

برتری روش میانگین متحرک مرتبه سوم نسبت به روش میانگین متحرک مرتبه دوم جهت تخمین شکل و ژرفای بی‌هنجاری‌های مغناطیسی مدفون

محمد فولادی^۱، میرستار مشین‌چی اصل^{۱*}، محمود مهرآموز^۱ و نیما نظافتی^۱

اگره علوم زمین، دانشکده علوم و فناوری‌های همگرا، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران

چکیده

روش‌های ژئوفیزیکی برای مطالعه ویژگی‌های میدان‌های فیزیکی قابل انتشار ناشی از بی‌هنجاری‌های داخل زمین بنیان نهاده شده‌اند. در مطالعات ژئوفیزیکی معمولاً هدف آشکارسازی ناهمگنی‌های داخل زمین با استفاده از کمیت‌های فیزیکی اندازه‌گیری شده در سطح زمین است. ژئوفیزیک می‌کوشد ساختمان داخلی زمین و ویژگی‌های آن را با استفاده از چنین داده‌هایی بازسازی کند. تحقیق حاضر که به روش میانگین متحرک مرتبه سوم معروف است، حل یک مسئله وارون برای برآورد همزمان شکل و ژرفای بی‌هنجاری‌های مغناطیسی باقی‌مانده می‌باشد که با مدل‌سازی مصنوعی بر روی اشکال هندسی مختلف کارایی این روش را نسبت به روش میانگین متحرک مرتبه دوم نشان می‌دهد. همچنین عملکرد این روش با نمونه‌ای از عملیات برداشت صحرایی در سایت ژئوفیزیک سازمان زمین‌شناسی اعتبارسنجی می‌شود. این روش، یک رابطه غیرخطی بین ژرفا و فاکتور شکل بی‌هنجاری با طول پنجره‌های متوالی در هفت نقطه محاسبه می‌کند. نتایج نشان داد، با توجه به تعداد جملات ریاضی بیشتر، برای داده‌های بدون نوفه بسیار دقیق و برای داده‌های نوفه‌ای با درصد خطای کمتر و آستانه نوفه بالاتر، از دقت بیشتری نسبت به روش میانگین متحرک مرتبه دوم برخوردار است. همچنین این روش برای داده‌های مغناطیسی واقعی نیز تطابق خوبی (۵ درصد خطای برآورد ژرفا) از خود نشان داد.

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۱۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۴/۰۱

کلیدواژه‌ها:

میانگین متحرک مرتبه سوم

میانگین متحرک مرتبه دوم

بی‌هنجاری مغناطیسی باقی‌مانده

ژرفا

شکل

۱- پیش‌نوشتار

برآورد همزمان ژرفا و شکل ساختار مدفون از طریق داده‌های مغناطیسی توجه بسیاری را به خود جلب کرده است به گونه‌ای که می‌توان این موضوع را به دو گروه تقسیم‌بندی کرد. در گروه اول، این روش فقط برای بی‌هنجاری‌های مغناطیسی باقیمانده کاربرد دارد (Barbosa et al., 1999; Hsu, 2002; Gerovska and Arauzo-Bravo, 2003; Salem et al., 2004; Abdelrahman et al., 2005; Abdelrahman et al., 2012). گفتنی است که دقت نتایج به دست آمده توسط این روش‌ها به دقت جداسازی بی‌هنجاری‌های مغناطیسی باقیمانده از داده‌های مغناطیسی مشاهده شده بستگی دارد. در گروه دوم، این روش‌ها می‌تواند هم برای بی‌هنجاری‌های مغناطیسی باقیمانده و هم برای داده‌های مغناطیسی مشاهده شده به کار رود که از آن جمله افرادی که در این زمینه فعالیت نموده‌اند، عبدالرحمان و همکاران (Abdelrahman et al., 2000) بودند که روش ساده برای تعیین همزمان شکل و ژرفای ساختار مدفون را از داده‌های مغناطیسی با استفاده از یک رابطه پارامتریک پیشنهاد کردند. روش‌های گوناگون هندسی به دلیل ساده بودن مدل‌ها (کره‌ها، استوانه‌ها، دایک‌ها و ساختارهای زمین‌شناسی) برای تفسیر داده‌های مغناطیسی بیان شده است (Gay, 1963; Radhakrishna, 1967; Stanley, 1977; Atchuta Roa et al., 1980; Prakasa Rao et al., 1986; Prakasa Rao et al., 1988). با این حال، هیچ یک از مقالات یادشده در مورد دقت و اعتبار این مدل‌ها در برخورد با داده‌های نوفه‌ای در هنگام اندازه‌گیری بحث نمی‌کنند. روش‌های عددی بسیاری

برای تعیین ژرفا از داده‌های مغناطیسی مطرح شده است که از جمله روش‌هایی که بیشتر استفاده می‌شود، می‌توان به روش دیکانولوشن ورنر (Werner, 1953; Thompson, 1982) و روش اوپلر (Hartman et al., 1971; Jain, 1976) اشاره کرد. در این روش‌ها، برای برآورد ژرفای بی‌هنجاری از سیستم معادلات خطی استفاده می‌شود. با این حال این روش‌ها به نوفه بسیار حساس می‌باشند به طوری که با افزایش نوفه، هر دو عامل، دامنه بی‌هنجاری و تعیین مشتق‌های افقی و عمودی دچار خطا خواهند شد (Steenland, 1968). عبدالرحمان و عیسی (Abdelrahman and Essa, 2015) روابط جدیدی ارائه دادند که توصیف بی‌هنجاری مغناطیسی تولید شده با ساختارهای زمین‌شناختی مختلف را نمایش می‌دهد. آنها با استفاده از این روابط، روش منحنی‌های پنجره را توسعه دادند تا به طور همزمان شکل و ژرفای بی‌هنجاری مدفون را به دست آورند. آنها برآورد همزمان شکل و ژرفای بی‌هنجاری مدفون را با استفاده از داده‌های مغناطیسی مبتنی بر روش مشتق دوم افقی و با اعمال طول‌های پنجره متوالی تعیین نمودند. عبدالرحمان و همکاران (Abdelrahman et al., 2016) یک روش عددی ارائه دادند تا به طور خودکار ژرفا و شکل ساختار مدفون را به وسیله بی‌هنجاری باقیمانده میانگین متحرک مرتبه دوم به دست آمده از داده مغناطیسی با فیلترهای طول‌های پنجره متوالی را محاسبه نمایند که این روش نیز دارای محدودیت‌هایی در نوفه‌های بالا دارد. پنگفی و همکاران

مغناطیسی با شکل‌های هندسی ساده معمول‌ترین روش تفسیر است. محاسبه همزمان ژرفا و شکل بی‌هنجاری مغناطیس باقیمانده با استفاده از روش میانگین متحرک مرتبه سوم، روشی است که رابطه غیرخطی بین ژرفا و فاکتور شکل بی‌هنجاری را با طول پنجره‌های متوالی محاسبه می‌کند. بنابراین برای رسیدن به این هدف، ابتدا باید روابط ریاضی روش میانگین متحرک مرتبه دوم با پنج نقطه مرور شود و سپس روابط ریاضی فاکتور شکل و ژرفای بی‌هنجاری مغناطیس باقیمانده به روش میانگین متحرک مرتبه سوم با هفت نقطه محاسبه و اثبات شود.

جملات بی‌هنجاری مغناطیسی افقی، عمودی و شدت کل مدل‌های کروی، استوانه افقی، صفحه باریک و محل‌های تماس زمین‌شناختی با توجه به رابطه ۱ تعریف می‌شوند (Abdelrahman et al., 2016). شکل ۱، شکل‌های هندسی مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهد.

$$T(x_i, z) = K \frac{Az^2 + Bx_i + Cx_i^2}{(x_i^2 + z^2)^q} \quad (1)$$

$$A = \begin{cases} -\cos \theta \\ \cos \theta / z \end{cases}, B = \begin{cases} -3z \sin \theta \\ -\sin \theta \end{cases}, C = \begin{cases} 2 \cos \theta \\ 0 \end{cases}$$

For a sphere (horizontal field)

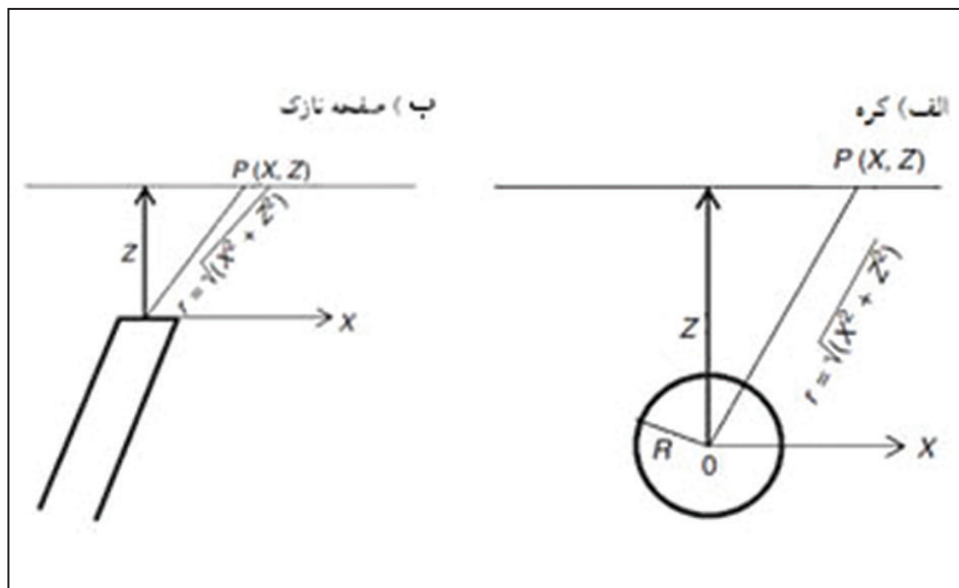
For a thin sheet, geological contact (FHD) (all fields)

(Pengfei et al., 2017) روش تیل-ژرفا (Tilt-depth) را معرفی کردند که به‌طور گسترده برای تعیین ژرفای منبع بی‌هنجاری مغناطیسی استفاده می‌شود. آنها این روش را برای داده‌های مغناطیسی و گرانشی بر اساس مدل کره استفاده می‌کنند و معادله یکسانی را برای بی‌هنجاری گرانشی با بی‌هنجاری مغناطیسی به‌دست می‌آورند. عیسی و همکاران (Essa et al., 2018) الگوریتمی جدید برای برآورد پارامترهایی را نشان دادند که ابعاد منبع را از داده‌های بی‌هنجاری مغناطیسی به روش PSO به‌دست می‌آورد. عیسی و همکاران (Essa et al., 2019) روش PSO را برای تعیین ژرفا با استفاده از بی‌هنجاری‌های باقی‌مانده مغناطیسی میانگین متحرک دوم ارتقا دادند. این روش برای حذف تأثیر میدان منطقه‌ای تا چند جمله‌ای مرتبه سوم با استفاده از فیلترهای طول پنجره متوالی استفاده می‌کند. برای این که بتوان مشکل روش‌های یادشده شده در بالا را مرتفع کرد، پژوهش حاضر روش میانگین متحرک مرتبه سوم را بر روی بی‌هنجاری‌های مغناطیسی باقیمانده ارائه خواهد داد.

۲- روش تحقیق

۲-۱. مدل‌سازی پیشرو

استفاده و کاربرد ابزارهای ریاضی در ژئوفیزیک برای تفسیر داده‌ها به سه دهه اخیر برمی‌گردد. جداسازی اثرهای منطقه‌ای- باقیمانده در روش‌های مغناطیسی بسیار مشکل است و بیشتر حتی به آن مبادرت نمی‌شود. تطبیق بی‌هنجاری‌های میدان



شکل ۱- ساختارهای هندسی ساده (Abdelrahman et al., 2016).

$$z_3(x_i) = \frac{R_2(x_i - s) + R_2(x_i + s)}{2}, \text{ for } s = 1, 2, \dots, N \quad (5)$$

حال پنج نقطه مشاهده‌ای $x_1-s, x_1, x_1+s, x_1-2s, x_1+2s$ در طول نیمرخ بی‌هنجاری برای روش میانگین متحرک مرتبه دوم و هفت نقطه مشاهده‌ای $x_1-s, x_1, x_1+s, x_1-2s, x_1+2s, x_1-3s, x_1+3s$ در طول نیمرخ بی‌هنجاری برای روش میانگین متحرک مرتبه سوم، در نظر گرفته می‌شود. به طوری که $s=1, 2, 3, \dots, M$ واحد فاصله که طول پنجره یا شبکه و R_1 و R_2 به ترتیب بی‌هنجاری مغناطیسی باقیمانده میانگین متحرک مرتبه اول و بی‌هنجاری مغناطیسی باقیمانده میانگین متحرک مرتبه دوم نامیده می‌شود. با استفاده از رابطه‌های ۱، ۴ و ۵ ژرفای بی‌هنجاری مغناطیسی باقیمانده میانگین متحرک مرتبه دوم و میانگین متحرک مرتبه سوم به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$z_2(x_i) = \frac{K}{2} \left[\frac{Az^2 + B(x_i - s) + C(x_i - s)^2}{((x_i - s)^2 + z^2)^q} - \frac{1}{2} \frac{Az^2 + B(x_i - 2s) + C(x_i - 2s)^2}{((x_i - 2s)^2 + z^2)^q} - \frac{1}{2} \frac{Az^2 + Bx_i + Cx_i^2}{(x_i^2 + z^2)^q} + \frac{Az^2 + B(x_i + s) + C(x_i + s)^2}{((x_i + s)^2 + z^2)^q} - \frac{1}{2} \frac{Az^2 + B(x_i + 2s) + C(x_i + 2s)^2}{((x_i + 2s)^2 + z^2)^q} - \frac{1}{2} \frac{Az^2 + Bx_i + Cx_i^2}{(x_i^2 + z^2)^q} \right] \quad (6)$$

در رابطه ۱، z ژرفای تا مرکز بی‌هنجاری، x_i مختصات مکان داده برداری، K ضریب دامنه نوسان، θ پارامتر زاویه میل و q فاکتور شکل می‌باشند. برای مثال، فاکتور شکل برای کره و صفحه باریک به ترتیب ۲/۵ و ۱ است. این مقادیر به ترتیب معادل با ضریب ساختاری اوپلر ۳ و ۱ هستند. همچنین FHD اشاره به مشتق‌های افقی مرتبه اول بی‌هنجاری مغناطیسی دارد. تعریف زاویه میل θ برای مؤلفه‌های میدان‌های مختلف و چشمه‌های گوناگون، فرق می‌کند (Gay, 1963; Stanley, 1977; Prakasa Rao et al., 1986; Prakasa Rao and Subrahmanyam, 1988).

بی‌هنجاری مغناطیسی باقیمانده میانگین متحرک مرتبه دوم و میانگین متحرک مرتبه سوم به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$R_2(x_i, z, q, s) = R_1(x_i) - z_2(x_i) \quad (2)$$

$$R_3(x_i, z, q, s) = R_2(x_i) - z_3(x_i) \quad (3)$$

که در آن:

$$z_2(x_i) = \frac{R_1(x_i - s) + R_1(x_i + s)}{2}, \text{ for } s = 1, 2, \dots, M \quad (4)$$

$$R_3(+2s) - R_3(-2s) = \frac{KBs}{4} \left\{ \frac{40}{(4s^2 + z^2)^q} - \frac{14}{(s^2 + z^2)^q} - \frac{45}{(9s^2 + z^2)^q} \right. \\ \left. + \frac{24}{(16s^2 + z^2)^q} - \frac{5}{(25s^2 + z^2)^q} \right\}$$

$$R_3(+3s) - R_3(-3s) = \frac{3KBs}{2} \left\{ -\frac{5}{(4s^2 + z^2)^q} + \frac{1}{(s^2 + z^2)^q} + \frac{10}{(9s^2 + z^2)^q} \right. \\ \left. - \frac{10}{(16s^2 + z^2)^q} + \frac{6}{(25s^2 + z^2)^q} - \frac{1}{(36s^2 + z^2)^q} \right\}$$

$$z = \left[\left[\frac{8}{\frac{5}{(s^2 + z^2)^q} + \frac{3}{(3s^2 + z^2)^q} + \frac{12F}{(4s^2 + z^2)^q} + \frac{4F}{(s^2 + z^2)^q} + \frac{12F}{(9s^2 + z^2)^q} - \frac{4F}{(16s^2 + z^2)^q}} \right] \right]^{1/q} - 4s^2 \quad (10)$$

$$z = \left\{ \left(\frac{40}{A+B} \right)^{1/q} - 4s^2 \right\}^{1/2} \quad (11)$$

به طوری که:

$$A = \left\{ -\frac{30E}{(4s^2 + z^2)^q} + \frac{6E}{(s^2 + z^2)^q} + \frac{60E}{(9s^2 + z^2)^q} - \frac{60E}{(16s^2 + z^2)^q} + \frac{36E}{(25s^2 + z^2)^q} - \frac{6E}{(36s^2 + z^2)^q} \right\}$$

$$B = \frac{14}{(s^2 + z^2)^q} + \frac{45}{(9s^2 + z^2)^q} - \frac{24}{(16s^2 + z^2)^q} + \frac{5}{(25s^2 + z^2)^q}$$

رابطه ۱۰ و ۱۱ به ترتیب برآورد ژرفا برای روش میانگین متحرک مرتبه دوم و روش میانگین متحرک مرتبه سوم می باشد که رابطه غیرخطی بین ژرفا و فاکتور شکل بی هنجاری را با طول پنجره های متوالی به ترتیب در پنج و هفت نقطه محاسبه می کند. این روش بر پایه محاسبه انحراف معیار ژرفاهای تعیین شده از تمام بی هنجاری های مغناطیسی باقیمانده برای هر مقدار فاکتور شکل استوار است. انحراف معیار به عنوان یک فاکتور برای برآورد ژرفا و شکل صحیح ساختار مدفون به کار می رود. اگر فاکتور شکل نسبتاً دقیق برآورد شود، انحراف معیار ژرفاها کمتر از انحراف معیاری است که فاکتور شکل غیر صحیح به کار رود. تفاوت این روش با دیگر روش های استاندارد گفته شده از جمله اوپلر و دی کانولوشن ورنر در این است که در این روش ها، برای تعیین ژرفای بی هنجاری از سیستم معادلات خطی استفاده می شود که هم در دقت دامنه بی هنجاری و هم تعیین مشتق های افقی و عمودی در حضور نوفه دارای خطا هستند. در این نوشتار در مدل سازی مصنوعی برای داده های نوفه ای از رابطه ۱۲ استفاده شده است که در این رابطه، $T_{noise}(x_i)$ میدان مغناطیسی نوفه دار در نقطه x_i ، M یک عدد ثابت که دامنه و بزرگی نوفه را تعیین می کند و RAN یک عدد تصادفی بین صفر و یک است. طول نیمرخ داده برداری، ۱۰۰ متر و فاصله نقاط اندازه گیری یک متر است.

$$T_{noise}(x_i) = T(x_i) + M(RAN(i) - 0.5) \quad (12)$$

برای تعیین شکل چشمه بی هنجاری به روش میانگین متحرک مرتبه سوم، برای هر طول پنجره، ابتدا برآورد ژرفا با فاکتورهای شکل مختلف صورت می پذیرد و سپس

$$z_3(x_i) = \frac{K}{8} \left\{ 7 \frac{Az^2 + B(x_i - s) + C(x_i - s)^2}{((x_i - s)^2 + z^2)^q} - 4 \frac{Az^2 + B(x_i - 2s) + C(x_i - 2s)^2}{((x_i - 2s)^2 + z^2)^q} \right. \\ \left. - 8 \frac{Az^2 + Bx_i + Cx_i^2}{(x_i^2 + z^2)^q} + \frac{Az^2 + B(x_i - 3s) + C(x_i - 3s)^2}{((x_i - 3s)^2 + z^2)^q} \right. \\ \left. + 7 \frac{Az^2 + B(x_i + s) + C(x_i + s)^2}{((x_i + s)^2 + z^2)^q} - 4 \frac{Az^2 + B(x_i + 2s) + C(x_i + 2s)^2}{((x_i + 2s)^2 + z^2)^q} \right. \\ \left. + \frac{Az^2 + B(x_i + 3s) + C(x_i + 3s)^2}{((x_i + 3s)^2 + z^2)^q} \right\} \quad (V)$$

حال با استفاده از روابط ۲ و ۳، بی هنجاری مغناطیسی باقیمانده میانگین متحرک مرتبه دوم و میانگین متحرک مرتبه سوم به صورت زیر قابل محاسبه می باشد (Abdelrahman et al., 2016).

(۸)

$$R_2(x_i, z, q, s) = \frac{K}{4} \left\{ 6 \frac{Az^2 + Bx_i + Cx_i^2}{(x_i^2 + z^2)^q} - 4 \frac{Az^2 + B(x_i - s) + C(x_i - s)^2}{((x_i - s)^2 + z^2)^q} \right. \\ \left. - 4 \frac{Az^2 + B(x_i + s) + C(x_i + s)^2}{((x_i + s)^2 + z^2)^q} + \frac{Az^2 + B(x_i - 2s) + C(x_i - 2s)^2}{((x_i - 2s)^2 + z^2)^q} \right. \\ \left. + \frac{Az^2 + B(x_i + 2s) + C(x_i + 2s)^2}{((x_i + 2s)^2 + z^2)^q} \right\}$$

(۹)

$$R_3(x_i, z, q, s) = \frac{K}{8} \left\{ 20 \frac{Az^2 + Bx_i + Cx_i^2}{(x_i^2 + z^2)^q} - 15 \frac{Az^2 + B(x_i - s) + C(x_i - s)^2}{((x_i - s)^2 + z^2)^q} \right. \\ \left. - 15 \frac{Az^2 + B(x_i + s) + C(x_i + s)^2}{((x_i + s)^2 + z^2)^q} + 6 \frac{Az^2 + B(x_i - 2s) + C(x_i - 2s)^2}{((x_i - 2s)^2 + z^2)^q} \right. \\ \left. + 6 \frac{Az^2 + B(x_i + 2s) + C(x_i + 2s)^2}{((x_i + 2s)^2 + z^2)^q} - \frac{Az^2 + B(x_i - 3s) + C(x_i - 3s)^2}{((x_i - 3s)^2 + z^2)^q} \right. \\ \left. - \frac{Az^2 + B(x_i + 3s) + C(x_i + 3s)^2}{((x_i + 3s)^2 + z^2)^q} \right\}$$

حال رابطه ۸ و ۹ را با نقاط $x_i = -s, x_i = +s, x_i = -2s, x_i = +2s, x_i = -3s, x_i = +3s$ محاسبه و در نهایت ژرفای بی هنجاری محاسبه می شود: به طوری که:

$$F = \frac{R_2(+s) - R_2(-s)}{R_2(+2s) - R_2(-2s)}$$

$$R_2(+s) - R_2(-s) = \frac{KBs}{2} \left\{ \frac{5}{(s^2 + z^2)^q} - \frac{8}{(4s^2 + z^2)^q} + \frac{3}{(9s^2 + z^2)^q} \right\}$$

$$R_2(+2s) - R_2(-2s) = 2KBs \left\{ \frac{3}{(4s^2 + z^2)^q} - \frac{1}{(s^2 + z^2)^q} - \frac{3}{(9s^2 + z^2)^q} + \frac{1}{(16s^2 + z^2)^q} \right\}$$

$$E = \frac{R_3(+2s) - R_3(-2s)}{R_3(+3s) - R_3(-3s)}$$

$q=2.5$ ، ضریب دامنه $K=10000\text{ nT}$ ، ژرفا $Z=6\text{ m}$ و طول پنجره $S=3,4,5\text{ m}$ در شکل ۲ قابل نمایش است. در این مدل، بی‌هنجاری منطقه‌ای خطی، برابر $x_i/2+5$ در نظر گرفته شده است. همچنین به داده میدان مغناطیسی باقی‌مانده برای مدل کروی، ۳ درصد نوفه تصادفی اضافه شده است به عبارت دیگر، M در رابطه ۱۲ برابر 3 nT است. میدان مغناطیسی افقی ترکیبی برای مدل کروی با توجه به رابطه ۱ به صورت زیر قابل محاسبه است:

(۱۳)

$$T(x_i) = 10000 \frac{-36 \cos(65^\circ) - 18x_i \sin(65^\circ) + 2x_i^2 \cos(65^\circ)}{(x_i^2 + 36)^{2.5}} + \frac{x_i}{2} + 5$$

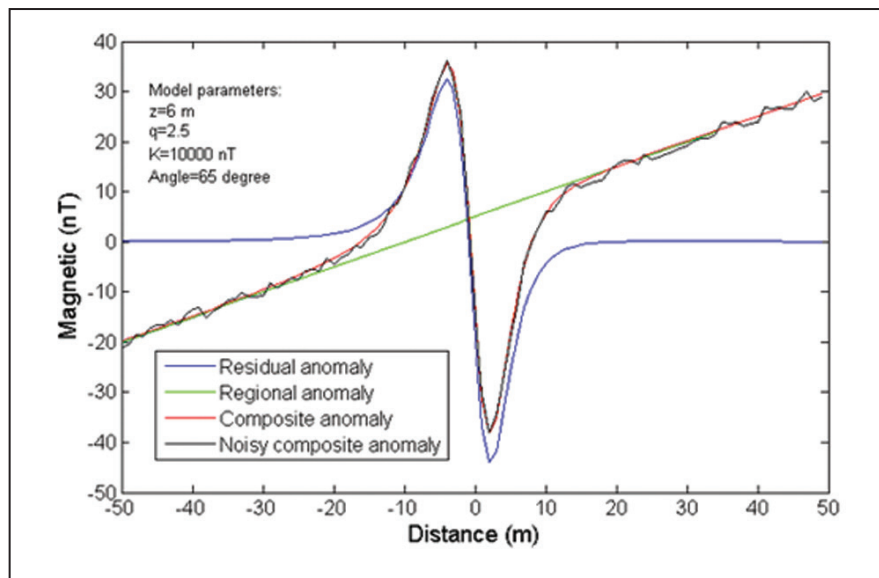
انحراف معیار ژرفاهای برآورد شده، محاسبه می‌شود. از میانگین ژرفاهای به‌دست آمده، ژرفایی که دارای کمترین انحراف معیار باشد، ژرفای چشمه بوده و فاکتور شکل مطابق با این ژرفا و انحراف معیار کمینه، نشانگر شکل چشمه بی‌هنجاری مغناطیسی است.

حال با استفاده از روابط یادشده، توانمندی این روش در تفسیر بی‌هنجاری‌ها با شکل‌های هندسی متفاوت بر روی مدل‌های مصنوعی با استفاده از نرم‌افزار برنامه‌نویسی Matlab مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲-۲. مدل‌سازی مصنوعی

۲-۲-۱. میدان مغناطیسی افقی مدل کروی

میدان مغناطیسی افقی یک مدل کروی با زاویه میل مغناطیسی $\theta=65^\circ$ ، فاکتور شکل



شکل ۲- میدان مغناطیسی افقی یک مدل کروی با زاویه میل مغناطیسی $\theta=65^\circ$ ، فاکتور شکل $q=2.5$ ، ضریب دامنه $K=10000\text{ nT}$ ، در ژرفای $Z=6\text{ m}$ و با اثر میدان منطقه‌ای خطی.

برآورد ژرفای میانگین برای این دو روش برای داده بدون نوفه به ترتیب ۰/۷ و صفر درصد و برای داده نوفه‌دار به ترتیب ۱۱ و ۰/۸۳ درصد است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، روش میانگین متحرک مرتبه سوم برای داده‌های بدون نوفه بسیار دقیق و برای داده‌های نوفه‌ای با درصد خطای کمتری نسبت به روش میانگین متحرک مرتبه دوم برای میدان مغناطیسی افقی مدل کروی برخوردار است.

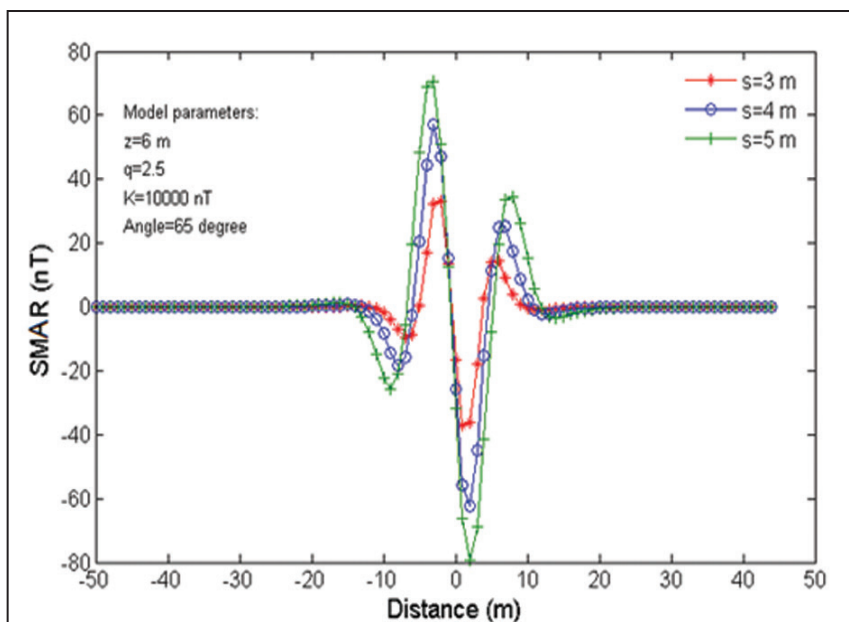
۲-۲-۲. میدان مغناطیسی مدل صفحه نازک

بی‌هنجاری مغناطیسی باقیمانده در شکل ۷، اثر میدان مغناطیسی یک مدل صفحه نازک با زاویه میل مغناطیسی $\theta=50^\circ$ ، فاکتور شکل $q=1$ و ضریب دامنه $K=8500\text{ nT}$ که در ژرفای $Z=7\text{ m}$ متر واقع شده است، می‌باشد. بی‌هنجاری منطقه‌ای در این مدل، چند جمله‌ای درجه دو $0.06x^2 - x + 20$ در نظر گرفته شده است. به همین دلیل میدان مغناطیسی منطقه‌ای در شکل ۷ به صورت یک سهمی سبز رنگ دیده می‌شود. میدان مغناطیسی ترکیبی برای مدل صفحه نازک (منحنی قرمز رنگ) با توجه به رابطه ۱ به صورت رابطه ۱۴، قابل محاسبه است:

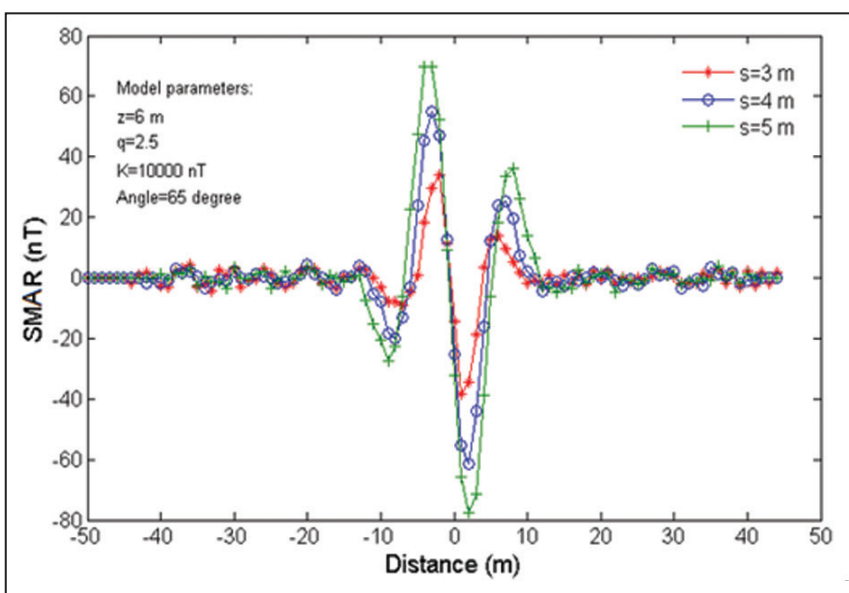
(۱۴)

$$T(x_i) = 8500 \frac{7 \cos(50^\circ) - x_i \sin(50^\circ)}{(x_i^2 + 49)^2} + 0.06x_i^2 - x_i + 20$$

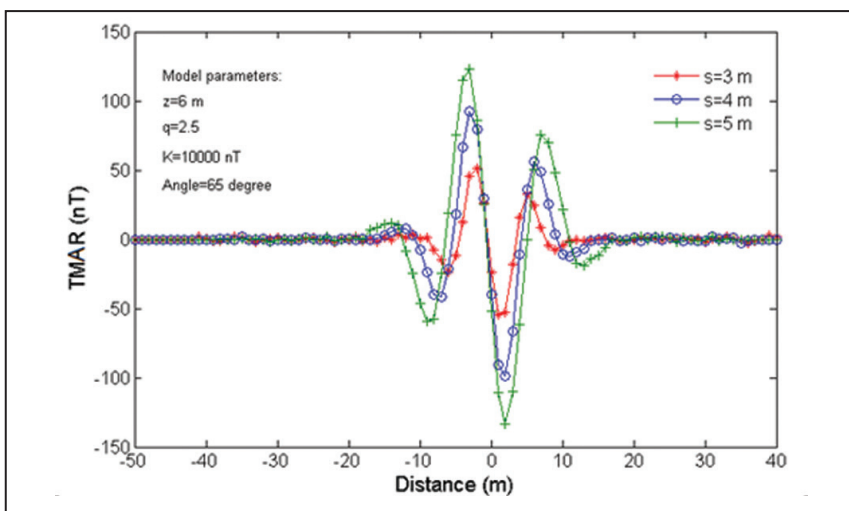
مطابق شکل ۲، میدان مغناطیسی منطقه‌ای با یک خط صاف سبز رنگ شیب‌دار، میدان مغناطیسی افقی ترکیبی برای مدل کروی با منحنی قرمز رنگ و میدان مغناطیسی ترکیبی نوفه‌دار با منحنی سیاه رنگ نشان داده شده است. همچنین مقادیر میانگین متحرک مرتبه دوم و میانگین متحرک مرتبه سوم میدان مغناطیسی ترکیبی بدون نوفه و نوفه‌دار به ترتیب در شکل‌های ۳، ۴، ۵ و ۶ قابل مشاهده می‌باشند. با توجه به مدل هندسی، ژرفای چشمه برای فاکتورهای شکل مختلف محاسبه گردیده که نتایج مقادیر ژرفایی محاسبه شده با طول پنجره‌های $S=3,4,5\text{ m}$ در جدول ۱ نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، کمترین انحراف معیار برای ژرفاهای برآورد شده با طول پنجره‌های مختلف بر اساس فاکتور شکل ۲/۵ برای داده مغناطیسی نوفه‌دار و بدون نوفه حاصل شده است. بنابراین بر اساس تحلیل میانگین متحرک مرتبه سوم، ژرفای میانگین چشمه بی‌هنجاری برای داده مغناطیسی بدون نوفه و نوفه‌دار به ترتیب ۶ متر و ۶/۰۵ متر به دست آمده است. اما مقدار ژرفاهای برای روش میانگین متحرک مرتبه دوم میدان مغناطیسی ترکیبی بدون نوفه و نوفه‌دار نیز محاسبه و نتایج ژرفایی به‌دست آمده از آن با روش میانگین متحرک مرتبه سوم با در نظر گرفتن فاکتور شکل ($q=2.5$) در جدول ۲، آورده شده است. با توجه به جدول ۲، ژرفای میانگین به دست آمده با روش‌های میانگین متحرک مرتبه دوم و میانگین متحرک مرتبه سوم برای داده مغناطیسی بدون نوفه به ترتیب ۶/۰۴ متر و ۶ متر و برای داده مغناطیسی نوفه‌دار به ترتیب ۵/۳۴ متر و ۶/۰۵ متر است که خطای



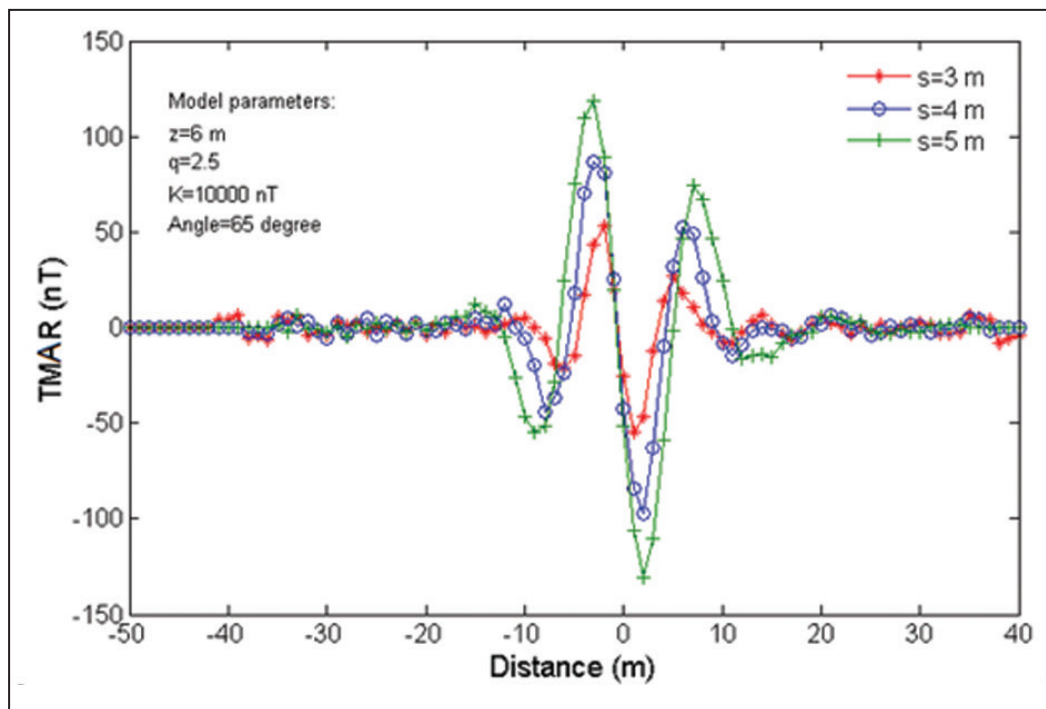
شکل ۳- مقادیر میانگین متحرک مرتبه دوم میدان مغناطیسی ترکیبی بدون نوفه.



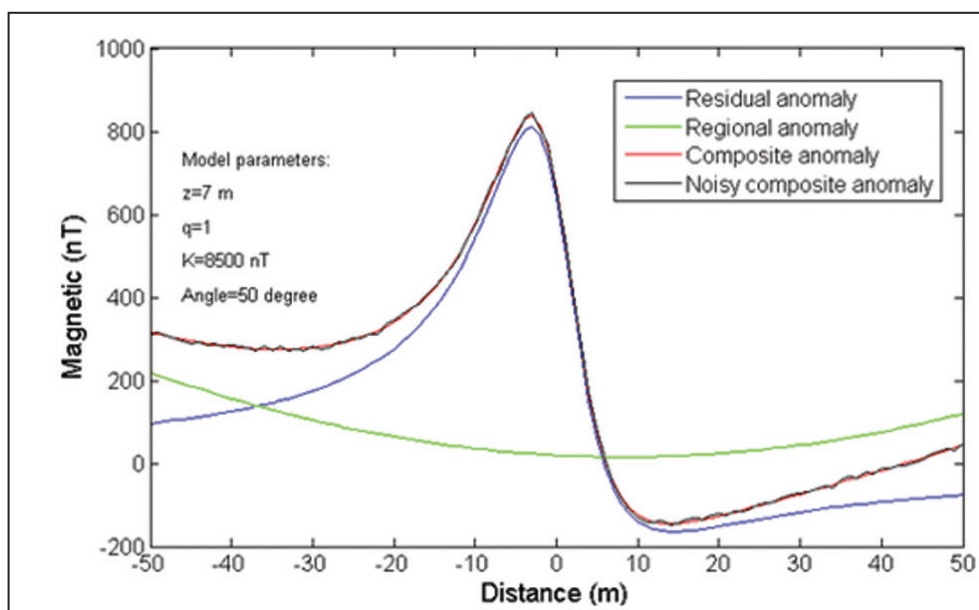
شکل ۴- مقادیر میانگین متحرک مرتبه دوم میدان مغناطیسی ترکیبی نوفه دار.



شکل ۵- مقادیر میانگین متحرک مرتبه سوم میدان مغناطیسی ترکیبی بدون نوفه.



شکل ۶- مقادیر میانگین متحرک مرتبه سوم میدان مغناطیسی ترکیبی نوفه دار.



شکل ۷- میدان مغناطیسی یک مدل صفحه نازک با زاویه میل مغناطیسی $\theta=50^\circ$ ، فاکتور شکل $q=1$ ، ضریب دامنه $K=8500\text{ nT}$ ، در ژرفای $Z=7\text{ m}$ و اثر میدان منطقه‌ای درجه دو.

جدول ۱- مقادیر ژرفایی محاسبه شده میدان مغناطیسی افقی یک کره با روش میانگین متحرک مرتبه سوم برای فاکتورهای شکل مختلف با طول پنجره‌های $S = 3,4,5m$ (نزدیک‌ترین ژرفا به ژرفای مفروض پررنگ نشان داده شده است).

فاکتور شکل	$S=3$	$S=4$	$S=5$	میانگین m	انحراف معیار m
۱/۶	بدون نوفه	۵/۱۳	۵/۲۲	۴/۷۳	۵/۰۳
	با نوفه	۴/۷۵	۴/۹	۴/۶۱	۴/۱۴۵
۱/۸	بدون نوفه	۵/۳۲	۵/۴۶	۴/۸۶	۵/۲۱
	با نوفه	۵/۱	۵/۱۶	۴/۸۶	۵/۰۴
۲	بدون نوفه	۵/۴۷	۵/۶	۵/۰۹	۵/۳۹
	با نوفه	۵/۳۱	۵/۳۴	۵/۰۴	۵/۲۳
۲/۲	بدون نوفه	۵/۶۳	۵/۷۵	۵/۲۷	۵/۵۵
	با نوفه	۵/۴۹	۵/۵۵	۵/۲۲	۵/۴۲
۲/۴	بدون نوفه	۵/۸۴	۵/۹۶	۵/۵۳	۵/۷۸
	با نوفه	۵/۶۲	۵/۷۶	۵/۳۷	۵/۵۸
۲/۵	بدون نوفه	۶	۶	۶	۶
	با نوفه	۵/۹۲	۶/۰۷	۶/۱۵	۶/۰۵
۲/۶	بدون نوفه	۶/۰۵۴	۶/۲۳	۵/۶۷	۵/۹۸
	با نوفه	۶/۱	۶/۳۵	۶/۴۷	۶/۳۱
۲/۸	بدون نوفه	۶/۱۸	۶/۴۱	۵/۷۴	۶/۱۱
	با نوفه	۶/۲۳	۶/۵۲	۶/۶۴	۶/۴۶
۳	بدون نوفه	۶/۳۵	۶/۵۲	۵/۵۹	۶/۱۵
	با نوفه	۶/۴۶	۶/۷۷	۶/۹۳	۶/۷۲

جدول ۲- مقادیر ژرفایی محاسبه شده به روش میانگین متحرک برای میدان مغناطیسی ترکیبی بدون نوفه و نوفه‌دار.

طول پنجره S (متر)	ژرفای محاسبه شده با روش میانگین متحرک مرتبه دوم				ژرفای محاسبه شده با روش میانگین متحرک مرتبه سوم			
	بدون نوفه	درصد خطا	با نوفه	درصد خطا	بدون نوفه	درصد خطا	با نوفه	درصد خطا
۳	۶	۰	۶/۸۱	۱۳/۵	۶	۰	۵/۹۲	۱/۳
۴	۶/۰۷	۱/۱۷	۵/۴۹	۸/۵	۶	۰	۶/۰۷	۱/۱۷
۵	۶/۰۵	۰/۸۳	۳/۷۲	۳۸	۶	۰	۶/۱۵	۲/۵
میانگین (متر)	۶/۰۴	۰/۷	۵/۳۴	۱۱	۶	۰	۶/۰۵	۰/۸۳

و نوفه‌دار به ترتیب در شکل‌های ۸، ۹، ۱۰ و ۱۱ برای چهار طول پنجره $S=2,3,4,5m$ نشان داده شده‌اند. همچنین مقدار ژرفا برای روش میانگین متحرک مرتبه سوم میدان مغناطیسی ترکیبی بدون نوفه و نوفه‌دار برای طول پنجره‌های $S=2,3,4,5m$ محاسبه (جدول ۳) و نتایج آن برای روش میانگین متحرک مرتبه دوم با در نظر گرفتن فاکتور شکل $q=1$ در جدول ۴ آورده شده‌اند.

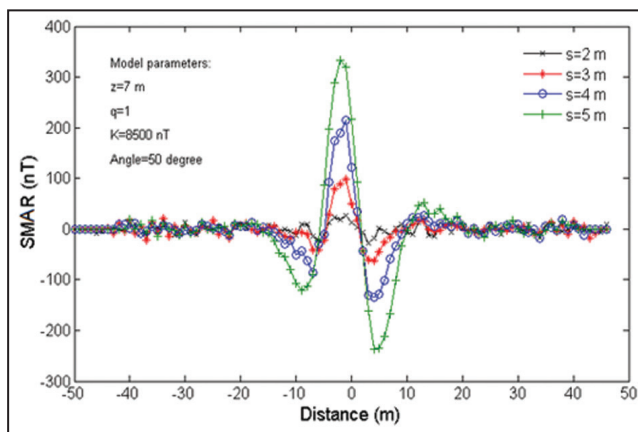
همان‌طور که در جدول ۳ دیده می‌شود، کمترین انحراف معیار برای ژرفاهای برآورد شده با طول پنجره‌های مختلف بر اساس فاکتور شکل ۱ برای داده

لازم به یادآوری است که، همانند بخش پیشین، در این بخش نیز به داده میدان مغناطیسی باقیمانده، نوفه تصادفی اعمال شده است که مقدار آن برای مدل صفحه نازک، معادل ۱۵ درصد فرض شده است. (مقدار M در رابطه ۱۲ برابر $15nT$ است). منحنی سیاه رنگ در شکل ۷، میدان مغناطیسی ترکیبی نوفه‌دار را نشان می‌دهد. میدان مغناطیسی صفحه نازک ترکیب شده با میدان منطقه‌ای با چهار طول پنجره $S=2,3,4,5m$ مورد تحلیل قرار گرفته است. منحنی‌های روش‌های میانگین متحرک مرتبه دوم و میانگین متحرک مرتبه سوم میدان مغناطیسی ترکیبی بدون نوفه

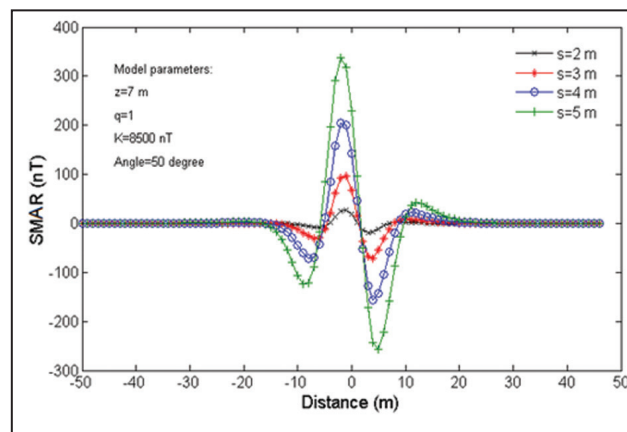
نوفه ۷ متر و برای داده مغناطیسی نوفه‌دار به ترتیب ۷/۵۴ متر و ۷/۳۱ متر است که خطای برآورد ژرفای میانگین برای این دو روش برای داده بدون نوفه صفر درصد و برای داده نوفه‌دار به ترتیب ۷/۷ و ۴/۴۳ درصد است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، برای میدان مغناطیسی صفحه نازک نیز روش میانگین متحرک مرتبه سوم برای داده‌های بدون نوفه بسیار دقیق و برای داده‌های نوفه‌ای با درصد خطای کمتری نسبت به روش میانگین متحرک مرتبه دوم برخوردار است.

مغناطیسی بدون نوفه و بر اساس فاکتور شکل ۰/۹ برای داده مغناطیسی نوفه‌دار حاصل شده است. بنابراین بر اساس تحلیل میانگین متحرک مرتبه سوم، ژرفای میانگین چشمه بی‌هنجاری برای داده مغناطیسی بدون نوفه ۷ متر و برای داده نوفه‌دار ۷/۰۵ متر به دست آمده است.

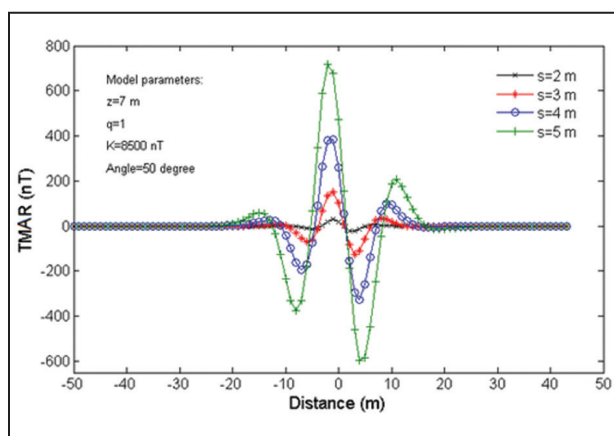
با توجه به جدول ۴، ژرفای میانگین به دست آمده با روش‌های میانگین متحرک مرتبه دوم و میانگین متحرک مرتبه سوم برای داده مغناطیسی بدون



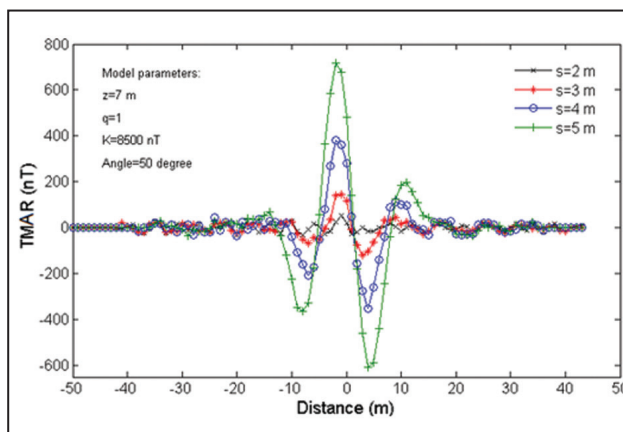
شکل ۹- مقادیر میانگین متحرک مرتبه دوم میدان مغناطیسی ترکیبی نوفه‌دار.



شکل ۸- مقادیر میانگین متحرک مرتبه دوم میدان مغناطیسی ترکیبی بدون نوفه.



شکل ۱۰- مقادیر میانگین متحرک مرتبه سوم میدان مغناطیسی ترکیبی بدون نوفه.



شکل ۱۱- مقادیر میانگین متحرک مرتبه سوم میدان مغناطیسی ترکیبی نوفه‌دار.

جدول ۳- مقادیر ژرفایی محاسبه شده یک صفحه نازک با روش میانگین متحرک مرتبه سوم برای فاکتورهای شکل مختلف با طول پنجره های $S=2,3,4,5$ m (نزدیک ترین ژرفا به ژرفای مفروض پررنگ نشان داده شده است).

فاکتور شکل	S=2	S=3	S=4	S=5	میانگین m	انحراف معیار m
۰/۵	بدون نوفه	۶/۴۳	۶/۱۹	۶/۲۱	۶/۳۴	۰/۱۶
	با نوفه	۵/۳۷	۶/۲۴	۴/۹۴	۵/۶۳	۰/۶۴۷
۰/۷	بدون نوفه	۶/۷۲	۶/۶۵	۶/۴۳	۶/۵۸	۰/۱۴
	با نوفه	۶/۷۵	۵/۸۹	۶/۷۳	۵/۵۷	۰/۵۹۸
۰/۸	بدون نوفه	۶/۷۶	۶/۸	۶/۶۲	۶/۹۸	۰/۵۵
	با نوفه	۷/۲۴	۶/۱۶	۷/۱۰۴	۶/۶۲	۰/۶۰۸
۰/۹	بدون نوفه	۶/۸۳	۶/۹۳	۶/۷۵	۶/۸۳	۰/۰۷۶
	با نوفه	۷/۶۲	۶/۴۵	۷/۴۸	۶/۶۵	۰/۵۸۶
۱	بدون نوفه	۷	۷	۷	۷	۰
	با نوفه	۸/۱	۶	۷/۸۴	۷/۳	۰/۹۳۵
۱/۱	بدون نوفه	۷/۱۷	۷/۰۹	۷/۴۳	۷/۲۷	۰/۱۴۷
	با نوفه	۸/۵۷	۶/۲۵	۷/۷۱	۷/۲۶	۰/۹۶۶
۱/۲	بدون نوفه	۷/۲۴	۷/۲۸	۷/۵۶	۷/۴۲	۰/۱۴۵
	با نوفه	۸/۷۲	۷/۳۵	۸/۳۳	۷/۷۹	۰/۹۴۶
۱/۳	بدون نوفه	۷/۳۸	۷/۴	۷/۷۲	۷/۵۸	۰/۱۶۱
	با نوفه	۹/۳۷	۷/۴۲	۸/۹۶	۷/۷۵	۰/۹۳۷
۱/۵	بدون نوفه	۷/۵۷	۷/۶۷	۷/۹۵	۷/۸۲	۰/۱۶۷
	با نوفه	۱۰/۴۶	۸/۰۸	۷/۳۷	۶/۲۷	۸/۰۴۵

جدول ۴- مقادیر ژرفایی محاسبه شده به روش میانگین متحرک برای میدان مغناطیسی ترکیبی بدون نوفه و نوفه دار.

طول پنجره S (متر)	ژرفای محاسبه شده با روش میانگین متحرک مرتبه دوم				ژرفای محاسبه شده با روش میانگین متحرک مرتبه سوم			
	بدون نوفه	درصد خطا	با نوفه	درصد خطا	بدون نوفه	درصد خطا	با نوفه	درصد خطا
۲	۷	۰	۶/۳۲	۹/۷	۷	۰	۸/۱	۱۵/۷
۳	۷	۰	۸/۲۶	۱۸	۷	۰	۶	۱۴/۳
۴	۷	۰	۸/۱	۱۵/۷	۷	۰	۷/۸۴	۱۲
۵	۷	۰	۷/۴۶	۶/۵۷	۷	۰	۷/۳	۴/۲۹
میانگین (متر)	۷	۰	۷/۵۴	۷/۷	۷	۰	۷/۳۱	۴/۴۳

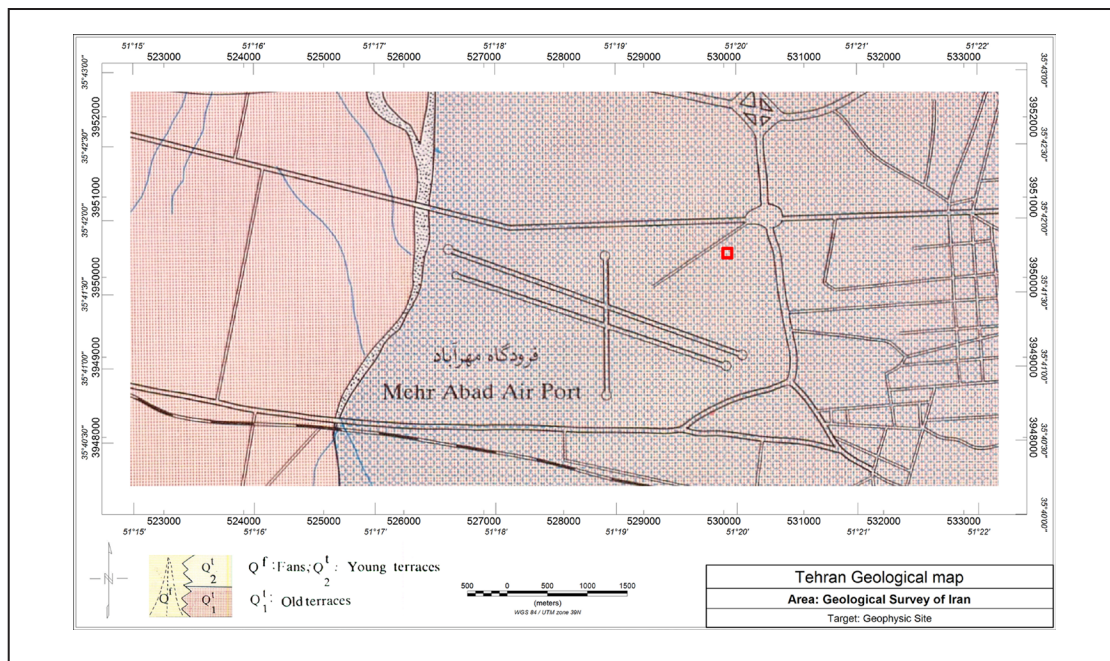
۳-۲. داده واقعی

۳-۲-۱. موقعیت جغرافیایی، زمین شناسی و نحوه پیمایش محدوده بی هنجاری سایت

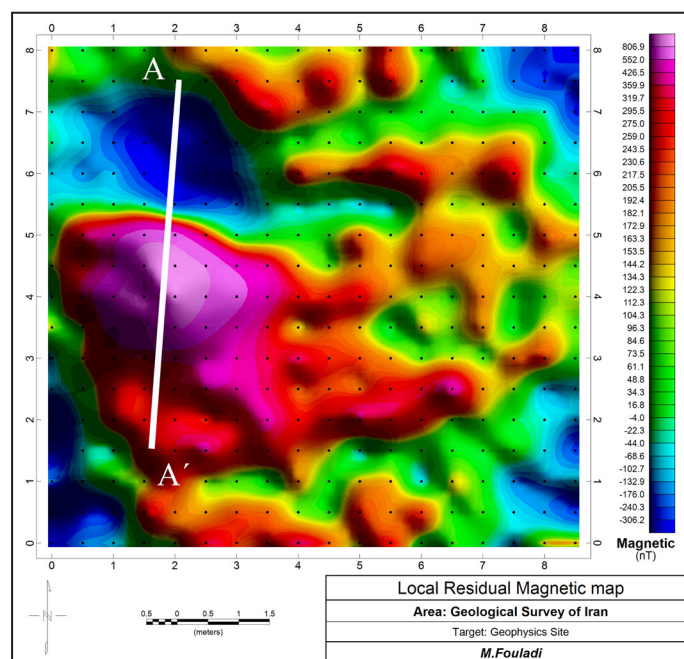
ژئوفیزیک سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور

از نظر موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه در کشور ایران، واقع در استان تهران و سایت تحقیقاتی ژئوفیزیک سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور قرار دارد. اندازه گیری های مغناطیس سنجی محدوده مورد نظر در نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تهران قرار دارد که بیشتر رخنمون واحدهای زمین شناسی در این محدوده، شامل رسوب های آبرفتی پادگانه های رودخانه و مخروط افکنه پای کوه ها است. آنها در محدوده البرز و دشت تهران (محدوده ایران مرکزی) گسترش فراوانی نشان می دهد. شیب لایه های آبرفتی کمتر از ۱۵ درجه بوده و به طور دگرشیب بر روی کنگلومرا و ماسه سنگ سازند هزاردره و یا واحدهای قدیمی تر قرار گرفته است (شکل ۱۲). برداشت داده ها با یک دستگاه صورت گرفته است و از دستگاه دیگری به عنوان

ایستگاه مبنا جهت تصحیح روزانه داده ها استفاده نشده است. در این سایت، فواصل پروفیل ها و ایستگاه ها ۰/۵ متر در گرفته شده است. وسعت برداشت در سایت ژئوفیزیک در ابعاد ۸×۹ متر می باشد که در مجموع ۱۷ نیمرخ و تعداد ۳۲۳ ایستگاه برداشت گردیده است. لازم به توضیح است که، برداشت داده ها در جهت خاور به باختر صورت پذیرفته است. مقدار بیشینه و کمینه میدان مغناطیسی کل به ترتیب ۴۷۰۴۸ و ۴۳۶۴۵ نانوتسلا می باشد. مقادیر با توجه به مدل مرجع ژئومغناطیسی بین المللی در محل انجام برداشت ها عبارت است از: $Inclination=54.66$ ، $Declination=4.82$. در ادامه، به منظور اعمال روش میانگین متحرک مرتبه سوم (جدول ۵)، نقشه میدان مغناطیسی باقی مانده تهیه (شکل ۱۳) و نیمرخ داده برداری را با توجه به زاویه انحراف نشان خواهیم داد.



شکل ۱۲- نقشه زمین شناسی سایت تحقیقاتی ژئوفیزیک سازمان زمین شناسی (مربع قرمز رنگ).

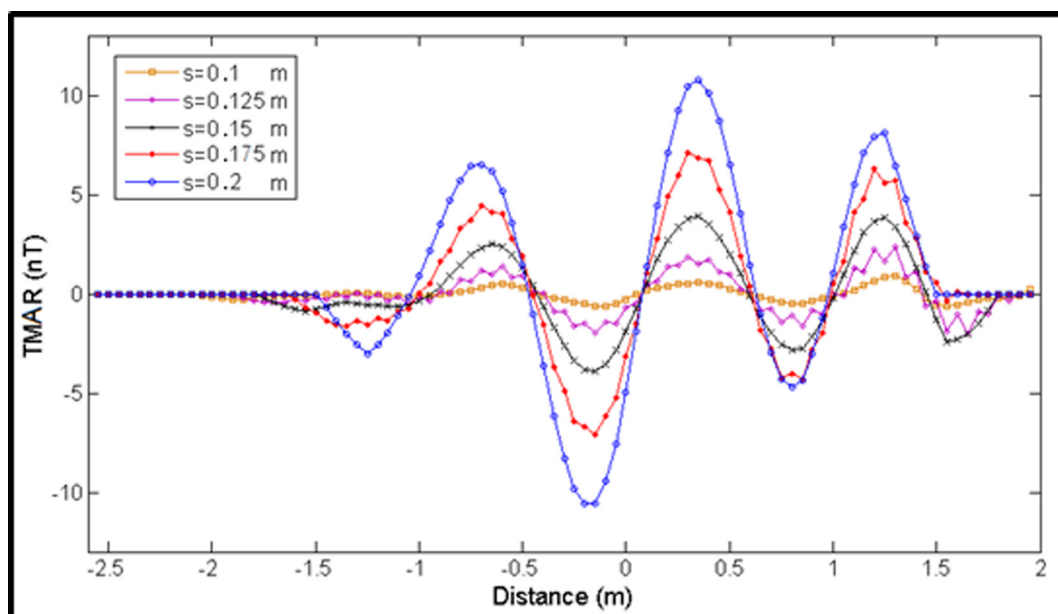


شکل ۱۳- نقشه میدان مغناطیسی باقی مانده سایت ژئوفیزیک سازمان زمین شناسی به همراه موقعیت نیمرخ AA' (مختصات بر حسب UTM).

۲-۳-۲. اعمال روش میانگین متحرک مرتبه سوم

برداشت شده در راستای نیمرخ‌های AA'، ۲۶۴ نقطه می‌باشد. نتایج به دست آمده توسط روش میانگین متحرک مرتبه سوم (جدول ۵) با اطلاعات مدفون در منطقه نیز مورد اعتبارسنجی قرار گرفت که در جدول ۶، نمایش داده شده است. مطابق نتایج، کمترین انحراف معیار با مقدار ۰/۱۳۹۸ متر برای برآورد ژرفاهای صورت گرفته با طول پنجره‌های مختلف برای فاکتور شکل ۲ است. بنابراین بر اساس تحلیل میانگین متحرک مرتبه سوم برای نیمرخ میدان مغناطیسی AA'، شکل توده مولد بی‌هنجاری استوانه افقی بوده و ژرفای حدودی تا مرکز آن برابر ۱/۶۷۶ متر است.

برای تحلیل میدان مغناطیسی با روش میانگین متحرک مرتبه سوم، از روی نقشه میدان مغناطیسی محلی سایت مورد مطالعه، با استفاده از نرم‌افزار ژئوسافت در راستای پروفیل AA' به طول ۶/۶۲۵ متر که دقیقاً از روی مولد بی‌هنجاری عبور و منطبق با زاویه انحراف منطقه می‌باشد، داده برداری با فاصله ۰/۰۵ متر انجام گردید (شکل ۱۴). لازم به یادآوری است که در زمان اجرای برنامه در نرم‌افزار متلب برای برآورد ژرفا، با درون‌یابی فاصله داده‌ها به ۰/۰۲۵ متر کاهش داده شد تا تعداد داده‌ها افزایش یابد و در زمان اجرای برنامه برای طول پنجره‌های بزرگ‌تر بتوان خروجی معقول‌تری به دست آورد. بنابراین تعداد داده‌های



شکل ۱۴- میانگین متحرک مرتبه سوم برای نیمرخ AA'.

جدول ۵- ژرفای میانگین و انحراف معیار محاسبه شده برای طول پنجره‌های مختلف با استفاده از میانگین متحرک مرتبه سوم در طول نیمرخ AA' با طول پنجره‌های $s=0.1, 0.125, 0.15, 0.175, 0.2$.

فاکتور شکل	$s=0.1$	$s=0.125$	$s=0.15$	$s=0.175$	$s=0.2$	میانگین (m)	انحراف معیار (m)
۱/۵	۱/۷۷	۱/۵۱	۱/۴۴	۱/۴۱	۱/۵۵	۱/۵۳۶	۰/۱۴۲۰
۱/۶	۱/۷۹	۱/۵۲۵	۱/۴۷	۱/۴۳	۱/۵۷	۱/۵۵۷	۰/۱۴۰۶
۱/۷	۱/۸۲	۱/۵۴	۱/۴۹	۱/۴۵	۱/۶	۱/۵۸	۰/۱۴۵۴
۱/۸	۱/۸۴	۱/۵۶	۱/۵۱	۱/۴۹	۱/۶۴	۱/۶۰۸	۰/۱۴۲۰
۱/۹	۱/۸۶	۱/۵۹	۱/۵۳	۱/۵۱	۱/۶۷	۱/۶۳۲	۰/۱۴۱۸
۲	۱/۹	۱/۶۳	۱/۵۷۷	۱/۵۵۷	۱/۷۲	۱/۶۷۶	۰/۱۳۹۸
۲/۱	۱/۹۱	۱/۶۴	۱/۵۸	۱/۵۶	۱/۷۳	۱/۶۸۴	۰/۱۴۲۶
۲/۲	۱/۹۳	۱/۶۵	۱/۶	۱/۵۸	۱/۷۷	۱/۷۰۶	۰/۱۴۵۴
۲/۳	۱/۹۵	۱/۶۸	۱/۶۳	۱/۶	۱/۸	۱/۷۳۲	۱/۱۴۳۸
۲/۴	۱/۹۷	۱/۷	۱/۶۴	۱/۶۳	۱/۸۱	۱/۷۵	۰/۱۴۲۳

جدول ۶- مشخصات بی‌هنجاری مدفون سایت سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

نوع بی‌هنجاری	شکل بی‌هنجاری (متر)	طول بی‌هنجاری (متر)	قطر بی‌هنجاری (متر)	ژرفای تا سطح پایینی بی‌هنجاری (متر)	ژرفا تا مرکز بی‌هنجاری (متر)
مخزن ۲۲۰ لیتری فلزی	استوانه افقی	۱/۸	۰/۵۶	۲/۰۶	۱/۷۸

۴- نتیجه‌گیری

روش میانگین متحرک مرتبه سوم برای تعیین پارامترهای ژرفا و شکل بی‌هنجاری‌های میدان مغناطیس باقی‌مانده در حضور و عدم حضور نوفه، ابزاری قوی است که روش محاسبه آن، حل یک رابطه غیرخطی بین ژرفا و فاکتور شکل بی‌هنجاری در هفت نقطه است. مزیت این روش محاسبه همزمان فاکتور شکل و ژرفای بی‌هنجاری است که اطلاعات با ارزشی را از ساختارهای زیرسطحی روشن می‌سازد. نتایج به‌دست آمده نشان داد که این روش برای داده‌های مصنوعی به دلیل وجود تعداد جملات ریاضی و تعداد داده‌های مشاهده‌ای بیشتر، پاسخ‌های پایداری را حتی در حضور نوفه با درصد خطای

کمتر در مقایسه با روش میانگین متحرک مرتبه دوم می‌دهد. همچنین این روش برای داده‌های مغناطیسی واقعی نیز تطابق خوبی را در مقایسه با نتایج حفاری از خود نشان داد.

سپاسگزاری

نویسندگان صمیمانه از گروه ژئوفیزیک سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور به خاطر در اختیار قرار دادن اطلاعات و داده‌های محدوده مورد مطالعه، تقدیر و تشکر می‌نمایند.

References

- Abdelrahman, E. M., and Essa, K. S., 2005. Magnetic interpretation using a least- squares curves methods. *Geophysics* 70, L23-L30, DOI:10.1190/1.1926575.
- Abdelrahman, E. M., and Essa K. S., 2015. A new method for depth and shape determinations from magnetic data. *Pure and Applied Geophysics* 172, 439-460, DOI:10.1007/s00024-014-0885-9.
- Abdelrahman, E. M., and Hassanein, H. I., 2000. Shape and depth solutions from magnetic data using a parametric relationship. *Geophysics* 65, 126-131, DOI: 10.1190/1.1444703.
- Abdelrahman, E. M., Abo-Ezz, E. R., and Essa, K. S., 2012. Parametric inversion of residual magnetic anomalies due to simple geometric bodies: *Exploration Geophysics* 43, 178-189. DOI:10.1071/EG11026.
- Abdelrahman, E. M., Essa, K. S., El-Araby, T. M., and Abo-Ezz, E. R., 2016. Depth and shape solutions from second moving average residual magnetic anomalies. *Exploration Geophysics* 43, 178-189, DOI:10.1071/EG14073.
- Atchuta Rao, D.A., and Ram Babu, H.V., 1980. Properties of the relation figures between the total, vertical, and horizontal field magnetic anomalies over a long horizontal cylinder ore body. *Current Science* 49, 584-585.
- 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, DOI:10.1190/1.1444529.
- Essa, K.S., and Elhussein, M., 2018. PSO (Particle Swarm Optimization) for Interpretation of Magnetic Anomalies Caused by Simple Geometrical Structures, *Pure and Applied Geophysics* 175(2), DOI:10.1007/s00024-018-1867-0.
- Essa, K.S., and Elhussein, M., 2019. Interpretation of Magnetic Data through Particle Swarm Optimization: Mineral Exploration Cases Studies, *Natural Resources Research* 29: 521-537, DOI: 10.1007/s11053-020-09617-3.
- Gay, P., 1963. Standard curves for interpretation of magnetic anomalies over long tabular bodies: *Creophysics*, 28, 161-200. DOI: 10.1190/1.1439164.
- Gervoska, D. and Arauzo-Bravo, M. J., 2003. Automatic interpretation of magnetic data based on Euler deconvolution with unprescribed structural index. *Computers and Geosciences* 29, 949-960, DOI: 10.1016/S0098-3004(03)00101-8.
- Hartman, R.R., Teskey, D.J., and Friedberg, J.L., 1971. A system for rapid digital aeromagnetic interpretation. *Geophysics* 36, 891-918.
- Hsu, S., 2002. Imaging magnetic sources using Euler's equation. *Geophysical Prospecting* 50, 15-25, DOI:10.1046/j.1365-2478.2001.00282.x.
- Jain, S., 1976. An automatic method of direct interpretation of magnetic profiles. *Geophysics* 41, 531-541, DOI: 10.1190/1.1440631.
- Pengfei, L., Tianyou. L., Peimin, Z., Yushan, Y., Qiaoli, Z., Henglei, Z., and Guoxiong, C., 2017. Depth Estimation for Magnetic/Gravity Anomaly Using Model Correction, *Pure and Applied Geophysics* 174: 1729-1742, DOI: 10.1007/s00024-017-1509-y.
- Prakasa Rao, T. K. S., Subrahmanyam, M., and Srikrishna Murthy, A., 1986. Nomograms for the direct interpretation of magnetic anomalies due to long horizontal cylinders: *Geophysics*, 51, 2156-2159. DOI:10.1190/1.1442067.
- Prakasa Rao, T. K. S., and Subrahmanyam, M., 1988. Characteristic curves for inversion of magnetic anomalies of spherical ore bodies: *Pure and Applied Geophysics* 126, 69-83. DOI:10.1007/BF00876915.
- Radhakrishna Murthy, I.V., 1967. Note on the interpretation of magnetic anomalies of spheres. *I. G. U.* 4, 41-42.
- Reid, A.B., Allsop, J.M., Granser, H., Millett, A.J., and Somerton, I.W., 1990. Magnetic interpretation in three dimensional using Euler deconvolution. *Geophysics* 55, 80-91, DOI: 10.1190/1.1442774.
- Salem, A., Ravat, D., Mushayandebvu, M. F., and Ushijima, K., 2004. Linearized least-squares method for interpretation of potential field data from sources of simple geometry. *Geophysics* 69, DOI: 783-788, 10.1190/1.1759464.
- Stanley, J. M., 1977. Simplified magnetic interpretation of the geologic contact and thin dike: *Geophysics* 42, 1236-1240. DOI:10.1190/1.1440788.
- Steenland, N.C., Slack, H.A., Lynch, V.M., and Langan, L., 1968. Discussion on The geomagnetic gradiometer. *Geophysics* 32, 877- 892, *Geophysics* 33, 681-684, DOI: 10.1190/1.1486915.
- Thompson, D.T., 1982. EULDPH a new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data. *Geophysics* 47, 31-37, DOI: 10.1190/1.1441278.
- Werner, S., 1953. Interpretation of Magnetic Anomalies of Sheet-like Bodies. *Sveriges Geologiska Underok, Series C* 43: N6.

Original Research Paper

The Superiority of the Third-order Moving Average Method over the Second-order Moving Average Method for Estimating the Shape and Depth of Buried Magnetic Anomalies

Mohammad Fouladi¹, Mirsattar Meshinchi Asl^{1*}, Mahmoud Mehramuz¹ and Nima Nezafati¹

¹Department of Earth Sciences, Faculty of Converging Sciences and Technologies, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 2021 August 03

Accepted: 2021 October 11

Available online: 2022 June 22

Keywords:

Third-order moving average

Second-order moving average

Residual magnetic anomalies

Depth

Shape

ABSTRACT

Geophysical methods have been developed to study the particulars of physically diffusible fields in the ground. In geophysical studies, the goal is usually to detect inhomogeneities inside the earth using physical values measured at the earth's surface. Geophysicists attempt to reconstruct the Earth's interior structure using such data. The present study, which is known as the Third-order Moving Average, is the solution of an inverse problem for simultaneous estimation of the shape and depth of residual magnetic anomalies. The method was applied to the synthetic model, with and without noise, which Superiority this method will show over the Second-order Moving Average. Also, tested by the instance of field data in Geological Survey of Iran (GSI). This method, calculates a nonlinear relationship between depth and shape factor, at seven points with successive window length. Finally, the results showed that this method is very accurate for non-noise data and in has good agreement with the noisy data. which the problem, will showed the superiority of the Third-order Moving Average Method over the Second-order Moving Average method for estimating the shape and depth of buried Magnetic Anomalies. It also showed that it is suitable for real data with 5% error.

* Corresponding author: Mirsattar Meshinchi Asl; E-mail: m.meshinchi@srbiau.ac.ir

E-ISSN: 2645-4963; Copyright©2021 G.S. Journal & the authors. All rights reserved.

doi: 10.22071/GSJ.2021.297803.1926

dor: 20.1001.1.10237429.1401.32.2.3.5

