

تعیین مرز داده‌های میدان پتانسیل با استفاده از تصویرسازی زاویه تتا

علی نجاتی کلاته^۱ و امین روشندل کاهو^{۱*}

^۱دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۱/۱۸، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۹/۲۸)

چکیده

تقویت لبه‌ها در داده‌های میدان پتانسیل می‌تواند به تفسیر داده‌های زمین‌شناسی کمک شایانی کند. تاکنون روش‌های متعددی برای افزایش توان تفکیک لبه‌ها عرضه شده است که اکثر آنها فیلترهای بالاگذر براساس مشتقات افقی یا عمودی - میدان هستند. محاسبه فاز محلی میدان پتانسیل ابزار مفیدی برای تشخیص لبه‌ها است. زاویه شیب در ایجاد توازن میان دامنه بی‌هنجاری‌های متفاوت موثر است، اما گزینه اول برای تشخیص لبه نیست. گرادیان کلی افقی زاویه شیب با موفقیت لبه‌های بی‌هنجاری با دامنه بزرگ را به خوبی تشخیص می‌دهد، اما نتایج آن در مدل‌های عمیق‌تر کمتر قابل ملاحظه است. تصویرسازی زاویه تتا از دامنه سیگنال تحلیلی برای نرمال‌سازی گرادیان کل افقی استفاده می‌کند. در این مقاله، کارایی سه روش پیش‌گفته روی داده‌های مصنوعی و واقعی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که روش تصویرسازی زاویه تتا لبه بی‌هنجاری‌های عمیق‌تر را از سایر روش‌های ذکر شده بهتر تفکیک کند.

واژه‌های کلیدی: میدان پتانسیل، تشخیص لبه، زاویه شیب، گرادیان کلی افقی زاویه شیب، تصویرسازی زاویه تتا

Edge detection of potential field data using Theta maps

Ali Nejati Kalateh¹ and Amin Roshandel Kahoo^{1*}

¹Shahrood University of Technology, Iran

(Received: 7 February 2011, accepted: 18 December 2012)

Summary

Potential field images obtained in potential field data measurements are appropriate tools to explore mineral and hydrocarbon resources. These images consist of different anomalies which in many cases are contaminated with noise. The horizontal location of the boundaries of the potential field anomaly sources is a frequently requested job in potential field interpretations. However, the edge of the potential field sources is not clear-cut as the anomaly shape is not of enough resolution with respect to the shape of their sources.

Edge enhancement in potential field data helps geologic interpretations and investigating the structural setting of a region as well as environmental and engineering applications. Edge enhancement is a procedure, applied to the potential field data to produce regions of constant field amplitude separated by sharp boundaries as an aid to the interpretation.

*Corresponding author:

roshandel@shahroodut.ac.ir

*نگارنده رابط:

There are many methods to enhance the edges of potential anomalies, most of which are high-pass filters based on the horizontal or vertical derivatives of the field. Vertical derivatives have been used for many years to enhance the measured gravity field. Measures of the local phases of the potential fields can be a useful aid to edge detection. An alternative approach to the conventional phase filter is the tilt angle. The tilt angle is the ratio of the first vertical derivative to the horizontal gradient and is effective in balancing the amplitudes of the different anomalies, but it is not primarily an edge-detection filter. The total horizontal derivative of the tilt angle (THDR) successfully delineates the edges of the largest amplitude anomaly, but its results for the deeper bodies are less impressive. The most interesting characteristic of all these methods is that it is possible to get quantitative results on gridded data with only a few assumptions. One of the main limitations to making a good estimate of the boundary position of a source are interference effects caused by nearby sources, especially when they are deep-seated. Comparing different filters in order to detect the local phase edges, Pilkington and Keating (2004) showed that these filters cannot enhance all of the parameters of discontinuities.

The theta-map method is presented here as a high-resolution boundary-analysis technique. Theta is the angle between the analytical signal and its horizontal component. The theta map uses the analytic signal amplitude to normalize the total horizontal derivative. This filter enhances the edges of anomalies of all azimuths.

We tested the efficiency of this method on both synthetic and real data. We selected two nearby sources with different depths as a synthetic model. We also tested the method against gravity data over Trompsburg complex located in the Free State Province, South Africa. Trompsburg Complex is roughly circular in shape, a layered mafic intrusion, with a diameter of nearly 50 km.

Results show that the theta-map method can enhance the edge of a deeper anomaly better than the tilt-angle or the total horizontal derivative of the tilt angle methods. Also, the anomalies edge detection by the theta-map method is more accurate than the two other methods. This method has a better resolution than two the other mentioned methods.

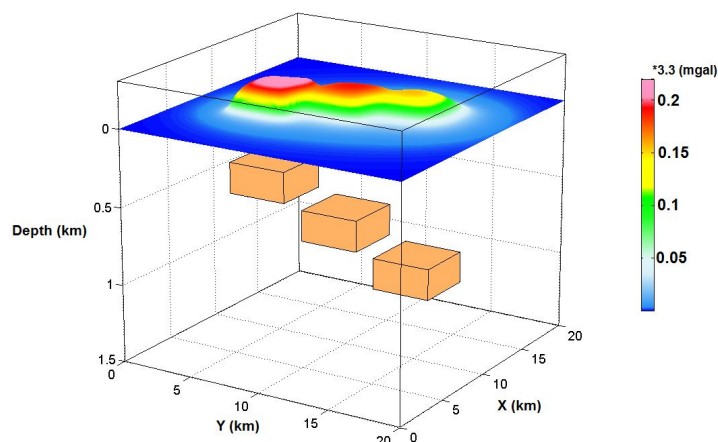
Keywords: Potential field, edge detection, tilt angle, total horizontal derivative of the tilt angle, theta map

از ابزارهایی است که بدین منظور مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای جلوگیری از ابهام در فاز داده‌ها در روش‌های معمول از ادامه فراسو قبل از اعمال فیلتر استفاده می‌شود (فیلترجرالد، ۱۹۹۷). میلر و سینگ (۱۹۹۴) فیلتر فازی زاویه کجی (Tilt angle) را به صورت رابطه (۱) معرفی کردند:

$$T = \tan^{-1} \left(\frac{\frac{\partial f}{\partial z}}{\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2}} \right), \quad (1)$$

۱ مقدمه

اندازه‌گیری داده‌های میدان پتانسیل یکی از ابزارهای مناسب در اکتشاف منابع هیدروکربور و ذخایر معدنی است. برای بررسی جزئیات داده‌های گرانی و مغناطیس می‌توان از فیلترهای بالاگذر مانند گرادیان‌های قائم یا ادامه فروسو (downward continuation) استفاده کرد. در این صورت ناپیوستگی‌ها و لبه‌های بی‌هنجاری با اعمال این‌گونه فیلترها به صورت مشخص‌تری در مقایسه با میدان‌های گرانی و مغناطیس مشاهده خواهند شد. روش‌های گوناگونی برای تشخیص مرز بی‌هنجاری‌ها معرفی شده‌اند (کوپر و کوان، ۲۰۰۶). فیلتر فاز محلی یکی دیگر



شکل ۱. مدل مصنوعی و بی‌هنجاری گرانی حاصل.

هیچ کدام از این فیلترها را نمی‌توان به‌تنهایی درحکم یک مشخص‌کننده لبه که همه پارامترهای مطلوب ناپیوستگی‌ها و لبه‌ها را مشخص می‌کند، به‌کار برد. در این مقاله از روش تصویر زاویه تنا به‌منظور تشخیص لبه‌ها استفاده شده است. برای بررسی قابلیت‌های روش پیش‌گفته، نتایج حاصل با دو روش زاویه کجی (T) و گرادیان‌های کلی افقی زاویه شیب ($THDR$) مقایسه شده است.

از آن‌جاکه در لبه‌ها گرادیان‌های افقی، بیشینه و گرادیان قائم کمینه مقدار خود را دارند، سیگنال تحلیلی و بردار یکه s در یک راستا قرار می‌گیرند. در این حالت $\cos\theta$ بیشینه مقدار خود را خواهد داشت. لذا $\cos\theta$ را می‌توان درحکم یک نشانگر لبه‌ها مورد استفاده قرار داد.

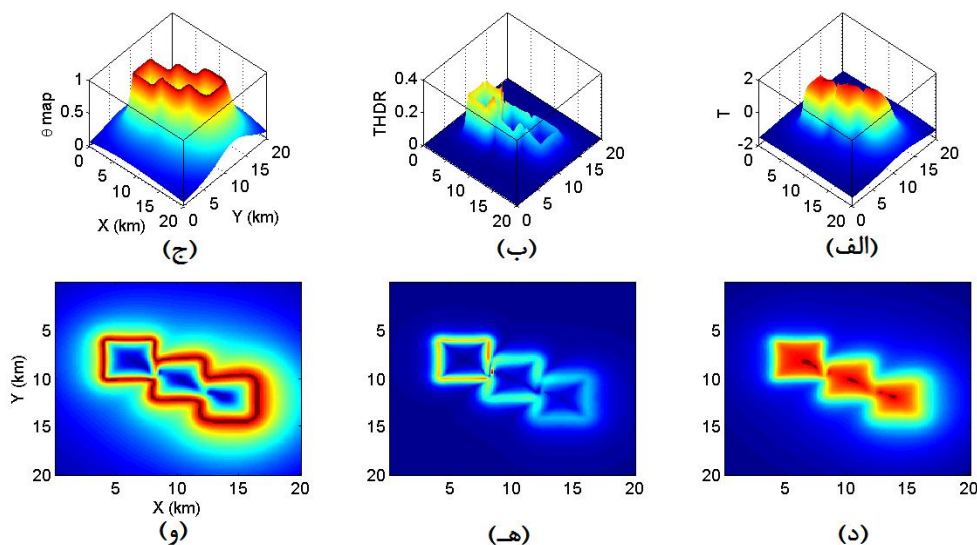
که f میدان گرانی یا مغناطیس است. فیلتر زاویه کجی هنگامی که نقاط مشاهده روی چشمه بی‌هنجاری قرار دارد، دارای مقادیر مثبت است. در لبه بی‌هنجاری‌ها مقدار گرادیان قائم برابر با صفر و گرادیان‌های افقی بیشینه هستند، بنابراین مقدار این فیلتر در لبه‌ها برابر با صفر و در سایر نقاط فیلتر دارای مقدار منفی خواهد بود. وردوزکو و دیگران (۲۰۰۴) از گرادیان‌های کلی افقی، فیلتر زاویه کجی ($THDR$) به‌منظور آشکارسازی لبه‌ها استفاده کردند.

$$THDR = \sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)^2}, \quad (1)$$

پیلکینتون و کیتینگ (۲۰۰۴) با مقایسه فیلترهای گوناگون فاز محلی به‌منظور تشخیص لبه‌ها، روشن ساختند که

جدول ۱. مشخصات مورد استفاده در ساخت مدل مصنوعی.

| $\rho (gr/cm^3)$ | $z_2 (m)$ | $z_1 (m)$ | $y_2 (m)$ | $y_1 (m)$ | $x_2 (m)$ | $x_1 (m)$ | جسم |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----|
| ۰/۱ | ۵۰۰ | ۳۰۰ | ۱۰۰۰۰ | ۶۰۰۰ | ۸۰۰۰ | ۴۰۰۰ | A1 |
| ۰/۱ | ۸۰۰ | ۶۰۰ | ۱۲۰۰۰ | ۸۰۰۰ | ۱۲۰۰۰ | ۸۰۰۰ | A2 |
| ۰/۱ | ۱۱۰۰ | ۹۰۰ | ۱۴۰۰۰ | ۱۰۰۰۰ | ۱۶۰۰۰ | ۱۲۰۰۰ | A3 |



شکل ۲. نتایج تشخیص لبه به صورت نمایش دو و سه بُعدی برای بی‌هنجاری مدل مصنوعی با استفاده از روش زاویه شیب (الف) و (د)، گرادیان‌های کلی افقی زاویه شیب (ب) و (ه) و تصویرسازی زاویه تنا (ج) و (و).

سیگنال تحلیلی را به منزله یک مشخص‌کننده مرزها و لبه‌ها معرفی کردند.

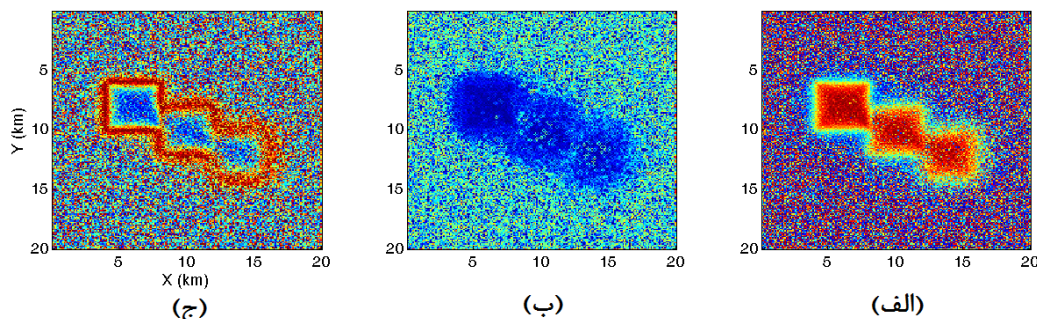
$$\cos \theta = \frac{A \cdot \hat{s}}{|A| |\hat{s}|} = \frac{\sqrt{\left(\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2\right)}}{\sqrt{\left(\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial z}\right)^2\right)}} \quad (۳)$$

۲ تصویر زاویه تنا

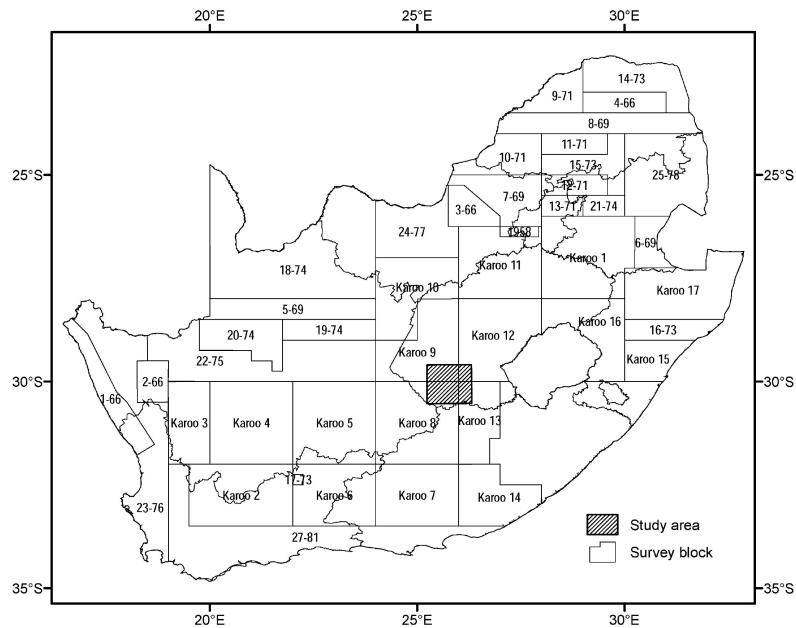
تابع سیگنال تحلیلی برای یک میدان گرانی به صورت رابطه (۳) بیان می‌شود (روزت و دیگران، ۱۹۹۲):

$$A = \frac{\partial f}{\partial x} \hat{x} + \frac{\partial f}{\partial y} \hat{y} + i \frac{\partial f}{\partial z} \hat{z}, \quad (۲)$$

که A سیگنال تحلیلی، $i = \sqrt{-1}$ ، f میدان گرانی و $\hat{x}, \hat{y}, \hat{z}$ به ترتیب بردارهای یکه در جهت x, y, z هستند. ویجنز و دیگران (۲۰۰۵) بردار یکه \hat{s} در راستای افقی سیگنال تحلیلی در نظر گرفته و زاویه میان این بردار یکه و



شکل ۳. نتایج تشخیص لبه به صورت نمایش دو بُعدی برای بی‌هنجاری مدل مصنوعی همراه با نوفه اتفاقی ۳۰ دسیبل با استفاده از (الف) روش زاویه شیب، (ب) گرادیان‌های کلی افقی زاویه شیب و (ج) تصویرسازی زاویه تنا.

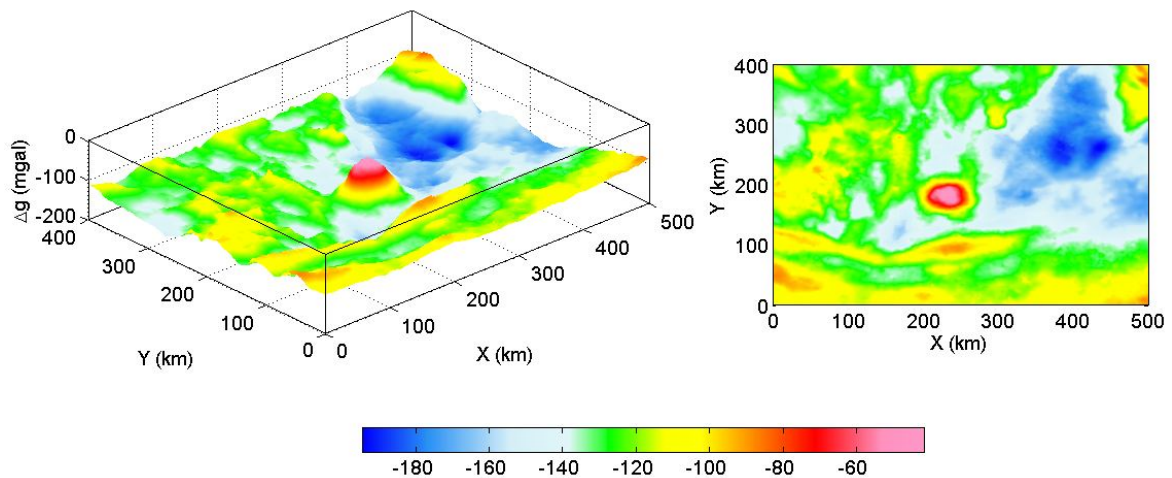


شکل ۴. موقعیت جغرافیایی ناحیه مورد بررسی (ماری و کولی، ۲۰۰۶).

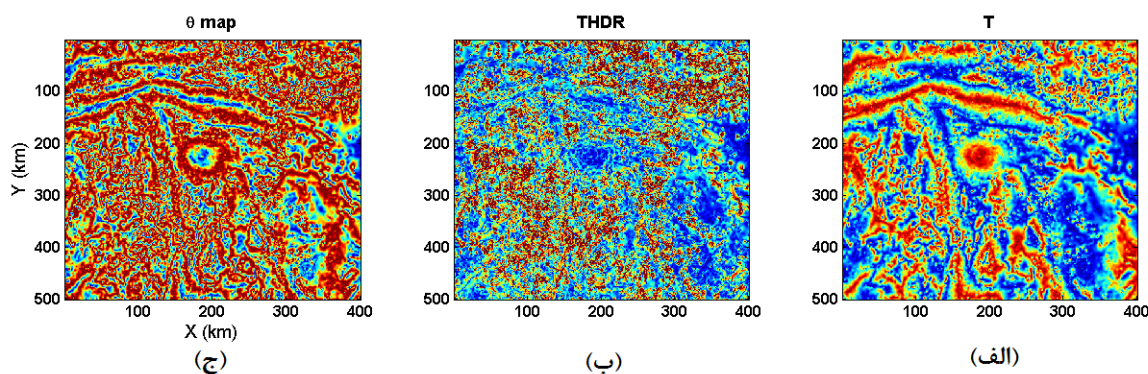
۳ مدل مصنوعی

برای ساخت مدل مصنوعی از سه جسم A1، A2 و A3 به مشخصات جدول ۱ استفاده شده است. مشخصات‌ها به گونه‌ای در نظر گرفته شده است که بی‌هنجاری حاصل از تداخل سه جسم مجزا با دامنه‌های متفاوت تشکیل شده باشد. در شکل ۱ مدل مصنوعی در نظر گرفته شده

به صورت سه‌بُعدی به همراه بی‌هنجاری میدان گرانی حاصل نمایش داده شده است. همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، با اعمال فیلتر زاویه شیب (T)، گرادیان‌های کلی افقی زاویه شیب ($THDR$) و تصویر زاویه تنا روی داده‌های گرانی مدل مصنوعی، لبه‌های بی‌هنجاری در هر سه روش نسبت به خود بی‌هنجاری مشخص‌تر شده است. در روش فیلتر



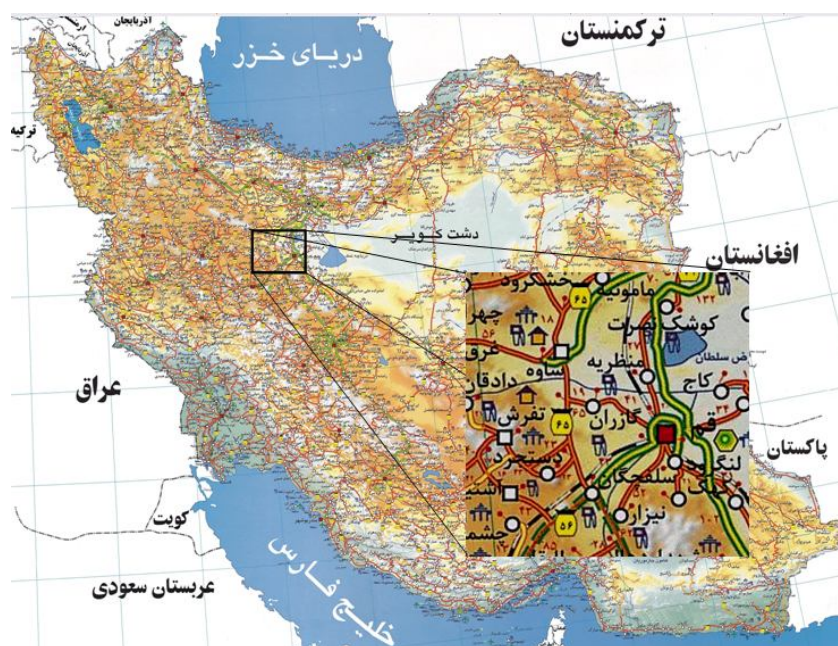
شکل ۵. نمایش دو و سه‌بُعدی داده‌های گرانی محدوده مورد بررسی.



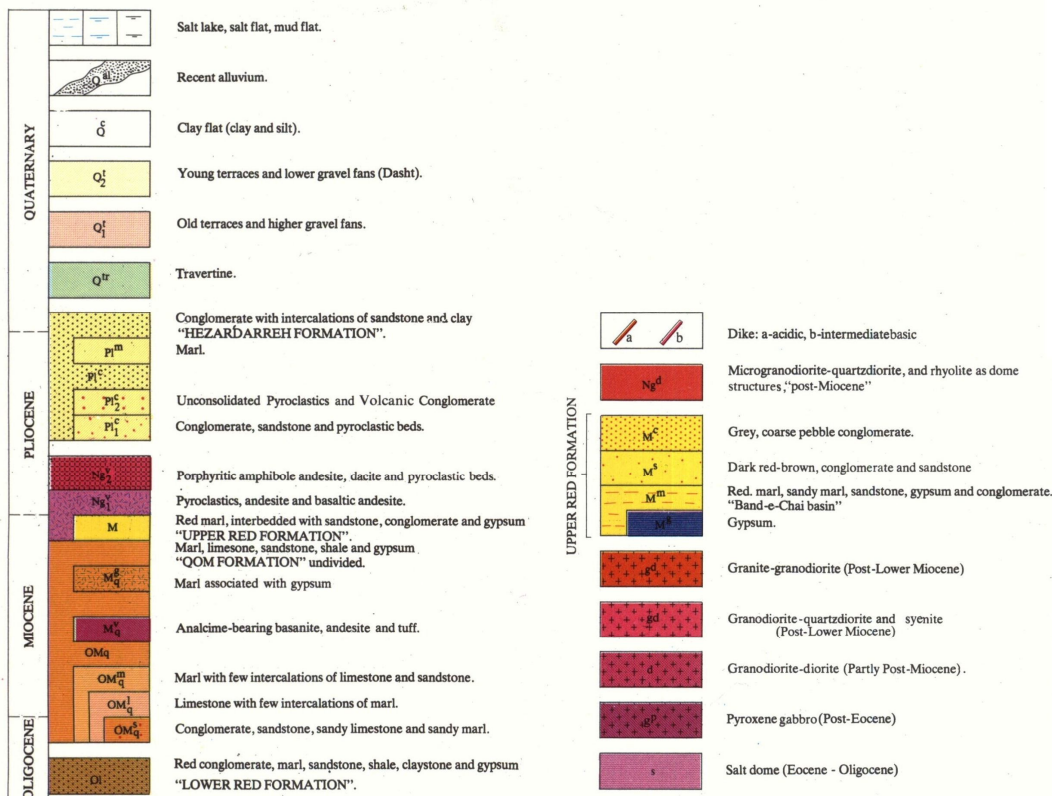
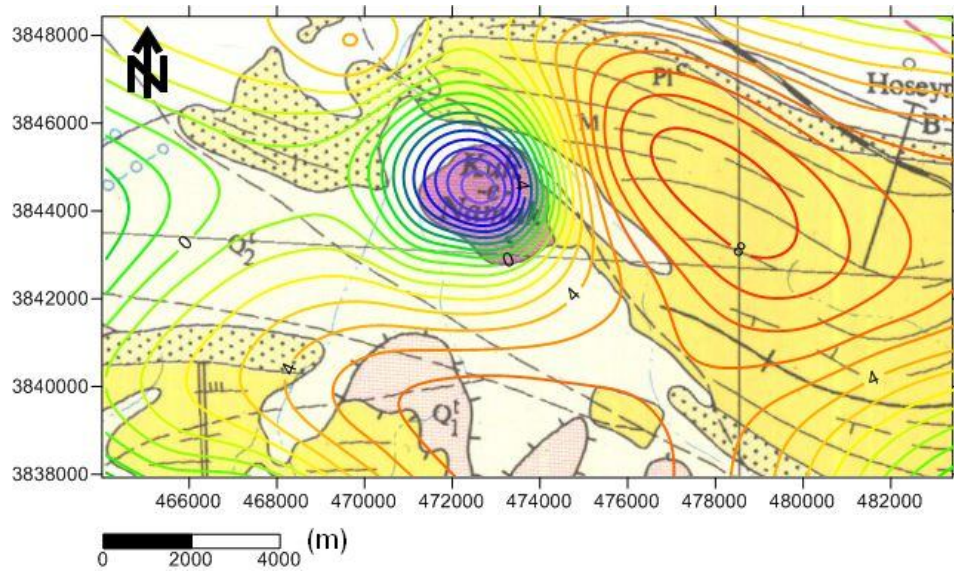
شکل ۶. نتیجه اعمال تشخیص لبه برای بی‌هنجاری ترامپسیرگ با استفاده از روش (الف) فیلتر زاویه شیب، (ب) گرادیان‌های کلی افقی زاویه شیب و (ج) تصویرسازی زاویه تنا.

نسبت به دو روش قبل، حساسیت نبود تفکیک با افزایش عمق در این روش به مراتب کمتر است. همچنین در شکل ۳ نتایج برای داده همراه با نوفه اتفاقی ۳۰ دسی‌بل نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، روش تصویر زاویه تنا نسبت به دو روش دیگر بهتر لبه‌های بی‌هنجاری را مشخص می‌کند.

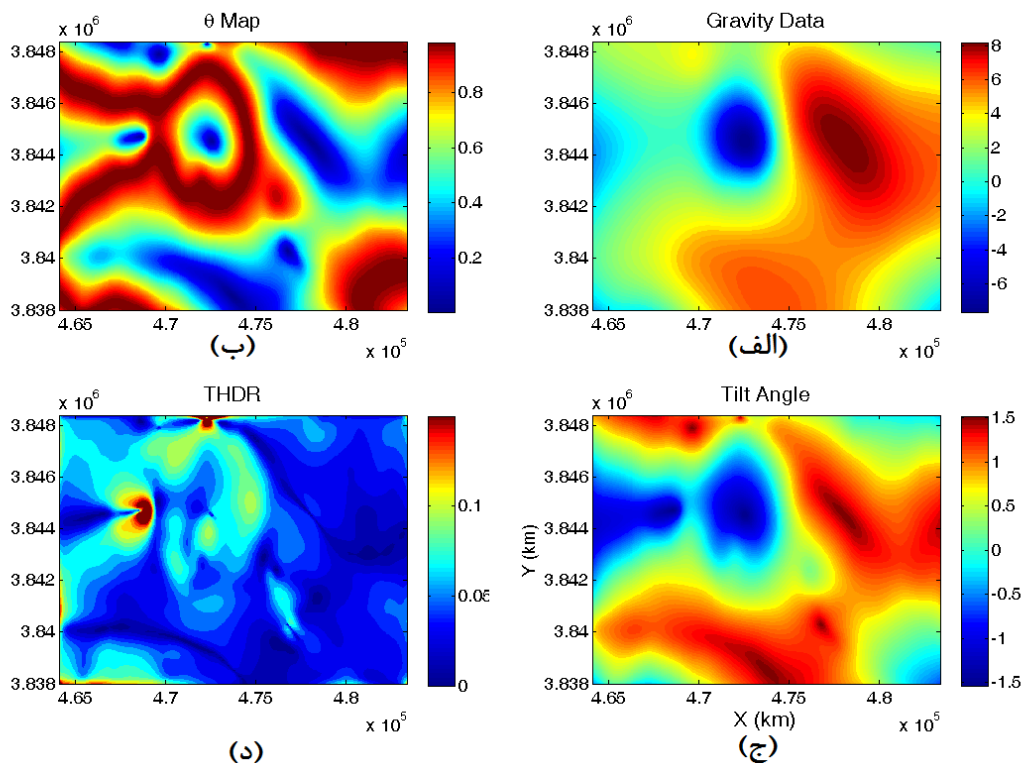
زاویه شیب (شکل ۲-الف و ۲-د) محدوده کلی بی‌هنجاری مشخص است، اما لبه‌ها نسبت به روش گرادیان‌های کلی افقی زاویه شیب (شکل ۲-ب و ۲-ه) وضوح کمتری دارد. علاوه بر آن، در روش گرادیان‌های کلی افقی زاویه شیب قدرت تفکیک لبه‌ها با افزایش عمق کاهش چشمگیری می‌یابد. با اعمال روش تصویرسازی تنا (شکل ۲-ج و ۲-و)، علاوه بر تفکیک بیشتر مرز لبه‌ها



شکل ۷. موقعیت حدودی جغرافیایی ناحیه ساوه.



شکل ۸. نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ ناحیه مورد بررسی و داده‌های گرانی (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور).



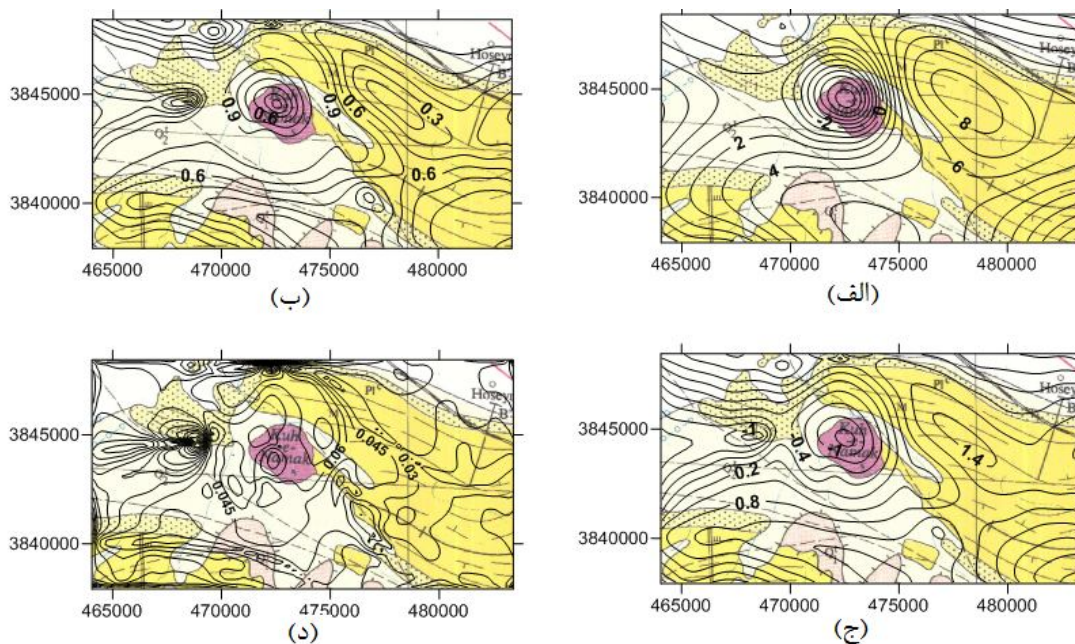
شکل ۹. (الف) داده‌های گرانی ناحیه مورد بررسی و نتایج تشخیص لبه برای بی‌هنجاری گنبد نمکی با استفاده از (ب) تصویرسازی زاویه تنا، (ج) روش زاویه شیب و (د) گرادیان‌های کلی افقی.

۴ تشخیص لبه بی‌هنجاری در داده‌های واقعی

اولین داده واقعی مورد بررسی در این مقاله، مربوط به ناحیه ترامسبرگ واقع در افریقای جنوبی است. در این ناحیه توده نفوذی است که منشا آن بر اساس تحقیقات صورت گرفته یک سیل گرانیتی است (کوپر، ۲۰۰۹؛ بوچمان، ۱۹۶۰؛ کوپر و کوان، ۲۰۰۳). در شکل ۴ نقشه جغرافیایی ناحیه مربوط نشان داده شده است. داده‌های گرانی مربوط به ناحیه مورد بررسی با فاصله اندازه‌گیری یک کیلومتر با شبکه برداشت مربعی در شکل ۵ نشان داده شده است.

در شکل ۶ نتایج اعمال سه روش تشخیص لبه روی داده‌های گرانی سنجی مربوط به ناحیه ترامسبرگ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود،

لبه‌های بی‌هنجاری در روش تصویرسازی زاویه تنا، از دو روش دیگر بسیار واضح‌تر نشان داده شده است. برای بررسی بیشتر عملکرد روش‌های پیش گفته، داده واقعی دیگری مربوط به ناحیه ساوه مورد استفاده قرار گرفت. در شکل ۷ موقعیت جغرافیایی و در شکل ۸ نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی نشان داده شده است. منطقه مورد بررسی بخشی از حوضه رسوبی ایران مرکزی است. همان‌طور که در نقشه زمین‌شناسی مشاهده می‌شود، بخشی از یک گنبد نمکی در منطقه مورد بررسی رخنمون دارد. داده‌های گرانی (شکل ۹) نیز وجود این گنبد نمکی را تأیید می‌کند (حدادیان، ۱۳۹۰). اختلاف چگالی گنبد نمکی با رسوبات میزبان که اغلب کربناته هستند، بین ۰/۲۵ تا ۰/۳ گرم بر سانتی‌متر مکعب تغییر می‌کند. هدف



شکل ۱۰. الف) داده‌های گرانی ناحیه مورد بررسی و نتایج تشخیص لبه برای بی‌هنجاری گنبد نمکی همراه با نقشه زمین‌شناسی با استفاده از (ب) تصویرسازی زاویه تتا، (ج) روش زاویه شیب و (د) گرادیان‌های کلی افقی.

حساسیت این روش به عمق بی‌هنجاری نسبت به دو روش پیش‌گفته کمتر است.

قدردانی و تشکر

بدین‌وسیله نویسندگان مقاله کمال تشکر خود را از آقای دکتر فرامرز دولتی ارده‌جانی به خاطر در اختیار گذاشتن بخشی از داده‌های واقعی ابراز می‌دارند.

منابع

حدادیان، ا.، ۱۳۹۰، شناسایی مرزهای بی‌هنجاری گرانی با استفاده از فیلترهای فاز محلی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

برگه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ منطقه ساوه، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

Cooper, G. R. J., and Cowan, D. R., 2006, Enhancing potential field data using filters based on the local phase: Computers & Geosciences, 32, 1585–1591.

یافتن مرز این گنبد نمکی است که در شکل ۹ نتیجه حاصل از سه روش پیش‌گفته در این مقاله نمایش داده شده است. همانند مثال‌های مصنوعی و واقعی ذکر شده، در این حالت نیز روش تصویرسازی زاویه تتا مرز گنبد نمکی را به‌صورت یک بیشینه کاملاً مشخص نشان داده است، در صورتی‌که در سایر روش‌ها این تفکیک به‌خوبی صورت‌نپذیرفته است.

۵ نتیجه‌گیری

تصویرسازی زاویه تتا ابزاری ساده و موثر در پردازش داده‌های میدان گرانی به‌منظور تشخیص مرز بی‌هنجاری‌ها است. منظور از زاویه تتا، زاویه میان سیگنال تحلیلی و راستای افقی سیگنال تحلیلی است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که دقت تشخیص لبه‌ها با استفاده از روش تصویرسازی زاویه تتا از دو روش فیلتر زاویه شیب و گرادیان‌های کلی افقی زاویه شیب بیشتر است. همچنین

- comparison of techniques. *Exploration Geophysics*, **35**, 306-311.
- Roest, W., Verhoef, J., and Pilkington, M., 1992, Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal: *Geophysics*, **57**, 116–125.
- Verduzco, B., Fairhead, J. D., Green, C. M., and MacKenzie, C., 2004, The meter reader—New insights into magnetic derivatives for structural mapping: *The Leading Edge*, **23**, 116–119.
- Wijns, C., Perez, C., and Kowalczyk, P., 2005, Theta map: Edge detection in magnetic data: *Geophysics*, **70**(4), L39–L43.
- Fitzgerald, D., Yassi, N., and Dart, P., 1997, A case study on geophysical gridding techniques: INTREPID perspective: *Exploration Geophysics*, **28**, 204–208.
- Mare, L. P., and Cole, J., 2006, The Trompsburg complex, South Africa: A preliminary three dimensional model: *Journal of African Earth Sciences*, **44**, 314–330.
- Miller, H. G., and Singh, V., 1994, Potential field tilt—A new concept for location of potential field sources: *Journal of Applied Geophysics*, **32**, 213–217.
- Pilkington, M., Keating, P., 2004, Contact mapping from gridded magnetic data - a