

تعیین لبه داده‌های میدان پتانسیل با روش‌های بهنجار شده

محمد علیپورنصر^۱، بهروز اسکویی^۲، محمد حیدری^۳

^۱کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، ^۲دانشیار موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ^۳کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، m_alipour013@ut.ac.ir, boskooi@ut.ac.ir, m_heidari@ut.ac.ir

چکیده

آشکارسازهای لبه داده‌های میدان پتانسیل مورد استفاده، دارای معایبی هستند که نمی‌توانند لبه‌های توده‌های زمین‌شناسی عمیق را به طور دقیق و برجسته مشخص کنند. در اینجا برای غلبه بر مشکل تعیین لبه‌های توده‌های زمین‌شناسی عمیق و همچنین برای ارتقای بی‌هنجاری‌های مغناطیسی، از مجموعه‌ای از آشکارسازهای بهنجار شده سیگنال تحلیلی ارتقا یافته، گرادیان افقی کل، مشتق افقی کل بهنجار شده و فیلتر زایه تتا استفاده می‌شود. این روش‌ها بر روی مدل مصنوعی و واقعی اعمال شده و اثربخشی آن‌ها با مقایسه نتایج به دست آمده، ارزیابی می‌شوند. نتایج نشان می‌دهند که این روش‌های بهنجار شده حساسیت کمتری به تغییرات عمق منابع داشته و می‌توانند لبه‌ها را واضح‌تر و دقیق‌تر ترسیم کنند و در بین فیلترهای مورد استفاده، فیلتر مرتبه دوم سیگنال تحلیلی بهنجار شده بهترین پاسخ را از خود نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: آنومالی مغناطیسی، بهنجارسازی، تعیین لبه، سیگنال تحلیلی، فیلتر، میدان پتانسیل

The edge detection of the potential field data with the normalized methods

Mohammad Alipour Nasr¹, Behrooz Oskooi² and Mohammad Heidari³

¹ M.Sc. of Geophysics, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

² Associate Professor of Geophysics, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

³ M.Sc. of Geophysics, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

Abstract

The existing edge detectors have the disadvantages that they cannot identify the edges of deep geological bodies precisely and clearly. In order to overcome the problem of displayed edges of deep geological bodies and also to enhance the magnetic anomalies, we use the normalized enhanced analytic signal detectors, total horizontal derivative (THD), normalized total horizontal derivative (TDX), and the Theta angle filter. The methods are applied to synthetic and real data and evaluated their effectiveness by comparing the obtained results. The results show that the normalized methods are less sensitive to variations in the depth of the sources and can delineate the edges more clearly and precisely and among these filters, the Normalized Second-order enhanced Analytic Signal (NSAS) gives the best result.

Keywords: Magnetic anomalies, Normalization, Edge detection, Analytic signal, Filter, Potential field

۱ مقدمه

تعیین لبه نقش مهمی در تفسیر داده میدان پتانسیل ایفا می‌کند. نقشه‌های مغناطیسی اغلب برای ترسیم گسل‌ها و مرزهای زمین‌شناسی استفاده می‌شوند. این سیگنال‌ها دارای تغییرات بزرگ دامنه‌ای هستند، که ناشی از منابع با شکل‌های هندسی متفاوت، موجود در عمق‌های مختلف و دارای ویژگی‌های مغناطیسی متفاوت است (فریرا و همکاران، ۲۰۱۳). در سال‌های اخیر، روش‌هایی که به دنبال ایجاد تعادل بین دامنه‌های بزرگ و کوچک بی‌هنجاری‌های مغناطیسی توسعه مشتقات بهنجار شده میدان بودند، به سرعت پیشرفت کردند. برای مثال، ویجنز و همکاران (۲۰۰۵) نقشه تتا را با بهنجار کردن مشتق افقی کل به وسیله سیگنال تحلیلی پیشنهاد کردند، که در آن مقادیر کمینه بیانگر لبه‌ها هستند. زاویه تیلت افقی (TDX) نیز به وسیله کوپر و کوان (۲۰۰۶) معرفی شد که در آن مشتق افقی کل با مشتق قائم بهنجار می‌شود و مقادیر بیشینه بیانگر لبه‌ها هستند.

۲ روش تحقیق

سیگنال تحلیلی یک روش به خوبی شناخته شده است. برخی از کارهای قبلی (کوپر، ۲۰۱۵؛ ما و دیو، ۲۰۱۱ و لی، ۲۰۰۶) از افزایش سیگنال تحلیلی استفاده کرده‌اند ولی همه آن‌ها برای تخمین عمق داده مغناطیسی استفاده شده‌اند. در اینجا، برای بهنجار کردن مراتب مختلف سیگنال تحلیلی ارتقا یافته، از مراتب مختلف مشتقات قائم داده میدان پتانسیل استفاده می‌شود. یائو و همکاران (۲۰۱۶) آن‌ها را به عنوان سیگنال تحلیلی‌های ارتقا یافته بهنجارشده می‌نامند که می‌توانند برای تشخیص لبه‌ها استفاده شوند.

مرتبه اول و دوم سیگنال دامنه سیگنال تحلیلی استاندارد، به ترتیب با فرمول‌های ۱ و ۲ بیان می‌شوند. در اینجا f داده اصلی بی‌亨جاري مغناطیسی و f_z گرانی و f_{xz} مرتبه اول مشتق قائم میدان پتانسیل است.

$$SAS = \sqrt{\left(\frac{\partial f_z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f_z}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial f_z}{\partial z}\right)^2} \quad (1)$$

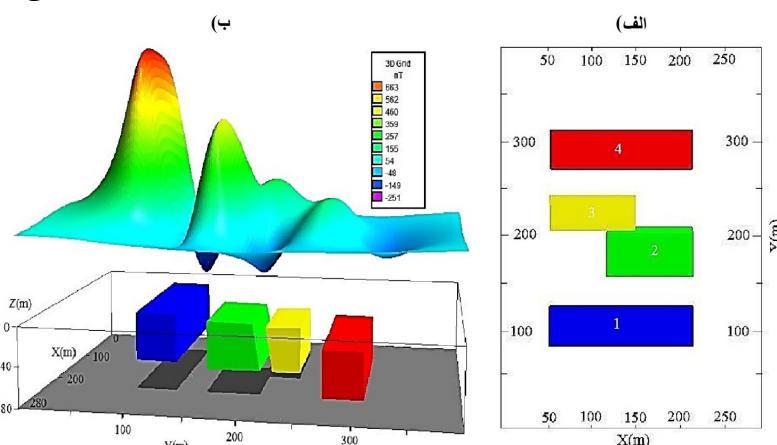
$$AS = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2} \quad (2)$$

سپس از مشتق‌های قائم مرتبه اول و دوم داده میدان پتانسیل، به ترتیب، برای بهنجار کردن ASSAS، که مرتبه دوم سیگنال دامنه سیگنال تحلیلی استاندارد است، استفاده می‌شود که بیان می‌شوند با (یائو و همکاران، ۲۰۱۶):

$$NSAS = \tan^{-1}\left(\frac{SAS}{|\partial^2 f / \partial z^2| + p \cdot \max(SAS)}\right) \quad (3)$$

$$NAS = \tan^{-1}\left(\frac{AS}{|\partial f / \partial z| + p \cdot \max(AS)}\right) \quad (4)$$

ثابت p یک مقدار پیوسته غیرمنفی است که برای اجتناب از تولید لبه‌های اشتباه اضافی، توسط مفسر تعریف می‌شود و مقدارش بین ۰ و ۰/۵ است (یائو و همکاران، ۲۰۱۶). مقدارهای بیشینه NSAS و NAS لبه‌ها را مشخص می‌کنند.

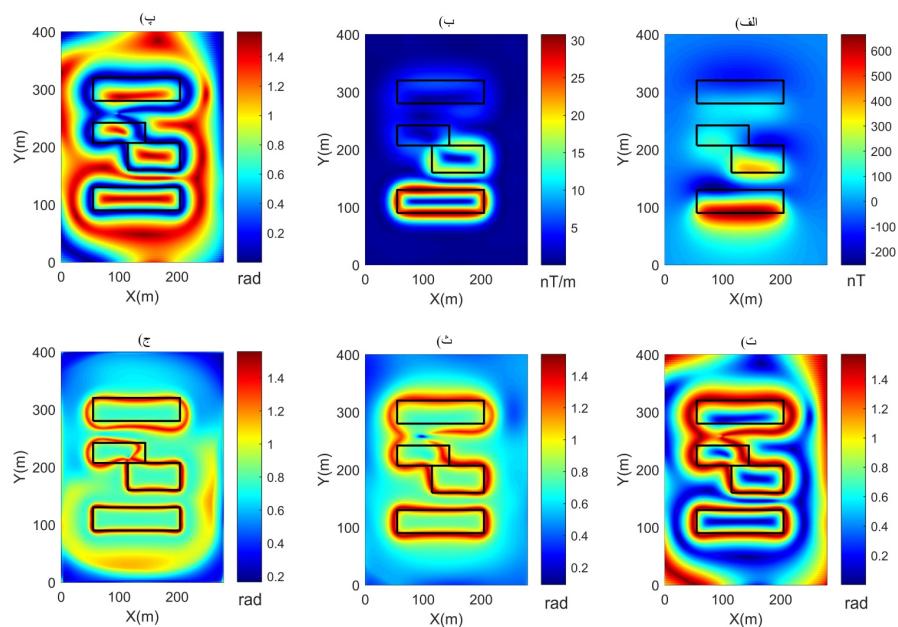


شکل ۱. تصویر دو بعدی (الف) و سه بعدی (ب) حاصل از مدل مصنوعی، که در آن می‌توان نحوه قرارگیری جسم‌ها را دید.

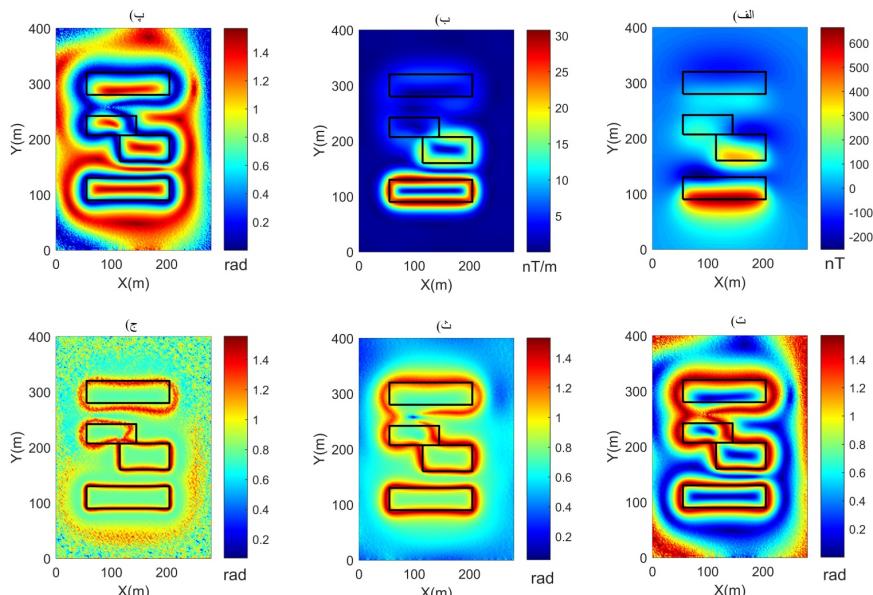
در ادامه این روش‌ها روی داده مصنوعی و واقعی اعمال می‌شوند. مدل مصنوعی شامل چهار مکعب با ابعاد ۴۰ در ۱۵۰ در ۴۰۰ (۴۰ در ۹۰ در ۴۸ در ۴۰)، ۳۲ در ۴۰ در ۴۰، ۲۰ در ۱۵۰ در ۴۰، با عمق‌هایی به ترتیب برابر با ۱۵، ۳۰، ۴۰ و ۴۰ است (واحدها همگی بر حسب متر هستند) (شکل ۱). محدوده مدل، مستطیلی به ضلع‌های ۲۸۰ متر در ۴۰۰ متر و دارای (D,I)=(+50⁸,+3⁸) است. سوپتیبیلیتی مغناطیسی این مدل $\kappa = 0.08$ SI است و شبکه برداشت نیز ۲ متر در ۲ متر در نظر گرفته شده است. فاصله توده‌های اول و دوم ۳۰ متر و فاصله توده سوم و چهارم ۲۷/۵ متر است.

شکل ۲ نشان‌دهنده پاسخ مغناطیسی مدل و پاسخ حاصل از فیلترهای TDX، Theta، THD، NAS و NSAS است. همان‌طور که در شکل ۲ می‌توان دید، فیلتر NSAS به خوبی توانسته است با تفکیک بالا و دقت زیاد، مرز توده‌ها را مشخص کند. فیلترهای TDX و Theta نیز توانسته‌اند لبه‌ها را با دقت نسبتاً خوبی مشخص کنند، ولی قدرت تفکیک‌شان نسبتاً پایین است. همچنین در پاسخ فیلترهای TDX و Theta لبه‌های کاذب نیز دیده می‌شوند.

همچنین، به منظور بررسی تأثیر نوفه‌های مزاحم بر نتایج، نوفه گوسی سفید با مقدار ۱/۵ درصد به داده‌های مغناطیسی مدل مصنوعی اضافه شده است (شکل ۳). در شکل ۳، فیلتر NSAS به دلیل استفاده از مشتق مرتبه دوم، تحت تأثیر نوفه قرار گرفته است، ولی با این وجود، لبه‌ها را بهتر از دیگر فیلترها و با تفکیک بالا مشخص کرده است.



شکل ۲. نقشه آنومالی مغناطیسی مدل مصنوعی نشان داده شده در شکل ۱. (الف) تصویر پاسخ فیلتر THD داده الف. (ب) تصویر پاسخ فیلتر TMI داده الف. (ث) تصویر پاسخ فیلتر NAS داده الف، با مقدار $p=0.03$. (ج) تصویر پاسخ فیلتر NSAS داده الف، با مقدار $p=0.01$.

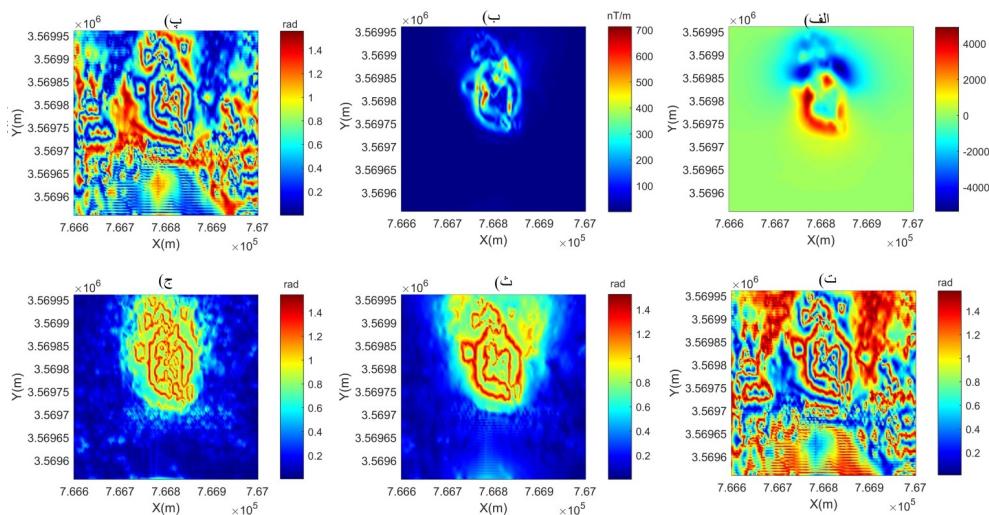


شکل ۳. نقشه آنومالی مغناطیسی مدل مصنوعی نشان داده شده در شکل (۱) همراه با نویه گوسی سفید اضافه شده $1/5$ درصد. (الف) تصویر پاسخ فیلتر THD داده الف. (ب) تصویر پاسخ فیلتر Theta TDX داده الف. (ث) تصویر پاسخ فیلتر NAS داده الف، با مقدار $p=0.03$. (ج) تصویر پاسخ فیلتر NSAS داده الف، با مقدار $p=0.01$.

در ادامه، فیلترها روی داده واقعی که با دستگاه مغناطیسی سنج GEM، روی شبکه‌ای با فاصله نقاط 10 متر در 10 متر برداشت شده‌اند، اعمال شده و نتایج مورد بحث و ارزیابی قرار می‌گیرند. محدوده مورد مطالعه 400 متر در 400 متر است و این شبکه مربوط به عملیات اکتشاف سنگ معدن آهن، در منطقه میبد، واقع در استان یزد است.

با توجه به شکل ۴، کیفیت لبه در آشکارسازهای Theta و TDX به مرتبه بهتر از فیلتر THD است، با این تفاوت که این فیلترها لبه‌های اضافی کاذب تولید می‌کنند. فیلتر NAS دارای کیفیت بالا بوده و لبه‌های کاذب نیز تولید نکرده است، با این وجود نتوانسته است برخی از توده‌های کوچک را شناسایی کند. در بین آشکارسازهای لبه بالا، فیلتر NSAS دارای بهترین

کیفیت و همچنین فاقد لبہ کاذب بوده و توانسته است توده‌های کوچک را نیز شناسایی کند و تفکیک خوبی بین این توده‌ها با توده مجاورشان انجام دهد. نتایج تعیین لبہ بهوسیله داده‌های حفاری تایید شده‌اند.



شکل ۴. نقشه آномالی مغناطیسی داده واقعی منطقه مبید. (الف) تصویر پاسخ فیلتر THD داده الف. (ب) تصویر پاسخ فیلتر TMI داده الف. (ت) تصویر پاسخ فیلتر TDX داده الف. (ث) تصویر پاسخ فیلتر NSAS داده الف، با مقدار $p=0.02$. (ج) تصویر پاسخ فیلتر NSAS داده الف، با مقدار $p=0.015$.

۳ نتیجه‌گیری

برای فیلترهای TDX و Theta، در مقایسه با فیلتر THD، دقت برآورد مرز بیشتر است. چونکه مشتق افقی کل، برای فیلتر زاویه تتا، با سیگنال تحلیلی و برای فیلتر TDX، بهوسیله مشتق قائم نرمال شده است. در پاسخ این فیلترها لبه‌های کاذب دیده می‌شود و مرزهای توده‌ها به صورت هاله‌مانند مشخص شده است. این فیلترها تفکیک خوبی بین توده‌های نزدیک برقرار نمی‌کنند. سیگنال تحلیلی ارتقا یافته بهنجار شده، نسبت به موارد قبلی، لبہ را بهتر و واضح‌تر مشخص می‌کند. در اینجا دو آشکارساز لبه NSAS و TDX مورد بررسی قرار گرفتند که در هر دو آن‌ها برای بهنجار کردن مرتبه‌های مختلف سیگنال تحلیلی ارتقا یافته، از مشتقات قائم مرتبه‌های مختلف داده میدان پتانسیل استفاده شده است. با ارائه مشتقات مرتبه‌بالاتر، حساسیت به نوشه NSAS بالا می‌رود. این روش‌ها با داده واقعی و مصنوعی نشان داده شدند. برای داده مصنوعی، این روش‌های ایجاد شده، بی‌هنجری‌هایی تبدیل می‌کنند که روی لبه‌های توده‌های مسرب قرار می‌گیرند و تقریباً مستقل از عمق منابع هستند. همچنین پاسخ این فیلترها همراه با لبہ کاذب نبوده و بین این دو روش، فیلتر NSAS به خوبی توانسته است بین توده‌های نزدیک تفکیک برقرار کند.

منابع

- Blakely, R. J., 1995, Potential theory in gravity and magnetic applications: Cambridge University Press,Cambridge.
- Cooper, G., Cowan, D., 2006,Enhancing potential field data using filters based on the local phase: ComputGeosci32:1585–1591.
- Cooper G. R. J., 2015, Using the analytic signal amplitude to determine the location and depth of thin dikesfrom magnetic data: Geophysics 80(1):J1–J6
- Ferreira, F. J. F., Douza, J., Bongiolo, A. B. S., and Castro, L. G.,2013, Enhancement of the total horizontal gradient of magnetic anomalies using the tilt angle: Geophysics 78(3):J33–J41
- Ma, G., Du, X., 2012,An improved analytic signal technique for the depth and structural index from 2D magnetic anomaly data: Pure ApplGeophys169:2193–2200
- Yao, Y., Huang, D., Yu, X., and Chai, B., 2016, Edge interpretation of potential field data with the normalizedenhanced analytic signal:ActaGeodGeophys51:125–136.