

تفسیر آنومالیهای مغناطیسی منطقه آستمال با استفاده از روش بزرگترین مقدار ویژه

وحيد زارعي' و رسول حميدزاده مقدم*'

۱- دانشکده مهندسی معدن دانشگاه صنعتی سهند تبریز ایران

دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۸/۲۹؛ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۲/۲۶

* نویسنده مسئول مکاتبات: hamidzadeh@sut.ac.ir

واژگان کلیدی	چکیدہ
	 یکی از اهداف مهم در تفسیر دادههای میدان مغناطیسی تعیین موقعیت افقی تودههای مسبب آنومالی است. بدین منظور
	روشهای مختلفی ارائه شده؛ که بر پایه گرادیانهایی از میدان پتانسیل بنا شدهاند. در این پژوهش از روشهای مقادیر ویژه
	برای تعیین مرز تودههای مغناطیسی استفاده شد. این روشها بر روی دادههای مغناطیسی مدل مصنوعی با و بدون نوفه
	اعمال شد. نتایج حاکی از کارایی روش بزرگترین مقدار ویژه و عدم کارایی روش دترمینان و کوچکترین مقدار ویژه در تعیین
مغناطيسسنجى	مرز تودههای مغناطیسی است. مقایسه روش بزرگترین مقدار ویژه با دیگر روشهای تعیین مرز بیانگر دقت بالای آن در تعیین
تعيين موقعيت افقى تودهها	مرز توده و عدم تولید لبه کاذب میباشد. همچنین روش بزرگترین مقدار ویژه نسبت به روش زاویه تیلت از کارآیی بالایی در
بزرگترین مقدار ویژه	تفکیک تودههای عمیق برخوردار است. روش بزرگترین مقدار ویژه همراه با روشهای مشتق قائم مرتبه اول و دوم، سیگنال
آستمال	تحلیلی و زاویه تیلت در تفسیر دادههای مغناطیسی منطقه آستمال، ورزقان، آذربایجان شرقی استفاده شد. نتایج بیانگر کارآیی
آذربايجان شرقى	خوب روش بزرگترین مقدار ویژه در تعیین مرز تودههای مگنتیتی، موقعیت گسلها و دایکهای منطقه میباشد. تلفیق نتایج
	حاصل از روشهای مغناطیسی با دادههای زمینشناسی منطقه حاکی از نفوذ سیالات کانیساز در داخل گسلها و و شکستگی-
	های منطقه است؛ که در این بین دایکهای موجود در منطقه نقش عمدهای در تمرکز و انباشتگی سیالات کانیساز در تشکیل
	آنومالی A داشتهاند. همچنین نتایج نشان میدهد که سه آنومالی A، B و C یکپارچه نیستند؛ بلکه هر کدام از آنها به صورت
	مستقل در داخل شکستگیها و گسلهای منطقه تشکیل شدهاند.

زارعی و حمیدزاده مقدم، تفسیر آنومالی های مغناطیسی منطقه آستمال با استفاده از روش بزرگترین مقدار ویژه. صفحات۱۳۵_۱۳۶. ۲- روش پژوهش ۱- مقدمه

تعیین مرز ساختارها و تودههای مسبب آنومالی یک هدف مهم در ژئوفیزیک اکتشافی است؛ که موقعیت افقی تودهها و ساختارها را مشخص میکند. در این راستا روشهای مختلفی ارائه شده است؛ که بیشتر آنها فیلترهای بالاگذری از مشتقات افقی و قائم دادههای میدان پتانسیل می باشند. بیشینه مشتق افقی کل و کنتور صفر مشتق قائم تغییرات ناگهانی از چگالی یا خودپذیری مغناطیسی سنگهای اطراف را نشان میدهد (Evjen, 1936) از بیشینه سیگنال Nabighian (1984) .Cordell and Grauch, 1982) تحلیلی جهت تعیین مرز تودههای نزدیک به هم استفاده کردند. هر یک از روشهای اشاره شده در بالا علیرغم کارایی خوب، در تعیین مرز تودههای سطحی، مرز تودههای عمیق را ضعیف نشان میدهند. Miller and Singh (199) روش زاویه تیلت را برای نمایش همزمان مرز تودههای سطحى و عميق معرفى كردند. روش هايى چون Theta map. TDX و ILP نیز جهت متوازن کردن لبه تودههای سطحی و عمیق معرفی Wijns et al., 2005; Cooper and Cowan, 2006; Ma,) شدهاند (.(2013

در سالهای اخیر با توسعه روشهای اندازه گیری مولفههای تانسور گرادیان میدان پتانسیل (potential-field gradient tensor) فیلترهای جدیدی معرفی شدهاند؛ که دارای دقت بسیار بالایی نسبت به روشهای پیشین میباشند. تانسور ساختاری یکی از روشهای پردازش تصویر است؛ که یک جهتگیری محلی را در یک فضای n بعدی نشان میدهد (Weickert, 1999). در ژئوفيزيک اين روش اولين بار توسط Jeong et al. (2006) برای تعیین محل گسلها در لرزهنگاری سهبعدی استفاده شد. Hansen and Deridder (2006) یک ویژگی خطی را با استفاده از مقادیر ویژه ماتریس هسین توصیف کردند و نشان دادند که مقادیر ویژه مثبت ماتریس هسین برای آنالیز ویژگیهای خطی و مقادیر ویژه منفی آن برای تعیین عمق تودهها می توانند مورد استفاده قرار گیرند. Sertcelik and Kafadar (2012) از روش بزرگترین مقدار ویژه تانسور ساختاری برای تعیین لبه تودههای مسبب آنومالی و از کوچکترین مقدار ویژه آن برای نمایش گوشههایی از ساختارهای زیر سطحی استفاده کردند. Oruç et al. (2013) مقادیر ویژهای از ماتریس هسین را برای تعیین مرز آنومالیهای گرانی بکار بردند و نشان دادند که کوچکترین مقدار ویژه از ماتریس هسین برای مشخص کردن لبه آنومالیهای گرانی موثر است؛ هر چند Zhou and Geng (2014) نشان دادند که کوچکترین مقدار ویژه از ماتریس هسین فقط برای موقعیتهایی از منابع با تباین چگالی منفی و بزرگترین مقدار ویژه آن فقط برای موقعیتهایی از منابع با تباین چگالی مثبت قابل استفاده است.

در این پژوهش کارایی روشهای مقادیر ویژه و دترمینان ماتریس هسین در تعیین مرز تودههای مغناطیسی بررسی شده و از آنها برای تفسیر دادههای مغناطیس زمینی منطقه آستمال استفاده شده است.

در راستای انجام این پژوهش ابتدا اساس روشهای مقادیر ویژه مورد بررسی قرار گرفته و در ادامه نتایج این روش ها بر روی مدل های مصنوعی و دادههای واقعی مغناطیسسنجی بررسی شده است.

۲–۱– روشهای مقادیر ویژه

Hansen and Deridder (2006) ماتریس تانسور ساختاری (تانسور انحناء) را به صورت زیر تعریف کرد؛ که شامل مشتقات افقی مرتبه دوم میدان پتانسیل در جهات x و y میباشد.

22 - - -

- 22 F

$$T = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 F}{\partial x^2} & \frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y} \\ \frac{\partial^2 F}{\partial x \partial y} & \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{xx} & F_{xy} \\ F_{yx} & F_{yy} \end{bmatrix}$$
(1)

ماتریس متقارن بوده به طوری که $F_{xy}=F_{yx}$ است و F نیز میدان Tپتانسیل میباشد. هر یک از مولفههای F_{xy} ،F_{xx} و F_{yy} میتوانند هم به صورت مستقیم اندازه گیری شوند و هم از طرق محاسبه مشتقات مرتبه Mickus, and) دوم میدان پتانسیل اولیه در جهات x و y بدست آیند (Mickus, and) Hinojosa, 2001). مقادیر ویژهای از ماتریس T با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می شود:

$$\lambda^2 - \lambda \left(F_{xx} + F_{yy} \right) + \left(F_{xx} F_{yy} - F_{xy} F_{yx} \right) = 0 \tag{(Y)}$$

با محاسبه ریشههای رابطه ۲ داریم:

$$\lambda_{1} = \frac{1}{2} \left(F_{xx} + F_{yy} + \sqrt{\left(F_{xx} - F_{yy}\right)^{2} + 4\left(F_{xy}\right)^{2}} \right)$$
(7)

$$\lambda_{2} = \frac{1}{2} \left(F_{xx} + F_{yy} - \sqrt{\left(F_{xx} - F_{yy}\right)^{2} + 4\left(F_{xy}\right)^{2}} \right) \tag{f}$$

و λ_2 و λ_2 به ترتیب بزرگترین و کوچکترین مقدار ویژه ماتریس تانسور λ_1 ساختاری میباشند. با توجه به اینکه حاصلضرب مقادیر ویژه یک ماتریس مربعی معادل دترمینان آن ماتریس میباشد بنابراین داریم:

$$det(T) = \lambda_1 \lambda_2 \tag{(a)}$$

منحنی های میزان صفر $\lambda_2 \ \lambda_2$ و $\det(T)$ مرز تودههای مولد بی هنجاری را نشان میدهد.

۲-۲- مدل مصنوعی

در راستای بررسی کارایی روشهای مذکور از یک مدل مصنوعی مغناطیسی مطابق شکل ۱. متشکل از پنج دایک عمودی با میزان خودپذیری مغناطیسی یکسان ۵/۰ با ابعاد، عمق و راستاهای مختلف استفاده شد که مشخصات آنها در جدول ۱ آورده شده است. شکل ۲. نتایج حاصل از اعمال روشهای کوچکترین مقدار ویژه، بزرگترین مقدار ویژه، دترمینان و زاویه

تیلت را بر روی داده های مغناطیسی مدل مصنوعی شکل ۱. نشان میدهد که مرز تخمین زده شده با استفاده از روش های ذکر شده با خطوط سبز رنگ و موقعیت افقی توده های مولد بی هنجاری با خطوط قرمز مشخص شده است.

خودپذیری مغناطیسی (SI)	شيب (درجه)	آزیموت (درجه)	عمق (متر)	ابعاد (متر مربع)	شماره دایک
• /۵	٩٠	•	١٠٠	7×1	۱
• /۵	٩٠		۱۸۰	٣٠٠×٣٠٠	۲
• /۵	٩٠	٩٠	۲.,	٣••×۶••	٣
• /۵	٩٠	۴۵	۶.	1 • • × ٣ • •	۴
• / Δ	٩٠	٩٠	17.	7×4	۵

جدول ۱: مشخصات توده های مغناطیسی مدل مصنوعی شکل ۱.

نشریه پژوهشهای ژئوفیزیک کاربردی، دوره ۵، شماره ۱، ۱۳۹۸.

شکل ۲. الف نتایج حاصل از اعمال روش کوچکترین مقدار ویژه برای تعیین مرز تودههای مولد را نشان می دهد. واضح است که روش مذکور هیچ کدام از مرزها را به درستی تشخیص نداده و مرزهای برآوردی کاذب می-باشند. نتایج حاصل از اعمال روش دترمینان در شکل ۱.ب آمده است. در این روش مرز تودههای مولد بی هنجاری با دقت بالایی مشخص شده؛ ولی یکسری لبه کاذب نیز ایجاد شده؛ به طوری که تشخیص لبههای واقعی از بههای کاذب غیر ممکن است. بنابراین روش دترمینان نیز برای تعیین مرز مقدار ویژه را نشان می دهد؛ که با دقت بسیار بالایی مرز تودههای مولد را مقدار ویژه را نشان می دهد؛ که با دقت بسیار بالایی مرز تودههای مولد را با نتایج حاصل از روش زاویه تیلت (شکل ۱.د) مقایسه شد دیده می شود با نتایج حاصل از روش زاویه تیلت (شکل ۱.د) مقایسه شد دیده می شود ناموفق بوده و این دو دایک را به صورت تودههای عمیق تر (دایک ۱ و ۲)



شکل ۲: نتایج اعمال فیلترهای تعیین مرز بر روی داده های مغناطیسی مدل مصنوعی در شکل ۱. الف) 4⁄2، ب) det، ج) ۸٫۱، د) Tilt. خطوط قرمز موقعیت افقی تودهها و خطوط سبز مرز برآوردی با هر یک از روشها را نشان میدهد.

زارعی و حمیدزاده مقدم، تفسیر آنومالی های مغناطیسی منطقه آستمال با استفاده از روش بزرگترین مقدار ویژه. صفحات۱۲۵_۱۳۶.

از طرفی روش بزرگترین مقدار ویژه مرز تودههای مولد بی هنجاری را با دقت بسیار بالایی نسبت به روش زاویه تیلت نمایش داده است. در مرحله بعد مقدار ۵ درصد نوفه تصادفی بر روی دادههای مدل مصنوعی اعمال و سپس تانسورهای گرادیان افقی متناظر محاسبه شد. با توجه به این که با افزایش مرتبه مشتق میزان نوفه در داده ها تقویت میشود. بنابراین در محاسبه تانسورهای گرادیان افقی متناظر، مقدار نوفه به حدی زیاد میشود؛ که عملا نمی توان از آن دادهها در محاسبات بعدی استفاده کرد. لذا برای کاهش اثرات مخرب نوفه در دادهها پس از محاسبه تانسورهای گرادیان افقی T_{xy} , T_{xy} , T_{xy}



داده شدند و سپس از نتایج آنها در محاسبات بعدی استفاده شد. در شکل ۳. نتایج حاصل از اعمال فیلترهای کوچکترین مقدار ویژه، بزرگترین مقدار ویژه، دترمینان و زاویه تیلت بر روی دادههای نوفه دار مدل مصنوعی شکل ۱. نشان داده شده است. مقایسه نتایج حاصل از اعمال روشهای λ_2 ، λ_2 روی دادههای بر روی دادههای نوفه دار، با نتایج حاصل از اعمال این روشها بر روی دادههای بدون نوفه حاکی از مطابقت کامل این نتایج است. لازم به ذکر است که روش زاویه تیلت به حالت مرسوم اعمال شده و از دادههای گسترش به بالا داده شده در محاسبه آن استفاده نشده؛ که نتایج مخرب افزایش نوفه با روش زاویه تیلت در شکل ۳.د کاملا مشهود است.



. Tilt (مکل ۳ نتایج اعمال فیلترهای تعیین مرز بر روی داده های مغناطیسی مدل مصنوعی با ۵٪ نوفه تصادفی در شکل ۱. الف) λ2 ب) det، ج) Tilt. خطوط قرمز موقعیت افقی تودهها و خطوط سبز مرز بر آوردی با هر یک از روشها را نشان میدهد.

۳- آنومالی مغناطیسی منطقه آستمال

محدوده آهن آستمال در شهرستان ورزقان-استان آذربایجان شرقی واقع شده است. این محدوده شامل سه رخنمون مگنتیتی با توپوگرافی بسیار خشن است؛ که در منتهی الیه جنگلهای ارسباران بر روی ستیغ کوه شکل گرفته است.

۳-۱- زمین شناسی منطقه آستمال

منطقه مورد مطالعه قسمتی از زون زمینساختی البرزآذربایجان میباشد؛ که بر روی برگه ۱:۱۰۰۰۰ زمینشناسی سیهرود واقع شده است. فعالیت-های ماگمایی بعد از ائوسن باعث نفوذ تودهای با ترکیب گسترده از گابرو،

دیوریت تا گرانودیوریت در بین سنگهای رسوبی و واحدهای فیلیش گونه کرتاسه با ترکیب ماسه سنگی، شیل و سنگ آهک شده و دگر گونی سنگ-های اولیه را سبب شده است در فاصله حدود ۵۰۰ متر در جنوب و جنوب-غرب توده گرانودیوریتی باتولیت قرهداغ، هاله دگرگونی مجاورتی با ترکیب سنگ شناسی اگزو اسکارن تشکیل شده و زون اندواسکارن در این منطقه دیده نمی شود. براساس نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰ منطقه آستمال (شکل ۴)، محدوده مورد مطالعه عمدتاً شامل سه واحد سنگی کالک سیلیکات هورنفلس و اسکارن، گدازههای آتشفشانی آندزیتی و مرمر است. واحد کالک سیلیکات هورنفلس و اسکارن مهم ترین واحد سنگی منطقه از نظر گسترش و ارزش معدنی است. این واحد میزبان کانی سازی آهن آستمال بوده و

رخنمونی از تودههای مگنتیتی در شرق، شمال و غرب محدوده، در داخل این سنگها قابل مشاهده است. گدازههای آتشفشانی کرتاسه بالایی با ترکیب آندزیتی در نتیجه نفوذ باتولیت قرهداغ متحمل دگرسانی پروپلیتی شده و همراه با سنگهای آندزیتی، گدازههای داسیتی و همچنین واحدهای آذرآواری با ترکیب ریولیتی در شمال شرق و جنوب شرق منطقه مشاهده می گردد. بخشهای کربناته خالص توالی فلیش گونه کرتاسه بالایی، تحت تاثیر باتولیت قره داغ در منطقه مطالعاتی به مرمر تبدیل شده و به صورت منطقه دیده می شود. مجموع واحدهای سنگی ذکر شده با گسلهایی غالباً منطقه دیده می شود. مجموع واحدهای سنگی ذکر شده با گسلهایی غالباً منطقه در روی آنها تشکیل شده است. علاوه بر گسلها، واحدهای سنگی منطقه توسط دایکهایی با ترکیبات آندزیت داسیت، گابرودیوریت و دیاباز قطع شده است. این دایکها عمدتاً روند شمال شرق – جنوبغرب دارند؛

نشریه پژوهشهای ژئوفیزیک کاربردی، دوره ۵، شماره ۱، ۱۳۹۸.

که با روند کلی گسلها تقریباً مشابه هستند. یکسری از این دایکها متحمل متاسوماتیسم و دگرسانی شدهاند و یکسری از آنها عملاً دگرسانی شاخصی را نشان نمیدهند. شواهد صحرایی حاکی از این است که دایکهای دگرسان شده، قبل از نفوذ باتولیت قره داغ به منطقه، در داخل مجموعه آتشفشانی-رسوبی کرتاسه بالایی تزریق شدهاند. این دایکها عمدتا دارای ترکیب حدواسط-اسیدی بوده و مشابه با سنگ میزبان خود، آثار دگرسانی پروپلیتی را به نمایش میگذارند. سری دوم دایکهای دگرسان نشده موجود در این منطقه میباشند؛ که احتمالا مرتبط با نفوذ باتولیت قرهداغ به منطقه بوده و همزمان و یا بعد از آن به منطقه تزریق شدهاند. این دایکها عمدتا دارای ترکیب حد واسط- بازیک میباشند (.2011



شکل ۴. نقشه ۱:۱۰۰۰ زمینشناسی منطقه آستمال

۲-۳- مغناطیسسنجی منطقه آستمال

در راستای انجام مطالعات مغناطیس سنجی با توجه به اطلاعات اولیه و بازدیدهای صحرایی از محدوده مورد مطالعه، شبکه برداشت به صورت پروفیل هایی با فواصل برداشت ۲۰ متر و فاصله نمونه برداری ۱۰ متر در راستای شمالی-جنوبی عمود بر گسترش احتمالی ماده معدنی طراحی شد. ذکر این نکته ضروری است که توپو گرافی خشن محدوده مورد مطالعه امکان پیاده سازی کامل شبکه برداشت را نمی داد. همچنین در بعضی از نقاط به دلیل قرار گیری توده مگنتیتی در ارتفاعی به مراتب بالاتر از دستگاه

اندازه گیری و امکان ایجاد خطا در نتایج، از برداشتهای مغناطیسی چشم-پوشی شد و فقط به برداشتهای زمین شناسی در این مناطق بسنده شد. دادههای برداشت شده پس از آماده سازی و تصحیح اولیه به صورت نقشه-های شدت میدان مغناطیسی و RTP درآمده است. با توجه به شکل ۵ الف سه آنومالی اصلی به ترتیب اهمیت با عنوان آنومالی های A، B و C بر روی نقشه شدت کل میدان مغناطیسی منطقه قابل تشخیص میباشد. محل رخنمون های مگنتیتی A، B و C با توجه به نقشه زمین شناسی منطقه همراه با محل آنومالی های مغناطیسی A، B و C بر روی شکل ۵ الف آورده شده است. آنومالی های A، B و C تا حدودی منطبق بر رخنمون های شده است. آنومالی های A، B و C تا حدودی منطبق بر رخنمون های

با دایک شماره ۱ و دایک دیوریتی (دایک شماره ۲) با مشخصات N30W<70NW در بین آنومالیهای A و C نیز این روش ناموفق بوده و آنها را به صورت یک توده مگنتیتی نشان داده و محل آنها را از آنومالی مغناطیسی منطقه تفکیک نکرده است؛ که ناشی از بزرگتر نشان دادن پهنای آنومالیها در روش سیگنال تحلیلی میباشد. نقشه مربوط به فیلتر زاویه تیلت (شکل ۴. ه) که کنتور صفر آن مرز تودههای مولد بی هنجاری را نشان میدهد، موقعیت افقی توده مگنتیتی را به خوبی مشخص کرده است. این روش در مقایسه با روشهای مشتق قائم مرتبه اول و سیگنال تحلیلی پهنای آنومالیها را بهتر نمایش داده؛ هرچند مرزهای برآوردی پخششدگی نشان میدهند. این روش آنومالی A و C را به خوبی از همدیگر جدا کرده، مرز آنومالی B را بهتر نمایش داده و موقعیت برخی از گسلها و شکستگیهای منطقه را نیز مشخص کرده است. همچنین این روش قسمتی از دایک آندزیتی در وسط آنومالی A را به صورت یک توده مگنتیتی نشان داده؛ که احتمالاً ناشی از یهنای کم دایک شماره ۱، حجم بالای توده مگنتیتی و پخششدگی مرز برآوردی ناشی از اعمال فیلتر زاویه تیلت میباشد. نتایج حاصل از اعمال روش بزرگترین مقدار ویژه به همراه موقعیت افقی تودههای مگنتیتی و سه دایک تاثیرگذار در شکل گیری آنها را در شکل ۴.و نشان داده شده است. مقایسه مرزهای مشخص شده با استفاده از روش بزرگترین مقدار ویژه در محل رخنمون B و دیواره غربی رخنمون A حاکی از نزدیک بودن پهنای مرز برآوردی به مقدار حقیقی آن میباشد. این روش آنومالیهای A و B را به خوبی از همدیگر جدا کرده و همچنین موقعیت قسمتی از دایک آندزیتی (دایک شماره ۱) در وسط آنومالی A و دایک دیوریتی (دایک شماره ۲) در بین آنومالی B و C را به خوبی از توده مگنتیتی تفکیک کرده است. در نزدیکی رخنمون C روش بزرگترین مقدار ویژه دو محل جدا از هم را به عنوان مرز آنومالی مگنتیتی نشان میدهد؛ که یکی از آنها تقریباً منطبق بر رخنمون مگنتیتی بوده و فقط کمی به سمت غرب شیفت نشان میدهد؛ که احتمالا ناشی از گسترش عمقی آن به سمت غرب می باشد. شیب غربی دایک دیوریتی نیز این مطلب را تایید می کند. در مورد محل دوم مشخص شده با روش بزر گترین مقدار ویژه در محل انومالی C نیز بررسیهای بعدی نشان داده است که در این محل در عمق کمتر از نیم متری سطح زمین توده مگنتیتی وجود دارد و با ضخامت کمی از سنگ های هورنفلسی پوشانده شده است. واریزه هایی از مگنتیت نیز در این محل به وضوح قابل مشاهده میباشد. در کل آنومالی احتمالا بر اثر نفوذ سیالات کانی ساز در شکستگی ها و دیواره غربی دایک Cدیوریتی (دایک شماره ۲) به صورت دو توده کوچک جدا از هم شکل گرفته که با توپوگرافی منطقه و شیب غربی توده کاملاً تطابق دارد. نتایج تفسیر نقشههای مغناطیسی منطقه آستمال در شکل ۶. آمده و موقعیت افقی آنومالیها، گسلها و شکستگیهای تشخیص داده شده با روشهای مغناطیسی بر روی آن مشخص شده است.

به طور کامل تحت پوشش برداشتهای مغناطیسی قرار گرفته؛ ولی رخنمون A به خاطر توپوگرافی خاص منطقه و احتمال ایجاد خطا در داده-ها به دلیل قرارگیری توده مگنتیتی در ارتفاعی به مراتب بالاتر از دستگاه اندازه گیری، تحت پوشش کامل برداشتهای مغناطیس سنجی قرار نگرفته و برداشت داده فقط تا دیواره غربی رخنمون A انجام گرفته است. لذا در تفسیرهای مغناطیس سنجی و استفاده از فیلترهای تعیین مرز، صحت-سنجی نتایج فقط بر روی آنومالیهای B و C صورت گرفته و در مورد آنومالی مغناطیسی A پس از تعیین مرز توده مگنتیتی صحتسنجی نتایج تنها در بخش غربی رخنمون A مورد بررسی قرار گرفته است. شکل ۵ ب نتایج حاصل از اعمال فیلترهای تعیین مرز مشتق قائم مرتبه اول و دوم، سیگنال تحلیلی، زاویه تیلت و بزرگترین مقدار ویژه بر روی دادههای مغناطيسي منطقه أستمال را نشان ميدهد. كنتور صفر مشتق قائم ميدان مغناطیسی مرز تودههای مگنتیتی را مشخص می کند. با توجه به شکل ۵ ب. فيلتر مشتق قائم على رغم تعيين موقعيت نسبى تودههاى مگنتيتى پهنای آنومالیها را بسیار بیشتر از مقدار حقیقی آنها نشان داده است؛ به طوری که در شرق آنومالی A این روش پهنای آنومالی را حداقل سه برابر بزرگتر از مقدار حقیقی آن نشان داده است. در محل رخنمون C علاوه بر بزرگتر نشان دادن پهنای آنومالی، مرزهای برآوردی اعوجاج نشان داده است؛ که احتمالاً ناشی از افزایش میزان نوفه در هنگام مشتق گیری و تاثیر بیشتر آن بر روی آنومالیهای ضعیفتر میباشد. همچنین موقعیت تقریبی دایک آندزیتی (دایک شماره ۱) با مشخصات N10W<80W واقع در ستیغ کوه و وسط آنومالی A، از توده مگنتیتی تفکیک نشده است؛ به طوری که قسمتی از دایک که در داخل آنومالی مغناطیسی A قرار دارد، به صورت توده مگنتیتی نشان داده شده است؛ که احتمالاً ناشی از بزرگتر نشان دادن پهنای آنومالی در روش مشتق قائم مرتبه اول و ضخامت کم دایک آندزیتی میباشد. در شکل ۵. ج با افزایش مرتبه مشتق قائم (مشتق قائم مرتبه دوم) پهنای آنومالیها به مقدار حقیقی نزدیکتر شده و موقعیت قسمتی از دایک شماره ۱ در وسط آنومالی را با وضوح بالایی مشخص کرده است. از طرفی افزایش مرتبه مشتق قائم باعث افزایش میزان نوفه در دادهها شده؛ به نحوی که این افزایش میزان نوفه باعث کاهش کارایی این روش به ویژه در محل آنومالی های ضعیفتر B و C شده است و عملاً نمی توان مرز خاصی را برای آنومالی C مشخص کرد. شکل ۵. د نتایج حاصل از اعمال روش سیگنال تحلیلی را نشان میدهد که بیشترین مقدار آن موقعیت تودههای مولد بیهنجاری را نشان میدهد. با توجه به شکل، این روش در کاهش میزان نوفه در دادهها موفق بوده؛ اما همانند روش مشتق قائم مرتبه اول پهنای آنومالی ها را خیلی بیشتر از مقدار حقیقی آن نمایش داده است؛ به طوری که آنومالي A و C را به عنوان يک آنومالي يکپارچه نشان داده؛ که مطالعات بعدى عليرغم تصورات اوليه از منطقه اين موضوع را تائيد نمى كند. در مورد آنومالی B نیز مرز برآوردی بسیار بزرگتر از مقدار حقیقی آن است. در رابطه



شکل ۵. نتایج اعمال فیلترهای تعیین مرز بر روی دادههای مغناطیسی منطقه آستمال الف) شدت کل مغناطیسی، ب) مشتق قائم مرتبه اول ، ج) مشتق قائم مرتبه دوم، د) سیگنال تحلیلی، ه) زاویه تیلت، و) بزرگترین مقدار ویژه.

از طرفی موقعیت افقی رخنمونها و دایکهای تاثیر گذار در شکلگیری آنومالیها، بر روی آن نشان داده شده است. نتایج حاصل حاکی از مطابقت بسیار خوب اطلاعات بدست آمده از روشهای مغناطیسی با دادههای زمین شناسی است.



شکل ۶. موقعیت افقی ساختارها و آنومالیهای مشخص شده با روشهای مغناطیسی

۴- نتیجهگیری

به منظور بررسی کارایی روشهای دترمینان، بزرگترین و کوچکترین مقدار ویژه در تعیین مرز تودههای مغناطیسی، این روشها بر روی دادههای مغناطیسی مدل مصنوعی با و بدون نوفه اعمال شد. نتایج نشان می دهد که روش بزرگترین مقدار ویژه با دقت بالایی مرز تودههای مولد را مشخص می کند؛ ولی روش کوچکترین مقدار ویژه هیچکدام از مرزها را به درستی نشان نداده و فقط لبه کاذب تولید کرده است. روش دترمینان علیرغم تعیین مرز تودهها، لبه کاذب تولید کرده است. بنابراین برای تعیین مرز تودههای مغناطیسی فقط از روش بزرگترین مقدار ویژه می توان استفاده کرد. همچنین این روش به همراه روشهای مشتق مرتبه اول و دوم، اعمال گردید. نتایج حاکی از دقت بالای روش بزرگترین مقدار ویژه در اعمال گردید. نتایج حاکی از دقت بالای روش بزرگترین مقدار ویژه در اعمال گردید. نتایج حاکی از دقت بالای روش بزرگترین مقدار ویژه در اعمال گردید. نتایج حاکی از دقت بالای روش بزرگترین مقدار ویژه در اعمال گردید. نتایج حاکی از دقت بالای روش بزرگترین مقدار ویژه در اعمال گردید. نتایج حاکی از دقت بالای روش بزرگترین مقدار ویژه در اعمال گردید. نتایج حاکی از دقت بالای روش بزرگترین مقدار ویژه دای استمال

منطقه می باشد. به طوری که نفوذ دایکهای شماره ۱ و ۲ در بین سنگ-های میزبان باعث افزایش شکستگیها در محدوده آنومالی مغناطیسی A و گسترش کانیسازی در محدوده بین این دو دایک شده است. همچنین این دایکها به صورت یک سد باعث تمرکز سیالات کانیساز در میان خود شدهاند. با توجه به این که سمت شرقی دایک شماره ۱ به دلایلی که قبلاً ذکر شد، خارج از محدوده عملیات مغناطیس سنجی می باشد؛ لذا در مورد گسترش بخش شرقی آنومالی مغناطیسی A نمی توان با قاطعیت اظهار نظر نمود. آنومالیهای B و C نیز با درجه اهمیت کمتری نسبت به آنومالی A در داخل شکستگیهای منطقه تشکیل شدهاند.

۵- سپاس گزاری

نگارندگان از مساعدت و همکاری شرکت توانگران سهند تبریز، آقایان مهندس نصیری، مهندس امیرپور، دکتر سهرابی، مهندس اصغرزاده و خطیبی به خاطر پشتیبانی و فراهم آوردن امکانات مورد نیاز برای برداشت داده از منطقه مورد مطالعه کمال تشکر و قدردانی را دارند.

- Baghban, S., Hosseinzadeh, M. R., Moayyed, M., Mokhtari, M. A. A., Gregory, D., 2015, Geology, mineral chemistry and formation conditions of calc-silicate minerals of Astamal Fe-LREE distal skarn deposit, Eastern Azarbaijan Province, NW Iran, Ore Geology Reviews, 68, 79-96.
- Cooper, G. and Cowan, D., 2006, Enhancing potential field data using filters based on the local phase, Computers & Geosciences, 32(10), 1585-1591.
- Cordell, L. and Grauch, V., 1982, Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the San Juan Basin, New Mexico, SEG Technical Program Expanded Abstracts, 246-247.
- Evjen, H., 1936, The place of the vertical gradient in gravitational interpretations, Geophysics, 1(1), 127-136.
- Hansen, R. and Deridder, E., 2006, Linear feature analysis for aeromagnetic data, Geophysics, 71(6), L61-L67.
- Jeong, W.K., Whitaker, R., Dobin, M., 2006, Interactive 3D seismic fault detection on the Graphics Hardware, Proceedings of the 2006 International Workshop on Volume Graphics, 111–118.
- Ma, G., 2013, Edge detection of potential field data using improved local phase filter, Exploration Geophysics, 44(1), 36-41.
- Mickus, K. L. and Hinojosa, J. H., 2001, The complete gravity gradient tensor derived from the vertical

نشریه پژوهشهای ژئوفیزیک کاربردی، دوره ۵، شماره ۱، ۱۳۹۸.

- Sertcelik, I. and Kafadar, O. 2012, Application of edge detection to potential field data using eigenvalue analysis of structure tensor, Journal of Applied Geophysics, 84, 86-94.
- Weickert, J., 1999, Coherence-enhancing diffusion of color images, Image and Vision Computing, 17(3), 201-212.
- Wijns, C., Perez, C., Kowalczyk, P., 2005, Theta map: Edge detection in magnetic data, Geophysics, 70(4), L39-L43.
- Zhou, S., Geng, M., 2014, Comment on "Structural interpretation of the Erzurum Basin, eastern Turkey, using curvature gravity gradient tensor and gravity inversion of basement relief" by B. Oruç et al. (2013), Journal of Applied Geophysics, 111, 393-394.

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.
- Nabighian, M. N., 1984, Toward a three-dimensional automatic interpretation of potential field data via generalized Hilbert transforms: Fundamental relations, Geophysics, 49(6), 780-786.
- Oruç, B., Sertçelik, I., Kafadar, Ö., Selim, 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.



J OURNAL OF R ESEARCH ON A PPLIED G EOPHYSICS

(JRAG)

2019, VOL 5, No 1

(DOI): 10.22044/jrag.2018.6456.1170



Interpretation of Magnetic Anomalies in Astmal Area using the Largest Eigenvalue

Vahid Zareie¹ and Rasoul Hamidzadeh Moghadam^{1*}

1- Faculty of Mining Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran

Received: 20 November 2017; Accepted: 16 May 2018

Corresponding author: hamidzadeh@sut.ac.ir

Keywords	Extended Abstract
Geomagnetic	Summary
Edge detection of magnetic anomaly	Edge detection of causative bodies is crucial in interpretation of potential field
The largest eigenvalue method	data. Among the various edge detection methods, eigenvalue methods are
	majorly used to discriminate the gravity anomalies. The present investigation
	is, however, about to employ the eigenvalue methods to detect the magnetic
	anomalies. To this end, the largest eigenvalue method was applied to the total
	intensity of the magnetic data in Astmal area besides the vertical derivative,

tilt angle and analytical signal methods in order to interpret the magnetic anomalies. In aids of the mentioned methods, the geomagnetic target map was prepared and integrated with the geological information. Results indicated that the mineralizing fluids infiltrate the faults and fractures of the area. Also, dykes might play important roles in formation of the Astmal magnetite deposit.

Introduction

The edge detection of geologic contacts are widely used as a significant tool in geophysical explorations. Different techniques in this area often utilize high-pass filters based on horizontal or vertical derivatives of the potential field data. Typically, various filters such as vertical derivative, total horizontal derivative, analytic signal, tilt angle, theta map, STM, TDX, ILP, etc recognize the edges of the potential field data; nevertheless, they cannot delineate the edges of the sources clearly. Having developed the measuring techniques for potential field gradient tensor data in recent years, some more accurate methods have been presented to detect the edges of causative sources which are based on the curvature and eigenvalues of the potential field gradient tensor matrix. Oruç et al. (2013) and Zhou et al. (2013) made use of eigenvalues of the curvature gravity gradient tensor for the edge detection of gravity anomalies. This study investigated the outcomes of applying the largest eigenvalue, smallest eigenvalue and determinant methods on synthetic magnetic anomalies. The largest eigenvalue method has finally been chosen for interpretation of magnetic anomalies of Astmal area, Eastern Azerbaijan, Iran.

Methodology and Approaches

The structural tensor matrix represents partial derivatives of the potential fields in x, y directions. The eigenvalues of this matrix can be applied to detect the edges of causative bodies of an anomaly. Its zero contours specify the horizontal locations of the edges of bodies. In order to delineate the edges of the sources, Oruç et al. (2013) used the largest eigenvalue for the positive contrast density of sources and smallest eigenvalue for situations with the negative contrast density. In this study, results of applying these methods on synthetic magnetic anomaly data along with noise and without noise, were investigated. Then, the largest eigenvalue method was used to interpret the real magnetic data extracted from Astmal area to contribute in providing its structural map. Finally, the results of the magnetic methods with geological data were integrated.

Results and Conclusions

The results of applying the eigenvalue and tilt methods on synthetic magnetic data showed that the largest eigenvalue method of the total intensity data can display the edge of the bodies more accurately. Besides, the largest eigenvalue method has the highest performance in separation of deeper bodies. Therefore, locations of faults, dykes and magnetic bodies of Astmal area have been indicated by vertical derivative, tilt angle, analytical signal and eigenvalue methods. The data of magnetometry and geology have been integrated to disclose that the fluid infiltration through the faults and fractures of this area causes magnetic mineralization.