



دانشگاه صنعتی شاهرود

دوره ۷، شماره ۲، ۱۴۰۰، صفحات ۱۱۳-۱۲۱

DOI: 10.22044/JIRAG.2020.9884.1292 (شناسه دیجیتال)

شناسایی لبه ساختارهای زیر سطحی با استفاده از داده‌های مغناطیس در حضور مغناطیدگی بازماند

محمد رضایی^{۱*}

۱- استادیار؛ دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ملایر

دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۴/۲۱؛ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۹/۲۳

* نویسنده مسئول مکاتبات: mohamad1rezaie@gmail.com

چکیده

واژگان کلیدی

آشکار سازی لبه ساختارهای زیر سطحی و شناسایی محل آنها، از مراحل مهم پردازش داده‌های مغناطیس‌سنجی است. به منظور آشکار سازی لبه‌ها به طور معمول، ابتدا تبدیل برگردان به قطب بر روی داده‌ها اعمال می‌گردد؛ تا بی‌هنجاری‌های مغناطیسی بر روی توده عامل بی‌هنجاری قرار گیرد. سپس صافی‌های آشکار ساز لبه بر روی داده‌های برگردان به قطب شده اعمال می‌شوند. در صورت وجود مغناطیدگی بازماند نمی‌توان از روش تبدیل به قطب استفاده کرد. چون اطلاعات مربوط به بردار مغناطیدگی توده زیر سطحی موجود نیست. بنابراین نمی‌توان از روش‌های رایج آشکار سازی لبه در حضور مغناطیدگی بازماند استفاده کرد. در این صورت تبدیل‌های دیگری مثل اندازه دامنه میدان مغناطیسی، تبدیل R، تبدیل E و سیگنال تحلیلی بکار گرفته می‌شوند. در این مقاله پیشنهاد می‌شود که در حضور مغناطیدگی بازماند، صافی کنی بر روی تبدیل اندازه دامنه میدان مغناطیسی اعمال شود؛ تا لبه ساختارهای زیر سطحی آشکار شود. صافی کنی یک صافی برای شناسایی لبه‌ها در پردازش تصویر است؛ که دارای یک فرایند مرحله‌ای است. در نهایت این روش‌ها بر روی داده‌های مغناطیس حاصل از یک مدل مصنوعی و داده‌های مغناطیس کانسار آهن الله آباد یزد اعمال می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که تبدیل اندازه دامنه میدان مغناطیسی، مرکزگرایی کمتری نسبت به سایر روش‌ها دارد. تبدیل R، تبدیل E و سیگنال تحلیلی مرکزگرایی بهتری داشته ولی نسبت به نوفه حساسند و همچنین مرز توده‌های عمیق و دارای خودپذیری مغناطیسی کم را به خوبی مشخص نمی‌کنند. روش صافی کنی مرکز گرایی مناسبی داشته و می‌تواند مرز توده‌های عمیق و سطحی را آشکار کند.

مغناطیدگی

بازماند

لبه

صافی کنی

الله آباد

۱- مقدمه

روش مغناطیس‌سنجی از روش‌های مهم ژئوفیزیکی در اکتشاف مواد معدنی، نفت و مطالعات زمین‌شناسی است. یکی از اهداف تفسیر داده‌های مغناطیس‌سنجی، تعیین محل ساختارهای عامل بی‌هنجاری مغناطیسی در زیر سطح زمین است. رسیدن به این هدف کار پیچیده‌ای است؛ زیرا موقعیت و شکل بی‌هنجاری‌های مغناطیسی علاوه به شکل و موقعیت توده‌های عامل بی‌هنجاری، به جهت میدان مغناطیسی زمین و بردار مغناطیدگی توده عامل بی‌هنجاری نیز بستگی دارد (Gerovska and Arauzo-Bravo, 2006).

با استفاده از تبدیلاتی مثل برگردان به قطب (Baranov, 1957)، میدان شبه گرانی (Baranov, 1957) و سیگنال تحلیلی (Nabighian, 1972) می‌توان تفسیر داده‌های مغناطیس‌سنجی را ساده‌تر نمود. این تبدیلات بی‌هنجاری‌های مغناطیسی را بر روی توده عامل بی‌هنجاری قرار می‌دهد. معمولاً در مغناطیس‌سنجی روش‌های آشکارسازی لبه بر روی تبدیل برگردان به قطب اعمال می‌گردد (رضایی، ۱۳۹۷). متأسفانه این تبدیلات دارای محدودیت‌هایی هستند؛ که در ادامه به برخی از آنها اشاره می‌شود. برای انجام تبدیل برگردان به قطب، زاویه میل و انحراف میدان مغناطیسی زمین و بردار مغناطیدگی توده عامل بی‌هنجاری لازم است. در صورت وجود مغناطیدگی بازمانده در توده عامل بی‌هنجاری، بردار مغناطیدگی این توده مشخص نخواهد بود؛ در نتیجه نمی‌توان از تبدیل برگردان به قطب استفاده کرد. وجود مغناطیدگی بازمانده معمولاً در کانسارهای آهن و کیمبرلیت‌ها مشاهده می‌شود (Li et al., 2010). تبدیل شبه گرانی نیز مشکلی مشابه با تبدیل برگردان به قطب دارد. در محاسبه سیگنال تحلیلی مشتق‌های میدان مغناطیسی بکار برده می‌شود؛ که این کار باعث حذف بی‌هنجاری‌ها با بسامد پایین که مرتبط با ساختارهای عمیق است، در خروجی سیگنال تحلیلی می‌شود (Gerovska and Arauzo-Bravo, 2006). بنابراین گروه دیگری از تبدیلات که با نام تبدیلات دامنه میدان مغناطیسی شناخته می‌شوند، ارائه شده‌اند؛ که وابستگی کمتری به زاویه میل و انحراف بردار مغناطیدگی توده عامل بی‌هنجاری دارند (Stavrev and Gerovska, 2000). تبدیلات اصلی این گروه شامل اندازه دامنه میدان مغناطیسی، تبدیل R و تبدیل E است. تبدیل اندازه دامنه میدان مغناطیسی، مرکزگرایی کمتری نسبت به دو تبدیل دیگر دارد. یعنی مرکز بی‌هنجاری در آن نسبت به مرکز توده عامل بی‌هنجاری کمی انحراف دارد (Pilkington and Beiki, 2013). به هر حال تبدیل‌های E و R مشابه روش سیگنال تحلیلی از مشتق‌های اول میدان مغناطیسی استفاده می‌کنند؛ که بیشتر برای آشکارسازی مرز ساختارهای زمین‌شناسی کم عمق مناسب هستند. شدت منبع نرمال شده، روش دیگری است که برای شناسایی محل توده‌های عامل بی‌هنجاری مغناطیسی در صورت وجود مغناطیدگی بازمانده پیشنهاد شده است (Clark, 2012). در این روش با استفاده از مقادیر ویژه تانسور گرادیان میدان مغناطیسی، شدت منبع

نرمال شده میدان محاسبه می‌شود؛ که مستقل از بردار مغناطیدگی توده‌های عامل بی‌هنجاری مغناطیسی است. این روش مرکز گرایی بالایی دارد؛ ولی به شدت نسبت به نوفه موجود در داده‌ها حساس است و تنها برای آشکارسازی توده‌های سطحی مناسب است. همچنین در مدل‌سازی وارون داده‌های مغناطیسی برتری تبدیل اندازه دامنه میدان مغناطیسی نسبت به روش شدت منبع نرمال شده، اثبات شده است (Zuo et al., 2019).

صافی آشکار ساز لبه کنی برای پردازش تصاویر ارائه شده است (Canny, 1986). این روش برای شناسایی مرز ساختارهای زیر سطحی بر روی تبدیل برگردان به قطب داده‌های مغناطیسی اعمال شده و کارایی آن در شناسایی لبه ساختارها اثبات شده است (Eshaghzadeh and Kalantari, 2017; Xiaodi et al., 2018). هر چند همان گونه که قبلاً بیان شد از صافی برگردان به قطب در حضور مغناطیدگی بازمانده نمی‌توان استفاده کرد. در این پژوهش، در کنار سایر روش‌ها، پیشنهاد می‌شود برای شناسایی لبه‌های توده‌های عامل بی‌هنجاری در حضور مغناطیدگی بازمانده، صافی آشکار ساز لبه کنی بر روی نقشه اندازه دامنه میدان مغناطیسی اعمال شود؛ به گونه‌ای که بتوان محل این توده‌ها در اعماق مختلف را با قدرت مرکزگرایی مناسب شناسایی نمود. بدین منظور روش پیشنهادی بر روی داده‌های یک مدل مصنوعی اعمال شده و نتایج با خروجی‌های روش‌های تبدیل سیگنال تحلیلی، E و R مقایسه می‌شود. سپس روش پیشنهادی بر روی داده‌های مغناطیس کانسار آهن الله آباد یزد اعمال شده و نتایج با اطلاعات حاصل از حفاری‌های منطقه ارزیابی می‌شود.

۲- روش کار

اگر بردار میدان مغناطیسی T در نظر گرفته شود، اندازه دامنه میدان مغناطیسی با استفاده از رابطه زیر قابل محاسبه است (Stavrev and Gerovska, 2000):

$$T_a = \sqrt{T_x^2 + T_y^2 + T_z^2}, \quad (1)$$

که در آن T_x ، T_y و T_z مولفه‌های بردار میدان مغناطیسی در جهت محور x ، y و z هستند که می‌توان آنها با استفاده از تبدیلات فوریه بدست آورد (Gerovska and Arauzo-Bravo, 2006):

$$\begin{aligned} T_x &= F^{-1}\{F_T \cdot W_x\}, \\ T_y &= F^{-1}\{F_T \cdot W_y\}, \\ T_z &= F^{-1}\{F_T \cdot W_z\}, \end{aligned} \quad (2)$$

که در آن F_T تبدیل فوریه سریع داده‌های میدان مغناطیسی است؛ F^{-1} نماد تبدیل فوریه سریع معکوس می‌باشد و همچنین

$$W_x = \frac{ik_x}{K \sin I_0 + i \cos I_0 (k_x \cos D_0 + k_y \sin D_0)}, \quad (3)$$

جهت α و $T_{z\alpha}$ گرادیان مولفه T_z در جهت α می‌باشد. روش سیگنال تحلیلی نیز روش دیگری است، که برای شناسایی لبه ساختارهای زیر سطحی با استفاده از داده‌های مغناطیسی در حضور مغناطیدگی بازماند بکار گرفته می‌شود. تبدیل سیگنال تحلیلی، در واقع اندازه گرادیان کل میدان مغناطیسی است:

$$AS = \sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial z}\right)^2}, \quad (6)$$

۲-۲- صافی کنی

با استفاده از صافی کنی و طی مراحل زیر می‌توان لبه بی‌هنجاری‌های نقشه T_a ، که در واقع یک تصویر است را آشکار نمود (Sanjay and Naoghare, 2015):

مرحله ۱: نرم سازی و کاهش نوفه. در این مرحله، تصویر نرم می‌شود یعنی نوفه موجود در داده‌ها حذف می‌شود. بدین منظور یک صافی گوسی بر روی T_a اعمال می‌شود:

$$z(x, y, \sigma) = g(x, y, \sigma) * T_a(x, y), \quad (7)$$

در این رابطه $*$ بیانگر هم آمیخت است و $g(x, y, \sigma)$ صافی گوسی است که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$g(x, y, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right), \quad (8)$$

در رابطه فوق σ انحراف معیار گوسی است، که مقدار آن در پردازش داده‌های مغناطیس ۰.۵ در نظر گرفته می‌شود (Eshaghzadeh and Kalantari, 2017).

مرحله ۲: محاسبه توزیع اندازه گرادیان تابع شدت. در این مرحله گرادیان افقی تصویر محاسبه می‌شود؛ تا نواحی با تغییرات بالا شناسایی شود. گرادیان تابع شدت مطابق رابطه (۹) محاسبه می‌شود:

$$M(x, y) = \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial y}\right)^2}, \quad (9)$$

مرحله ۳: محاسبه جهت لبه‌های احتمالی. در مرحله قبل شدت لبه‌ها شناسایی شده و در این مرحله جهت لبه‌ها تشخیص داده می‌شود. برای این کار زاویه θ محاسبه می‌شود:

$$\theta(x, y) = \tan^{-1}\left(\left(\frac{\partial z}{\partial y}\right) / \left(\frac{\partial z}{\partial x}\right)\right), \quad (10)$$

مرحله ۴: جست و جوی پیکسل‌هایی که در امتداد واقعی قرار دارند. در این مرحله نقاطی که در امتداد لبه‌ها، مقدار ماکزیمم را دارند شناسایی می‌شوند.

مرحله ۵: آستانه گذاری. در این مرحله از دو حد آستانه بالا و پایین استفاده می‌شود تا اثر نوفه‌های باقیمانده حذف شود. اگر اندازه و مقدار شدت پیکسل بدست آمده از مرحله قبل، از حد آستانه اول یا حد پایینی کوچکتر باشد، مقدار صفر به آن اختصاص داده شده و به عنوان لبه محسوب نمی‌شود. اگر مقدار پیکسل بین دو حد آستانه بود، مقدارش

$$W_y = \frac{ik_y}{K \sin I_0 + i \cos I_0 (k_x \cos D_0 + k_y \sin D_0)},$$

$$W_z = \frac{K}{K \sin I_0 + i \cos I_0 (k_x \cos D_0 + k_y \sin D_0)},$$

که در آن k عدد موج بوده و $K = (k_x^2 + k_y^2)^{0.5}$. در رابطه فوق I_0 و D_0 به ترتیب زاویه میل و انحراف میدان مغناطیسی زمین است. شکل ۱ روند نمای بدست آوردن اندازه دامنه میدان مغناطیسی را نشان می‌دهد.



شکل ۱: روند نمای تهیه نقشه اندازه دامنه میدان مغناطیسی (T_a).

تبدیلات E و R را می‌توان با استفاده از اندازه دامنه میدان مغناطیسی (T_a) بدست آورد (Gerovska and Stavrev, 2006):

$$E = \left(\frac{|\nabla T_x|^2 + |\nabla T_y|^2 + |\nabla T_z|^2}{2} \right)^{1/2}, \quad (4)$$

$$R = |\nabla T_a| = \frac{|T_x \nabla T_x + T_y \nabla T_y + T_z \nabla T_z|}{T_a},$$

که در آن اندازه گرادیان‌ها با استفاده از روابط زیر محاسبه می‌شود:

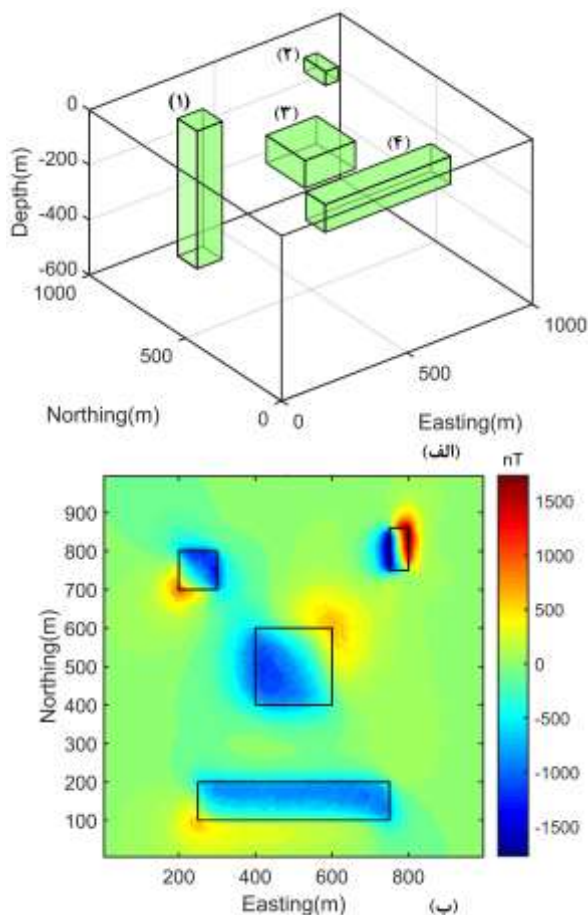
$$\begin{aligned} |\nabla T_x|^2 &= T_{xx}^2 + T_{xy}^2 + T_{xz}^2, \\ |\nabla T_y|^2 &= T_{yx}^2 + T_{yy}^2 + T_{yz}^2, \\ |\nabla T_z|^2 &= T_{zx}^2 + T_{zy}^2 + T_{zz}^2, \end{aligned} \quad (5)$$

که در آن $T_{x\alpha}$ گرادیان T_x در جهت α است. $T_{y\alpha}$ گرادیان T_y در

۲-۳- مثال مصنوعی

به منظور بررسی کاربرد روش های بیان شده در تعیین و شناسایی لبه بی‌هنجاری های مغناطیسی و همچنین آشکارسازی مرز آنها و تفکیک لبه ها، از یک مدل مصنوعی استفاده شد. این مدل مصنوعی شامل چهار بلوک در ابعاد و عمق های متفاوت است (شکل ۳).

داده های مغناطیس حاصل از این مدل مصنوعی با استفاده از روش مدل سازی پیشرو ارائه شده توسط Luo and Yao (2007) بر روی شبکه ای منظم با فواصل 10×10 متر و با گسترش 1000×1000 متر محاسبه شده است. برای محاسبه داده ها زاویه میل و انحراف میدان مغناطیسی زمین به ترتیب 10° و 50° در نظر گرفته شده است و شدت میدان مغناطیسی زمین 45000 نانو تسلا تعیین شده است. خودپذیری مغناطیسی و جهت مغناطیدگی بلوک ها از یکدیگر متفاوت است. ابعاد و ویژگی های بلوک های تشکیل دهنده مدل مصنوعی در جدول ۱ ارائه شده است. به داده های مغناطیسی تولید شده نوفه تصادفی با توزیع گوسی با انحراف معیار ۵ درصد اضافه شده است (شکل ۳ب).



شکل ۳: نمای سه بعدی از موقعیت بلوک ها در مدل مصنوعی (الف). نقشه داده های حاصل از مدل مصنوعی. موقعیت لبه بلوک ها با خط سیاه نشان داده شده است (ب).

صفر می شود، مگر اینکه یک مسیر (اتصال) از این پیکسل به پیکسل دیگر با گرادیان بالاتر از حد آستانه دوم (حد بالا) وجود داشته باشد و اگر مقدار پیکسل از حد آستانه بالا بیشتر باشد، آن پیکسل به عنوان لبه در نظر گرفته شده و مقدار یک به آن پیکسل اختصاص داده می شود. حد آستانه اول را می توان برابر با جذر کمینه تابع $M(x,y)$ در نظر گرفت و حد آستانه دوم را از رابطه زیر به دست آورد (Eshaghzadeh and Kalantari, 2017):

$$t_h = \sqrt{\frac{s_M - a_M}{m_M}}, \quad (11)$$

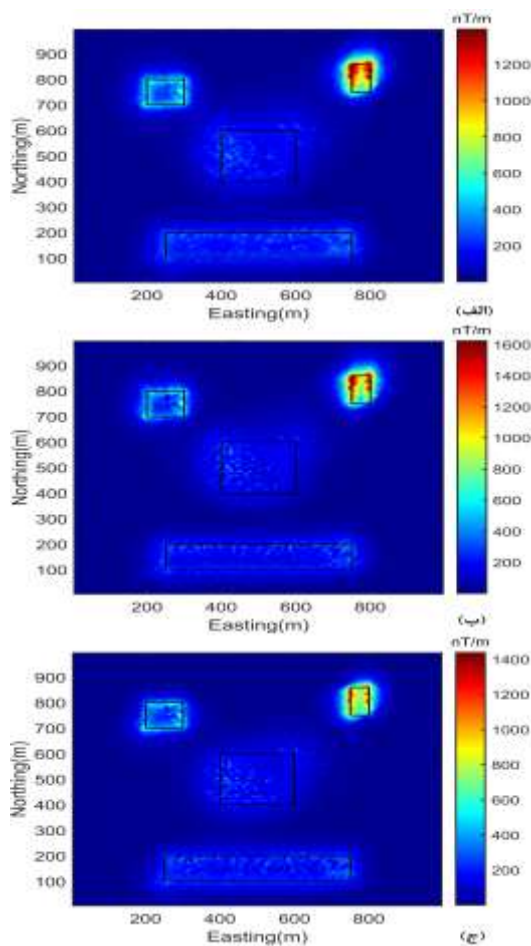
که در آن s_M ، a_M و m_M به ترتیب مقادیر انحراف معیار، میانگین و بیشینه $M(x,y)$ هستند. در نهایت در تصویر بدست آمده مقادیر هر پیکسل بر روی لبه های بی‌هنجاری ها برابر با یک بوده و مقادیر پیکسل های دیگر تصویر برابر با صفر است. روند نمای مراحل فوق در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲: روند نمای اجرای صافی کنی بر روی نقشه اندازه دامنه میدان مغناطیسی (T_a).

جنوب شرق این بلوک‌ها را به خوبی پوشش نمی‌دهد. در بلوک شماره ۲ بی‌هنجاری مغناطیسی کمی به سمت شمال کشیده شده و در بلوک شماره ۳ بی‌هنجاری کمی به سمت غرب کشیده شده است. شدت بی‌هنجاری‌ها در نقشه T_a متناسب با عمق و خودپذیری مغناطیسی بلوک‌های زیر سطحی است. شکل ۵ نتایج حاصل از اعمال تبدیل‌های E ، R و سیگنال تحلیلی را بر روی داده‌های مغناطیسی حاصل از مدل مصنوعی، نشان می‌دهد.

همان گونه که دیده می‌شود نتایج تبدیل‌های E ، R و سیگنال تحلیلی بسیار مشابه یکدیگر است، چون در تمام این تبدیل‌ها از مشتق استفاده شده است. مرکز گرایی این تبدیل‌ها از T_a بیشتر است و مقدار این تبدیل‌ها بر روی لبه بلوک‌ها دارای مقدار بیشینه است. ولی مشاهده می‌شود که این روش‌ها نسبت به نوفه موجود در داده‌ها حساس است و همچنین در شناسایی مرز توده‌هایی که در عمق زیاد قرار گرفته (بلوک ۳) و یا شدت خودپذیری مغناطیسی آن کم است (بلوک ۴)، خوب عمل نمی‌کنند.



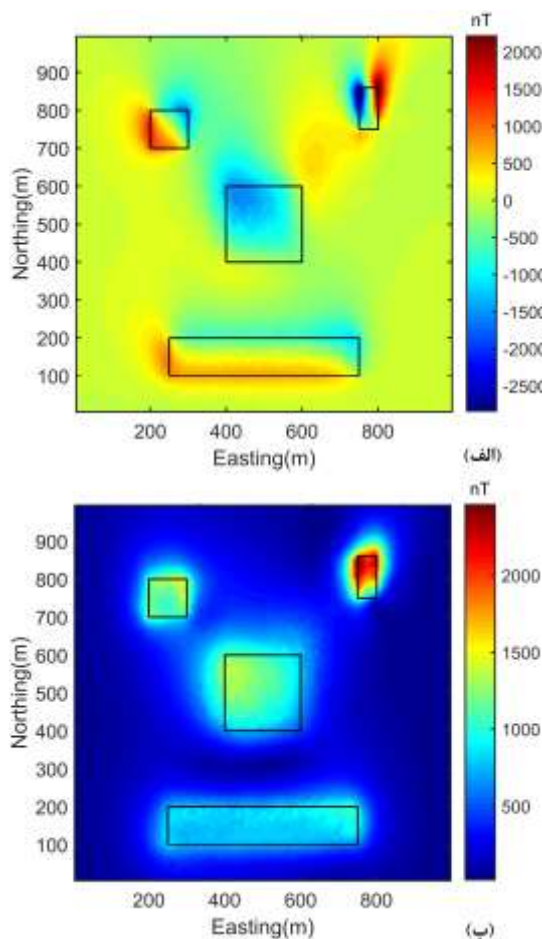
شکل ۵: نقشه تبدیل E (الف)، نقشه تبدیل R (ب)، نقشه سیگنال تحلیلی.

شکل ۶ نتایج حاصل از اعمال صافی کنی بر روی T_a را نشان می‌دهد. در این شکل پیکسل‌های تیره نشان دهنده لبه بلوک‌ها هستند. نتایج

جدول ۱: مشخصات بلوک‌ها در مدل مصنوعی

خود پذیر مغناطیسی (SI)	زاویه انحراف	زاویه میل	عمق بالایی (متر)	ابعاد (متر) در سه جهت اصلی	شماره بلوک
۰٫۱	۲۳	۴۰	-۱۰	۱۰۰×۱۰۰×۵۰۰	(۱)
۰٫۳	-۴۵	-۴۰	-۱۰	۵۰×۱۱۰×۵۰	(۲)
۰٫۲	۰	-۵۰	-۵۰	۲۰۰×۲۰۰×۱۰۰	(۳)
۰٫۱	۴۰	۲۰	-۲۰	۵۰۰×۱۰۰×۱۰۰	(۴)

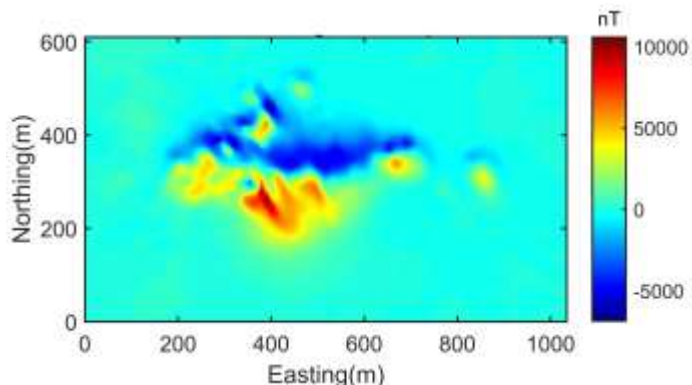
در شکل ۴ نقشه برگردان به قطب و اندازه دامنه میدان مغناطیسی نشان داده شده است. به دلیل وجود مغناطیدگی بازماند، نقشه تبدیل برگردان به قطب نمی‌تواند محل توده‌های زیر سطحی را به خوبی مشخص نماید. در حالی که نقشه اندازه دامنه میدان مغناطیسی بهتر محل توده‌های زیر سطحی را مشخص کرده است.



شکل ۴: نقشه برگردان به قطب داده‌های مغناطیسی مدل مصنوعی (الف)، نقشه اندازه دامنه میدان مغناطیسی (T_a) (ب)، موقعیت لبه بلوک‌ها با خط سیاه نشان داده شده است.

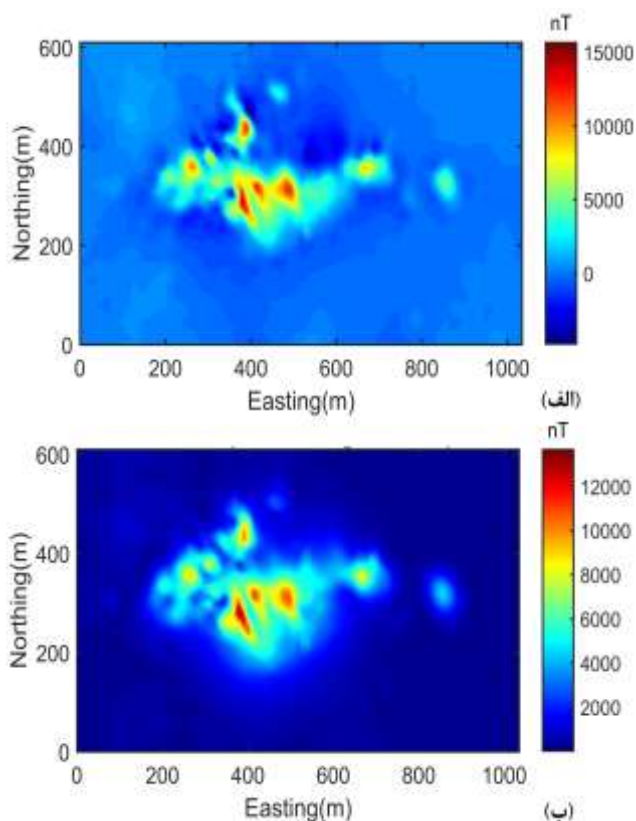
در شکل ۴-ب و بر روی بلوک‌های شماره ۲ و ۳ می‌توان عدم مرکز گرایی T_a را مشاهده نمود. به گونه‌ای که بی‌هنجاری به دست آمده گوشه

رضایی، شناسایی لبه ساختارهای زیر سطحی با استفاده از داده های مغناطیس در حضور مغناطیدگی بازماند، صفحات ۱۱۳-۱۲۱.



شکل ۷: نقشه بی‌هنجاری مغناطیسی منطقه مورد مطالعه.

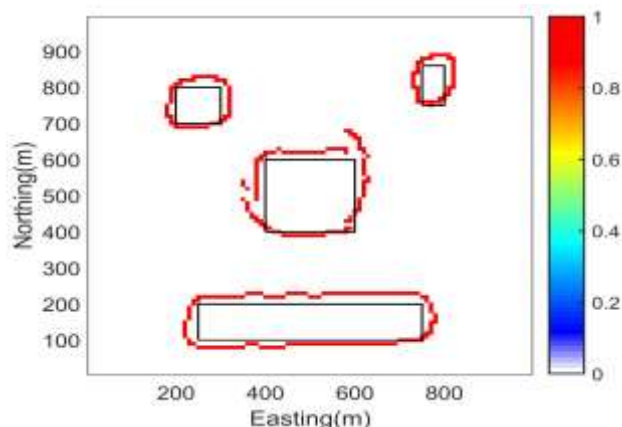
بعد از تبدیل به قطب داده‌های مغناطیس منطقه مورد مطالعه، بی‌هنجاری منفی قوی به ویژه در شمال منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود که بیانگر وجود مغناطیدگی بازماند در این منطقه است (شکل ۸ الف). بنابراین بهتر است از روش‌های دیگر که وابستگی کمتری به جهت بردار مغناطیدگی دارند و در قسمت‌های قبلی این مقاله بیان شدند، استفاده شود؛ تا بتوان مرزهای توده‌های عامل بی‌هنجاری را مشخص نمود.



شکل ۸: نقشه برگردان به قطب داده‌های مغناطیسی منطقه الله آباد

(الف). نقشه اندازه دامنه میدان مغناطیسی (T_a) (ب).

نشان می‌دهد که صافی کنی نتایجی با مرکز گرایی بیشتر نسبت به T_a تولید می‌کند؛ ولی دقت تعیین لبه آن نسبت به تبدیل‌های R ، E و سیگنال تحلیلی کمتر است. اما نتایج اعمال صافی کنی به عمق و خودپذیری مغناطیسی بلوک‌ها وابسته نیست. همچنین حساسیت صافی کنی نسبت به نوفه موجود در داده‌ها نسبت به روش‌های R ، E و سیگنال تحلیلی، کمتر است.

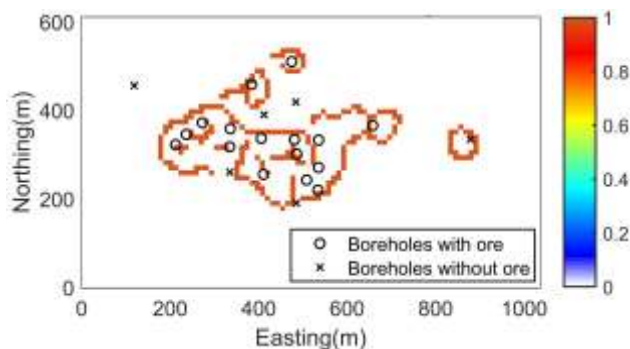


شکل ۶: نتیجه حاصل از اعمال صافی کنی بر روی نقشه اندازه دامنه میدان مغناطیسی (T_a) موقعیت لبه بلوک‌ها با خط سیاه نشان داده شده است.

۲-۴- شناسایی لبه کانسار آهن الله آباد یزد

کانسار آهن الله آباد یزد در برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ ساغند و در حاشیه کوه گل‌منده واقع شده است. این کانسار در شرق غسل پشت بادام و در سنگهای دگرگونه کمپلکس بنه شور به سن پرکامبرین تشکیل شده است. مطالعات زمین‌شناسی نشان داده است؛ که این کانسار از نوع اسکارن منیزیم دار بوده و به دلیل نفوذ توده‌های آذرین در مجاورت سنگهای آهکی تشکیل شده است و کانی اصلی تشکیل دهنده کانسار مگنتیت است. داده‌های مغناطیس منطقه بر روی ۲۱ پروفیل اصلی که فاصله آنها از یکدیگر ۱ متر است؛ برداشت شده است. فاصله برداشت داده‌ها بر روی هر پروفیل ۱۱ متر است (رضایی و همکاران، ۱۳۹۶). نقشه میدان مغناطیس منطقه در شکل ۷ نشان داده شده است.

نکرده‌اند، خارج و یا روی مرزهای به دست آمده از صافی کنی قرار گرفته‌اند. همچنین تمام گمانه‌هایی که ماده معدنی را قطع کرده‌اند، داخل مرزهای بدست آمده کانسار قرار گرفته‌اند. سایر مرزهای بدست آمده روی کانسار احتمالا مرتبط با بی‌هنجاری‌های ناشی از تغییر توپوگرافی سطح کانسار است.



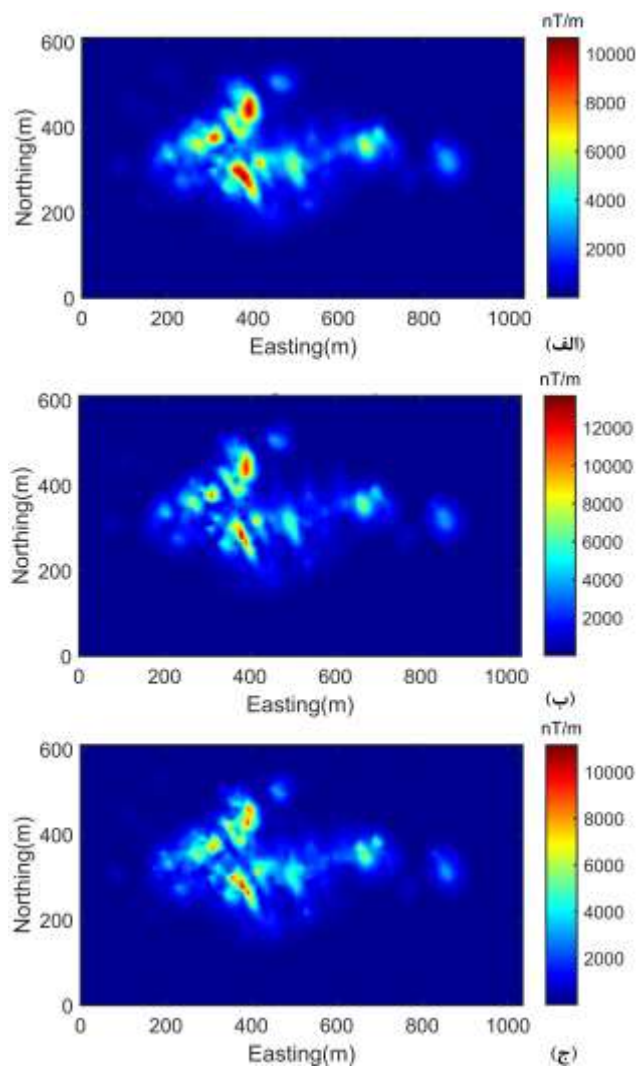
شکل ۱۰: نتیجه حاصل از اعمال صافی کنی بر روی نقشه اندازه دامنه میدان مغناطیسی (T_a) منطقه مورد مطالعه.

۳- نتیجه گیری

تعیین محل ساختارهای زیر سطحی عامل بی‌هنجاری‌های مغناطیسی یکی از اهداف مهم پردازش داده‌های مغناطیسی سنجی است. آشکارسازی لبه ساختارهای زیر سطحی با استفاده از داده‌های مغناطیسی و به کمک روش‌های رایج، به اطلاعات بردار مغناطیدگی توده عامل بی‌هنجاری وابسته است. در صورت وجود مغناطیدگی بازماند، اطلاعات بردار مغناطیدگی در اختیار ما قرار ندارد. در این حالت نمی‌توان از روش برگردان به قطب و سایر روش‌های آشکارسازی لبه وابسته به آن استفاده کرد. تبدیل اندازه دامنه میدان مغناطیسی، تبدیل R ، تبدیل E و سیگنال تحلیلی روش‌هایی هستند که در صورت وجود مغناطیدگی بازماند مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این مقاله روش استفاده از صافی کنی بر روی اندازه دامنه میدان مغناطیسی نیز پیشنهاد گردید. این روش‌های مقاوم نسبت به مغناطیدگی بازماند بر روی داده‌های یک مدل مصنوعی اعمال گردید. نتایج نشان داد که تبدیل اندازه دامنه میدان مغناطیسی قدرت مرکز گرایی کمی دارد. تبدیل‌های R ، E و سیگنال تحلیلی مرکز گرایی خوبی داشته ولی نسبت به نوفه داده‌ها حساس است و نمی‌توانند توده‌های عمیق و توده‌های دارای خودپذیری مغناطیسی کم را به خوبی آشکار نمایند. صافی کنی تبدیل اندازه دامنه میدان مغناطیسی مرکزگرایی مناسبی دارد و می‌تواند توده‌های زیر سطحی در عمق‌های مختلف را به خوبی آشکار نماید. همچنین این روش نسبت به نوفه موجود در داده‌ها، حساسیت زیادی ندارد.

روش‌های مقاوم نسبت به مغناطیدگی بازماند، بر روی داده‌های کانسار آهن الله آباد یزد اعمال گردید. نتایج نشان داد که مرزهای به دست آمده با استفاده از صافی کنی نقشه اندازه دامنه میدان مغناطیسی در مقایسه با

مقدار اندازه دامنه میدان مغناطیسی در منطقه مورد مطالعه نوسان زیادی دارد، که این مساله به احتمال زیاد مرتبط با تغییر توپوگرافی سطح ماده معدنی، تغییر ضخامت کانسار مگنتیتی و یا نوفه موجود در داده‌ها است (شکل ۸ ب). سپس تبدیل‌های R ، E و سیگنال تحلیلی بر روی داده‌های مغناطیسی منطقه مورد مطالعه اعمال شد (شکل ۹). در نتایج به دست آمده، به شکل مشابه، بی‌هنجاری‌های پراکنده دیده می‌شود و نمی‌توان با کمک آنها مرز کانسار را به خوبی تعیین نمود.



شکل ۹: نقشه تبدیل E (الف)، نقشه تبدیل R (ب)، نقشه سیگنال تحلیلی منطقه مورد مطالعه.

در نهایت صافی کنی با استفاده از روش پیشنهادی در این تحقیق بر روی داده‌های اندازه دامنه میدان مغناطیسی منطقه مورد مطالعه اعمال گردید (شکل ۱۰). در مقایسه با نتایج حفاری‌های انجام شده بر روی این کانسار، می‌توان دید که روش پیشنهادی به خوبی مرز کانسار را مشخص نموده است؛ به گونه‌ای که بیشتر گمانه‌هایی که به ماده معدنی برخورد

سایر روش ها به خوبی می تواند مرزهای کانسار را مشخص نماید؛ به گونه ای که نتایج حاصل از حفاری این مرزها را تایید می کند.

۴- منابع

Gerovska, D. and Stavrev, P., 2006, Magnetic data analysis at low latitudes using magnitude transforms, Geophysical prospecting, 54, 89-98.

Li, Y., S. E. Shearer, M. M. Haney, and N. Dannemiller, 2010, Comprehensive approaches to 3D inversion of magnetic data affected by remanent magnetization: Geophysics, 75(1), L1-L11.

Luo, Y. and Yao, C. 2007, Theoretical Study on Cuboid Magnetic Field and Gradient Expression without Singular Point. Oil Geophysical Prospecting (in Chinese), 42(6), 714.

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, 37, 507-517.

Pilkington, M. and Beiki, M., 2013, Mitigating remanent magnetization effects in magnetic data using the normalized source strength, Geophysics, 78(3), J25-J32.

Sanjay, P.R. and Naoghare, M.M., 2015, Review on Determination of Edges by Automatic Threshold Value Generation. International Journal of Computer Science and Mobile Computing, 4, 58-66.

Xiaodi, T., Guoqing, M. and Dailei, Z., 2018, Application of image processing methods in edge detection of potential field data. ASEG Extended Abstracts, 1-4.

Zuo, B., Hu, X., Cai, Y. and Liu, S., 2019, 3D magnetic amplitude inversion in the presence of self-demagnetization and remanent magnetization, Geophysics, 84(5), J69-J82.

رضایی، م.، ۱۳۹۷، آشکارسازی مرز ساختارهای زیرسطحی با استفاده از روش انحنای تانسور گرادیان داده های مغناطیس سنجی، نشریه پژوهش های ژئوفیزیک کاربردی، ۴ (۲)، ۳۷۷-۳۸۵.

رضایی، م.، مرادزاده، ع.، نجاتی کلاته، ع. و آقاجانی، ح.، ۱۳۹۶، برآورد خودکار پارامتر منظم سازی به روش تخمینگر ناریب ریسک احتمالی در وارون سازی سه بعدی مقید داده های مغناطیسی، نشریه پژوهش های ژئوفیزیک کاربردی، ۳ (۲)، ۱۴۵-۱۵۴.

Baranov, V., 1957, A new method for interpretation of aeromagnetic maps, Pseudo-gravimetric anomalies: Geophysics, 22, 359-383.

Canny J.F., 1986, A computational approach to edge detection. IEEE Trans Pattern Analysis and Machine Intelligence, 8(6), 679-698.

Clark, D. A., 2012, New methods for interpretation of magnetic vector and gradient tensor data I: Eigenvector analysis and the normalised source strength: Exploration Geophysics, 43, 267-282.

Eshaghzadeh, A. and Salehyan, N., 2017, Canny edge detection algorithm application for analysis of the potential field map. Earth Science India, 10(3), 108-125.

Gerovska, D. and Araújo-Bravo, M.J., 2006, Calculation of magnitude magnetic transforms with high centricity and low dependence on the magnetization vector direction,