

استفاده از فیلتر مشتق قائم با مرتبه‌های متفاوت در تفسیر بی‌هنجاری‌های میدان پتانسیل

کمال علمدار^{۱*}، عبدالحمید انصاری^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی معدن و متالورژی دانشگاه یزد (kamal.alamdar@gmail.com)
^۲ استادیار دانشکده مهندسی معدن و متالورژی دانشگاه یزد (h.ansari@yazduni.ac.ir)

(دریافت: ۸۷/۶/۵، پذیرش نهایی: ۸۷/۹/۱۹)

چکیده

از مشتق قائم در نقش فیلتر به‌طور گسترده در مرحله تفسیر بی‌هنجاری‌های میدان پتانسیل استفاده می‌شود. با استفاده از این فیلتر جزئیات موجود در نقشه برجسته‌تر و بی‌هنجاری‌ها متمایزتر می‌شوند. لیکن مشکل استفاده از این نوع فیلتر این است که با کاربرد آن ضمن برجسته‌شدن بی‌هنجاری‌ها (سیگنال‌ها) نوفه‌های موجود در نقشه نیز برجسته می‌شود. به‌طور معمولاً استفاده از این فیلتر به مشتق قائم مرتبه اول و دوم محدود می‌شود. اخیراً در روش جدیدی از فیلتر مشتق قائم با مرتبه غیر صحیح (اعشاری) استفاده می‌شود تا تعادلی مناسب بین نوفه و سیگنال موجود در تصویر برقرار شود. این روش هنگامی مفید است که تغییرات بی‌هنجاری برداشت شده در سرتاسر نقشه یکنواخت باشد. به‌همین دلیل روش جامع و انعطاف‌پذیر نسبت به ماهیت گوناگون داده‌ها تهیه نقشه‌ای است که مرتبه مشتق قائم در نقاط گوناگون آن متفاوت باشد. این روش بر مبنای انحراف استاندارد داده‌های قرار گرفته در پنجره‌ای با ابعاد معین که روی داده‌ها حرکت می‌کند استوار است. در این نوشته کاربرد این روش روی داده‌های مصنوعی مدل منشور قائم و همچنین روی داده‌های مغناطیس هوایی چهارگوش آباده و داده‌های گرانی حوزه وایتواترزند آفریقای جنوبی شرح داده شده است.

کلید واژه‌ها: مشتق قائم، مرتبه غیر صحیح، انحراف استاندارد، گرانی سنجی، مغناطیس سنجی، چهارگوش آباده.

The use of vertical derivative filter with different orders in interpretation of potential fields anomalies

Alamdar, K. ^{*1}, Ansari, A. H².

¹M.Sc student of Faculty of Mining and Metallurgy Engineering, Yazd University

²Assistance professor of Faculty of Mining and Metallurgy Engineering, Yazd University

Abstract

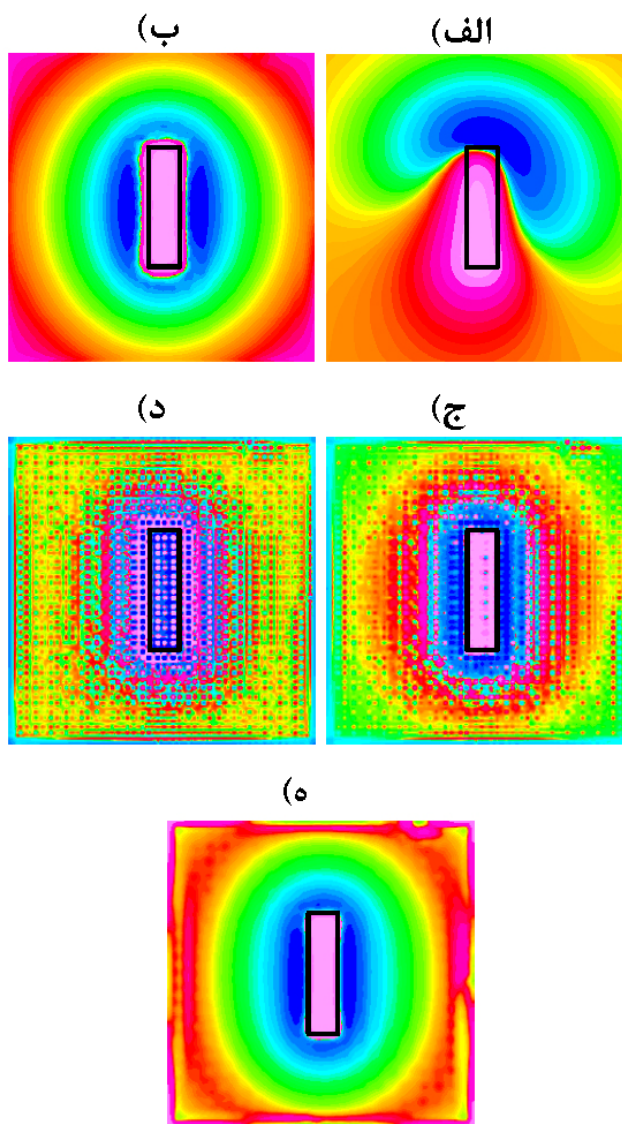
Vertical derivative is used in interpretation of potential field anomalies extensively. This filter enhances the details and sharpens anomalies. However difficulty is that by this filter the noises are increased as signals are enhanced. This filter is used with first and second orders normally. However recently vertical derivative is applied with non – integer order, in order to produce a good equilibrium between signal and noise. This method is preferred when anomaly variation throughout the survey area is uniform. In this regard in areas with different types of data compiling a map with different order of vertical derivative is the best methodology. This method is based on calculating standard deviation on a moving window over the study area. In this paper the application of this method on vertical prismatic model and over aeromagnetic data of Abadeh region are discussed.

Keywords: Vertical derivatives, non- integer, standard deviation, Gravity, Magnetic, Abadeh quadrangle.

۱ مقدمه

در اکتشاف حوزه‌های رسوبی که سنگ‌ها دارای مغناطیس‌شدگی ضعیفی هستند، ساختارهای اصلی حوزه مانند گسل، دایک و چین‌خوردگی نیز دارای پاسخ مغناطیسی کمی هستند و لذا استفاده از فیلترهای گوناگون برای برجسته کردن بی‌هنجاری‌های ضعیف می‌تواند کمک مهمی به تفسیر کند.

فیلتر کردن و پردازش تصویر، رکن مهمی در تعبیر و تفسیر داده‌های مغناطیسی؛ به‌خصوص در زمینه اکتشاف معدن، محسوب می‌شود. این قابلیت در حضور منابع کم‌عمق و همچنین منابع با تباین مغناطیسی شدید با سنگ‌های اطراف، از اهمیت بیشتری برخوردار است.



شکل ۱. الف) نقشه پاسخ مغناطیسی مدل منشور قائم با مقطع مستطیل. عرض توده ۴۰۰ متر، طول آن ۱۴۰۰ متر و توده در عمق ۲۰۰ متری قرار دارد. ابعاد تصویر ۴x۴ کیلومتر است. رنگ‌های گرم (سرخ و نارنجی) بیانگر مقادیر با شدت زیاد و رنگ‌های سرد (آبی و سبز) نماینده مقادیر با شدت کم هستند. (ب) نقشه مشتق قائم مرتبه اول داده‌های قسمت الف. در این شکل نبود تطابق بین موقعیت توده (کادر مشکی) و نتیجه مشتق قائم، لزوم محاسبه مشتقات مرتبه بالاتر را ثابت می‌کند. (ج) نقشه مشتق قائم مرتبه دوم داده‌های قسمت الف. در مقایسه با قسمت ب میزان نوفه افزایش یافته است. (د) نقشه مشتق قائم مرتبه سوم داده‌های قسمت الف که در مقایسه با قسمت ج نوفه‌ها برجسته‌تر شده‌اند. (ه) نقشه مشتق قائم وزن‌دار داده‌های قسمت الف. در این شکل ضمن تعادل بین نوفه و سیگنال، دقت برآورد کردن مرز مدل زیاد است.

مرتبه مشتق برای داده‌هایی با ماهیت متفاوت استفاده شده است. راه‌حل بهینه، تهیه نقشه‌ای است که مرتبه مشتق قائم در نقاط گوناگون آن بسته به ماهیت داده‌ها متفاوت باشد (کوپر و کوان، ۲۰۰۳). اساس این روش در نظر گرفتن انحراف استاندارد داده‌ها است که در ادامه از آن استفاده شده است.

اگر $\varphi(x, y)$ میدان پتانسیل باشد، آن‌گاه با استفاده از خواص تابع لاپلاس می‌توان مشتق قائم داده‌های میدان پتانسیل را محاسبه کرد. براساس این نظریه اگر $\nabla^2(\varphi) = 0$ میدان پتانسیل باشد آن‌گاه $\nabla^2(\varphi) = 0$ (لاپلاس φ برابر صفر خواهد بود) بنابراین می‌توان نوشت (بلکلی، ۱۹۹۵):

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = 0 \quad (1)$$

$$\Rightarrow \frac{\partial^2 \varphi}{\partial z^2} = -\left(\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} \right)$$

ضمناً هنگامی که داده‌ها در یک سطح افقی برداشت شده باشند، می‌توان تابع لاپلاس را به حوزه فوریه منتقل و سپس مشتق قائم مرتبه n داده‌های میدان پتانسیل را نیز محاسبه کرد، که در این صورت n می‌تواند هر مقدار حقیقی را اختیار کند.

$$\mathfrak{F}\left[\left(\frac{\partial^n \varphi}{\partial x^n}\right)\right] = |k|^n \mathfrak{F}[\varphi] \quad (2)$$

در این رابطه $K = \frac{2\pi}{\lambda}$ که در آن λ طول موج و نماد \mathfrak{F} بیانگر تبدیل فوریه است.

۲ محاسبه مشتق قائم داده‌های میدان پتانسیل با مرتبه‌های متفاوت

چون تصویر برداشت شده از بی‌هنجاری‌هایی با شدت‌های گوناگون و همچنین نوفه‌های متفاوتی تشکیل شده است، یکی از مشکلات اصلی استفاده از فیلتر مشتق قائم در تفسیر داده‌های میدان پتانسیل، به‌خصوص

فیلترهای مشتق شامل فیلتر مشتق قائم و مشتق افقی به‌طور گسترده در نقش ابزاری برای تفسیر بی‌هنجاری‌های میدان پتانسیل مورد استفاده قرار می‌گیرند. مقدار مشتق افقی داده‌ها درست در بالای لبه‌های توده مولد بی‌هنجاری ماکسیمم است و لذا لبه‌ها را برجسته می‌کند. فیلتر مشتق قائم عرض بی‌هنجاری‌ها را باریک‌تر و در نتیجه موقعیت توده‌ها را با دقت بیشتری مشخص می‌کند (بک، ۱۹۸۱). با افزایش مرتبه مشتق قائم، بی‌هنجاری‌ها برجسته‌تر می‌شوند اما چون این فیلتر از نوع فیلتر بالا گذر است به‌طور ناخواسته هم‌زمان با سیگنال‌های موجود در تصویر، نوفه‌ها نیز برجسته می‌شوند. این پدیده به‌ویژه در مشتقات قائم مرتبه بالاتر ظاهر خواهد شد. کاربرد این فیلتر عموماً به مرتبه‌های اول و دوم محدود می‌شود. بدین صورت که ابتدا نقشه مشتق قائم مرتبه دوم داده‌ها رسم می‌شود، در صورتی که این نقشه دارای نوفه زیادی بود و در تفسیرها نقشی نداشت از نقشه مشتق قائم مرتبه اول استفاده می‌شود (گان و همکاران، ۱۹۹۷). برای رفع این مشکل در فن جدیدی از مشتق قائم با مرتبه غیر صحیح استفاده می‌شود (کوان و کوپر، ۲۰۰۵). برای مثال اگر در مورد داده‌های میدان پتانسیل برداشت شده مشتق قائم مرتبه دوم نیاز مفسر را برآورده نکرد و در ضمن مشتق قائم مرتبه سوم نوفه زیادی داشت، با این روش می‌توان مشتق قائم با مرتبه ۲٫۲۵ یا ۲٫۵ را محاسبه کرد تا علاوه بر برجسته کردن بیشتر بی‌هنجاری‌ها میزان نوفه آن نیز حداقل باشد. اما این روش فقط در مواردی کارایی خوبی دارد که شدت داده‌های برداشت شده در سرتاسر نقشه رسم شده یکنواخت باشد. اگر در یک قسمت از نقشه شدت داده‌ها زیاد و در قسمتی دیگر کم باشد، نتیجه استفاده از این روش تصویری است که در بعضی قسمت‌ها میزان نوفه زیاد و در سایر قسمت‌ها میزان آن کم است و به اصطلاح تعادل مناسبی بین نوفه و سیگنال تصویر فیلتر شده وجود ندارد. علت آن است که از یک

هرچه ابعاد پنجره مورد نظر کوچک تر باشد جزئیات بیشتری از نقشه برجسته و نمایان می شود و در مقابل با افزایش ابعاد پنجره، بی‌هنجاری‌هایی با طول موج‌های بیشتر از دست خواهند رفت و نقشه از جزئیات کمتری خواهد داشت. این امر باعث خطا در تفسیر خواهد شد. در نتیجه، انتخاب بهینه ابعاد پنجره مورد استفاده ضروری است.

بعد از تعیین مرتبه مناسب مشتق قائم برای هر قسمت از تصویر برداشت شده، مشتق قائم با مرتبه مناسب برای آن قسمت محاسبه می‌شود. با این کار برای همه داده‌ها، نقشه‌ای به دست می‌آید که مرتبه مشتق قائم در نقاط گوناگون آن متفاوت است و تعادل مناسبی بین نوفه و سیگنال‌های موجود ایجاد خواهد شد.

در عمل ایجاد تصویری شامل مشتق قائم با مرتبه‌های متفاوت در سرتاسر نقاط آن، وقت گیر است و نیاز به حافظه زیادی دارد. برای مثال اگر داده‌ها در یک شبکه $M \times N$ برداشت شده باشند برای محاسبه مشتق قائم با مرتبه‌های گوناگون به محاسبه $2(M \times N)$ تبدیل فوریه دوبعدی نیاز است. به همین دلیل، علاوه بر این روش از روش‌های سریع‌تر دیگری چون مشتق قائم وزن دار می‌توان استفاده کرد که در زیر توضیح داده خواهد شد.

۳ مشتق قائم وزن دار

با استفاده از رابطه (۴) می‌توان از داده‌های میدان پتانسیل برداشت شده و مشتقات قائم آن مجموع وزن دار را محاسبه کرد. در این رابطه وزن مربوط به داده‌های برداشت شده برابر ۱ و وزن مشتق قائم با مرتبه‌های گوناگون بسته به شدت تغییرات داده‌ها، متغیر خواهد بود.

$$\varphi(x, y, z_0) = f(x, y, z_0) + w_1 f^{(1)}(x, y, z_0) + w_2 f^{(2)}(x, y, z_0) + \dots \quad (4)$$

در مرتبه‌های بالاتر این فیلتر، نبود تعادل بین نوفه و سیگنال‌های موجود در تصویر فیلتر شده است. این موضوع به ویژه در مواردی که دامنه تغییرات شدت ناهنجاری‌های میدان پتانسیل برداشت شده زیاد یا به عبارت دیگر هنگامی که تفاوت بین ماکسیمم و مینیمم بی‌هنجاری‌های موجود در تصویر زیاد باشد، ظاهر خواهد شد.

برای بررسی و تمایز مناطق با فعالیت مغناطیسی شدید (بی‌هنجاری مغناطیسی زیاد) و مناطق با فعالیت مغناطیسی ضعیف (بی‌هنجاری‌های ضعیف) با مشتقات قائم، ضروری است که با توجه به ماهیت داده‌ها و همچنین میزان شدت آنها از مرتبه‌های متفاوت و مفید مشتق قائم استفاده شود. با این کار نقشه‌ای از مشتقات قائم با مرتبه‌های متفاوت تولید می‌شود که مرتبه مشتق قائم با توجه به تغییرات محلی داده‌ها، متفاوت است. برای این کار روش‌های گوناگونی وجود دارد ولی مؤثرترین روش، استفاده از پنجره‌ای متحرک با ابعاد معین است. این پنجره روی داده‌ها حرکت می‌کند و در هر موقعیت، انحراف معیار داده‌هایی که در درون پنجره افتاده است محاسبه می‌شود. سپس مرتبه مشتق مورد استفاده $O(x, y)$ برای داده‌های داخل پنجره‌ای که مرکز آن در موقعیت (x, y) قرار دارد از رابطه زیر به دست می‌آید (گان و همکاران، ۱۹۹۷).

$$O(x, y) = dzme^{K \cdot sd(x, y) / sdm} \quad (3)$$

در این رابطه dzm ماکسیمم مرتبه مشتق قائم مورد استفاده، $Sd(x, y)$ انحراف استاندارد داده‌های داخل پنجره، Sdm ماکسیمم مقدار انحراف استاندارد داده‌های موجود در پنجره و K فاکتور مقیاس است که با مفسر انتخاب می‌شود و تعادل بین محاسبه مشتق قائم مربوط به نقاط با شدت زیاد و نقاط با شدت کم را برقرار می‌کند.

نقاط با شدت کم را از نظر وزن‌دهی متفاوت برقرار می‌کند. از طرف دیگر وزن‌های متفاوت مشتق قائم با انحراف استاندارد داده‌ها نسبت عکس دارد، بنابراین در نقاطی از نقشه که تغییرات شدت داده‌ها و در نتیجه واریانس داده‌ها زیاد است، وزن متعلق به آن کم است.

$$w(x, y) = \log\left(\frac{K}{sd(x, y)}\right) \quad (۶)$$

۴ کاربرد روی داده‌های مغناطیسی مدل منشور قائم

شکل (۱) کاربرد مشتق قائم با مرتبه‌های متفاوت را روی داده‌های مغناطیسی مصنوعی مدل منشور قائم با قاعده مستطیل نشان می‌دهد. شکل (۱، الف) مربوط به پاسخ مغناطیسی مدل منشور قائم است. ابعاد مدل ۴۰۰ و ۱۴۰۰ متر و مدل در عمق ۲۰۰ متری قرار دارد. زاویه میل و انحراف بردار مغناطیس شدگی توده به ترتیب ۶۰ و ۱۵ درجه انتخاب شده است. شکل (۱، ب) نقشه مشتق قائم مرتبه اول داده‌های قسمت الف را نشان می‌دهد. در این شکل، مرز واقعی توده (قاعده منشور که با رنگ مشکی رسم شده است) با نتیجه برآورد کردن مرز مطابقت ندارد که به منظور افزایش دقت برآورد، باید از مرتبه‌های بالاتر مشتق قائم استفاده کرد. در شکل‌های (۱، ج) و (۱، د) به ترتیب نقشه‌های مشتق قائم مرتبه دوم و سوم داده‌های قسمت الف آمده است که با افزایش مرتبه مشتق، دقت برآورد کردن مرز افزایش یافته است ولی هم‌زمان، نوفه‌ها نیز برجسته شده‌اند. شکل (۱، ه) نقشه مشتق قائم وزن‌دار داده‌های قسمت الف را نشان می‌دهد که با پنجره‌ای به ابعاد ۳×۳ محاسبه شده است. در این شکل بین نوفه و سیگنال موجود تعادل برقرار شده است و در ضمن موقعیت توده با نتیجه مشتق قائم مطابقت کامل دارد.

۵ کاربرد روش روی داده‌های مغناطیس هوایی

چهارگوش آباده

ساختمان اصلی موجود در چهارگوش آباده گسل

در این رابطه w_1 و w_2 و ... وزن‌ها هستند. $f^{(n)}$ ها مشتق قائم با مرتبه‌های گوناگون و f داده‌های میدان پتانسیل برداشت شده است (فدی و فلوریو، ۲۰۰۱). به این ترتیب با به‌کارگیری روش شرح داده‌شده و استفاده از انحراف استاندارد، اگر وزن‌های W_n در سرتاسر نقشه و برای پنجره‌های مورد استفاده در محاسبه مشتق قائم متغیر انتخاب شوند، آن‌گاه رابطه بالا را به صورت زیر می‌توان نوشت:

$$\varphi(x, y, z_0) = f^{(n_1)}(x, y, z_0) + w(x, y)f^{(n_2)}(x, y, z_0). \quad (۵)$$

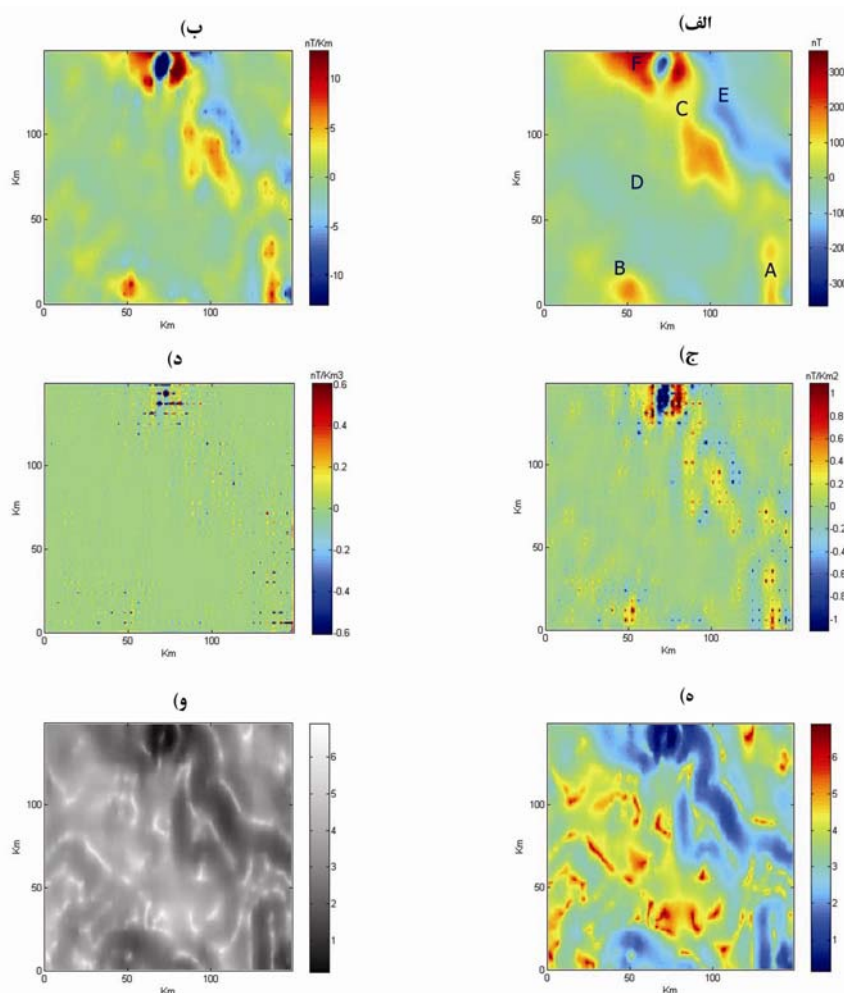
در این رابطه $f^{(n_1)}$ و $f^{(n_2)}$ دو مشتق قائم با مرتبه متفاوت و $w(x, y)$ تابع وزن براساس انحراف استاندارد داده‌های قرار گرفته در پنجره متحرک است. علاوه بر این برطبق این رابطه می‌توان مقادیر وزن‌های متفاوت به کاررفته در محاسبات را به نقشه در آورد. سریع بودن استفاده از این فن به آن دلیل است که فقط نیاز به محاسبه مشتق قائم با دو مرتبه گوناگون مثلاً مرتبه ۱ و ۲ است و لذا فقط باید دو تبدیل فوریه و عکس تبدیل فوریه را برقرار کرد. سپس توسط داده‌های محاط در پنجره متحرک وزن‌های مشتق قائم در نقاط گوناگون را محاسبه و با فرمول بالا مشتق قائم وزن‌دار را حساب کرد. برطبق فرمول، وزن مشتق قائم مرتبه پایین‌تر برابر ۱ لحاظ می‌شود. چون مشکل نوفه در مشتق مرتبه بالاتر، وجود دارد، مشتق با مرتبه بالاتر بسته به ماهیت داده‌ها و در نقاط متفاوت، وزن‌های متفاوت دریافت می‌کند.

برای به دست آوردن وزن مشتق قائم با روش گفته شده، از رابطه (۶) استفاده می‌شود. در این رابطه مخرج کسر برابر انحراف استاندارد داده‌های محاط در پنجره متحرک و صورت کسر فاکتور مقیاس K است. وزن‌های مشتق قائم با ضریب K نسبت مستقیم دارد. در کل محاسبات، مقدار K ثابت است و در واقع این ضریب، تعادل بین مشتق قائم در نقاط با شدت زیاد و

پرواز با فاصله ۷٫۵ کیلومتر و با زاویه‌های ۴۵ درجه و ۲۲٫۵ درجه صورت گرفته است. خطوط گره (ریبط) با فاصله ۴۰ کیلومتر عمود بر مسیر پیمایش برداشت شده است.

در شکل (۲) کاربرد روش مشتق قائم با مرتبه‌های متفاوت در تفسیر مغناطیس‌سنجی این چهار گوش آمده است. در شکل (۲، الف) نقشه هم‌مقدار مغناطیسی و در شکل (۲، ب، ج، د) به ترتیب نقشه مشتق قائم با مرتبه‌های ۱، ۲، و ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، با افزایش مرتبه مشتق قائم، بی‌هنجاری‌ها

دهشیر با روند شمال غرب - جنوب شرق است که گرانیته شیرکوه در شمال شرق منطقه را از کفه طاقستان و کفه ابرکوه در بخش‌های جنوبی و مرکزی جدا می‌کند. مساحت منطقه مورد نظر ۲۰۰۰۰ کیلومتر مربع است که از نظر تقسیمات کشوری بخش غرب و جنوب غرب آن در استان فارس و بخش شمال و شمال شرق آن در استان یزد قرار گرفته است. عملیات مغناطیس‌سنجی هوایی از سوی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و با مغناطیس‌سنج بخار سزیم در ارتفاع ۱۹۵۰ متر صورت گرفته است. خطوط پیمایش



شکل ۲. (الف) نقشه هم‌مقدار مغناطیسی چهار گوش آباد، ابعاد نقشه ۱۵۰×۱۵۰ کیلومتر. (ب) نقشه مشتق قائم مرتبه اول داده‌های قسمت الف. (ج) نقشه مشتق قائم مرتبه دوم داده‌های قسمت الف. (د) نقشه مشتق قائم مرتبه سوم داده‌های قسمت الف. (ه) نقشه مشتق قائم وزن‌دار داده‌های قسمت الف (مقیاس رنگی). (و) نقشه مشتق قائم وزن‌دار داده‌های قسمت الف (مقیاس خاکستری).

جدول ۱. موقعیت بی‌هنجاری‌های موجود در منطقه آبادیه همراه با تفسیر زمین‌شناسی آنها.

بی‌هنجاری مغناطیسی	موقعیت	تفسیر زمین‌شناسی
(High)A	جنوب شرق منطقه	رخنمون افیولیت‌ها
(High)B	جنوب غرب منطقه	بالا آمدگی پی سنگ
(High)C	شمال شرق منطقه (امتداد گسل دهشیر)	نفوذ آندزیت‌ها در امتداد گسل دهشیر
(Low)D	بخش مرکزی منطقه (کفه طاقستان)	وجود رسوب‌ها و همچنین پی سنگ عمیق
(Low)E	شمال شرق منطقه (گرانیت شیرکوه)	گرانیت نسبتاً غیرمغناطیسی
(High)F	غرب گسل دهشیر	سنگ‌شناسی متنوع از سنگ‌های آذرین

برجسته می‌شوند ولی نوفه زیادی نیز به نقشه‌ها القا می‌شود که عملاً باعث پوشیده شدن بی‌هنجاری‌ها می‌شود و نمی‌توان از آنها در تفسیر استفاده کرد. در شکل (۲، ه) نقشه مشتق قائم وزن دار منطقه آمده که با پنجره‌ای متحرک به ابعاد ۵×۵ محاسبه شده است. در این نقشه عوارض و ساختارهای موجود در منطقه و همچنین مرز آنها به خوبی مشخص شده است. از مهم‌ترین ساختارهای موجود در منطقه، گسل دهشیر است که در بخش‌های شرقی منطقه دو شاخه شده است و با شواهد زمین‌شناسی نیز مطابقت دارد (مشرقی فر و همکاران، ۱۳۸۵). در این مورد خاص به دلیل یکنواخت نبودن تغییرات داده‌ها در چهار گوش، محاسبه مشتق قائم با مرتبه غیر صحیح نمی‌تواند مفید باشد. از روی نقشه مشتق قائم وزن دار، مناطقی که تغییرات شدت داده‌های برداشت شده زیاد است (مناطق منطبق بر بی‌هنجاری مغناطیسی قوی) با وزن کمتری نسبت به دیگر مناطق مشخص هستند.

با توجه به نقشه زمین‌شناسی و نقشه مشتق قائم وزن دار، تفسیر زمین‌شناسی بی‌هنجاری‌های موجود در نقشه مغناطیسی مطابق با جدول (۱) است.

۶ کاربرد روی داده‌های گرانی حوزه وایت‌واترزنند به دلیل نداشتن دسترسی به داده‌های گرانی با دقت زیاد از مناطق ایران، در شکل (۳) کاربرد فیلتر مشتق قائم با مرتبه‌های متفاوت و همچنین مشتق قائم وزن دار روی داده‌های گرانی بوگه حوزه وایت‌واترزنند افریقای

جنوبی نشان داده شده است. حوزه پیش گفته بین شهر ژوهانسبورگ و رودخانه وال قرار گرفته است و مساحتی حدود ۳۵۰ کیلومتر مربع را می‌پوشاند. این ناحیه یکی از منابع اصلی ذخایر طلای جهان است که به‌طور گسترده با روش‌های ژئوفیزیکی مانند گرانی‌سنجی، مغناطیس‌سنجی و لرزه‌نگاری شکستی مورد کاوش قرار گرفته است. معدن کاری طلا در مرزهای حوزه صورت می‌گیرد. نقشه زمین‌شناسی حوزه وایت‌واترزنند همراه با منطقه بررسی در شکل (۴) آمده است. مهم‌ترین ساختار زمین‌شناسی منطقه گنبد وردفرت است که در اثر برخورد شهاب سنگ به وجود آمده است (گیسون و ریمولد، ۲۰۰۱). دو حوزه طلا دار در شمال غرب و جنوب غرب منطقه مورد بررسی با شماره‌های ۸ و ۹ مشخص شده است. قدیمی‌ترین رخساره منطقه با نام گروه بالایی، اکثراً از سنگ‌هایی چون شیل و ماسه سنگ و کوارتزیت تشکیل شده است که ۸ کیلومتر ضخامت دارد و در قسمت‌های بالایی آن لایه‌های کنگلومرا با قلوه‌های طلا دار در یک سیمان شنی یک لایه طلا دار محسوب می‌شود. تشکیل طلا در این ناحیه به صورت پلاستی و همچنین با منشأ گرمایی هیدروترمال است. شکل (۳، الف) نقشه بی‌هنجاری بوگه رسم شده با داده‌های گرانی با کیفیت در گستره ۲۰۰×۲۰۰ کیلومتر است. فاصله خطوط برداشت و نیز فاصله یستگاه‌های برداشت ۱ کیلومتر است.

شکل‌های (۳، ب، ج، د) به ترتیب مربوط به نقشه مشتق قائم مرتبه اول، دوم و سوم داده‌های قسمت الف است.

لحاظ فیزیکی مفهوم ندارد ولی فیلتر مشتق قائم را در نقش یک فیلتر بالاگذر می توان روی هر نوع داده ای به کار برد (کوپر و کوان، ۲۰۰۳).

میزان تعادل بین مشتقات محاسبه شده در نقاط هموار و برجسته (از لحاظ شدت) موجود در تصویر با ضریب K مشخص می شود. این مطلب در شکل (۵) نشان داده شده است. در واقع مقدار K ، که در به نقشه در آوردن مشتق قائم وزن دار مورد استفاده قرار می گیرد. در شکل (۵، الف) نقشه مشتق وزن دار با $K=1$ رسم شده است. همان طور که مشاهده می شود، وزن های مربوط به محاسبه مشتق در نقاط با شدت زیاد و شدت کم، متناسب نیست. اما در شکل (۵، ب) نقشه مشتق وزن دار با $K=3$ آمده است. در این نقشه تعادل بین سیگنال و نوفه تصویر وجود دارد. لذا پارامتر K فقط در اثر تجربه و با توجه به ماهیت داده های گوناگون مورد تفسیر، از سوی مفسر تعیین می شود.

۷ نتیجه گیری

از فن فیلتر کردن به طور گسترده در تفسیر بی هنجاری های میدان پتانسیل استفاده می شود. مهم ترین فیلترهای مورد استفاده شامل مشتق قائم و افقی است. فیلتر مشتق قائم باعث برجسته شدن بی هنجاری های موجود در نقشه می شود. با افزایش مرتبه مشتق قائم، بی هنجاری های موجود در تصویر برجسته تر می شود اما چون این فیلتر از نوع فیلترهای بالاگذر است، لذا به طور هم زمان نوفه های تصویر نیز برجسته خواهند شد. در این مقاله دو روش برای حل این مشکل مطرح شده است.

(۱) استفاده از مشتق قائم با مرتبه غیر صحیح به طور

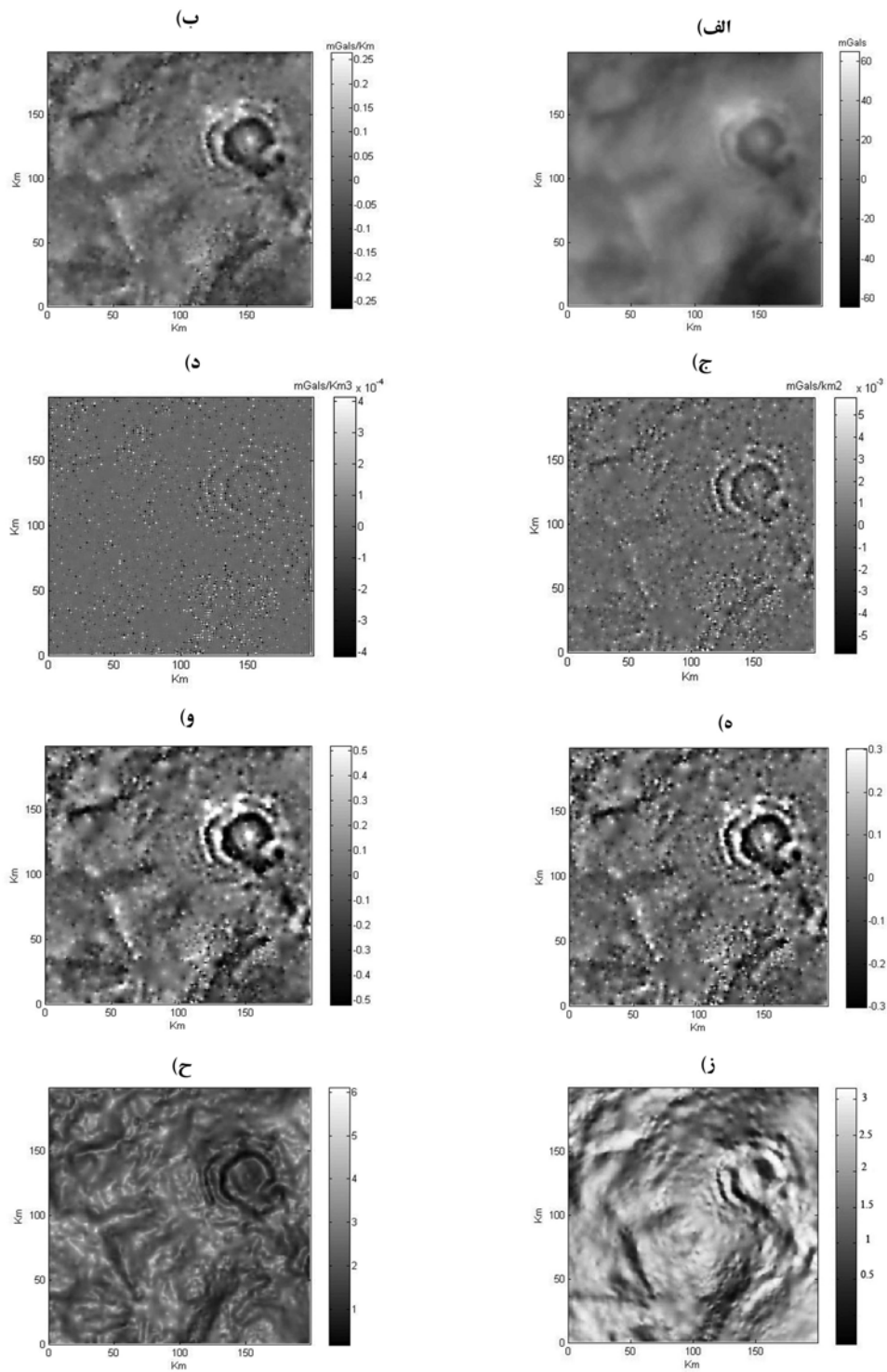
مثال ۲۵ یا ۲۵.

همان گونه که دیده می شود، با افزایش یافتن مرتبه مشتق قائم، دو پدیده رخ می دهد، یکی برجسته شدن مرز بی هنجاری ها و دیگری افزایش نوفه های تصویر که دومی پدیده نامطلوبی است. یکی از راه های برطرف کردن این مشکل استفاده از مشتق قائم با مرتبه غیر صحیح است، بنابراین در این مورد استفاده از مشتق قائم با مرتبه ای بین مرتبه های ۲ و ۳ می تواند مفید باشد. به همین دلیل در شکل های (۳، و) به ترتیب مشتق قائم با مرتبه های ۲ و ۲٫۲۵ محاسبه شده است. با مقایسه این تصاویر با شکل (۳، ج، د) مشخص است که نقشه مشتق قائم با مرتبه ۲٫۲۵ و ۲٫۵ نسبت به نقشه مشتق قائم با مرتبه ۳، نوفه کمتری دارند، علاوه بر آن در این تصاویر، نسبت به تصویر مشتق قائم با مرتبه ۲، بی هنجاری ها برجسته تر شده اند.

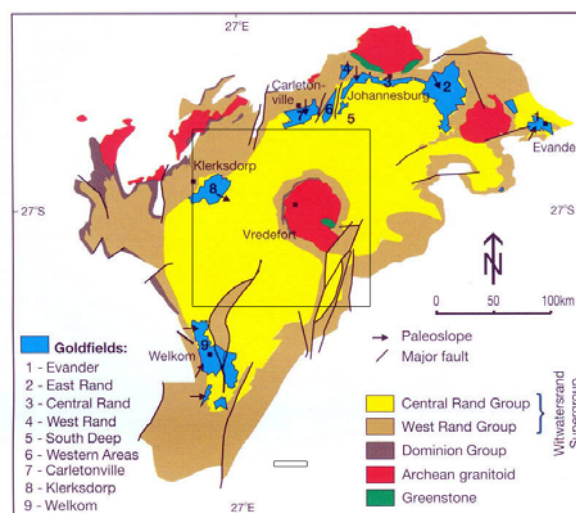
در شکل (۳، ز) تصویر مشتق قائم با مرتبه های متفاوت رسم شده است. مرتبه های متفاوت مشتق قائم با پنجره ای به ابعاد 3×3 محاسبه شده است. همان طور که دیده می شود، این تصویر بی هنجاری ها و پدیده های موجود در تصویر را بهتر مشخص کرده است اما عیب این روش یکی زمان بر بودن و دیگری اشغال حافظه زیاد آن است.

در نهایت در شکل (۳، ح) نقشه مشتق قائم وزن دار آمده است. وزن ها در هر نقطه با پنجره ای به ابعاد 3×3 که مرکز آن روی نقطه است و با داده های محاط در آن محاسبه شده است. بی هنجاری ها در این شکل نیز به خوبی شکل (۳، ز) مشخص است و تعادل کاملی بین نوفه و سیگنال های تصویر وجود دارد. در ضمن این محاسبات در کسری از دقیقه صورت می گیرد.

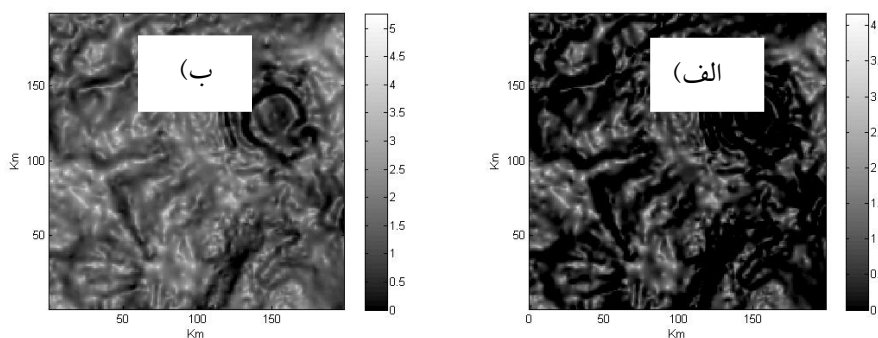
این روش، علاوه بر کاربرد روی داده های میدان پتانسیل، در مورد داده های توپوگرافی نیز کاربرد خوبی دارد. گرچه محاسبه مشتق قائم داده های ارتفاعی از



شکل ۳. (الف) تصویر گرانی بوگه حوزه وایت‌واترزند، افریقای جنوبی. اندازه تصویر ۲۰۰×۲۰۰ کیلومتر و مقادیر داده‌ها از ۶۰mgal (رنگ سیاه) تا ۶۰mgal (رنگ سفید) متغیر است. (ب) تصویر مشتق قائم مرتبه اول داده‌های قسمت الف. (ج) تصویر مشتق قائم مرتبه دوم داده‌های قسمت الف. (د) تصویر مشتق قائم مرتبه سوم داده‌های قسمت الف. (ه) تصویر مشتق قائم مرتبه اول داده‌های قسمت الف. (و) تصویر مشتق قائم با مرتبه دوم داده‌های قسمت الف. (ز) تصویر مشتق قائم با مرتبه‌های متفاوت داده‌های قسمت الف. مرتبه‌ها از ۰ (سیاه) تا ۳ (سفید) متغیر است. (ح) تصویر مشتق قائم وزندار داده‌های قسمت الف تهیه شده با پنجره‌ای با ابعاد ۳×۳.



شکل ۴. نقشه زمین‌شناسی حوزه وایت‌واترزند، افریقای جنوبی. موقعیت منطقه مورد بررسی با کادر مشکی مشخص شده است



شکل ۵. (الف)، تصویر مشتق قائم وزن دار داده‌های گرانی حوزه وایت‌واترزند، افریقای جنوبی با $K=1$. (ب)، تصویر مشتق قائم وزن دار همان داده‌ها با $K=3$.

مغناطیس‌سنجی چهارگوش آباده و همچنین بی‌هنجاری‌های گرانی‌سنجی وایت‌واترزند افریقای جنوبی با این روش صورت گرفته است. در نقشه چهارگوش آباده گسل دهشیر بافت با روند شمال غرب- جنوب شرق و در نقشه گرانی‌سنجی وایت‌واترزند ساختار وردفرت برجسته شده‌اند.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از دانشگاه یزد به‌خاطر فراهم آوردن امکانات موردنیاز این مقاله و همچنین از گردن کوپر از دانشگاه وایت‌واترزند افریقای جنوبی، به‌دلیل عرضه داده‌های گرانی حوزه وایت‌واترزند تشکر و قدردانی

(۲) محاسبه مشتق قائم با مرتبه‌های متفاوت با توجه به ماهیت داده‌های برداشت‌شده. در این روش، پنجره‌ای متحرک با ابعاد معین روی داده‌ها حرکت می‌کند و در هر موقعیت با توجه به داده‌های درون پنجره و محاسبه انحراف معیار داده‌ها و با فرمول ذکر شده مرتبه مشتق مناسب برای نقطه‌ای که مرکز پنجره روی آن است محاسبه می‌شود. پس از اینکه این مرحله برای سرتاسر نقشه صورت گرفت، مشتق قائم با مرتبه‌های متفاوت محاسبه می‌شود. چون این عملیات وقت‌گیر و کند است لذا از روش‌های سریع‌تری مانند محاسبه مشتق قائم وزن‌دار استفاده می‌شود که نتیجه بهتر و سریع‌تری می‌دهد. در این نوشته تفسیر بی‌هنجاری‌های

- Cooper, G.R.J. and Cowan, D.R., 2003. The application of fractional calculus to potential field data. *Exploration Geophysics* 34, 4, 51-56.
- Cowan, D.R and Cooper, G.R.J., 2005. Separation filtering using fractional order derivatives. *Exploration Geophysics* 36,4, 393 – 396
- Fedi, M, and Florio, G., 2001. Detection of potential fields source boundaries by enhanced horizontal derivatives method. *Geophysical prospecting* 49, 40-58.
- Gunn, P.J, Fitz Gerald, D., Yassi, N. and Dart, P., 1997. New algorithms for visually enhancing airborne geophysical data. *Exploration Geophysics* 28, 3 , 220-224.
- Gibson, R.L. and Reimold, w. U. 2001. The vredefort impact structure. Council for Geoscience.

می‌شود.

منابع

- مشرفی‌فر، محمد رضا، علوی، احمد. ، محجل، محمد. و دهقانی فیروزآبادی، جواد، ۱۳۸۵، بررسی گسل دهشیر بر روی نقشه مغناطیس آباده. بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- Blakely, R.J., 1995. *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*. Cambridge University Press, New York 435pp.
- Beck, A.E., 1981. *Physical principles of Exploration Methods*. Macmillan press, London, 73pp.