

تخمين عمق و شاخص ساختار بىهنجارىهاى دوبعدى مغناطيسي توسط سيگنال تحليلي بهبود يافته

محمد رسول نیک بخش'، میرستار مشین چی اصل^۲*، محسن اویسی موخر^۳ و حمیدرضا سیاهکوهی[†]

۱ - دانشجوی دکتری، گروه ژئوفیزیک دانشکده علوم، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران ۲- استادیار، گروه ژئوفیزیک دانشکده علوم، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، تهران ۳- استادیار، گروه ژئوفیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه رازی ۴- استاد، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران

دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۱۲/۱۶؛ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۷/۲۵

* نویسنده مسئول مکاتبات: m.meshinchi@srbiau.ac.ir

چکیدہ	واژگان کلیدی
 مهمترین هدف در تفسیر دادههای مغناطیسی، محاسبه عمق و تعیین هندسه (شاخص ساختاری) بی هنجاری	
مغناطیسی است.به همین منظور روشهای متعددی ابداع و پیشنهاد شده است. کاربردیترین روش، استفاده از روش	
سیگنال تحلیلی است. در این تحقیق روش جدیدی برای تفسیر دادههای دوبعدی مغناطیسی پیشنهاد شده است. در این	
روش از ترکیب سیگنال تحلیلی و گرادیان با بهبود روش سیگنال تحلیلی برای تخمین عمق و شاخص ساختاری	
بیهنجاریهای مغناطیسی استفاده شده است. به دلیل حساس بودن روش حاضر به نوفه از روش فراسو برای کاهش اثر	
نوفه بکار برده شده است. به طور کلی روش سیگنال تحلیلی یک روش مشتق گیری است که این روش باعث تقویت دامنه	
نوفهها میشود. دادههای واقعی اندازهگیری شده همواره با نوفه همراهاند، بنابراین برای شبیهسازی دادههای واقعی باید	سيكنال تحليلي بهبوديافته
دادههایی تولید شوند که به نوفه آلوده باشند .به عبارت دیگر باید به دادههای مصنوعی مقداری نوفه اضافه شود. در	بی هنجاری معناطیسی
دادههای مصنوعی نوفه دار، جوابها ناپایدار هستند .برای کاهش اثر نوفه در ایجاد ناپایداری، از فیلتر ادامه فراسو استفاده	تحمين عمق
میشود. استفاده از این تابع سیگنال تحلیلی نیازی به اطلاع از جهت مغناطیس شدگی ندارد در نتیجه استفاده از آن در	ساحص ساحتاري
مواقع وجود مغناطیس شدگی بازماند مفید است. برای بررسی دقت روش سیگنال تحلیلی بهبود یافته از یک مدل دایکی	
شکل در عمقهای متفاوت استفاده شده است. نتایج به دست آمده توسط روش پیشنهاد شده بر روی دادههای مصنوعی	
نوفه دار و بدون نوفه نشان میدهد که روش سیگنال تحلیلی بهبود یافته خطایی کمتر از ۸ درصد در محاسبه عمق و	
شاخص ساختاری بیهنجاریهای مغناطیسی دارد. از این روش برای تعیین عمق کانسار آهن خلیلآباد واقع در استان	
کرمان، شمال غرب شهرستان سیرجان استفاده شد و نتایج آن با نتایج روش تخمین عمق اویلر و اطلاعات گزارشهای	
حفاری مورد مقایسه قرار گرفته است.	

مهم ترین هدف در تفسیر داده های مغناطیسی، محاسبه عمق و تعیین هندسه (شاخص ساختاری) بی هنجاری مغناطیسی است. به همین منظور روشهای متعددی ابداع و پیشنهاد شده است. کاربردی ترین روش، استفاده از روش سیگنال تحلیلی است که نخستین بار (Nabighian (1974) برای برآورد عمق همبری (contact) به کار برد(Atchuta et al. (1981) با استفاده از مجموعه نقاط مشخصی روی منحنی دامنه سیگنال تحلیلی، روابطی را برای محاسبه عمق تا سطح دایکهای ضخیم و نازک به دست آورند. استفاده از این تابع سیگنال تحلیلی نیازی به اطلاع از جهت مغناطیس شدگی ندارد در نتیجه استفاده از آن در مواقع وجود مغناطیس شدگی بازماند مفید است. افراد زیادی برای محاسبه پارامترهای بی هنجاری های مغناطیسی از روش سیگنال تحلیلی استفاده کردند. اسکویی و همکاران (۱۳۹۱) روش سیگنال تحلیلی در برآورد یارامترهای منشأ مغناطیسی ساختارهای دوبعدی، علمدار و همکاران (۱۳۹۲) تفسیر بی هنجاری های مغناطیسی توسط مشتقات سیگنال تحلیلی، کنگازیان کنگازی و اسکویی (۱۳۹۴) برآورد عمق و تعیین محل تودههای مغناطیسی با استفاده از سیگنال تحلیلی تانسور گرادیان مغناطیسی در حوزه بسامد، (2016) Zhou et al. استفاده از سیگنال تحلیلی برای تعین عمق و شاخص ساختاری بیهنجارهای مغناطیسی،(Oruc (2010) استفاده از سیگنال تحلیلی برای تعین عمیق و موقعیت دوقطبیی هیای مغناطیسی، Roest et al. (1992) از نصف عرض دامنه سیگنال تحلیلی، MacLeod et al. (1993) از فاصله بین نقاط عطف دامنه سیگنال تحلیلی برای تعیین عمق تودههای دوبعدی استفاده کردند .روش سیگنال تحلیلی کمتر تحت تأثیر اختلال ایجاد شده از بیهنجاریهای مجاور قرار می گیرد. (Hsu et al. (1998) روش سیگنال تحلیلی سهبعدی را توسعه دادند و از مشتقات قائم مرتبههای بالاتر سیگنال تحلیلی تعمیمیافته که مرز تودهها را بهتر از سیگنال تحلیلی مشخص میکند، استفاده کردند که این روش فقط برای ساختارهای زمین شناسی خاص مثل همبری ها، صفحات نازک و دوقطبیها کاربرد داشت (Ma and Li (2012)، دوقطبیها کاربرد داشت (2012) و Smith et al. (2005) و (2012) درابطه سیگنال تحلیلی را برای مدل های دوبعدی همبری، دایک های نازک شیب دار و استوانه افقی تعریف کردند و با بهنجار کردن مقدار سیگنال تحلیلی با مقدار بیشینه آن، عمق، شاخص ساختاری و تباین خودپذیری تودههای گوناگون را به دست آوردند.

پیشبرد استفاده از روش سیگنال تحلیلی برای تخمین دو پارامتر عمق و شاخص ساختاری بی هنجاری های مغناطیسی توسط Salem : Hsu et al (1998) :Debeglia and Corpel(1997) ؛ Salem : وسط اویسی و (2003) and Ravat (2003) با استفاده از روش بهبود یافته تلفیقی سیگنال

تحلیلی و اویلر دادهه ای مغناطیس هوایی را تفسیر کردند. بنی عامریان و همکاران (۱۳۸۹) توسط روش ترکیبی AN-EUL عمق، شاخص ساختاری مکان منبعهای مغناطیسی برآورد کردند.

Salem et al (2004) با استفاده از مشتق های مرتبه اول و دوم میدان سیگنال تحلیلی و گرادیان افقی، روش کمترین مربعات خطی را توسعه دادند که اطلاعاتی در مورد عمق و هندسه منابع زيرسطحي توليد كرد .با اين حال روش آنها به دانستن موقعيت افقي منابع مولد بی هنجاری نیاز دارد که برای تعیین آنها از نقطه پیک آنومالی سیگنال تحلیلی استفاده می شود. اما کافی نبودن چگالی دادههای مشاهدهای و یا آغشته بودن آنها به نوفه از مشکلات این روش محسوب می شود، نتیجه این بی دقتی در انتخاب موقعیت افقی سبب بروز خطا در هر دو پارامتر عمق و هندسه منبع زیرسطحی می شود. (Li (2006) نشان داد که سیگنال تحلیلی ۳بعدی به جهت مغناطیدگی حساس است.(Wen et al. (2007) ترکیب سیگنال تحلیلی با روش اویلر دی کانولوشن برای تخمین عمق و اندیس ساختاری منابع مغناطیسی را پیشنهاد دادند، (2015) Copper استفاده از دامنه سیگنال تحلیلی برای تخمین مکان و عمق دایک نازک را پیشنهاد میکند. (Zhou et al. (2016) از تصحیح ارتفاعی سیگنال تحلیلی برای محاسبه عمق و شاخص ساختاری بیهنجاری های مغناطیسی استفاده کردند. به منظور رفع محدودیتهای مطالعات قبلی صورت گرفته در این زمینه و بهبود تخمین پارامترهای منابع مغناطیسی با استفاده از سیگنال تحلیلی، در این مقاله استفاده از روش سیگنال تحلیلی بهبود یافته که ترکیب روش سیگنال تحلیلی با روش گرادیان کل است برای تفسیر بیهنجاری های دوبعدی مغناطیسی، پیشنهاد شده است.برای امکانسنجی روش پیشنهادی از مدل دایکی با عمق های متفاوت و دادههای مغناطیسی کانسار آهن منطقه خبرآباد واقع در شهرستان سیرجان استفاده شده است.

با توجه به حفاریهای اکتشافی صورت گرفته روی کانسار آهن خلیل آباد(گزارش نهایی پایان اکتشاف معدن خلیل آباد)، نتایج آن با برآورد عمق به دست آمده از روش پیشنهادی و روش تخمین عمق اویلر مقایسه شده و اعتبار آنها مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۲- تئوری روش سیگنال تحلیلی بهبود یافته

دامنه سـیگنال تحلیلـی دوبعـدی توسـط (Nabighian (1972) بـه صورت رابطه زیر ارائه گردید:

$$|AS(x,z)| = \sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial z}\right)^2} \tag{1}$$

که در این رابطه $\frac{\partial T}{\partial x}$ و $\frac{\partial T}{\partial z}$ به ترتیب مشتق افقی و قائم بی هنجاری میدان مغناطیسی کل است.

رابطه سیگنال تحلیلی در مورد مدلهای مغناطیسی دوبعدی مانند همبری مغناطیسی، دایک و استوانه افقی که در موقعیت افقیx۵ قرار گرفتهاند و عمق بالائی آنهاz۵ است از سه رابطه زیر نتیجه میشود:

$$AS(x,z) = \frac{\alpha}{\left[(x-x_0)^2 + (z-z_0)^2\right]^{\frac{1}{2}}}$$
 همبری (x-x_0)^2 (x-z_0)^2

$$AS(x,z) = \frac{\alpha}{\left[(x - x_0)^2 + (z - z_0)^2 \right]^1}$$
 (7)

$$AS(x,z) = \frac{2\alpha}{\left[(x-x_0)^2 + (z-z_0)^2\right]^{\frac{3}{2}}}$$
 استيانه
افقی

که در این رابطه *α* مقدار ثابتی است که به مغناطیس شـدگی توده بستگی دارد (Macleod et al.,1993).

شکل کلی و تعمیمیافته رابطه فوق را به Salem et al (2004) شکل زیر ارائه کردند:

$$AS(x,z) = \frac{k}{\left[\left(x - x_{0}\right)^{2} + \left(z - z_{0}\right)^{2}\right]^{N + \frac{1}{2}}}$$
(7)

در این رابطه k فاکتور دامنه که به شـدت مغنـاطیس شـدگی توده وابسته اسـت و N شـاخص سـاختاری کـه مشخصـه ماهیـت و هندسه منبع مغناطیسی است.

در ادامه با مشتق رابطه (۳) در راستای افقی و قائم روابط زیـر حاصل میشوند:

$$\frac{\partial AS(x,z)}{\partial x} = k \frac{(N+1)(x-x_0)}{\left[(x-x_0)^2 + (z-z_0)^2\right]^{N+\frac{3}{2}}}$$
(5)

$$\frac{\partial AS(x,z)}{\partial z} = k \frac{(N+1)(z-z_0)}{\left[(x-x_0)^2 + (z-z_0)^2\right]^{N+\frac{3}{2}}}$$
(Δ)

با جمع مربع دو رابطه ۴ و ۵ و محاسبه جذر این جمع، رابطـه ۶ به دست میآید:

$$SAS = \sqrt{\frac{\partial AS(x,z)^2}{\partial x} + \frac{\partial AS(x,z)^2}{\partial z}} = k \frac{(N+l)}{\left[\left(x - x_0\right)^2 + \left(z - z_0\right)^2\right]^{N+\frac{2}{2}}} \qquad (\clubsuit)$$

با تقسیم رابطه ۶ بر رابطه ۳ معادله زیر به دست میآید:

$$\frac{SAS}{AS} = \frac{(N+1)}{\left[\left(x - x_0\right)^2 + \left(z - z_0\right)^2\right]^{\frac{1}{2}}}$$
(۷)
ویژگی مهم این رابطه درروش سیگنال تحلیلی بهبود یافته،

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

$$\frac{SAS}{AS}\Big|_{x = x_0} = \frac{(N+1)}{z_0} \tag{A}$$

$$\frac{SAS}{AS}\Big|_{x=x_0+b} = \frac{(N+1)}{\left[b^2 + z_0^2\right]^{\frac{1}{2}}}$$
(9)

با تقسیم رابطه ۸ بر رابطه ۹ و یک باز چینی سـاده عمـق بـی هنجاری از رابطه زیر محاسبه میشود:

$$z_{0} = \sqrt{\frac{b^{2}}{\left[\frac{SAS}{AS}\Big|_{x=x_{0}}}{\left(\frac{SAS}{AS}\Big|_{x=x_{0}+b}}\right]^{2}} - 1}$$
(1.)

موقعیت افقی بی هنجاری از روی پیک منحنی سیگنال تحلیلی و منحنی رابطه ۷ مشخص میشود، همچنین عمق بی هنجاری با استفاده از رابطه ۱۰ محاسبه میشود. بعد از محاسبه عمق، با استفاده از رابطه ۸ یا ۹ میتوان شاخص ساختاری بی هنجاری را محاسبه کرد، که دقت اندازه گبری شاخص ساختاری، یک تابع وابسته به دقت اندازه گیری عمق بی هنجاری است.

همچنین راه دومی برای محاسبه شاخص ساختاری پیشنهاد میشود که در آن از تفریق مربع رابطـه ۸ از مربـع رابطـه ۹ و یک بازچینی ساده، رابطه زیر به دست میآید:

$$N = \sqrt{\frac{b^2}{\left(\frac{1}{\frac{SAS}{AS}\Big|_{x=x_0+b}}\right)^2 - \left(\frac{1}{\frac{SAS}{AS}\Big|_{x=x_0}}\right)^2} - 1 \tag{(11)}$$

۲-۱- بررسی روش پیشنهادی بر روی دادههای مصنوعی یکی از مدلهایی که اغلب در تفسیر ییهنجاریهای مغناطیسی مورد استفاده قرار می گیرد، مدل دایک است. دایک نازک به دایکی گفته میشود که ضخامت آن نسبت به عمق سطح رویه تا سطح اندازه گیری کوچکتر باشد. در این حالت دامنه سیگنال تحلیلی دارای یک بیشینه است و نقطه بیشینه دامنه روی مرکز دایک قرار می گیرد.که در این بخش به منظور بررسی کارایی روش پیشنهادی بر روی دادههای مصنوعی یک مدل دایک نازک با سه عمق متفاوت، ۵ متر، ۱۰ متر و ۱۵ متر در نظر گرفته شده است.

حالت اول شامل یک دایک قائم است که در عمق ۵ متـری از سطح زمین قرار گرفته است .زاویه میل و انحراف مغناطیس شـدگی

توده به ترتیب ۴۵ و ۳ درجه و شدت مغناطیس شدگی آن ۲ آمپر/متر در نظر گرفته شده است .شکل ۱-الف پاسخ مغناطیسی مدل مذکور را نشان میدهد. شکل ۱-ب نمودار سیگنال تحلیلی مدل فرض شده نشان داده شده است. شکل ۱-ج نمودار SAS و شکل ۱-د نمودار دو نقطه 0= و m = 9 مقدار SAS/AS محاسبه میشود و با نمودار دو نقطه 0 = 0 و m = -3 مقدار SAS/AS محاسبه میشود و با استفاده از رابطه ۱۰ عمق مدل $m = 5_0$ و شاخص ساختاری استفاده از رابطه ۱۰ عمق مدل $m = 5_0$ و شاخص ساختاری استفاده از رابطه ۱۰ عمق مدل $m = 5_0$ و شاخص ساختاری را نشان میدهد. شکل ۳- الف و ب). حالت دوم با افزایش عمق مدل به ۱۰ متر در شکل ۳- الف پاسخ مغناطیسی مدل مذکور را نشان میدهد. شکل ۳-ب نمودار سیگنال تحلیلی مدل فرض شده نشان داده شده است. شکل ۳-ج نمودار دو نقطه نشان داده شده است. شکل ۳-و بنمودار دو نقطه نشان داده شده است. همودار محال محال محال ۳ و ب محال به میشود و با استفاده از این نمودار دو نقطه 0= 0 و m = 0.98 و m = 0.9 و شاخص ساختاری N = 0.98

محاسبه شدهاند (شکل ۴- الف و ب). در حالت سوم با افزایش عمق مدل به ۱۵ متر در شکل ۵- الف پاسخ مغناطیسی مدل مذکور را نشان میدهد.شکل ۵-ب نمودار سیگنال تحلیلی مدل فرض شده نشان داده شده است. شکل ۵-ج نمودار SAS و شکل ۵-د نمودار SAS/AS نشان داده شده است که با استفاده از این نمودار دو نقطه 0=d و m=d مقدار SAS/AS محاسبه می شود و با استفاده از رابطه ۱۰ عمق مدل SAS/AS محاسبه می شود و با استفاده از رابطه ۱۰ عمق مدل 15m و ب). با بررسی نتایج می توان دریافت محاسبه شدهاند (شکل ۶- الف و ب). با بررسی نتایج می توان دریافت که روش پیشنهادی با عمق مدل در کنار افزایش مقادیر d در تخمین شاخص ساختاری دچار ناپایداری می شود که این خط با افزایش معق از ۵ متر تا ۱۵ متر کمتر از ۵ درصد است و در محاسبه عمق مدل، بهترین انطباق بین مقادیر مفروض اولیه با مقادیر محاسبه شده دارد. نتایج به طور خلاصه در جدول ۱ آورده شدهاند.



شکل ۱: تخمین عمق و شاخص ساختاری توسط روش سیگنال تحلیلی بهبود یافته. الف) منحنی پاسخ مغناطیسی دایک نازک با عمق ۵ متر ب) نمودار سیگنال تحلیلی دایک با عمق ۵متر ج) نمودار SAS مدل دایک با عمق ۵ متر د) نمودار SAS/AS مدل دایک نازک با عمق ۵ متر.



شکل ۲: الف محاسبه عمق مدل دایک نازک با عمق ۵ متر توسط رابطه ۱۰. ب محاسبه شاخص ساختاری دایک نازک با عمق ۵ متر توسط رابطه ۱۱.

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



شکل ۳: تخمین عمق و شاخص ساختاری توسط روش سیگنال تحلیلی بهبود یافته. الف) منحنی پاسخ مغناطیسی دایک نازک با عمق ۱۰ متر ب) نمودار سیگنال تحلیلی دایک با عمق ۱۰متر ج) نمودار SAS مدل دایک با عمق ۱۰ متر د) نمودار SAS/AS مدل دایک نازک با عمق ۱۰ متر.



شکل ۴: الف محاسبه عمق مدل دایک نازک با عمق ۱۰ متر توسط رابطه ۱۰. ب محاسبه شاخص ساختاری دایک نازک با عمق ۱۰ متر توسط رابطه

.11

نیک بخش و همکاران، تخمین عمق و شاخص ساختار بیهنجاریهای دوبعدی مغناطیسی توسط سیکنال تحلیلی بهبود یافته، صفحات ۳۶۳-۳۵۱.



شکل۵: تخمین عمق و شاخص ساختاری توسط روش سیگنال تحلیلی بهبود یافته. الف) منحنی پاسخ مغناطیسی دایک نازک با عمق ۱۵ متر ب) نمودار سیگنال تحلیلی دایک با عمق ۱۵متر ج) نمودار SAS مدل دایک با عمق ۱۵ متر د) نمودار SAS/AS مدل دایک نازک با عمق ۱۵ متر.



شکل ۶: الف) محاسبه عمق مدل دایک نازک با عمق ۱۰ متر توسط رابطه ۱۰. ب) محاسبه شاخص ساختاری دایک نازک با عمق ۱۵ متر توسط رابطه ۱۱.

جدول ۱: مقادیر محاسبه شده عمق و شاخص ساختاری برای سه عمق ۱۰،۵ و ۱۵ متر و میزان خطا در محاسبه شاخص ساختاری با افزایش عمق

	مدل.			
درصد خطا در محاسبه شاخص	شاخص ساختاری محاسبه شده توسط	عمق محاسبه شده توسط روش	عمق فرض شده	ts.
ساختارى	روش پیشنهادی	پیشنهادی (متر)	(متر)	شال
•	١	۵	۵	١
٢	۰./۹۸	١.	١.	۲
۵	۰./۹۵	۱۵	۱۵	٣

۲-۲- بررسی روش پیشنهادی بر روی دادههای مصنوعی نوفه دار

دادههای واقعی اندازه گیری شده همواره با نوفه همراهاند، بنابراین برای شبیه سازی دادههای واقعی باید دادههایی تولید شوند که به نوفه آلوده باشند .به عبارت دیگر باید به دادههای مصنوعی مقداری نوف ه اضافه شود .روش سیگنال تحلیلی یک روش مشتق گیری است و این روش باعث تقویت دامنه نوفهها می شود .در دادههای مصنوعی نوف ه دار، جوابها ناپایدار هستند .برای کاهش اثر نوفه در ایجاد ناهنجاری، از فیلتر ادامه فراسو استفاده می کنیم. در این بخش به مدل دایک حالت اول با عمق ۵ متر به دادهها نوفه تصادفی با انحراف استاندارد ۵، ۱۰ و ۱۱ فنات تسلا (معادل ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد میدان مغناطیسی

نشریه پژوهشهای ژئوفیزیک کاربردی، دوره ۴، شماره ۲، ۱۳۹۷. کل) اضافه شده است.

شکل ۷ الف و ب و ج نمودار SAS/AS مربوط به مدل دایک با عمق ۵ متر برای دادههای نوفه دار ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد بعد اعمال فیلتر فراسو ۲ متر را نشان میدهد که با انتخاب دو نقطه (0=6 (b=9m) عمق و شاخص ساختاری مدل با استفاده از رابطه ۱۰ و ۱۱ محاسبه میشوند شکل ۸ الف و ب. همان طور که انتظار میرفت با افزایش نوفه همراه با افزایش b ، خطای روش پیشنهادی در تخمین عمق و شاخص ساختاری افزایش مییابد. در جدول ۲ نتایج و میزان خطا در محاسبه عمق و شاخص ساختاری برای سه سطح نوفه ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد آورده شده است.



شکل ۷: اضافه کردن نوفه به دادههای نمودار SAS/AS مدل دایک نازک با عمق ۵ متر بعد از اعمال فیلتر فراسو با ارتفاع ۲ متر. الف) اضافه کردن نوفه ۵ درصد،ب) اضافه کردن ۱۰ درصد نوفه، ج) اضافه کردن نا درصد نوفه، ج) اضافه کردن نوفه ۵ درصد.



شکل ۸: الف محاسبه عمق مدل دایک نازک توسط رابطه ۱۰ در سه سطح نویز ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد بعد اعمال فیلتر فراسو با ارتفاع ۲ متر، ب محاسبه شاخص ساختاری مدل دایک نازک توسط رابطه ۱۰ در سه سطح نویز ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد بعد اعمال فیلتر فراسو با ارتفاع ۲ متر.

نیک بخش و همکاران، تخمین عمق و شاخص ساختار بیهنجاریهای دوبعدی مغناطیسی توسط سیکنال تحلیلی بهبود یافته، صفحات ۳۶۳-۳۵۱.

ههای مصنوعی مدل دایک نازک با عمق ۵	، ساختاری بعد از اضافه کردن نوفه به داد	د شده در محاسبه عمق و شاخص	جدول ۲: مقدار خطای ایجا
------------------------------------	---	----------------------------	-------------------------

			تعتر.		
	خطای شاخص	خطای عمق	شاخص ساختاری محاسبه شده توسط روش	عمق محاسبه شده توسط روش	مقدار نوفه
	ساختاری (درصد)	(درصد)	پیشنهادی بعد از اضافه کردن نوفه	پیشنهادی بعد اضافه کردن نوفه	(درصد)
	٣	١/٢	١/• ٣	$\Delta / \cdot \mathcal{F}$	۵
	۵	٣	۱/• ۵	۵/۱۵	۱.
	٨	τ/λ	١/• ٨	۵/۱۹	۱۵
-					

۲–۳– بررسی روش پیشنهادی بر روی دادههای واقعی منطقه مورد مطالعه در فاصله ۱۰۵ کیلومتری جنوب غربی سیرجان و ۴۰ کیلومتری جنوب معدن گل گهر، در ۵ کیلومتری روستای خلیلآباد واقع شده است، دسترسی به محدوده از مسیر جاده سیرجان به شیراز است(شکل ۹). مطالعه اکتشافی در منطقه توسط روش مغناطیس سنجی در دو بلوک شمالی و جنوبی انجام شده است که در مقاله از دادههای بلوک جنوبی منطقه برای بررسی روش پیشنهاد شده مورد استفاده قرار گرفته است (شکل ۱۰).

برای شروع برداشت با توجه به زمینشناسی منطقه و رخنمونهای موجود در محدوده که روندی شمال غرب- جنوب شرق و همچنین روندی شرقی- غربی دارند، پروفیلها به صورت شمال- جنوبی پیدا شدند. فاصله پروفیلها ۵۰ متر و فاصله نقاط ۵ متر تعیین شدند. تمامی نقاط بر اساس سیستم مختصات UTM UTM تعیین شدند. تمامی نقاط بر اساس سیستم مختصات UTM (WGS84) توسط دستگاه مگنتومتر 19T GEM ساخت کشور کانادا برداشت شدهاند. در مواردی که نیاز بود فاصله نقاط و فاصله پروفیلها تغییر پیدا کرد تا دقت برداشتها جهت تعیین دقیق تر ابعاد ناهنجاری گسترش یابد.

ابتدا و انتهای هر پروفیل طوری طراحی شدند که مقدار میدان مغناطیسی در امتداد هر پروفیل از یک حد زمینه ناحیهای شروع شود و پس از گذشتن از مقدار ناهنجاری، دوباره در انتهای پروفیل به مقدار زمینه برگردد.

با توجه به اینکه در اکتشافات مغناطیس سنجی، ناهنجاریهای کمعمق مورد توجه است بنابراین میدانهای عمیق مانند هسته و مناطق عمیق پوسته با استفاده از مقدار میدان محاسبه شده توسط IGRFحذف می شود .

مقدار حد زمینه میدان مغناطیسی با توجه به مقادیر محاسبه شده از IGRF در منطقه nT ۴۵۴۹۶ انوتسلا است که بررسیهای میدانی نیز همین مقدار حد زمینه را در منطقه نشان داد نقشه میدان مغناطیسی کل منطقه مورد مطالعه بعد از اعمال فیلتر فراسو به ارتفاع ۵ متر در شکل ۱۱ نشان داده شده است با توجه به نقشه میدان کل یک بی هنجاری در قسمت شرق منطقه مورد مطالعه مشاهده میشود که روندی شمال غربی- جنوب شرقی دارد که در این مقاله برای محاسبه عمق و شاخص ساختاری بی هنجاری مورد نظر پروفیل AB را عمود بر راستای بی هنجاری به صورت

شمال- جنوب در نظر گرفته شده است. با توجه به مختصات ابتدا (x=340570,y=3180841) و انتهای (x=340570,y=3180465) طول تقریبی پروفیل ۳۷۶ متر است.



شکل ۹: محدوده مورد مطالعه بر روی نقشه راههای ایران (کادر قرمز



شکل ۱۰: موقعیت محدوده مورد مطالعه بر روی نقشه زمینشناسی منطقه (کادر آبیرنگ).

در ادامه نقشه سیگنال تحلیلی منطقه برداشت شده توسط نرمافزار ژئوسافت ترسیم میشود (شکل ۱۲) با استفاده از نقشه سیگنال تحلیلی نقشه SAS شکل ۱۳ و در ادامه نقشه SAS/AS محاسبه میشود و بروی نقشه SAS/AS دو نقطه به مختصات محاسبه میشود و بروی نقشه SAS/AS دو نقطه به مختصات $x_2 = 340592, y_2 = x = 340592, y_1 = 3180655$ $x_2 = 340592, y_2 = x = 340592, y_1 = 3180655$ کرفته شود با توجه به مختصات نقاط انتخاب شده مقادیر d، ۱۷۰ و گرفته شود با توجه به مختصات نقاط انتخاب شده مقادیر d، ۱۷۰ و کرفته شود با توجه به مختصات نقاط انتخاب شده مقادیر ما کرفته شود با توجه به مختصات نقاط انتخاب شده مقادیر ما کرفته شود با توجه به مختصات نقاط انتخاب شده مقادیر محاسبه (۱۰) و (۱۱) عمق و شاخص ساختاری بی هنجاری مورد نظر محاسبه میشود (شکل ۱۵ الف و ب). با توجه به مقادیر محاسبه شده عمق محاسبه شده بی مورد نظر هندسه دایک مانند دارد. در ادامه عمق محاسبه شده بی مورد نظر هندسه دایک مانند دارد. در ادامه عمق محاسبه شده بی مورد نظر مورد مقایسه قرار گرفت، که نتایج آن در بخش بعدی ارائه گردیده است.





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







شكل ١٣: نقشه SAS منطقه مورد مطالعه.





شكل ۱۴: نقشه SAS /AS منطقه مورد مطالعه.

۲-۴- مقایسه نتایج روش پیشنهادی بر روی دادههای میدانی با روش اویلر دی کانولوشن

در این بخش با استفاده از روش اویلر دی کانولوشن با فرض شاخص ساختاری یک (N=1) عمق بی هنجاری محاسبه میشود که عمق محاسبه شده توسط روش اویلر با نتایج حفاری (جدول ۳) مطابقت دارد میتوان نتیجه گرفت که شاخص ساختاری بی هنجاری مورد نظر نزدیک به یک است (شکل ۱۶)، با مقایسه با نتایج حاصل شده از روش سیگنال تحلیلی بهبود یافته با نتایج روش اویلر، صحت روش



شکل ۱۵: الف) محاسبه عمق بی هنجاری دایک مانند دادههای میدانی توسط رابطه ۱۰. ب) محاسبه شاخص ساختاری بی هنجاری دایک مانند توسط رابطه ۱۱.

پیشنهاد شده برای تفسیر دادههای میدانی مورد تائید قرار می گیرد. در جدول ۴ عمق بی هنجاری در گزارش حفاری تهیه شده توسط شرکت گهرکاوش (گزارش پایان اکتشاف معدن خلیل آباد، کفه مر،۱۳۹۳)، با نتایج دو روش اویلر و روش پیشنهاده شده در مقاله مقایسه شده است که نشان میدهد که عمق و شاخص ساختاری محاسبه شده توسط روش پیشنهادی مورد تائید است و خطای کمتر از ۶ درصد دارد.

				• • •
Borhole ID	x-Coordinate (m)	y-Coordinate (m)	z-Coordinate (m)	Drilling depth (m)
BH1	340592	3180655	1724	24
BH2	340592	3180565	1730	22
BH3	340600	3180600	1735	19.50
BH4	340650	3180575	1735	19.50
BH5	340680	3180565	1738	19.50

(Nikbakhsh and Meshinchi A	مطالعه (sl, 2017	ی منطقه مورد	ں حفارو	ىە گزارش	۳: خلاص	جدول
----------------------------	------------------	--------------	---------	----------	---------	------

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



شکل ۱۶: تعیین عمق بی هنجاری توسط روش اویلر برای شاخص ساختاری یک (N=1).

جدول ۴: مقایسه نتایج حاصل شده از روش پیشنهادی با روش تخمین عمق اویلر و نتایج حفاری.

میزان درصد خطا در روش پیشنهاد شده	عمق دسترسی به بی هنجاری توسط حفاری (متر)	عمق و شاخص ساختاری محاسبه توسط روش پیشنهاد شده (متر)	عمق محاسبه توسط اویلر (متر) با فرض شاخص ساختاری یک (N=1)	مختصات نقاط حفاری
CITA	4.6	$z_0 = TT/A$		86.941
<i>γ</i> /1Δ	11	$N=1/\cdot \Delta$		311800
۲/۷	~~	$z_0 = \mathrm{TT}/\mathrm{d}$		36.91
		$N=1/\cdot \Delta$	11-18	311080

۵- نتیجهگیری

روش سیگنال تحلیلی بهبود یافته برای تعیین عمق و شاخص ساختاری بی هنجاری های مغناطیسی در این مقاله پیشنهاد شده است که در همین راستا یک مدل دایک قائم با سه عمق متفاوت برای دادههای بدون نوفه و نوفه دار مورد بررسی قرار گرفته است. در دادههای بدون نوفه با افزایش مقادیر b، در ازای افزایش عمق مدل، خطایی در محاسبه عمق ایجاد نمی شود ولی مقادیر محاسبه برای شاخص ساختاری دارای ناپایداری می شوند که برای عمق ۵ متر خطا ۰ درصدی، عمق ۱۰ متری خطای ۲ درصدی و برای عمق ۱۵متری خطای۵ درصد ایجاد می شود. همچنین این روش برای سه سطح دادههای نوفه دار (۵٬۱۰ و ۱۵ درصد) برای مدل دایک با عمق ۵ متر تست شده است که حداکثر خطا در محاسبه عمق مدل ۳/۸ درصد و محاسبه شاخص ساختاری ۸ درصد است که می توان نتیجه گرفت روی دادههای نوفه دار با افزایش نوفه محاسبه عمق و شاخص ساختاری دچار ناپایداری میشود، به طور کلی روش پیشنهادی در تعیین عمق و شاخص ساختاری مدل های فرض شده برای دادههای بدون نوفه و نوفه دار خطایی کمتر از ۸ درصد دارد.در پایان روش ارائه شده بر روی دادهای منطقه خلیلآباد واقع در استان کرمان،

شهرستان سیرجان مورد استفاده قرار گرفت. نتایج حاصل از روش سیگنال تحلیلی بهبود یافته گسترش عمق بی هنجاری را از سطح تا عمق ۲۴ متر تخمین زده است،همچنین شاخص ساختاری تخمین زده شده توسط روش پیشنهاد شده ۲۰٫۲ است که نشان میدهد بی هنجاری مورد نظر یک هندسه دایک مانند دارد. این نتایج انطباق مناسبی با سایر روشهای بررسی شده (اویلر و گزارش حفاری) در منطقه مورد مطالعه را دارد.

۶- سپاس گزاری

نگارندگان بر خود بایسته میدانند که نهایت سپاس و قدردانی را از شرکت صنعتی و معدنی گهر کاوش به خاطر در اختیار قرار دادن دادههای واقعی و همچنین اطلاعات و گزارشهای حفاری، بجا آورند. همچنین نگارندگان بر خود لازم میدانند از داوران محترم که با نظرات مفید و سازنده خود باعث بالا رفتن سطح علمی مقاله شدهاند، تشکر و قدردانی کنند

۷- منابع

اسکویی، ب.، کریمی کلایه، ع. و ابراهیمزاده اردستانی، و.، ۱۳۹۱،

نیک بخش و همکاران، تخمین عمق و شاخص ساختار بیهنجاریهای دوبعدی مغناطیسی توسط سیگنال تحلیلی بهبود یافته، صفحات ۳۶۳-۳۵۱.

- Li, X., 2006, Understanding 3D analytic signal amplitude, Geophysics, 71, L13-L16.
- Ma, G. and Du, X., 2012, An improved analytic signal technique for the depth and structural index from 2D magnetic anomaly data, Pure Appl. Geophys, 169, 2193-2200.
- Ma, G. and Li, L., 2012, Edge detection in potential fields with the normalized total horizontal derivative, Computers & Geosciences, 41, 83-87.
- MacLeod, I.N., Jones, K. and Dai, T.F., 1993, 3-D analytic signal in the interpretation of total magnetic field data at low magnetic latitudes, Exploration Geophysics, 24, 679-687.
- Nabighian, M.N., 1974, Additional comments on the analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section, Geophysics, 39, 85-92.
- Nikbakhsh, M.R. and Meshinchi, M.A., 2017, New method for Depth and Structural Index Determinations from 2D Magnetic Anomaly Data using Analytic Signal window curves, J. Geophys. Eng, In Press, revised Manuscript
- Roest, W.R. and Pilkington, M., 1993, Identifying remanent magnetization effects in magnetic data, Geophysics, 58, 653-659.
- 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.
- 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, 783-788.
- Smith, R.S., Salem, A. and Lemieux, J., 2005, An enhanced method for source parameter imaging of magnetic data collected for mineral exploration, Geophysical Prospecting, 53, 655-665.
- Wen, B.D., Hsu, S.K. and Yeh, Y.C., 2007, A derivative-based interpretation approach to estimating source parameters of simple 2D magnetic sources from Euler deconvolution, the analytic-signal method and analytical expressions of the anomalies, Geophys. Prospect., 55, 255-264.
- Zhou, S., Huang, D. and Su, C., 2016, Magnetic anomaly depth and structural index estimation using different height analytic signals data, J. Appl. Geophys., 132, 146-151.

- روش سیگنال تحلیلی در برآورد پارامترهای منشأ مغناطیسی ساختارهای دوبعدی، مجله فیزیک زمین و فضا، ۳۸ (۲)، ۱۳۷– ۱۴۷.
- اویسی مؤخر، م.، قاسمی، و. و شاه نظری اول، ح.، ۱۳۸۶، تفسیر دادههای مغناطیس هوایی با استفاده از روش بهبود یافته تلفیقی سیگنال تحلیلی و
- اویلر در منطقه خرمآباد، مجله فیزیک زمین و فضا، ۳۳ (۳)، ۶۱-۷۱.
- بنی عامریان، ج.، اسکویی،ب. و باستانی، م.، ۱۳۸۹، برآورد عمق، اندیس ساختاری و مکان منبعهای مغناطیسی با استفاده از روش ترکیبی AN-EUL، مجله ژئوفیزیک ایران، ۴ (۲)، ۷۰-۸۸.
- علمدار، ک.، کامکار روحانی، ا. و انصاری، ع.، ۱۳۹۱، تفسیر آنومالی-های مغناطیسی با استفاده از مشتقات سیگنال تحلیلی، مجله ژئوفیزیک ایران، ۶ (۱)، ۶۹–۸۳.
- کنگازیان کنگازی، م. و اسکویی، ب.، ۱۳۹۴، برآورد عمق و تعیین محل تودههای مغناطیسی با استفاده از سیگنال تحلیلی تانسور گرادیان مغناطیسی در حوزه بسامد، مجله ژئوفیزیک ایران، ۹ (۲)، ۱–۱۲.
- گزارش نهایی پایان اکتشاف معدن سنگآهن خلیلآباد، ۱۳۹۳، شرکت صنعتی و معدنی گهر کاوش کویر.
- Atchuta, R.D., Ram-Badu, H.V. and Sanker-Narayan, P.V., 1981, Interpretation of magnetic anomalies due to dikes, the complex gradient method, Geophysics, 46, 1572-1578.
- Cooper, G.R.J., 2015, Using the analytic signal amplitude to determine the location and depth of thin dikes from magnetic data, Geophysics, 80 (1), J1-J6.
- Debeglia, N. and Corpel, J., 1997, Automatic 3-D interpretation of potential field data using analytic signal derivatives, Geophysics, 62, 87–96.
- Hsu, S.K., Coppens, D. and Shyu, C.T., 1998, Depth to magnetic source using the generalized analytic signal, Geophysics, 63, 1947-1957.
- Hsu, S.K., Sibuet, J.C. and Shyu, C.T., 1996, Highresolution detection of geological boundaries from potential - field anomalies: An enhanced analytic signal technique, Geophysics, 61, 373-386.
- Jeng, Y., Lee, Y.L., Chen, C.Y. and Lin, M.J., 2003, Integrated signal enhancements in magnetic investigation in archaeology, J. Appl. Geophys., 53, 31-48.



JOURNAL OF RESEARCH ON APPLIED GEOPHYSICS

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

(DOI): 10.22044/JRAG.2017.4445.1105



Estimation of the depth and structural index of 2D magnetic anomalies using improved analytic signal method

Mohammad Rasool Nikbakhsh¹, Mirsttar Meshinchi Asl^{2*}, Mohsen Oveisy Moakhar³ and Hmid Reza Siahkoohi⁴

Ph.D. Candidate, Department of Geophysics, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
 Assistant Professor, Department of Geophysics, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
 3-Assistant Professor, Department of Geophysics, Razi University, Kermanshah, Iran
 4- Professor, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

Received: 6 March 2017; Accepted: 17 October 2017

* Corresponding author: m.meshinchi@srbiau.ac.ir

Keywords	Extended Abstract
Improved Analytic Signal	Summary
Magnetic Anomaly	This paper presents a new method for interpretation of two dimensional (2D)
Depth Estimation	magnetic anomaly data. The new method uses a combination of analytic
Structural Index	signal and its total gradient to estimate the depth and nature -i.e. structural
	index- of an isolated magnetic source. However, the proposed method is
	sensitive to noise. In order to lower the effect of noise, upward continuation

technique is applied to smooth the anomaly. Tests on synthetic noise-free and noise-corrupted magnetic data show that the new method can successfully estimate the depth and nature of the causative source. For practical application of the method, it was applied to measured magnetic anomaly data from Khalilabad area. For validity of the method, it was tested on a synthetic example with and without random noise. After adding 5%, 10% and 15% random noise to the synthetic data, the maximum error for the model parameters was seen to be less than $\pm 3\%$. Moreover, it was found that the inversion results of magnetic data from an area in northeast Sirjan was in good agreement with the results from Euler deconvolution of the analytic signal of the magnetic data.

Introduction

An important goal in the interpretation of magnetic anomaly data is to obtain the depth and the geometry or structural index of the causative source. To this end, a large number of methods exist to accomplish this goal. The analytic signal method is a popularly used method for this purpose. Using the analytic signal method, we can calculate both the depth and structural index of causative sources. However, the improved analytic signal method, presented in his paper, needs the computation of third-order derivatives of the magnetic anomaly and requires data of high precision or strict filtering.

Methodology and Approaches

In this paper, we present an improved analytic signal method to interpret 2D magnetic anomaly data. The proposed method uses a combination of the analytic signal and its total gradient to estimate the depth and the structural index of the causative source. The feasibility of the proposed method to compute the source parameters is displayed on synthetic and measured magnetic anomalies.

Results and Conclusions

We have proposed a new method to estimate the depth and the structural index of the causative source using the ratio of analytic signal to its total gradient. Our method provides two linear equations to estimate individually the depth and nature of a magnetic source. The feasibility of the new method is demonstrated on synthetic magnetic anomaly with and without random noise. For noise-free data, the structural index and the depth, estimated by the new method, are consistent with the theoretical values. For noise-corrupted data, our approach can provide reasonable results by applying upward continuation technique to lower the effect of noise. Application of the method on measured data indicates that the results of the method are in god agreement with the results computed by the Euler deconvolution of analytic signal method.