





(DOI): 10.22044/JRAG.2018.7054.1196 شناسه ديجيتال

آشکارسازی مرز ساختارهای زیرسطحی با استفاده از روش انحنای تانسور گرادیان دادههای مغناطيسسنجى

محمد رضايى

استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ملایر

دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۲/۱۷؛ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۵/۰۵

نویسنده مسئول مکاتبات: mohamad1rezaie@gmail.com

واژگان کلیدی	چکیدہ
	روش مغناطیس سنجی یکی از روشهای پرکاربرد ژئوفیزیکی است. آشکارسازی لبه ساختارهای زیرسطحی یکی از
	اهداف مهم تفسیر دادههای مغناطیس سنجی است. روشهای متعددی برای آشکارسازی لبه ساختارهای زیرسطحی
مغناطيس سنجى	با استفاده از دادههای میدان پتانسیل ارائه شده است؛ که در بین این روشها، روش زاویه تمایل و انحنای تانسور
آشکارسازی لبه	گرادیان میتوانند مرز ساختارهای زیرسطحی را به شکل کمّی تعیین نماید. در این مقاله کاربرد روش انحنای تانسور
تانسور گرادیان	گرادیان برای آشکارسازی لبه ساختارهای زیرسطحی با استفاده از دادههای مغناطیس سنجی، مورد بررسی قرار
زاویه تمایل	گرفت. اعمال این روش بر روی دادههای حاصل از مدل مصنوعی و دادههای مغناطیس سنجی کانسار مس پرفیری
ساختارهای زیرسطحی	قاهان نشان داد که مقدار ویژه کوچک ماتریس انحنای تانسور گرادیان میتواند مرز تودههایی که بیهنجاری مثبت
قاهان	مغناطیسی ایجاد میکند؛ را بهصورت کمی تعیین نماید و مقدار ویژه بزرگ این ماتریس میتواند مرز تودههایی که
مس پرفیری	بیهنجاری منفی مغناطیس ایجاد میکند را بهصورت کمی تعیین نماید. همچنین نتایج نشان داد که روش انحنای
	تانسور گرادیان مرز ساختارهای زیرسطحی را با دقت بیشتری نسبت به روش زاویه تمایل تعیین مینماید و
	حساسیت این روش به نوفه موجود در دادهها نسبت به روش زاویه تمایل کمتر است.

یکی از اهداف اصلی تفسیر دادههای مغناطیس سنجی، استخراج اطلاعات در مورد ساختارهای زیرسطحی است. آشکارسازی لبه (Edge detection)، روشی مهم در شناسایی محدوده و لبه ساختارهای زمینشناسی است؛ بنابراین به شکل سنتی، آشکارسازی لبه هدف مهمی در تفسیر دادههای مغناطیس سنجی است. تاکنون روشهای متعددی برای آشکارسازی لبه با استفاده از دادههای گرانی و مغناطیس ارائه شده است که در بیشتر این روشها، فرض بر این است که دادههای مغناطیس سنجی برگردان به قطب مغناطیسی شدهاند. برای مثال روشهای گرادیان افقی کل (Grauch and Cordell, 1987; Fedi and Florio, 2001)، مشتق قائم (Cordell, 1987; Fedi and Florio, 2001 and Cowan, 2003) و زاويه تمايل (Miller and Singh, 1994). با استفاده از روش زاویه تمایل (Tilt angle) میتوان مرزهای ساختارهای زیرسطحی را به شکل کمی مشخص نمود. بدین صورت که مقدار زاویه تمایل بر روی مرز ساختارها برابر صفر است (Miller and Singh, 1994). روش مشتق افقى كل زاويه تمايل روش دیگری است که برای شناسایی لبه پیشنهاد شده است (Verduzco et al., 2004). شاهوردی و همکاران (۱۳۹۶) روش زاویه تمایل بهبود یافته را به کار گرفته و مرز ساختارهای زمین شناسی فروافتادگی زنجان را با استفاده از دادههای مغناطیس سنجی شناسایی نمودند. روش نقشه زاویه تتا نیز برای شناسایی لبه توسعه داده شده است (Wijns et al., 2005). نجاتی و روشندل (۱۳۹۲) این روش را برای شناسایی لبه دادههای گرانی به کار گرفتند. در این روش مقدار اندازه گرادیان کل نسبت به مقدار گرادیان افقی نرمال میشود. تابع تانژانت هایپربولیک برای محاسبه زاویه تمایل به کار برده شد؛ تا مرز ساختارهای زیرسطحی بهتر شناخته شود (Cooper and Cowan, 2006). روشهای فوق به دلیل استفاده از مشتقهای میدان پتانسیل معمولاً عملکرد مناسبی در حضور نوفه ندارند. عزیزلو و اردستانی (۱۳۹۶) از روش واریانس ناهمسانگردی نرمال شده برای تعیین مرز تودههای گرانی استفاده نمودند. در این روش مقدار عدد پنجره و یک ضریب وجود دارد؛ که به وسیله کارشناس تعیین میشود. روشی برای شناسایی خطوارهها با استفاده از دادههای میدان مغناطیسی برگردان به قطب شده ارائه شده است؛ که بر اساس مقدار انحنای گرادیان افقی کل کار میکند (Hansen and Deridder, 2006). این روش انحنا برای بهبود تخمین عمق و اندیس ساختاری چشمه میدان پتانسیل به کار گرفته شد (برازش و متولی، ۱۳۹۶). بررسیها نشان میدهد که با به کارگیری مقدار انحنای دادهها به جای مشتقهای دادهها میتوان شناسایی لبه دادههای میدان پتانسیل را بهبود بخشید (Cooper and Cowan, 2009). انصاری و همکاران (۱۳۸۹) با استفاده از محاسبه انحنا میدان پتانسیل مرز ساختارهای زیرسطحی را مشخص نمودند. در این روش مرز ساختارهای زیرسطحی به شکل کیفی

تعیین می گردد. روش انحنای تانسور گرادیان گرانی برای شناسایی ساختارهای زیرسطحی به کار گرفته شده است (Oruç et al., 2013). با استفاده از این روش نیز می توان مرز ساختارهای زیرسطحی را به شکل کمی مشخص نمود. بدین صورت که مقادیر ویژه ماتریس انحنای گرادیان بر روی مرز ساختارهای زیرسطحی برابر صفر است. نتایج پژوهشها نشان داده است که در گرانی سنجی مقدار ویژه کوچک می تواند برای تعیین مرز تودههایی با اختلاف چگالی مثبت به کار رود و مقدار ویژه بزرگ برای شناسایی مرز تودههایی با اختلاف چگالی منفی به کار رود (Zhou et al., 2013).

با توجه به مطالب بیان شده، در میان روشهای مختلف شناسایی لبه، روشهای زاویه تمایل و انحنای تانسور گرادیان، روشهایی هستند که میتوانند لبههای ساختارهای زیرسطحی را به طور کمی مشخص نمایند. در این مقاله، کاربرد روش انحنای تانسور گرادیان برای آشکارسازی لبه ساختارهای زیرسطحی با استفاده از دادههای مغناطیس سنجی، مورد بررسی قرار می گیرد. بدین منظور، ابتدا روش انحنای تانسور گرادیان و زاویه تمایل بر روی دادههای حاصل از مدل مصنوعی اعمال میشود و نتایج با یکدیگر مقایسه میشود. در نهایت روش انحنای تانسور گرادیان بر روی دادههای مغناطیس کانسار مس پرفیری قاهان استان مرکزی اعمال می گردد و مرز ساختارهای زیرسطحی در این منطقه تعیین و نتایج با اطلاعات

۲- روش کار

به منظور اعمال روشهای زاویه تمایل و انحنای تانسور گرادیان بر روی دادههای حاصل از برداشتهای مغناطیس سنجی، باید پس از انجام اصلاحات لازم بر روی این دادهها، فیلتر برگردان به قطب مغناطیسی بر روی این دادهها اعمال شود؛ تا این که بی هنجاری های مغناطیسی از نظر مکانی به طور دقیق بر روی تودههای عامل بی هنجاری قرار گیرد. سپس، روش های زاویه تمایل و انحنای تانسور گرادیان بر روی دادههای برگردان به قطب شده اعمال می شود؛ تا مرز ساختارهای عامل بی هنجاری آشکار شود.

۲-۱- روش انحنای تانسور گرادیان

به کمک ماتریس انحنا میتوان، مقدار انحنای یک خط یا سطح را در یک نقطه بر روی آن خط یا سطح مشخص نمود. ماتریس انحنای گرادیان میدان مغناطیسی به شکل زیر تعریف میشود (Oruç et al., 2013):

$$\Gamma = \begin{pmatrix} \frac{\partial I_{x}}{\partial x} & \frac{\partial I_{x}}{\partial y} \\ \frac{\partial T_{y}}{\partial x} & \frac{\partial T_{y}}{\partial y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} T_{xx} & T_{xy} \\ T_{yx} & T_{yy} \end{pmatrix}$$
(1)

(**AT**

که در آن T_x و T_y مؤلفههای افقی بردار میدان مغناطیسی برگردان به قطب شده در جهتهای x و y هستند. مؤلفههای ماتریس انحنای گرادیان میدان مغناطیسی را میتوان با استفاده از دادههای میدان مغناطیسی برگردان به قطب شده (T) محاسبه نمود (Mickus and Hinojosa, 2001):

$$\Gamma = \mathrm{F}^{-1} \left\{ \mathrm{K}(k) \mathrm{T}_{\mathrm{F}}(k) \right\}$$
(Y)

 $T_F(k)$ در این رابطه، F^{-1} نماد تبدیل فوریه معکوس است؛ $T_F(k)$ در این رابطه، معناطیسی برگردان به قطب شده است؛ که در آن k عدد موج است و K(k) به صورت زیر تعریف می شود:

$$\mathbf{K}(\mathbf{k}) = \begin{bmatrix} \frac{-k_x^2}{|\mathbf{k}|} & \frac{-k_x k_y}{|\mathbf{k}|} \\ \frac{-k_y k_x}{|\mathbf{k}|} & \frac{-k_y^2}{|\mathbf{k}|} \end{bmatrix}$$
(7)

که در آن $0 \neq {}^{1/2} = k_x^2 + k_y^2 + k_z^2$, به طور معمول در روشهای میدان پتانسیل بیهنجاری ایجاد شده با اختلاف خاصیت فیزیکی توده عامل بیهنجاری با سنگهای دربرگیرنده، هم علامت است؛ در حالی که برای بردارهای گرادیان افقی x_x و y_y این مسئله صادق نیست؛ بنابراین این دو بردار معمولاً در عدد منفی یک ضرب شده و مورد استفاده قرار می گیرند (Fedi et al., 2005). در ادمه با چرخش محورها در راستای بردارهای ویژه ماتریس انحنای گرادیان میدان در اندان می گرادیان فراه می گرادیان افتان میان کردان الحنای در الحنای کردان الحنای در الحنای در الحنای در الحنای میران معمولاً در عدد منفی یک خور شده و مورد استفاده قرار می گیرند (Fedi et al., 2005). در الحنای الحنای میدان میدان میدان میان نوشت:

$$\Gamma \mathbf{x} = \mathbf{\Lambda} \mathbf{x} \tag{(f)}$$

که در آن $0 \neq x$ ماتریسی است که ستونهای آن بردارهای Boring,) است و Λ ماتریس مقادیر ویژه است (Γ 1998): 1998:

$$\Lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0\\ 0 & \lambda_2 \end{bmatrix} \tag{(a)}$$

Boring,) رابطه (۴) را میتوان به صورت زیر بازنویسی کرد (

$$(\Gamma - \Lambda I)x = 0 \tag{(6)}$$

$$det(\Gamma - \Lambda I) = \begin{vmatrix} T_{xx} - \lambda_1 & T_{xy} \\ T_{yx} & T_{yy} - \lambda_2 \end{vmatrix} = 0$$
 (Y)

با حل نمودن معادله رابطه (۲)، مقادیر ویژه تانسور Γ که λ_1 و λ_1 که رابطه (۲)، مقادیر ویژه تانسور λ_2 هستند؛ به صورت زیر به دست میآید (2013):

$$\lambda_{1} = 0.5 \left(T_{xx} + T_{yy} + \sqrt{(T_{xx} - T_{yy})^{2} + 4T_{xy}^{2}} \right)$$
(A)

 $\lambda_{2} = 0.5 \Big(T_{xx} + T_{yy} - \sqrt{(T_{xx} - T_{yy})^{2} + 4T_{xy}^{2}} \Big)$ (9) $\lambda_{1} \text{ ascle exclosed on the set of the set of$

پژوهش ها نشان داده است که در گرانیسنجی مقادیر λ_2 می می تواند مرز تودههایی که بی هنجاری مثبت گرانی ایجاد می کند را تعیین نماید؛ به گونه ای که مقدار λ_2 در مرز توده های عامل بی هنجاری برابر با صفر است. از طرف دیگر مقادیر Λ می تواند مرز توده های که بی هنجاری منفی گرانی ایجاد می کند را تعیین نماید به گونه ای که مقدار Λ_1 در مرز توده های عامل بی هنجاری برابر با صفر است که مقدار Λ_1 در مرز توده های عامل بی هنجاری برابر با صفر است که مقدار Λ_1 در مرز توده های عامل بی هنجاری برابر با صفر است که مقدار این می در این مقاله با استفاده از مقادیر Λ_2 و λ_2 لبه توده های عامل بی هناطیسی شناسایی می شود.

۲-۲- روش زاویه تمایل

فیلتر زاویه تمایل یکی از فیلترهای فاز محلی برای شناسایی لبه است. فیلترهای فاز محلی با تغییر فازی که در داده به وجود میآورند؛ لبههای ساختارهای زیرسطحی را بهخوبی بارز میکنند؛ اما نوفه موجود در داده را نیز افزایش میدهند. فیلتر زاویه تمایل به شکل زیر تعریف می شود (Miller and Singh, 1994):

$$\text{Tilt} = \tan^{-1} \left(\frac{\frac{\partial T}{\partial z}}{\sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)^2}} \right)$$
(1.)

فیلتر زاویه یتمایل دامنه یی بی هنجاری های عمیق تر را نسبت به سطحی تقویت می کند. مقدار این زاویه زمانی که بالای منبع بی هنجار قرار می گیرد، مثبت بوده و زمانی که بالا یا نزدیک لبه های آن منبع قرار گیرد، صفر می شود و می تواند تا حدودی به شکل کمی مرز ساختارهای زیر سطحی را مشخص نماید (Miller and Singh, 1994).

۲-۳- اعمال روش پیشنهادی بر روی دادههای

مصنوعى

به منظور بررسی کاربرد روش انحنای تانسور گرادیان در تعیین و شناسایی بیهنجاریهای مغناطیسی و همچنین آشکارسازی مرز آنها و تفکیک لبهها، از یک مدل مصنوعی استفاده شد. یک مدل مصنوعی طراحی شد که شامل دو بلوک در ابعاد و در عمقهای متفاوت است (شکل ۱).

دادههای حاصل از این مدل مصنوعی با استفاده از روش مدلسازی پیشرو ارائه شده توسط (1991) Rao and Babu بر روی شبکهای منظم با فواصل ۲۰ × ۲۰ متر و با گسترش ۶۰۰ × ۶۰۰ متر محاسبه شده است. موقعیت و ابعاد بلوکهای تشکیلدهنده مدل مصنوعی در جدول ۱ ارائه شده است.

برای بررسی کارایی مقادیر λ_1 و λ_2 در آشکارسازی لبه ساختارهای زیرسطحی با استفاده از دادههای مغناطیس سنجی یک

رضایی، آشکارسازی مرز ساختارهای زیرسطحی با استفاده از روش انحنای تانسور گرادیان دادههای مغناطیسسنجی، صفحات ۳۸۵-۳۷۷.

بار در محاسبه دادههای مغناطیسی اختلاف خودپذیری مغناطیسی تودهها با زمینه (SI) ۰۹٬۰۶ در نظر گرفته شده است (شکل ۱–۰)؛ و بار دیگر اختلاف خودپذیری مغناطیسی تودهها با زمینه (SI) ۰۹٬۰۶ در نظر گرفته شده است (شکل ۱–ج). بدین ترتیب بی هنجاری های منفی و مثبت مغناطیسی ایجاد می شود.

سپس به دادهها ۵٪ نوفه تصادفی با توزیع گوسی اضافه شده است. در این مدل مصنوعی مقدار زاویه میل و انحراف مغناطیسی ۴۵ درجه در نظر گرفته شده است و شدت میدان مغناطیسی القاکننده برابر با (nT) ۴۸۰۰۰ است. برای محاسبه مقادیر λ_1 و λ_2 ابتدا، دادهها برگردان به قطب شد (شکل ۲). سپس مقادیر λ_1 $_2$ و زاویه تمایل برای دادههای برگردان به قطب شده محاسبه گردید.

شکل ۳ نتایج حاصل از اعمال روشهای شرح داده شده در قسمت قبل، بر روی دادههای نمایش داده شده در شکل ۲- الف را نشان میدهد. مطابق شکل ۳، با توجه به مرز تودههای زیرسطحی (که با خطچین نشان داده شده است) و خط تراز صفر (که با خط مشکی نشان داده شده است) روی نقشه نتیجه حاصل از اعمال روشهای مختلف آشکارسازی لبه، میتوان نتیجه گرفت که خط تراز مفر در روش λ محل قرارگیری تودههای زیرسطحی را به خوبی مشخص نموده و بر مرز واقعی تودههای زیرسطحی که بیهنجاری منفی مغناطیسی ایجاد کرده است تا حدود زیادی منطبق است. از مقایسه با روش زاویه تمایل کمتر بوده و تصویر هموارتری ایجاد کرده است. در حالی که در روش زاویه تمایل خط تراز صفر از مرز واقعی تودههای زیرسطحی کمی فاصله دارد و در تصویر به دست آمده به دلیل نوفه ناهمواریهایی دیده میشود.

شکل ۴ نتایج حاصل از اعمال روشهای شناسایی لبه بیان شده در این مقاله بر روی دادههای نمایش داده شده در شکل ۲- ب را نشان میدهد.

مطابق شکل ۴، با توجه به مرز تودههای زیرسطحی و خط تراز صفر روی نقشه نتیجه حاصل از اعمال روشهای مختلف شناسایی لبه، میتوان نتیجه گرفت که خط تراز صفر در روش λ_2 محل قرارگیری تودههای زیرسطحی را بهتر مشخص نموده و به مرز واقعی تودههای زیرسطحی که بیهنجاری مثبت مغناطیسی ایجاد کرده، نزدیک تر است. مشابه حالت قبل به نظر میرسد حساسیت روش انحنای تانسور گرادیان نسبت به نوفه در مقایسه با روش زاویه تمایل کمتر بوده است.

مشابه روش گرانی سنجی، مقادیر λ_2 می تواند مرز تودههایی که بی هنجاری مثبت مغناطیسی ایجاد می کند را به صورت کمی تعیین نماید؛ به گونهای که مقدار λ_2 در مرز تودههای عامل بی هنجاری برابر با صفر است و مقادیر λ_1 می تواند مرز تودههایی که بی هنجاری منفی مغناطیس ایجاد می کند را به صورت کمی تعیین نماید؛ به گونهای که مقدار λ_1 در مرز تودههای عامل بی هنجاری

برابر با صفر است.

مصنوعى.	ر مدل	کھا د	از بلو	د هريک	و ابعا	موقعيت	ل ۱:	ىدوا
---------	-------	-------	--------	--------	--------	--------	------	------

شماره مدل	ابعاد بلوكها (متر)	عمق سطح بالایی (متر)
(1)	$\lambda \cdot \times 1 \mathcal{F} \cdot \times \lambda \cdot$	- ۲ •
(٢)	17 • × 18 • × 1 • •	- * •





۲-۴- اعمال روش پیشنهادی بر روی دادههای واقعی در این قسمت، روشهای شرح داده شده در این مقاله بر روی دادههای مغناطیس سنجی کانسار مس پرفیری قاهان در استان مرکزی اعمال میشود تا مرز کانسار تعیین شود.

کانسار مس پرفیری قاهان از نظر زمینشناسی بر روی کمربند سنگهای ماگمایی ارومیه- دختر قرار دارد. سنگهای آتش فشانی و آتش فشانی –رسوبی ائوسن بخش عمده سنگ های این منطقه را تشکیل میدهند؛ که توده بزرگی از جنس دیوریت تا کوارتزدیوریت در آن نفوذ کرده است. پسازآن یک توده پورفیری با ترکیب تونالیت در سنگهای منطقه نفوذ نموده و کانیسازی پورفیری را ایجاد نموده است. مهم ترین دگرسانی های مرتبط با کانی سازی پورفیری در منطقه شامل، دگرسانی فیلیک، آرژیلیک و یرویلیتیک است؛ که دگرسانی فیلیک اغلب با استوکور کهای کوارتزی همراه است. در این منطقه کانیسازی در سطح، عمـدتاً بـهصـورت اکسـیدهای آهنـی مشـاهده می شوند. اکسیدهای آهن از نوع گوتیت، جاروسیت و هماتیت به ترتیب مهم ترین اکسیدهای آهنی حاصل از اکسیداسیون سولفیدها می باشند؛ که به صورت پراکنده و پرکننده درز و شکاف ها مشاهده می شوند. نتایج حاصل از چند نمونه ژئوشیمیایی در این منطقه نشان میدهد که مس و مولیبدن تا حد زیادی بی هنجاری نشان میدهند (تیموری، ۱۳۹۱).

در سال ۱۳۹۰ در محدوده مورد نظر مطالعات مغناطیس سنجی انجام شد (شکل ۵). در این منطقه دادهها بر روی شبکهای با ابعاد ۵۰ متر در ۲۵ متر برداشت شد؛ به صورتی که فواصل پروفیلها از یکدیگر ۵۰ متر و فواصل ایستگاهها بر روی هر پروفیل ۲۵ متر بود و مجموع نقاط اندازه گیری بالغبر ۱۸۰۰ ایستگاه شد. بر روی دادههای برداشت شده ابتدا تصحیحات لازم از قبیل تصحیحات روزانه و IGRF اعمال شد (محمدلو، ۱۳۹۶). دادههای استفاده شده در این پژوهش قسمتی از این دادهها است. شکل ۵- الف نقشه بیهنجاری

نشریه پژوهشهای ژئوفیزیک کاربردی، دوره 4، شماره ۲، ۱۳۹۷.

مغناطیسی منطقه مورد مطالعه را نشان میدهد.

برای این که بی هنجاری های مغناطیسی به طور دقیق بر روی توده های عامل بی هنجاری قرار گیرد؛ فیلتر برگردان به قطب بر روی داده ها اعمال شد (شکل ۵- ب). مطابق این شکل یک بی هنجاری منفی مغناطیسی در نواحی مرکزی محدوده مورد مطالعه دیده می شود که به احتمال زیاد این بی هنجاری مرتبط با کانی سازی مس پرفیری است؛ زیرا در محدوده مورد مطالعه منطقه دگرسانی پتاسیک وجود ندارد و نتایج مطالعات نشان داده است که در کانسارهای مس پرفیری شدت میدان مغناطیسی به دلیل پدیده دگرسانی بر روی کانسار، کاهش می یابد (Clark, 2014). بی هنجاری های مثبتی که در اطراف بی هنجاری منفی مغناطیسی قرار گرفته است، به احتمال زیاد مرتبط با محدوده های دگرسانی پروپلیتیک است.

نتایج حاصل از اعمال روش انحنای تانسور گرادیان در شکل ۶ نشان داده شده است. مطابق شکل ۶– الف، خط تراز صفر در روش λ_1 محدوده کانی سازی پرفیری را نشان میدهد. مطالعات ژئوشیمیایی در این منطقه نشان داده است که نمونههای ژئوشیمیایی تهیه شده از درون محدوده معرفی شده برای کانی سازی پرفیری، دارای بیهنجاری مس و مولیبدن است؛ در حالی که نمونههای قرار گرفته خارج از محدوده تعیین شده، بیهنجاری مس و مولیبدن از خود نشان ندادهاند. این پدیده نشاندهنده دقت روش λ_1 در تعیین مرز توده عامل بیهنجاری منفی مغناطیسی است.

منحنی تراز صفر در روش λ_2 محدوده دگرسانی پروپلیتی در منطقه مورد مطالعه را نشان میدهد. نتایج نشانگر آن است که فیلتر زاویه تمایل تنها مرز توده ای زیرسطحی که بیهنجاری مثبت مغناطیسی ایجاد کرده را به صورت کمی با خط تراز صفر تعیین کرده است. هرچند در شناسایی مرز کانسار که عامل اصلی ایجاد بیهنجاری مغناطیسی منفی است، به خوبی عمل نکرده است.



شکل ۲: نقشه دادههای مغناطیسی برگردان به قطب شده برای مدل با اختلاف خودپذیری مغناطیسی منفی (الف) و اختلاف خودپذیری مغناطیسی مثبت (ب).

رضایی، آشکارسازی مرز ساختارهای زیرسطحی با استفاده از روش انحنای تانسور گرادیان دادههای مغناطیس سنجی، صفحات ۳۸۵-۳۷۷.



شکل ۳: نقشه مقادیر محاسبه شده ^λ1 (الف)، ^{لگ} (ب) و زاویه تمایل با استفاده از دادههای برگردان به قطب شده مدل مصنوعی با اختلاف خودپذیری مغناطیسی منفی. محل واقعی بلوکها با خطچین مشخص شده و خط تراز صفر با خط مشکی پر رنگ نمایش داده شده است.



شکل ۴: نقشه مقادیر محاسبه شده ^{گر} (الف)، ^{گر} (ب) و زاویه تمایل با استفاده از دادههای برگردان به قطب شده مدل مصنوعی با اختلاف خودپذیری مغناطیسی مثبت. محل واقعی بلوکها با خطچین مشخص شده و خط تراز صفر با خط مشکی پر رنگ نمایش داده شده است







۳- نتیجهگیری

در این پژوهش قابلیت روش انحنای تانسور گرادیان در آشکارسازی مرز ساختارهای زیرسطحی با استفاده از دادههای مغناطیس سنجی مورد بررسی قرار گرفت. اعمال این روش بر روی دادههای حاصل از مدل مصنوعی نشان داد که مقدار ویژه کوچک (λ_2) میتواند مرز تودههایی که بیهنجاری مثبت مغناطیسی ایجاد میکند را بهصورت کمی تعیین نماید؛ به گونهای که مقدار 2 در مرز تودههای عامل بیهنجاری برابر با صفر است و مقدار ویژه بزرگ (λ_1) میتواند مرز تودههایی که بیهنجاری منفی مغناطیس ایجاد میکند را بهصورت

نشریه پژوهشهای ژئوفیزیک کاربردی، دوره ۴، شماره ۲، ۱۳۹۷.

کمی تعیین نماید؛ به گونهای که مقدار Λ_1 در مرز تودههای عامل بیهنجاری برابر با صفر است. همچنین نتایج نشان داد که روش انحنای تانسور گرادیان، مرز ساختارهای زیرسطحی را با دقت بیشتری نسبت به روش زاویه تمایل تعیین نموده و حساسیت این روش به نوفه موجود در دادهها نسبت به روش زاویه تمایل کمتر است.

نتایج حاصل از به کارگیری روش انحنای تانسور گرادیان برای شناسایی لبه بیهنجاریهای مغناطیسی کانسار مس قاهان نشان داد که این روش میتواند لبههای کانسار مس پرفیری را که عامل ایجاد بیهنجاری مغناطیسی منفی در منطقه است؛ مشخص نماید. حال آنکه روش زاویه تمایل تنها مرز ساختارهای عامل بیهنجاریهای مثبت مغناطیسی را مشخص نمود. نتایج حاصل از بررسیهای ژئوشیمیایی در منطقه مورد مطالعه انطباق خوبی با نتایج حاصل از به کارگیری روش انحنای تانسور گرادیان دارد.

۴- منابع

- انصاری، ع.، علمدار، ک. و کامکار روحانی، ا.، ۱۳۸۹، تراسبندی در تفسیر دادههای میدان پتانسیل، مجله فیزیک زمین و فضا، ۳۸ (۲)، ۱۵۷–۱۶۶.
- برازش، م. و متولی عنبران، ۵.، ۱۳۹۶، بهبود تخمین عمق و اندیس ساختاری چشمه میدان پتانسیل با استفاده از نشانگرهای انحنا، مجله فیزیک زمین و فضا، ۴۳ (۱)، ۷۱–۸۶.
- تیموری بادله، ح.، ۱۳۹۱، کاربرد روش سنجش از دور و دادههای مغناطیسسنجی برای اکتشاف کانسار مس قاهان در شهرستان ساوه، پایاننامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد واحد تهران جنوب.
- شاهوردی، م.، نمکی، ل.، منتهایی، م.، مصباحی، ف. و بساوند، م.، ۱۳۹۶، تفسیر دادههای مغناطیسی بر اساس محاسبه زاویه تیلت و بهبود گرادیان افقی، مطالعه موردی: فروافتادگی زنجان، مجله فیزیک زمین و فضا، ۴۲ (۱)، ۱۰۱–۱۱۳.
- صادقی عزیزلو، ب. و ابراهیمزاده اردستانی، و.، ۱۳۹۶، بررسی قابلیت روش واریانس ناهمسانگردی نرمالشده در تعیین مرز تودههای گرانی، نشریه پژوهشهای ژئوفیزیک کاربردی، ۳ (۲)، ۱۸۹– ۲۰۱.
- محمدلو، ع.، ۱۳۹۶، تفسیر و مدلسازی مستقیم دادههای مغناطیس به منظور تعیین سطح فرسایش مناطق کانیزایی مس پورفیری، پایاننامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود.
- نجاتی کلاته، ع. و روشندل کاهو، ا.، ۱۳۹۲، تعیین مرز دادههای میدان پتانسیل با استفاده از تصویرسازی زاویه تتا، مجله

رضایی، آشکارسازی مرز ساختارهای زیرسطحی با استفاده از روش انحنای تانسور گرادیان دادههای مغناطیس سنجی، صفحات ۳۸۵-۳۷۷.

- Hansen, R.O. and Deridder, E., 2006, Linear feature analysis for aeromagnetic data, Geophysics, 71 (6), L61-L67.
- Mickus, K.L. and Hinojosa, J.H., 2001, The complete gravity gradient tensor derived from the vertical component of gravity: a Fourier transform technique, Journal of Applied Geophysics, 46 (3), 159-174.
- Miller, H.G. and Singh, V., 1994, Potential field tilt- A new concept for location of potential field sources, Journal of Applied Geophysics, 32 (2-3), 213-217.
- Oruç, B., Sertçelik, I., Kafadar, Ö. and Selim, H.H., 2013, Structural interpretation of the Erzurum Basin, eastern Turkey, using curvature gravity gradient tensor and gravity inversion of basement relief, Journal of Applied Geophysics, 88, 105-113.
- Verduzco, B., Fairhead, J.D., Green, C.M. and MacKenzie, C., 2004, New insights into magnetic derivatives for structural mapping, The Leading Edge, 23 (2), 116-119.
- Wijns, C., Perez, C. and Kowalczyk, P., 2005, Theta map: Edge detection in magnetic data. Geophysics, 70 (4), L39-L43.
- Zhou, W., Du, X. and Li, J., 2013, The limitation of curvature gravity gradient tensor for edge detection and a method for overcoming it, Journal of Applied Geophysics, 98, 237-242.

Boring, E., 1998, Visualization of tensor fields, M.S. thesis, University of California, Santa Cruz.

ژئوفیزیک ایران، ۷ (۱)، ۲۴–۳۳.

- Cooper, G. and Cowan, D., 2003, The application of fractional calculus to potential field data, Exploration geophysics, 34 (1/2), 51-56.
- Cooper, G.R.J. and Cowan, D.R., 2006, Enhancing potential field data using filters based on the local phase, Computers and Geosciences, 32 (10), 1585-1591.
- Cooper, G.R.J. and Cowan, D.R., 2009, Terracing potential field data, Geophysical Prospecting, 57 (6), 1067-1071.
- Fedi, M. and Florio, G., 2001, Detection of potential fields source boundaries by enhanced horizontal derivative method, Geophysical prospecting, 49 (1), 40-58.
- Fedi, M., Ferranti, L., Florio, G., Giori, I. and Italiano, F., 2005, Understanding the structural setting in the Southern Apennines (Italy): insight from Gravity Gradient Tensor, Tectonophysics, 397 (1-2), 21-36.
- Grauch, V.J.S. and Cordell, L., 1987, Limitations of determining density or magnetic boundaries from the horizontal gradient of gravity or pseudo gravity data, Geophysics, 52 (1), 118-121.



JOURNAL OF RESEARCH ON APPLIED GEOPHYSICS

(JRAG) 2018, Vol. 4, No. 2





Edge detection of subsurface structures using curvature gradient tensor of magnetic data

Mohammad Rezaie

Assistant Professor, Faculty of Engineering, Malayer University, Malayer, Iran

Received: 7 May 2018; Accepted: 27 July 2018

Corresponding author: mohamad1rezaie@gmail.com

Keywords	Extended Abstract				
Magnetic Method	Summary				
Edge Detection	Edge detection of subsurface structures is an important objective in				
Gradient Tensor	interpretation of magnetic data. In this paper, curvature gradient tensor (CGT)				
Tilt Angle	of magnetic data has been used along with tilt angle method to detect edges of				
Subsurface Structure	subsurface structures. Application of these methods on synthetic and real				
Qahan	gravity data has shown that the CGT of magnetic data, compared to the tilt				
Porphyry Copper	angle method, can determine the edges of subsurface structures better.				

Introduction

The main objective of the interpretation of magnetic data is to extract information about subsurface structures. Edge detection is an important means to image the edges of subsurface structures. Therefore, edge detection has traditionally been an important objective in the interpretation of magnetic data. There are various methods for edge detection. Tilt angle method is a traditional method that can detect edges of subsurface structures quantitatively. The value of Tilt angle is zero above the edges of subsurface bodies. The curvature gravity gradient tensor (CGGT) has also been used to interpret subsurface geological structures quantitatively. The eigenvalues of CGGT are zero above edges of subsurface bodies. In this paper, the CGT of magnetic data has been used for edge detection of subsurface magnetic bodies. The results of using the CGT of magnetic data have been compared with the results obtained from applying Tilt angle method on the data.

Methodology and Approaches

In order to obtain the CGT of magnetic data, at first, the magnetic data are reduced to pole (RTP). Then, horizontal vector gradients of the gradient tensors are computed from the RTP data using a Fourier transform technique. Then, the eigenvalues of the CGT of magnetic data are obtained. The small eigenvalue can only be used to detect the edges of bodies with positive susceptibility contrast, and the large eigenvalue can only be used to determine the edges of bodies with negative susceptibility contrast. As an example, chromite ore has positive density contrast with the host rock and produce positive gravity anomaly. Finally, the tilt angle method is also applied to compare its results with those of the CGT of magnetic data.

Results and Conclusions

The robustness of the method used for the enhancement of edge detection is tested with a magnetic anomaly map caused by two prisms of synthetic bodies with positive and negative susceptibility contrast. The results have shown that the zero contour of the small eigenvalue of the CGT of magnetic data compared to the zero contour of the tilt angle method can better detect the edges of synthetic bodies with positive susceptibility contrast. Moreover, the zero contour of the large eigenvalue of the CGT of magnetic data compared to the zero contour of the tilt angle method can better detect the edges of synthetic bodies with negative susceptibility contrast. Moreover, the zero contour of the large eigenvalue of the CGT of magnetic data compared to the zero contour of the tilt angle method can better detect the edges of synthetic bodies with negative susceptibility contrast. The Tilt angle method is also more sensitive to noise than the CGT of magnetic data. The CGT method has been applied to real magnetic data from Qahan porphyry copper deposit in Markazi Province, Iran. The results have indicated that the large eigenvalue of the CGT can determine the edges of porphyry deposit and the small eigenvalue can outline positive magnetic anomalies caused by propylitic alteration. However, the tilt angle method has not been capable of finding the edges of the porphyry deposit.