

برآورد عمق بیهنجاری‌های مغناطیسی زمینی با استفاده از روش واهمامیخت اویلر

استاندارد در منطقه رشم، استان سمنان

*۲ سید سجاد حزائی، حوقنانه^۱ و بهروز اسکویی

¹ دانشجوی کلاشنیک، ارشد تئوفیل بک، گروه فیزیک؛ موسسه تئوفیل بک دانشگاه تهران، این از

استادیا، گ و ه فین بک؛ میم، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

حکیمہ

در پردازش و تفسیر داده‌های مغناطیسی زمینی، عمق بی‌亨جارتی مدفون، از چندین روش، قابل محاسبه است. در این مقاله، برآورد عمق بی‌亨جارتی‌های مغناطیسی ناشی از پیمایش‌های مغناطیسی در منطقه رشم استان سمنان، با استفاده از روش اویلر مورد بررسی قرار می‌گیرد. بررسی صورت گرفته در این منطقه شامل دو بی‌亨جارتی کمانی شکل بزرگ در شمال در جنوب منطقه، به ترتیب عمق ۱۳۵ متر، ۱۱۵ متر، ۹۰ متر، ۷۰ متر و ۴۰ متر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: مغناطیس، بـ هنجاری، روش، اوبل، رهنای، بنجـه، اندیس، ساختاری، (شـم

Depth Estimation of Ground Magnetic Anomalies using Standard Euler Deconvolutionin the Reshm area, Semnan

Jazayeri Jouneghani, S. S.¹ and Oskooi, B.²

¹ M. Sc. Student of Geophysics, Earth Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran
² Assistant Professor, Earth Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

(Received: 11 August 2009, Accepted: 20 Oct 2010)

Abstract

Depth estimation of the top of the bedrock in the sedimentary basins is the main goal in geomagnetic explorations. The depth estimation of this kind of anomalies can be done using different methods, in the cases where the bedrock is magnetized. In this article, we use the standard Euler deconvolution method and its results to interpret the magnetic data from the Reshm region in Semnan province of Iran. The estimated depths of the top of major anomalies in the area are resembled as 100 m and 135 m.

In the potential field explorations, both of the depth estimation and the horizontal position detection of the source of anomalies and as a result, the imagination of the source of anomaly is the main purpose of exploration. Some methods can lead us to these purposes such as Euler deconvolution, Peters, Werner deconvolution, Analytical Signal, AN-EUL methods etc.

Some methods such as the Analytical Signal can just show the horizontal positions of the anomalies. And some such as the Peters method can show just the depth of anomalies. The standard Euler deconvolution method can provide the estimated depths of anomalies and the horizontal region covering the source of the anomalies.

In this paper we used Geosoft Oasis Montaj 6.4.2 software and also a Matlab code written by Durrheim and Cooper.

The standard Euler method is based on the Euler equation, and using this method in

the depth estimation of magnetic anomalies inserts the geology of the region into the calculations. A drawback of the Euler deconvolution is the scattering of the solutions estimated at different data window positions.

We derive the analytical estimators for the horizontal and vertical source positions in 3D Euler deconvolution as a function of the x-, y-, and z-derivatives of the magnetic anomaly within a data window. From these expressions we show that, in the case of noise-corrupted data, the x-, y-, and z-coordinate estimates computed at the anomaly borders are biased toward the respective horizontal coordinate of the data window center regardless of the true or presumed structural indices and regardless of the magnetization inclination and declination.

On the other hand, in the central part of the anomaly, the x- and y-coordinate estimates are very close to the respective source horizontal coordinates regardless of the true or presumed structural indices and regardless of the magnetization inclination and declination. This contrasting behavior of the horizontal coordinate estimates may be used to automatically delineate the region associated with the best solutions. Applying the Euler deconvolution operator inside this region would decrease the dispersion of all position estimates, improving source location precision.

Key words: Anomaly, geomagnetic method, Euler, Structural index, Window Size, Reshm area.

۱ مقدمه

برای بهبود دقت روش‌های برآورد عمق صورت گرفته است، که شروع آنها در نشریات ژئوفیزیکی را پیترز (۱۹۴۹) اعلام کرده است. روش‌های موفق قدیمی بر پایه واهمامیخت تدوین شده بودند. روش ساخت که رابطه ساده شده‌ای برای تعیین عمق یک دایک دو بعدی نازک، به شکل خطی نسبت به پارامترهای دایک می‌توان به دست آورد. هارتمن و همکاران (۱۹۷۱) روش ورنر را برای تحلیل ناپیوستگی‌های مغناطیسی با استفاده از مشتقات قائم و افقی شدت کل میدان مغناطیسی، بسط دادند. تامپسون (۱۹۸۲) روشی را بر مبنای معادله همگن اویلر بنا نهاد که رید و همکاران (۱۹۹۰)، باریوسا و همکاران (۲۰۰۰)، هانسن و سوکیو (۲۰۰۲)، فیتزجرالد و همکاران (۲۰۰۴) و کوپر (۲۰۰۸) آن را تکمیل کردند. در این مقاله نتایج اعمال آن روش روی داده‌های واقعی عرضه می‌شود. پردازش داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار montaj GeoSoft oasis و کد نوشته شده مطلب (Matlab) را Durrheim و کوپر (Cooper) مورد پردازش قرار دادند.

در اکتشافات ژئوفیزیکی به روش مغناطیس سنگی دو کمیت ممکن است اندازه‌گیری شود: شدت میدان مغناطیسی کل و یا گرادیان مغناطیسی (که تغییرات میدان مغناطیسی بین دو نقطه بالای سطح زمین را نشان می‌دهد). مقادیر گرادیان مغناطیسی (مؤلفه قائم شدت میدان) بعد از اندازه‌گیری نیاز به پردازش خاصی ندارند، زیرا در این نوع اندازه‌گیری، میدان اصلی زمین و همین طور تأثیر تغییرات میدان مغناطیسی به صورت خوبه‌خود حذف می‌شوند. اما برای تعیین میدان بی‌هنجاری مدفون زیر سطح زمین از روی داده‌های شدت میدان کل، باید تصحیحاتی از قبیل تصحیح روزانه، عرض جغرافیایی، توپوگرافی و ارتفاع صورت گیرد. با توجه به اینکه میدان مغناطیسی دارای دو قطب و نیز راستا است، لذا تفسیر نقشه‌های مربوط به آن پیچیده‌تر از سایر روش‌های ژئوفیزیکی است. پس از تصحیحات، اعمال عملیات پردازشی گوناگونی از قبیل ادامه فراسو، ادامه فروسو، مشتقات قائم و افقی و سیگنال تحلیلی در اولویت است. به دلیل اهمیت کاربرد داده‌های مغناطیسی، تلاش‌های زیادی

$$\Delta T_i = T(x_i, y_i, z_i) - B \quad (4)$$

از این رو رابطه (۳) به رابطه زیر تبدیل می‌شود:

$$(x_i - x_0) \frac{\partial \Delta T_i}{\partial x} + (y_i - y_0) \frac{\partial \Delta T_i}{\partial y} + (z_i - z_0) \frac{\partial \Delta T_i}{\partial z} = -N \Delta T_i \quad (5)$$

برای $i=1, 2, 3, \dots, m$ به شکل ماتریسی این m رابطه به صورت زیر نوشته می‌شوند:

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial \Delta T_1}{\partial x} & \frac{\partial \Delta T_1}{\partial y} & \frac{\partial \Delta T_1}{\partial z} \\ \frac{\partial \Delta T_2}{\partial x} & \frac{\partial \Delta T_2}{\partial y} & \frac{\partial \Delta T_2}{\partial z} \\ \vdots & \vdots & \vdots \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_i - x_0 \\ y_i - y_0 \\ z_i - z_0 \end{pmatrix} = -N \begin{pmatrix} \Delta T_1 \\ \Delta T_2 \\ \vdots \end{pmatrix} \quad (6)$$

رابطه کلی و اهمامیخت اویلر برای میدان T اندازه‌گیری شده در نقطه (x_i, y_i, z_i) به شکل زیر نوشته می‌شود:

$$\Delta T_i = (x_i - x_0) \frac{\partial T_i}{\partial x} + (y_i - y_0) \frac{\partial T_i}{\partial y} + (z_i - z_0) \frac{\partial T_i}{\partial z} = -N(T_i - B) \quad (7)$$

و (x_i, y_i, z_i) پارامترهای معلوم هستند (کوپر، ۲۰۰۸). پس در روابط بالا با معلوم بودن N ، پارامترهای (x_0, y_0, z_0) که موقعیت چشم مولید کننده بیهنجاری هستند نیز با استفاده از روش کمینه مربعات به دست خواهد آمد. چند مورد که در روش اویلر برای رسیدن به نتایج اهمیت فراوانی دارند عبارت‌اند از: انتخاب درست N که در حکم اندیس ساختاری تعبیر می‌شود، اندازه پنجه اویلر و عدم قطعیت عمق (سیلووا و باربوسا، ۲۰۰۳).

۳ اندیس ساختاری (SI)

درجه همگنی N به صورت اندیس ساختاری SI بیان می‌شود. به عبارتی $SI = N$ ، نرخ به صفر رسیدن شدت میدان مغناطیسی یا گرانشی نسبت به فاصله از چشم و معیاری برای تبعیض قائل شدن بین شکل‌های متفاوت چشم می‌شود. برای مناطقی که ساختار زمین‌شناسی قدیمی دارند،

۲ روش اویلر

تابع V در دستگاه دکارتی به صورت $V(x, y, z)$ ، همگن از درجه N نامیده می‌شود، اگر:

$$x \frac{\partial V}{\partial x} + y \frac{\partial V}{\partial y} + z \frac{\partial V}{\partial z} = -NV \quad (1)$$

با یک بار مشتق گرفتن از رابطه (۱) نسبت به مؤلفه z و مرتب کردن جملات رابطه زیر به دست می‌آید:

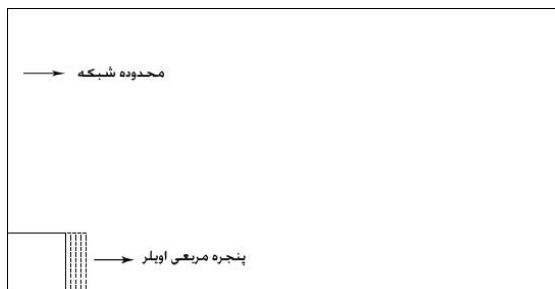
$$x \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial V}{\partial z} \right) + y \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{\partial V}{\partial z} \right) + z \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial V}{\partial z} \right) = -(N+1)V \quad (2)$$

که نشان می‌دهد که مؤلفه‌های مشتق تابع همگن V از درجه N خواهد بود.

هنگامی که $V = Gm/r$ باشد و پتانسیل گرانشی ناشی از جرم نقطه ای m را بیان کند، به ازای $N=1$ معادله اویلر را برآورده می‌کند. شتاب گرانشی و یا پتانسیل مغناطیسی یک دوقطبی، شامل مشتق مرتبه اول فضایی تابع $V = 1/r$ می‌شوند، پس معادله اویلر را با $N=2$ برآورده می‌کنند. به طور مشابه میدان پتانسیلی شکل‌های هندسی دیگر مشتقات مراتب بالاتری از $V = 1/r$ را شامل می‌شود؛ پس آنها به ازای مقادیر بزرگتری از N در رابطه اویلر صدق خواهند کرد (رید، ۱۹۹۰). چشم می‌داند ساده‌ای در موقعیت (x_0, y_0, z_0) را در نظر بگیرید. در نقطه‌ای به موقعیت (x_i, y_i, z_i) اندازه‌گیری شدت میدان مغناطیسی کل یا میدان گرانشی منجر به تابع $T(x_i, y_i, z_i)$ می‌شود که در آن $i=1, 2, 3, \dots, m$ ، صفحه مشاهده و برداشت داده‌ها صفحه $Z=0$ است و جهت مثبت محور Z را به پایین انتخاب می‌شود. میدان T باید در معادله اویلر با درجه N صدق کند. پس:

$$(x_i - x_0) \frac{\partial T(x_i, y_i, z_i)}{\partial x} + (y_i - y_0) \frac{\partial T(x_i, y_i, z_i)}{\partial y} + (z_i - z_0) \frac{\partial T(x_i, y_i, z_i)}{\partial z} = -NT(x_i, y_i, z_i) \quad (3)$$

اگر میدان ثابت زمینه B باشد، میدان ناشی از بیهنجاری موجود زیر زمین ΔT_i خواهد بود، که:



شکل ۱. پنجره مربعی اویلر (در هر مرحله یک سلول جایه‌جا می‌شود).

۵ بررسی نتایج انتخاب نادرست N بر خطای ایجاد شده در نتایج

روش اویلر از سایر روش‌ها موقعیت افقی چشم‌ها را دقیق‌تر تعیین می‌کند، چون لبه‌های بی‌亨جاری‌ها را مشخص می‌کند. پس خط را می‌توان به صورت متمن‌کر در تعیین عمق در نظر گرفت. می‌توان نوشت:

$$(z - z_0) = -N \frac{T}{\partial T / \partial z} \quad (8)$$

با فرض دقیق بودن T و $\partial T / \partial z$ (بدون خطای)، هر خطایی در N مستقیماً بر فاصله قائم چشم‌های تا نقطه مشاهده (عمق بی‌亨جاری) اثر خواهد گذاشت. به دلیل ثابت بودن موقعیت صفحه مشاهده، افزایش N منجر به افزایش عمق داده شده برای چشم‌های خواهد شد و برعکس.

خطای کسری در N هم باعث اعمال خطای کسری یکدستی در اعداد داده شده برای عمق‌ها می‌شود. اگر

ΔN خطای مطلق و $\frac{N \pm \Delta N}{N}$ کسر (درصد) افزایش یا کاهش N باشد، می‌توان نوشت:

$$(z - z_0) \left(\frac{N \pm \Delta N}{N} \right) = -N \left(\frac{N \pm \Delta N}{N} \right) \frac{T}{\partial T / \partial z} \quad (9)$$

درصد خطای فیزیکی برای چشم‌های با عمق کم، کم است و برعکس. در انتخاب N باید دقت فراوان داشت؛ برای مثال، یک انتخاب اشتباه برای N متعلق به یک چشم‌های سه‌بعدی (وقتی که $N=2$ صحیح بوده، $N=3$ انتخاب شود) منجر به $\frac{N \pm \Delta N}{N} = 1.5$ (می‌شود)، یعنی

این عدد بین ۰ و ۱ و برای مناطقی که شاهد پدیده‌های زمین‌شناسی جوانتری هستند، بین ۰ و ۳ خواهد بود (راوات، ۱۹۹۶). در جدول شماره ۱ مقادیر N برای شکل‌های متفاوت زمین‌شناسی آورده شده است:

جدول ۱. مقادیر N (بدون واحد) برای شکل‌های متفاوت زمین‌شناسی (تامپسون، ۱۹۸۲).

N	شکل ساختار
۰	افقی با گستردگی بی‌نهایت Contact
۰/۵-۰	Contact قائم
۰/۵	پله (فرافتدگی) ضخیم
۰/۱	دایک - سیل نامنظم
۲/۲۵-۲	استوانه قائم
۲/۵	استوانه با امتداد نامشخص
۲/۷۵-۲	استوانه افقی
۳	دو قطبی نقطه‌ای - کره

۴ اندازه پنجره (window size)

برای إعمال روش اویلر روی داده‌ها، به دلیل حجم زیاد داده‌های برداشت شده در روش‌های معنطیسی یا گرانشی و نبود دستیابی به دقت و کیفیت لازم در پردازش یکباره و کلی داده‌ها در کل شبکه، پنجره مربعی اویلر (شکل ۱) تعریف می‌شود که روی شبکه جایه‌جا شده و عملیات پردازشی درون پنجره صورت می‌گیرد می‌شود. این پنجره باید دو مشخصه داشته باشد:

- باید به اندازه کافی بزرگ باشد تا تغییرات اساسی میدان را در بر بگیرد.

- باید به اندازه کافی کوچک باشد تا اثر چندچشمگی در پنجره رخ ندهد. یعنی پنجره در یک موقعیت فقط شامل یک چشم‌های باشد.

یک پنجره 10×10 رابطه با ۴ پارامتر نامعلوم (x_0, y_0, z_0, B) و عدم قطعیت‌هایشان (انحراف معیار) برای هر انديس ساختاری معلوم فراهم می‌شود (باربوسا و همکاران، ۱۹۹۹).

۷ پردازش اولیه داده‌ها

در ابتدا تصحیح روزانه که مهم‌ترین تصحیح روی داده‌ها قبل از پردازش است، صورت گرفت. منطقه مورد بررسی در دشتی وسیع و بدون توپوگرافی شدید قرار دارد که نبود نیاز به تصحیح توپوگرافی را توجیه می‌کند. شکل ۳ نقشه شدت میدان کل مغناطیسی در منطقه برداشت را نشان می‌دهد. تصحیح مغناطیس بازماند اولین و مهم‌ترین تصحیح در پردازش داده‌ها است که اثر میدان مغناطیسی منطقه‌ای زمین را حذف می‌کند و میدان به جامانده، فقط میدان ناشی از بیهنجاری‌های موجود خواهد بود. شکل ۴ نقشه شدت میدان باقی‌مانده مغناطیسی در شبکه را نشان می‌دهد.

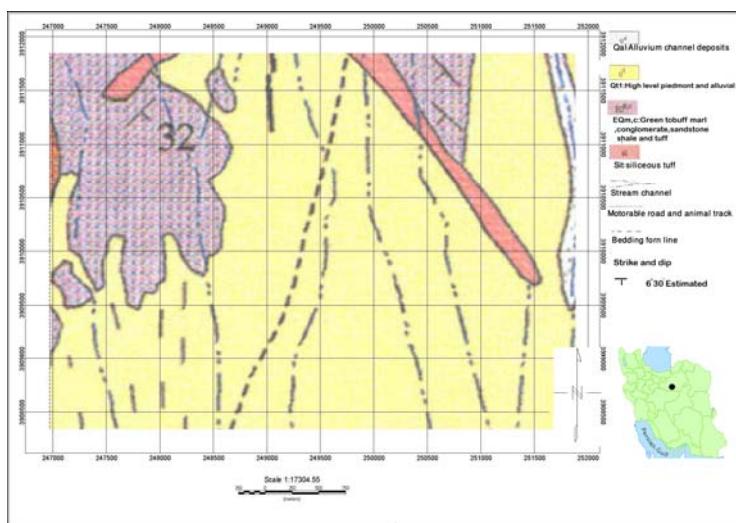
۸ اعمال فرایند واهمامیخت اویلر

پس از آماده سازی شبکه، نقشه‌های منتهقات میدان کل در سه جهت x, y, z که تهیه کردن آنها لازمه اجرای فرایند واهمامیخت اویلر است، مطابق شکل ۵ تهیه شدند، که شکل الف، مشتق در جهت x (شمال-جنوب جغرافیایی)؛ شکل ب، مشتق در جهت y (شرق-غرب جغرافیایی) و شکل ج، مشتق در جهت z عمود بر صفحه (بالا-پایین) را نشان می‌دهد.

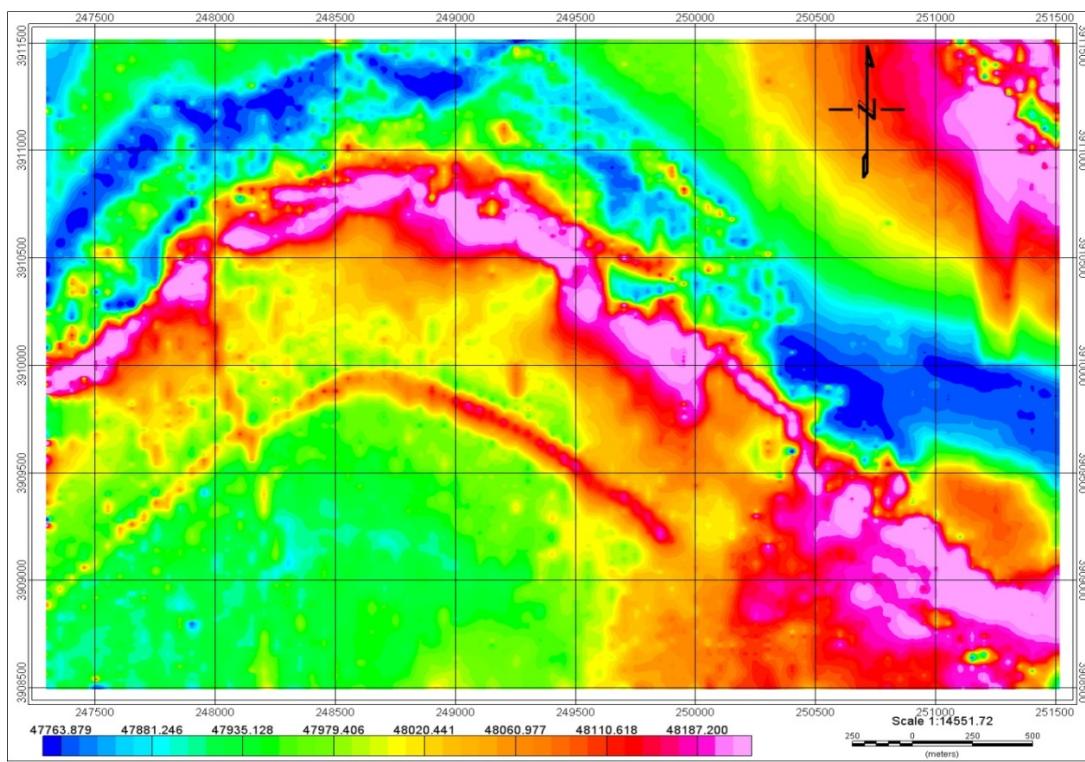
برای یک ساختار زمین‌شناسی که عمق واقعی آن ۱ km باشد، این عمق ۰.۵ km بیشتر و برای یک برداشت هوابرد که فاصله واقعی چشمکه تا نقطه مشاهده ۲۰ km باشد، این عدد ۱۰ km بیشتر برآورد خواهد شد.

۶ معرفی منطقه و نحوه برداشت

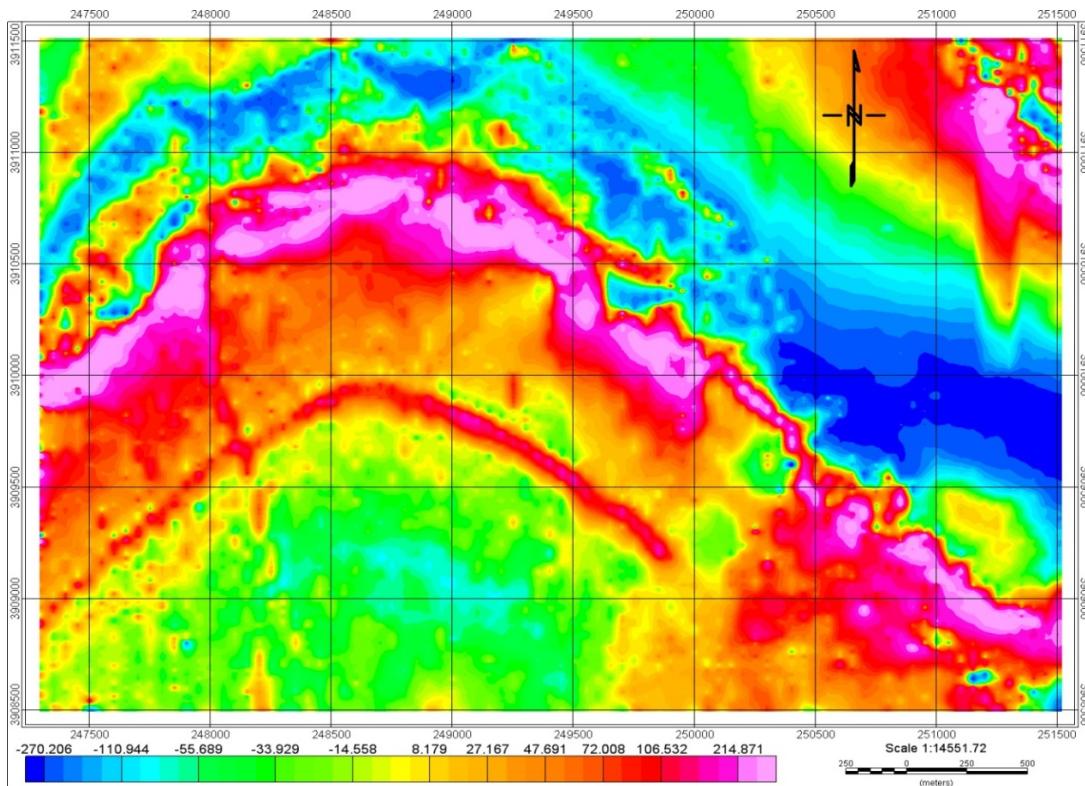
منطقه رشم در استان سمنان، در جنوب دامغان و جنوب شرقی شهر سمنان قرار دارد. این منطقه از نظر معدنی پتانسیل زیادی اعم از فلزی و غیرفلزی دارد. برداشت مغناطیس‌سنجدی به روش هوابرد در استان سمنان، ناحیه‌ای کمانی شکل در نقشه‌های شدت میدان مغناطیسی کل مشخص می‌کند. برای به‌دست آوردن جزئیات بیشتر، برداشت مغناطیس‌سنجدی زمینی طراحی و اجرا شد. شبکه برداشت، مستطیلی، فاصله نیم رخ‌ها (با راستای شمالی-جنوبی) ۵۰ متر و فاصله نقاط برداشت روی نیم رخ‌ها ۲۰ متر است. شبکه برداشت ابعاد $3\text{km} \times 4.2\text{km}$ دارد. شکل ۲ موقعیت منطقه برداشت روی نقشه ایران و نقشه زمین‌شناسی منطقه برداشت را نشان می‌دهد. برداشت با scintrex MP3 ساخت شرکت کانادا صورت گرفت که داده‌های میدان مغناطیسی کلی را برای ما فراهم می‌کند.



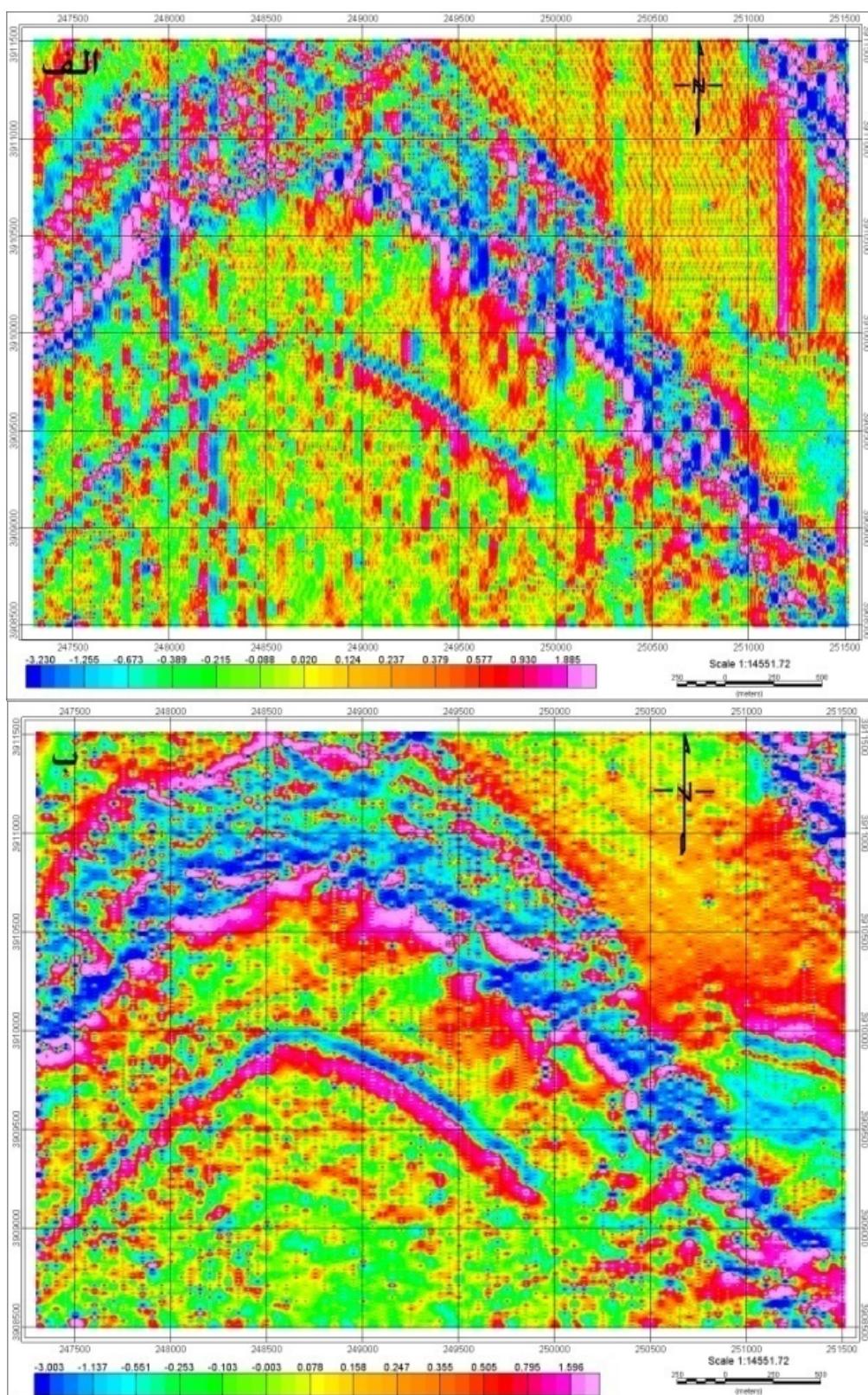
شکل ۲. موقعیت منطقه روی نقشه ایران و نقشه زمین‌شناسی منطقه رشم.



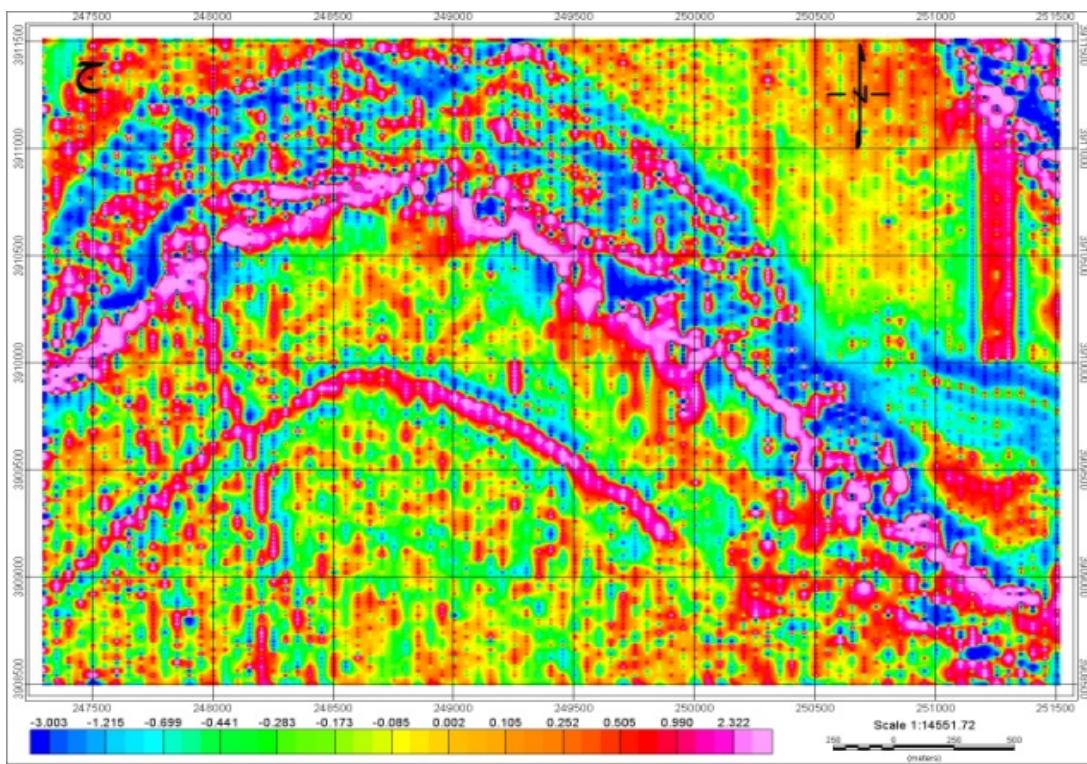
شکل ۳. نقشه شدت میدان کل در منطقه، دو بی‌هنگاری کمانی بزرگ در منطقه به خوبی دیده می‌شوند که پاسخ مغناطیسی آنها عمیق بودنشان را تأیید می‌کند.



شکل ۴. نقشه شدت میدان باقی‌مانده (آخر میدان مغناطیسی منطقه‌ای از روی داده‌ها کم شده است و میدان به جا مانده، فقط میدان ناشی از بی‌هنگاری است. دو بی‌هنگاری کمانی به خوبی دیده می‌شوند.



شکل ۵. مشتقات شدت میدان کل مغناطیسی الف: درجهت X ب: درجهت ۷ و ج: درجهت Z (گستردگی و کشیدگی بیهنجاری‌ها در راستاهای مختلف به خوبی دیده می‌شود. با مقایسه گسترش قائم بیهنجاری‌ها که ناشی از دایک بودن منشأ است، کاملاً دیده می‌شود).



ادامه شکل ۵.

متفاوت 100×100 تا 200×200 برای اندیس‌های ساختاری $1/4$ ، $1/5$ و $1/6$ داده شده است. پس از به دست آوردن این حل‌ها باید حل‌های کم‌دقیق را از مجموعه جواب‌ها حذف کرد. جدول (۲) با در نظر گرفتن حالت ایدئال گرید به دست آمده است یعنی اندازه سلول گرید به اندازه متعارف یک‌چهارم تا یک‌ششم فاصله بین خطوط برداشت یعنی ۱۰ متر در نظر گرفته شده است. در اعمال واهمامیخت اویلر هر چه اندازه بی‌هنجری‌های موجود در شبکه بزرگ‌تر باشد، بهتر است برای رسیدن به نتایج قابل قبول‌تر، از نظر موقعیت نقاط روی شکل، متمرکزتر و در برگیرنده روند بی‌هنجری‌ها، اندازه پنجره بزرگ‌تر در نظر گرفته شود، اگر با یک اندازه سلول در نظر گرفته شده، نقاط موقعیت خوبی روی نقشه نداشته باشند باید اندازه پنجره را بیشتر در نظر بگیریم. در صورتی که باز هم به نتیجه مورد نظر نرسیم، باید از راه‌های گوناگون اندازه موثر پنجره، یعنی اندازه سلول گرید را زیاد کنیم.

۹ بحث

برای اعمال فرایند اویلر نیاز به انتخاب اندیس ساختاری و اندازه پنجره اویلر است. اندیس ساختاری که برای شکل بی‌هنجری عمده موجود در منطقه برآورده شود، عددی بین $1/4$ و $1/6$ است، چون شکل بی‌هنجری بین دایک خمیده و استوانه خمیده است. پنجره‌های متفاوتی با اندازه‌های 30×30 ، 70×70 ، 100×100 ، 130×130 ، 160×160 ، 200×200 ، 260×260 و 400×400 برای حل عمومی روش اویلر انتخاب شدند. خطای برآورده عمق (انحراف معیار) در پردازش به روش واهمامیخت اویلر ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد انتخاب شد. در پردازش دیده می‌شود که انتخاب مقادیر بزرگ‌تر برای اندیس ساختاری شمار نقاط حل (solution points) را کمتر می‌سازد و هر چه اندازه پنجره اویلر بزرگ‌تر انتخاب شود، شمار حل‌های بیشتری تولید می‌شود. در جدول (۲) شمار حل‌های به دست آمده از روش اویلر، برای پنجره‌های

متر و Depth مقادیری بین ۱۳۱۷- و ۲۰۱۰ متر را شامل می‌شوند، که تعداد زیادی از این حل‌ها از منظور ما به دور هستند و برای حذف‌شان باید فرایند windowing روی آنها اعمال شود یعنی در هر مرحله تعدادی از حل‌هایی که دقت کمتری دارند از جدول نقاط حل حذف می‌شوند. شرایطی که برای محدود کردن نقاط حل در نظر گرفته شد عبارت‌اند از: Depth مقادیری بین ۰ و ۱۵۰ متر؛ x -offset و y -offset مقادیری بین ۷۵- ۷۵ تا ۷۵ متر و آمده قبل و بعد از windowing با شرایط ذکر شده در قسمت فوق برای اندیس ساختاری ۱/۴ را نشان می‌دهد.

جدول ۳. شمار نقاط حل در فهرست حل‌های متفاوت پس از windowing

اندازه پنجره	شمار حل‌ها قبل از windowing	شمار حل‌ها بعد از windowing
۱۰۰×۱۰۰	۵۱۸۴۲	۱۷۱۹۴
۲۰۰×۲۰۰	۶۷۴۲۱	۱۵۲۶۰
۲۶۰×۲۶۰	۹۱۸۲	۱۸۲۴
۴۰۰×۴۰۰	۲۲۷۹۵	۴۶۸۹

با به نقشه در آوردن نقاط حل روی نقشه شدت میدان کل می‌توان میزان کیفیت داده‌های به دست آمده را بررسی کرد. بهترین مجموعه نقاط حل، مجموعه‌ای است که در مناطقی که داده نویه‌ای، ولی بدون بیهنجاری داشته باشیم، نقطه حلی از واهمامیخت اویلر حاصل نشود. پس از به نقشه در آوردن نقاط باقیمانده پس از اعمال فرایند windowing بهترین مجموعه نقاط حل مربوط به روش اویلر با اندیس ساختاری ۱/۴ و اندازه پنجره ۴۰۰×۴۰۰ نیز خطای تعیین عمق ۵ درصد تعیین شد، که در شکل (۶) نقاط به جا مانده از شرایط ذکر شده، روی نقشه شدت میدان کل تصویر شده‌اند. از این شکل چنان بر می‌آید که بیهنجاری خمیده بالایی عمقی حدوداً ۱۳۵ و بیهنجاری پایینی عمقی حدوداً ۱۰۰ متری دارد. پخش شدن موقعیت

جدول ۲. شمار حل‌های به دست آمده پس از اعمال فرایند اویلر.

اندازه پنجره	اندیس ساختاری SI	شمار حل‌ها
۱۰۰×۱۰۰	۱/۴	۳۲۵۸۸
	۱/۵	۳۲۰۸۵
	۱/۶	۳۱۶۷۵
۱۳۰×۱۳۰	۱/۴	۵۵۵۵۴
	۱/۵	۵۴۹۳۹
	۱/۶	۵۴۳۷۱
۱۶۰×۱۶۰	۱/۴	۷۶۹۸۵
	۱/۵	۷۶۴۸۸
	۱/۶	۷۵۹۷۳
۲۰۰×۲۰۰	۱/۴	۹۹۸۵۳
	۱/۵	۹۹۴۴۸
	۱/۶	۹۹۲۵۱

اعمال شرایط گوناگون برای فرایند اویلر در این منطقه نشان داد که، بهترین جواب‌ها برای اندیس ساختاری ۱/۴ به دست می‌آیند. در اعمال فرایند اویلر، فهرست حل‌های به دست آمده شامل چند پارامتر از جمله dxy , dz , y -offset, x -offset, Depth, x_{eul} , y_{eul} , x , y هستند. x, y مختصات مرکز پنجره؛ x_{eul}, y_{eul} مختصات نقاط حل به دست آمده از روش نیمه‌خودکار اویلر؛ Depth عمق؛ dz و dxy درصد عدم قطعیت‌های عمقی و سطحی حل‌های گوناگون‌اند. x -offset و y -offset به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$x\text{-offset} = x_{eul} - x \quad (8)$$

$$y\text{-offset} = y_{eul} - y \quad (9)$$

که فاصله نقاط حل به دست آمده را از مرکز پنجره مشخص می‌کند. هرچه این رقم‌ها کمتر باشند، دقت تعیین موقعیت سطحی بیهنجاری‌ها بالاتر خواهد بود و اگر این اعداد بیشتر از نصف اندازه پنجره اویلر باشند یعنی نقطه حل خارج از پنجره اویلر قرار گرفته است. پس از مراجعت به فهرست حل‌های گوناگون برای اندیس‌های ساختاری متفاوت نتایج زیر حاصل می‌شود: dxy مقادیری بین ۰ تا ۳۹۳۴٪؛ y -offset و x -offset مقادیری بین ۵۴۹۰ تا ۳۹۳۶٪؛

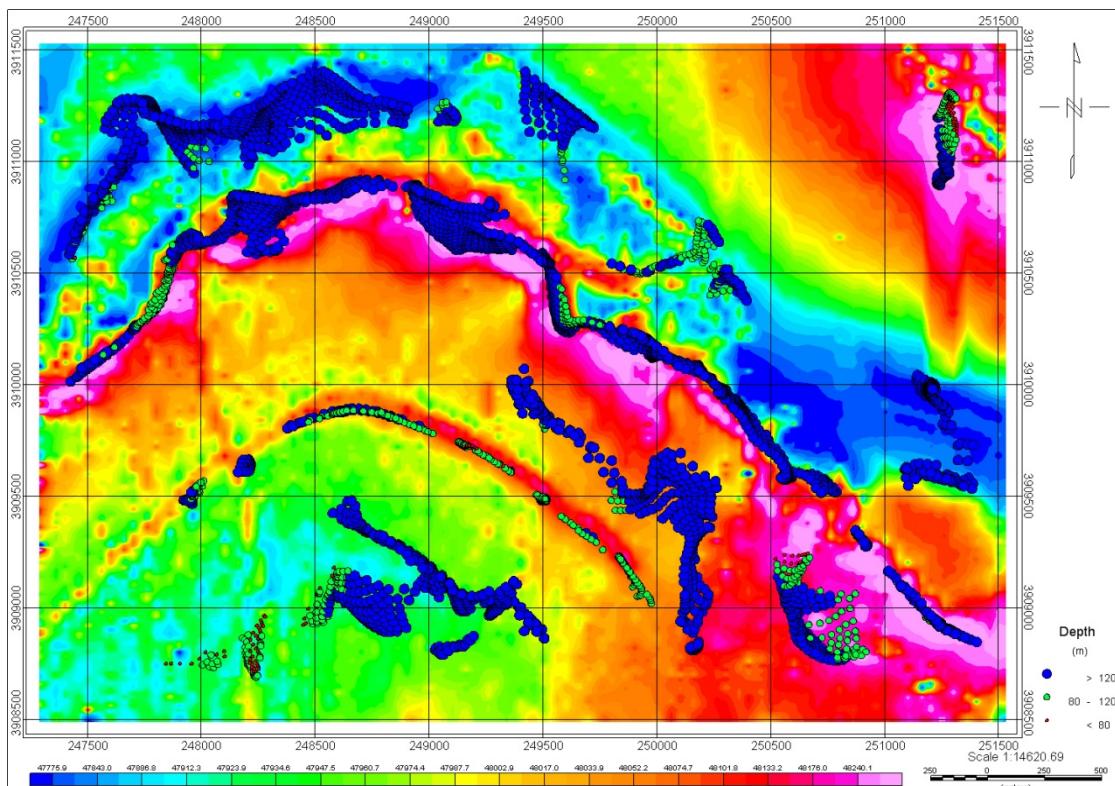
این روش اطلاعات اضافی مفیدی در مورد عمق همه نقاط فراهم می کند و نتایج آن تا مرحله مدل سازی مستقل از I، D و مغناطیسی بازماند هستند. دو بی هنجاری کمانی شکل در منطقه وجود دارد که از روش اویلر عمق ۱۳۵ متر برای بی هنجاری بالایی و عمق متوسط ۱۰۰ متر برای بی هنجاری جنوبی تعیین شده است که با نتایج برداشت الکتریکی قبلی در منطقه موجود در گزارشات سازمان زمین شناسی کشور کاملاً تایید می شود.

تشکر و قدردانی
از همکاری گروههای ژئوفیزیک زمینی و هوایی سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور برای در دسترس قرار دادن داده ها و امکانات آن سازمان، و از مهندس لقمان نمکی به خاطر راهنمایی هایشان و سرکار خانم مهندس ساناز اسماعیلی سپاسگزاریم.

نقاط حل روی بی هنجاری بالایی نشان می دهد که این بی هنجاری باید بی هنجاری ای ضخیم و دارای انديس ساختاری ای نزدیک به استوانه داشته باشد. با توجه به زمین شناسی منطقه که پوشش سطح منطقه از نوع آبرفت های پادگانه ای است، نتیجه می شود که هردوی این بی هنجاری ها عمیق و بدون رخنمون با تركیبی در برگیرنده مگنتیت هستند.

۱۰ نتیجه گیری

روش اویلر از جمله روش های نیمه خود کار سریع برای یافتن عمق بی هنجاری های مدفون است که نتایج آن قویاً به انتخاب انديس ساختاری، اندازه پنجره اویلر و خطای محاسبه عمق بستگی دارد. روش اویلر به خوبی عمق و روند تغییرات عمق بی هنجاری ها را مشخص می کند. برای استفاده بهینه از این روش اطلاعات زمین شناسی منطقه مورد بررسی و تجربه پردازشگر بسیار تعیین کننده است.



شکل ۶. شدت میدان کل مغناطیسی که نقاط حل روش اویلر روی آن دیده می شود.

منابع

- Barbosa, V. C. F., Silva, J. B. C. and Medeiros, W. E., 1999, Stability analysis and improvement of structural index estimation in Euler deconvolution. *Geophysics*, **64**, 48–60.
- Cooper, G. R. J., 2008, Euler deconvolution with improved accuracy and multiple different structural index, *Journal of china university of Geosciences*, **19**, 72-76.
- Silva, Jo˜ao, B. C. and Barbosa, Val’ eria, C. F., 2003, 3D Euler deconvolution: Theoretical basis for automatically selecting good solutions. *Geophysics*, **68**, 1962-1968.
- montajGravMagInterpretation, technical note of oasis montaj software. Geosoft company.
- Ravat, D., 1996, Analysis of the Euler method and its applicability in environmental magnetic investigations. *J. Environ. Eng. Geophys.* **1**, 229–238.
- Reid, A. B., Allsopp, J. M., Granser, H., Milletts, A. J. and Somerton, I. W., 1990, Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution. *Geophysics*, **55**, 80-91.
- Thompson, D. T., 1982, EULDPH: a new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data. *Geophysics* **47**, 31–37.