیات گرانیسنجی بر روی تونل معدن آموزشی دهملا- شاهرود می-شود. لازم به ذکر است در این تحقیق، فضاهای خالی همان ابعاد و محدوده تونل معدن آموزشی دهملا- شاهرود می میباشد؛ که میتواند به عنوان یک مدل واقعی استوانهای شکل زیرزمینی مورد مطالعه قرار گیرد. پس آموزشی دهملا-شاهرود مشاهده می شود، که فیلتر عملگر مشتق تعمیم یافته، بعضی تاثیرات فیلترهای سیگنال تحلیلی، مشتق افقی کل، نقشه تتا و ... را تعمیم می دهد. حساسیت جهتی قابل کنترل و همچنین پایداری بالایی در برابر نوفه ها و پاسخ مناسب به منابع عمیق

از ویژگیهای این فیلتر است؛ که آن را نسبت به فیلترهای دیگر متمایز مینماید. از جمله نقاط ضعف این فیلتر عدم تعیین دقیق لبهها و مرزهای منبع بیهنجاری نسبت به فیلتر مشتق افقی کل میباشد. **کلمات کلیدی:** گرانیسنجی، فیلتر مشتق تعمیم یافته، آشکارسازی لبه، آنومالی گرانی، تونل معدن آموزشی دهملا-شاهرود

# فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: كليات	١
۱–۱ مقدمه	٢
۱-۲ تعریف مسئله	٢
۱–۳ سوابق مطالعات انجام شده	٣
۱–۴ اهداف انجام پایاننامه	۵
۱-۵ روش انجام پایاننامه	۵
۱-۶ ساختار پایاننامه	۶
فصل دوم: مبانی کاوشهای گرانیسنجی	٧
۲–۱: مقدمه	٨
۲-۲: روش گرانیسنجی	٩
۲–۲: پتانسیل گرانشی	۱.
۲-۴: محاسبه اثر گرانی یک توده سه بعدی به روش مستقیم	) )
۲–۵: دستگاه اندازه گیری گرانی–گرانیسنج	١۴
فصل سوم: روشهای شناسایی مرز چشمههای بیهنجار	١٧
۲-۱: مقدمه	۱۸
۳-۲ : تبدیل فوریه	١٩

۳– ۳: تبدیل هیلبرت	22
۳-۴: فیلترهای مشتق	22
۳-۴-۲: فیلتر مشتق قائم	۲۳
۳–۴–۲: فیلتر مشتق افقی کل	74
۳-۵: سیگنال تحلیلی	۲۵
۳–۶: فیلترهای فاز محلی	78
۳–۶–۱: فیلتر زاویه تمایل	78
۳–۶–۲: فیلتر مشتق افقی کل زاویه تمایل	۲۷
۳-۶-۳: نقشه تتا	۲۸
۳-۲: عملگر مشتق تعمیم یافته	۳١

41	فصل چهارم :  مقایسه نتایج اعمال فیلترهای شناسایی مرز چشمههای بیهنجار بر روی مدل-
	های مصنوعی
47	۱–۴ مقدمه
47	۲-۲ مدل مصنوعی دو چهاروجهی قائم
44	۴ –۳ مدل مصنوعی دایک شیب دار با شیب ۳۰ درجه
41	۴-۴ مدل مصنوعی دو مکعب مستطیل افقی عمود بر هم
49	فصل پنجم : برداشت و تصحیح دادههای گرانی محدوده تونل معدن آموزشی دهملا-شاهرود
۵۰	۵–۱ مقدمه
۵۰	۵-۲ موقعیت جغرافیایی و وضعیت زمین شناسی منطقه
54	۵-۳ برداشت دادههای گرانی منطقه مورد مطالعه (معدن آموزشی دهملا)
۵۵	۵-۴ تهیه مختصات ایستگاهها و نقشه توپوگرافی منطقه
۵۷	۵-۵ کالیبره کردن دستگاه گرانیسنج
۵۸	۵–۶ قرائت ایستگاهها
۵۸	۵–۷ تصحیح دادهها
۶١	۵–۷–۱ تصحیح رانه دستگاه
۶۳	۵-۷-۲ شتاب گرانی ناشی از بیضوی مرجع (گرانی نرمال)
۶۵	۵-۷-۳ تصحیح عرض جغرافیایی
<del>99</del>	۵-۷-۴ تصحیح ارتفاعی (هوای آزاد و بوگه)
۶٩	۵-۷-۵ تصحیح توپوگرافی
٧۴	۵-۷-۶ نقشه آنومالی بوگه
۷۷	فصل ششم: پردازش و تفسیر دادههای گرانی منطقه مورد مطالعه تونل دهملا
٧٨	۱-۶ مقدمه
۷۸	۶-۶ روند سطحی
٨٠	۶-۳ روش گسترش میدان گرانی به سمت بالا
٨٢	۶-۴ اعمال فیلترهای شناسایی مرز بیهنجار بر روی دادههای گرانی تونل دهملا
٨٧	فصل هفتم: نتیجه گیری و پیشنهادات
٨٨	۲-۷ تترجه گرد. م
10	
<b>N</b> 7	۲ – ۱ پیشنهادات

صفحه	عنوان
٩٠	فهرست منابع فارسى
۹١	فهرست منابع انگلیسی
٩۵	پيوستھا
٩۵	الف : محاسبه جاذبه قائم ناشی از یک منشور مستطیلی
٩۶	ب : افزودن نویز به دادهها
٩٧	ج : محاسبه فیلترهای فاز محلی و عملگر مشتق تعمیم یافته (زاویه تمایل، مشتق افقی کل زاویه تمایل،
	نقشه تتا، عملگر مشتق تعمیم یافته)
٩٩	د: نمایش نتایج به صورت تصویر
١٠٠	ه : محاسبه مشتق قائم مرتبه n ام
۱۰۱	و: محاسبه سیگنال تحلیلی دو بعدی

# فهرست شكلها

صفحه	عنوان
۷	فصل دوم: میانی کاوش های گرانی سنجی
۱۳	شکل ۲-۱: یک شکل دلخواه با توزیع چگالی p و نقطه دلخواه مشاهده شده در نقطهی p
14	شکل ۲-۲: برآورد یک توده سه بعدی با مجموعهای از منشورهای چهار وجهی.
18	شکل ۲-۳: دستگاه گرانیسنج CG5
١٧	فصل سوم: روشهای شناسایی مرز چشمههای بیهنجار
۲۹	شکل ۳-۱: بیهنجاری گرانی (mGal)، محاسبه شده بر روی یک بلوک در عمق ۴ تا ۶ کیلومتر
۳۰	شکل ۳-۲: مشتق افقی کل (mGal/Km)، مشتق عمودی مرتبه اول (mGal/Km)، دامنه سیگنال
	تحلیلی (mGal/Km) و زاویه تمایل (rad) و نقشه تتا محاسبه شده بر روی بلوکی در عمق۴ تا ۶
	كيلومتر.
۳۱	شکل ۳-۳: نمایش زوایا $ heta$ و $\phi$ ، بین راستای اعمال فیلترعملگر مشتق تعمیم یافته با محور y و صفحه
	افقی Xy
٣٢	شکل ۳-۴: دامنه سیگنال تحلیلی( $ A_{ m s} $ )، مشتق مرتبه اول میدان پتانسیل در جهت X ( $rac{\partial f}{\partial x}$ )، عملگر مشتق
	تعمیم یافته با $arphi=0$ ( $A_x$ ) بر روی بلوکی در عمق ۴ کیلومتری با اختلاف چگالی ۱ گرم بر سانتی متر
	مکعب و طول ۱۰ کیلومتر.
٣٣	شکل ۳-۵: دامنه سیگنال تحلیلی $ A_{\mathbf{s}} $ )، مشتق قائم مرتبه اول ( $rac{\partial \mathbf{f}}{\partial z}$ )، عملگر مشتق تعمیم یافته با
	بر روی بلوکی در عمق ۴ کیلومتری با اختلاف چگالی ۱ گرم بر سانتی متر مکعب و ( $A_z) \phi = 90$
	طول ۱۰ کیلومتر .
٣۴	شکل ۳-۶ : آنومالیگرانی، مشتق قائم مرتبه اول، مشتق افقی، دامنه سیگنال تحلیلی بر روی دو بلوک در
	عمقهای ۲ و ۷ کیلومتر با ضخامت ۵ کیلومتر و عرض ۱۰ کیلومتر با اختلاف چگالی ۱ گرم بر سانتی متر
	مكعب.
۳۵	شکل ۳ -۲: آنومالی گرانی، مشتق قائم مرتبه اول، مشتق مرتبه اول گرانی در راستای x، دامنه سیگنال
	تحلیلی، عملگر $\mathrm{A}_{\mathrm{Z}}$ و $\mathrm{A}_{\mathrm{Z}}$ محاسبه شده بر روی دو بلوک در عمقهای ۲ و ۷ کیلومتر با ضخامت ۵
	کیلومتر و عرض ۱۰ کیلومتر با اختلاف چگالی ۱ گرم بر سانتی متر مکعب. عد
36	شکل ۳–۸: بی هنجاری گرانی، دامنه سیگنال تحلیلی( $ A_{s} $ )، مشتق قائم مرتبه اول ( $rac{\partial l}{\partial z}$ )، مشتق افقی
	$arphi=0$ مرتبه اول ( $rac{\partial t}{\partial x}$ )، عملگر مشتق تعمیم یافته با ( $arphi=9$ ( $A_z$ ) و عملگر مشتق تعمیم یافته با
	۱۰ بر روی دایک عمودی در عمق ۱۰ متری با اختلاف چگالی ۱ گرم بر سانتی متر مکعب و طول ( $A_{\chi})$
	متر.

با اختلاف چگالی ۱ گرم بر سانتی متر مکعب.

شکل ۴-۴: نتایج اعمال فیلترهای شناسایی مرزهای بیهنجار برروی دادههای گرانی یک دایک شمالی-  
جنوبی با شیب ۳۰ درجه به سمت شمال. (الف) بیهنجاری گرانی، (ب) سیگنال تحلیلی، (پ) زاویه تمایل،  
(ت) مشتق افقی کل، (ث) مشتق افقی کل زاویه تمایل، (ج) مشتق قائم مرتبه اول، (چ) عملگر مشتق  
تعمیم یافته با زوایای 
$$0^{\circ} = \theta \ e^{0} = 0$$
، (ح) عملگر مشتق تعمیم یافته با زوایای  $0^{\circ} = \theta \ e^{0} = 0$ ، (خ) عملگر مشتق تعمیم یافته با زوایای  $0^{\circ} = \theta \ e^{0}$ ، (خ) عملگر مشتق تعمیم یافته با زوایای  $0^{\circ} = \theta \ e^{0}$ ، (خ) عملگر مشتق تعمیم یافته با زوایای  $0^{\circ} = \theta \ e^{0}$ ، (د) عملگر مشتق تعمیم یافته با زوایای  $0^{\circ} = \theta \ e^{0}$ ، (خ) عملگر مشتق تعمیم یافته با زوایای  $0^{\circ} = \theta \ e^{0}$ ، (خ) عملگر مشتق تعمیم یافته با زوایای  $0^{\circ} = \theta \ e^{0}$ ، (د) عملگر مشتق تعمیم یافته با زوایای  $0^{\circ} = \theta \ e^{0}$ ، (خ) عملگر مشتق تعمیم یافته با زوایای  $0^{\circ} = \theta \ e^{0}$ ، (خ) عملگر مشتق تعمیم یافته با زوایای  $0^{\circ} = \theta \ e^{0}$ 

شکل ۴–۵: نتایج اعمال فیلترهای شناسایی مرزهای بیهنجار برروی دادههای گرانی مدل تونل ساده شده.   
(الف) بیهنجاری گرانی، (ب) سیگنال تحلیلی، (پ) مشتق قائم مرتبه اول، (ت) مشتق افقی کل، (ث)  
نقشه تتا، (ج) زاویه تمایل، (چ) عملگر مشتق تعمیم یافته با زوایای 
$$^{\circ}\Theta = \Theta$$
 و  $^{\circ}\Theta = 0$ ، (ح) عملگر  
مشتق تعمیم با زوایای  $^{\circ}0 = \Theta$  و  $^{\circ}\Theta = 0$ ، (خ) عملگر مشتق تعمیم یافته  $^{\circ}\Theta = 90$ 

صفحه	عنوان
۵۲	شکل ۵-۴: توالی لایههای ماسهسنگ، شیل و زغالسنگ منطقه مورد مطالعه – دید به سمت شرق محدوده
۵۳	شکل ۵-۵: نمایی از رگه زغالسنگ در انتهای تونل دنباله لایه (تونل فرعی معدن آموزشی دهملا)
۵۴	شکل ۵-۶: نمایی از دویلهای حفاری شده در سطح محدوده تونل آموزشی دهملا-دید به سمت جنوب
۵۴	شکل ۵-۷: نقشه موقعیت تونلهای معدنی دهملا، دویلها، ترانشهها، لایههای زغال و توپوگرافی محدوده
۵۶	شکل ۵-۸: نقشه توپوگرافی محدوده برداشت و ایستگاههای اندازه گیری و محدوده تونل اصلی و فرعی منطقه مورد مطالعه ( تونل معدن آموزشی دهملا )
۵۶	شکل ۵-۹: نقشه توپوگرافی زون نزدیک منطقه مورد مطالعه( تونل معدن آموزشی دهملا )
۵۷	شکل ۵–۱۰: قرائت ایستگاههای گرانی در منطقه برداشت
۵۸	شکل۵–۱۱: نقشه موقعیت خطوط برداشت، محل دویلها و ایستگاه مبنای گرانی منطقه مورد مطالعه
۶.	شکل ۵–۱۲: فلوچارت تصحیح مقادیر گرانی مشاهدهای در ایستگاه اندازهگیری
87	شکل ۵-۱۳: روش تصحیح اثر رانه دستگاه
۶۵	شکل ۵-۱۴: بیضوی مرجع و ژئوئید
<del>9</del> 9	شکل ۵–۱۵ الف: شتاب گریز از مرکز و تغییرات شتاب جاذبه با عرضجغرافیایی
	ب: شتاب نیروی گریز از مرکز و شتاب گرانشی و برآیند آنها g
۶۸ د م	شکل ۵–۱۶: تصحیح هوای ازاد هکار ۵ ۷۸ تنابیب گرد هریتان میلید از مطلبتنامان را در از ت
γ1 V•	شکل۵–۱۷: تحته بو که، J نقطه ی مشاهده ی و ۱۱ ریفاع از سطح دریاست شکل۵–۱۸: اثر میدان جاذبه تعدیمگراف اطراف یک ایستگاه بدم مقدل گرانی اندانهگیرم بشده
·	الف: اثر کوه ب: اثر دره
۷۱	شکل ۵–۱۹ الف: شکل هندسی برای زون نزدیک ب: برای زون دور (دید از بالا)
۲۲	شکل ۵-۲۰: گرانی حاصل از یک مکعب مستطیل
٣٧	شکل ۵-۲۱ : نقشه توپوگرافی زون نزدیک در محدوده مورد مطالعه
٧٣	شکل ۵-۲۲: نقشه توپوگرافی زون دور در محدوده مورد مطالعه
٧۴	شکل ۵-۲۳: نقشه بیهنجاری بوگه کامل- محدوده معدن دهملا
۷۷	فصل ششم: پردازش و تفسیر دادههای گرانی منطقه مورد مطالعه تونل دهملا
٧٩	شکل ۶-۱: نقشه بیهنجاری باقیمانده درجه ۲ دادههای گرانی منطقه مورد مطالعه
٧٩	شکل ۶-۲: نقشه بیهنجاری باقیمانده درجه ۳ دادههای گرانی منطقه مورد مطالعه

شکل ۶-۳ : نقشه فیلتر ادامه فراسو منطقه مورد مطالعه در ارتفاعهای ۴ الی ۱۴ متری با فاصله ۲ متر. ۸۱

71	شکل ۶-۴: نتایج اعمال فیلترهای شناسایی مرزهای بیهنجار برروی دادههای گرانی تونل معدنی دهملا. (الف) بیهنجاری گرانی، (ب) سیگنال تحلیلی،(پ) مشتق افقی کل.
٨٣	شکل ۶-۵: نتایج اعمال فیلترهای شناسایی مرزهای بیهنجار برروی دادههای گرانی تونل معدنی دهملا. (الف) زاویه تمایل، (ب) نقشه تتا، (پ) عملگر مشتق تعمیم یافته با زوایای <sup>°</sup> 9 = θ و <sup>°</sup> 0 = φ.
۸۴	شکل ۶-۶: نتایج اعمال فیلترهای شناسایی مرزهای بیهنجار برروی دادههای گرانی تونل معدنی دهملا. (الف) عملگر مشتق تعمیم با زوایای $^{\circ} =  heta  { m e}  { m e} = 0$ ، (ب) عملگر مشتق تعمیم یافته با زاویه $=  m { m e}  .$

90°

# فهرست جداول

فصل دوم: مبانی کاوشهای گرانیسنجی ۷	
۱: مشخصات دستگاه گرانی سنج CG5	جدول۲-
فصل پنجم: برداشت و تصحیح دادههای تونل معدن آموزشی دهملا- شاهرود ۴۹	
<ul><li>-۱: بخشی از دادههای برداشت شده</li></ul>	جدول ۵-
-۲: بخشی از عملیات تصحیح دادهها در محیط اکسل	جدول ۵-

٨,

صفحه

صفحه

### <u>عنوان</u>

<u>عنوان</u>

# فصل اول



١

#### ۱–۱ مقدمه

با توجه به این نکته که صرفاً با به کارگیری اطلاعات زمینشناسی نمیتوان ذخایر هیدروکربنی و یا معدنی را جستجو کرد. بنابراین از روشهای مکمل دیگری باید بهره برد. روشهای ژئوفیزیکی از جمله روشهایی میباشند که در اکتشاف ذخایر مذکور کارایی دارند. هدف اصلی بررسیهای ژئوفیزیکی تعیین محل ساختارهای زمینشناسی و در صورت امکان اندازه گیری ابعاد و ویژگیهای فیزیکی آنهاست. کاوشهای گرانیسنجی<sup>۱</sup> شاخهای از روشهای ژئوفیزیک کاربردی (اکتشافی) میباشد؛ که جهت اکتشافات مقدماتی و بررسی وضعیت ساختمانهای زیرسطحی، وسعت و ضخامت ساختارها مورد و تفسیر تشکیل شدهاند؛ که یکی از مهم ترین مراحل، تفسیر نتایج بهدست آمده است. از جمله روشهای مورد استفاده در تفسیر، میتوان به مدلسازی و به کارگیری فیلترهای مختلف جهت رسیدن به یک تفسیر مناسب اشاره کرد.

#### ۲-۱ تعریف مسئله

با توجه به:

- مسائل و مشکلات اکتشاف ذخایر مواد معدنی و هیدروکربنی و سفرههای زیر زمینی
  - محدودیتهای حاکم بر هر یک از روشهای اکتشاف
    - تصمیم گیری در مورد بهینه بودن فرآیند استخراج

اطلاع از محدوده چشمه ایجادکننده بیهنجاری و تفسیر تصاویر میدان پتانسیل امری ضروری است. همچنین با توجه به پیچیدگی و وقت گیر بودن مدلسازی دادههای میدان پتانسیل، ارائه روشی که

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Gravity

بتواند به سادگی و با صرف زمان کم، مرز چشمههای بیهنجار را مشخص کند؛ لازم و ضروری به نظر میرسد. یکی از این روشها، استفاده از فیلترهای تعیین لبه میباشد؛ فیلترهایی که در مقایسه با دیگر فیلترها

کارایی بیشتری داشته و در برابر نوفه، عمق و شیب چشمه بیهنجاری و… پایدار باشند.

#### 1-۳ سوابق مطالعات انجام شده

برای تفسیر خودکار دادههای میدان پتانسیل روشهای مختلفی وجود دارد که با ورود رایانهها به این عرصه ارائه شدهاند. در اوایل دهه هفتاد موجی از مقالات در ارتباط با تفسیر رایانهای خودکار<sup>۱</sup> دادههای دو بعدی میدان پتانسیل نوشته شد. در تمامی این روشها محدودیتهایی مانند نوع چشمه (منشور قائم، دایک و ...) وجود داشت. به همین خاطر نبیقیان در سال ۱۹۷۲ سیگنال تحلیلی دو بعدی را معرفی نمود [Nabighian, 1984]. سپس در سال ۱۹۸۴با توسعه روابط موجود سیگنال تحلیلی سه بعدی را ارائه کرد[Nabighian, 1984]. در سالهای اخیر این روش توسعه بیشتری یافته است و افراد زیادی در این زمینه تحقیقات متعددی ارائه نمودهاند؛ که از جمله میتوان به احمد سالم و ژانک لی اشاره کرد [Salem, 2005; Li, 2006]. تمامی این افراد از سیگنال تحلیلی برای شناسایی مرزهای چشمههای بیهنجار میدان استفاده کردند.

روش متداول دیگری که برای شناسایی مرزهای بیهنجاری استفاده میشود؛ مشتق افقی کل نام دارد که در سال ۱۹۷۹ توسط کردل برای دادههای گرانی معرفی شد [Cordell, 1979]. این روش در سال ۱۹۸۵ توسط کردل و گراچ برای دادههای مغناطیسی نیز به کار برده شد , Cordell and Grauch] [1985. وانگ وانین و همکاران در سال ۲۰۰۹ با استفاده از مشتق عمودی و نرمال سازی آن این روش را بهبود بخشیدند [Wanyin et al, 2009]. اندازه گیری فاز محلی میدان پتانسیل نیز میتواند کمک

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Automatic interpretation

موثری برای تفسیر آنها باشد. تا کنون فیلترهای متعددی بر اساس فاز محلی معرفی شده است. فیلتر زاویه تیلت که اولین بار توسط میلر معرفی شد [Miller and singh, 1994]. وردوزکو و همکاران از گرادیان افقی کل و فیلتر زاویه تمایل به منظور آشکار سازی لبهها استفاده کردند (Verduzco et al] [2004. ییلکینگتون و کیتینگ در سال ۲۰۰۴ با مقایسه فیلترهای گوناگون فاز محلی به منظور تشخیص لبهها، روشن ساختند؛ که هیچ کدام از این فیلترها را نمی توان به تنهایی در حکم یک مشخص کننده لبه، که همه ی پارامترهای مطلوب ناپیوستگی و لبهها را مشخص می کند؛ به کاربرد [Pilkington and] [Keating, 2004]. فيلتر تتا كه به صورت، نسبت بين اندازه گراديان افقي به اندازه سيگنال تحليلي داده های میدان یتانسیل تعریف می شود؛ توسط وینز و همکاران ارائه شد [Wijns et al, 2005]. فیلتر زاویه تیلت هذلولی و مشتق قائم دوم زاویه تیلت که فیلترهای هستند که از فیلتر فاز محلی مشتق شدهاند و توسط کوپر در سال ۲۰۰۶ معرفی شدند [cooper, 2006]. فیلترهای اشاره شده در بالا هر یک نقاط ضعف و قوتی دارند. برای مثال فیلتر زاویه تیلت به علت داشتن تغییرات در بالای تودههای معدنی و همچنین بدون بعد بودن آن کاربرد دارد و نتایج آن را به راحتی میتوان با نتایج فیلترهای مشتق قائم و مشتق افقی نیز مقایسه کرد و تفسیر آن نسبت به فیلتر سیگنال تحلیلی (گرادیان کل) آسان تر است ؛ اما یکی از معایب آن کارایی نداشتن در هنگام مواجه شدن با منابع عمیق است.

کوپر و کوان در سال ۲۰۱۱ به منظور رفع این مشکل نتایج حاصل از بکارگیری فیلترهای فاز محلی و فیلتر اثر سایه خورشید<sup>۱</sup> را با هم مقایسه نموده و فیلتری تحت عنوان فیلتر عملگر مشتق تعمیم یافته<sup>۲</sup> را ارائه کردند و بیان نمودند، فیلتر عملگر مشتق تعمیم یافته نسبت به سایر فیلترها، دارای حساسیت جهتی قابل کنترل است و به عمق قرارگیری چشمه بیهنجار حساسیت کمتری نسبت به سایر فیلترهای اشاره شده دارد.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> sun shading

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Generalized Derivative Operator: GDO

#### ۱-۴ اهداف انجام پایاننامه

مدلسازی دادههای میدان پتانسیل به دلیل وقت گیر بودن و پیچیدگی آنها کمتر به طور خاص جهت شناسایی مرز بیهنجاریها مورد استفاده قرار می گیرند و بیشتر برای تعیین شکل و عمق این چشمهها به کار میروند. با توجه به این موضوع ارائه روشی که بتواند به سادگی و با صرف زمان کم، مرز چشمههای بیهنجار را مشخص کند؛ لازم و ضروری به نظر میرسد. بنابراین با توجه به اینکه تاکنون در مقالات مختلف روشهای متعددی برای شناسایی این مرزها معرفی شده است؛ هدف اصلی این تحقیق تعیین مرز بیهنجاریهای میدان پتانسیل با استفاده از عملگر مشتق تعمیم یافته میباشد. تا بتوان عملکرد و

#### ۱-۵ روش انجام پایاننامه

با توجه به هدف این تحقیق، در ابتدا کدهای مربوط به فیلتر عملگر مشتق تعمیم یافته در برنامه MATLAB نوشته میشوند. به منظور مقایسه عملکرد این فیلتر در مقایسه با سایر فیلترها، چهار مدل مصنوعی برای شناسایی مرزهای چشمههای مجاور، کم عمق، عمیق و مرزهای عمودی و مایل طراحی و بیهنجاریهای گرانی ناشی از این چشمههای مجاور، کم عمق، عمیق و مرزهای عمودی و مایل طراحی به دست آوردن بیهنجاریهای گرانی مدلهای مصنوعی به صورت یک ماتریس، فیلتر مشتق تعمیم یا نه دست آوردن بیهنجاریهای گرانی محله بر روی یک سطح برداشت مسطح محاسبه شد. پس از یا دست آوردن بیهنجاریهای گرانی مدلهای مصنوعی به صورت یک ماتریس، فیلتر مشتق تعمیم یافته و همچنین فیلترهای مختلف توسط توابعی که در نرم افزار MATLAB نوشته شدهاند، بر روی این ماتریس اعمال میشوند. سپس پس از اعمال این فیلترها بر روی دادههای مصنوعی و بررسی نتایج به دست آمده این فیلترها بر روی دادههای گرانی تونل معدن آموزشی دهملا (متعلق به دانشگاه شاهرود) که راستا و موقعیت آن مشخص است؛ اعمال میشوند تا ضمن مقایسه با دیگر فیلترها، نقاط ضعف و قوت فیلتر عملی می وت فیلترها معدن مقایسه با دیگر فیلترها، نقاط ضعف و قرت فیلتر ها فیلتر عملی می و برسی نتایج به دست آمده این فیلترها بر روی دادههای گرانی تونل معدن آموزشی دهملا (متعلق به دانشگاه شاهرود) می راستا و موقعیت آن مشخص است؛ اعمال میشوند تا ضمن مقایسه با دیگر فیلترها، نقاط ضعف و قوت فیلتر عملگر مشتق تعمیم یافته در تعیین موقعیت تونل مشخص گردد.

## ۱-۶ ساختار پایاننامه

این پایاننامه شامل هفت فصل است که فصل اول کلیاتی در خصوص ضرورت، هدف و چگونگی انجام این مطالعه و همچنین سابقهای در زمینه تاریخچه شناسایی مرزهای چشمههای بی هنجاری اشاره شده است. در فصل دوم در مورد مبانی کاوشهای گرانی سنجی و محاسبه اثر گرانی یک توده سه بعدی و معرفی دستگاه گرانی سنج بحث شده است. در فصل سوم نیز روشهای شناسایی مرزهای چشمههای بی هنجار شامل فیلترهای فاز محلی و فیلتر عملگر مشتق تعمیم یافته معرفی شدهاند. فصل چهارم به بررسی اعمال این فیلترهای فاز محلی و فیلتر عملگر مشتق تعمیم یافته معرفی شدهاند. فصل چهارم به گرانی منطقه مورد مطالعه (تونل معدن آموزشی دهملا – شاهرود) پرداخته شده است. فصل ششم نیز مختص به اعمال فیلترهای معرفی شده، بر روی دادههای گرانی منطقه مورد مطالعهی تونل معدن دهملا می باشد.

در انتها نیز در فصل هفتم نتایج به دست آمده و پیشنهادات ارائه شدهاند.

فصل دوم

# مبانی کاوشهای گرانیسنجی

#### ۲-۱ مقدمه

هدف از اکتشافات ژئوفیزیکی کشف پدیدههای زمینشناسی (تله نفتی، توده معدنی و…) با روشهای غيرمستقيم است. امواج لرزماي، گراني، مغناطيس و ميدان الكتريكي درون زمين اساس اكتشافات ژئوفیزیکی مدرن هستند. از میان روشهای ژئوفیزیکی گرانی و مغناطیس به عنوان ابزاری برای اکتشافات مقدماتی ذخایر نفتی مورد استفاده قرار می گیرند. در این دو روش کوشش بر این است که تعییرات اندک ناشی از نامنظمیهای چگالی و یا خودپذیری مغناطیسی سنگهای داخل زمین، در یک میدان نیروی نسبتاً بزرگ اندازه گیری شوند. گرانیسنجی، اندازه گیری و مطالعه میدان گرانی زمین است. در ژئوفیزیک اکتشافی بررسی و مطالعه بیهنجاریهای گرانی (بوگه) از دیرباز برای اکتشاف نفت و معدن مورد استفاده قرار گرفته است. مبنای مطالعات گرانی در اکتشاف، ناهمگونی محلی چگالی کانیها و سنگها است. تباین چگالی بین هدف مورد نظر و سنگ میزبان به اضافه حجم آن بازتابی به صورت تغییر میدان گرانی خواهد داشت؛ که معمولاً مقدار زیادی نیست[ابراهیمزاده اردستانی, ۱۳۹۰]. در یک مطالعه محلی میدان گرانی به جز تغییرات چگالی، عوامل دیگری مانند توپوگرافی، ارتفاع، موقعیت جغرافیایی و غیره نیز روی میدان گرانی اثر می گذارند؛ که در بیشتر موارد مقادیر وابسته به آنها از مقادیر مربوط به تغییرات چگالی بیشتر است. به همین دلیل دادههای خام قبل از تفسیر باید برای عوامل گفتهشده تصحیح شوند. میدان گرانی حاصل (پس از تصحیحات) که مرتبط با تغییرات چگالی است، بی هنجاری بوگه نامیده می شود [ابراهیمزاده اردستانی, ۱۳۹۰].

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Susceptibility

### ۲-۲ روش گرانیسنجی

هر جسم مادی روی زمین تحت تاثیر دو نیروی جاذبه گرانشی و گریز از مرکز زمین قرار دارد؛ که برآیند این دو نیرو را شتاب گرانی می گویند. مقدار شتاب گرانی با زمان و مکان تغییر می کند. به طور کلی وابسته به شکل و توزیع جرم داخل زمین و همچنین جاذبه اجرام سماوی دیگر به ویژه ماه و خورشید است. همانطور که می دانیم گرانی سنجی یکی از روش های ژئوفیزیکی کاربردی است؛ که برای اندازه گیری های شتاب گرانی به کار می رود. با توجه به اینکه تغییرات شتاب گرانی پوسته زمین، در اثر توزیع غیر یکنواخت سنگ ها و مواد معدنی با چگالی متفاوت، کشند زمین و ماه و سایر اجرام آسمانی و همچنین ناشی از حرکت دورانی زمین می باشد، بنابراین برای محاسبه گرانی ناشی از هدف اکتشافی می بایست از روی مقادیر اندازه گیری شده با انجام تصحیحات گرانی، تمام اثرات گرانی، به غیر از اثر گرانی ناشی از هدف اکتشافی را حذف نماییم تا اثر گرانی ناشی از هدف اکتشافی که همان آنومالی گرانی نامی از هدف اکتشافی را حذف نماییم تا اثر گرانی ناشی از هدف اکتشافی که همان آنومالی است. طبق این قانون وقتی دو جرم نقطه ای 1*m* و ی*m* در فام مستقیم و با مجذور فاصله یکردی نامیده می شود بهدست آید. اساس کار گرانی سنجها بر پایه قانون جاذبه عمومی نیوتن استوار است. طبق این قانون وقتی دو جرم نقطه ای 1*m* و ی*m* در فاصله ۲ از یکدیگر قرار دارند، نیرویی بر آنها رابطه عکس دارد [80] در می کنند که این نیرو با حاصل ضرب جرمهای دو جسم رابطه مستقیم و با مجذور فاصله آنها رابطه عکس دارد [80] دی (198].

$$\overline{F_N} = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$
 (۱-۲)  
در این رابطه G ضریب ثابت گرانش است و مقدار آن  $\frac{N.m^2}{Kg^2} r^{10-11} \times G = 6$ میباشد.  
طبق رابطه بالا با تغییرات چگالی در نوع سنگها، نیروی گرانشی و به دنبال آن شتاب جاذبه تغییر  
میکند؛ که از این تغییر میتوان اطلاعات سودمندی در کارهای اکتشافی بدست آورد.  
با توجه به قانون دوم نیوتن استنباط میشود که شتاب جاذبه جرم  $m_2$  که از طرف جرم  $m_1$  به آن  
وارد میشود با فرض اینکه  $m_1$  جرم زمین باشد، از رابطه زیر بدست می آید [Telford,1991].

$$g = \frac{F}{m_2} = G \frac{m_e}{R_e^2}$$
(Y-Y)

در رابطه بالا  $m_e$  جرم زمین و  $R_e$  شعاع زمین می باشد.

شتاب گرانی کمیت اصلی در گرانیسنجی است و در سیستم متریک واحد آن نیرو بر مجذور ثانیه است. در گرانیسنجی از واحد گال استفاده میشود. طبق تعریف یک گال برابر با یک سانتی متر بر مجذور ثانیه است. آنومالی شتاب گرانی که در مطالعات اکتشافی و زمین شناسی مشاهده می شود کوچکتر از گال است؛ بنابراین در عمل از واحدهای کوچکتر میلی گال یا میکروگال استفاده می شود [Telford,1991].

$$1 \text{ gal} = 1 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2} \tag{(7-7)}$$

گرانیسنجی به عنوان شاخهای قدیمی از علوم کلاسیک، برای مطالعه نظری و تجربی میدان جاذبه اطراف زمین است؛ که شامل ابداع روشهای اندازه گیری تغییرات شتاب گرانی به طور دقیق در زمان و مکان است.

# ۲-۳ پتانسیل گرانشی

میدانهای گرانشی، پایستهاند<sup>۱</sup>، به این معنی که کار انجام شده در حرکت دادن یک جرم در میدان گرانشی مستقل از راه پیموده شده است. فقط به نقاط ابتدا و انتهای مسیر بستگی دارد. در واقع چنانچه جرم در چنین میدانی به مکان اولیهی خود بازگردانده شود؛ مصرف انرژی کل، صرف نظر از راه پیموده، برابر صفر است. راه دیگر بیان این گفته است که گفته شود مجموع انرژی جنبشی<sup>۲</sup> و انرژی پتانسیل<sup>۳</sup>در داخل سیستم ثابت است.

بنابراین می توان شتاب جاذبه را به صورت گرادیان یک پتانسیل اسکالر نمایش داد [Telford,1991]: $g = \nabla U$ 

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Conservative

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Kinetic

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Potential

که در این رابطه U کار انجام داده شده توسط میدان بر روی یک ذره است و پتانسیل گرانشی نامیده میشود. بنابراین پتانسیل گرانشی از جرم M برابر است با [Telford,1991]: $U(r) = \frac{\gamma M}{R}$ 

# ۲-۴ محاسبه اثر گرانی یک توده سه بعدی به روش مستقیم

پتانسیل گرانشی U و جاذبهی گرانشی g در نقطه P مربوط به یک توده حجمی با چگالی ρ از رابطه زیر بهدست میآید:

- $U(P) = \gamma \oint_{R} \frac{\rho}{r} dv \qquad (\mathcal{P}-\mathcal{T})$
- $g(P) = \nabla U = -\gamma \oint_{R} \frac{\hat{r}}{r^{2}} dv \qquad (\forall -\Upsilon)$
- که در آن، r فاصله نقطه p از المان حجمیd v است. اما با توجه به اینکه گرانی سنجها مولفههای عمودی شتاب جاذبه را اندازه گیری می کنند، در دستگاه مختصات کارتزین خواهیم داشت [Blakely,1996]:

$$g(x, y, z) = \frac{\partial U}{\partial z} = -\gamma \int_{x'} \int_{y'} \int_{z'} \rho(x', y', z') \frac{(z-z')}{r^3} dx' dy' dz' \qquad (\lambda - \gamma)$$

$$r = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2 + (z - z')^2}$$
(9-7)

رابطه ۲-۸ را می توان به صورت کلی، به صورت زیر نوشت [Blakely,1996]:

که

$$g(x, y, z) = \frac{\partial U}{\partial z} = -\gamma \int_{x'} \int_{y'} \int_{z'} \rho(x', y', z') \Psi(x - x', y - y', z - z') dx' dy' dz'$$

$$(1 \cdot -7)$$

# $\Psi(x, y, z) = -\gamma \frac{z}{(x^2 + y^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}}$ (۱۱-۲)

روش مدلسازی مستقیم، نیاز به تکرار محاسبات g(x,y,z) با استفاده از رابطه ۲–۱۰ دارد؛ اما در عمل خیلی ساده نمی باشد. دشواری این روش در مدل کردن شرایط پیچیده زمین شناسی با اشکال هندسی ساده است تا بتوان انتگرال حجمی معادله ۲–۱۰ را توسط کامپیوتر محاسبه کرد. بنابراین باید منابع گرانشی فرضی را به N بخش سادهتر تقسیم کرد[Blakely,1996]:

$$g_m = \sum_{n=1}^N \rho_n \Psi_{mn} \tag{11-1}$$

که در آن،  $g_m$  شتاب جاذبه قائم در m امین نقطه برداشت؛  $\rho_n$  چگالی بخش n ام و  $\Psi_{mn}$  شتاب جاذبه ناشی از بخش n با چگالی واحد در نقطه m است. انتخاب مجموعه ای ناشی از منشورهای مستطیلی میتواند راه حل ساده ای برای تخمین حجم یک توده سه بعدی باشد. اگر منشورها به اندازه کافی کوچک میتواند راه حل ساده ای برای تخمین حجم یک توده سه بعدی باشد. اگر منشورها به اندازه کافی کوچک میتواند راه حل ساده ای برای تخمین حجم یک توده سه بعدی باشد. اگر منشورها به اندازه کافی کوچک میتواند راه حل ساده ای برای تخمین حجم یک توده سه بعدی باشد. اگر منشورها به اندازه کافی کوچک میتواند راه حل ساده ای برای تخمین حجم یک توده سه بعدی باشد. اگر منشورها به اندازه کافی کوچک میتواند راه حل ساده ای برای ترا ا ثابت فرض کرد. بنابراین آنومالی گرانی در هر نقطه مشاهده از محموع اثر تمام منشورها توسط رابطه ۲–۱۲ محاسبه میشود. شتاب جاذبه هر منشور مجزا نیز از انتگرال معادله ۲–۱۲ در محدوده منشور به دست میآید. به عنوان مثال یک منشور مستطیلی با چگالی ثابت  $\rho$  و ابعاد تعریف شده به صورت  $g_1 \times 1 = x + y_2$  میتوان مثال یک منشور مستطیلی با چگالی در مبدأ محاص به مورت می از باین مثال یک منشور میتوانی با چگالی در مبدأ محاص به مورت زیر است.

$$g = \gamma \rho \int_{z_1}^{z_2} \int_{y_1}^{y_2} \int_{x_1}^{x_2} \frac{z'}{[x'^2 + y'^2 + z'^2]^{\frac{3}{2}}} dx \, dy \, dz \tag{17-7}$$



شکل ۲-۱: یک شکل دلخواه با توزیع چگالی ho و نقطه دلخواه مشاهده شده در نقطهی p [Blakely,1996].

انتقال نقطه مشاهده به مبدأ مختصات باعث سادهتر شدن انتگرال می شود؛ اما پلوف<sup>(</sup> [Plouff, 1976] حاصل این انتگرال را به صورت زیر محاسبه کرد [Blakely,1996]:

$$\begin{split} R_{ijk} &= \left[ x_i^2 + y_j^2 + z_k^2 \right]^{\frac{1}{2}} \\ \mu_{ijk} &= (-1)^i (-1)^j (-1)^k \\ \eta_{ijk} &= (-1)^i (-1)^j (-1)^k \\ \eta_{mn} &= 0 \\ \eta_{mn$$

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Plouff



شکل ۲-۲: برآورد یک توده سه بعدی با مجموعهای از منشورهای چهار وجهی [Blakely,1996].

# ۲-۵ دستگاه اندازه گیری گرانی- گرانیسنج

گرانی سنجی در زمین شناسی نخستین بار توسط اتووش <sup>۱</sup> در سال ۱۸۹۶ به کار برده شد. در سال ۱۹۰۸ اتووش به امکان استفاده از داده اندازه گیری شده به وسیله ترازوی کششی<sup>۲</sup> برای مطالعه زمین شناسی بخش بالایی پوسته اشاره کرد. تجهیزات قدیمی برای اندازه گیری شتاب گرانی نظیر پاندول ها و یا ترازوهای کششی امروزه از نظر دقت و سرعت قابل استفاده نیستند. با پیشرفت فناوری، گرانی سنجهای سبک تر و دقیق تری در دهه های ۱۹۲۰ و ۱۹۳۰ برای اکتشاف مواد معدنی و زمین شناسی ساخته شد. اهداف زمین شناسی و معدنی و یا در واقع بی هنجاری های چگالی مورد مطالعه در روش گرانی سنجی، با استفاده از این ابزار دقیق حتی می توانند در ابعاد بسیار کوچک و در اعماق زیاد هم قابل مطالعه باشند [Telford,1991].

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Roland Von Eotvos

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Tersion Balance

#### دستگاه گرانیسنج CG5

یکی از دقیق ترین دستگاههای گرانی سنج، دستگاه گرانی سنج CG5 است. (شکل ۲-۳) که برای کاربردهای اکتشاف نفت و گاز، اکتشاف معدن، تهیه نقشههای زمین شناسی، مهندسی عمران، ژئوتکنیک، مطالعه گرانی منطقهای، نقشه ژئوئید و باستان شناسی مورد استفاده قرار می گیرد. از جمله مزایای این گرانی سنج می توان به موارد زیر اشاره کرد. دارای دقت استاندارد ۱ میکروگال با انحراف استاندارد کمتر از ۵ میکروگال – سادگی و سهولت بکارگیری گرانی سنج – قابلیت تکرار قرائت به تعداد دلخواه در هر ایستگاه برداشت – سنسور قوی و مقاوم – قابل حمل – دارای <sup>۱</sup> GPS – تصحیح اتوماتیک – حذف خودکار نویز – دریفت<sup>۲</sup> کم – اتصال و انتقال دادهها به کامپیوتر – نمایش و ثبت دادههای لازم.

- در هر ثانیه دستگاه یک بار شتاب جاذبه را محاسبه می کند؛ که ضمن میانگین گیری و محاسبه
   انحراف معیار، در صورت لزوم اندازه گیری هایی را حذف و در پایان، میانگین را مستقیما به
   میلی گال برروی صفحه نمایش نشان می دهد.
- دستگاه برروی پایه فلزی قرار می گیرد؛ به طوری که برای تراز کردن آن بر روی نمایشگر
   دستگاه علائمی وجود دارد که می توان با توجه به این علائم دستگاه را تراز نمود.
- درجه حرارت سنسورهای داخل دستگاه ثابت میباشد به طوری که میتوان مقدار این دما را بر روی نمایشگر دستگاه مشاهده کرد.
- رانه دستگاه قابل محاسبه بوده که توسط دستگاه محاسبه می شود و تصحیح آن بر روی داده
   های اندازه گیری شده اعمال می گردد.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Global Positioning System

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Drift

توضيحات	مشخصه
كوارتز فيوز شده با نولينگ الكترواستاتيكى	نوع سنسور
حدود ۱میکروگال و دامنه کاری: ۸۰۰۰ میلی گال بدون استراحت	دقت اندازه گیری
۰/۰۲ میلی گال در روز	میزان رانه دستگاه
جزر و مد، انحراف از افق دستگاه، درجه حرارت، رانه دستگاه، توپوگرافی	تصحيحات خودكار
نزدیک و فیلتر نویز لرزهای	
۴۰- تا ۴۵+ درجه سانتیگراد	محدوده دمایی قابل
	استفاده
۲۱ × ۲۲ × ۳۰ سانتی متر و وزن دستگاه: با باطری ۸ کیلوگرم	ابعاد دستگاه
2 × 6.6Ah(11.1V)rechargeable Lithium – Ion Smart Batteries	ظرفیت باطری
۴/۵ وات در ۲۵ درجه سانتی گراد و سطح مورد نیاز :۳مترمربع	توان دستگاه
۲۴۰-۱۱۰ ولت (AC) و قابلیت GPS همراه و حاوی کنترل از دور و	ولتاژ ورودی به دستگاه
قابلیت اتصال به حافظه	

جدول ۲-۱ مشخصات دستگاه گرانی سنج CG5 [صفری,۱۳۹۱]



شکل ۲-۳: دستگاه گرانیسنج CG5

بنابراین حوزه عمل گرانیسنجی از ابعاد بزرگ بیهنجاری (چند ۱۰۰ متر تا چند کیلومتر) که بیشتر در بررسیهای زمینشناسی و نفت بوده، تا ابعاد کوچک (چند ده متر) در مطالعات معدنی و ابعاد بسیار کوچک (چند متر) در کاربردهای زمینشناسی زیرسطحی، مهندسی عمران، اکتشاف آب زیرزمینی و باستانشناسی است.

فصل سوم

روشهای شناسایی مرز چشمههای بیهنجار

#### ۳–۱ مقدمه

تقویت لبهها در دادههای میدان پتانسیل میتواند به تفسیر دادههای زمینشناسی کمک شایانی کند. زمانی که از لبههای زمینشناسی نام برده میشود، عمدتاً به خطوط گسل و مرزهای زمینشناسی یا واحدهای سنگی با چگالی یا طبیعت مغناطیسی متفاوت اشاره می گردد. تا کنون روشهای متعددی برای افزایش توان تفکیک لبهها عرضه شده است؛ که اکثراً استفاده از فیلترهای بالاگذری است که اساس آنها بر مشتقات افقی و قائم میدان میباشد. این روشها بر اساس مکان نقاط ماکزیمم و یا صفر بدست آمده توسط مشتقات افقی یا عمودی و یا ترکیبات متفاوت از آنها میباشد.

از آنجا که حضور نوفه بر روی دادههای میدان پتانسیل میتواند بر فرآیند تفسیر تاثیر گذار باشد، در این فصل ضمن معرفی و مقایسه عملکرد چند نمونه فیلتر، فیلتری معرفی میشود که علاوه بر اینکه نسبت به فیلترهای اشاره شده در این فصل، توانایی نسبی خوبی در آشکارسازی لبهها و مرزها دارد؛ در برابر نوفه نیز پایداری خوبی داشته و حساسیت جهتی آن در راستایی که فیلتر را اعمال میشود؛ قابل کنترل است. اما به هر حال تفاوتی بین مرز لبههای بهدست آمده ولبههای واقعی وجود دارد؛ که این تفاوت با شکل مرز، عمق، اندازه و دیگر فاکتورهای توده زمین شناسی تغییر میکند. لازم به ذکر است پیلکینتون و کیتینگ در سال ۲۰۰۴ با مقایسه فیلترهای گوناگون فاز محلی به منظور تشخیص لبهها، روشن ساختند که هیچ کدام از این فیلترها را نمیتوان به تنهایی در حکم یک مشخص کننده لبه که Pilkington and Keating, ایرد ایر می کند، به کار برد [, 2004]

#### ۳-۲ تبدیل فوریه

یک تابع متناوب را می توان معادل با یک سری نامتناهی از جملات سینوسی وزندار در نظر گرفت. برای مثال اگر تابع f(x) تابعی با دوره تناوب L باشد، می توان آن را به صورت زیر نمایش داد [Blakely,1996].

$$f(x) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} F_n e^{ik_n x} \tag{1-7}$$

که  $k_n = \frac{2\pi n}{L}$ و  $i = \sqrt{-1}$  و  $k_n = \frac{2\pi n}{L}$  میباشد. در این سری ضرایب وزنی  $F_n$  توسط انتگرال زیر محاسبه میشود [Blakely,1996]:

$$F_n = \frac{1}{L} \int_{x_0}^{x_0 + L} f(x) e^{-ik_n x} dx$$
 (Y-Y)

اکنون فرض کنید که f(x) در یک قسمت معین از محور x ها تکرار نشود. در عوض میخواهیم که f(x) در حد قابل قبول، دارای رفتار خوب و تغییرات آن به یک قسمت با طول معین از محور x ها f(x) محدود باشد. به عبارت دیگر میخواهیم که:

$$\int_{-\infty}^{\infty} |f(x)| \, dx < \infty \tag{(7-7)}$$

باشد. از آنجا که آنومالیهای گرانی و مغناطیسی شامل تعداد محدودی نقطه برداشت هستند، این شرط در مورد آنها صادق میباشد. بنابراین با فرض اینکه x به سمت بینهایت میل می کند در رابطه ((-7)) در مورد آنها صادق میباشد. بنابراین با فرض اینکه x به سمت بینهایت میل می کند در رابطه (-7) در مورد آنها صادق میباشد. بنابراین با فرض اینکه x به سمت بینهایت میل می کند در رابطه (-7) در مورد آنها صادق میباشد. بنابراین با فرض اینکه x به سمت بینهایت میل می کند در رابطه (-7) در مورد آنها صادق میباشد. بنابراین با فرض اینکه x به سمت بینهایت میل می کند در رابطه (-7) در مورد آنها صادق میباشد. مورد آنها صادق میباشد. بنابراین با فرض اینکه x به سمت بینهایت میل می کند در رابطه (-7) در مورد آنها صادق میباشد. بنابراین با فرض اینکه -7 به سمت بینهایت میل می کند در رابطه (-7) در مورد آنها صادق میباشد. بنابراین با فرض اینکه -7 به سمت بینهایت میل می کند در رابطه (-7) در مورد آنها صادق میباشد. بنابراین با فرض اینکه -7 به سمت بینهایت میل می کند در رابطه (-7) در مورد آنها صادق میباشد. بنابراین با فرض اینکه (-7) به سمت بینهایت میل می کند در رابطه (-7) در مورد آنها صادق میباشد. بنابراین با فرض اینکه (-7) به سمت بینهایت میل می کند در رابطه (-7) در مورد آنها صادق (-7) در مورد (-7) در (-7) در مورد (-7) در مورد (-7) در (-7) در مورد (-7) د

$$F(k) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)e^{-ikx} dx$$
 (۴-۳)  
و تبدیل فوریه معکوس آن نیز به صورت زیر بیان می گردد:  
 $f(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(k)e^{ikx} dk$  (۵-۳)

متغیر k در رابطه (۳–۵) عدد موج نامیده می شود و مشابه با فرکانس زاویه ای در تبدیل فوریه در حوزه زمان است. عدد موج دارای واحد عکس فاصله می باشد و با طول موج رابطه معکوس دارد که به صورت
$$k = \frac{2\pi}{\lambda}$$
 بیان می گردد.  
صورت کلی تبدیل فوریه  $F(k)$  یک تابع مختلط با بخش های حقیقی و موهومی است که آن را می توان

به صورت زیر نمایش داد[Blakely,1996]:

$$\begin{split} F(k) = |F(k)|e^{i\theta(k)} \\ |F(k)| &= \left[(\text{ReF}(k))^2 + (\text{ImF}(k))^2\right]^{\frac{1}{2}} \\ (8-7) \\ \theta(k) &= \arctan\frac{\text{ImF}(k)}{\text{ReF}(k)} \\ \theta(k) &= \arctan\frac{\text{ImF}(k)}{\text{ReF}(k)} \\ \text{relevance on the stress of the st$$

$$\begin{split} F(k_x, k_y) &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) e^{-i(k_x x + k_y y)} \, dx dy \\ f(x, y) &= 1/4\pi^2 \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F(k_x, k_y) e^{i(k_x x + k_y y)} \, dk_x dk_y \qquad (Y-T) \end{split}$$
که  $x$  و  $y$  هستند.
$$\begin{aligned} &\sum_{x \to 0}^{2\pi} e^{2\pi} = 2\pi \end{aligned}$$

$$k_x = \frac{2\pi}{\lambda_x}$$
,  $k_y = \frac{2\pi}{\lambda_y}$ 

اما در عمل ما با دادههای نمونهبرداری شده مواجه هستیم که توابعی ناپیوسته هستند. تبدیل فوریه این توابع، تبدیل فوریه گسسته نامیده میشود. اگر N تعداد نقاط نمونه برداری شده از تابع f(x) با فواصل مساوی Δx باشد و مقدار f(x) را در خارج از این N نمونه صفر در نظر بگیریم، میتوان N را نامتناهی فرض کرد. در این حالت رابطه تبدیل فوریه گسسته (F<sub>D</sub>(K با تبدیل فوریه (F(K به صورت زیر میباشد [Blakely,1996]:

$$F_D(k) = \frac{1}{\Delta x} \sum_{j=-\infty}^{\infty} F(k - \frac{2\pi j}{\Delta x}) \tag{A-T}$$

حالت ایدهال این است که برای هر نقطهای مانند  $K_0$  رابطه  $(K_0) = F(K_0) = F(K_0)$  محالبه شده در بینهایت عدد موج دیگر است. رابطه ۳–۷ تبدیل فوریه گسسته برابر با  $F(K_0) + F(K_0)$  محالبه شده در بینهایت عدد موج دیگر است. در واقع رابطه ۳–۷ پدیدهای مهم در دادههای نمونه برداری شده، به نام الیاسینگ<sup>۱</sup> را توصیف می کند. الیاسینگ در اعداد موج نزدیک به  $\frac{\pi}{\Delta x} = x$  بیشترین مقدار را خواهد داشت. این عدد موج نایکوئیست<sup>۲</sup> است و این افزایش را تنها میتوان با انتخاب فاصله نمونهبرداری  $\Delta x$  کوچکتر انجام داد. تبدیل فوریه گسسته، دورهی تناوبی برابر با  $\frac{2\pi}{\Delta x}$  دارد؛ بنابراین دادههای غیرتکراری در بازهی  $\frac{\pi}{\Delta x}$  قرار می گیرند و میتوان گفت که عدد موج نایکوئیست بزرگترین عدد موج، در دسترس میباشد. شایان ذکر است که طول موج نایکوئیست نیز دو برابر فاصله نمونهها است [Blakely,1996].

برای انجام تبدیل فوریه گسسته الگوریتمهای متعددی در دسترس میباشد. بسیاری از این الگوریتمها از ترفندی به نام دو تکه کردن<sup>۳</sup> استفاده میکنند که آنها را از نظر محاسباتی کارآمد میکند. چنین الگوریتمهایی تبدیل فوریه سریع<sup>۴</sup> نامیده میشوند. در نرم افزار MATLAB نیز تابعی به نام fft تبدیل فوریه گسسته را توسط یک الگوریتم تبدیل فوریه سریع محاسبه میکند.

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> aliasing

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Nyquist Wavenumber

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> doubling

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Fast Fourier Transform(FFT)
## ۳-۳ تبدیل هیلبرت

تبدیل هیلبرت تابع f(x) با رابطه زیر داده می شود.

$$F_I(x) = -\frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{f(\dot{x})}{x - \dot{x}} d\dot{x}$$
(9-7)

و معکوس آن با رابطهي :

$$f_{I}(\dot{x}) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{F(x)}{\dot{x}-x} \, dx$$
 (۱۰-۳)  
معادله ۳-۹ کانولوشن (x) با رابطهی  $\frac{1}{\pi x}$  – است. بنابراین یک تبدیل فوریهی یک بعدی، با تبدیل  
فوریه (x) ضرب در تبدیل فوریه  $\frac{1}{\pi x}$  – حاصل میشود.  
(x) فوریه (x) ضرب در تبدیل فوریه  $\frac{1}{\pi x}$  – حاصل میشود.  
F[F\_I] = isgn k F[f]

$$k > 0$$
 همانطور که نتیجه میشود رابطه ۳–۱۱ دامنه تابع  $f(x)$  را تغییر نمیدهد، اما فاز  $f(x)$  را برای  $k < 0$  همانطور که نتیجه میشود رابطه ۳–۱۱ دامنه تابع f(x).  
به اندازه  $\frac{\pi}{2}$  و برای  $k < 0$  به اندازه  $\frac{\pi}{2}$  جابجا می کند [Blakely, 1996].

## ۳-۴ فیلترهای مشتق

یکی از پر کاربردترین فیلترها در تفسیر دادههای میدان پتانسیل فیلترهای مشتق هستند. این فیلترها در تفسیر دادههای میدان پتانسیل، جداسازی آنومالیهای ناحیهای و باقیمانده و تخمینمرز آنومالیها نقش ایفا میکنند. این فیلترها به سه دسته فیلترهای مشتق قائم، مشتق افقی و مشتق جهتی تقسیم میشوند. با ترکیب این فیلترها به روشهای مختلف فیلترهای جدیدی بهدست میآید که کاراییهای بیشتری دارند .

#### ۳- ۴- ۱ فیلتر مشتق قائم

اگر (x, y) دادههای میدان پتانسیل باشد، آنگاه با استفاده از خواص تابع لاپلاس میتوان مشتق قائم دادههای میدان پتانسیل را محاسبه کرد. بر طبق این تئوری اگر (x, y) یک میدان پتانسیل باشد، آنگاه  $0 = (\phi) = \nabla^2(\phi)$  است.

بنابراين داريم:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = 0 \Rightarrow \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = -\left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2}\right) \qquad (17-7)$$
Provide the set of the s

$$F\left[\frac{\partial^{\mathbf{n}}\varphi}{\partial z^{\mathbf{n}}}\right] = |k|^{\mathbf{n}}F[\varphi] \tag{17-7}$$

در رابطه بالا  $\frac{2\pi}{\lambda}$  که  $\lambda$  طول موج وF نماد تبدیل فوریه است. فیلتر مشتق قائم عرض آنومالیها را باریکتر و در نتیجه موقعیت تودهها را با دقت بیشتری مشخص میکند. با افزایش مرتبه مشتق قائم، ناهنجاریها برجستهتر میشوند. اما از آنجا که این فیلتر از نوع فیلتر بالاگذر است، لذا به طور ناخواسته همزمان با سیگنالهای موجود در تصویر، نوفهها نیز برجسته میشوند. این موضوع به خصوص در مشتقات قائم مرتبه بالاتر بیشتر ظاهر میشود. به طور معمول استفاده از این فیلتر به مرتبه های اول و دوم محدود میشود. البته استفاده از فیلتر مشتق قائم با مرتبه غیرصحیح و یا مشتق قائم وزندار نیز میتواند مشکل برجستگی نویز را برطرف کند [cowan, 2005].

#### THDR') فیلترهای مشتق افقی کل ('THDR)

اگر  $\varphi(x, y)$  معرف برداشتهای گسسته میدان پتانسیل در یک صفحه افقی باشد، برای مثال ماتریس  $\varphi_{i,j}$  که ..., $\varphi_{i,j}$  و i=1,2,... و i=1,2,... محور  $\varphi_{i,j}$  که ...,j=1,2,... و i=1,2,... افقی با محور افقی (X) در راستای شمال – جنوب و فواصل برداشت به افقی (X) در راستای شمال – جنوب و فواصل برداشت به ترتیب  $\Delta x$  و  $\chi$  باشند، مشتق افقی  $\varphi(x, y)$  نسبت به محورهای X و Y در نقطه (i,j) با استفاده از روش تفاضل محدود<sup>7</sup> طبق روابط زیر قابل محاسبه است (X) در آراستای (I) با استفاده از روش تفاضل محدود<sup>7</sup> طبق روابط زیر قابل محاسبه است

$$\frac{d\varphi(x,y)}{dx} \approx \frac{\varphi_{i+1,j} - \varphi_{i-1,j}}{2\Delta x}$$
(14-7)  
$$\frac{d\varphi(x,y)}{dy} \approx \frac{\varphi_{i,j+1} - \varphi_{i,j-1}}{2\Delta y}$$
(10-7)

علاوه بر روش تفاضل محدود، می توان مشتقات افقی را در حوزه فوریه نیز محاسبه کرد. بر طبق تئوری تبدیل فوریه مشتق، مشتقات افقی  $\phi(x,y)$  طبق روابط زیر نتیجه می شود.

$$F\left[\frac{\partial^{n}\varphi}{\partial x^{n}}\right] \approx |ik_{x}|^{n}F[\varphi] \qquad (19-7)$$

$$F\left[\frac{\partial^{n}\varphi}{\partial y^{n}}\right] \approx |ik_{y}|^{n}F[\varphi] \qquad (19-7)$$

که  $k_{y} e_{x} e_{y}$  به تر تیب عدد موج در راستای محور x و y هستند. در روابط بالا n مرتبه مشتق است.

بیشینه مقادیر گرادیان افقی آنومالی گرانی ناشی از یک توده آنومال با لبههای عمودی و با فاصله زیاد از منابع دیگر، بر روی لبههای آن قرار می گیرد. از این ویژگی برای اولین بار توسط کردل در سال ۱۹۷۹ برای تعیین محل تغییرات جانبی چگالی استفاده شد. اندازه گرادیان افقی توسط رابطه زیر محاسبه می شود [Cordell, 1979].

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Total horizontal derivatives

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Finite-difference

THDR(x,y)= 
$$\left[\left(\frac{\partial f(x,y)}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f(x,y)}{\partial y}\right)^2\right]^{1/2}$$
 (1A- $\mathcal{T}$ )

در این رابطه f(x,y) میدان پتانسیل و  $\frac{\partial f(x,y)}{\partial x}$  و  $\frac{\partial f(x,y)}{\partial y}$  به ترتیب مشتقات افقی دادههای میدان پتانسیل درجهت های x و y هستند.

لازم به ذکر است که در پارهای از موارد گرادیان افقی آنومالی، هیچ ارتباطی با گسترش جانبی چشمه بیهنجاری ندارد. به عنوان مثال بیشینه گرادیان افقی آنومالی گرانی در بالای یک توده کروی به صورت یک حلقه است؛ اما قطر آن تنها متناسب با عمق مرکز کره میباشد و هیچ ارتباطی با اندازه کره ندارد. زمانی که مرزها تقریباً عمودی نباشند یا چندین مرز در مجاور یکدیگر قرار داشته باشند و یا صفحه مشاهده بیهنجاری مواج باشد نیز مقادیر بیشینه THDR دقیقاً بر روی مرزهای بالایی چشمه بی-هنجاری قرار نمی گیرند [Blakely and Simpson, 1986].

## ۳–۵ سیگنال تحلیلی

سیگنال تحلیلی<sup>۱</sup> اولین بار توسط نبیقیان<sup>۲</sup> برای اجسام دوبعدی و به صورت ترکیب گرادیانهای افقی و قائم میدان تعریف شده است:

$$A(x) = \frac{\partial g}{\partial x} - i \frac{\partial g}{\partial z}$$
 (۱۹-۳)  
که مقدار گرادیان قائم گرانی  $\frac{\partial g}{\partial z}$  می تواند با تبدیل هیلبرت از گرادیان افقی  $\frac{\partial g}{\partial x}$  بهدست آید.  
برای حالت سه بعد، سیگنال تحلیلی با رابطهی زیر داده شده است: [Blakely,1996].  
 $A(x) = \frac{\partial g}{\partial x} + \frac{\partial g}{\partial y} - i \frac{\partial g}{\partial z}$  (۲۰-۳)

که برای تعیین گوشههای آنومالی میتوان از دامنه سیگنال تحلیلی که در مورد دادههای گرانی دردو

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Analytic Signal

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Nabighian

و سه بعد، از روابط زیر استفاده کرد.

$$|A(x)| = \sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial z}\right)^2}$$
(1)-7)  
$$|A(x)| = \sqrt{\left(\frac{\partial g}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial z}\right)^2}$$
(1)-7)

## ۳-۶ فیلترهای فاز محلی<sup>۱</sup>

محاسبه فاز محلی میدانهای پتانسیل میتواند کمک مفیدی برای تفسیر آنها باشد. فیلترهای فاز محلی ترکیبی از گرادیان قائم و افقی میدان پتانسیل میباشند. تاکنون چندین فیلتر بر این اساس معرفی شدهاند، که شامل زاویه تمایل<sup>۲</sup>، مشتق افقی کل زاویه تمایل<sup>۳</sup> و نقشه تتا<sup>۴</sup> میباشد؛که در ادامه به شرح آنها پرداخته شده است.

## TA) فيلتر زاويه تمايل (TA)

میلر و سینگ (۱۹۹۴) فیلتر فاز زاویه تمایل را به صورت زیر تعریف کردند.

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

که f میدان گرانی یا مغناطیس است. زاویه تمایل (هنگامی که نقطه مشاهده روی منبع آنومالی قرار دارد) در بالای منبع مثبت است و در نزدیکی لبههای ایجاد کننده آنومالی به صفر نزدیک می شود یعنی

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Local phase

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup>Tilt angle(TA)

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Total horizontal derivative of tilt angle(THDR-TA)

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Teta map

جایی که مشتق عمودی صفر است و مشتق افقی بیشینه مقدار خود را دارد؛ و خارج از ناحیه چشمه منفی میباشد (شکل ۳–۱). زاویه تمایل هم در حوزه بسامد و هم در حوزه مکان به راحتی قابل محاسبه می باشد (شکل ۳–۱). زاویه تمایل هم در حوزه بسامد و هم در حوزه مکان به راحتی قابل محاسبه میباشد (شکل ۳–۱). زاویه تمایل هم در حوزه بسامد و هم در حوزه مکان به راحتی قابل محاسبه میباشد [ $\frac{\pi}{2}$ ,  $\frac{\pi}{2}$ ] تغییر می کند و تفسیر آن نسبت میباشد [Miller and singh, 1994]. این فیلتر در گستره  $\left[\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right]$  تغییر می کند و تفسیر آن نسبت به سیگنال تحلیلی خیلی سادهتر است. تغییرات زاویه تیلت در بالای توده معدنی و همچنین بدون بعد بودن آن مهمترین دلیل کاربرد این فیلتر است. از طرفی نتایج این فیلتر را میتوان با فیلترهای مشتق قائم و مشتق افقی مقایسه کرد. اگر چه مشتق عمودی و افقی هر دو برای منابع عمیق *تر* کوچکتر میباشند؛ اما زاویه تمایل با استفاده از نسبت مشتق عمودی و گرادیان افقی بر این مشکل غلبه کرده میباشند؛ اما زاویه تمایل با استفاده از نسبت مشتق عمودی و گرادیان افقی نسبت به عمق منبع تقریباً غیر میباشند؛ اما زاویه تمایل با استفاده از نسبت مشتق عمودی و گرادیان افقی نسبت به عمق منبع تقریباً غیر میباشد. بنابراین این فیلتر در مقایسه با مشتق عمودی و گرادیان افقی نسبت به عمق منبع تقریباً غیر میاست. بنابراین این فیلتر در مقایسه با مشتق عمودی و گرادیان افقی نسبت به عمق منبع تقریباً غیر مساس است و منابع عمیق و کمعمق را به طور یکسان تفکیک میکند. اما در کل با افزایش عمق قرارگیری چشمه بیهنجاری، پاسخ این فیلتر برروی تصاویر وضوح خود را از دست میدهند به طوریکه با افزایش عمق مرز و لبههای چشمه بیهنجاری به صورت هاله در میآید که البته این مشکل را می توان با مشتق گیری از زاویه تیلت برطرف کرد.

#### THDR-TA) فيلتر مشتق افقى كل زاويه تمايل (THDR-TA)

وردوز کو و همکارانش در سال ۲۰۰۴ به منظور بالا بردن قدرت تفکیک بی هنجاری ها، استفاده از مشتق افقی کل زاویه تمایل را برای تشخیص مرز و لبه های چشمه های میدان پتانسیل پیشنهاد کردند؛ که به صورت زیر تعریف می شود:

THDR-TA= 
$$\sqrt{\left(\frac{\partial TA}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial TA}{\partial y}\right)^2}$$
 (۲۴-۳)

در این رابطه TA زاویه تمایل محاسبه شده از رابطه ۳–۲۳ است. از آنجا که در رابطه ۳–۲۴ از زاویه تمایل مشتق گرفته می شود، بنابراین با توجه به تغییرات شدت دادههای میدان پتانسیل، ممکن است تصاویر فیلتر شده با نوفه همراه باشد؛ زیرا با افزایش مرتبههای مشتق گیری نوفه نیز همراه با برجسته شدن ساختارهای زمینشناسی تقویت میشود. در فیلتر THDR-TA بیشینه مقدار روی چشمه ناهنجاری قرار می گیرد (شکل ۳–۱). از جمله معایب این فیلتر حساسیت شدید به نوفه است و نتایج آن همراه با افزایش عمق چشمه ناهنجاری کمتر قابل ملاحظه است [Verduzco et al, 2004].

#### (THETA) نقشه تتا

وینز و همکاران در سال ۲۰۰۵ فیلتر نقشه تتا را به صورت زیر معرفی کردند:

$$\cos\theta = \frac{A.\hat{S}}{|A||\hat{S}|} = \left(\frac{\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2}}{\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2}}\right)$$
(YΔ-Y)

به طوری که بردار یکه  $\hat{S}$  را در راستای افقی در نظر گرفته شده است. بر روی یک کنتاکت عمودی  $\frac{\partial f}{\partial z} = 0$  میباشد؛ که در این نقطه بردار سیگنال تحلیلی( $\frac{\partial f}{\partial z} + \frac{\partial f}{\partial y} + \frac{\partial f}{\partial z} + \frac{\partial f}{\partial z}$ ) با سطح افق زاویه 0 = 0 میسازد. این زاویه با عبور بردار از روی کنتاکت در بازه  $\left[0, \frac{+\pi}{2}\right]$  تغییر می کند. نقشه تتا را میتوان نرمال شده گرادیان افقی در نظر گرفت [Wijns et al, 2005].

در شکل( ۳-۱) بی هنجاری گرانی محاسبه شده بر روی بلوکی با اختلاف چگالی ۱*gr/cm<sup>3</sup>، ک*ه موقعیت آن نیز مشخص شده، نشان داده شده است.

همچنین در شکل (۳–۲) نحوه عملکرد برخی از فیلترهای اشاره شده در بالا بر روی بلوک شکل ۳–۱ نشان داده شده است.

همان طور که در شکل(۳–۲)دیده می شود، مقدار (θ) cos بر روی مرزهای بلوک بیشینه است و یک کمینه مرکزی بین دو بیشینه مشترک می باشد. همچنین زاویه تمایل بر روی بلوک دارای بیشینه مقدار بوده و در مرز و لبه های بلوک مقادیری نزدیک به صفر و در خارج از محدوده بلوک دارای مقادیری منفی میباشد. با توجه به شکل (۳–۲) مقادیر محاسبه شده از اعمال فیلتر مشتق افقی کل در نزدیکی مرز و لبههای بلوک دارای بیشینه مقادیر بوده و در روی بلوک و خارج از آن به مقدار صفر رسیده است. همچنین مشتق قائم مرتبه اول دارای بیشینه مقادیر بر روی مرکز بلوک میباشد و در مرز و لبههای بلوک به مقادیری نزدیک به صفر رسیده است. با مقایسه بین نتایج بهدست آمده از اعمال فیلترهای نشان داده شده در شکل (۳–۲) مشاهده میشود که مقادیر حاصل از فیلتر زاویه تمایل به مراتب بیشتر از مقادیر بهدست آمده از مشتق قائم مرتبه اول و مشتق افقی کل میباشد.





(mGal/Km) و زاویه تمایل (rad) و نقشه تتا محاسبه شده بر روی بلوکی در عمق۴ تا ۶ کیلومتر.

#### GDO<sup>1</sup>) عملگر مشتق تعمیم یافته (GDO)

مشتق دامنه سیگنال تحلیلی نسبت به مشتق قائم میدان پتانسیل $(A_z)$  از رابطه زیر بدست می آید.

$$A_{\rm Z} = \frac{\partial |A_{\rm S}|}{\partial \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)} = \frac{\frac{\partial f}{\partial z}}{\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2}} \tag{(79-7)}$$

و همچنين

$$A_{\chi} = \frac{\partial |A_{\rm S}|}{\partial \left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)} = \frac{\frac{\partial f}{\partial x}}{\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2}} \tag{YV-Y}$$

که مشتق دامنه سیگنال تحلیلی نسبت به مشتق افقی میدان( $A_x$ ) است. همانطور که در نقشه تتا مشاهده شد، رابطه نقشه تتا از مشتق افقی کل تقسیم بر دامنه سیگنال تحلیلی به دست میآید. با توجه به روابط ۳–۲۶ و ۳–۲۷ عملگر مشتق تعمیم یافته را میتوان پیشنهاد کرد؛ که از تقسیم مشتق میدان پتانسیل f در هر سه بعد x و y و z بر دامنه سیگنال تحلیلی بدست میآید؛ که از رابطه زیر قابل محاسبه است [Cooper and Cowan, 2011]:

$$GDO = \frac{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\sin\theta + \frac{\partial f}{\partial y}\cos\theta\right)\cos\varphi + \frac{\partial f}{\partial z}\sin\varphi}{\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2}}$$
(A)

در رابطه بالا  $\theta$  آزیموت با محور y در صفحه xy و  $\phi$  ارتفاع زاویه ای می باشد. (شکل ۳-۳)



xy شکل ۳-۳: نمایش زوایا heta و  $\phi$ ، بین راستای اعمال فیلترعملگر مشتق تعمیم یافته با محور y و صفحه افقی xy

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Generalized derivative operator

هنگامی که  $\varphi = 0$  و  $\varphi = 0$  است؛ GDO تبدیل به  $A_x$  می شود و بیشینه حساسیت جهتی خود را در جهت X دارد؛ و هنگامی که  $\varphi = 90$  درجه میشود، GDO به  $A_z$  Truck میشود و هیچ تمایل جهتی ندارد. این فیلتر بدون بعد بوده و مشتق میدان در هر سه بعد را در بر دارد و میتوان با هر درجهای از حساسیت جهتی خواسته شده این فیلتر را به کار برد. فیلتر GDO با توجه به مقدار  $\varphi$  به لبهها یا به تمام چشمه و یا هرجایی در بین آنها میتواند پاسخ دهد [2011]



شکل ۳-۴: دامنه سیگنال تحلیلی( $|A_s|$ )، مشتق مرتبه اول میدان پتانسیل در جهت X ( $\frac{\partial f}{\partial x}$ )، عملگر مشتق تعمیم یافته با  $\varphi = 0$  درجه ( $A_x$ ) بر روی بلوکی در عمق ۴ کیلومتری با اختلاف چگالی ۱ گرم بر سانتی متر مکعب و طول ۱۰ کیلومتر.

همان طور که در شکل ۳–۴ دیده می شود مقادیر بیشینه و کمینه مشتق مرتبه اول ( $\frac{\partial f}{\partial x}$ ) و عملگر مشتق تعمیم یافته با زاویه  $\phi = 0$  درجه ( $A_x$ ) بر روی مرزهای بلوک است که به وسیله آن ها می توان موقعیت لبههای بلوک را شناسایی کرد؛ اما مشتق مرتبه اول  $(\frac{\partial f}{\partial x})$ ، موقعیت لبههای بلوک را با دقت بیشتری نسبت به فیلتر GDO تعیین کرده است. در هر دو مورد موقعیت نقاط بیشینه و کمینه خارج از محدوده لبههای بلوک میباشد، بنابراین تعیین طول بلوک به این روش مقداری بزرگتر از طول واقعی بلوک خواهد شد. در شکل (۳–۵) مقدار بیشینه عملگر مشتق تعمیم یافته در ازای $\varphi = \varphi$  درجه ( $_z$ ) در بالای بلوک قرارگرفته است که نسبت به دامنه سیگنال تحلیلی لبههای بلوک را بهتر مشخص کرده است اما در مقایسه با مشتق مرتبه اول دارای دقت پایینتری میباشد.



شکل ۳-۵: دامنه سیگنال تحلیلی $(|A_s|)$ ، مشتق قائم مرتبه اول  $(\frac{\partial f}{\partial z})$ ، عملگر مشتق تعمیم یافته با  $\varphi = 90$  درجه ( $A_z$ ) بر روی بلوکی در عمق ۴ کیلومتری با اختلاف چگالی  $gr/cm^3$  و طول ۱۰ کیلومتر .



شکل ۳-۶: آنومالی گرانی، مشتق قائم مرتبه اول، مشتق افقی، دامنه سیگنال تحلیلی بر روی دو بلوک مشابه، در عمقهای ۲ و ۷ کیلومتر با ضخامت ۵ کیلومتر و عرض ۱۰ کیلومتر با تباین چگالی 1 gr/cm<sup>3</sup>



شکل ۳-۲: آنومالی گرانی، مشتق قائم مرتبه اول، مشتق مرتبه اول گرانی در راستای x، دامنه سیگنال تحلیلی، عملگر Az و A<sub>z</sub> محاسبه شده بر روی دو بلوک در عمقهای ۲ و ۷ کیلومتر با ضخامت ۵ کیلومتر و عرض ۱۰ کیلومتر با تباین چگالی 1 gr/cm<sup>3</sup>.

شکل (۳–۶) و (۳–۷) کارایی فیلترهای مشتقات میدان، سیگنال تحلیلی و همچنین فیلتر GDO را در تعیین موقعیت توده بی هنجار، با افزایش عمق نشان می دهد. همان طور که در شکل (۳–۶) دیده می شود با افزایش عمق کارایی فیلترهای مشتق قائم و مشتق افقی مرتبه اول و همچنین سیگنال تحلیلی کاهش یافته است؛ اما افزایش عمق بلوک تاثیر بسیار ناچیزی در کارایی فیلتر GDO (شکل ۳–۷) نسبت به فیلترهای نشان داده شده در شکل (۳–۶) داشته است. همچنین مقادیر بالای فیلتر GDO در مقایسه با فیلتر مشتق افقی باعث می شود فیلتر GDO پایداری بیشتری در هنگام حضور نوفه در داده ها داشته باشد.



شکل ۳-۸: بی هنجاری گرانی، دامنه سیگنال تحلیلی( $|A_s|$ )، مشتق قائم مرتبه اول  $(\frac{\partial f}{\partial z})$ ، مشتق افقی مرتبه اول  $(\frac{\partial f}{\partial x})$ ، مشتق افقی مرتبه اول  $(\frac{\partial f}{\partial z})$ ، مشتق افقی مرتبه اول  $(A_x)$ ، مشتق عملگر مشتق تعمیم یافته با  $\varphi = 0$  ( $A_x$ )  $\varphi = 90$  و عملگر مشتق تعمیم یافته با  $gr/cm^3$  و طول ۱۰ متر.

در شکل (۳–۸) نحوه عملکرد فیلتر GDO در  $\varphi = \varphi$  درجه و  $\varphi = \varphi$  درجه بر روی یک دایک عمودی در عمق ۱۰ متری نشان داده شده است؛ که دقت آن در تعیین مرزها نسبت به مشتق افقی کمتر است و طولی بیشتر از طول واقعی دایک نشان داده است. به دلیل اینکه مشتق افقی در مرزهای دایک بیشترین تغییر را دارد، دایک توسط یک مقدار بیشینه و یک مقدار کمینه احاطه شده است. با توجه به شکل (۳–۷) میتوان نتایج حاصل از فیلتر مشتق تعمیم یافته را تحت زوایای مختلف، با مشتق قائم مرتبه اول و دامنه سیگنال تحلیلی مقایسه نمود. همچنین مشاهده می شود مقادیر به دست آمده از فیلتر مشتق تعمیم یافته به مراتب بزرگتر از مقادیر حاصل از اعمال فیلترهای مشتق قائم مرتبه اول و مشتق افقی و دامنه سیگنال تحلیلی می باشد.

در شکل (۳–۹) و (۳–۱۰) عملکرد برخی از فیلترها بر روی دایکی با شیب ۳۰ درجه و همچنین موقعیت دایک نشان داده شده است. در بین فیلترهای نشان داده شده در شکل (۳–۹) و (۳–۱۰) کارایی فیلتر GDO در تعیین موقعیت لبه بالا و پایین دایک نسبت به سایر فیلترهای اعمال شده بهتر بوده است. در شکل ۳–۱۰ءملگر مشتق تعمیم یافته تحت زوایای مختلف اعمال شده است که به این وسیله میتوان حساسیت جهتی این فیلتر را تعیین کرد. با توجه به شکل (۳–۱۰) و جهت شیب دایک ،کارایی عملگر مشتق تعمیم یافته در تعیین موقعیت لبه بالای دایک، تحت زاویه ۳۰ درجه نسبت به سایر زوایا بهتر بوده است.

لازم به ذکر است که کدهای مربوط به فیلتر عملگر مشتق تعمیم یافته دو بعدی که در محیط برنامه MATLAB نوشته شدهاند؛ در پیوست (ج) آورده شده است.



شکل ۳- ۹: بیهنجاری گرانی، زاویه تمایل، مشتق افقی کل و نقشه تتا بر روی یک دایک شیب دار با شیب ۳۰ درجه، با عمق لبه بالای ۵ متر و عمق لبه پایین ۴۰ متر با اختلاف چگالی ۱ گرم بر سانتی متر مکعب.



شکل ۳-۱۰: بیهنجاری گرانی،مشتق قائم مرتبه اول، دامنه سیگنال تحلیلی، عملگر مشتق تعمیم یافته با زوایای ۰، ۴۰،۴۵،۶۰ بر روی دایکی با شیب ۳۰ درجه و عمق لبه بالای ۵ متر و عمق لبه پایین ۴۰ متر با تباین چگالی 1 gr/cm<sup>3</sup>.

## فصل چهارم

# مقایسه نتایج اعمال فیلترهای شناسایی مرز چشمههای بیهنجار بر روی مدلهای مصنوعی

#### ۴–۱ مقدمه

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

## ۲-۴ مدل مصنوعی دو چهار وجهی قائم

این مدل برای آزمون قدرت تفکیک افقی روشهای شناسایی مرزهای چشمههای بیهنجار طراحی شده است؛ که متشکل از دو چهار وجهی قائم با پارامترهای هندسی و فیزیکی مشابه میباشند. عرض این دو چهار وجهی ۵ کیلومتر، طول آنها ۲ کیلومتر، عمق دفنشان ۸/۰ تا ۴ کیلومتر و تباین چگالی هر کدام مرابع ۱۰۰۰*Kg/m<sup>3</sup>* است. فاصله بین این دو چهار وجهی نیز ۲ کیلومتر انتخاب شده است. بیهنجاری گرانی ناشی از این مدل توسط تابع gbox، دو حلقه for و تعریف یک شبکه برداشت به ابعاد hm در سطح مبنای (Z=0)، به شکل زیر محاسبه شده است. [ است. (Inve. یا در سطح مبنای (Z=0)، به شکل زیر محاسبه شده است.

z0=0; gravity=zeros(401); for x0=linspace(0,10,401) for y0=linspace(0,10,401) sum1=gbox(x0,y0,z0,2,2.5,0.8,4,7.5,4,1000); sum2=gbox(x0,y0,z0,6,2.5,1,8,7.5,4,1000); sum=sum1+sum2; gravity(y0\*40+1,x0\*40+1)=sum; end پس از محاسبه بیهنجاری گرانی توسط تابع متلب Noise، (پیوست الف) به این دادهها نویز تصادفی با دامنهای برابر با ٪۱ /۰۰دامنه دادهها اضافه شده است. در شکل( ۴–۱) مدل سه بعدی و در شکل(۴–۲) پلان این مدل مصنوعی به همراه بیهنجاریهای گرانی (شکل۴–۲ الف) ناشی از آن ارائه شدهاند. نتایج اعمال فیلترهای شناسایی مرزهای بیهنجار بر روی دادههای گرانی ناشی از این مدل در شکل (۴–۲ الف) تا (۴–۲ خ) آورده شدهاند.

با مقایسه نتایج نشان داده شده در شکلهای(۴–۲)، دیده می شود تمام فیلترها دارای نقاط قوت و ضعف می باشند. برای مثال فیلتر مشتق افقی کل، لبه ها را به خوبی نمایان کرده است؛ اما با افزایش نویز کارایی این فیلتر کاهش می یابد. فیلتر مشتق افقی کل زاویه تمایل به علت اینکه نسبت به نویز بسیار ناپایدار است؛ پاسخ مناسبی ارائه نکرده است. پایداری فیلتر GDO در برابر نویز نسبت به سایر فیلترهای نشان داده شده بیشتر بوده و با افزایش عمق کارایی این فیلتر در تعیین موقعیت مرزها و لبه ها تغییر محسوسی نیافته است. در شکل (۴–۲ چ) و (۴–۲ ح) فیلتر GDO بیشترین حساسیت جهتی را دارد، به طوری که ابتدا و انتهای چهار وجهی را به صورت تقریبی تعیین کرده است.



شکل ۴-۱: نمایش سه بعدی دو چهار وجهی قائم در راستای شمالی-جنوبی با پارامترهای هندسی و فیزیکی مشابه به طول ۵ کیلومتر و عرض ۲ کیلومتر با عمق بالای ۰/۸ و عمق پایین ۴ کیلومتر با تباین چگالی ۱ گرم بر سانتی مترمکعب.



شکل ۴-۲: نتایج اعمال فیلترهای شناسایی مرزهای بیهنجار بر روی دادههای گرانی دو مدل چهار وجهی قائم. (الف) بیهنجاری گرانی، (ب) سیگنال تحلیلی، (پ) مشتق افقی کل، (ت) نقشه تتا، (ث) زاویه تمایل، (ج) مشتق افقی کل زاویه تمایل، (چ) عملگر مشتق تعمیم یافته با زوایای  $\theta = \theta$  درجه و  $\theta = \phi$  درجه ، (ح) عملگر مشتق تعمیم با زوایای  $\theta = \theta$  درجه و  $\phi = 0$  درجه ، (خ) عملگر مشتق تعمیم یافته  $\phi = \phi$  درجه.

## ۴-۳ مدل مصنوعی دایک شیبدار با شیب ۳۰ درجه

بیهنجاری گرانی (شکل ۴–۳ الف) ناشی از یک دایک شمالی – جنوبی که دارای شیب ۳۰ درجه در راستای شمال و مختصات (۵۵ تا ۴۵ =x)، (۳۳ تا ۳۳ =y)، (۳۳– تا ۵–= z) متر میباشد؛ که به وسیله نرم افزار grav3d، و تعریف یک شبکه برداشت ۱۰۰m × ۱۰۰۳ و با فواصل ۱۰m × ۱۰۳ و در سطح مبنای (Z = 0) محاسبه شده اند و نویز تصادفی با دامنه ای برابر ٪۰/۰دامنه داده ها به صورت تصادفی به آن ها افزوده شده است. نتایج به دست آمده از اعمال برخی از فیلترها در شکل (۳–۳) آورده شده اند.

هدف از طراحی این مدل تعیین میزان کارایی فیلترها در مشخص کردن موقعیت دایک و همچنین کارایی فیلترها در مواجه با منابع شیبدار میباشد.



شکل ۴ –۳: نمایش سه بعدی یک دایک در راستای شمالی – جنوبی باشیب ۳۰ درجه در جهت شمال و تباین چگالی ۱ گرم بر سانتی متر مکعب، عمق بالای ۵ متر و عمق پایین ۳۳ متر.

با توجه به شکل(۴–۴) فیلترهای سیگنال تحلیلی و مشتق افقی کل و مشتق مرتبه اول در تعیین موقعیت عمق پایین دایک کارایی نداشتهاند، در حالی که فیلتر GDO که ترکیبی از این فیلترها است؛ تحت زوایای مختلف موقعیت پایین دایک را به صورت تقریبی تعیین کرده است؛ که بهترین برآورد تخمین عمق به صورت کیفی مربوط به اعمال این فیلتر با زاویه ۳۰ درجه بوده است. فیلتر مشتق افقی کل زاویه تمایل، به نوفه حساس بوده و نتایج قابل قبولی ارائه نداده است. نقشه تتا محدوده دایک را به صورت تقریبی تعیین کرده است؛ اما وجود هاله در اطراف دایک و زیاد شدن این هاله همراه با افزایش عمق، مانع از تعیین دقیق موقعیت لبهها و مرزهای دایک شده است.



شکل ۴-۴: نتایج اعمال فیلترهای شناسایی مرزهای بیهنجار برروی دادههای گرانی یک دایک شمالی- جنوبی با شیب ۳۰ درجه به سمت شمال. (الف) بیهنجاری گرانی، (ب) سیگنال تحلیلی، (پ) زاویه تمایل، (ت) مشتق افقی کل، (ث) مشتق افقی کل زاویه تمایل، (ج) مشتق قائم مرتبه اول، (چ) عملگر مشتق تعمیم یافته با زوایای ۹۰ =  $\theta e = e = \phi$ درجه، (ح) عملگر مشتق تعمیم یافته با زوایای ۰ =  $\theta e = e = \phi$  درجه، (خ) عملگر مشتق تعمیم یافته با زاویه و ۹۰ =  $\phi$ درجه، (د) عملگر مشتق تعمیم یافته با زوایای ۰ =  $\theta e = e = \phi$  درجه، (خ) عملگر مشتق تعمیم یافته با زوایای ۰ =  $\theta$ درجه، (د) عملگر مشتق تعمیم یافته با زوایای ۰ =  $\theta e = e = \phi$  درجه، (ذ) عملگر مشتق تعمیم یافته با زوایای ۰ =  $\theta$ 

۴-۴ مدل مصنوعی دو مکعب مستطیل افقی عمود بر هم

آخرین مدل ارائه شده در این پایاننامه، شامل مدل ساده شدهای از تونل تحت مطالعه است؛ که پلان آن در شکلهای (۴–۵ الف) تا (۴–۵ خ) نشان داده شده است. اختلاف چگالی مدل (۳*۶ gr/cm* میباشد. تونل از دو مکعب مستطیل افقی عمود بر هم با مختصات (۶۸ تا ۹۲ = ۲)، (۲۰۱ تا ۳۶ = ۷)، میباشد. تونل از دو مکعب مستطیل افقی عمود بر هم با مختصات (۲۰ تا ۶۸ تا ۲۰ = ۲)، (۲۰ تا ۲۰ = ۲)، در ۲۰ تا ۲۰ = ۲)، متر ساخته شده است.



شکل ۴-۵: نتایج اعمال فیلترهای شناسایی مرزهای بیهنجار برروی دادههای گرانی مدل تونل ساده شده. (الف) بی-هنجاری گرانی، (ب) سیگنال تحلیلی، (پ) مشتق قائم مرتبه اول، (ت) مشتق افقی کل، (ث) نقشه تتا، (ج) زاویه تمایل، (چ) عملگر مشتق تعمیم یافته با زوایای ۹۰ = 0 و  $\cdot = \phi$  درجه (ح) عملگر مشتق تعمیم با زوایای  $\cdot = 0$  و v = 0 درجه، (خ) عملگر مشتق تعمیم یافته ۹۰ جو درجه

مدل به وسیله نرم افزار، grav3d و تعریف یک شبکه برداشت ۱۶۰۳ × ۱۶۰۳ و با فواصل ۴۳ × ۴m در سطح مبنای (z=x)محاسبه شدهاند و نویز تصادفی با دامنهای برابر //۱۰دامنه دادهها به صورت تصادفی به آنها افزوده شده است. نتایج به دست آمده از اعمال برخی از فیلترها در شکل (4-6) آورده شدهاند. هدف از طراحی این مدل تعیین میزان کارایی فیلترها در مشخص کردن موقعیت تونل میباشد. با توجه به شکل (4-6) فیلتر عملگر مشتق تعمیم یافته در مقایسه با سایر فیلترها نتایج قابل قبولی را با توجه به شکل (4-6) فیلتر عملگر مشتق تعمیم یافته در مقایسه با سایر فیلترها نتایج قابل قبولی را با توجه به شکل (4-6) فیلتر عملگر مشتق تعمیم یافته در مقایسه با سایر فیلترها نتایج قابل قبولی را با توجه به شکل (4-6) فیلتر عملگر مشتق تعمیم یافته در مقایسه با سایر فیلترها نتایج قابل قبولی را در تعیین موقعیت لبهها و مرزهای مدل ارائه کرده است. ایجاد هاله در اطراف مدل از مشکلات این فیلتر میباشد. همچنین ابعاد طولی و عرضی تونل را (شکل 4-6 ح و 4-6 چ) بیشتر از ابعاد واقعی تعیین کرده است.

فصل پنجم

# برداشت و تصحیح دادههای تونل معدن آموزشی

دهملا- شاهرود

#### ۵-۱ مقدمه

به منظور اعمال فیلترهای معرفی شده در فصل چهارم بر روی دادههای واقعی برداشت شده در محدوده تونل معدن آموزشی دهملا-شاهرود و شروع فرآیند تفسیر، باید تصحیحاتی بر روی دادههای برداشت شده انجام شود، زیرا مقدار آنومالی گرانی حاصل از اندازه گیری تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله ارتفاع ایستگاه، عرض جغرافیایی، توپوگرافی منطقه و... هستند. بنابراین باید اثرات این عوامل را با اعمال تصحیحات مختلف (بر حسب نیاز) بر روی دادهها حذف نمود یا به حداقل ممکن کاهش داد. برای رسیدن به این هدف، برای توصیف تصحیحات مناسب است که هر کدام از آنها به عنوان بخشی از گرانی مشاهدهای در نظر گرفته شود. در این فصل ضمن معرفی موقعیت جغرافیایی و زمینشناسی منطقه و همچنین تصحیحات مورد نیاز، به اعمال آنها بر روی دادهها پرداخته شده است.

### ۵-۲ موقعیت جغرافیایی و وضعیت زمینشناسی منطقه

محدوده مورد بررسی تونلهای زیرسطحی است؛ که در محدوده معدن آموزشی زغالسنگ دهملا-شاهرود واقع شده است. این منطقه در ۲۰ کیلومتری شمال غرب شاهرود در دامنه جنوبی البرز خاوری قرار دارد. دسترسی به محدوده مورد مطالعه از طریق جاده شوسه معدن آموزشی زغالسنگ دهملا که از جاده شاهرود-دامغان به سوی شمال جدا شده، ممکن میباشد. در حال حاضر این محدوده بهعنوان یک مکان معدنی آموزشی در اختیار دانشگاه شاهرود است (شکل ۵–۱). از جمله اختصاصات این محدوده، دارا بودن پدیدههای مهم زمین شناسی، تونلهای آموزشی معدنی زغالسنگ، دسترسی آسان (شکل ۵–۲ و ۵–۳).



شکل ۵-۱: موقعیت جغرافیایی محدوده معدن زغالسنگ دهملا و راههای دسترسی به منطقه مورد مطالعه.



شکل ۵-۲: تونل معدنی آموزشی زغالسنگ دهملا (در سمت چپ محدوده) – دید به سمت غرب.



شکل ۵-۳: تونل معدنی آموزشی زغالسنگ دهملا– دید به سمت شمال غرب

زمين شناسى منطقه

عمده رخنمونهای سنگی محدوده مورد بررسی وابسته به سازند شمشک میباشد. این سازند بعنوان یکی از گستردهترین رسوبات شیلی / ماسهای ایران، علاوه بر زغال خیزی، از غنی سازی عنصری همانند اورانیوم، روی، منگنز و غیره و همچنین پتانسیل هیدرو کربنزایی خوبی، بر خوردار است. لیتولوژی غالب محدوده شیل، ماسه سنگ و لایه های زغال بوده که ماسه سنگ و شیل های این سازند دارای تر کیب غالب کوار تز، فلدسیار و میکا می باشند (شکل ۵–۴).



شکل ۵-۴: توالی لایههای ماسهسنگ، شیل و زغالسنگ منطقه مورد مطالعه – دید به سمت شرق محدوده حوضههای زغالی در ایران در دو بخش بزرگ زمینشناسی ایران یعنی البرز و ایران مرکزی با سن تریاس فوقانی تا ژوراسیک میانی گسترش یافته و اغلب در محیطهای زمینساختی فعال و عموماً ناودیس شکل (همانند ناودیس دهملا – منطقه مورد مطاله) تشکیل شدهاند. سازندهای نایبند و آق-دربند در ایران مرکزی و کپهداغ و همچنین، سازند شمشک در حوضه البرز، دارندگان اصلی زغال-سنگهای ایران با سن مزوزوئیک میانی و همچنین لیتولوژی غالب شیل، ماسهسنگ، کنگلومرا و سیلت به حساب میآیند. سازند شمشک که یکی از گستردهترین رسوبات زغالدار ایران را در اختیار دارد از لحاظ اقتصادی برای کشور ما از اهمیت بالایی برخوردار است. این سازند در منطقه مورد مطالعه نیز از



شکل ۵–۵: نمایی از رگه زغالسنگ در انتهای تونل دنباله لایه (تونل فرعی معدن آموزشی دهملا) طبق گزارش نیمه تفضیلی زغالسنگ البرز شرقی (۱۳۶۰) [ حمیدی ژاله, ۱۳۹۳] زغالهای سازند شمشک در منطقه مورد مطالعه ضخامتهای متفاوتی را شامل میشوند که احتمالاً حضور گسلهای فراوان به ویژه نوع رانده (گسلهای شاهرود و مهماندوست) و گسستگیها در این تغییر ضخامت نقش اصلی داشته، ضمن آنکه با تقسیم شدن بخشهای مختلف زمین به بلوکهای مختلف مشکلاتی در عملیات استخراجی آنها بهوجود آمده است. ساختار مورد مطالعه یک تونل عمود بر امتداد لایه زغال بوده که در جهت شمال حفر شده و پس از طول ۴۰ متر از آن، یک انشعاب تقریباً شرقی –غربی به سمت شرق (دنباله لایه زغالسنگ) حفر شده است. همچنین بر روی سطح زمین دویلهایی جهت استخراج لایه زغالسنگ که موا حفر شده است. (شکل ۵–۶).



شکل ۵-۶: نمایی از دویلهای حفاری شده در سطح محدوده تونل آموزشی دهملا-دید به سمت جنوب



شکل ۵-۷: نقشه موقعیت تونلهای معدنی دهملا، دویلها، ترانشهها، لایههای زغال و توپوگرافی محدوده [ حمیدی ژاله, ۱۳۹۳]

## ۵-۳ برداشت دادههای گرانی منطقه مورد مطالعه (معدن آموزشی دهملا)

در برداشت دادههای گرانیسنجی به طور عمده از دو روش پروفیلزنی و شبکهای استفاده می شود. در روش پروفیل زنی تغییرات پارامتر فیزیکی در راستای یک پروفیل در یک امتداد مشخص در سطح زمین انجام می پذیرد و نتایج به صورت به صورت یک مقطع یا برش ترسیم می گردد. در روش پیمایش شبکهای دادههای ژئوفیزیکی روی یک سری نقاط گرهی روی یک شبکه منظم با شکل هندسی مشخص یا نقاط پراکنده در یک محدوده برداشت شده و نتایج به صورت پربندی (کنتوری) ترسیم می شود. در تمام عملیات ژئوفیزیک اکتشافی زمینی یا هوایی که به منظور مشخص کردن محل توده آنومال و گسترش آن صورت می پذیرد، از برداشتهای شبکهای استفاده می شود. یکی از نیازهای اصلی در این گونه برداشتها تعیین دقیق محل خطوط برداشت و ایستگاههای اندازه گیری است؛ که این کار توسط GPS های ایستگاهی و یا دوربینهای نقشهبرداری انجام می پذیرد. اگر اندازه شبکه برداشت (فاصله خطوط برداشت و ایستگاهها) نسبت به ابعاد نهشته کانساری زیاد باشد یا ارتباط این فاصلهها با عمق دفن کانسار به صورت منطقی انتخاب نشده باشد، ممکن است قسمتی از اطلاعات ژئوفیزیکی مربوط به کانسار ثبت نشود که در این صورت تفسیر نقشههای حاصل با خطا همراه خواهد بود [نوروزی، ۱۳۸۸].

در این مطالعه پس از بازدید و بررسی محدوده مورد نظر و با استفاده از اطلاعات و مشاهدات موجود و نیز با توجه به مدت زمان در نظر گرفته شده برای انجام پروژه، تعداد ۹ پروفیل با فاصلههای ۵ متری از هم و به طول ۹۰ متر، عمود بر راستای تونل اصلی در قسمتی که شامل دوراهی تونل فرعی بود، در نظر گرفته شد. با توجه عمق بالای تونل و قطر متوسط آن، ایستگاههای اندازه گیری با فاصلههای ۱/۵ متری از هم بر روی هر پروفیل طراحی شد.

با توجه به نیاز تصحیحات مختلف روی دادههای گرانی، ارتفاع نقاط اندازه گیری شبکه و همچنین عوارض طبیعی محدوده برداشت مورد نیاز میباشد. در این راستا پس از طراحی شبکه برداشت دادههای گرانی، عملیات برداشت دادهها و همچنین نقشهبرداری در محدوده مورد نظر انجام شد.

## ۵-۴ تهیه مختصات ایستگاهها و نقشه توپوگرافی منطقه

تعیین دقیق مختصات ایستگاههای اندازه گیری گرانی جهت انجام تصحیحات آنها بسیار مهم است. همچنین اندازه گیری و آزمایش خواص و مشخصات زمین بدون در نظر گرفتن پارامتر موقعیت و مختصات آن بیفایده و ناقص بوده و لازم است که مختصات ایستگاههای مورد مطالعه در یک سیستم شناخته شده ریاضی اندازه گیری و ثبت گردند. از این جهت مختصات تمامی ایستگاههای گرانی با دقتی که برآورد کننده نیازهای آن باشد محاسبه گردید. این مختصات شامل طول و عرض جغرافیایی ایستگاه و همچنین تصویر این مختصات در یک سیستم تصویری مشخص (UTM) میباشد. به منظور به دست آوردن مختصات نقاط گرانی قبل از برداشت گرانی، عملیات نقشهبرداری با استفاده از یک دوربین توتال استیشن انجام شد. همچنین تغییرات توپوگرافی محدوده مورد نظر به منظور استفاده در تصحیح توپوگرافی برداشت گردید (شکل ۵–۸ و ۵–۹).



شکل ۵-۸: نقشه توپوگرافی محدوده برداشت و ایستگاههای اندازه گیری و محدوده تونل اصلی و فرعی منطقه



## ۵ – ۵ کالیبره کردن دستگاه گرانیسنجی

جهت بررسی کالیبراسیون دستگاه، قبل از شروع برداشت، گرانیسنج به مدت ۲۴ساعت در یک نقطه ثابت در داخل آزمایشگاه روشن و تغییرات گرانی برای بررسی خطی بودن رانه دستگاه قرائت گردید. بدین ترتیب میزان خطای بدست آمده، در طول برداشت روزانه با دستگاه به صورت خودکار بر روی دادهها اعمال شد.

## ۵-۶ قرائت ایستگاهها

پس از انجام نقشیه برداری و تعیین محل پروفیلها، برداشت ایستگاههای گرانی با گرانیسنج AUTOGRAV-CG5 انجام شد (شکل۵–۱۰).



شکل ۵–۱۰: قرائت ایستگاههای گرانی در منطقه برداشت

مدت قرائت هر ایستگاه ۴۰ ثانیه تنظیم شد و انحراف معیار برای دادههای برداشت شده به وسیلهی دستگاه در هر ایستگاه محاسبه شد. در صورتی که انحراف معیار عددی بیش از ۰/۰۱ می شد، قرائت تکرار می شد. به منظور دسترسی آسان، نقطه مبنا تقریباً در مرکز شبکه برداشت و در بین پروفیل چهارم و پنجم در نظر گرفته شد (شکل ۵–۱۱). بدین ترتیب در انتهای کار تعداد ۵۴۸ ایستگاه گرانی اندازه-گیری شد.


شکل۵-۱۱: نقشه موقعیت خطوط برداشت، محل دویلها و ایستگاه مبنای گرانی منطقه مورد مطالعه

### ۵–۷ تصحیح دادهها

مقدار گرانی به عواملی نظیر عرض جغرافیایی نقطه مشاهدهای که در محاسبه مقدار نرمال گرانی در فرمول منظور میشود، اختلاف ارتفاع ایستگاه اندازه گیری نسبت به سطح آبهای آزاد، که دامنه تغییرات آن از نقطه مشاهدهای تا مرکز زمین میباشد و توزیع جرم زیر سطحی بستگی دارد [Blakely, 1996]. از آنجا که مقدار آنومالی گرانی حاصل از اندازه گیری تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله ارتفاع ایستگاه، عرض جغرافیایی، توپوگرافی منطقه و... هستند، بنابراین باید اثرات این عوامل را با اعمال تصحیحات مختلف (بر حسب نیاز) بر روی دادهها حذف نمود یا به حداقل ممکن کاهش داد. برای رسیدن به این هدف، برای توصیف تصحیحات مناسب است که هر کدام از آنها به عنوان بخشی از گرانی مشاهدهای در نظر گرفته شود. در رابطه (۵–۱) مجموعه مولفههایی که در گرانی مشاهدهای موثر هستند به همراه تصحیح مورد نظر آن بیان شده است [Blakely,1996].

گرانی مشاهدهای= شتاب ناشی از بیضوی مرجع (گرانی نرمال) + اثر ارتفاع بالای سطح دریا (هوای آزاد) + اثر جرم نرمال بالای سطح دریا (بوگه و توپوگرافی) + اثر جرمهای ناشی از بارهای توپوگرافی(ایزوستازی) + اثر حرکت (تصحیح اتووش) + تغیییرات وابسته به زمان (جزر و مد ناشی از اثر خورشید و ماه) + اثر تغییرات چگالی محلی (زمین شناسی) (۵–۱) هدف نهایی در گرانیسنجی تفکیک مقدار کمیت آخر در رابطه ۵-۱ از سایر بخشها میباشد؛ که ناشی از اثر اختلاف چگالی محلی طبقات در اعماق مختلف بوده و نسبت به سایر پارامترها بخش کوچکی از گرانی مشاهدهای است. مقدار گرانی در سطح زمین تقریباً ۸/۹ متر بر مجذور ثانیه (۹۸۰ گال) میباشد؛ در حالی که آنومالیهای ناشی از تغییرات چگالی به طور مشخص کمتر از ۱۰۰ میلیگال، کمتر از ۱۰/۰ درصد مقدار کل گرانی مشاهدهای است. گرانیسنجهای سیار، قابلیت اندازه گیری گرانی تا حدود <sup>۷</sup>-۱۰×۱ متر بر مجذور ثانیه یعنی حدود ۱۰ میکروگال (۱۰/۰ میلیگال) را دارند [ , ۱۹۹ 1991]؛ ولی تصحیحات گوناگون بر روی گرانی مشاهدهای با فرضیات پیچیده، توانایی ما را در یافتن مقدار مؤلفه زمینشناسی دادههای مشاهدهای محدود میکند. با توجه به عوامل موثر در اندازه گیری، به

۰/۱ تا ۵ میلیگال متغیر است [Blakely,1996].

به منظور کاوشهای گرانیسنجی، اندازه گیری و قرائت مقادیر عددی گرانی روی هر یک از نقاط شبکهای که با توجه به هدف اکتشافی طراحی شده است؛ انجام می گیرد. سپس روی مقادیر مشاهدهای، براساس شکل ۵–۱۲، تصحیحات لازم بنا به نیاز انجام گرفته و نقشه مقادیر آنومالی بوگه به صورت مقادیر هم تراز رسم می شود. این مقادیر گرانی نشان دهنده تغییرات زمین شناسی منطقه است. که از اختلاف چگالی ناشی از آنومالی های ناحیه ای<sup>۱</sup> و محلی<sup>۲</sup> (باقی مانده<sup>۳</sup>) نتیجه گرفته شده است.

<sup>1.</sup> Regional anomaly

<sup>2.</sup> Local anomalies

<sup>3.</sup> Residual anomalies



شکل ۵-۱۲: فلوچارت تصحیح مقادیر گرانی مشاهدهای در ایستگاه اندازه گیری [آقاجانی, ۱۳۸۸]

چون هدف اصلی، شناسایی تغییرات حاصل از آنومالیهای باقیمانده در محدودهی اندازه گیری گرانی است؛ بنابراین به نحوی باید مقادیر ناحیهای که بیانگر تاثیرات زمینه روی منحنیهای آنومالی است، حذف و یا اثر آن حداقل شود. مقادیر غیرعادی گرانی بر روی نقشه کنتوری گرانی باقی مانده مبیّن وجود اجسام آنومال (بیهنجار) است. که در این بخش به توضیح هر یک از این تصحیحات پرداخته شده است.

### ۵–۷–۱ تصحیح رانه دستگاه

جابجایی دستگاه گرانیسنجی در طول عملیات برداشت و همچنین تغییرات حرارت در طول زمان اندازه گیری، سبب تغییرات در مقدار قرائت انجام شده در یک نقطه، در دو زمان متفاوت خواهد شد. زیرا گرانیسنجها نسبت به تنشهای مکانیکی و حرارتی و شکهایی که در اثر جابجایی به آنها وارد می شوند، حساس هستند. از طرفی نیروی گرانش اجرام آسمانی به خصوص ماه و خورشید بر روی مقادیر گرانی در یک نقطه با زمان تاثیر گذار است. به طوری که مقدار گرانی اندازه گیری شده در یک نقطه در طول شبانه روز با زمان و چرخش معمول زمین و تغییر مکان این اجرام آسمانی تغییر می کند. اثر جزرو مد، هم تابع زمان و هم تابع مکان (عرض جغرافیایی) است. اثر جزرومد در عرضهای جغرافیایی پایین، دارای یک مولفه با دوره تناوب بلند در حدود ۱۲ ساعت است. اثر جزرو مد، هر گز بزر گتر از ۳/۰میلی گال نمی شود. یعنی یک کمیت کوچک در مقیاس با سایر تصحیحات در اندازه گیریهای گرانی است [Blakely, 1996].

بنابراین در اندازه گیریهای با دقت پایین فرض می کنیم که اثر جزرومد در یک دوره دو ساعت خطی می بنابراین در این صورت برای حذف اثر رانه و اثر جزرومد، در قرائتهای گرانی انجام شده در طی یک روز هر دو ساعت یک بار به ایستگاه مبنا بر می گردیم و اقدام به اندازه گیری مجدد می کنیم. به علت اینکه تغییرات گرانی در این مدت زمان در ایستگاه مبنا خطی در نظر گرفته شده است؛ مقدار جابجایی ایجاد شده نسبت به حالت اول را از تمام قرائتهای دیگر کم می کنیم.

بنابراین تصحیح رانه در طول عملیات برداشت در هر روز نسبت به ایستگاه مبنا به صورت زیر محاسبه می شود [Dobrin and Savit, 1988].

$$\Delta g_{dc} = \frac{g_2 - g_1}{T_2 - T_1} (T_i - T_1)$$
 (۲-۵)  
(۲-۵): (1-6): (

<sup>2</sup> : گرانی قرائت شده مربوط به ایستگاه اصلی در خاتمه کار (یا پس از ۲ ساعت) بر حسب میلیگال

. زمان اندازه گیری ایستگاه مبنا در حالت اول و  $T_2$  در زمان دوم است.  $T_1$ 

T<sub>i</sub> : زمان اندازه گیری ایستگاه مربوطه



شکل ۵-۱۳۰ روش تصحیح اثر رانه دستگاه [Dobrin and Savit, 1988] اگرچه دستگاه گرانی سنج، رانه را به طور خودکار از داده ها حذف می کند؛ اما به منظور دقت بیشتر، تصحیح رانه به روشی که تشریح شد، انجام گردید. جهت تصحیح رانه، در برداشت صحرایی، تقریباً هر دو ساعت مقدار گرانی مبنا قرائت شده است. همچنین در شروع هر روز ایستگاه مبنا برداشت شده و میزان اختلاف آن بر روی تمام داده ها اعمال شده است و همهی داده ها به شرایط داده های روز اول برگردانده شده اند. در جدول (۵-۱) قسمتی از جدول داده ها ارائه شده است.

line	station	Grav	Explanasion	SD	TiltX	TiltY	Time	Date	x	у	elevation	
1	48	4764.219		0.011	-4.9	-5.8	10:47:17	4/23/2014	296161.6	4026562	1700.815	
1	49	4764.242		0.008	-1	-2.8	10:49:29	4/23/2014	296163.1	4026563	1700.654	
1	. 50	4764.253		0.013	-3.9	1.3	11:02:20	4/23/2014	296164.8	4026563	1700.537	
1	51	4764.296		0.009	0	1.1	11:05:54	4/23/2014	296166.2	4026563	1700.529	
1	. 52	4764.296		0.011	-9	-1.1	11:10:35	4/23/2014	296167.6	4026563	1700.562	
1	53	4764.235		0.009	-1.3	-2	11:13:18	4/23/2014	296169.1	4026563	1700.62	l
1	. 54	4764.256		0.006	-2.1	2.5	11:15:44	4/23/2014	296170.7	4026563	1700.73	
1	55	4764.2		0.01	0.9	0.1	11:17:41	4/23/2014	296172.2	4026563	1700.855	
1	. 56	4764.17		0.022	1.2	-3	11:19:59	4/23/2014	296173.7	4026563	1700.962	
1	. 57	4764.174		0.01	-3.2	-4.5	11:23:08	4/23/2014	296175.2	4026563	1701.094	
Base	Base	4762.661		0.006	-6.9	-2.7	11:29:52	4/23/2014	296129	4026579	1708	
1			يايان روز اول - 1393/2/3						1	-		
1			أغاز روز دوم - 1393/2/4									_
Base	Base	4752.604		0.016	-1.9	-2	4:52:55	4/24/2014	296129	4026579	1708	
1	. 58	4754.074		0.017	0.1	1.5	5:01:41	4/24/2014	296176.7	4026563	1701.225	
1	59	4754.062		0.011	4.2	3.2	5:03:36	4/24/2014	296178.3	4026563	1701.3	
1	60	4754.062		0.012	2.2	-1.6	5:06:15	4/24/2014	296179.8	4026563	1701.387	
1	61	4754.028		0.01	1.7	-0.9	5:09:30	4/24/2014	296181.3	4026563	1701.502	$\sim$
1	62	4754.011		0.01	3.4	-1.5	5:14:36	4/24/2014	296182.9	4026563	1701.59	
1	63	4753.966		0.01	-3.3	0	5:16:54	4/24/2014	296184.4	4026563	1701.681	
1	. 64	4753.943		0.01	2.3	1	5:19:00	4/24/2014	296185.9	4026563	1701.805	
1	65	4753.906		0.01	-4.6	-1.9	5:21:22	4/24/2014	296187.4	4026564	1701.963	

جدول ۵-۱: بخشی از دادههای برداشت شده در محدوده مورد مطالعه

چون عملیات برداشت صحرایی دادهها بیش از یک روز طول کشید، لازم بود که دادههایی که در هر روز برداشت میشوند طوری تصحیح شوند که با هم قابل مقایسه باشند. بدین منظور در شروع روز دوم نخست ایستگاه مبنا قرائت میشد و میزان اختلاف آن با مقدار گرانی آن ایستگاه در روز قبل بر روی همهی دادههای روز بعد اعمال شد.

## ۵-۷-۲ شتاب گرانی ناشی از بیضوی مرجع (گرانی نرمال)

در برداشت گرانی از آنجا که با توجه به هدف اکتشافی لازم است که تنها تغییرات گرانی ناشی از هدف مورد مطالعه مورد بررسی قرار گیرد؛ لذا باید با انجام تصحیحاتی اثر سایر عوامل مؤثر بر مقدار گرانی اندازه گیری شده حذف شود. به این ترتیب در گام نخست برای رسیدن به این هدف، ضروری است، اثر گرانی نرمال از مقادیر داده های مشاهده ای حذف شود؛ برای این منظور سطح هم پتانسیلی که منطبق به سطح آب های آزاد است به عنوان سطح مبنا در نظر گرفته می شود؛ که این سطح هم پتانسیلی ژئوئید<sup>۱</sup> نامیده می شود. اما با توجه به این که سطح هم پتانسیل ژئوئید نامنظم و پیچیده است، به منظور ساده سازی در روابط از سطح بیضوی مرجعی که در یک توافق بین المللی پذیرفته شده است به عنوان سطح هم پتانسیل واقعی) و بیضوی مرجع<sup>۲</sup> (سطح هم پتانسیل فرضی) صرف نظر می شود.

معادله گرانی نرمال، مقدار گرانی نرمال را به صورت تابعی از عرض جغرافیایی و ارتفاع اورتومتریک ( قائم ) برای یک مدل زمین همگن توصیف می کند.

$$\gamma_{\varphi} = \gamma_e (1 + \sin^2(\varphi) - \beta \sin^2(2\varphi))$$
 (۳-۵)  
که در آن :

 $rac{m}{s^2}$  : مقدار گرانی در عرض جغرافیایی نقطه مشاهده ای مربوط به شبه کره است ( $rac{m}{s^2}$ ).

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> geoid

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Refrence ellipsoid

مقدار گرانی در استوا (
$$rac{m}{s^2}$$
).  $\gamma_e$  : عرض جغرافیایی نقطه مشاهده ای.  $arphi$ 

β و α ضرایب تجربی هستند، که از نتایج اندازه گیریهای متعدد در نقاط مختلف کره زمین حاصل شده اند.

برای محاسبه شتاب نرمال فرمول های زیادی توسط محققین ارائه شده است. شکل عمومی این فرمول ها یکسان بوده و ضریبهای ثابت آنها متفاوت است. بنابراین بیضوی که بیشترین شباهت را با ژئوئید در منطقه اندازه گیری داشته باشد، به عنوان بیضوی مرجع انتخاب می شود؛ و پارامترهای مربوط به آن بر همین اساس انتخاب می شوند.

اولین بیضوی مرجع که به طور بین المللی مورد قبول واقع شد، در سال ۱۹۳۰ ایجاد شد؛ که شاخص ها و ثوابت مربوط به آن، فرمول گرانی نرمال زیر را تعیین کرد [Blakely, 1996].

 $\gamma_{\varphi}=9.78049(1+0/0052884sin^{2}(\varphi)-0/0000059sin^{2}(2\varphi))$  (۴-۵) که در آن  $\varphi_{\gamma}$  بر حسب  $\gamma_{g}/_{S^{2}}$  است. در سال ۱۹۶۷ یک بیضوی جدید موسوم به سیستم مرجع ژئودزی ۱۹۶۷ مورد قبول واقع و فرمول بین المللی گرانی سال ۱۹۶۷ تهیه شد.

 $\gamma_{\varphi} = 9.78031846(1 + 0/005302sin^{2}(\varphi) - 0/0000058sin^{2}(2\varphi))$  (a-a)

در سال ۱۹۸۰ میلادی انجمن ژئودزی (IAG) سیستم مرجع ژئودتیک جدیدی ارائه کرد، که در نهایت به سیستم مرجع ژئودتیک جهانی ۱۹۸۴ منجر شد، که رابطه آن به صورت زیر میباشد [Blakely] 1996].

$$\gamma_{\Phi} = 9.7803267714 \frac{1 + 0.00193185138639 sin^{2}(\Phi)}{\sqrt{1 - 0.00669437999013 sin^{2}(\Phi)}} \tag{P-\Delta}$$

که در آن  $\Phi$  عرض جغرافیایی ایستگاه اندازهگیری است.



شكل ۵-۱۴: بيضوى مرجع و ژئوئيد[after Reynolds, 1997]

### ۵-۷-۳ تصحیح عرض جغرافیایی

مقادیر گرانی حتی اگر جرمهای زیر زمین در همه جا یکسان میبود؛ باز هم در نقاط مختلف با هم فرق می کرد و این به خاطر اختلاف در عرض جغرافیایی هر نقطه خواهد بود. چون نیروی گرانی اندازه گیری شده مجموع جاذبه ی زمین و گریز از مرکز است و به دلیل اینکه نیروی گریز از مرکز در خلاف جهت جاذبه ی زمین و عمود بر محور دوران زمین است؛ لذا با توجه به اینکه نیروی گریز از مرکز در استوا بیشینه و در قطبها کمینه (صفر) خود را دارا می باشد؛ شتاب جاذبه در استوا کمتر از قطب خواهد بود (شکل ۵–۱۵). به طوری که در استوا شتاب جاذبه حدود ۹۷۸ گال و در قطبین حدود ۹۸۳ گال است. رابطه زیر برای محاسبه ی شتاب گرانی در جهت شمال – جنوب برای عرض جغرافیایی مورد نظر داده می شود [Telford,1991].

$$\frac{dg_{\varphi}}{ds} = 0.811 \sin 2\varphi \frac{mGal}{km}$$
 (۷-۵)  
رابطه ۵-۷ مقادیر تغییرات گرانی را به ازای هر کیلومتر فاصله در روی زمین در راستای شمال-جنوب  
بر حسب میلیگال بهدست میدهد. که در آن  $\varphi$  عرض جغرافیایی خط مبنا،  $ds$  تغییرات کیلومتری  
نقاط اندازه گیری نسبت به خط مبنا است.

$$dg_{\phi} = ds \times 0.811 \sin 2\phi \quad mGal \tag{A-\Delta}$$

در عرض های جغرافیایی بالاتر از عرض جغرافیایی خط مبنا، مقدار این تصحیح از مقدار گرانی مشاهدهای کم میشود و در عرضهای جغرافیایی پایینتر از عرض جغرافیایی خط مبنا این مقدار به مقدار گرانی مشاهدهای اضافه می گردد.



شکل ۵–۱۵ الف: شتاب گریز از مرکز و تغییرات شتاب جاذبه با عرض جغرافیایی ب: شتاب نیروی گریز از مرکز و شتاب گرانشی و برآیند آنها g [after Reynolds,1997]

# ۵-۷-۴ تصحیح ارتفاعی (هوای آزاد و بوگه)

از آنجا که اختلاف ارتفاعها سبب تغییراتی در شتاب جاذبه اندازه گیری شده می شوند؛ با انجام تصحیح ارتفاعی، کلیه مقادیر اندازه گیری شده به یک سطح مبنا انتقال داده می شود. تصحیح ارتفاعی دارای دو مولفه تصحیح هوای آزاد و تصحیح بو گه است.

الف: تصحيح هواي آزاد

با توجه به این که مقدار شتاب جاذبه به صورت فرمول  $g = G \frac{m}{r^2}$  روی سطح مبنا معین می شود، هرچه از این سطح مبنا به اندازه h، به طرف بالا حرکت کنیم، مقدار شتاب جاذبه طبق رابطه  $g = G \frac{m}{(r+h)^2}$ . اختلاف دو شتاب جاذبه تاثیر هوای آزاد میباشد. به عبارت دیگر اندازه گیری گرانی زمین روی کشتی (کشتی برد) به طور مستقیم قابل مقایسه با میدان گرانی مرجع (گرانی نرمال) نمی باشد؛ زیرا سطح ژئوئید برابر سطح آبهای آزاد میباشد؛ اما اندازه گیری های گرانی روی خشکی برای ارتفاع بالاتر یا پایین تر از سطح ژئوئید میبایست تصحیح گردند. تصحیح هوای آزاد را می توان از روی معادله ۵–۹ و با مشتق گیری نسبت به ۲ محاسبه نمود که به صورت رابطه ۵–۱۰ قابل بیان خواهد بود.

$$g = G \frac{m}{r^2} \tag{9-\Delta}$$

$$dg = -2g\frac{h}{r} \tag{1.-0}$$

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

$$dg = -2g\frac{h}{r} = \frac{-2 \times 980629}{6.367 \times 10^6} \times h \tag{11-a}$$

$$dg = dg_{fa} = -0.3083h \tag{17-\Delta}$$

که در آن h ارتفاع ایستگاهها نسبت به سطح مبنا بر حسب متر و  $dg_{fa}$  تصحیح هوای آزاد بوده و بر حسب میلیگال بهدست میآید. در ایران تصحیح هوای آزاد ۲۰۸۶۶ در نظر گرفته میشود، بنابراین (۱۳–۵) (۱۳–۵) که در آن  $dg_{fa} = -0.3086h(mgal)$  (۱۳–۵) که در آن  $dg_{fa}$  آنومالی هوای آزاد برح سب میلیگال ا ست و h اختلاف ارتفاع نقطهی اندازه گیری از سطح دریا بر حسب متر است [Blakely, 1996]. مطابق رابطه (۵–۱۳)، وقتی ارتفاع ایستگاهی افزایش مییابد، مقدار گرانی اندازه گیری شده نیز در هر متر به اندازه ۲۰۸۶۶ کاهش مییابد. بنابراین با اعمال این تصحیح تمام ایستگاههای اندازه گیری به یک سطح مبنا انتقال می یابند. اگر نقطه اندازه گیری بالاتر از سطح دریاهای آزاد با شد، تصحیح هوای آزاد به مقدار گرانی قرائت شده اضافه می گردد. چنانچه نقطه اندازه گیری پایین تر از سطح دریا باشد، این مقدار تصحیح از مقادیر قرائت شده کم می شود.



شکل ۵-۱۶: تصحیح هوای آزاد [after Reynolds, 1997]

### ب: تصحيح بوگه

تصحیح هوای آزاد و گرانی نرمال از جرمهایی که ممکن است بین سطح اندازه گیری و سطح دریا موجود باشند صرف نظر می کند. تصحیح بو گه این جرمهای اضافی را به حساب می آورد. تصحیح ساده بو گه تمام جرمهای بالاتر از سطح دریا را با یک لایه یهمگن طولانی با ضخامتی مساوی با ارتفاع نقطه اندازه گیری در بالای سطح دریا بر آورد می کند (شکل ۵–۱۷). جاذبه یک لایه ی بی نهایت طویل با رابطه ۱۴-۵ به دست می آید.

- $dg_b = 2\pi G \rho h \tag{14-0}$ 
  - که h ضخامت لایه بر حسب متر است و  $dg_b$  مقدار تصحیح بوگه برحسب mgal می باشد.
    - اگر از شتاب جاذبه نسبت به h مشتق گرفته شود در نتیجه:

$$\frac{dg_b}{dh} = 2\pi G\rho \tag{1\Delta-\Delta}$$

اگر بهجای G مقدار ثابت آن قرار داده شود؛ رابطه ۵-۱۵ بهصورت ساده زیر در می آید:

 $\frac{dg_b}{dh} = 0.0419\rho \tag{19-0}$ 

اگر فرض شود 
$$h = h$$
 بنابراین خواهیم داشت:  
 $dg_b = 0.0419 
hoh~({
m mgal})$ 

در نهایت آنومالی بوگه ساده مطابق رابطه (۵–۱۸) بهدست میآید. اگر نقطه اندازه گیری بالاتر از سطح مبنا باشد، تصحیح بوگه از مقدار گرانی کم میشود و چنانچه نقطه اندازه گیری پایین تر از سطح مبنا باشد، این مقدار تصحیح به مقادیر قرائت شده اضافه میشود. تصحیح بوگه ساده همهی جرمهای بالای سطح دریا را با یک تختهی بینهایت با ضخامت برابر با ارتفاع نقطهی مشاهدهای از سطح دریا تقریب میزند. [Blakely, 1996].

 $\Delta g_{sb} = g_{obs} - \gamma_{\Phi} \pm dg_{\phi} + dg_{fa} - dg_{b}$  (۱۸–۵) آنومالی بوگهی ساده، اختلاف چگالی اجرام آنومال را نسبت به چگالی نرمال نشان میدهد و به شکل تویوگرافی بستگی ندارد [Blakely, 1996].



شکل۵-۱۷: تخته بوگه، p نقطهی مشاهدهای و h ارتفاع از سطح دریاست [Blakely, 1996]

# ۵-۷-۵ تصحیح توپوگرافی

ناهنجاری ساده بوگه از شکل پستی و بلندی صرفنظر می کند.کوهها که بالاتر از سطح اندازه گیری قرار دارند، افزایشی در مقدار گرانی اندازه گیری شده ایجاد می کنند اما در محاسبات لایه افقی به حساب نمی آیند. درههایی که پایین تر از سطح اندازه گیری قرار دارند، در بر آورد لایه افقی حفرههایی را تشکیل می دهند که این نبود جرم نیز باعث افزایش در مقدار گرانی قرائت شده می شود. به همین دلیل لازم است تا تصحیح دیگری به نام تصحیح توپو گرافی انجام شود. (شکل ۵–۱۸) [Reynolds, 1997]





شکل ۵–۱۸: اثر میدان جاذبه توپوگرافی اطراف یک ایستگاه روی مقدار گرانی اندازه گیری شده. الف: اثر کوه ب: اثر دره [after Reynolds,1997]

وجود تپههای بالاتر از ایستگاه سبب میشود که مولفه شتابی به سمت بالا (جاذبه به سمت بالا) ایجاد شود و همچنین وجود درههای پایین تر از ایستگاه و تهی بودن مواد در این قسمتها (فقدان جاذبه به سمت پایین) هر دو سبب کاهش جاذبه قرائت شده در ایستگاه می گردد. بدیهی است که در صورت مسطح بودن زمین نیازی به انجام تصحیح فوق نمی باشد؛ چرا که با انجام این تصحیح فرض می شود که کلیه تپههای بالاتر از ایستگاه برداشت شده و کلیه در های گودتر از همان مواد پر می گردد؛ که با انجام این کار یک وضعیت مسطح حاصل می شود. تصحیح توپو گرافی همیشه مثبت بوده و به گرانی قرائت شده در هر ایستگاه اضافه می گردد [Reynolds,1997]. الف در هر ایستگاه است (و جدول هامر الف ) روش نمودار و جدول هامر

ج ) روش تبدیل فوریه سریع

در این پایاننامه برای تصحیحات توپوگرافی و محاسبه اثر آن از روش زونبندی استفاده شده است که به صورت خلاصه شرح داده میشود. که هم به صورت دستی و هم به صورت برنامهنویسی با کامپیوتر قابل انجام است. در روشهامر سه زون نزدیک و متوسط و دور برای هر یک از نقاط محاسبه و اعمال میگردد. زون نزدیک بین ۱۰–۱۱۰ متر، متوسط ۱۱۰–۲۰۰۰ متر و زون دور نیز بین ۲۰۰۰–۲۲۰۰ متر محاسبه میگردد [Kane,1962].

از این روش هنگامی استفاده می شود که دقت بالایی در محاسبه این تصحیح مد نظر باشد. برای محاسبه اثر زون نزدیک، برای هر قسمت از زون (مطابق شکل۵–۱۹) مدل هرم سه گوش با سطح فوقانی شیب دار در نظر گرفته می شود و اثر گرانی این هرمها محاسبه شده و با یکدیگر جمع می شوند. در محاسبه اثر گرانی این هرمها از فرمول های مختلفی استفاده می شود. برای نمونه می توان به فرمول زیر اشاره کرد:

$$\Delta g_{near} = \rho G \phi \left[ R - \sqrt{R^2 + H^2} + \frac{H^2}{\sqrt{R^2 + H^2}} \right] \tag{19-2}$$

که در آن p مقدار چگالی، H ارتفاع گوشه ها نسبت به ایستگاه، R فاصله نقطه قرائت گرانی با نقطه گوشه است.



شکل ۵-۱۹ الف: شکل هندسی برای زون نزدیک ب: برای زون دور (دید از بالا) [Kane,1962]



اثر زون میانه توسط مکعبها محاسبه می شود. که مقدار گرانی تمام مکعب ها را برای زون میانه محاسبه می کنیم. بنابراین داریم: $\Delta g_{middle} = \sum_i g_i$ 

شكل ۵-۲۰: گرانی حاصل از یک مكعب مستطیل [Kane, 1962].

 $g_i = -G\rho \Big|_{Z_1}^{Z_2} \Big|_{Y_1}^{Y_2} \Big|_{X_1}^{X_2} x \ln(y+R) + y \ln(x+R) + z \tan^{-1} \frac{z.R}{x.y} |||$ (۲۰-۵) که در آن G ثابت جهانی گرانش،  $\rho$  تباین چگالی و x,y,z مختصات گوشه های مکعب هستند [Kane,1962]

برای محاسبه تاثیر زون دور می توان از فرمول زیر استفاده کرد.

$$g_{far} = 2G\rho A^2 \frac{(R_2 - R_1)\sqrt{R_1^2 + H^2} - \sqrt{R_2^2 + H^2}}{(R_2^2 + R_1^2)}$$
(71- $\Delta$ )

در رابطه رابطه بالا G ثابت جهانی گرانش و  $\rho$  تباین چگالی و A فاصله افقی مکعب در نظر گرفته شده است.  $R_1$  شعاع داخلی و  $R_2$  شعاع خارجی آن و H ارتفاع مکعب است. که باید برای هر نقطه محاسبه شده و در پایان جمع زده شوند.

$$dg_{tc} = \Delta g_{near} + \Delta g_{middle} + \Delta g_{far} \tag{17-2}$$

برای محاسبه یا اثر توپوگرافی با استفاده از نرمافزار ژئوسافت به یک نقشه ی توپوگرافی محلی (نزدیک) و یک نقشه ی توپوگرافی منطقه ای (دور) نیاز است. نقشه ی توپوگرافی محلی مربوط به محدوده ی اکتشافی است. سپس این نقشه ها همراه با داده های گرانی در نرمافزار ژئوسافت فراخوانی شده و برای هر ایستگاه تصحیح توپوگرافی انجام می شود. در نهایت پس اعمال این تصحیحات آنومالی بوگه ی کامل حاصل می شود.

$$\Delta g_{Total} = g_{dc} \pm dg_{\varphi} + dg_{FA} - dg_{sb} + dg_{tc}$$
(YT- $\Delta$ )



شکل ۵-۲۱ : نقشه توپوگرافی زون نزدیک در محدوده مورد مطالعه



شکل ۵-۲۲: نقشه توپوگرافی زون دور در محدوده مورد مطالعه

## ۵-۷-۵ نقشه آنومالی بوگه

هدف نهایی از برداشتهای گرانی دستیابی به مقادیری است که آنومالی بوگه نامیده میشود. مقدار آنومالی بوگه تابعی از اختلاف چگالی سنگها و مواد و حجم آنها است. بدین ترتیب با این پارامتر میتوان اهدافی را شناسایی کرد که دارای اختلاف چگالی مشخص با سنگهای میزبان اطراف خود باشند. باید توجه داشت که اثر افزایش اختلاف چگالی روی شدت آنومالی بوگه بسیار بیشتر از اثر افزایش حجم هدف مورد مطالعه است. پس از برداشت دادههای گرانی و اعمال تصحیحات مربوطه، نقشه بی-هنجاری بوگه کامل محاسبه و راستای تونل بر روی آن ترسیم شد (شکل۵–۲۳). بیهنجاری بوگه کامل ناشی از اثرات ساختارهای سطحی و عمیق میباشد که با توجه به هدف مورد نظر و با استفاده از روشهای ریاضی و آماری، باید این دو اثر را از هم تفکیک نمود.



شکل ۵-۲۳: نقشه بی هنجاری بوگه کامل- محدوده معدن دهملا

ine s	t_grav	×	Y	long	lat	h st	hift(G drifted)	g Abs	g Abs	g Normal	014	dg FA	g FA	dg boge	g Boge	dg phi	g delta phi (simple bougu
666	6666	296129	4026579	54.7277	36.3627	1708	4762.468	979404.9737	979404.9737	979850.5066	-445.5328661	527.0888	81.5559	186.07	-104.5136	0.0149	-104.5285
1	1	296090 -	4026560	54.7273	36.3625	1704.03	4763.231926	979405.7376	979405.7376	979850.491	-444.7534229	525.86268	81.1093	185.637	-104.5274	0.0000	-104.5274
Đ	2	296092 4	1026560	54.7273	36.3625	1704.07	4763.204791	979405.7105	979405.7105	979850.4912	-444.7807312	525.87625	81.0955	185.641	-104.5460	0.0001	-104.5461
-	ω	296093 4	4026560	54.7273	36.3626	1704.36	4763.157338	979405.663	979405.663	979850.4913	-444.8283095	525.96426	81.1360	185.673	-104.5366	0.0002	-104.5368
1	4	296095	4026560	54.7273	36.3626	1704.44	4763.163987	979405.6697	979405.6697	979850.4914	-444.8217291	525.98984	81.1681	185.682	-104.5135	0.0003	-104.5137
1	U	296096 4	1026560	54.7273	36.3626	1704.59	4763.147534	979405.6532	979405.6532	979850.4915	-444.8382422	526.03545	81.1972	185.698	-104.5005	0.0003	-104.5008
4	6	296098	4026560	54.7274	36.3626	1704.84	4763.096115	979405.6018	979405.6018	979850.4914	-444.8896184	526.11491	81.2253	185.726	-104.5004	0.0002	-104.5007
1	7	296099 4	4026560	54.7274	36.3626	1705.34	4762.999708	979405.5054	979405.5054	979850.4916	-444.9862121	526.26893	81.2827	185.78	-104.4974	0.0004	-104.4978
1	00	296101 4	4026561	54.7274	36.3626	1705.36	4762.99041	979405.4961	979405.4961	979850.4917	-444.995571	526.27492	81.2793	185.782	-104.5029	0.0004	-104.5033
-	9	296102 4	4026561	54.7274	36.3626	1705.38	4763.015861	979405.5216	979405.5216	979850.4919	-444.9703163	526.27941	81.3091	185.784	-104.4747	0.0006	-104.4753
1	10	296104 4	4026561	54.7274	36.3626	1705.22	4763.039393	979405.5451	979405.5451	979850.4918	-444.9467109	526.22993	81.2832	185.766	-104.4831	0.0005	-104.4836
1	11	296105	4026561	54.7274	36.3626	1704.91	4763.114968	979405.6207	979405.6207	979850.492	-444.8713006	526.13411	81.2628	185.733	-104.4697	0.0006	-104.4703
1	12	296107 4	4026561	54.7275	36.3626	1704.78	4763.138791	979405.6445	979405.6445	979850.492	-444.8475123	526.09433	81.2468	185.718	-104.4716	0.0007	-104,4723
1	13	296108 4	4026561	54.7275	36.3626	1704.75	4763.147735	979405.6534	979405.6534	979850.4921	-444.8386871	526.08476	81.2461	185.715	-104.4690	0.0007	-104.4697
P	14	296110 4	4026561	54.7275	36.3626	1704.65	4763.171416	979405.6771	979405.6771	979850.4921	-444.8149699	526.05432	81.2394	185.704	-104.4650	0.0007	-104.4657
1	15	296111 4	4026561	54.7275	36.3626	1704.5	4763.218002	979405.7237	979405.7237	979850.4922	-444.768478	526.00911	81.2406	185.688	-104.4477	0.0007	-104,4485
1	16	296113 4	4026561	54.7275	36.3626	1704.46	4763.206576	979405.7123	979405.7123	979850.4923	-444.780013	525.99587	81.2159	185.684	-104.4678	0.0008	-104.4687
1	17	296115 4	4026561	54.7275	36.3626	1704.26	4763.268854	979405.7746	979405.7746	979850.4923	-444.7177429	525.93582	81.2181	185.663	-104.4444	0.0008	-104.4452
P	18	296116 4	4026561	54.7276	36.3626	1704.1	4763.267819	979405.7735	979405.7735	979850.4923	-444.718786	525.88648	81.1677	185.645	-104.4774	0.0008	-104,4782
1	19	296118 4	4026561	54.7276	36.3626	1704.04	4763.275404	979405.7811	979405.7811	979850.4925	-444.7113842	525.8663	81.1549	185.638	-104.4830	0.0009	-104.4840
1	20	296119	4026561	54.7276	36.3626	1703.68	4763.379529	979405.8852	979405.8852	979850.4925	-444.6073145	525.75431	81.1470	185.598	-104.4514	0.0010	-104.4524
1	21	296121 4	4026561	54.7276	36.3626	1703.42	4763.4382	979405.9439	979405.9439	979850.4925	-444.5486061	525.67615	81.1275	185.571	-104.4433	0.0009	-104.4442
P	22	296122 4	4026561	54.7276	36.3626	1703.3	4763.466126	979405.9718	979405.9718	979850.4926	-444.5207987	525.63786	81.1171	185.557	-104.4403	0.0010	-104.4413
1	23	296124 4	4026561	54.7276	36.3626	1703.14	4763.487147	979405.9928	979405.9928	979850.4927	-444.4998793	525.58755	81.0877	185.54	-104.4519	0.0011	-104.4530
1	24	296125 4	4026561	54.7277	36.3626	1702.91	4763.554914	979406.0606	979406.0606	979850.4928	-444.4321842	525.51656	81.0844	185.514	-104.4301	0.0011	-104.4312
1	25	296127	4026561	54.7277	36.3626	1702.85	4763.566538	979406.0722	979406.0722	979850.4929	-444.4206256	525.49936	81.0787	185.508	-104.4297	0.0012	-104,4308
4	26	296128 4	1026561	54.7277	36.3626	1702.75	4763.578141	979406.0838	979406.0838	979850.4929	-444.4090114	525.4688	81.0598	185.498	-104.4378	0.0011	-104.4390

فصل ششم

# پردازش و تفسیر دادههای گرانی منطقه مورد مطالعه تونل دهملا-شاهرود

مقدار گرانی بوگه از اثرات زمینشناسی زیادی بهدست میآید. هر الگوی دیده شده در نقشه گرانی بوگه مجموع گرانیهای منابع محلی (نزدیک به سطح) و منابع منطقهای (عمیق تر) است. به همین علت در اغلب موارد آنومالیهای ساختمانهای مورد توجه، به وسیله آنومالیهای منطقهای پنهان میشوند. نقشهی آنومالی بوگه دادههای گرانی، مجموع اثرات تودههایی با چگالی متفاوت در اعماق مختلف می-باشد که تأثیرات سنگ بستر با تغییرات خطی و ملایم مشخص میشوند. این اثرات خطی، آنومالی ناحیه ای نامیده میشوند. آنومالی ناحیهای دارای فرکانس پایین و طول موج بلند میباشند، در حالی که آنومالیهای باقیمانده که به دلیل وجود اجسام زیرسطحی کم عمق هستند، دارای فرکانس بالا و طول موج کوتاه میباشند.

مطابق شکل ۵–۲۳، در نقشهی آنومالی بوگه کامل دادههای گرانی محدودهی مورد مطالعه، تعدادی ناحیه با مقدار گرانی منفی و آبی رنگ دیده میشود که میتواند ناشی از ساختارهای کم چگال زیرسطحی باشد. برای تفکیک بهتر آنومالیهای منطقه، از روشهای مختلف مانند روند سطحی، گسترش به سمت بالا، مشتقات، استفاده میشود؛ که نقشه هر یک رسم شده است. در پایان با اعمال فیلترهای مختلف بر روی دادههای گرانی منطقه مورد مطالعه دهملا، به مقایسه عملکرد آنها در تعیین موقعیت تونل پرداخته شده است.

#### ۶–۲ روند سطحی

یکی از انعطاف پذیرترین روشهای تحلیلی برای تعیین اثرات ناحیهای، روش روند سطحی است. در این روش، میدان ناحیهای از مقادیر مشاهدهای بهوسیله روش کمترین مربعات تقریب زده میشود. این روش براساس محاسبه سطحی (به روش ریاضی) استوار است که بهترین تطابق را نسبت به مقادیر مشاهدهای داشته باشد. در این روش بر دادههای گرانی مشاهدهای سطحی عبور داده میشود که پیچیدگی معادله ریاضی سطح مورد نظر به روند حاکم بر دادهها بستگی دارد. درجه روند سطحی به پیچیدگی زمین-شناسی ناحیهای بستگی دارد. از درجه روند سطحی بیشتر برای هم پوشانی بین مقادیر سطح مزبور و مقادیر دادههای مشاهدهای در شرایط پیچیدهتر زمینشناسی استفاده می شود.

برای تفکیک آنومالیها با استفاده از این روش، در نرم افزار ژئوسافت (Geosoft) نقشه آنومالی بوگه ناحیهای با اعمال روش روند سطحی در دو روند متفاوت ۲ و ۳ مورد تفکیک قرار گرفت و نقشههای باقیماندهی حاصل از آنها در شکلهای (۶–۱) و (۶–۲) ، آورده شده است. نقشههای باقیمانده به خوبی روند آنومالی محلی منطقه را مشخص می کنند که با آنومالی بوگه نیز تطابق خوبی دارد.





شکل ۶-۱: نقشه بی هنجاری باقی مانده درجه ۲ داده های گرانی منطقه مورد مطالعه

شکل ۶-۲: نقشه بی هنجاری باقی مانده درجه ۳ داده های گرانی منطقه مورد مطالعه

با توجه به نقشه باقیمانده ( شکل ۶–۱ و ۶–۲) چندین بیهنجاری مثبت و منفی در شکل قابل تفکیک میباشند. از آنجا که مورد مطالعه تونل معدنی، دویلهای حفاری شده و لایه زغال دار میباشند و اینگونه ساختارها دارای تباین چگالی منفی نسبت به زمینه اطراف خود هستند، در نتیجه محلهای کم چگال آبی رنگ، موقعیت این آثار را نشان میدهد. در مختصات طولی ۲۲۹۶۰۹۲ متر (محدوده شماره ۱ در شکل ۶–۱) که راستای تونل اصلی را تعیین کرده است، دو بیهنجاری با تباین چگالی منفی بالا در ابتدا و انتهای تونل مشاهده میشود. این دو بیهنجاری انطباق بسیار خوبی با دویلهای حفاری شده در این ناحیه از منطقه برداشت دارد. همچنین در عرض جغرافیایی ۴۰۲۶۵۶۲ متر و از طول ۲۹۶۰۹۲ تا ۲۹۶۱۴۴ متر (محدوده شماره ۲ در شکل ۶–۱) راستای تونل فرعی را میتوان با دقت خوبی شناسایی نمود. در قسمت ابتدایی تونل فرعی نیز یک دویل حفاری شده وجود دارد که اثر آن در نقشه باقیمانده مشخص شده است. از آنجا که تونل فرعی نیز یک دویل حفاری شده وجود دارد که اثر آن در نقشه باقیمانده مشخص شده است. از آنجا که تونل فرعی نیز یک دویل حفاری شده وجود دارد که اثر آن در نقشه باقیمانده در مختصات عرضی ۴۰۲۶۵۷۲ متر و طول ۲۹۶۱۴۴ تا ۲۹۶۱۴۶ متر (محدوده شماره ۳ در شکل ۶– ۲)، یک ناحیه باریک کم چگال دیده میشود که با توجه به تونل دنباله لایهی حفر شده و تولی لایه زغال دار حفر شده است، در مختصات عرضی زغال و ماسه سنگ (سازند شمشک) میتوان نتیجه گرفت که این ناحیه ادامه لایه زغال دار باشد.

### ۵-۸-۳ روش گسترش میدان گرانی به سمت بالا

یکی از روش های تفکیک آنومالی میدان های پتانسیل، روش گسترش به سمت بالا میباشد. با کاربرد این روش تأثیرات سطحی حذف شده و تأثیرات عمیق به وضوح مشخص می گردند. در این روش داده های میدان پتانسیل بهوسیله معادلات ریاضی از یک سطح مبنا بر روی سطوح ترازی در بالای آن تصویر می شوند. در نقشه های به دست آمده با استفاده از این روش، هرچه از سطح مبنا دور شویم، آنومالی های کوچک با طول موج کوتاه ضعیف شده و در نتیجه آنومالی های منطقه ای با طول موج بلند باقی می مانند. با استفاده از نرمافزار Geosoft، روش گسترش میدان گرانی به سمت بالا در ارتفاع های مختلفی از ۴ تا ۱۴ متری به فواصل ۲ متری بر روی نقشه آنومالی بوگه اعمال و نقشهی آنها رسم گردید. (شکلهای ۶–۳). نقشههای حاصل از این روش در ارتفاعهای بیش از ۱۴ متر به بالا، تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند و این موضوع بیانگر این مطلب است که تودهی آنومال از ریشه بالایی برخودار نبوده و جزء تودههای سطحی محسوب میشود. در واقع در ارتفاعات بالاتر که به صورت روند خطی است، مربوط به اثرات ناحیهای میباشد که تا عمق بالا گسترش یافته و آنومالی محلی منطقه به طور کامل حذف شده است.



شکل ۶-۳: نقشه فیلتر ادامه فراسو منطقه مورد مطالعه در ارتفاعهای ۴ الی ۱۴ متری با فاصله ۲ متر.

۶-۴ اعمال فیلترهای شناسایی مرز بیهنجار بر روی دادههای گرانی تونل دهملا

بعد از اعمال تصحیحات و روش روند سطحی با درجه ۲ بر روی دادههای گرانی، فیلترهای مختلف بر روی دادهها، اعمال میشود. محدودههای شماره ۱ و ۲ در شکل (۶–۱) به ترتیب راستای تونل اصلی و فرعی را نشان میدهند. محدوده شماره ۳، محدوده ادامه لایه زغال دار میباشد.







شکل ۶–۴: نتایج اعمال فیلترهای شناسایی مرزهای بیهنجار برروی دادههای گرانی تونل معدنی دهملا. (الف) بی-هنجاری گرانی، (ب) سیگنال تحلیلی،(پ) مشتق افقی کل.

با مقایسه بین عملکرد فیلترهای اعمال شده در شکل (۶-۴) دیده می شود که فیلترهای سیگنال تحلیلی (شکل ۶-۴ ب) و مشتق افقی کل (شکل ۶-۴ پ) به شدت تحت تاثیر نوفه قرار گرفته اند و نتایج قابل قبولی ارائه داده نشده است.



(الف)





(پ)

شکل ۶-۵: نتایج اعمال فیلترهای شناسایی مرزهای بیهنجار برروی دادههای گرانی تونل معدنی دهملا. (الف) زاویه تمایل، (ب) نقشه تتا، (پ) عملگر مشتق تعمیم یافته با زوایای  $heta = 90 \ e = 0$ .

با اعمال فیلتر زاویه تمایل (شکل ۶–۵ الف) راستای تونل اصلی و فرعی به صورت مناسب تعیین شده است. فیلتر نقشه تتا راستای تونل اصلی و فرعی(محدوده شماره ۲ و ۱) و محدوده شماره ۳ را به صورت تقریبی تعیین کرده است. (شکل ۶–۵ ب). فیلتر عملگر مشتق تعمیم یافته با زوایای °90 =  $\theta = ^{\circ}0 = \phi$ (شکل ۶–۵پ) راستای تونل اصلی را به خوبی نمایش داده است؛ زیرا حساسیت جهتی فیلتر در این حالت به گونهای انتخاب شده است که به عوارض و ناهنجاریهای عمود بر راستای شرقی– غربی پاسخ دهد. بنابراین با توجه به شکل(۶–۵ پ)، راستا و موقعیت تونل فرعی و همچنین دنباله لایه زغال دار به خوبی تعیین نمی شوند.





شکل ۶-۶: نتایج اعمال فیلترهای شناسایی مرزهای بیهنجار برروی دادههای گرانی تونل معدنی دهملا. (الف) عملگر مشتق تعمیم با زوایای  $^{\circ} 0 = 0$  و  $^{\circ} \phi = 0$ ، (ب) عملگر مشتق تعمیم یافته با زاویه  $^{\circ} \phi = 90$ .

همانطور که در شکل (۶–۶ الف )دیده می شود، حساسیت فیلتر عملگر مشتق تعمیم یافته با زوایای  $\phi = 0^\circ = 0^\circ = 0^\circ$  و  $\phi = 0^\circ = 0^\circ$  به گونهای کنترل شده است که به ناهنجاری هایی که عمود بر راستای شمالی – جنوبی مستند؛ پاسخ داده شود؛ بنابراین راستای تونل فرعی و دنباله لایه زغال دار بارز شده اند. همچنین در

شکل (۶–۶ ب)، عملگر مشتق تعمیم یافته با زاویه ho=90، اعمال شده است. همان طور که مشاهده می شود موقعیت تونل اصلی و فرعی و همچنین محدوده دنباله لایه زغال دار به نحو مناسبی تعیین شده است. باتوجه به اینکه شناسایی حفرههای خالی از ماده (پر شده از هوا) به وسیله میکروگرانی نیازمند سنجش بیهنجاریهای منفی کوچک در مقیاس با یک زمینه گرانی بزرگ میباشد؛ برداشت دادهها با دقت بالا و حذف آثار توپوگرافی و نوفههای منطقه میتواند این پدیدهها را شناسایی نماید. تصور سادهای که درباره شناسایی حفرهها و تونلهای انفرادی (ساخت انسان و یا طبیعی) وجود دارد صحیح نیست. زیرا تخریب و شکستگیهای زیاد سنگهای اطراف این ساختارها، بویژه در مورد تونلهای معدنی، که تابعی از اندازه و قدرت سنگ است باعث افزایش قطر حفره به میزان دو برابر و یا بیشتر می شود [Daniels, 1988].حفر تونل در یک منطقه، بر سنگهای اطراف دیواره تونل تاثیر گذار است. این پدیده که هالهی اثر نام دارد، باعث افزایش موثر اندازه هدف می شود [Bishop et al, 1997]. از طرفی وجود دویلهای موجود در منطقه مورد مطالعه و ایجاد اثر تداخل ناهنجاریهای گرانی ناشی از آنها مانع از تعیین موقعیت دقیق تونل توسط فیلترهای شناسایی مرز، امکان پذیر نمی باشد. با توجه به نکات بالا و مقایسه صورت گرفته بین فیلترهای اعمال شده بر روی محدوده مورد مطالعه (تونل معدنی دهملا-شاهرود) دیده می شود، فیلترهای زاویه تمایل و عملگر مشتق تعمیم یافته در مقایسه با سایر فیلترها، راستای تونل را بهتر تعیین کردهاند، اما حساسیت جهتی قابل کنترل در فیلتر عملگر مشتق تعمیم یافته، که می توان با هر درجهای از حساسیت جهتی آن را به کار برد و همچنین حساسیت کم به نوفه و عمق منبع ناهنجاري از ویژگي بارز این فیلتر ميباشد؛ تا تنها عوارضي كه مورد نظر، در تفسير هستند، آشکار شوند. با توجه به وجود دویلهایی که در محدوده تونل اصلی وجود دارند، دیده میشود عملگر مشتق تعمیم یافته ناهنجاریهای سطحی(موقعیت دویلها) و عمیق(موقعیت دیوارههای تونل) را به طور یکسان شناسایی کرده است. بنابراین همانطور که انتظار میرود، این فیلتر به عمق منبع ناهنجاری نسبت به فیلتر مشتق افقی کل، حساسیت کمتری دارد؛ اما در کل با افزایش عمق از کارایی این فیلتر کاسته می شود.

# فصل هفتم

نتیجه گیری و پیشنهادات

### ۷-۱ نتیجهگیری

در بررسی بیهنجایهای جانبی ساختارهای زمینشناسی، به ویژه محل مرزهای آنها، دادههای میدان پتانسیل مزایای منحصر به فردی دارند. مرزهای بیهنجاری شامل خطوط گسل و مرزهای زمین شناختی یا واحدهای سنگی با چگالی متفاوت،... میباشند. برای شناسایی این مرزها تاکنون فیلترهای متعددی معرفی شده است که در این تحقیق از فیلترهای فاز محلی (زاویه تمایل، مشتق افقی کل زاویه تمایل، نقشه تتا)، مشتق افقی کل، سیگنال تحلیلی، مشتق عمودی و عملگر مشتق تعمیم یافته استفاده شده است. این روشها عموماً بر اساس مکان نقطه صفر یا بیشینه به دست آمده توسط مشتقات عمودی یا افقی عمل مینمایند. به هر حال بین مرزهای مشخص شده و مرزهای واقعی فاصله وجود دارد و این فاصله با شکل مرز، عمق، اندازه و دیگر عوامل چشمههای بیهنجار تغییر میکند. در این تحقیق عملگر مشتق تعمیم یافته برای اولین بار در ایران در محیط برنامه MATLAB کدنویسی شد و آنگاه برای مقایسه عملکرد آن با سایر فیلترهای معرفی شده، ابتدا سه مدل طراحی و سپس این فیلترها بر روی دادههای گرانی حاصل از این سه مدل اعمال شدند. در مورد قدرت تفکیک دو چشمه مشابه مجاور (شکل ۴–۲) و مدل تونل مصنوعی (شکل ۴–۵) بهترین نتیجه در میان فیلترهای معرفی شده مربوط به فیلترهای عملگر مشتق تعمیم یافته و زاویه تمایل است؛ اما قابلیت کنترل حساسیت جهتی فیلتر عملگر مشتق تعميم يافته اين فيلتر را نسبت به فيلتر زاويه تمايل متمايز ساخته است؛ زيرا با كنترل حساسیت جهتی میتوان تنها تغییر در ساختارها، در جهتی که مورد نظر میباشد را بررسی کرد. پایداری در برابر نوفه موجود در تصویر از ویژگیهای دیگر این فیلتر است. (با مقایسه شکل ۴–۲ج با شكل ۴-۲ خ).

برای مدل یک دایک شیب دار (شکل ۴–۳) نتایج بهدست آمده از فیلترهای عملگر مشتق تعمیم یافته در تعیین تقریبی موقعیت عمق پایین دایک، این فیلتر را نسبت به سایر فیلترهای دیگر متمایز میکند. اعمال فیلترهای شناسایی مرزهای بیهنجار بر روی دادههای گرانی منطقه مورد مطالعه تونل معدنی دهملا نشان داد، اگر چه وجود دویلهای متعدد در محدوده تونل و تداخل ناهنجاریهایی گرانی ناشی از تونل و دویلهای آن و همچنین با توجه به اثر هاله، فیلترهای فاز محلی و عملگر مشتق تعمیم یافته نتوانستهاند موقعیت تونل را به صورت دقیق شناسایی کنند؛ اما نتایج زاویه تمایل تا حدودی قابل قبول است؛ ولی عملگر مشتق تعمیم یافته در تعیین موقعیت تونل نتایج بهتری داده است. به طوری که با توجه به قابلیت کنترل حساسیت جهتی این فیلتر میتوان تنها ساختارهایی که تغییرات آنها در جهت خاصی مد نظر میباشد؛ شناسایی کرد. این قابلیت، فیلتر عملگر مشتق تعمیم یافته را نسبت به سایر فیلترهای معرفی شده، متمایز ساخته است. از طرفی مقایسه نتایج فیلتر مشتق تعمیم یافته با مشتق امتی کل زاویه تمایل نشان میدهد، عملگر مشتق تعمیم یافته با مشتق میباشد.

# ۲-۷ پیشنهادات

در ادامه پیشنهادات زیر که میتواند راه گشای کارهای آینده باشد ارائه می گردد

- جهت تعیین لبه و مرز ساختارهایی که دارای شیب میباشند (نظیر دایک شیب دار) و همچنین
   در مورد مناطقی که وجود چند منبع بیهنجاری در کنار هم مانع از تفسیر صحیح میشود؛
   استفاده از مشتق تعمیم یافته پیشنهاد می گردد.
- با توجه به پیچیدگیهای تفسیر دادههای میدان پتانسیل، پیشنهاد میشود؛ قبل از اعمال فیلترهای تعیین لبه، یک تفسیر زمینشناسی از منطقه مورد مطالعه صورت گیرد؛ تا بتوان تصاویر بهدست آمده از اعمال فیلترهای تعیین لبه را با دقت بیشتری تفسیر نمود.
- به جهت تسریع در عملیات تفسیر و شناسایی چشمههای بیهنجاری و همچنین پیچیدگیهای مدل سازی پشنهاد می شود، در ابتدا از فیلترهایی نظیر فیلتر عملگر مشتق تعمیم یافته استفاده شود.

### فهرست منابع فارسي

- آقاجانی ح، (۱۳۸۸)، رساله ی دکتری "بررسی قابلیت روش گرادیان کل نرمال دادههای گرانی در تعیین پتانسیل هیدروکربوری تلههای نفتی"، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه شاهرود.
- ۲. ابراهیم زاده اردستانی و، (۱۳۹۰)، "گرانی سنجی کاربردی"، انتشارات دانشگاه تهران، ص ۱۳۶.
- ۳. صفری، ح، (۱۳۹۱)، پایاننامه کارشناسیارشد، "کاربرد روش گرانیسنجی برای تشخیص حفرات زیرسطحی به منظور اکتشاف منابع آب زیرزمینی، مطالعه موردی سنگ آهک حفرات زیرسطحی به منظور اکتشاف منابع آب زیرزمینی، مطالعه موردی سنگ آهک کارستی تپال، جنوب غرب شاهرود"، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه شاهرود.
- ۶. حدادیان آ، (۱۳۹۰)، پایاننامه کارشناسیارشد "شناسایی دقیق مرزهای تودههای آنومال در
   ۶. حدادیان آ، (۱۳۹۰)، پایاننامه کارشناسیارشد "شناسایی دقیق مرزهای تودههای آنومال در
   ۶. اکتشاف روشهای میدان پتانسیل با فیلترهای فاز محلی"، دانشکده مهندسی معدن، نفت
   ۶. و ژئوفیزیک، دانشگاه شاهرود
- ۵. حمیدی ژاله م، (۱۳۹۳)، پایاننامه کارشناسی ارشد " بررسی توان هیدرو کربنزایی شیلهای ما ما ما ما ما ما ما ما ما م سازند شمشک منطقه دهملا شاهرود" دانشکده علوم زمین، دانشگاه شاهرود.
  - ۶. نوروزی غ.ح، (۱۳۸۸)، "ژئوفیزیک اکتشافی"، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران، ص۵۷۹.

فهرست منابع انگلیسی

- Blakely J. R., (1996) "Potential theory in gravity and magnetic applications" Cambridge University Press, pp. 441.
- Blakely J. R., and Simpson W. R. (1986) "Approximating edges of source bodiesfrommagnetic or gravity anomalies" Geophysics, 51, 7, pp. 1494-1498.
- Bishop, I., Styles, P., Emsley, S.J. and Ferguson, N.S. (1997) "The detection of cavities using the microgravity technique: case histories from mining and karstic environments" Geological Society, London, Engineering Geology Special Publications, 12, pp. 153-166.
- Cooper G. R. J. and Cowan D. R. (2006) "Enhancing potential field data using filters based on the local phase" Computers & Geoscience, 32, pp. 1585-1591.
- Cooper, G.R. (2009) "Balancing images of potential-field data" Geophysics, 74. pp. 17-20.
- Cooper, G.R.J. and Cowan, D.R. (2011) "A generalized derivative operator for potential field data" European Association of Geoscientists & Engineers, 59, pp. 188-194.
- Cowan, D. and Cooper, G. (2005) "Separation filtering using fractional order derivatives" Exploration Geophysics, 36. 4. pp. 393-396.
- Cordell, L. and Grauch, V.J.S. (1985) "Mapping Basement Magnetization Zones from Aeromagnetic Data in the San Juan Basin, New Mexico. In: Hinze, W.J., Ed., The Utility of Tegional Gravity and Magnetic Anomaly Maps" Society of Exploration Geophysicists, pp. 181-197.
- Cordell, L. (1979) "Gravimetric Expression of Graben Faulting in Santa Fe Country and the Espanola Basin" New Mexico. Guidebook to Santa Fe

Country. In: Ingersoll, R.V., Ed., New Mexico Geological Society Guidebook: 30th Field Conference, pp. 59-64.

- 10. Daniels, J. (1988)."Locating caves, tunnels and mines". Geophysics: The Leading Edge of Exploration, 7, pp. 32-37.
- Dobrin M. B. and Savit C. H., (1988) "Introduction to geophysical prospecting"
   4<sup>th</sup> edition, McGraw-Hill (New York), pp. 867.
- 12. Hammer S., (1939) "Terrain corrections for gravimeter surveys" *Geophysics*, 9, 3.
- 13. Kane M. F., (1962) "A comprehensive system of terrain corrections using a digital computer", *Geophysics*, 27, 4.
- 14. Li, X. (2006) On "Theta map: Edge detection in magnetic data" Geophysics, 71, 3, pp. X11-X11.
- Miller H. G. and Singh V., (1994), "Potential field tilt Anew concept for location of potential field sources" *Journal of Applied Geophysics*, 32. pp. 213– 217.
- Nabighian M. N. (1984) " Toward a tree dimensional automatic interpretation of potential field data via generalized Hilbert transforms: Fundamental relations" Geophysics, 49, 6, pp. 780-786.
- Pilkington, M. and Keating, P. (2004) "Contact mapping from gridded magnetic data- A comparison of techniques" Exploration Geophysics, 35, 4, pp. 306-311.
- 18. Plouff D. (1976) "Gravity and magnetic fields of polygonal prisms and application to magnetic terrain corrections" *Geophysics*, 41, 4, pp. 727-741.
- Reynolds, J.M. (1997) "An introduction to applied and environmental geophysics" John Wiley &Sons, pp. 796.

- 20. Salem A. (2005) "Interpretation of magnetic data using analytic signal derivatives" Geophysical Prospecting, 53, pp. 75-82
- 21. Telford W. M., Geldart L. P. and Sheriff R. C. (1991) "Applied geophysics" 2<sup>nd</sup> edition, *Cambridge University Press*, pp. 770.
- 22. Wijns C., Perez C., and Kowalczyk P. (2005) "Theta map: Edge detection in magnetic data" Geophysics, 70, 4, pp. 39-43
- 23. Wanyin W., Yu P., and Zhiyun Q. "A new edge recognition technology based on the normalized vertical derivative of the total horizontal derivative for potential field data" Applied Geophysics, 6, 3, pp. 226-233
- 24. Verduzco B. J. D., Fairhead C. M., Green C. and MacKenzie, (2004), "The meter reader New insights into magnetic derivatives for structural mapping" *The Leading Edge*, 23, pp.116–119.
```
پيوست
```

```
الف: محاسبه جاذبه قائم ناشي از يک منشور مستطيلي.
function g=gbox(x0,y0,z0,x1,y1,z1,x2,y2,z2,rho)
% function gbox computes the vertical attraction of a regtangular prism
%inputs:
% observation point is (x0,y0,z0) and prism extends from x1 to x2,y1 to y2
% and z1 to z2
% density of prism is rho; all distance parameters in units of km; rho in
%units of kg/m<sup>3</sup>
%output:
% vertical attraction of grvity in mgal
if rho~=0
  gamma=6.67e-11;
  si2mg=1e5;
  km2m=1e3;
  x(1)=x0-x1;
  y(1)=y0-y1;
  z(1)=z0-z1;
  x(2)=x0-x2;
  y(2)=y0-y2;
  z(2)=z0-z2;
sum=0;
for i=1:2
  for j=1:2
     for k=1:2
       r = sqrt(x(i)^2 + y(j)^2 + z(k)^2);
       ijk=(-1)^{i*}(-1)^{j*}(-1)^{k};
       arg1=atan2((x(i)*y(j)),(z(k)*r));
       if arg1<0
          arg1=arg1+2*pi;
       end
       arg2=r+y(j);
       arg3=r+x(i);
       if arg2 <= 0;
          pause;
          disp('GBOX: BAD FIELD POINT')
       else
          arg2=log(arg2);
       end
```

```
if arg3<=0
         pause;
         disp('GBOX: BAD FIELD POINT')
       else
         arg3=log(arg3);
       end
       sum=sum+ijk*(z(k)+arg1-x(i)*arg2-y(j)*arg3);
    end
  end
end
g=rho*gamma*sum*si2mg*km2m;
else
  g=0;
end
z 0 = 0;
gravity=zeros(1001);
for x0=linspace(0,1,1001)
  for y0=linspace(0,1,1001)
    sum1=gbox(x0,y0,z0,.5,.3,.007,.6,.304,.01,1000);
    sum2=gbox(x0,y0,z0,.56,.3,.007,.564,.404,.01,1000);
    sum=sum1+sum2;
    gravity(y0*1000+1,x0*1000+1)=sum;
  end
end
imagesc(gravity)
```

ب: افزودن نویز به دادهها

function pnoise=noise(p,sn)
% fuction pnoise adds noise to original data
% inputs:
% p is a matrix nr rows and nc cloumns
% sn is the ration of signal to noise
% out put:
% pnoise = original data + calculation noise
[nr,nc]=size(p);
n=nr\*nc;
p2=p.^2;
sp2=sum(sum(p2));

```
std=sqrt(sp2/(n*sn^2));
noise=std*randn(nr,nc);
pnoise=noise+p;
```

```
ج: محاسبه فیلترهای فاز محلی و عملگر مشتق تعمیم یافته (زاویه تمایل، مشتق
افقی کل زاویه تمایل، نقشه تتا، عملگر مشتق تعمیم یافته)
```

```
function [ta,thdrta,theta,GDO]=Localphase(p,xint,yint,te,fi)
% function localphase computes phase-based filter
%input:
%p is a matrix with nr rows and nc columns
% xint & yint are the distance between gridded data in direction of x and y
% in units of km, respectively
%output
% tilt angle (ta), tilt derivative (thdrta), theta map (theta), hyperbolic tilt
% angle (hta), normalized total horizontal derivative(tdx).
%te: is the azimuth(degree) in the horizontal plane
0 \le \text{te} \le 180
% fi: is the elevation(degree) in the vertical plane
0 <fi <90
if yint==0
  dz1=vertical2Dn(p,xint,1);
  dx1=gradient(p,xint);
  thdr=abs(dx1);
```

```
asa=sqrt(dx1.^{2}+dz1.^{2});
```

```
ta=atan(dz1./thdr);
```

```
[dxta]=gradient(ta,xint);
```

```
thdrta=abs(dxta);
```

```
theta=thdr./asa;
```

```
htam=real(atanh(dz1./thdr));
```

```
nc=length(htam);
```

```
hta=zeros(1,nc);
```

```
for j=1:nc
```

```
if htam(1,j)<0;
hta(1,j)=0;
else
hta(1,j)=htam(1,j);
end
end
tdx=atan(thdr./abs(dz1));
```

#### else

```
dz1=verticaln(p,xint,yint,1);
dz2=verticaln(p,xint,yint,2);
[dx1,dy1]=gradient(p,xint,yint);
thdr=sqrt(dx1.^{2}+dy1.^{2});
asa=sqrt(dx1.^2+dy1.^2+dz1.^2);
ta=atan(dz1./thdr);
tx=atan(dx1./sqrt(dy1.^2+dz1.^2));
ty=atan(dy1./sqrt(dy1.^2+dz1.^2));
[dxta,dyta]=gradient(ta,xint,yint);
thdrta=sqrt(dxta.^2+dyta.^2);
theta=thdr./asa;
Ax=dx1./asa;
Ay=dy1./asa;
               A=(dx1.*sind(te)+dy1.*cosd(te)).*cosd(fi)+dz1.*sind(fi);
Az=dz1./asa;
GDO=A./asa;
  htam=real(atanh(dz1./thdr));
[nr,nc]=size(htam);
hta=zeros(nr.nc):
for i=1:nr
  for j=1:nc
    if htam(i,j)<0
       hta(i,j)=0;
     else
       hta(i,j)=htam(i,j);
     end
  end
end
tdx=atan(thdr./abs(dz1));
```

## د: نمایش نتایج به صورت تصویر

```
f=figure(2);clf;set(f,'Name','Total horizontal derivation ');
set(f,'NumberTitle','off');
imagesc(thdr); axis equal; axis tight; axis on; axis xy; title('Total horizontal
derivation');xlabel('m');ylabel('m','rotation',+90)
```

f=figure(3); set(f,'Name','tilt '); set(f,'NumberTitle','off'); ax(3)=imagesc(ta); axis equal; axis tight; axis on; axis xy; title('Tilt');xlabel('m');ylabel('m','rotation',+90)

f=figure(\$); set(f,'Name','Tilt Derivative '); set(f,'NumberTitle','off'); imagesc(thdrta); axis equal; axis tight; axis on; axis xy; title('Tilt Derivative');xlabel('m');ylabel('m','rotation',+90)

f=figure(°); set(f,'Name','First-order vertical derivative '); set(f,'NumberTitle','off');

imagesc(dz1); axis equal; axis tight; axis on; axis xy; title('First-order vertical derivative');xlabel('m');ylabel('m','rotation',+90)

f=figure(`\); set(f,'Name','secend-order vertical derivative '); set(f,'NumberTitle','off'); imagesc(dz2); axis equal; axis tight; axis on; axis xy; title('Secend-order vertical derivative');xlabel('m');ylabel('m','rotation',+90)

f=figure(<sup>V</sup>);

end

```
set(f,'Name','(THETA):Theta map '); set(f,'NumberTitle','off');
imagesc(theta); axis equal; axis tight; axis on; axis xy;
title('(THETA):Theta map');xlabel('m');ylabel('m','rotation',+90)
```

```
f=figure(^);
set(f,'Name','amplitude analytic signal '); set(f,'NumberTitle','off');
```

imagesc(asa); axis equal; axis tight; axis on; axis xy; title(' Amplitude analytic signal');xlabel('m');ylabel('m','rotation',+90)

```
f=figure(<sup>1</sup>);
set(f,'Name','(GDO)generalized derivative operator.teta=0 .fi=0 ');
set(f,'NumberTitle','off');
imagesc(GDO); axis equal; axis tight; axis on; axis
xy;title('(GDO)Generalized derivative
operator');xlabel('m');ylabel('m','rotation',+90)
```

ه: محاسبه مشتق قائم مرتبه n ام [cooper, 2005]

function dz=verticaln(p,xint,yint,n)
%function verticaln computes the nth order vertical derivative.

```
[nr,nc]=size(p);
nmax=max([nr,nc]);
npts=2^nextpow2(nmax);
cdiff=floor((npts-nc)/2);rdiff=floor((npts-nr)/2);
p1=taper2spline(p);
f=fft2(p1);fz=f;
wnx=2.0*pi/(xint*(npts-1));
wny=2.0*pi/(yint*(npts-1));
f=fftshift(f);
cx=npts/2+1;cy=cx;
for I=1:npts
freqx=(I-cx)*wnx;
for J=1:npts
```

```
freqy=(J-cy)*wny;
freq=sqrt(freqx*freqx+freqy*freqy);
fz(I,J)=f(I,J)*(freq^n);
end;
end;
fz=fftshift(fz);fzinv=ifft2(fz);
dz=real(fzinv(1+rdiff:nr+rdiff,1+cdiff:nc+cdiff));
```

```
function pt=taper2spline(p)
```

```
%Function taper2spline Merges edges to the value opposite using a cubic spline
```

```
[nr,nc]=size(p);
nmax=max([nr,nc]);
npts=2^nextpow2(nmax);
cdiff=floor((npts-nc)/2);rdiff=floor((npts-nr)/2);
pt=zeros(npts);pt(rdiff+1:rdiff+nr,cdiff+1:cdiff+nc)=p;
gp=p(:,1:3);[gpx1,junk]=gradient(gp);
%sides
gp=p(:,nc-2:nc); [gpx2,junk]=gradient(gp);
x1=0; x2=(2*cdiff)+1;
x=[1 1 0 0;x1 x2 1 1; x1^2 x2^2 2*x1 2*x2; x1^3 x2^3 3*x1^2 3*x2^2];
for I=1:nr:
  y=[p(I,nc) p(I,1) gpx2(I,3) gpx1(I,1)];
  c=y/x;
  for J=1:cdiff;
     pt(I+rdiff,J)=c(1)+(J+cdiff)*c(2)+c(3)*(J+cdiff)^{2}+c(4)*(J+cdiff)^{3};
     pt(I+rdiff,J+nc+cdiff)=c(1)+J*c(2)+c(3)*J^2+c(4)*J^3;
  end:
end:
               [junk,gpx1]=gradient(gp); % top and bottom
gp=p(1:3,:);
gp=p(nr-2:nr,:); [junk,gpx2]=gradient(gp);
x1=0; x2=(2*rdiff)+1;
x=[1 1 0 0;x1 x2 1 1; x1^2 x2^2 2*x1 2*x2; x1^3 x2^3 3*x1^2 3*x2^2];
for J=1:nc;
  y=[p(nr,J) p(1,J) gpx2(3,J) gpx1(1,J)];
```

1.1

```
c=y/x;
  for I=1:rdiff;
     pt(I,J+cdiff)=c(1)+(I+rdiff)*c(2)+c(3)*(I+rdiff)^{2}+c(4)*(I+rdiff)^{3};
     pt(I+rdiff+nr,J+cdiff)=c(1)+I*c(2)+c(3)*I^2+c(4)*I^3;
  end;
end;
for I=rdiff+nr+1:npts; % Corners
  for J=cdiff+nc+1:npts;
             (I-nr-rdiff)>(J-nc-cdiff);
                                             pt(I,J)=pt(I,nc+cdiff);
     if
                                                                           else
pt(I,J)=pt(nr+rdiff,J); end;
  end;
end;
for I=1:rdiff;
  for J=1:cdiff;
     if I>J; pt(I,J)=pt(rdiff+1,J); else pt(I,J)=pt(I,cdiff+1); end;
  end;
end;
for I=1:rdiff; % bottom right
  for J=cdiff+nc+1:npts;
     if I>(npts-J); pt(I,J)=pt(rdiff+1,J); else pt(I,J)=pt(I,cdiff+nc); end;
  end;
end;
for I=rdiff+nr+1:npts; % top left
  for J=1:cdiff;
     if (npts-I)>J; pt(I,J)=pt(rdiff+nr,J); else pt(I,J)=pt(I,cdiff+1); end;
  end:
end;
```

و: محاسبه سيگنال تحليلي دو بعدي [حداديان،1390]

function ASA=ASA2D(p,xint); %Function ASA2D computes the amplitude of the analytic signal of a function % measured along X axis %Input : %P IS a matrix with nr rows and nc columns % xint is the distance between gridded data in direction of x in %unit of km, %output: %Magnitude of the analytic signal ,ASA. nc=length(p); [zx]=gradient(p,xint); Fzx=fft(zx); Fzx=fftshift(Fzx); F=zeros(1,nc); F(1:floor(nc/2))=0\*Fzx(1:floor(nc/2));F(ceil(nc/2))=Fzx(ceil(nc/2)); F(ceil(nc/2)+1:nc)=2\*Fzx(ceil(nc/2)+1:nc);Fzx=fftshift(F); fzx=ifft(Fzx); ASA=abs(fzx); end

### Abstract:

Images formed out of the interpretation of ground gravity data are used to discover mineral resources, cavities, hydrocarbon reserves, etc. In these images, it is crucial to detect the boundaries and edges of gravity data which are the result of gravity difference at those points. Presence of noise and aliasing makes it difficult to interpret these images; therefore, the effect of disturbing factors such as sources of noise and the impacts of depth, source slope, and the overlap between sources which impedes correct interpretation must be undermined or modified by using different filters. Different filters, of which no single one can have all the characteristics of others, are used in edge detection of potential field anomalies.

This study develops the generalized derivative operator filter to detect the boundary of anomalous sources such as empty underground spaces which are caused by gravity difference at those points. The results of application of this filter to the gravity data are compared to the results obtained using other filters such as analytical signals, total horizontal derivative, theta map, etc.

For this purpose, first the required codes and functions are obtained using MATLAB software and, afterwards, the filters are applied to synthetic models so that the capabilities of each of the filters in detecting the boundaries of anomalous sources are determined. By applying the filters to the gravity data obtained by the synthetic models, it is found that the generalized derivative operator filter yields good results in comparison to other filters. Considering that filters have different efficiencies when dealing with actual gravity data, the study carries out gravimetric operations on Dehmolla Educational Mine Tunnel, Shahrood, Iran. It should be noted that in this study empty spaces are the dimensions and boundary of Dehmolla Educational Mine Tunnel which can be studied as an actual underground cylindrical model. After correcting the data obtained, by applying different filters to the gravity data of Dehmolla Educational Mine Tunnel, it is found that the generalized derivative operator filter generalizes some of the effects of analytical signal filters, total horizontal derivative, theta map, etc.

The filter's characteristics which distinguish it from other filters include its controllable directional sensitivity and high resistance to noise. The disadvantages of the filter include failure to precisely detect the edges and boundaries of anomalous sources in relation to the total horizontal derivative filter.

Keywords: Gravimetry, Generalized derivative operator filter, Edge detection,

Gravity Anomaly, Educational mine tunnel Dehmolla-shahrood.



## University of Shahrood Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics

# Potential field anomaly separation using generalized derivative operator

## (Case study: Dehmolla mine - Semnan Province)

Naser Farsi

Supervisors:

Dr. Ali Nejati kalate

Advisors:

Dr. Hamid Aghajani

Dr. Amin Roshandel Kahoo

September 2015