

## تشخیص مرز بی‌هنجاری‌های گرانی با استفاده از روش مشتق افقی بهبود یافته

زینب دادجو<sup>۱</sup>، حمید آقاجانی<sup>۲</sup>، امین روشندل کاهو<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناس ارشد گرانی‌سنجی، دانشگاه صنعتی شاهرود، [dadjou.z@gmail.com](mailto:dadjou.z@gmail.com)

<sup>۲</sup> دانشیار، دانشگاه صنعتی شاهرود، [haghajani@shahroodut.ac.ir](mailto:haghajani@shahroodut.ac.ir)

<sup>۳</sup> دانشیار، دانشگاه صنعتی شاهرود، [roshandel@shahroodut.ac.ir](mailto:roshandel@shahroodut.ac.ir)

### چکیده

روش مشتق افقی بهبود یافته برای تفسیر بی‌هنجاری‌های میدان پتانسیل بکار می‌رود و یک روش با قدرت تفکیک بالا در تشخیص مرزهای جانبی در منابع گرانی است. این روش بسیار انعطاف‌پذیر بوده و می‌تواند حالت‌های مختلف از نسبت سیگنال به نوفه را با انتخاب مناسب از مجموع جملات بهبود ببخشد. در این مقاله از این روش برای شناسایی ساختارهای زیرسطحی و تشخیص مرز در دو سری داده مصنوعی و واقعی استفاده شده است. برای این منظور در محیط نرم‌افزار متلب روش محاسبه‌ی مشتق افقی بهبود یافته کدنویسی شده است. این کد ابتدا روی داده‌های گرانی یک مدل مصنوعی همراه با نوفه اعمال شد و سپس برای تفسیر مرز واحدها و ساختارهای حاصل از داده‌های گرانی توده معدنی موبرون استفاده شده است.

**واژه‌های کلیدی:** داده گرانی، مشتق افقی، مشتق افقی بهبود یافته، بی‌هنجاری گرانی، تشخیص لبه، توده معدنی موبرون

## Edge detection of gravity anomalies using enhanced horizontal derivative

Dadjou, Zeynab<sup>1</sup>, Aghajani, Hamid<sup>2</sup>, Roshandel Kahoo, Amin<sup>3</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. Student of gravity, Shahrood University of technology

<sup>2</sup>Associate Professor, Shahrood University of technology

<sup>3</sup>Associate Professor, Shahrood University of technology

### Abstract

The enhanced horizontal derivative is usually used to interpret the potential field anomalies and is a high-resolution method to detection of the horizontal boundaries of gravity sources. This method is highly flexible, and different conditions of signal-to-noise ratios can be treated by an appropriate selection of the terms of the summation. In this paper, the EHD method is used to recognition sub-structures and edge detection in synthetic and real data. In order to calculation enhanced horizontal derivative value of gravity anomalies, a code has been written in MATLAB software. The first we applied it on the synthetic data and then we used enhanced horizontal derivative method to interpret the gravity data from Mobrun sulfide body.

**Keywords:** Data gravity, Horizontal derivative, Enhanced horizontal derivative, gravity anomalies, edge detection, Mobrun sulfide body

### ۱ مقدمه

فیلترهای زیادی برای بهبود و تشخیص لبه استفاده شده‌اند. مشتق افقی و مشتق قائم اغلب برای بهبود لبه استفاده می‌شوند. از مشتق قائم برای تعیین لبه‌های داده‌های گرانی و مغناطیس استفاده شده است (اوجن، ۱۹۳۶). مشتق افقی کل در سطح وسیعی برای تعیین لبه استفاده می‌شود (کوردل، ۱۹۷۹؛ کوردل و گراچ، ۱۹۸۵).

نبی‌قیان در پژوهش‌های خود (۱۹۷۲، ۱۹۷۴، ۱۹۹۲) نشان داد که بیشینه‌ی دامنه‌ی سیگنال تحلیلی می‌تواند به طور مستقیم لبه‌های منابع آنومال را مشخص کند. میلر و سینگ (۱۹۹۴) از زاویه کجی برای تعیین لبه استفاده کردند. هسو و همکاران (۱۹۹۶) از مشتقات مرتبه‌ی بالاتر با نام روش سیگنال تحلیلی بهبود یافته برای بهبود برآورد لبه استفاده کردند. فیلترهای مشتق افقی کل، مشتق افقی کل نرمال‌شده، زاویه تتا از فاز محلی هستند که لبه بی‌هنجاری را تعیین می‌کنند (بلکلی، ۱۹۹۵؛ کوردل و گروچ، ۱۹۸۵؛ روست و همکاران، ۱۹۹۲؛ هسو و همکاران، ۱۹۹۶؛ فدی و فلوریو، ۲۰۰۱). یک رویکرد کاملاً متفاوت براساس مفهوم عمومی از مشتق افقی به نام مشتق افقی بهبود یافته است این روش یک برآوردگر مرز با وضوح بالا

براساس مشتق افقی مجموعه وزن‌دار مشتقات قائم میدان پتانسیل است که اولین بار توسط فدوی و فلوریو (۲۰۰۱). یکی از محدودیت‌ها برای برآورد درست مرز منبع، مخصوصاً زمانی که در عمق قرار دارند، اثر تداخلی منابع نزدیک است، در این حالت روش مشتق افقی بهبود یافته مرزها را با وضوح بالا نمایش می‌دهد.

## ۲ روش تحقیق

فیلترهای مشتق افقی و مشتق قائم میدان پتانسیل مدت زیادی است که برای به تصویر کشیدن مرزهای منابع میدان گرانی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این فیلترها به طور گسترده برای تفسیر بی‌هنجاری‌های میدان گرانی مورد استفاده قرار می‌گیرند. مقدار مشتق افقی در بالای لبه‌های توده مولد بی‌هنجاری بشتترین مقدار خود را دارد و لبه‌ها را برجسته می‌کند. فیلتر مشتق قائم عرض بی‌هنجاری‌ها را باریک‌تر و در نهایت موقعیت توده را با دقت بیشتری مشخص می‌نماید. با افزایش مرتبه مشتق قائم، بی‌هنجاری‌ها برجسته‌تر می‌شوند اما چون این فیلتر از نوع بالاگذر است نوفه‌ها نیز همزمان با سیگنال‌های موجود برجسته می‌شوند. محل بیشینه مشتق افقی بهبود یافته برای بدست آوردن مرزهای منبع بکار گرفته شده است. برای داده‌های گرانی به صورت مستقیم استفاده می‌شود و یک روش انعطاف‌پذیر می‌باشد همچنین نسبت سیگنال به نویز و عمق به منبع را به وسیله یک انتخاب مناسب از مجموع جملات می‌تواند بهبود ببخشد. تابع حقیقی  $n$  بعدی  $F(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$  را در نظر می‌گیریم به طوریکه تمام مشتقات مرتبه  $m$ ، در بازه‌ی پیوسته  $a_i < x_i < b_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) وجود دارد، می‌تواند بوسیله  $m+1$  جمله از بسط مضرب تیلور (کورن و کورن ۱۹۸۶) تقریب زده شود. زمانی که  $n = 3$  باشد رابطه‌ی (۱) را داریم:

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = f(a_1, a_2, \dots, a_n) + \sum_{i=1}^3 \left[ \frac{\partial f}{\partial x_i} \right]_{a_1, a_2, a_3} (x_i - a_i) + \frac{1}{2!} \sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^3 \left[ \frac{\partial^2 f}{\partial x_i \partial x_j} \right]_{a_1, a_2, a_3} (x_i - a_i)(x_j - a_j) + \dots \quad (1)$$

روی صفحه  $z = z_0$  در منطقه‌ی هارمونیک، عملگر ادامه فروسو به دلیل اینکه تمام جملات محور افقی صفر هستند فقط از جملات محور عمودی به عنوان بسط سری تیلور نوشته می‌شود، در رابطه‌ی (۱) قرار می‌دهیم  $x = x_1, y = x_2, z = x_3$  در این صورت محل افقی  $(x, y)$  را به صورت رابطه (۲) زیر می‌توان نوشت:

$$f(x, y, z) = f(x, y, z_0) + \left[ \frac{\partial f}{\partial z} \right]_{z_0} (z - z_0) + \frac{1}{2!} \left[ \frac{\partial^2 f}{\partial z^2} \right]_{z_0} (z - z_0)^2 + \dots + \frac{1}{m!} \left[ \frac{\partial^m f}{\partial z^m} \right]_{z_0} (z - z_0)^m \quad (2)$$

اگر یک مجموعه داده گسسته  $n_x \times n_y$  که در آن  $x = \{\Delta s, \dots, n_x * \Delta s\}, y = \{\Delta s, \dots, n_y * \Delta s\}$  داشته باشیم، آنگاه می‌توانیم بسط سری تیلور را به صورت یک سیگنال جدید  $\Phi$  روی یک سلول گرید  $(\Delta s)$  که آن را واحد فرض می‌کنیم در نظر بگیریم. همچنین در این بسط، وزن مشتق قائم هر جمله را نیز واحد در نظر گرفته‌ایم که رابطه (۳) بدست می‌آید:

$$\varphi(x, y, z_0) = f(x, y, z_0) + f^{(1)}(x, y, z_0) + f^{(2)}(x, y, z_0) + \dots + f^{(m)}(x, y, z_0) \quad (3)$$

در رابطه (۳) مقدار مشتق افقی بهبود یافته برابر با اندازه مشتق افقی سیگنال  $\Phi$  تعریف می‌کنیم و به صورت رابطه (۴) داریم:

$$EHD(x, y) = \sqrt{\left[ \left( \frac{\partial \varphi}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial \varphi}{\partial y} \right)^2 \right]} \quad (4)$$

در این مقاله با استفاده از کدنویسی در محیط متلب رابطه‌ها بدست آمده است.

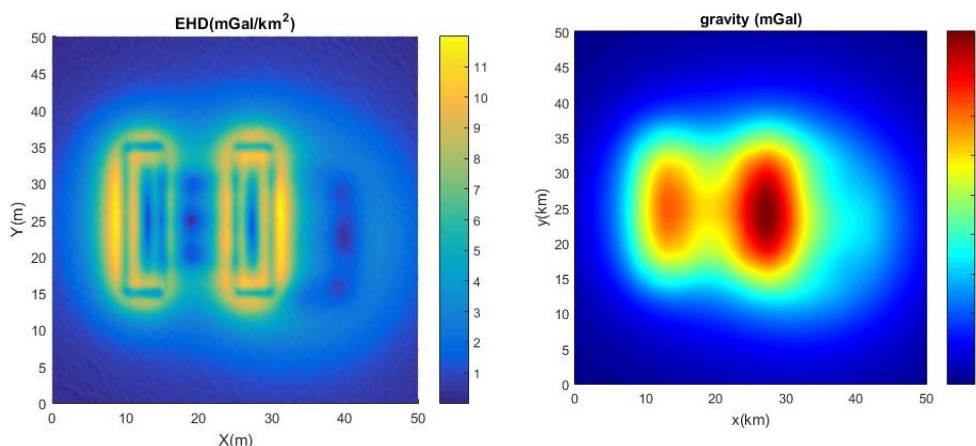
### ۳ داده‌های مصنوعی

اساس اکثر روش‌های تعیین مشخصات هندسی منابع، استفاده از مشتق قائم و افقی بی‌هنجاری‌های میدان گرانی است. مشتق افقی بهبود یافته یک روش با رزولوشن بالا برای تعیین مرزهای افقی منابع گرانی ارائه می‌دهد. یک شبکه  $50 \times 50$  کیلومتر می‌باشد.  $dx$  و  $dy$  برابر  $0/5$  کیلومتر می‌باشد. مشخصات این مدل مصنوعی در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. مشخصات مدل مصنوعی چهار دایک

توده بی‌هنجار	تباين چگالی ( $gr/cm^3$ )	گسترش طولی (km)	گسترش عرضی (km)	گسترش عمقی (km)
دایک ۱	۱	۱۰-۱۵	۱۵-۳۵	۱-۵
دایک ۲	۱	۱۵-۲۵	۲۰-۳۰	۳-۷
دایک ۳	۱	۲۵-۳۰	۱۵-۳۵	۱-۵
دایک ۴	۱	۳۰-۴۰	۱۵-۳۰	۴-۱۰

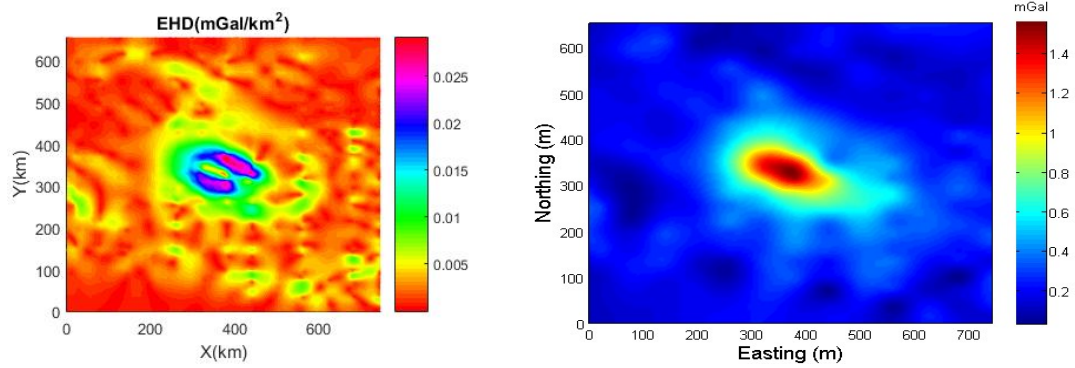
شکل (الف، ۱) پاسخ گرانی مدل مصنوعی چهار دایک را نمایش می‌دهد. شکل (ب، ۱) کاربرد روش  $EHD$  را بر روی بی‌هنجاری گرانی مدل مصنوعی چهار دایک با نوفه  $1/5$  درصد تا مشتق قائم مرتبه‌ی اول طبق رابطه (۳) نشان می‌دهد. دو جسمی که در عمق بیشتری قرار دارند مرزهایشان با وضوح کمتری نمایش داده شده است.



شکل ۱-الف: پاسخ گرانی مدل مصنوعی چهار دایک. ب: تعیین مرز مدل مصنوعی چهار دایک با روش  $EHD$  با نوفه  $1/5$  درصد.

### ۴ داده‌های واقعی

توده مسیوسولفاید موبرون در نزدیکی شهر نوراندا در ایالت کبک کانادا واقع شده است. سنگ میزبان این توده معدنی سنگ‌های آتشفشانی پرکامبرین میانی است. کانی‌سازی درون هاله سولفیدی متشکل از کانی پیریت به صورت توده‌ای و پراکنده به همراه مواد معدنی سولفیدی فلزات پایه با مقادیری کمی طلا و نقره می‌باشد. در این ناحیه اندازه‌گیری مقدار گرانی روی نقاط ایستگاهی به فاصله  $30$  متری بر روی پروفیل‌هایی به فواصل  $60$  متری انجام شده است. نتایج حاصل از مغزه‌های حفاری نشان می‌دهد که ماده معدنی با چگالی متوسط حدود  $4/6$  گرم بر سانتی‌مترمکعب درون سنگ‌های آتشفشانی با چگالی  $2/7$  گرم بر سانتی‌مترمکعب قرار گرفته است. گسترش ماده معدنی در جهت شمال غربی-جنوب شرقی است. شکل (۲-الف) نقشه بی‌هنجاری باقیمانده گرانی رسم شده در منطقه مورد مطالعه ارائه شده است. در شکل (۲-ب) نقشه برآورد مرز با استفاده از روش مشتق افقی بهبود یافته تا مشتق قائم مرتبه اول نشان داده شده است.



شکل ۲-الف. نقشه بی‌هنجاری باقیمانده گرانیتی توده معدنی موبرون. ب: نقشه برآورد مرز توده معدنی موبرون با استفاده از روش مشتق افقی بهبود یافته.

### ۵ نتیجه‌گیری

در این مقاله، مشتقات افقی از مرتبه‌های مختلف مشتقات قائم میدان گرانیتی، به عنوان روشی با رزولوشن بالا برای تعیین موقعیت افقی کنتراست چگالی استفاده شده است. بیشینه‌ی مشتق افقی بهبود یافته، مرزهای منابع میدان گرانیتی را نشان می‌دهد. با اعمال این روش بر روی داده‌های توده معدنی موبرون، ساختارهای منطقه و راستای کشیدگی آنها در منطقه کاملاً مشخص است.

### منابع

- علمدار، ک.، انصاری، ع. ا.، (۱۳۸۸)، "برآورد مرز بی‌هنجاری‌های میدان پتانسیل با مشتق قائم سیگنال تحلیلی"، *مجله فیزیک زمین و فضا*، دوره ۳۶، شماره ۳، صفحه ۷۹-۸۶.
- Nabighian, M.N., (1972), "The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section; its properties and use for automated anomaly interpretation", *Geophysics* vol. 37, pp 507-517.
- Nabighian, M. N., (1974), "Additional comments on the analytic signal of two dimensional Magnetic bodies with polygonal cross-section", *Geophysics*, vol. 39, pp 85-92.
- Hsu S, Sibuet J.C. and Shyu C. (1996), "High-resolution detection of geologic boundaries from potential field anomalies, an enhanced analytic signal technique", *Geophysics* 61, 373±386.
- Fedi, M., and Florio, G., (2001) "Detection of potential fields source boundaries by enhanced horizontal-derivative method" *Geophysical*