

مقایسه شبکه اندازه گیری گرانی در منطقه اسفراین با شبکه حاصل از آنالیز فرکتال

تاریخ دریافت مقاله: فروردین ۱۴۰۱

تاریخ پذیرش مقاله: خرداد ۱۴۰۱

علیرضا محسنلو^۱، اصغر تیموریان^۲، محمد معانی جو^۳

^۱ کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان.

^۲ دکتری ژئوفیزیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان.

^۳ دکتری زمین شناسی اقتصادی، دانشگاه بوعلی سینا همدان

نام نویسنده مسئول:

علیرضا محسنلو

چکیده

مکان ایستگاه‌های گرانی در اغلب موارد توزیع نامنظمی دارند. اگرچه یک آرایش داده ایده‌آل باید از نظر مکانی همگن باشد. ولی در اغلب موارد، بدلیل مشکلات دسترسی، این کار غیر ممکن است. مناطق زیر سطحی به دلیل منافع زمین‌شناسی بیشتر و یا سهولت دسترسی، متراکم‌تر نمونه برداری می‌شوند که این ناگزیر بصورت خطای درون یابی در محاسبه شبکه منظم از این توزیع داده نامنظم، اثر می‌گذارد. داده‌های گرانی سنجی معمولاً به صورت نقشه‌های رنگی با پربندی نمایش داده می‌شوند و ضروری است که به صورت یک شبکه منظم درون‌یابی شوند. از این شبکه درون‌یابی شده متعاقباً برای تهیه نقشه‌ای دیگر (مثلاً گرادیان افقی و قائم) از میدان گرانی‌سنجی استفاده می‌گردد. توزیع‌های ترکیبی از محل ایستگاه‌های گرانی در مطالعات تئوری استفاده می‌شود. و این مورد یافت شده که برای توزیع تصادفی داده‌ها یک فاصله از مقادیر وجود دارد، که برای توزیع فضایی داده‌ها، دارای بعد فرکتالی ۲ است، که وابسته به هندسه اقلیدسی می‌باشد. که با استفاده از روش شبکه‌بندی و با استفاده از آنالیز فرکتال بی‌هنجاری بوگه جدیدی را برای منطقه اسفراین بدست آورده و بر اساس آن به تحلیل دقیق‌تری از منطقه پرداخته شده است. بی‌هنجاری‌های مهم موجود در منطقه باز یابی می‌شوند. استفاده از روش تحلیل فرکتالی ذکر شده تعداد نقاط داده برداری را کاهش می‌دهد.

کلمات کلیدی: بی‌هنجاری بوگه، شبکه‌بندی، فرکتال، درون‌یابی، اسفراین.

مقدمه

تحلیل بعد فرکتالی برای طراحی شبکه برداشت داده گرانی دوبعدی انجام می‌پذیرد تا فاصله بهینه محاسبه گشته و در نتیجه نقشه بی‌هنجاری بوگه با کمترین تاثیر خاصیت الیاسینگ حاصل گردد (دیمیری، ۲۰۰۷)^۱.

با بهینه سازی تعداد نقاط برداشت تعدیل می‌شود. در این صورت حجم داده ها افزایش یافته، نیاز به حجم بالاتری از ظرفیت حافظه یارانه برای آنالیز داده می‌باشد و از طرفی هزینه‌های جانبی افزایش می‌یابد.

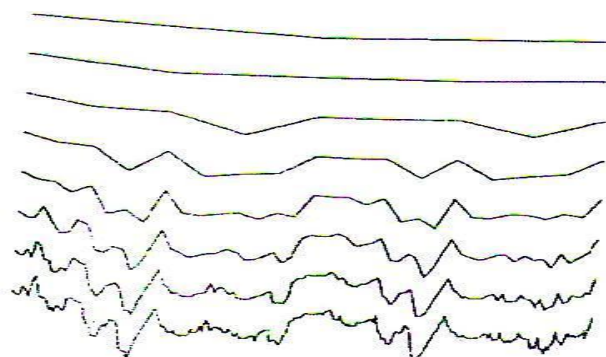
طراحی یک شبکه گرانی سنجی نقش مهمی را در بهینه سازی تعداد نقاط داده ایفا می‌کند. بیشتر مجموعه داده های ژئوفیزیکی بخصوص مشاهدات گرانی سنجی توزیع ناهمگنی را دارند. بنابراین طراحی شبکه گام مهمی به منظور بدست آوردن داده های لازم با حداقل هزینه و هم اجتناب از مشکلات مربوط به فواصل شبکه (داده برداری) می‌باشد. مشکلات داده برداری به طور کلی در مراحل پردازش حل نمی‌شوند.

(کروین، بوید وادود، ۱۹۹۰) نشان دادند که توزیع ایستگاه‌ها در آرایش داده‌های گرانی جنوب استرالیا می‌تواند بوسیله بعد فرکتالی توصیف شود. در این مقاله بعد فرکتالی آرایش داده‌های گرانی در یک منطقه از شمال شرقی کشور محاسبه می‌شود و فاصله شبکه بندی بهینه آن تعیین می‌گردد.

فرکتال ها

اشیای فیزیکی اطراف ما عموماً با یک، دو یا سه بعدی یا بدون بعد تعیین می‌شوند. ادراک فیزیکی ما قادر به تشخیص ابعاد بیشتر نیستند ناهمواری سطح کوه‌ها، شکل ابرهای متراکم، برگ‌درختان، جریان آشفته در رودخانه‌ها، مورفولوژی خطوط ساحلی و خیلی دیگر از رویدادهای طبیعی به وسیله ابعاد صحیح قابل تعریف نیستند (دیمیری، ۱۹۹۸).

در مراحل اولیه اکتشاف مواد معدنی و مراحل پی جویی و اکتشاف مقدماتی روش‌های سنتی و قدیمی به تدریج جای خود را به روش های نوین که از طبیعت الهام گرفته‌اند، می‌دهند. بعضی پدیده‌های اطراف ما در چارچوب هندسه اقلیدسی قابل توجیه نمی‌باشند. در هندسه اقلیدسی بعد، عدد صحیحی مانند یک، دو و سه می‌باشد. از این رو هندسه اقلیدسی می‌تواند پدیده‌های یک بعدی، دو بعدی، سه بعدی یا بیشتر را توضیح دهد. نگرش دیگر اینست که بعد پدیده‌ها را عدد صحیحی نپنداریم. بلکه بپذیریم که بعد می‌تواند به طور پیوسته از صفر تا یک و از یک تا دو و از دو تا سه و یا بیشتر تغییر کند. برای مثال، اگر خط یک بعدی و صفحه دو بعدی است، یک خط شکسته که صدها بار در یک صفحه شکسته می‌شود و شکلی را بوجود می‌آورد که می‌توان بر حسب شدت این شکست‌ها بعدی بین یک و دو به آن نسبت داد. در این صورت می‌توان آن را شکلی بین خط و صفحه معرفی کرد با بعد بین یک و دو شکل شماره (۱) تبدیل یک خط به صفحه و تغییرات بعد آن را نشان می‌دهد.



شکل (۱) روند تبدیل یک خط به صفحه و تغییرات بعد فرکتال آن

¹Dimiri

همان گونه که مشاهده می‌شود با افزایش شکستگی‌ها خط مورد نظر می‌تواند بعدی بیش از یک را اختیار کند. با افزایش تغییرات خط در بعد دوم، رفته رفته حالتی پیش می‌آید که تغییرات خط، کاملاً دو بعد را تحت پوشش قرار می‌دهد و به صفحه تبدیل می‌شود.

شبکه‌بندی و روش‌ها:

شبکه‌های ژئودزی یا شبکه نقاطی روی زمین با فرم‌های خاص، که با کمک اندازه‌گیری‌ها و کاربرد ریاضیات، موقعیت نسبی آنها در یک سیستم همگن مشخص می‌گردد و برای هر نقطه در یک سیستم خاص، مختصات تعیین می‌شود. در اکتشافات ژئوفیزیکی برخی از مهمترین خواص فیزیکی زمین توسط ابزارهای ویژه اندازه‌گیری شده و با تفسیر نتایج حاصله، شرایط زیر زمینی استنتاج می‌شود در اکتشافات ژئوفیزیکی معمولاً به دنبال یک ناهنجاری یا به زبانی انحراف از مشخصات یکنواخت زمین شناسی هستیم.

محاسبه بعد فرکتال داده های گرانی سنجی

داده های گرانی سنجی معمولاً بصورت نقشه های رنگی یا پربندی و کانتوری نمایش داده می شوند و بنابراین داده ها باید در یک شبکه منظم درونیابی شود. از این شبکه متعاقباً برای تهیه نقشه های دیگر (گرادیان قائم یا افقی) از میدان گرانی سنجی استفاده می گردد.

شبکه درونیابی شده باید نمایانگر داده های اصلی اندازه گیری شده باشد. نه تنها روش درونیابی باید خطای درونیابی را کمینه کند، همچنین باید بازه شبکه بندی یا درونیابی با دقت بسیار زیادی انتخاب شود.

اگر داده های مشاهده شده روی یک شبکه ساختار یافته منظم باشند قضیه شانون (بریلیون 1962) عنوان می کند که حداقل تعداد نمونه که برای بازسازی میدان گرانی لازم است بصورت زیر بدست می آید.

$$N = \pi x^2 / \lambda_{2 \min}^2$$

x اندازه مربعی منطقه است $\lambda_{2 \min}$ کوتاهترین طول موج در میدان است.

داده های گرانی بطور کلی در یک شبکه منظم برداشت نشده اند مطابق با تئوری شانون نیازمند به یک انتخاب است. نشان داده می شود که با استفاده از بعد فرکتال در یک آرایش داده ها، یک فاصله شبکه بندی مطلوب می تواند تعیین شود که در نتیجه آن نقشه‌ی شبکه بندی شده حاوی کمترین مقدار الیاسینگ می شود.

کروین و همکارانش (۱۹۹۰) نشان دادند که توزیع ایستگاه های آرایش داده های گرانی جنوب استرالیا می تواند بصورت مجموعه نقطه‌ای فرکتال با بعد همبستگی ۱/۴۲ مشخص شود.

آنها نتیجه گرفتند که درونیابی این مجموعه نقاط کم بعد، برخی فرکانس های الیاسینگ را در خود حفظ می کند که می تواند سبب تولید آنومالی های بدلی گردد. همه فرکانس ها تحت تاثیر قرار می گیرند اما اثر آنها در فرکانس های بالا بسیار بیشتر است. از روش شمارش جعبه ای عنوان شده توسط مندلبروت (۱۹۸۲) و شرح داده شده توسط فیدر (۱۹۸۸) برای تعیین بعد فرکتالی مجموعه داده گرانی استفاده می شود.

منطقه مورد مطالعه، به تعداد $N(\delta)$ مربعات مساوی به ضلع δ تقسیم می‌گردد که هر مربع یا جعبه (BOX) در بردارنده نقاط داده شمارش می‌گردد. این رویه برای یکسری از مربع ها با افزایش ضلع، تکرار می‌شود (فیدر، ۱۹۸۸).

بعد فرکتالی D_f از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$2 > D_f > 0 \quad N(\delta) \sim \delta^{-D_f}$$

بعد فرکتالی با رسم $\log N(\delta)$ در مقابل $\log \delta$ تعیین می‌شود و مستقل از واحدهای استفاده شده برای δ است.

همانطور که توسط لاجوی و شروتزر و لادوی (۱۹۸۶) نشان داده شد، بعد فرکتالی کمتر از ۲ میدان تحت نمونه برداری را با تعدادی الیاسینگ بازیابی می کند. آنها همچنین نشان دادند که یک آرایش داده با بعد فرکتالی Df کوچکتر از ۲، نمی تواند پدیده های پراکنده با بعد $Dp = 2 - Df$ را تشخیص دهد. آنها معیار جدیدی را برای ارزیابی آرایش داده ها بدست آوردند. برای افزایش رزولوشن مکانی، مجموعه داده باید دارای رزولوشن بعدی کافی باشند. بنابراین بعد فرکتال توزیع ایستگاه های گرانی در تئوری می تواند، برای پیش بینی یک شبکه درونیابی شده و کمک به انتخاب یک فاصله شبکه بندی مطلوب استفاده شود.

شبکه پیمایش گرانی منطقه مورد مطالعه (اسفراین) در شمال استان خراسان واقع شده و از نظر زمین شناسی در حوضه رسوبی کپه داغ واقع گردیده است. در این حوضه رسوبی که از دوره ژوراسیک آغاز گردیده نخست لایه های شیلی ماسه سنگی با سیمان آهکی تشکیل شده و بطور کلی با رسوبات آهکی مارنی، شیلی و ماسه سنگی ادامه یافته و با تشکیلاتی از نوع کنگلومرا، مارن و ماسه سنگ خاتمه می یابد. تشکیلات زمین شناسی محدوده مورد مطالعه متعلق به کرتاسه و دوران سوم و رسوبات عهد حاضر می باشد. واحدهای سنگی دوران دوم شامل آهک تیرگان و دوران سوم شامل تشکیلات قرمز رنگ از نوع ماسه سنگ و مارن و کنگلومرا و رسوبات آبرفتی عهد حاضر می باشد که بستر فعلی رودخانه را در بر گرفته است. ضخامت رسوبات کپه داغ در حالت کلی تا ۱۰۰۰۰ متر می رسد و شامل رسوبات مزوزوئیک و سنوزوئیک است که بر روی پس سنگ پالئوزوئیک و در راستای کلی شمال غرب - جنوب شرق در بخش شمال شرقی ایران کشیده شده است (آقاناتی، ۱۳۸۳).

تعبیر و تفسیر کیفی بی هنجاری بوگه منطقه اسفراین:

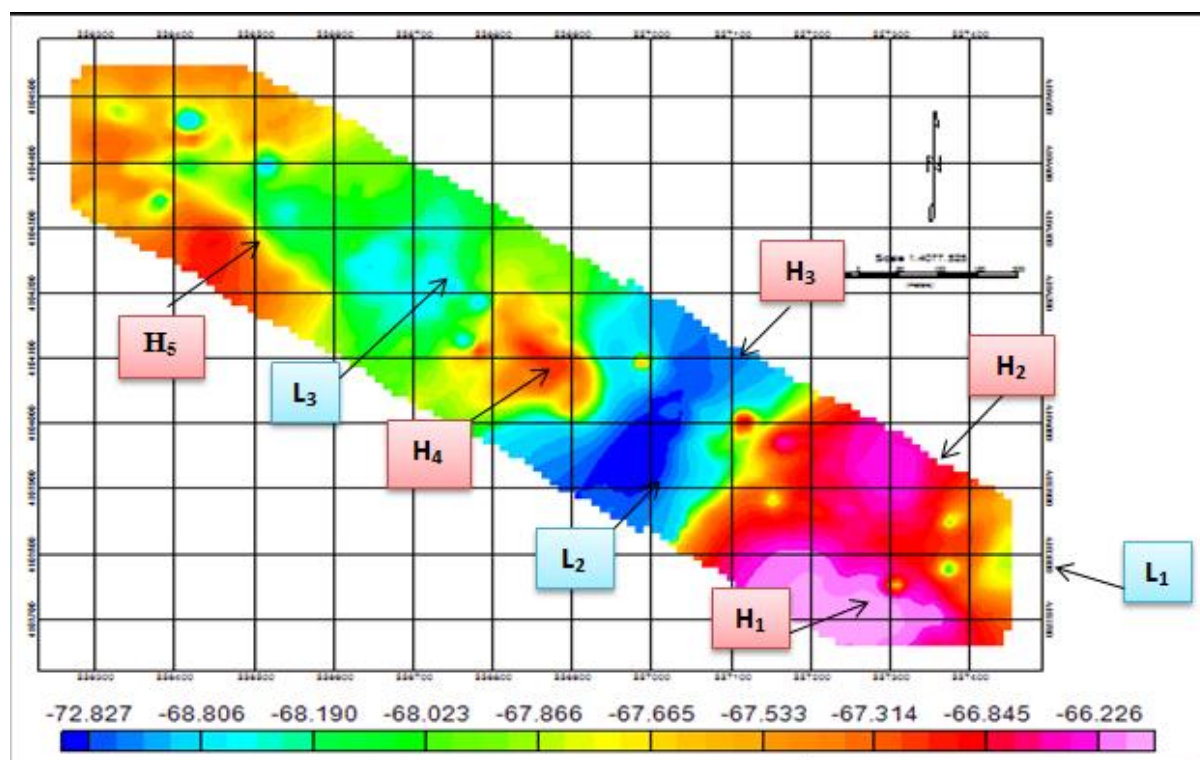
نقشه بی هنجاری بوگه در حالت کلی ساختمان های زمین شناسی منطقه را که از اثرات توده های مختلف در اعماق متفاوت قرار گرفته اند مورد بررسی قرار می دهد. اغلب روند ساختمان های بوجود آمده به علت عملکرد گسل های موجود دارای روند متفاوت می باشد.

ساختمان های اصلی بدست آمده در نقشه شامل سه عدد ناودیس^۲ بصورت آنومالی بسته و نیمه بسته می باشد که به اشکال زونار L_1 تا L_3 و پنج عدد تاقدیس^۳، اشکال زونار H_1 تا H_3 مشخص گردیده است. روند ناودیس نیمه بسته L_1 بصورت شمال غرب - جنوب شرق با اختلاف گرانی یک میلی گال با دامنه بلند از اثرات فرکانس پایین می باشد.

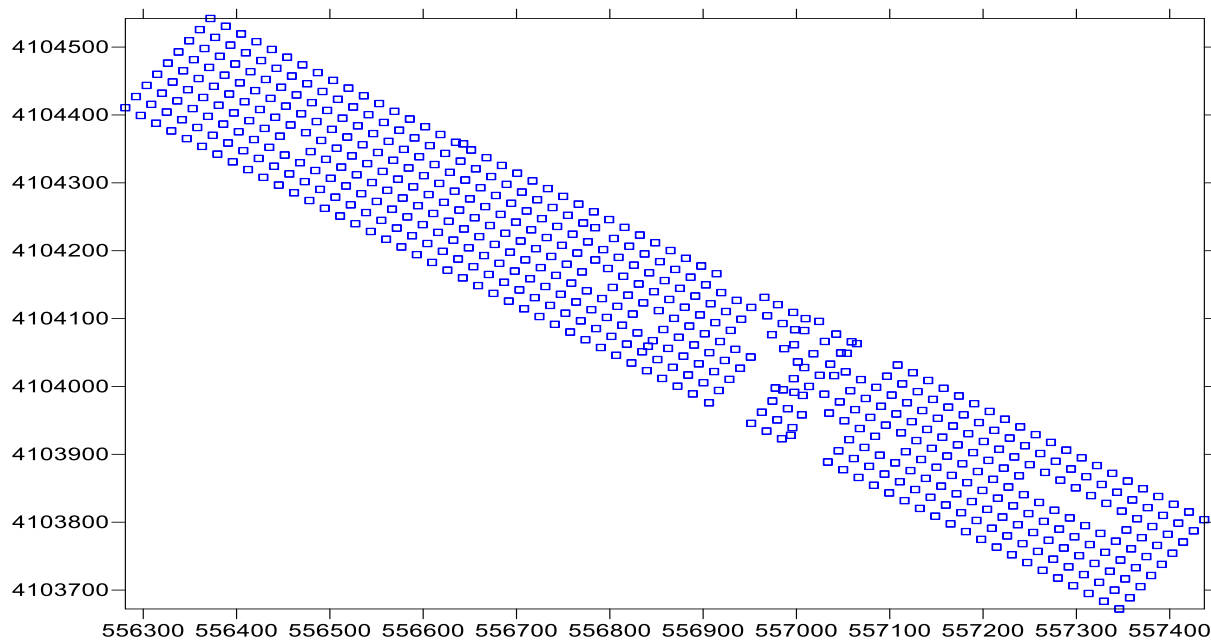
ناودیس حاصله در محل احداث سد با روند شمالی - جنوبی (L_2) نیز ناشی از اثرات فرکانس پایین با اختلاف گرانی شش میلی گال بصورت طول موج بلند منطقه نسبتاً وسیعی را در بر می گیرد. این ناودیس بوسیله دو گسل اصلی با همان روند در دو سمت رودخانه محدود می گردد که باعث پایین افتادن محل احداث سد و بالا آمدن دو طرف کوله سمت راست و چپ سد گردیده است. ناودیس L_3 با توجه به اثرات فرکانس پایین محدوده وسیعی را در نقشه آنومالی فراهم نموده که بصورت یک آنومالی نیمه بسته بطرف پایین دست رودخانه نمایان گشته است، ناودیس L_2 حاصله در محل احداث سد بوسیله دو عدد آنومالی بسته که ناشی از اثرات سطحی با فرکانس بالا و دامنه کوچک در داخل تشکیلات آهکی بوجود آمده اند و احتمالاً بصورت زونار خرد شده یا حفرات کارستی می باشند که به شکل عدسی در رسوب گذاری تشکیلات دیگر با دانسیته کم و یا زیاد نمایان می گردند، روند کلیه آنومالی های مثبت (High) بسته و نیمه بسته، شمال غرب - جنوب شرق می باشد که تاقدیس بسته H_4 با اختلاف بیش از یک میلی گال ناشی از اثرات عمیق با فرکانس پایین و طول موج نسبتاً وسیع در نقشه نمایان است که دارای روند شمال غرب - جنوب شرق است بقیه آنومالی ها بصورت نیمه بسته با اختلاف گرانی متفاوت می باشند که آنومالی های H_1 (High) و H_2 و H_3 ساختمان های بسته و نیمه بسته فراهم شده در دو طرف محور اصلی سد می باشند که در شکل (۲) با نرم افزار ژئوسافت نشان داده شده است.

² Low

³ High

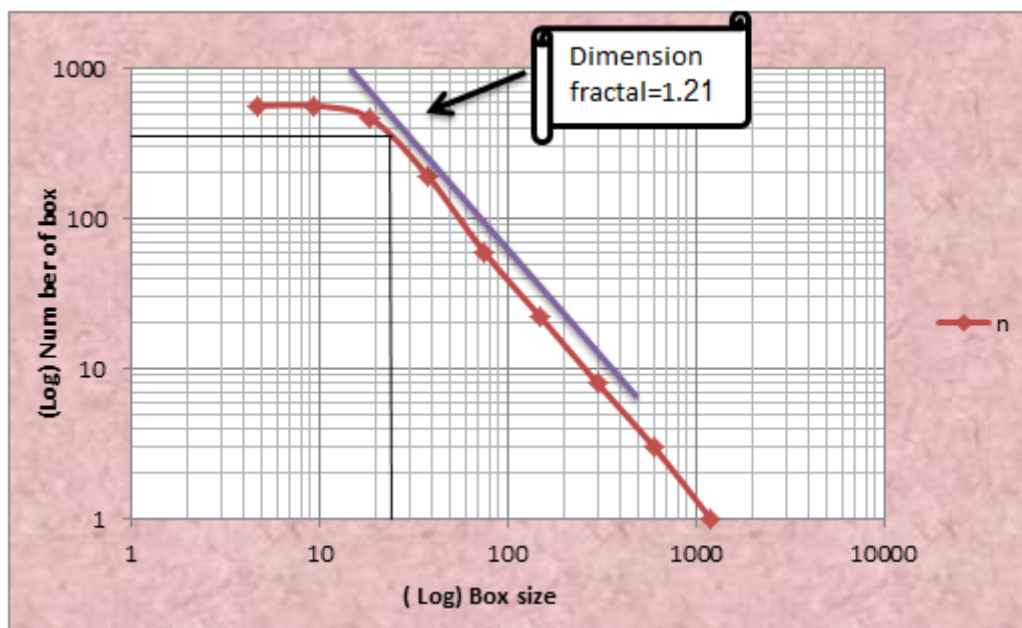


شکل ۲) نقشه بی‌هنجاری بوگه منطقه اسفراین (برحسب میلی‌گال)

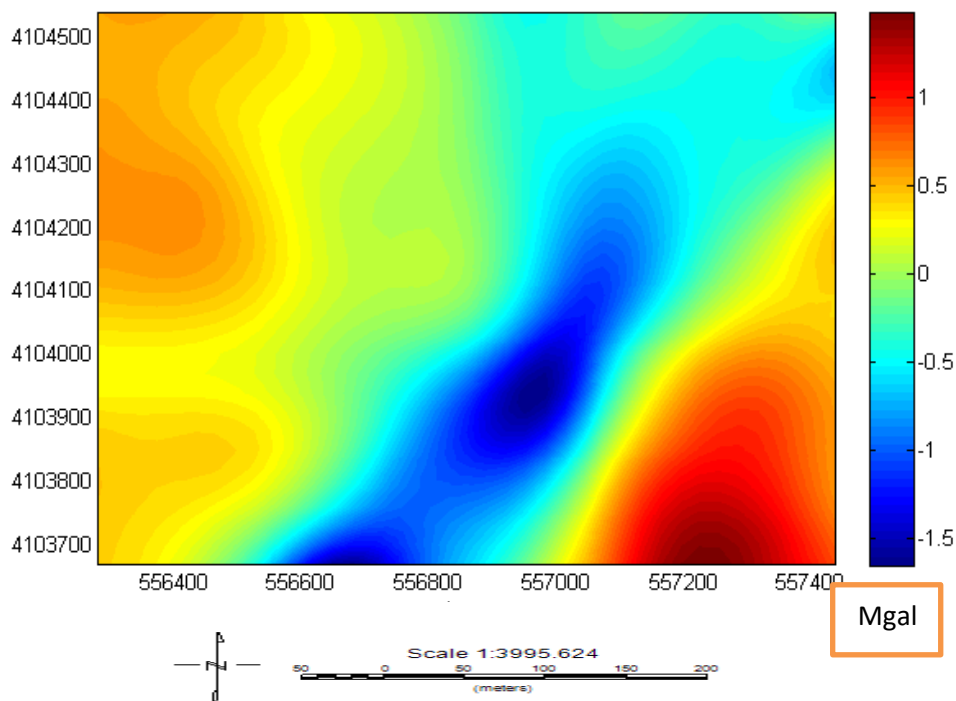


شکل ۳) مکان ایستگاه‌های گرانی در منطقه اسفراین واقع در خراسان شمالی را نشان می‌دهد.

بعد فرکتال شبکه گرانی منطقه اسفراین بصورت زیر محاسبه گردیده است.

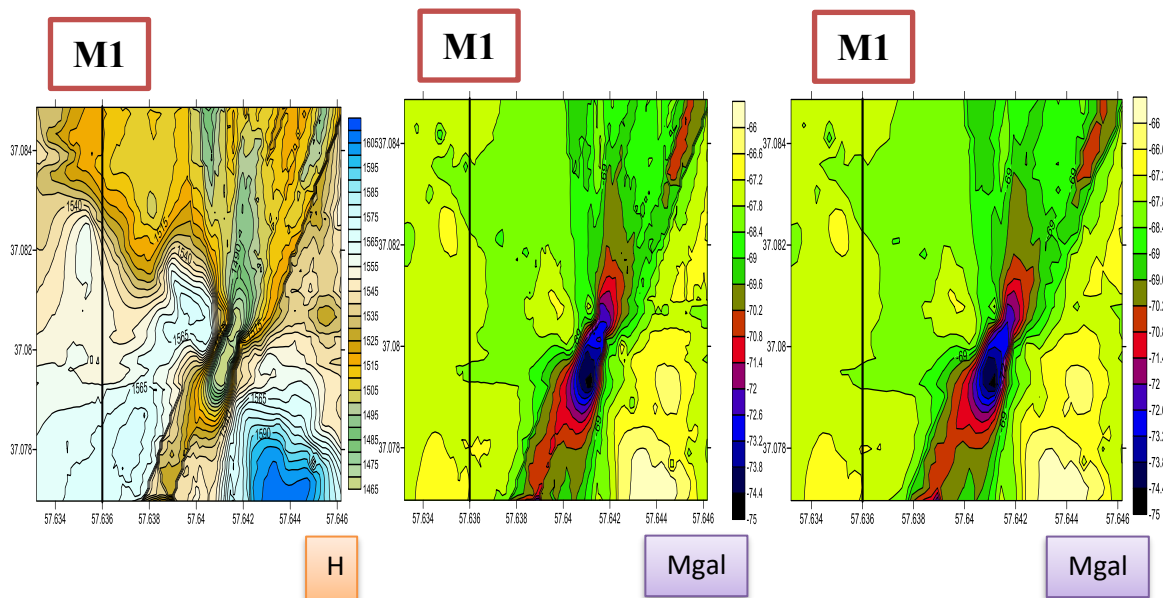


شکل شماره (۴) نتیجه روش box counting برای داده های گرانی منطقه اسفراین است. که فاصله شبکه بندی بهینه ۲۵متر می باشد، شیب خط برازش داده شده بعد فرکتال شبکه می باشد که برابر ۱.۲۱ می باشد. جهت بهتر نشان دادن تغییرات روی شبکه منطقه مورد مطالعه، بر روی نقشه بی هنجاری بوگه از فیلتر ادامه فراسو با ارتفاع ۸۰ متر استفاده کرده ایم. که در شکل (۵) نشان داده شده است که در حالت فراسو هر چه از سطح زمین بالاتر می رویم بی هنجاری های بزرگ بیشتر نشان داده می شود و سطحی ها حذف می شوند. در حالت فراسو با بالا رفتن از سطح زمین به علت نبود جرم مشکلی پیش نمی آید. همانطور که مشاهده می کنیم در حالت ۸۰ متر هر چه بالاتر می رویم بی هنجاری های کوچک حذف شده اند، و همچنین مقایسه روش فرکتال با روش ادامه فراسو بیانگر درستی روش فرکتال در شناسایی بی هنجاری های موجود در منطقه می باشد که روش ادامه فراسو با ارتفاع ۸۰ متر شباهت زیادی به روش فرکتال دارد که با نرم افزار متلب رسم شده است.



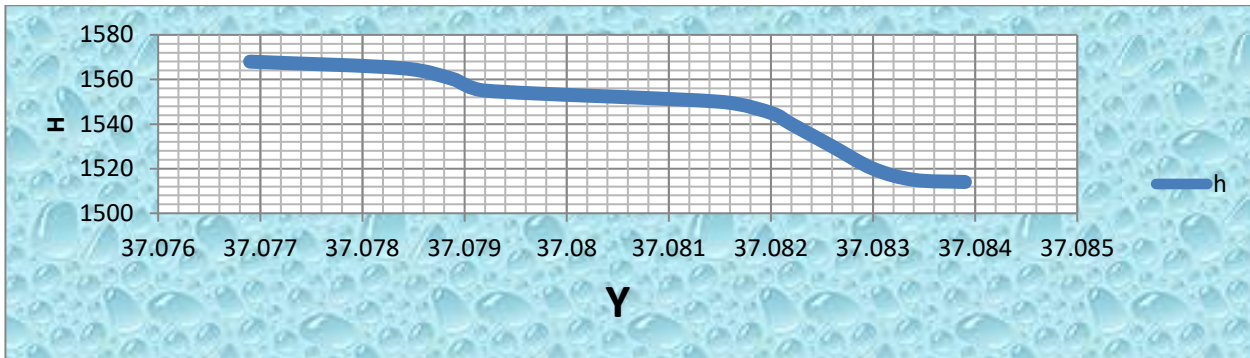
شکل (۵) نقشه بی‌هنجاری بوگه با فیلتر فراسوبا ارتفاع ۸۰ متر

رسم پروفیل در منطقه اسفراین:

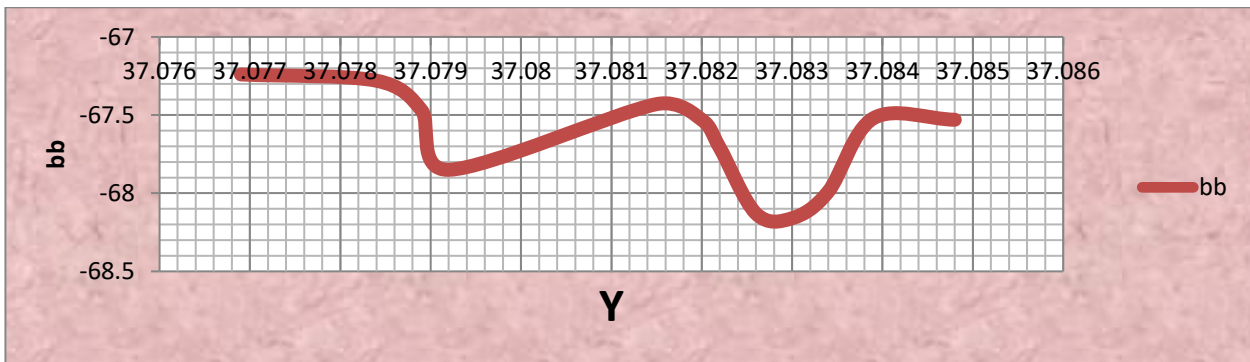


شکل (۶) پروفیل زنی بر نقشه پربندی توپوگرافی و بوگه عادی و بوگه بهینه منطقه مورد مطالعه

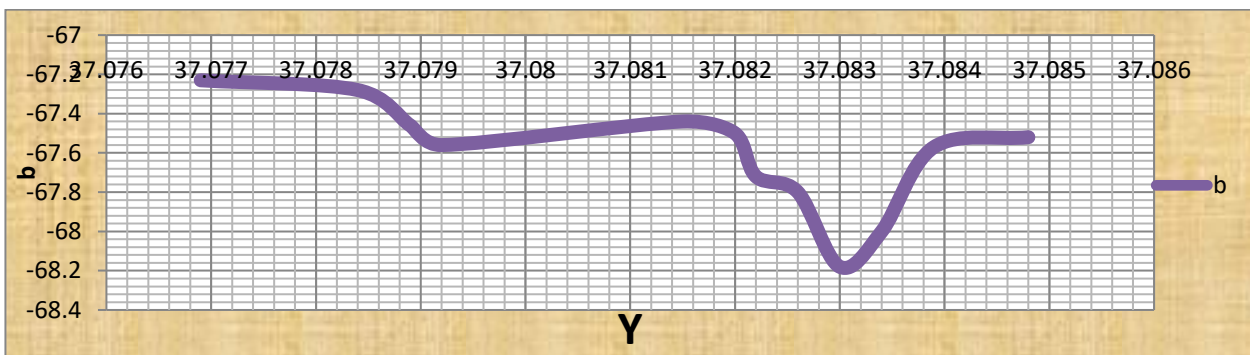
پروفیل‌های شمالی - جنوبی M1 (در توپوگرافی - آنومالی بوگه بهینه - آنومالی بوگه عادی):



شکل M1 پروفیل رسم شده شمالی - جنوبی توپوگرافی منطقه



شکل M1 پروفیل رسم شده شمالی - جنوبی بوگه بهینه منطقه



شکل M1 پروفیل رسم شده شمالی - جنوبی بوگه عادی منطقه

جدول های زیر با استفاده از روش برنامه آماری Spss (پیرسون: روشی پارامتری است و برای داده‌هایی با توزیع نرمال یا تعداد داده‌های زیاد استفاده می‌شود) به دست آمده است:

جواب همبستگی:

جدول شماره ۱ نتیجه اعمال روش کرولیشن بین (توپوگرافی - بوگه عادی) و (توپوگرافی - بوگه بهینه) در منطقه

	Correlation bouguer	Correlation optimal bouguer
M 1	.912199	.880099
M 2	.713887	.585812
M 3	0.842912	0.840214
M 4	0.940598	0.899037

جواب خودهمبستگی:

جدول شماره ۲ نتیجه اعمال روش اوتو کرولیشن بین (بوگه عادی - بوگه عادی) و (بوگه بهینه - بوگه بهینه) در منطقه

Auto Correlation bouguer	Auto Correlation optimal bouguer
0.927856	0.946396

نتیجه گیری

تعیین بعد فرکتالی توزیع ایستگاه‌های گرانی به ما اجازه می‌دهد که یک فاصله درونیابی مناسب را انتخاب کنیم که در نتیجه آن الیاسینگ به واسطه‌ی درونیابی کمینه می‌شود. این فاصله کوچکترین طولی است که روند مقیاس‌گذاری ثابت است. هرچند که یک فاصله شبکه‌بندی می‌تواند مناسب انتخاب شود این دلالت بر حذف کامل الیاسینگ ندارد. به طور کلی میدان گرانی حاوی طول موج‌های کوچک است.

به طور ایده آل یک فیلتر آنتی الیاسینگ (low pass filter) باید برای کمینه کردن تأثیر این داده‌های با طول موج کوتاه به کار گرفته شود. این موضوع به ندرت برای نمایش مؤلفه‌های امواج با طول موج کوتاه در داده‌ها استفاده می‌شود. تنها راه برای کاهش الیاسینگ افزایش ایستگاه‌های گرانی است. باید محل قرارگیری نقاط داده دقیقاً حساب شود همچنین باید مقادیر گرانی نقاط به دقت برداشت شوند.

روش فرکتالی درونیابی داده‌ها تأثیرات الیاسینگ ناشی از درونیابی را کاهش می‌دهد و یک مقدار ثابت فاصله شبکه بهینه را برای داده‌ها پیشنهاد می‌کند.

مطالعات و تحقیقات گسترده‌ای که در منطقه اسفراین به منظور کشف وضعیت ساختمانهای زمین شناسی و مسائل تکتونیکی اعم از گسل و زون‌های خرد شده و معرفی حفره‌های موجود در سازندهای آهکی کارستی و به دست آوردن چگالی توده‌های موجود آورنده بی‌هنجاری و ارائه یک مدل اختلاف چگالی بین سازندها و واحد های سنگی در طول مسیر محل احداث سد انجام شده است و فاصله ایستگاه‌های برداشت حدود ۲۰ متر در پیمایش گرانی سنجی در نظر گرفته شده است. آنالیز بعد فرکتال روی توزیع مکانی ایستگاه‌های گرانی سنجی نشان دهنده فاصله شبکه‌بندی بهینه است که ۲۵ متر به دست آمده است. نقشه‌های شماره (۲) و (۵) به روش فرکتال ۴ گسل اصلی در منطقه و دو بی‌هنجاری L1 و L2 و L3 (ناودیس) و چهار بی‌هنجاری دیگر H1 و H2 و H3 و H4 (تاق‌دیس) که با توجه به اطلاعات زمین شناسی منطقه معلوم گردیده‌اند نمایان می‌سازد. و محدودهای غربی - شرقی ناحیه نسبتاً خرد شده می‌باشند.

با مقایسه نقشه بی‌هنجاری بوگه بدست آمده در منطقه اسفراین با روش‌های معمول و فرکتالی و نیز پروفیل رسم شده در شکل (۶)، و نیز در جدول شماره (۱) اعمال روش همبستگی مشخص می‌شود که بی‌هنجاری بوگه بهینه شده استقلال بیشتری را نسبت به توپوگرافی نشان می‌دهد. در جدول شماره (۲) اعمال روش خود همبستگی را نشان می‌دهد که بی‌هنجاری بوگه بهینه بیشتر از بی‌هنجاری بوگه نرمال به دست آمده است.

آنومالی بوگه حاصل از شبکه بندی فرکتال که (با فاصله بهینه ۲۵ متر) با توپوگرافی دارای همبستگی کمتری است که این خود تاییدی بر اصل تحلیل فرکتالی است.

منابع و مراجع

- آقانباتی، علی. (۱۳۸۳) زمین شناسی ایران. تهران : سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- پیشدادیان، مونا، دولتیاردهجانی، فرامرز، فتحیانپور، نادر، خالوکاکائی، رضا، محمدوخراسانی، مجتبی، (۱۳۸۹)، مقایسه روش هندسه فرکتال باروشهای متداول برای تفکیک آنومالیهای گرانی منطقه رودان بندرعباس، مجموعه مقالات چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، موسسه ژئوفیزیک، صفحه ۶۴۸-۶۵۱
- تلفورد، چاپ دوم، (۱۳۷۵)، ژئوفیزیک کاربردی، دکتر حسین زمردیان ودکتر حاجب حسینی، انتشارات دانشگاه تهران.
- توکلی، شهاب، چاپ اول، (۱۳۸۳)، ژئوفیزیک (رشته زمین شناسی)، انتشارات دانشگاه پیام نور.
- حسینی پاک ع.ا، شرف الدین م.، (۱۳۸۴)، تحلیل دادههای اکتشافی، انتشارات دانشگاه تهران.
- Dimri, V.P.,(1998), Fractal behavior and detectability limit of geophysical surveys, *Geophys.* 63, 1943–1947.
- Keating, P.,(1993), The fractal dimension of gravity data sets and its implications for gridding, *Geophys. Prosp.* 41, 983–993
- Korvin, G. Boyd, D.M., and O’ dowd, R., (1990), Fractal characterization of the south Australian gravity station network, *Geophys. J. Int.* 100, 535–539.
- Srivastava, R. P, Vedanti, N. and Dimri, V.P.,(2007) ,Optimal design of a gravity survey network and its application to delineate the jabere- damoh structure in the vindhyan basin -central india , *Pure Appl .Geophys.* 164 , 2009- 2022.
- Thorarinsson, F. and Magnusson, S. G.,(1990), Bouguer density determination by fractal analysis, *Geophysical.* V.55, p. 932-935