

مبانی روش مدل‌سازی نمودارهای احتمال در مقایسه با روش‌های متداول تفکیک آنومالی‌های گرانی‌سنجی

سمیه طبسی^{۱*}؛ رضا قوامی ریابی^۲؛ فرامرز دولتی ارده جانی^۳

۱- دانشجوی دکتری مهندسی اکتشاف معدن، دانشگاه شاهرود

۲- استادیار دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه شاهرود

۳- استاد دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تهران

چکیده

آنومالی‌های گرانی ترکیبی از اثرات ساختارهای با چگالی و عمق مختلف می‌باشند. روش‌های مختلف تفسیر داده‌های گرانی نظیر آنالیز سطح روند، فیلترسازی و روش‌های تحلیلی، با تفکیک داده‌ها به مؤلفه‌های مختلف باقیمانده و ناحیه‌ای مربوط به ساختارهای مختلف، اطلاعات مفیدی از ویژگی‌های ساختارهای عمومی منطقه مورد نظر نشان می‌دهند. با وجود پیشرفت در روش‌های تفکیک آنومالی طی دهه‌های گذشته، هنوز تفکیک کامل اثرات باقیمانده از ناحیه‌ای امکان‌پذیر نیست. به عبارت دیگر، آنومالی‌های ناحیه‌ای تفکیک یافته هنوز شامل اثرات آنومالی‌های باقیمانده می‌باشند. با مدل‌سازی نمودارهای احتمال داده‌های خام گرانی و تعیین روندهای ناحیه‌ای و باقیمانده (زیر جوامع موجود در داده‌ها) و حد استان‌های شروع هر کدام از زیر جوامع بر اساس نمودارهای با شیب‌های مختلف، تفکیک داده‌های گرانی‌سنجی امکان‌پذیر است. در این مقاله مبانی روش مدل‌سازی نمودارهای احتمال با روش‌های متداول تفکیک آنومالی‌های گرانی‌سنجی مقایسه شده و روش مدل‌سازی نمودارهای احتمال به عنوان راه حل ساده‌ای در تفکیک داده‌های گرانی‌سنجی پیشنهاد گردیده است.

کلمات کلیدی

گرانی‌سنجی، تفکیک آنومالی، نمودارهای احتمال، مقادیر ناحیه‌ای، مقادیر باقیمانده

۱-مقدمه

انتخاب روش حذف اثر منطقه‌ای به عوامل زیادی از جمله حجم کاری که باید انجام شود، پیچیدگی نقشه گرانی، توزیع و پراکندگی ایستگاه‌های برداشت و کیفیت داده‌ها [۴] بستگی دارد.

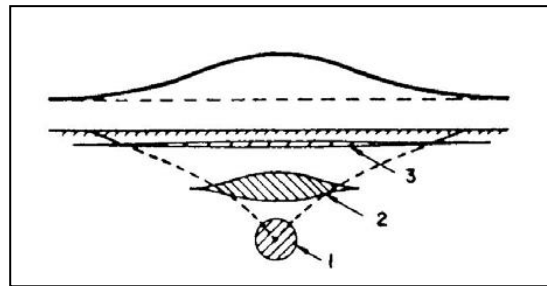
اگر چه روش‌های کلاسیک تفکیک داده‌های گرانی‌سنجی نظیر آنالیز سطح روند، فیلترسازی و روش‌های تحلیلی اطلاعات مفیدی را از ویژگی‌های ساختارهای عمومی منطقه نشان می‌دهند، اما طی دهه‌های گذشته در اصول و مبانی کاربردی این روش‌ها تغییراتی ایجاد نشده است. در برخی از این روش‌ها، بخشی از اطلاعات حذف می‌گردند و در شماری از آن‌ها نسبت به سیستم تفکیک داده‌ها کنترل زیادی وجود ندارد و شاید ماهیت داده‌ها در روند تفکیک سازی دیده نمی‌شود.

به منظور رسیدن به شناخت بهتر از داده‌های گرانی‌سنجی، طی سال‌های اخیر، روش‌های جدیدی نظیر روش اجزاء محدود [۶][۷]، روش Differential markov Optimal Robust (DMRF) [۸]، روش Regional- Residual Separator [۹] و روش‌های دیگری پیشنهاد شده است که محدودیت‌های کمتری نسبت به روش‌های متداول تفکیک داده‌های گرانی‌سنجی داشته و در تفکیک مؤلفه ناحیه‌ای و باقیمانده دقت بیشتری دارند و از میزان اثرات مؤلفه ناحیه‌ای در مؤلفه باقیمانده تفکیک یافته کاسته‌اند.

نمودارهای احتمال از جمله روش‌هایی می‌باشند که جهت بررسی ساده و سریع حجم زیادی از داده‌ها با کمترین محاسبات ممکن سعی می‌شود تا بر اساس نحوه پراکندگی داده‌ها به جداسازی روندهای موجود در بین آن‌ها پرداخته شود [۱۰][۱۱][۱۲]. بر اساس مدل‌سازی داده‌ها بر روی نمودار احتمال این امکان وجود دارد تا آن بخش از داده‌ها را که وابسته به مؤلفه باقیمانده یا آنومالی هستند شناسایی، و ویژگی‌های آن‌ها را بررسی نمود. علاوه بر این، روش مذکور جهت فرموله کردن استانداردهای پاک‌سازی در خاک‌های آلوده [۱۳] می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

این مقاله ضمن بررسی اصول روش مدل‌سازی نمودارهای احتمال و مبانی روش‌های کلاسیک و متداول تفکیک داده‌های گرانی‌سنجی و بیان مزایا و محدودیت‌های هر کدام از این روش‌ها، روش مدل‌سازی نمودارهای احتمال را به عنوان روشی جدید و کاربردی جهت تفکیک داده‌های گرانی‌سنجی پیشنهاد می‌نماید.

کاوش‌های گرانی‌سنجی به اندازه‌گیری تغییرات میدان گرانی ناشی از اثر توزیع ناهمگون چگالی در زیر سطح زمین می‌پردازد. داده‌های حاصل از برداشت‌های گرانی‌سنجی، تأثیرات اجسام گوناگون موجود در اعماق مختلف با چگالی‌های متفاوت را نشان می‌دهند. به دلیل اثرگذاری آنومالی‌های منابع مختلف زیرسطحی روی گرانی اندازه‌گیری شده و عدم منحصر به فرد بودن آنومالی گرانی حاصل از یک منبع زیرسطحی (شکل ۱)، تعداد بی شماری اشکال زیرسطحی مختلف می‌توانند به عنوان منبع ایجادکننده آنومالی‌های یکسان در نظر گرفته شوند [۱][۲].



شکل ۱: کره عمیق‌ترین توده‌ای است که می‌توان آنومالی تولیدشده را به آن نسبت داد. توده‌های ۲ و ۳ نیز می‌توانند مولد این آنومالی باشند (جرم کل سه توده یکسان است) [۳].

برای کاستن از دامنه ابهامات علاوه بر استفاده از اطلاعات زمین‌شناسی باید به تعبیر و تفسیر داده‌های اندازه‌گیری شده پرداخت. تعبیر و تفسیر داده‌های گرانی‌سنجی، مهم‌ترین مرحله در به‌کارگیری روش‌های گرانی‌سنجی است. در این مرحله با تفکیک و جداسازی داده‌های اندازه‌گیری شده، سعی می‌شود به هدف اصلی پروژه‌های اکتشاف ناحیه‌ای که بررسی در خصوص وجود یا عدم وجود منبع مولد آنومالی زیرسطحی است، پرداخته شود.

برآیند اثر ساختارهای مختلف به صورت طیفی از آنومالی‌های مربوط به ساختارهای محلی با طول موج کوتاه و آنومالی‌های ناحیه‌ای با طول موج بلند و فرکانس فضایی پایین که مربوط به ساختارهای عمقی‌تر است، ظاهر می‌شود [۲][۴][۵]. در کارهای اکتشافی گرانی، معمولاً آنومالی‌های ناحیه‌ای را از روی آنومالی‌های مشاهده‌شده حذف می‌نمایند [۱] تا مؤلفه باقیمانده (پس ماند) که مربوط به اختلاف چگالی بخش‌های سطحی‌تر است و سهم کوچکی در گرانی مشاهده‌شده دارد، ظاهر شود. تأثیرات منطقه‌ای را به وسیله روش‌های محاسباتی یا ترسیم می‌توان از بین برد [۲].

۲- مروری بر ابهامات موجود در روش‌های متداول تفکیک آنومالی‌های گرانی‌سنجی

ساده‌ترین روشی که به صورت معمول جهت تفکیک داده‌های گرانی‌سنجی بکار می‌رود، روش‌های ترسیمی است. در روش‌های ترسیمی، یک روند ناحیه‌ای به صورت تجربی و بصری بر مقادیر گرانی مشاهده‌شده برازش شده و با تفریق نقطه نقطه آن از گرانی بوگه، مقادیر باقیمانده حاصل می‌شود [۴][۱۴].

در روش‌های تحلیلی برای محاسبه مؤلفه ناحیه‌ای گرانی هر ایستگاه، معمولاً از یکسری آباک‌های دایره‌ای با شعاع مختلف، متناسب با مقیاس نقشه گرانی استفاده می‌شود [۱۵]. نتیجه حاصل از روش‌های تحلیلی به شعاع دایره انتخاب‌شده جهت محاسبه مؤلفه ناحیه‌ای بستگی دارد. اندازه و شکل واحدهای در نظر گرفته‌شده روی نقشه گرانی، تعداد نقاط در نظر گرفته‌شده روی نقشه جهت محاسبات به ازای واحد مساحت و حساسیت نقاط انتخابی به تغییرات جانبی در نقشه گرانی از جمله فاکتورهای هستند که بر شکل نقشه گرانی باقیمانده تأثیر می‌گذارند [۱۶]. اما مهم‌ترین مسئله‌ای که باید در نظر گرفت حجم کار زیاد روش‌های تحلیلی است که به تجربه شخص مفسر نیاز دارد.

فیلترسازی داده‌های گرانی‌سنجی، یک فرآیند ریاضی است که برخی مؤلفه‌های طول موج را افزایش می‌دهد. به طور مثال با جدا نمودن مؤلفه آنومالی ناحیه‌ای با طول موج بلند، مؤلفه آنومالی باقیمانده که شامل مؤلفه‌های با طول موج کوتاه است باقی می‌ماند. توسط این روش‌ها در واقع یک نوع هموارسازی انجام می‌شود. فیلترهای گسترش به بالا و پایین‌گذر، اثرات فرکانس‌های بالا، نزدیک سطح و توده‌های کوچک را از میدان گرانی حذف نموده و میدان هموارتری که حاصل منابع عمیق تر و با چگالی بیشتر است، نشان می‌دهد [۱۷]. اما باید به این مسئله توجه داشت که نتیجه حاصل از گسترش به بالا فقط یک تخمین است چون عمل گسترش به بالا جاذبه محلی را از منطقه‌ای جدا نمی‌کند [۱۸].

تابع گسترش به پایین و فیلتر بالا‌گذر با حذف بی‌نظمی‌های با فرکانس بالای نزدیک سطح، آنومالی ایجاد می‌کند که واضح تر شده است. اما همزمان با این فرآیند، نویزهای کوچک موجود در میدان گرانی اولیه گسترده‌تر شده و ممکن است باعث پیچیده‌تر یا مخفی شدن سیگنال‌های مورد نظر شود [۱۷]. آنومالی‌های ناحیه‌ای و عمیق به دلیل خطی بودن، در

نقشه‌های حاصل از فیلتر مشتق خیلی ضعیف بوده یا از بین می‌روند [۱۵] و توسط نقشه مشتق شکل تقریبی از منبع آنومالی به دست می‌آید [۱۹]. اما درعین حال در نقشه‌های مشتق دوم نویز تقویت شده و آنومالی‌هایی دیده می‌شود که ساختارهای واقعی را مخفی نموده‌اند [۲].

مدل‌سازی و تحلیل روند سطحی نیز یکی از روش‌هایی است که توسط محققین زیاد جهت تفکیک اثرات ناحیه‌ای و باقیمانده داده‌های گرانی‌سنجی بکار رفته است. در این روش سعی می‌شود از طریق تکنیک‌های حداقل‌سازی مربعات [۲۰][۲۱][۲۲] سطح بهینه‌ای که از طریق ریاضی قابل توصیف باشد به عنوان اثر ناحیه‌ای گرانی بر داده‌ها انطباق یابد [۲۳] و سپس مؤلفه باقیمانده با کسر آن از مقادیر مشاهده‌شده حاصل می‌شود. انتخاب درجه این روند سطحی به پیچیدگی زمین‌شناسی منطقه بستگی دارد [۲۳]. اما انتخاب چند جمله‌ای‌های با درجه خیلی بالا ممکن است موجب تفکیک سیگنال‌های نامناسب شود. نتایج تحلیل‌های روند سطحی به تعداد نقاط برداشت و یکپارچگی (توزیع یکنواخت) این نقاط بستگی دارد، هرچه تعداد نقاط برداشت بیشتر بوده و یکپارچگی بیشتری داشته باشند روندهای تخمینی دقت بیشتری داشته و ویژگی‌های متغیر مورد نظر را بهتر نشان می‌دهد.

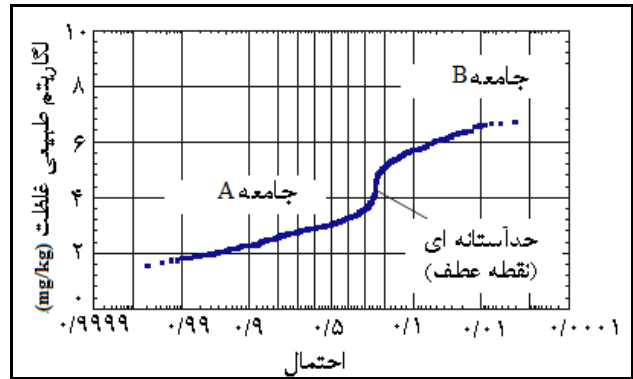
۳- مدل‌سازی نمودار احتمال داده‌های گرانی‌سنجی

فرآیندهای زمین‌شناسی، تکتونیکی و کانی‌سازی مختلف (غنی‌شدگی و تهی‌شدگی سنگ‌ها نسبت به بعضی از مواد معدنی) باعث تشکیل کانسارها و ذخایر متنوع در اعماق مختلف یک منطقه می‌شوند. مجموعه‌ای از این عوامل سبب ایجاد تغییرات در شتاب جاذبه و گرانی ثبت‌شده می‌گردد، به‌طوریکه در داده‌های اندازه‌گیری شده جوامع آماری مختلف آنومالی، زمینه و جامعه گذر بین این دو حد دیده می‌شوند. نمودار احتمال گرافی است که به صورت نرمال یا لگاریتمی ترسیم‌شده و جهت بررسی نوع توزیع داده‌ها بکار می‌رود [۲۴][۲۵]. با رسم فراوانی نسبی جمع‌ی داده‌ها در برابر مقدار پارامتر مورد مطالعه، نمودار احتمال داده‌ها به دست خواهد آمد. در شکل (۲) نمونه‌ای از نمودار احتمال یکسری از داده‌ها مربوط به غلظت عنصر روی در خاک منطقه اهلیو نمایش داده‌شده است. همان طور که دیده می‌شود، نمودار احتمال داده‌ها دو جامعه A و B را با روندهای مختلف نشان می‌دهد.

روند خطی حاکم بر نمودارهای احتمال، می‌تواند معیاری برای تشخیص نحوه پراکندگی داده‌ها باشد. در شرایط

هایی که دارای زیر جوامع مختلف می‌باشند، علاوه بر رسم نمودار احتمال و انطباق بهترین مدل بر داده‌ها سعی می‌شود تا خطوط مختلفی که هر یک معرف اختصاصات خاص یک زیر جامعه است، ترسیم گردند و به این ترتیب فرآیند تفکیک جوامع صورت می‌گیرد. البته این مسئله در حالت ساده قابل حل است و به محض زیاد شدن تعداد زیر جوامع و همپوشانی آن‌ها، جدایش به صورت کامل انجام نمی‌شود [۱۳]. با کاهش تعداد داده‌ها یا وابستگی بین آن‌ها نیز جدایش جوامع به کمک نمودارهای احتمال امکان‌پذیر نیست [۳۰]. با تغییر میزان پراکندگی یا تغییرپذیری بین داده‌ها، شیب روندهای خطی هر یک از جوامع نیز تغییر خواهد کرد. به طور کلی در صورتی که داده‌ها بر روی نمودار احتمال با یک مقیاس رسم شوند، آنگاه خطی که دارای شیب بیشتری است در واقع نشان‌دهنده تغییرات بیشتر داده‌ها است. درحالی‌که خطوط با شیب ملایم نشان‌دهنده میزان پراکندگی کمتر می‌باشند [۲۴]. در انتهای فرآیند جداسازی جوامع و دسترسی به بهترین مدل، اختصاصات، محدوده تغییرات یا حدود استان‌های و سهم هر زیر جامعه از کل داده‌های برداشت‌شده منطقه محاسبه می‌گردد. توجه عملی تعداد زیر جوامع موجود موضوع بسیار مهمی است که باید بر اساس اطلاعات زمین‌شناسی و اکتشافی به دست آمده از منطقه قابل پذیرش باشد. در شکل (۳) داده‌های گرانی‌سنجی (دوایر توخالی) مورد مثال که مربوط به یک تاق‌دیس می‌باشند بعد از گروه‌بندی بر روی نمودار احتمال مدل‌سازی شده (منحنی پیوسته‌ای که از بین دوایر تو خالی عبور می‌کند) نشان داده شده‌اند. بر اساس نتیجه مدل‌سازی بیش‌ترین انطباق ممکن بین مدل و داده‌های خام با لحاظ کردن چهار زیر جامعه حاصل می‌گردد. مبنای تفکیک این زیر جوامع بر اساس تحلیل تغییرپذیری داده‌های خام است، به طوری که داده‌ها چهار روند تغییرپذیری را در درون خود نمایش می‌دهند که هر یک از این روندها شیبی متفاوت با روندهای دیگر دارند که این مطلب گویای حضور چهار زیر جامعه با اختصاصات متفاوت در بین کل داده‌ها است. زیر جوامع موجود در بین داده‌ها بر اساس اطلاعات زمین‌شناسی و اکتشافی به دست آمده از منطقه می‌توانند شامل مؤلفه ناحیه‌ای (روند یک و تقریباً دو)، بخش قاطی شده (مرز بین روند سه و چهار) و مؤلفه باقیمانده (روند چهارم) باشند. به این ترتیب داده‌های گرانی‌سنجی به زیر جوامع مختلف که هر بخش نشان‌دهنده تأثیر فرآیندهای زمین‌شناسی و تکتونیکی مختلف است تقسیم‌شده‌اند.

پراکندگی یکنواخت و تأثیر یک فرآیند یا فاز در تغییرپذیری فاکتور مورد ارزیابی، داده‌ها بر روی نمودار احتمال به روند خطی نزدیک می‌شوند. در هر شرایطی، ایجاد حالت کاملاً خطی ممکن است میسر نباشد. وجود فرآیندها یا فازهای متعدد می‌تواند تغییرات و پراکندگی وضعیت موجود را برهم زده و دچار انحرافات نماید [۲۷][۲۸][۲۹].



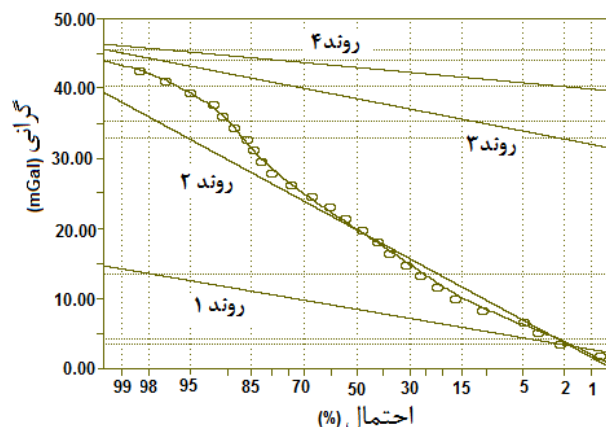
شکل ۲: نمونه‌ای از نمودار احتمال داده‌های غلظت عنصر روی در خاک منطقه اهلیو [۲۶]

پس از بررسی توزیع داده‌ها، به کمک مدل‌سازی نمودارهای احتمال می‌توان ویژگی‌های واقعی داده‌های را بررسی نمود. به منظور انجام بهترین برازش مدل بر داده‌ها، از تکنیک‌های حداقل سازی مربع انحرافات و تکرار مدل‌سازی استفاده می‌شود تا میزان انحراف (بخش تصادفی) مدل انطباق یافته بر داده‌ها طبق رابطه (۱) از داده‌های خام کاهش یافته و مدل برازش شده ویژگی‌ها و اختصاصات کامل داده‌های خام را نشان دهد.

$$(1) \text{ پاسخ مدل‌سازی نمودار احتمال} =$$

بخش تصادفی + مدل انطباق یافته

برازش یک خط راست بر این مدل (منحنی)، نشان‌دهنده حضور یک جامعه یا روند تغییرات در داده‌هاست. چنانچه مدل برازش یافته بر داده‌ها، روندهای مختلفی با انحرافات قابل ملاحظه (تغییر شیب) یا جدایش داشته باشد، نشان‌دهنده وجود چند زیر جامعه در بین داده‌ها است. به این ترتیب می‌توان داده‌های اندازه‌گیری شده را به زیر جوامع مختلف تفکیک نمود. از ویژگی‌های مدل‌سازی نمودار احتمال می‌توان به قابلیت این روش در جداسازی هر یک از این زیر جوامع از یکدیگر در یک فایل ورودی داده‌ها که همپوشانی دارند، اشاره نمود. میزان پراکندگی و متوسط تغییرات درونی داده‌های هر زیر جامعه، از جمله اختصاصات عمده در شناسایی آن زیر جامعه محسوب می‌گردد. در مدل‌سازی نمودار احتمال داده-



شکل ۳: نمودار احتمال داده‌های گرانی‌سنجی مدل‌سازی شده چهار معرف زیر جامعه در بین داده‌ها

۳-۱- تعیین حد آستانه‌ای جدایش مؤلفه باقیمانده

حد آستانه‌ای جدایش جوامع، نقطه جدایش و تغییر روند زیر جوامع مختلف بین داده‌های نمودار احتمالی است که همپوشانی دارند. با تعیین حد آستانه‌ای تفکیک جامعه آنومالی و زمینه می‌توان مقادیر گرانی آنومال را از مؤلفه ناحیه‌ای جدا نمود.

۴- مقایسه و نتیجه‌گیری

با بررسی اجمالی روش‌های متداول تفکیک داده‌های گرانی‌سنجی و روش مدل‌سازی نمودارهای احتمال می‌توان گفت: در روش‌های تحلیلی با استفاده از آباک‌های دایره‌ای مخصوص و اعمال ضرایب وزنی، مقادیر گرانی انتقال یافته و یا باقیمانده محاسبه می‌شوند. در روش تحلیل روند سطحی با اعمال یک سطح روند بر داده‌های مشاهده‌شده و حداقل سازی مربع انحرافات در نهایت، گرانی باقیمانده با کسر این روند از مقادیر مشاهده‌شده حاصل می‌شود. در روش مدل‌سازی نمودارهای احتمال، پس از ترسیم نمودار احتمال داده‌های خام، با تکرار مدل‌سازی و حداقل سازی مربع انحرافات، بهترین مدل بر داده‌ها برازش می‌شود. این مدل روندهای مختلف جوامع موجود در داده‌ها را نشان می‌دهد. با تعیین حد آستانه‌ای شروع هر کدام از جوامع، می‌توان به جامعه آنومالی (باقیمانده) نزدیک شد.

جهت کاربرد روش‌های متداول تفکیک داده‌های گرانی-سنجی، کسب اطلاعات اولیه در مورد داده‌ها لازم است. در اجرای این روش‌ها، نظرات شخصی مفسر در تعیین روند عمومی مؤلفه ناحیه‌ای و ضرایب وزنی لازم تأثیرگذار است. علاوه بر این، هنگام اعمال این روش‌ها محدوده‌ای از اطلاعات

آنومالی به صورت خودکار حذف می‌شوند و نقشه باقیمانده، هنوز شامل اثراتی از مؤلفه ناحیه‌ای است به عبارت دیگر تفکیک به صورت کامل انجام نمی‌شود. اما در مدل‌سازی نمودارهای احتمال، اثرات مؤلفه باقیمانده و ناحیه‌ای روی مدل، قابل مشاهده است. روی این مدل، حد تأثیر مؤلفه ناحیه‌ای قابل تشخیص بوده و محدوده قاطی شدگی اثرات ناحیه‌ای با مؤلفه باقیمانده مشخص است. با تعیین حد آستانه‌ای هر کدام از جوامع، مرز آغاز مؤلفه باقیمانده به عنوان داده‌های آنومال محاسبه می‌شود. به این ترتیب از آنجا که بهترین روش‌ها جهت تفکیک جوامع و تعیین حد آستانه‌ای جامعه آنومالی روش‌هایی هستند که با نظر شخصی همراه نبوده و داده‌های موجود بر روی مدل گویای تشخیص حدود باشند و علاوه بر افزایش احتمال تشخیص مناطق آنومال، میزان قاطی شدگی مقادیر زمینه را با مقادیر آنومالی کاهش دهد. لذا می‌توان روش مدل‌سازی نمودارهای احتمال را به عنوان روشی ساده و سریع جهت جداسازی حجم زیادی از داده‌های گرانی‌سنجی و تفکیک مقادیر باقیمانده از ناحیه‌ای با دقت زیاد معرفی نمود و با اجرای این روش و تشخیص محدوده آنومالی برنامه‌های بعدی اکتشاف را به این مناطق محدود ساخت.

۵- مراجع

[۱] کلاگری ع.ا، ۱۳۷۱، "اصول اکتشافات ژئوفیزیکی"، ۵۸۵ص.

[2] Reynolds J. M. 1997, *An introduction to applied and environmental geophysics*. John Wiley & Sons, 796 pp.

[۳] قوامی ربابی ر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد "تعبیر و تفسیر سه

fitting to gravitational data and density plotting by digital computers". Geophysics, v. r9_ p.p. 255-270.

[22] Agocs W. B. 1951, "Least squares residual anomaly determination". Geophysics, v. 16, p.p. 686-690.

[23] Dobrin M. B. and Savit C. H. 1988, *Introduction to Geophysical Prospecting*: Eds., Mc Graw-Hill 4, Canada, p.p. 600-607.

[۲۴] حسنی پاک ع.ا، شرف الدین م، " تحلیل داده‌های اکتشافی"، انتشارات دانشگاه تهران، ۸۵۰ص، ۱۳۸۴.

[25] Gilbert R.O. 1987, *Statistical Methods for Environmental Pollution Monitoring*. New York: Van Nostrand Reinhold.

[26] Craig A., George H. 1996, "Evaluation of background of metal concentrations in ohio soils". Cox- colvin & Associates, Inc. 18 pp.

[27] Hadley, A., Toumi, R. 2003, "Assessing changes to the probability distribution of sulphur dioxide in the UK using a lognormal model". Atmospheric Environment 37, p.p. 1461-1474.

[28] Park, H. M. 2008, "Univariate Analysis and Normality Test Using SAS, Stata, and SPSS". Technical Working Paper. The University Information Technology Services (UITS) Center for Statistical and Mathematical Computing, Indiana University.

[29] Sinclair A.J. 1991, "A fundamental approach to threshold estimation in exploration geochemistry. Probability plots revisited". Journal of Geochemical Exploration, 41, 1-22.

[30] Earth Tech, Inc., NewFields, Inc., Battelle. 2003, "Guidance for Environmental Background Analysis Volume III: Groundwater", 213 pp.

بعدی آنومالی‌های گرانی-سنجی با استفاده از تغییرات چگالی"، دانشکده معدن دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۷۲.

[4] Telford W. M., Geldart L. P. and Sheriff R. E. 1990, *Applied Geophysics*. Cambridge University press, 770 pp,

[5] Pawlowski R.S. 1994, "Green's equivalent-layer concept in gravity band-pass filter design". Geophysics 59, p.p. 69-76.

[6] Kaftan I., Salk M., Sari C. 2005, "Application of the finite element method to gravity data case study: Western Turkey". Journal of Geodynamics, 39, p.p. 431-443.

[7] Mallick K., Sharma K.K. 1999, "A finite element method for computation of the regional gravity anomaly". Geophysics 64 (2), p.p. 461-469.

[8] Uçan, O.N, Sen. B, Albora, M.A, Özmen. A. 2000, "A New Approach to Gravity Anomaly Separation: Differential Markov Random Field (DMRF)". Electronic Geosciences, ISSN, p.p. 1436-2511.

[9] Wessel, P. 1998, "An Empirical Method for Optimal Robust Regional-Residual Separation of Geophysical Data". Mathematical Geology, Vol. 30, No. 4.

[10] Sinclair A.J. 1974, "Selection of Threshold Values in Geochemical Data Using Probability Graphs". Journal of Geochemical Exploration, 3, p.p. 129-149.

[11] Sinclair, A.J, 1976, "Application of probability graphs in mineral exploration". Assoc. Explor. Geochem. 4,95(special volume).

[12] Parslow, G.R. 1974, "Determination of background and threshold in exploration geochemistry". Journal of Geochemical Exploration, 3, p.p. 319- 336.

[13] Fleischhauer Henry L. and Korte Nic. 1990, "Formulation of cleanup standards for trace elements with probability plots". Environmental Managements, Vol. 14, No. 1. pp. 95- 105.

[14] Nettleton, L. L. 1954, *Regional, residual and structures*. Geophysics, 19, p.p.1-22.

[۱۵] دولتی ارده جانی ف، پایان نامه کارشناسی ارشد " برداشت اطلاعات خام و تعبیر و تفسیر گرانی-سنجی منطقه اکتشافی مرودشت"، دانشکده معدن، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۷۲.

[16] Griffin, W. P. 1949, *Residual gravity in theory and practice*. Geophysics, 14, p.p.39-56.

[17] Hearst R. B., Morris W. A. 2001, " Regional gravity setting of the Sudbury Structure, Case History". Geophysics, 66, p.p. 1680-1690.

[18] Robinson E. S. and Coruh C. 1988, *Basic exploration geophysics*. John Wiley & Sons, 562pp.

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

[20] Abdelrahman E. M., Riad S., Refai E. and Amin Y. 1985, "On the least-squares residul anomaly determination". Geophysics, 50, p.p. 473-480.

[21] Simpson S. M. 1954, "Least squares polynomial