

# تفسیر داده‌های مغناطیس‌هوایی با استفاده از روش بهبود یافته تلفیقی سیگنال تحلیلی و اویلر در منطقه خرم‌آباد

محسن اویسی مؤخر<sup>۱\*</sup>، وحید قاسمی<sup>۲</sup> و حسین شاه‌نظری اول<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> استادیار مرکز مطالعات ژئوفیزیک، دانشگاه رازی کرمانشاه، ایران

<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، مرکز مطالعات ژئوفیزیک، دانشگاه رازی کرمانشاه، ایران

<sup>۳</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، مرکز مطالعات ژئوفیزیک، دانشگاه رازی کرمانشاه، ایران

(دریافت: ۸۵/۷/۲۶، پذیرش نهایی: ۸۶/۶/۱۷)

## چکیده

در این مقاله یک روش بهبود یافته برای تفسیر داده‌های مغناطیسی ارائه می‌شود که به Improved AN-EUL معروف است. اساس این روش بر تلفیق مشتقات سیگنال تحلیلی و اویلر استوار است. با استفاده از این روش می‌توان عمق و شکل هندسی بی‌هنجاری را به دست آورد. ارتفاع نقطه قرائت از زمین و همچنین ادامه فراسو برای برآورد عمق لحاظ شده است. با توجه به اینکه اجسام مغناطیسی دارای مغناطش‌اند، بعد از اعمال سیگنال تحلیلی، مقداری از این مغناطش در منحنی سیگنال تحلیلی اثر می‌گذارد و منحنی سیگنال تحلیلی دقیقاً روی بی‌هنجاری مورد نظر قرار نمی‌گیرد. بنابراین روش AN-EUL قبلی نمی‌تواند برآورد دقیقی از عمق و شاخص ساختاری به دست دهد. بنابراین با استفاده از روش Improved AN-EUL عمق و شاخص ساختاری دقیق را به دست می‌آوریم. در این روش عملیات برگردان به قطب روی داده‌های برداشت شده اعمال می‌شود و سپس صافی سیگنال تحلیلی روی داده‌های برداشت شده اعمال می‌کنیم. در نتیجه منحنی سیگنال تحلیلی تصحیح و پیک بی‌هنجاری، دقیقاً روی بی‌هنجاری مورد نظر قرار خواهد گرفت. سپس با استفاده از این روش، پارامترهای بی‌هنجاری را از روی داده‌های مغناطیس‌هوایی برداشت شده از منطقه خرم‌آباد به دست می‌آوریم.

واژه‌های کلیدی: مشتقات سیگنال تحلیلی و اویلر، مکان افقی، عمق بالایی، شاخص ساختاری، بی‌هنجاری مغناطیسی، دایک

## ۱ مقدمه

بی‌هنجاری با مدل انتخاب شده مطابقت داشته باشد (باستانی و پدرسن، ۲۰۰۱).

در این مقاله روشی بهبود یافته برای تفسیر داده‌های مغناطیسی ارائه می‌دهیم که به Improved AN-EUL معروف است. اساس این روش بر تلفیق مشتقات سیگنال تحلیلی و اویلر استوار است. با استفاده از این روش می‌توان عمق و شکل هندسی بی‌هنجاری را به دست آورد. این روش در واقع بهبود یافته روش AN-EUL است (سالم و روات، ۲۰۰۳). به کمک این روش می‌توان مختصات مکان و شکل هندسی بی‌هنجاری را به خوبی از داده‌های برداشت شده به دست آورد. از این روش برای تفسیر داده‌های مغناطیس‌هوایی به دست آمده از منطقه خرم‌آباد

روش‌هایی که تا قبل از این مورد بررسی قرار گرفته‌اند، براساس استفاده از مشتقات بی‌هنجاری‌های مغناطیسی صورت می‌گیرند که برای تعیین پارامترهای بی‌هنجاری مانند مکان مرزها و عمق‌ها توسعه داده شده‌اند. یکی از این روش‌ها، روش سیگنال تحلیلی است. این روش به صورت موفقیت‌آمیزی روی دایک به انجام رسیده است (نیقیان، ۱۹۷۲). از این روش نیز برای تفسیر داده‌های مغناطیس‌هوایی استفاده شده است (روئیست و همکاران، ۱۹۹۲). از روش سیگنال تحلیلی برای یافت پارامترهای بی‌هنجاری یک دایک مانند عمق، استرایک، شیب، پهنا و مغناطیدگی نیز استفاده شده است. در این روش برآورد صحیح از عمق فقط وقتی به دست می‌آید که

استفاده خواهیم کرد.

۲-۲ اوپلر

شکل سه‌بعدی معادله اوپلر به صورت زیر است (رید و همکاران، ۱۹۹۰).

$$x \frac{\partial T}{\partial x} + y \frac{\partial T}{\partial y} + z \frac{\partial T}{\partial z} + \eta T = x_0 \frac{\partial T}{\partial x} + y_0 \frac{\partial T}{\partial y} + z_0 \frac{\partial T}{\partial z} + \eta b \quad (۴)$$

که  $Z, Y, X$  مختصات نقطه اندازه‌گیری شده‌اند و  $Z_0, Y_0, X_0$  پارامترهای مکان بی‌هنجاری‌اند.  $b$  سطح مبنا است و  $\eta$  شاخص ساختاری در مکان برداشت شده را نشان می‌دهد (برای همبری  $\eta=0$ ، برای دایک  $\eta=1$ ، برای استوانه  $\eta=2$  و برای کره  $\eta=3$  است). اگر از طرفین معادله (۴) نسبت به  $Z, Y, X$  مشتق بگیریم، چند ساده‌سازی ریاضی روی آن صورت دهیم و نقطه اندازه‌گیری را روی زمین قرار دهیم ( $Z=0, Y=Y_0, X=X_0$ ) داریم (سالم و روات، ۲۰۰۳):

$$\frac{\partial T}{\partial x}(\eta+1) = z_0 \frac{\partial^2 T}{\partial x \partial z}$$

$$\frac{\partial T}{\partial y}(\eta+1) = z_0 \frac{\partial^2 T}{\partial y \partial z}$$

$$\frac{\partial T}{\partial z}(\eta+1) = z_0 \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}$$

اگر طرفین معادلات بالا را به توان دو برسانیم و با هم جمع کنیم و از طرفین جذر بگیریم (سالم و روات، ۲۰۰۳) خواهیم داشت:

$$z_0 \left[ \sqrt{\left(\frac{\partial^2 T}{\partial x \partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial^2 T}{\partial y \partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right)^2} \right]_{x=x_0, y=y_0} = (\eta+1) \left[ \sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial z}\right)^2} \right]_{x=x_0, y=y_0} \quad (۵)$$

۲ روش سیگنال

اساس این روش، جای‌گذاری مشتقات معادله اوپلر در معادله سیگنال تحلیلی است. پارامترهای منبع را به‌طور همزمان می‌توان برآورد کرد. در ادامه به‌طور خلاصه این روش را توضیح می‌دهیم.

۱-۲ روش سیگنال تحلیلی

سیگنال تحلیلی مختلط (نیقیان، ۱۹۷۲) به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

$$A(x, y) = \frac{\partial T}{\partial x} \hat{x} + \frac{\partial T}{\partial y} \hat{y} + i \frac{\partial T}{\partial z} \hat{z} \quad (۱)$$

که  $\hat{x}$  و  $\hat{y}$  و  $\hat{z}$  بردارهایی که در جهت‌های  $Z, Y, X$  هستند و  $i$  عدد موهومی  $(\sqrt{-1})$  است.  $\frac{\partial T}{\partial x}, \frac{\partial T}{\partial y}$

مشتق افقی میدان مغناطیسی و  $\frac{\partial T}{\partial z}$  مشتق عمودی میدان مغناطیسی است.

دامنه سیگنال تحلیلی سه‌بعدی (AAS) به صورت زیر داده می‌شود (روئست و همکاران، ۱۹۹۲):

$$AAS(x, y) = \sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial z}\right)^2} \quad (۲)$$

دامنه مشتق  $n$  ام سیگنال تحلیلی را می‌توان به این صورت نوشت (دبگلیا و کورپل، ۱۹۹۷).

$$AAS_n(x, y) = \sqrt{\left(\frac{\partial T_n^z}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T_n^z}{\partial y}\right)^2 + \left(\frac{\partial T_n^z}{\partial z}\right)^2} \quad (۳)$$

که شاخص بالا ( $Z$ ) مشتق عمودی میدان است.

$$\begin{aligned}
 & x \frac{\partial^3 T}{\partial x \partial y \partial z} + \frac{\partial^2 T}{\partial y \partial z} + \frac{\partial^3 T}{\partial y \partial z \partial x} \\
 & + \frac{\partial^2 T}{\partial z \partial y} + z \frac{\partial^3 T}{\partial z^2 \partial y} + \eta \frac{\partial^2 T}{\partial z \partial y} \\
 & = x_0 \frac{\partial^3 T}{\partial x \partial y \partial z} + y_0 \frac{\partial^3 T}{\partial y \partial z \partial x} \\
 & + z_0 \frac{\partial^3 T}{\partial z^2 \partial y}
 \end{aligned} \quad (10)$$

حال اگر در معادله بالا  $z=0, y=y_0, x=x_0$  قرار دهیم، خواهیم داشت:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial y \partial z} (2 + \eta) = z_0 \frac{\partial^3 T}{\partial z^2 \partial y} \quad (11)$$

اگر از طرفین معادله بالا نسبت به  $x$  مشتق بگیریم خواهیم داشت:

$$\begin{aligned}
 & x \frac{\partial^3 T}{\partial x \partial z^2} + y \frac{\partial^3 T}{\partial y \partial z^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \\
 & + z \frac{\partial^3 T}{\partial z^3} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \eta \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \\
 & = x_0 \frac{\partial^3 T}{\partial x \partial z^2} + y_0 \frac{\partial^3 T}{\partial y \partial z^2} + z_0 \frac{\partial^3 T}{\partial z^3}
 \end{aligned} \quad (12)$$

حال اگر در معادله بالا  $z=0, y=y_0, x=x_0$  قرار دهیم، خواهیم داشت:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} (2 + \eta) = z_0 \frac{\partial^3 T}{\partial z^3} \quad (13)$$

اگر طرفین معادلات (۹، ۱۱ و ۱۳) را به توان دو برسانیم، و با هم جمع کنیم و از طرفین جذر بگیریم خواهیم داشت (سالم و روات، ۲۰۰۳):

بنابر رابطه ۳ خواهیم داشت (سالم و روات، ۲۰۰۳):

$$z_0 |AAS_1|_{x=x_0, y=y_0} = (\eta + 1) |AAS_0|_{x=x_0, y=y_0} \quad (6)$$

و  $AAS_1$  و  $AAS_0$  به ترتیب دامنه سیگنال تحلیلی و مشتق اول سیگنال تحلیلی است. از این معادله می‌توان برای تعیین عمق اجسامی که شاخص ساختاری مشخصی دارند استفاده کرد. بنابراین اگر نوع بی‌هنجاری مشخص باشد، می‌توان به کمک مشتقات اوپلر و سیگنال تحلیلی، عمق بی‌هنجاری مورد نظر را به دست آورد.

برای رسیدن به مرحله نهایی، ابتدا از معادله (۴) نسبت به  $z$  مشتق می‌گیریم (سالم و روات، ۲۰۰۳) بنابراین داریم:

$$\begin{aligned}
 & x \frac{\partial^2 T}{\partial x \partial z} + y \frac{\partial^2 T}{\partial y \partial z} + \frac{\partial T}{\partial z} + z \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \eta \frac{\partial T}{\partial z} \\
 & = x_0 \frac{\partial^2 T}{\partial x \partial z} + y_0 \frac{\partial^2 T}{\partial y \partial z} + z_0 \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}
 \end{aligned} \quad (7)$$

اگر از طرفین معادله بالا نسبت به  $x$  مشتق بگیریم و در معادله بالا  $z=0, y=y_0, x=x_0$  قرار دهیم، خواهیم داشت:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x \partial z} + \frac{\partial^2 T}{\partial z \partial x} + \eta \frac{\partial^2 T}{\partial z \partial x} = z_0 \frac{\partial^3 T}{\partial z^2 \partial x} \quad (8)$$

که بعد از ساده کردن رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x \partial z} (2 + \eta) = z_0 \frac{\partial^3 T}{\partial z^2 \partial x} \quad (9)$$

اگر از طرفین معادله بالا نسبت به  $y$  مشتق بگیریم خواهیم داشت:

منحنی سیگنال تحلیلی اثر می‌گذارد و منحنی سیگنال تحلیلی دقیقاً روی بی‌هنجاری مورد نظر قرار نمی‌گیرد. اعتقاد بر این است که اگر روی داده‌هایی که عملیات برگردان به قطب روی آنها صورت گرفته است، صافی سیگنال تحلیلی اعمال شود، منحنی سیگنال تحلیلی تصحیح می‌شود و پیک سیگنال تحلیلی دقیقاً روی بی‌هنجاری مورد نظر قرار خواهد گرفت (بیلیم و آتس، ۲۰۰۳).

در روش AN-EUL پیک سیگنال تحلیلی و مشتقاتش دقیقاً روی بی‌هنجاری قرار نمی‌گیرند. حال اگر قبل از اعمال کردن این روش روی داده‌ها عملیات برگردان به قطب اعمال گردد، جواب دقیق‌تری را می‌توان به‌دست آورد.

قدرت تشخیص روش تلفیق مشتقات سیگنال تحلیلی و اوپلر تابعی از کیفیت داده‌های مورد برداشت و نوفه است. اگر نوفه دارای عدد موج زیادی باشد، اثر آن را با استفاده از ادامه فراسو از بین می‌بریم یا کاهش می‌دهیم. ابتدا نوفه‌های متفاوت را به داده‌هایمان اعمال می‌کنیم و سپس سطح ایدئال ادامه فراسو را مشخص می‌کنیم یعنی روشن می‌سازیم که چه سطح یا ارتفاعی برای ادامه فراسوی ما مناسب خواهد بود. سطحی برای ادامه فراسو مناسب است که در آن سطح شاخص ساختاری و عمق ثابت بماند و با افزایش ارتفاع تغییری در اندازه آنها مشاهده نشود. بعد از پیدا کردن سطح ایدئال و مناسب برای ادامه فراسو میدان بی‌هنجاری مغناطیسی به این سطح آورده می‌شود. پس ما ابتدا داده‌های میدان را به قطب برگردان می‌کنیم و سپس عملیات سیگنال تحلیلی و مشتقات را روی آن اعمال می‌کنیم.

### ۳ مدل‌سازی

در این قسمت، ما روش Improved AN-EUL و AN-EUL را با استفاده از داده‌های مصنوعی با هم مقایسه

$$z_0 \left[ \sqrt{\left( \frac{\partial^3 T}{\partial x \partial z^2} \right)^2 + \left( \frac{\partial^3 T}{\partial y \partial z^2} \right)^2 + \left( \frac{\partial^3 T}{\partial z^3} \right)^2} \right]_{x=x_0, y=y_0} \\ = (\eta + 2) \left[ \sqrt{\left( \frac{\partial^2 T}{\partial x \partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial^2 T}{\partial y \partial z} \right)^2 + \left( \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right)^2} \right]_{x=x_0, y=y_0} \quad (14)$$

بنابراین خواهیم داشت (سالم و روات، ۲۰۰۳)

$$z_0 |AAS_2|_{x=x_0, y=y_0} \\ = (\eta + 2) |AAS_1|_{x=x_0, y=y_0} \quad (15)$$

که  $AAS_2$  مشتق مرتبه دوم سیگنال تحلیلی است. ابتدا  $\eta$  را از معادله بالا استخراج می‌کنیم و با جای گذاری در معادله (۶) خواهیم داشت:

$$\eta = \frac{z_0(AAS_2) - 2(AAS_1)}{AAS_1} \\ z_0(AAS_1) \\ = \left[ \frac{z_0(AAS_2) - 2(AAS_1)}{AAS_1} + 1 \right] AAS_0$$

$$z_0((AAS_2)(AAS_0) - (AAS_1)^2) \\ = (AAS_1)(AAS_0)$$

$$\Rightarrow z_0 = \frac{(AAS_1)(AAS_0)}{(AAS_2)(AAS_0) - (AAS_1)^2} \quad (16)$$

حال مقدار  $Z_0$  را در معادله (۶) قرار داده و  $\eta$  را به‌دست می‌آوریم:

$$\eta = \left( \frac{2(AAS_1)^2 - (AAS_2)(AAS_0)}{(AAS_2)(AAS_0) - (AAS_1)^2} \right) \quad (17)$$

با توجه به اینکه اجسام مغناطیسی دارای مغناطش‌اند، بعد از اعمال سیگنال تحلیلی مقداری از این مغناطش در

حدود ۱۰ متر و عرض دایک در حدود ۲ متر و پذیرفتاری مغناطیسی دایک مورد نظر ۰/۰۱ در دستگاه CGS در نظر گرفته شده است. در اینجا از یک میدان القایی با زاویه انحراف صفر و زاویه میل ۶۰ درجه ( $D = 0^\circ, I = 60^\circ$ ) استفاده شده است. برآورد نوع مدل (شاخص ساختاری) و عمق با استفاده از رابطه‌هایی که در مقاله آمده است، محاسبه می‌شود (جدول‌های ۳ و ۴). در این جدول‌ها همچنین داده‌های آلوده به نوفه هم ذکر شده است.

### ۳-۳ مدل استوانه افقی

شکل ۳ بی‌هنجاری مغناطیسی میدان کل را از یک استوانه نسبتاً ضخیم افقی نشان می‌دهد. استوانه در ۴۰ متری قرار دارد (یعنی در ۴۰ متری از اول نیمرخ) و عمق لبه بالایی در حدود ۱۰ متر و قطر استوانه در حدود ۱۰ متر و پذیرفتاری مغناطیسی دایک مورد نظر ۰/۰۱ در دستگاه CGS در نظر گرفته شده است. در اینجا از یک میدان القایی با زاویه انحراف صفر و زاویه میل ۶۰ درجه ( $D = 0^\circ, I = 60^\circ$ ) استفاده شده است. برآورد نوع مدل (شاخص ساختاری) و عمق با استفاده از رابطه‌هایی که در مقاله آمده است، محاسبه می‌شود.

در این مدل نیز، داده‌ها با نوفه آلوده شده‌اند. در همه وضعیت‌های اعمال نوفه، از نوفه‌ای با متوسط صفر و انحراف معیار یک‌دهم استفاده شده است. نتایج در جداول ۵ و ۶ آمده است. از نتایج به‌دست آمده مشاهده می‌شود که روش بهبود یافته Improved AN-EUL نتایج بهتری را به‌دست می‌دهد.

### ۴ عملیات صحرائی

#### ۱-۴ زمین‌شناسی منطقه

ناحیه مورد بررسی در طول جغرافیایی ۴۸-۴۹ درجه شرقی و عرض ۳۳-۳۴ درجه شمالی واقع شده است. که بخش مرکزی، اشترینان از بخش‌های تابعه بروجرد در نیمه

می‌کنیم. به این منظور سه مدل مشخص (دایک نسبتاً ضخیم عمودی، دایک نازک عمودی و استوانه ضخیم) را به کار می‌بریم.

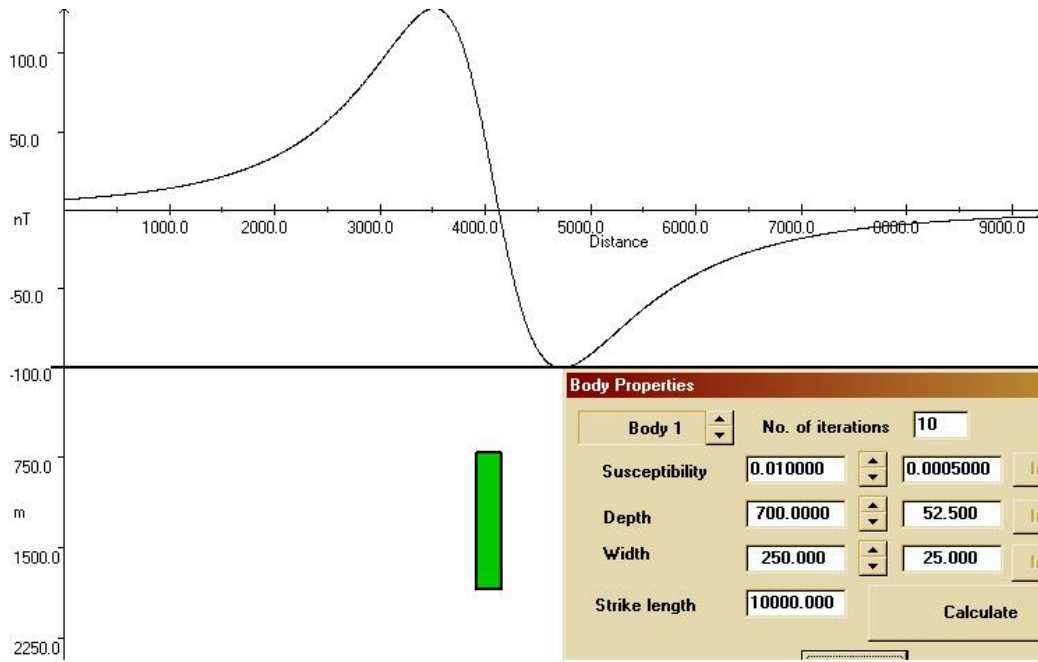
### ۱-۳ مدل دایک ضخیم

شکل ۱ بی‌هنجاری مغناطیسی میدان کل یک دایک نسبتاً ضخیم عمودی را نشان می‌دهد. میدان بی‌هنجاری در طول یک نیمرخ ۱۰۰۰۰ متری در راستای شمالی-جنوبی با فاصله برداشت ۵ متری محاسبه شده‌اند. دایک در ۴۰۳۵ متری قرار دارد (یعنی در ۴۰۳۵ متری از اول نیمرخ) و عمق لبه بالایی در حدود ۷۰۰ متر و عرض دایک در حدود ۲۵۰ متر و پذیرفتاری مغناطیسی دایک مورد نظر ۰/۰۱ در دستگاه CGS در نظر گرفته شده است. در اینجا از میدانی القایی با زاویه انحراف صفر و زاویه میل ۵۰ درجه ( $D = 0^\circ, I = 50^\circ$ ) استفاده شده است. برآورد نوع مدل (شاخص ساختاری) و عمق با استفاده از رابطه‌هایی که در مقاله آمده است، محاسبه می‌شود.

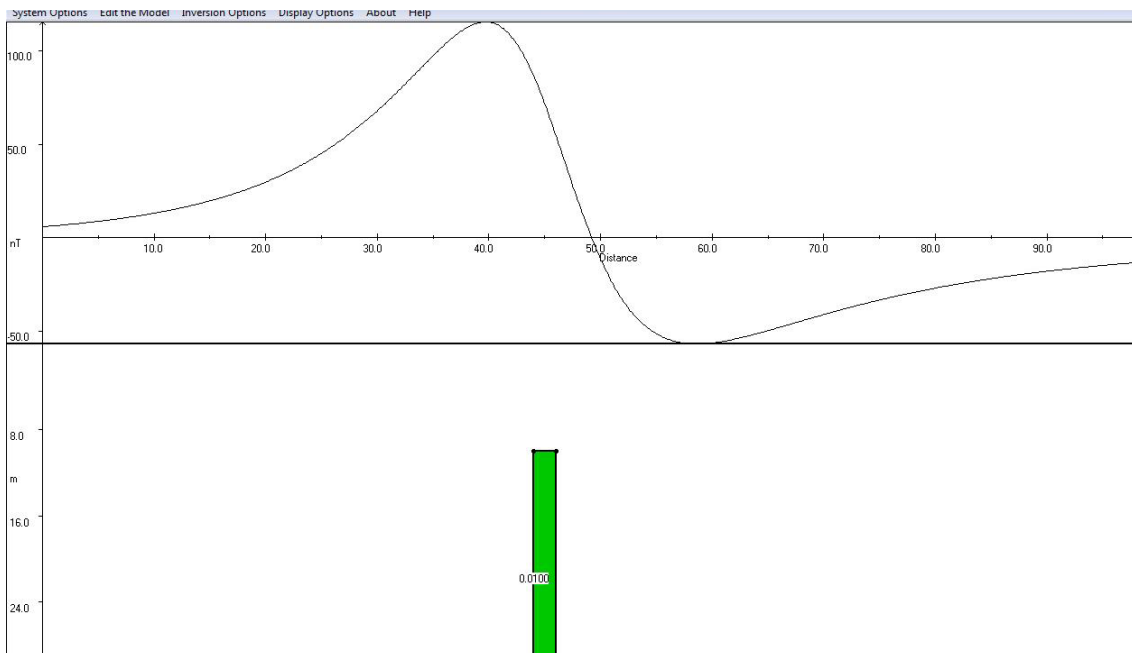
شاخص ساختاری اندازه‌گیری شده برای بی‌هنجاری در قسمت پیشینه منحنی سیگنال تحلیلی با استفاده از روش AN-EUL ۱/۵۹۹ و با استفاده از روش Improved AN-EUL ۱/۱۴۶ به‌دست آمده که نشان می‌دهد، دایک نسبتاً ضخیم است. عمق برآورد شده بعد از کم کردن ادامه فراسوی مناسب (۵ متر)، با استفاده از روش AN-EUL ۸۵۶/۰۶۴۴ متر و با استفاده از روش Improved AN-EUL ۷۰۳/۴۶۹۲ متر به‌دست آمده که عمق واقعی محسوب می‌شود (جدول‌های ۱ و ۲).

### ۲-۳ مدل دایک نازک

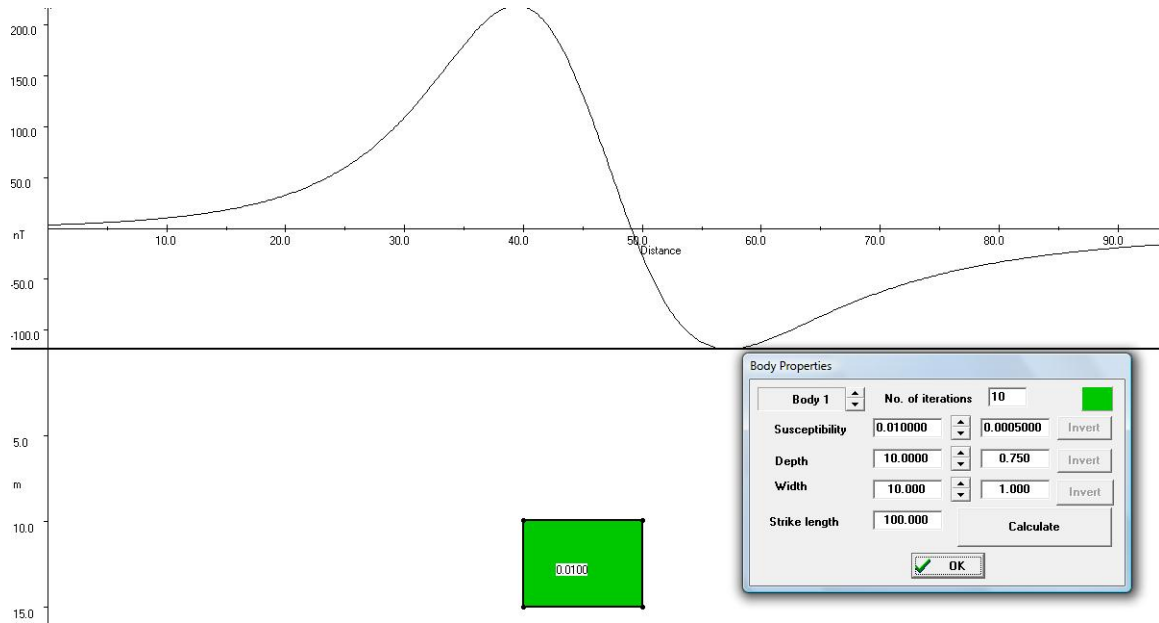
شکل ۲ بی‌هنجاری مغناطیسی میدان کل را از یک دایک نازک عمودی نشان می‌دهد. دایک در ۴۲ متری قرار دارد (یعنی در ۴۲ متری از اول نیمرخ) و عمق لبه بالایی در



شکل ۱. دایک نسبتاً ضخیم عمودی در فاصله ۴۰۳۵ متری از اول نیمرخ.



شکل ۲. بی‌هنجاری مغناطیسی میدان کل از یک دایک نازک عمودی.



شکل ۳. بی‌هنجاری مغناطیسی میدان کل از یک استوانه نسبتاً ضخیم افقی.

جدول ۱. نتایج AN-EUL از روی دایک نسبتاً ضخیم عمودی.

$AAS(\frac{nT}{m})$	$AAS_1(\frac{nT}{m^2})$	$AAS_1(\frac{nT}{m^3})$	$\eta$	Z (m)
۰/۳۴۹۵۳	۰/۰۰۱۰۵۵	$۴/۴۱ \times ۱۰^{-۶}$	۱/۵۹۹	۸۵۶/۰۶۴۴

جدول ۲. نتایج Improved AN-EUL از روی دایک نسبتاً ضخیم عمودی.

$RTPAS(\frac{nT}{m})$	$RTPAS_1(\frac{nT}{m^2})$	$RTPAS_1(\frac{nT}{m^3})$	$\eta$	Z (m)
۰/۳۴۸۹۶	۰/۰۰۱۰۵۷	$۴/۴۷ \times ۱۰^{-۶}$	۱/۱۴۶	۷۰۳/۴۶۹۲

جدول ۳. نتایج به‌دست آمده از روش AN-EUL بدون اعمال نوفه و با اعمال نوفه (مقدار متوسط صفر و انحراف معیار یک‌دهم).

	$AAS(\frac{nT}{m})$	$AAS_1(\frac{nT}{m^2})$	$AAS_1(\frac{nT}{m^3})$	$\eta$	Z (m)
با نوفه	۱۰/۵۵۳	۱/۷۸۲	۴۱۹/۰	۱/۶۰	۱۲/۴۴
بدون نوفه	۱۰/۵۵۱	۱/۷۷۸	۰/۴۱۹	۱/۵۰	۱۱/۸۵

جدول ۴. نتایج به دست آمده از روش Improved AN-EUL بدون اعمال نوفه و با اعمال نوفه (مقدار متوسط صفر و انحراف معیار یکدهم).

	$AAS(\frac{nT}{m})$	$AAS_1(\frac{nT}{m^2})$	$AAS_1(\frac{nT}{m^3})$	$\eta$	Z (m)
با نوفه	۱۰/۵۶۱	۱/۷۷۹	۴۲/۰	۱/۳۲	۱۰/۸۱
بدون نوفه	۱۰/۵۵۷	۱/۷۷۹	۰/۴۲۲	۱/۴۶	۱۱/۶۰

جدول ۵. نتایج به دست آمده از روش AN-EUL بدون اعمال نوفه و با اعمال نوفه (مقدار متوسط صفر و انحراف معیار یکدهم).

	$AAS(\frac{nT}{m})$	$AAS_1(\frac{nT}{m^2})$	$AAS_1(\frac{nT}{m^3})$	$\eta$	Z (m)
با نوفه	۷/۴۰۵	۰/۹۱۰۴	۰/۱۴۶۹	۲/۱۹	۱۵/۰۱۹
بدون نوفه	۷/۴۰۴	۰/۹۱۰۲	۰/۱۴۴۸	۲/۳۹	۱۶/۶۱

جدول ۶. نتایج به دست آمده از روش Improved AN-EUL بدون اعمال نوفه و با اعمال نوفه (مقدار متوسط صفر و انحراف معیار یکدهم).

	$AAS(\frac{nT}{m})$	$AAS_1(\frac{nT}{m^2})$	$AAS_1(\frac{nT}{m^3})$	$\eta$	Z (m)
با نوفه	۷/۴۱۹	۰/۹۱۰	۰/۱۴۶۷	۲/۱۹	۱۵/۰۱۵
بدون نوفه	۷/۴۱۵	۰/۹۱۰	۰/۱۴۵۰	۲/۳۶	۱۶/۴۲

که در قسمت پایینی به بادبزنی آبرفت با شیب زیاد ختم می‌شود.

#### ۴. دشت آبرفتی سیلاخور و چغلوندی

منطقه خرم‌آباد، پیکره دگرگونه و زاگرس خرد شده را در خود جای داده است. پیکره دگرگونه در شمال منطقه در گستره‌ای از خاور به باختر از تپه‌های پست و کم‌ارتفاع سازمان یافته است. سنگ‌های در برگیرنده آنها عمدتاً دگرگونه‌اند و تزریق توده آذرین خرم‌آباد در بین آنها که گه‌گاه به حالت سه‌تیغ‌ساز دیده می‌شود به گونه‌ای جالب در معرض دید قرار می‌گیرد. نقشه زمین‌شناسی منطقه و نحوه قرار گرفتن نیمرخ‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است.

#### ۴-۲ تحلیل داده‌ها

داده‌برداری در این منطقه به صورت داده‌برداری هوایی صورت گرفته است. مغناطیس‌سنج مورد استفاده در این منطقه از نوع سزیم با دقت ۰/۰۰۱ نانو تسلا است.

شمالی منطقه و بخش‌های چغلوندی و زاغه از توابع شهرستان خرم‌آباد در نیمه جنوبی آن قرار دارد.

خرم‌آباد از نظر اقلیم‌شناسی جزء مناطق نیمه‌خشک و ملایم محسوب می‌شود و کلاً دارای آب و هوای متنوعی است که این تنوع از شمال به جنوب و از خاور به باختر کاملاً محسوس است و به‌طور کلی دارای ۴۰۰ تا ۸۰۰ میلی‌متر بارندگی سالانه دارد. وزش بادهای در این منطقه بستگی به فصول دارد که مهم‌ترین آنها باد دره‌های، باد باختری- خاوری و باد گبیجه است که در فصل پاییز می‌وزد.

به‌طور کلی از نظر ریخت‌شناسی (مورفولوژی) واحدهای زیر قابل تشخیص است:

۱. تپه‌های پست و کم‌ارتفاع با رنگ عمومی تیره با شیب ملایم و دره‌های تقریباً مسطح و کم‌شیب.
۲. کوه‌های بلند ارتفاع و همسو با رانده‌گی زاگرس با زمستان‌های پربرف و میزان بارش فراوان.
۳. مناطق کوهپایه‌ای و پرشیب با دره‌های عریض طویل



مجموعه ارتفاع‌هایی را نشان می‌دهند که در آنها عمق و شاخص ساختاری ثابت می‌ماند.

با توجه به شکل‌های بالا، ادامه فراسوی مناسب در داخل کادر مستطیلی که در شکل نشان داده شده است، قرار دارد. و با استفاده از میانگین‌گیری بین نقاط داخل کادر، ادامه فراسوی مناسب ۷۵۰ متر است. سپس داده‌هایمان را به این سطح ایدئال می‌بریم. سپس برای این ادامه فراسو، سیگنال تحلیلی ( $AS$ ) و مشتقات اول و دوم آن را ( $AS_1, AS_2$ ) از مشتقات عمودی و افقی میدان کل مغناطیسی محاسبه می‌کنیم. با استفاده از این کمیت‌ها، پارامترهای بی‌هنجاری را به دست می‌آوریم.

نتایج در جدول ۷ آمده است و بعد از تصحیح برگردان به قطب نتیجه نهایی در جدول ۸ آمده است. شاخص ساختاری به دست آمده نشان می‌دهد که دایک موردنظر، ضخیم است.

#### ۵ نتیجه‌گیری

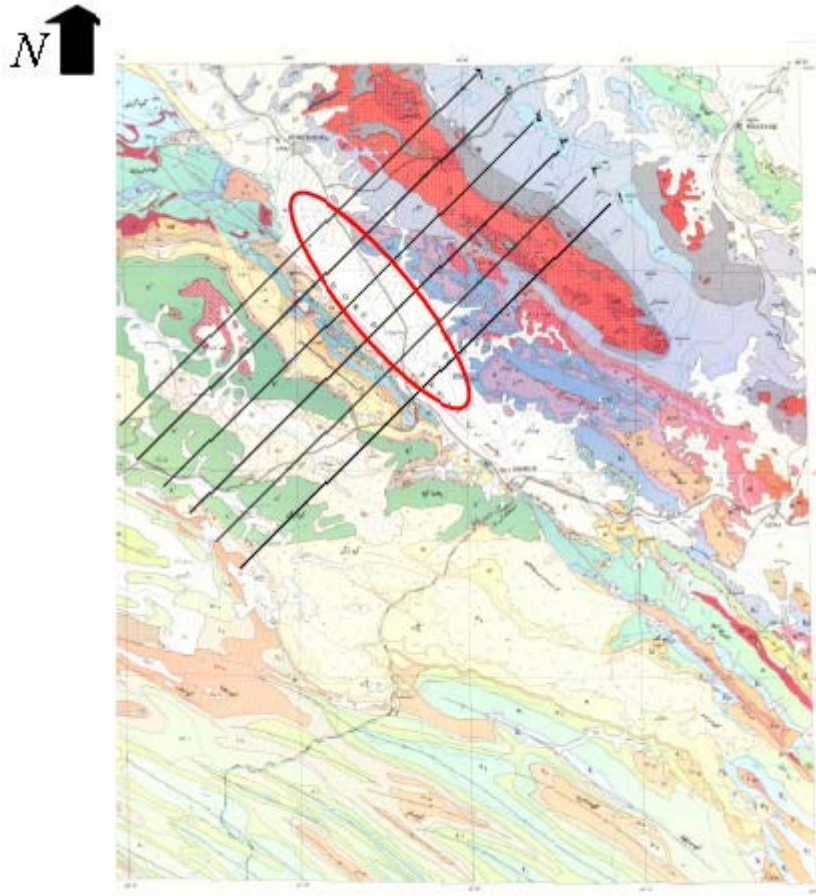
در اینجا روشی بهبود یافته‌ای برای تفسیر داده‌های مغناطیسی با استفاده از روش تلفیق مشتقات سیگنال تحلیلی و اویلر ارائه شده است. این روش‌ها معادله‌ای کلی برای برآورد عمق تعدادی از چشمه‌های مغناطیسی دوبعدی و همچنین معادله‌ای کلی برای شاخص ساختاری دست می‌دهند، بدون اینکه هیچ‌گونه اطلاعات کافی در مورد طبیعت منبع موردنظر داشته باشیم. اطلاعات در مورد طبیعت چشمه با استفاده از برآورد پارامترهای مکان منبع به دست می‌آید. برای این روش‌ها از مشتقات اول و دوم میدان استفاده می‌شود. در اینجا یکی از نیمرخ‌هایی که در منطقه خرم‌آباد برداشت شده، به‌طور کامل مورد تفسیر قرار گرفت و پارامترهای مکان منبع برای این نیمرخ به دست آمد. در نیمرخ سه از ناحیه خرم‌آباد، شاخص ساختاری و عمق، برابر با  $1/62$  و  $2165/67$  متر به دست آمده است.

روش داده‌برداری به این صورت است که دستگاه مینا که برای از بین بردن تغییرات گذرای میدان در نظر گرفته می‌شود، در وسط منطقه قرار داده شده و دستگاه اصلی مورد برداشت داده در داخل هواپیما نصب می‌شود و سپس هواپیما در امتداد خطوط مستقیم شروع به پرواز می‌کند و تعدادی نیمرخ که به فاصله‌های مساوی از یکدیگر قرار گرفته‌اند را مورد برداشت قرار می‌دهد، ارتفاع پرواز از سطح زمین ۱۰۰۰ فوت (۳۰۵ متر) است، در اینجا فاصله نیمرخ‌ها از یکدیگر  $4/5$  کیلومتر و فاصله نقاط برداشت روی هر نیمرخ ۳۰ متر است.

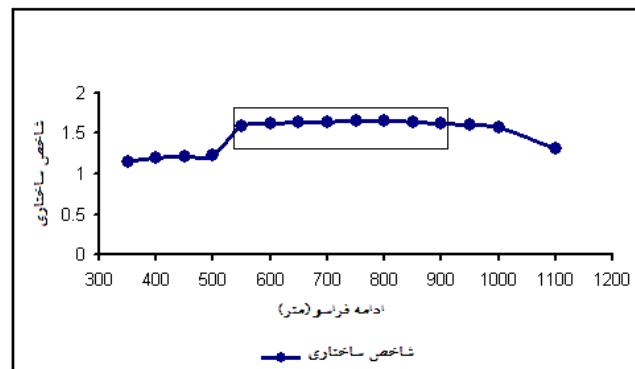
در این بخش کل داده‌های مورد برداشت از روی نیمرخ شماره سه را مورد تفسیر قرار می‌دهیم که در شکل ۴ نمایش داده شده است. به کمک رابطه‌های ۱۶ و ۱۷ پارامترهای منبع از قبیل عمق  $Z_0$  و شاخص ساختاری  $\eta$  بی‌هنجاری مغناطیسی مربوط به این نیمرخ را به دست می‌آوریم.

نیمرخ ۳ به طول  $111/480$  کیلومتر است. تعداد نقاط برداشت روی این نیمرخ ۳۷۱۶ نقطه با فاصله ۳۰ متر از یکدیگر است. برای این نیمرخ نیز به دلیل زیاد بودن داده‌ها و ایجاد نوفه، تعداد نقاط را کاهش می‌دهیم. بنابراین تعداد نقاط مورد برداشت از ۳۷۱۶ نقطه به ۵۳۱ نقطه کاهش می‌یابد. ابتدا در کل نیمرخ ۳، سطح ایدئال ادامه فراسو را برای شاخص ساختاری و عمق پیدا می‌کنیم که به ترتیب در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است. سطح ایدئال سطحی است که در آن سطح، پارامترهای شاخص ساختاری و عمق نسبت به ارتفاع تغییر نکند.

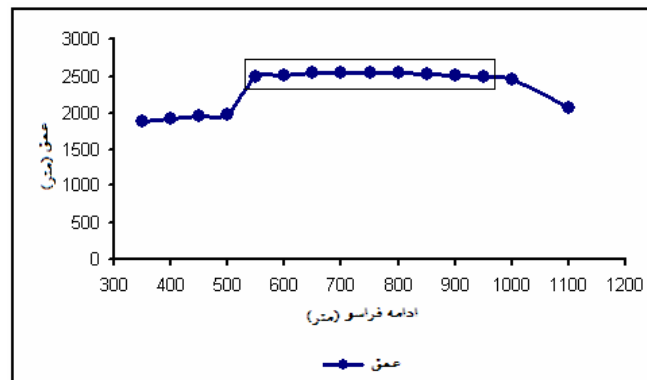
در شکل‌های ۵ و ۶ همان‌گونه که در انتهای بخش ۲ توضیح داده شد، ادامه فراسوهای متفاوت را به داده‌ها اعمال می‌کنیم. ادامه فراسویی مناسب خواهد بود که در آن، ارتفاع شاخص ساختاری و عمق ثابت بماند (سالم و روات، ۲۰۰۳). کادرهای مستطیلی شکل‌های ۵ و ۶



شکل ۴. بخشی از نقشه زمین‌شناسی منطقه خرم‌آباد در مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰ به همراه نحوه پیاده کردن نیمرخ‌ها و محل بی‌هتجاری که با بیضی نشان داده شده است. نیمرخ ۳ در شکل مشخص است. (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۷۰).



شکل ۵. برآورد شاخص ساختاری ( $\eta$ ) برای ادامه فراسوهای متفاوت به منظور تعیین ادامه فراسوی مناسب برای نیمرخ شماره ۳ قبل از اعمال برگردان به قطب.



شکل ۶. برآورد عمق ( $z_0$ ) برای ادامه فراسوهای متفاوت به منظور تعیین ادامه فراسوی مناسب برای نیمرخ شماره ۳ بعد از اعمال برگردان به قطب.

جدول ۷. نتایج به دست آمده برای عمق و شاخص ساختاری برای نیمرخ سه.

AS(nT/m)	AS <sub>1</sub> (nT/m <sup>2</sup> )	AS <sub>2</sub> (nT/m <sup>3</sup> )	$\eta$	$z_0$ (m)
۴۸/۷	۳/۹۰۴	۴۳/۰۹۱۵	۱/۶۵	۲۲۳۶/۴۴

جدول ۸. نتایج به دست آمده برای عمق و شاخص ساختاری بعد از اعمال صافی برگردان به قطب.

AS(nT/m)	AS <sub>1</sub> (nT/m <sup>2</sup> )	AS <sub>2</sub> (nT/m <sup>3</sup> )	$\eta$	$z_0$ (m)
۴۸/۴۷	۳/۸۹۷	۴۳/۳۴	۱/۶۱۲	۲۱۶۵/۶۷

two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: its properties and use for automated anomaly interpretation. *Geophysics*, **37**, 507-517.

Reid, A. B., Allsop, J. M., Granser, H., Millet, A. J., and Somerton, I. W., 1990, Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution: *Geophysics*, **55**, 80-91.

Roest, W. R., Verhoef, J., and Pilkington, M., 1992, Magnetic interpretation using 3-D analytic signal. *Geophysics*, **57**, 116-125.

Salem, A., and Ravat, D., 2003, A combined analytic signal and Euler method (AN-EUL) for automatic interpretation of magnetic data. *Geophysics*, **68**, 1952-1961.

Thompson, D. T., 1982, "EULDPH"-a new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data. *Geophysics*, **47**, 31-37.

## منابع

سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور، نقشه

خرم‌آباد، سال ۱۳۷۰.  $\frac{1}{250000}$

Bastani, M., and Pedersen, L. B., 2001, Automatic interpretation of magnetic dike parameters using the analytical signal technique: *Geophysics*, **66**, 551-561.

Bilim, F., Ates, A., 2003, Analytic signal inferred reduced to the pole data: *Blaken geophysical Society*, **6**, 66-74

Debeglia, N., and Corpel, J., 1997, Automatic 3-D interpretation of potential field data using analytic signal derivatives. *Geophysics*, **62**, 87-96.

Nabighian, M. N., 1972, The analytic signal of