

طراحی فیلتر داده‌مبنا به منظور تفکیک بی‌هنجاری‌های داده‌های گرانی‌سنجی

امین روشندل کاهو^{۱*}، علی نجاتی کلاته^۲

۱- استادیار دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه شاهرود roshandel@shahroodut.ac.ir

۲- استادیار دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه شاهرود nejati@shahroodut.ac.ir

(دریافت ۱۷ آذر ۱۳۹۲، پذیرش ۴ اسفند ۱۳۹۳)

چکیده

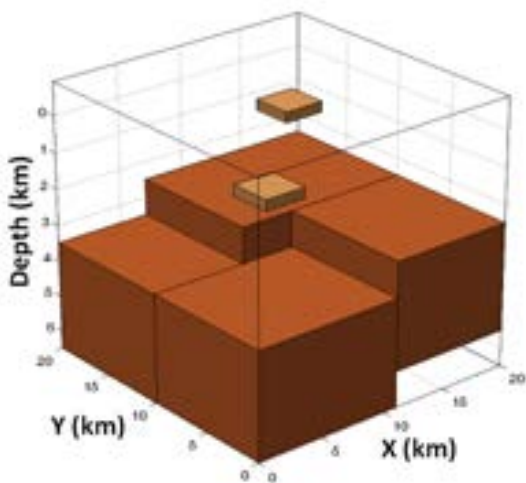
در مطالعات گرانی‌سنجی، جداسازی بی‌هنجاری‌های مربوط به ساختارهای سطحی از بی‌هنجاری‌های مربوط به ساختارهای عمیق، یکی از اساسی‌ترین مراحل پردازش داده‌های گرانی‌سنجی است. کارآیی روش‌های مختلف تفسیر داده‌های گرانی به نتایج جداسازی بی‌هنجاری‌های محلی از ناحیه‌ای وابستگی شدیدی دارد. تا کنون روش‌های مختلفی برای جداسازی بی‌هنجاری‌های محلی از ناحیه‌ای ارائه شده است. در این مقاله، از یک فیلتر داده‌مبنا که بر اساس طیف توان شعاعی میانگین طراحی می‌شود برای جداسازی بی‌هنجاری‌های محلی از ناحیه‌ای استفاده شده است. فیلتر مذکور، یک فیلتر پایین‌گذر می‌باشد که در طیف توان شعاعی میانگین، عدد موج‌های پایین مربوط به بی‌هنجاری‌های ناحیه‌ای را از خود عبور می‌دهد و دامنه سایر عدد موج‌ها به تدریج به صفر میل می‌کند. کلیه برنامه‌های مورد استفاده در این مقاله توسط نگارندگان در محیط MATLAB تهیه شده است. نتایج داده‌های مصنوعی ناشی از یک مدل پیچیده زمین‌شناسی، کارآیی مناسب این روش را نشان می‌دهد. داده‌های واقعی مورد استفاده مربوط به منطقه دولت‌آباد هرمزگان است که به منظور مطالعه پتانسیل‌یابی کرومیت برداشت شده است. نتایج داده واقعی با نتایج مدل‌سازی‌های صورت گرفته همخوانی مناسب دارد.

کلمات کلیدی

داده‌های گرانی‌سنجی، فیلتر داده‌مبنا، تفکیک بی‌هنجاری‌ها، برازش چندجمله‌ای، طیف توان شعاعی میانگین

۱- مقدمه

اساس محاسبه طیف توان شعاعی میانگین داده‌های مورد نظر انجام می‌شود [۸]. از آنجاییکه طیف توان شعاعی میانگین خصوصیات توزیع چشمه‌های سطحی و عمقی را به صورت همزمان شامل می‌شود، طراحی فیلتر جداساز بر این مبنا می‌تواند نتایج مطلوبی در بر داشته باشد.



شکل ۲: مدل زمین‌شناسی مصنوعی شامل بلوک‌های سطحی و بلوک‌های عمیق.

۲- طراحی فیلتر داده‌مبنا بر اساس طیف توان شعاعی میانگین

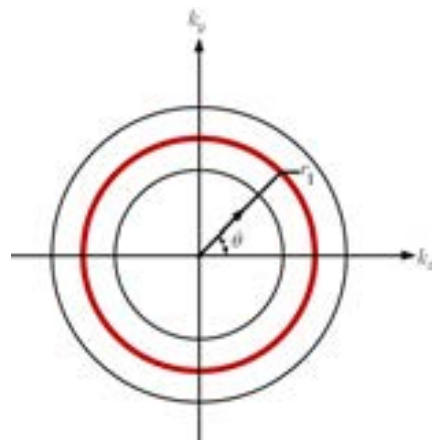
همان‌طور که گفته شد، اساس طراحی فیلتر داده‌مبنای مورد استفاده در این مقاله، طیف توان شعاعی میانگین است. طیف توان شعاعی میانگین بر اساس محاسبه میانگین طیف توان تبدیل فوریه دو بعدی داده‌های گرانی برای هر شعاع خاص به دست می‌آید. اگر داده گرانی برداشت شده روی یک شبکه دو بعدی $M \times N$ با $g(x, y)$ نشان داده شود، طیف توان $PSD_g(k_x, k_y)$ به صورت رابطه (۱) محاسبه می‌شود [۹].

$$PSD_g(k_x, k_y) = |G(k_x, k_y)|^2 = \left| \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{M-1} g(x, y) e^{-j\left(\frac{2\pi}{N}\right)k_x x} e^{-j\left(\frac{2\pi}{M}\right)k_y y} \right|^2 \quad (1)$$

که در آن، k_x و k_y به ترتیب عدد موج در راستای x و y می‌باشند. برای محاسبه طیف توان شعاعی میانگین

در مطالعات گرانی‌سنجی، جداسازی بی‌هنجاری‌های طول موج کوتاه از بی‌هنجاری‌های طول موج بلند، یکی از اساسی‌ترین مراحل پردازش داده‌های گرانی‌سنجی است. کارآیی روش‌های مختلف تفسیر داده‌های گرانی به نتایج جداسازی بی‌هنجاری‌های محلی از ناحیه‌ای وابستگی شدیدی دارد. بنابراین انتخاب روش‌های کارآمد جداسازی شرط لازم یک تفسیر موفق است.

با توجه به اهمیت این مساله، تا کنون روش‌های مختلفی برای جداسازی بی‌هنجاری‌های محلی از ناحیه‌ای ارائه شده است. گریفین با استفاده از یک پنجره میانگین متحرک دایره‌ای شکل و محاسبه تفاضل میانگین داده‌های داخل دایره و مقدار داده گرانی در مرکز دایره، به جداسازی آنومالی‌ها پرداخت [۱]. روی نشان داد که روش گریفین معادل استفاده از مشتق قائم دوم داده‌های گرانی سنجی است [۲]. یکی از روش‌های متداول در جداسازی بی‌هنجاری‌های گرانی‌سنجی استفاده از برازش چندجمله‌ای‌ها با استفاده از روش کمترین مربعات است. این روش برای اولین بار توسط آگوکس [۳] و اسکیلز [۴] پیشنهاد شد. پاولوسکی و هنسن در حوزه عدد موج از فیلتر وینر برای این منظور استفاده کردند [۵]. کویین‌کین و تیان‌یو با استفاده از روش تجزیه مد تجربی که هسته اصلی تبدیل هیلبرت - هوانگ است به جداسازی بی‌هنجاری‌های گرانی‌سنجی پرداختند [۶ و ۷].



شکل ۱: محاسبه طیف توان شعاعی میانگین از طیف توان داده‌ها

در این مقاله، از فیلتر داده‌مبنا برای جداسازی بی‌هنجاری‌های گرانی محلی از ناحیه‌ای استفاده می‌شود. طراحی این فیلتر بر

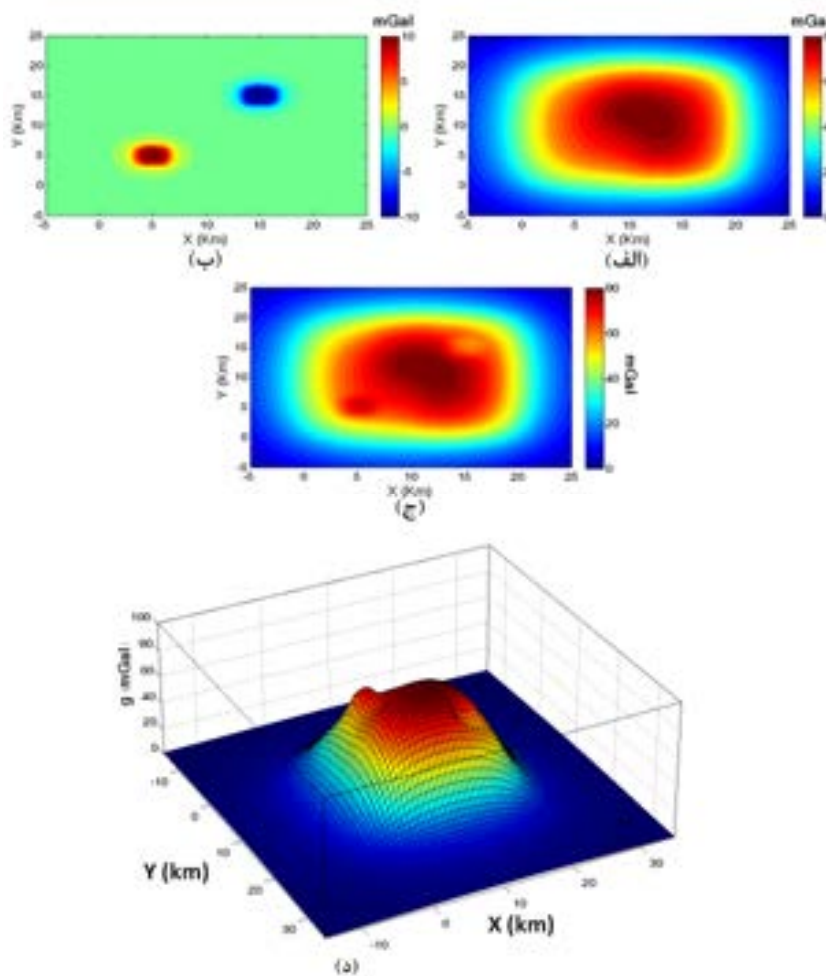
است. طیف توان شعاعی میانگین برای بی‌هنجاری ترکیبی محاسبه شد که در شکل ۴ لگاریتم این طیف بر حسب K رسم شده است. خط قرمز به مقادیر عدد موج کوتاه و خط آبی به مقادیر عدد موج بلند برازش داده شده‌اند.

سیبرگ نشان داد که بی‌هنجاری‌های سطحی در طیف توان شعاعی میانگین در عدد موج‌های بالا و بی‌هنجاری‌های عمقی و ناحیه‌ای در عدد موج‌های پایین‌تر قابل مشاهده هستند [۱۰] که در شکل ۴ این موضوع برای مثال مصنوعی نشان داده شده است. بنابراین طراحی یک فیلتر که توانایی تفکیک عدد موج‌های مربوط به بی‌هنجاری‌های سطحی و عمقی را از یکدیگر داشته باشد، می‌تواند در جداسازی بی‌هنجاری محلی از ناحیه‌ای نقش بسزایی داشته باشد.

$RPSD_g(K)$ مطابق شکل ۱ و رابطه (۲) از میانگین‌گیری شعاعی طیف توان بر روی یک شعاع خاص برای زاویه $0 \leq \theta \leq 2\pi$ استفاده می‌شود.

$$RPSD_g(K) = \text{Mean} \left\{ PSD_g(K), K = \sqrt{k_x^2 + k_y^2} \right\} \quad (2)$$

در شکل ۲ یک مدل زمین‌شناسی مصنوعی نشان داده شده است که شامل بی‌هنجاری‌های محلی و ناحیه‌ای است. ابعاد مورد استفاده در ساخت این مدل در جدول ۱ آمده است. در شکل ۳ - (الف) و (ب) به ترتیب بی‌هنجاری‌های گرانی ناشی از بلوک‌های سطحی و عمیق و در شکل ۳ - (ج) و (د) بی‌هنجاری گرانی ترکیبی در دو و سه بعد نشان داده شده



شکل ۳: (الف) بی‌هنجاری گرانی ناحیه‌ای مربوط به بلوک‌های عمیق، (ب) بی‌هنجاری گرانی محلی مربوط به بلوک‌های سطحی، بی‌هنجاری گرانی ترکیبی مربوط به هر دو توزیع عمقی در حالت (ج) نمایش دو بعدی و (د) نمایش سه بعدی.

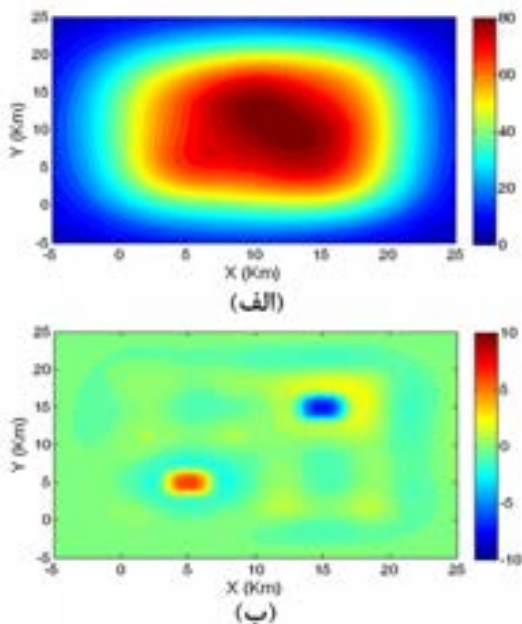
حال با در نظر گرفتن فیلتری به صورت رابطه (۷) و اعمال آن بر طیف دامنه شعاعی میانگین کلی می‌توان طیف دامنه شعاعی میانگین بی‌هنجاری ناحیه‌ای را به دست آورد.

$$F(K) = 1 / \left(1 + (c_2/c_1) e^{(d_1-d_2)K} \right) \quad (7)$$

برای به دست آوردن بی‌هنجاری ناحیه‌ای، پس از اعمال فیلتر از معکوس تبدیل فوریه دو بعدی به صورت رابطه (۸) استفاده می‌شود [۹].

$$g(x, y) = \frac{1}{MN} \sum_{k_x=0}^{N-1} \sum_{k_y=0}^{M-1} G(k_x, k_y) e^{j \left(\frac{2\pi}{N} \right) k_x x} e^{j \left(\frac{2\pi}{M} \right) k_y y} \quad (8)$$

در شکل ۵ فیلتری که برای داده مصنوعی مورد استفاده مطابق رابطه (۷) طراحی شده، نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، فیلتر داده‌مبنای به دست آمده، دامنه عدد موج‌های کوتاه را که مربوط به بی‌هنجاری‌های ناحیه‌ای هستند را حفظ نموده و دامنه عدد موج‌های بلند مربوط به بی‌هنجاری‌های محلی را به تدریج صفر می‌کند.



شکل ۶: (الف) بی‌هنجاری ناحیه‌ای جداسازی شده به وسیله فیلتر داده‌مبنا، (ب) بی‌هنجاری محلی جداسازی شده به وسیله فیلتر داده‌مبنا

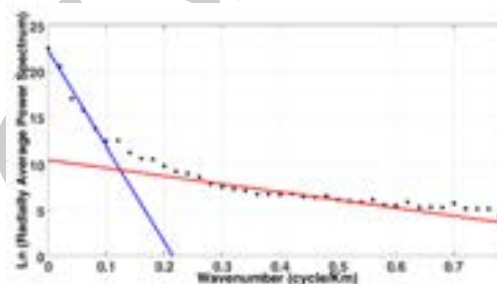
طیف دامنه شعاعی میانگین کلی $RAS_g(K)$ را می‌توان بر حسب ترکیب طیف دامنه شعاعی میانگین بی‌هنجاری محلی و ناحیه‌ای به صورت رابطه (۳) نوشت [۸ و ۱۰].

$$RAS_g(K) = RAS_{reg}(K) + RAS_{loc}(K) \\ = RAS_{reg}(K) \left(1 + \frac{RAS_{loc}(K)}{RAS_{reg}(K)} \right) \quad (3)$$

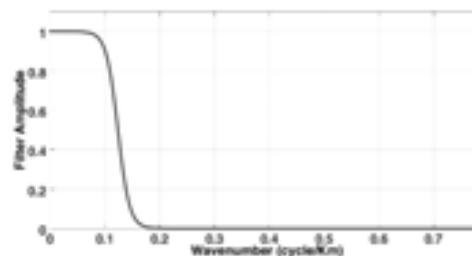
که در آن، $RAS_{reg}(K)$ و $RAS_{loc}(K)$ به ترتیب طیف دامنه شعاعی میانگین بی‌هنجاری محلی و ناحیه‌ای می‌باشند و مطابق روابط (۴) و (۵) تعریف می‌شوند.

$$RAS_{reg}(K) = c_1 e^{-d_1 K} \quad (4)$$

$$RAS_{loc}(K) = c_2 e^{-d_2 K} \quad (5)$$



شکل ۴: لگاریتم طیف توان میانگین شعاعی بر حسب K برای مدل مصنوعی.



شکل ۵: فیلتر داده‌مبنای طراحی شده برای جداسازی بی‌هنجاری ناحیه‌ای داده‌های مصنوعی.

که در آن، c_1 ، c_2 ، d_1 و d_2 ضرایب ثابت می‌باشند که از برازش خط بر لگاریتم طیف توان شعاعی میانگین استخراج می‌شوند. رابطه (۳) را می‌توان با جایگذاری روابط (۴) و (۵) به صورت رابطه (۶) بازنویسی کرد.

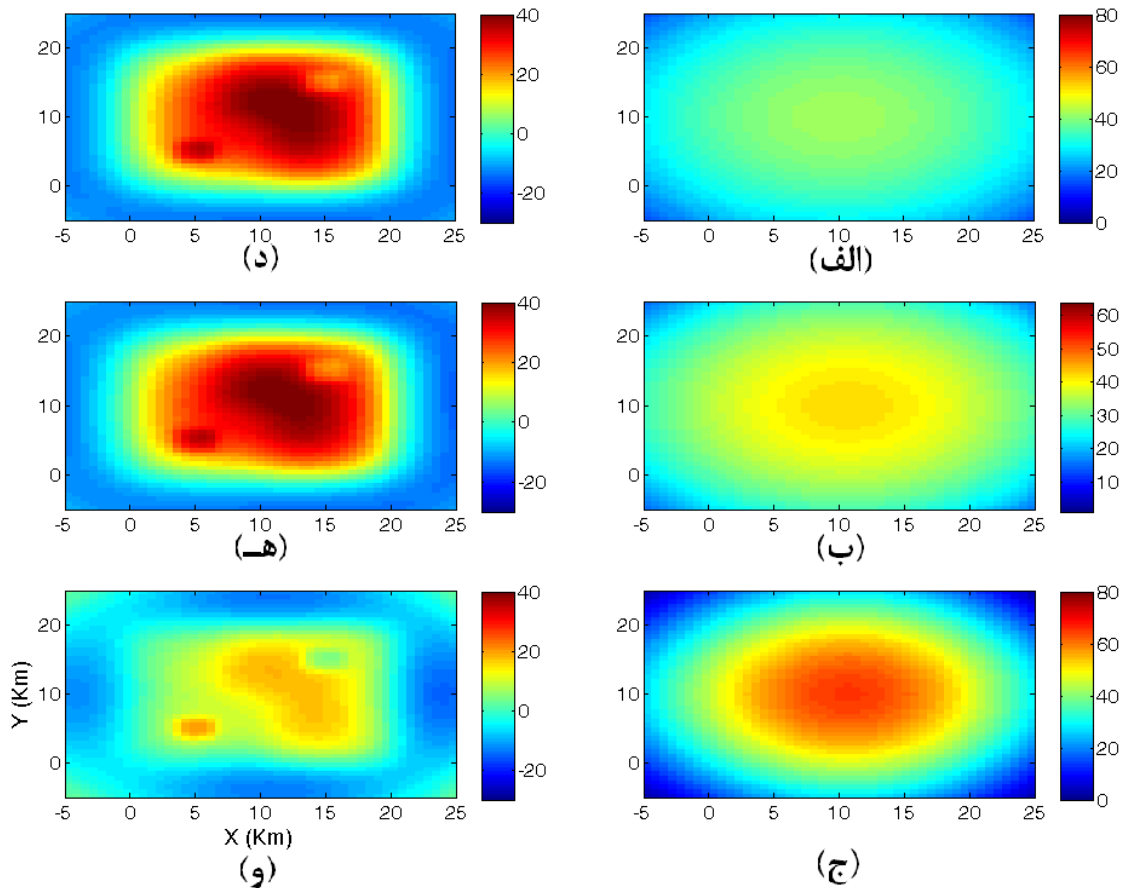
$$RAS_g(K) = \left[c_1 e^{-d_1 K} \left(1 + (c_2/c_1) e^{(d_1-d_2)K} \right) \right] \quad (6)$$

۳- اعمال روش فیلتر داده‌مبنا بر روی داده‌های گرانی منطقه دولت‌آباد

منطقه مورد مطالعه مطابق شکل ۸ در جنوب شرقی زون سنندج - سیرجان، در برکه ۱:۱۰۰۰۰۰ دولت‌آباد هرمزگان قرار گرفته است. زون سنندج - سیرجان باریکه‌ای از جنوب غربی ایران میانی است که در شمال شرقی راندگی اصلی زاگرس قرار دارد. طول این زون حدود ۱۵۰۰ کیلومتر و پهنای آن ۱۵۰ تا ۲۵۰ کیلومتر است که از شرق دریاچه ارومیه آغاز می‌شود و در یک راستای شمال غربی - جنوب شرقی تا گسل میناب، در شمال بندرعباس، ادامه می‌یابد. در این زون پدیده‌های دگرگونی، ماگماتیسم و زمین‌ساخت پی در پی و هم‌آهنگ با فازهای زمین‌ساختی شناخته شده در مقیاس جهانی مشاهده می‌شود، از این‌رو، این زون ناآرام‌ترین و به گفته‌ای دیگر پویاترین پهنه زمین‌ساختی ایران است.

در شکل ۶ - (الف) نتیجه اعمال فیلتر داده‌مبنای شکل ۵ بر روی داده‌های گرانی مدل مصنوعی نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، نتیجه اعمال فیلتر، بی‌هنجاری ناحیه‌ای را به نحو مطلوبی از بی‌هنجاری محلی که در شکل ۶ - (ب) نشان داده شده است، جدا نموده است.

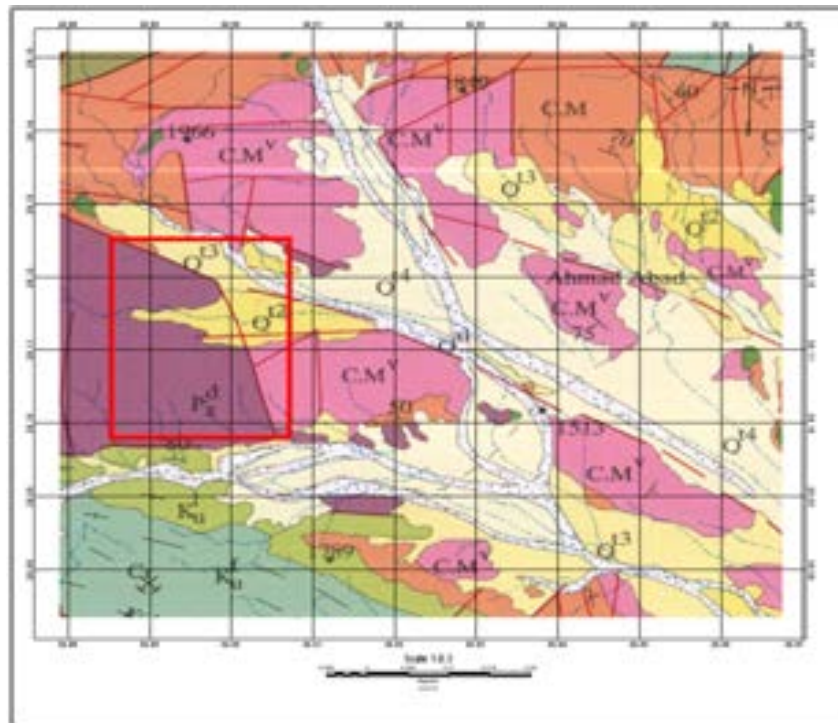
در شکل ۷ نتایج جداسازی با استفاده از روش متداول برازش چندجمله‌ای با درجات ۲، ۳ و ۵ نشان داده شده است. با توجه به پیچیدگی مدل مصنوعی انتخاب شده، مقایسه نتایج دو روش برازش چندجمله‌ای و فیلتر داده‌مبنا، نشان می‌دهد که جداسازی مطلوبی توسط روش برازش چندجمله‌ای صورت نگرفته است. در مقابل روش فیلتر داده‌مبنا به‌صورت مطلوبی جداسازی را انجام داده است.



شکل ۷: (الف)، (ب) و (ج) بترتیب بی‌هنجاری ناحیه‌ای جداسازی شده به وسیله برازش چندجمله‌ای با درجات ۲، ۳ و ۵، (د)، (ه) و (و) بترتیب بی‌هنجاری محلی جداسازی شده به وسیله برازش چندجمله‌ای با درجات ۲، ۳ و ۵.

اولترامافیک شاخص است. واحدهای سنگی محدوده مورد مطالعه از نوع مافیک تا اولترامافیک است و شامل دونیت، کرومیت، اولیوین، سرپانتین و هارزبورژیت است. در منطقه کرومیت به صورت رگه‌های برون‌زده در میان سرپانتین وجود دارد [۱۱].

زون سنندج - سیرجان نوعی کافت درون قاره‌ای است که فعالیت‌های ماگمازایی و پدیده‌های دگرگونی، عوامل مؤثر در ایجاد نهشته‌های معدنی هستند. بنابراین توان معدنی درخور توجه دارد و جدا از ذخایر و نشانه‌های شناخته شده، امید دستیابی به نهشته‌های معدنی جدید در آن دور از انتظار نیست. بخش جنوبی این زون که به داشتن کروم در واحدهای

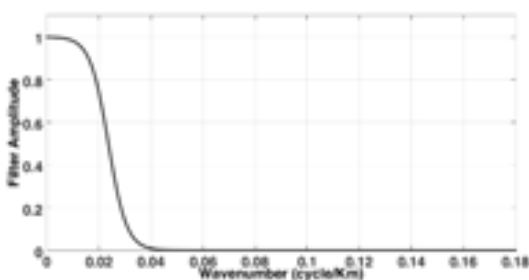


LEGEND



شکل ۸: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه برگرفته از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ دولت‌آباد (محدوده تقریبی مورد مطالعه با مستطیل قرمز مشخص شده است).

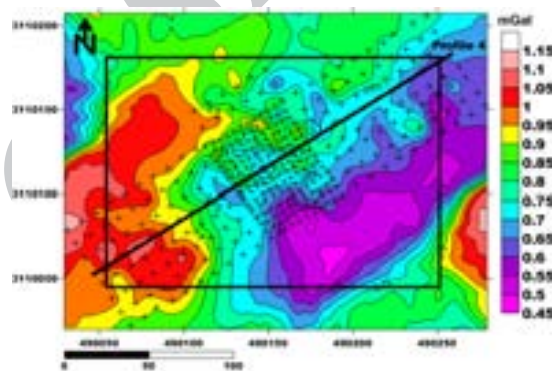
مشاهده می‌شود، مشابه مثال مصنوعی، فیلتر داده‌مبنای به-دست آمده، دامنه عدد موج‌های کوتاه مربوط به بی‌هنجاری‌های ناحیه‌ای را حفظ کرده و دامنه عدد موج‌های بلند بی‌هنجاری‌های محلی را به تدریج صفر می‌کند. در شکل ۱۱ - (الف) نتیجه اعمال فیلتر داده‌مبنای شکل ۱۰ بر روی داده‌های گرانی واقعی نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، نتیجه اعمال فیلتر، بی‌هنجاری ناحیه‌ای را به نحو مطلوبی از بی‌هنجاری محلی (سطحی) که در شکل ۱۱ - (ب) نشان داده شده است، جدا کرده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، روند تقریبی مناطق امیدبخش کانه‌زایی کرومیت شمالی-جنوبی است و در قسمت غربی منطقه مورد مطالعه قرار گرفته است.



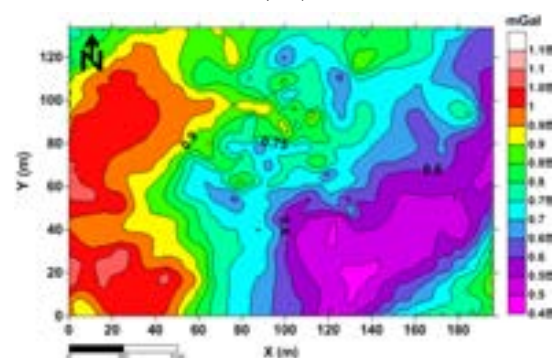
شکل ۱۰. فیلتر داده‌مبنای طراحی شده برای جداسازی بی‌هنجاری ناحیه‌ای داده‌های واقعی.

در شکل ۱۱- (ب) ناهنجاری‌های سطحی جداسازی شده در مرکز منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود که مربوط به توزیع سطحی ماده معدنی است. در این محدوده به منظور اکتشاف اولیه ماده معدنی، ترانسه‌های اکتشافی حفر شده است که توزیع ماده معدنی را فقط در سطح نشان می‌دهد و در عمق‌های زیاد ترانسه‌ها، ماده معدنی وجود ندارد. همان‌طور که در شکل ۹ نیز مشاهده می‌شود، در این محدوده اندازه‌گیری‌ها به صورت شبکه برداشت فشرده انجام شده است. مدل-سازی‌های انجام شده (شکل ۱۲) نشان می‌دهند که این بی‌هنجاری‌ها، گسترش قابل ملاحظه‌ای در عمق ندارند [۱۲] که تأییدی بر نتایج این مطالعه است. به عبارت دیگر با جداسازی بی‌هنجاری محلی و ناحیه‌ای از یکدیگر، پتانسیل‌های واقعی ماده معدنی از پتانسیل‌های کاذب و سطحی جدا شده است.

در شکل ۸ نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه نشان داده شده است. در شکل ۹ بی‌هنجاری بوگه برای منطقه مورد مطالعه آورده شده است. کمینه و بیشینه مقدار داده گرانی برداشت شده در ناحیه به ترتیب برابر ۰/۴۵ و ۱/۱ میلی‌گال است. در تفسیر اولیه کیفی می‌توان مقادیر بی‌هنجاری بوگه را می‌توان به دو بخش کلی تقسیم کرد. مقادیر کمینه که اغلب در بخش شرقی داده قرار گرفته‌اند را می‌توان به سنگ میزبان سرپانتین نسبت داد. بخش غربی محدوده مورد مطالعه که دارای مقادیر بالای بی‌هنجاری بوگه می‌باشد را می‌توان به وجود ماده معدنی کرومیت در میان سنگ میزبان نسبت داد. شبکه برداشت داده‌ها به صورت یک شبکه ۱۰*۱۰ متر و به تعداد ۳۵۰ ایستگاه برداشت در منطقه‌ای به مساحت کلی ۷۰ * ۲۵۰ متر انجام شده است.



(الف)



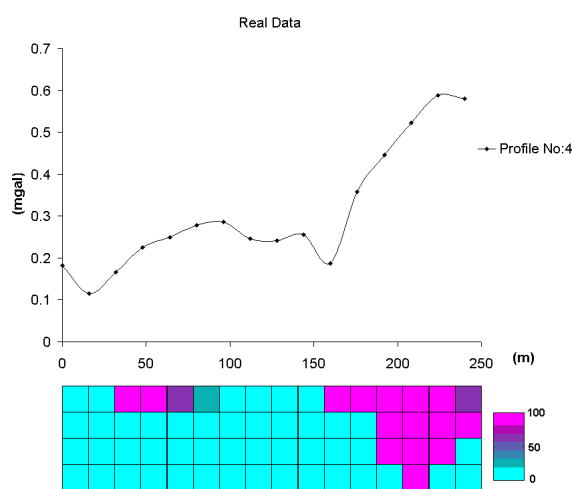
(ب)

شکل ۹: (الف) بی‌هنجاری بوگه در مختصات UTM به همراه نقاط برداشت (منطقه مورد مطالعه در داخل مستطیل سیاه رنگ نشان داده شده است) و (ب) بی‌هنجاری بوگه منطقه مورد مطالعه در مختصات محلی.

در شکل ۱۰ فیلتری که برای داده واقعی مورد مطالعه مطابق رابطه (۷) طراحی شده، نشان داده شده است. همان‌طور که

۴- نتیجه‌گیری

پیچیده زمین‌شناسی مانند مثال مصنوعی انتخاب شده، روش برازش چندجمله‌ای حتی با درجات بالا نیز چندان کارآمد نیست. نتایج جداسازی با روش فیلتر داده‌مبنا روی داده‌های مصنوعی توانایی بالایی این روش را در جداسازی بی‌هنجاری‌ها در شرایط پیچیده زمین‌شناسی نشان می‌دهد. منظور از مدل پیچیده، مدلی است که روش‌های متداول جداسازی مانند برازش چندجمله‌ای قادر به جداسازی بی‌هنجاری محلی از بی‌هنجاری ناحیه‌ای نباشند. نتایج داده واقعی با نتایج مدل‌سازی‌های انجام شده برای منطقه مورد مطالعه همخوانی دارد.

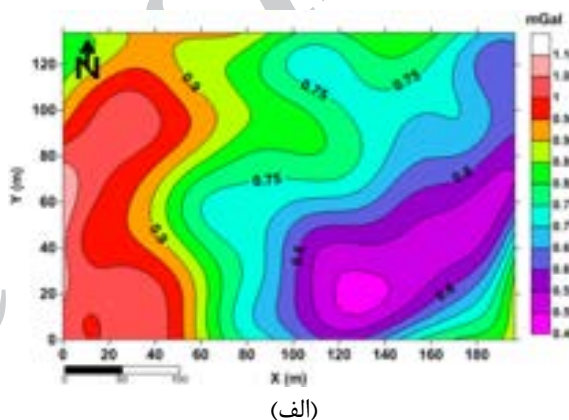


شکل ۱۲. نتایج مدل‌سازی وارون بر روی پروفیل ۴ [۱۲].

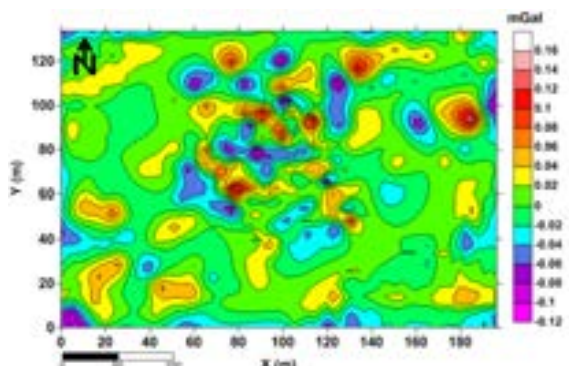
منابع

- [1] Griffin, W. P.; 1949; *Residual gravity in theory and practice*, Geophysics, Vol. 14, pp. 39–56.
- [2] Roy, A.; 1958; *Letter on residual and second derivative of gravity and magnetic maps*, Geophysics, Vol. 23, pp. 860–861.
- [3] Agocs, W. B.; 1951; *Least-squares residual anomaly determination*, Geophysics, Vol. 16, pp. 686–696.
- [4] Skeels, D. C.; 1947; *Ambiguity in gravity interpretation*, Geophysics, Vol. 12, pp. 43–56.
- [5] Pawlowski, R. S.; and Hansen, R. O.; 1990; *Gravity anomaly separation by Wiener filtering*, Geophysics, Vol. 55, pp. 539–548.

در مطالعات گرانی‌سنجی، جداسازی بی‌هنجاری‌های طول موج کوتاه از بی‌هنجاری‌های طول موج بلند، یکی از اساسی‌ترین مراحل پردازش داده‌های گرانی‌سنجی است. در این مقاله یک فیلتر جداساز داده مبنا که طراحی آن بر اساس طیف توان شعاعی میانگین صورت می‌پذیرد، استفاده شده است. از آنجایی که بی‌هنجاری‌های سطحی در طیف توان شعاعی میانگین در عدد موج‌های بالا و بی‌هنجاری‌های عمقی و ناحیه‌ای در عدد موج‌های پایین‌تر قابل مشاهده هستند، طراحی فیلتر در حوزه فوریه می‌تواند به‌عنوان یک ابزار مناسب برای جداسازی بی‌هنجاری‌های محلی و ناحیه‌ای از یکدیگر مورد استفاده قرار گیرد.



(الف)



(ب)

شکل ۱۱. (الف) بی‌هنجاری ناحیه‌ای جداسازی شده به وسیله فیلتر داده‌مبنا برای داده واقعی، (ب) بی‌هنجاری محلی جداسازی شده به وسیله فیلتر داده‌مبنا برای داده واقعی.

در صورتی که در منطقه مورد مطالعه ساختارهای زمین‌شناسی پیچیدگی زیادی نداشته باشند، روش‌های متداول نظیر برازش چندجمله‌ای قابلیت جداسازی مناسبی دارند. اما در شرایط

- [10] Syberg, F.J.R.; 1972, *A Fourier method for the regional-residual problem of potential fields*, Geophysical Prospecting, Vol. 20, pp. 47-75.
- [11] *1:100000 geological map of Dolatabad*, Geological Survey and Mineral Exploration of Iran.
- [12] Nejati Kalateh, A.; and Ebrahimzadeh Ardestani, V.; 2005, *2-D Inversion of gravity data*, Journal of the Earth & Space Physics, Vol. 31, pp. 27-37.
- [6] Qinqin, Z.; and Tianyou, L.; 2009, *Potential Field Separation Based on the Empirical Mode Decomposition and its Application*, 2nd International Congress on Image and Signal Processing, pp. 1-4.
- [7] Huang, N. E; and Shen, S. S. P.; 2005, *Hilbert-Huang transform and its applications*, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
- [8] Sheriff, S. D.; 2010, *Matched filter separation of magnetic anomalies caused by scattered surface debris at archaeological sites*, Near Surface Geophysics, Vol. 8, pp. 145-150.
- [9] Lim, J. S.; 1990, *Two dimensional signal and image processing*, PRENTICE HALL PTR.

Archive of SID