تخمین عمق، مکان و هندسهٔ بی هنجاری های مغناطیسی به روش عددموج محلی بهبودیافته

رامین قاسمیاننیا و بهروز اسکویی **

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه فیزیک زمین، مؤسسهٔ ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران ۲. دانشیار، گروه فیزیک زمین، مؤسسهٔ ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

(دریافت: ۹۴/۱۲/۵، پذیرش نهایی: ۹۵/۷/۲۷)

چکیدہ

لازمهٔ تحلیل صحیح دادههای مغناطیسی، یک تخمین عمق واقعی از منبع بیهنجاری مغناطیسی بهمنظور تعیین نقاط حفاری و رسیدن به هدف مغناطیسی است. روش عدد موج محلی بهبودیافته بر پایهٔ معادلات سیگنال تحلیلی شکل گرفته است و میتواند مکان افقی و عمق بیهنجاری را بدون نیاز به آگاهی از هندسه و خودپذیری مغناطیسی منبع مشخص کند. پس از مشخص شدن این کمیتها تقریبی از ضریب ساختار نیز قابل تخمین است. در این تحقیق، کد این روش برای اعمال روی بیهنجاریهای دوبعدی در محیط متلب نوشته شده و توانایی آن بر روی دادههای مصنوعی بدون نوفه و همراه نوفه آزمایش شده است. در قسمت دادههای مصنوعی از دایکی با شیب ۴۵ درجه و مغناطیدگی یک آمپر بر متر، زاویهٔ انحراف ۱۰ درجه و زاویهٔ میل ۶۴ درجه استفاده شده است. روش عددموج محلی بهبودیافته بر روی این دایک، بدون حضور نوفه و همچنین آلوده به نوفه با دامنههای مختلف، اعمال شده است. در ادامه این روش بر روی دادههای میدانی منطقهٔ گلبلاغی واقع در شهرستان زنجان، اعمال و جوابهای آن با جوابهای به دست آمده از نرمافزار مدل ویژن مقایسه شده است. برای این بررسی از یک پروفیل به طول ۵۲۵ متر با فواصل نمونهبرداری یک متر استاه شده است. در ادامه این روش بر موی دادههای میدانی منطقهٔ گلبلاغی واقع در شهرستان زنجان، اعمال و جوابهای آن با جوابهای به دست آمده از نرمافزار مدل ویژن مقایسه شده است. برای این بررسی از یک پروفیل به طول ۵۲۵ متر با فواصل نمونهبرداری یک متر استفاده شده است. پرامترهای تودهٔ بیهنجاری که از این روش بهدست آمده است، با نتایج حاصل از نرمافزار مدل ویژن مطابقت دارد. روش عدد موج محلی و کر متلب نوشته شده، میتواند ابزار توانمندی برای بررسی بیهنجاریهای دوبعدی باشد.

واژههای كليدی: زنجان، سيگنال تحليلی، عدد موج محلی بهبوديافته، منطقهٔ گلبلاغی.

۱. مقدمه

امروزه دادههای مغناطیسی به طور گستردهای به منظور کاربردهای زمین شناسی و محیطی جمع آوری می شوند که شامل اکتشافات معدنی، نفتی و ساختارهای زمین شناسی است. روش عدد موج محلی بهبودیافته، روشی اتوماتیک و سریع برای تفسیر کمی بی هنجاریهای دو بعدی است که مخصوصاً برای مواردی که با حجم و سیعی از دادهها روبهرو هستیم، مانند دادههای هوابرد، می تواند بسیار سودمند باشد. تجزیه و تحلیل بی هنجاری مغناطیسی توسط تکنیک تصویر سازی پارامترهای منبع (تورستون و اسمیت، ۱۹۹۷) سرآغازی بر این روش به حساب می آید که اطلاعاتی دربارهٔ عمق و مکان را با داشتن پیش فرض هایی در مورد هندسهٔ

بی هنجاری فراهم می آورد. تکنیک تصویر سازی پار امتر های منبع بر اساس بر دار های مختلط سیگنال تحلیلی پایه ریزی شد که به مشتقات مرتبهٔ دوم از میدان مغناطیسی کل (که به عنوان عدد موج محلی معروف است) نیاز دارد. استفاده از مشتقات مرتبهٔ دوم، این روش را به شدت تحت تأثیر حضور نوفه قرار می دهد، به همین جهت از بین بر دن فر کانس های بالا برای محاسبهٔ مشتقات مرتبهٔ بالاتر الزامی است. تورستون و همکاران (۲۰۰۲) و همچنین اسمیت و همکاران (۱۹۹۸) نشان دادند که با استفاده از مشتقات مرتبهٔ سوم روش تصویر سازی پار امتر های منبع می تواند مستقل از هندسهٔ منبع باشد. تأثیر شدید نوفه ها روی داده ها، هنگام

E-mail: boskooi@ut.ac.ir

استفاده از مشتقات مرتبهٔ سوم، اصلی ترین مشکل استفاده از این روش است. سالم و همکاران (۲۰۰۵) روش عدد موج محلی بهبودیافته را، به عنوان ضمیمهای برای روش تصویرسازی پارامترهای منبع، به منظور تعیین هندسهٔ منبع بدون هیچ پیشفرضی، گسترش دادند. مزیت این روش محدود کردن آن در استفاده از تنها مشتقات مرتبهٔ دوم، و نه بالاتر، است. در این روش ابتدا عمق و مکان بی هنجاری تخمین زده می شود؛ سپس با استفاده از این عمق و مکان، می توان اطلاعاتی از هندسهٔ منبع را فراهم کرد. این روش مانند این ها قابل اعمال است. بولنت و همکاران (۲۰۱۰)، ماگو کویینگ و همکاران (۲۰۱۲) و ماگو کویینگ تفسیر کنند.

۲. روش عدد موج محلی بهبودیافته تكنيكهاى اتوماتيك مختلفي براي تفسير دادهاي مغناطيسي وجود دارد كه از آن جمله مي توان به روش شيب (پترز، ۱۹۴۹)، تجزیهٔ توابع زوج و فرد (نااودی، ۱۹۷۱)، سیگنال تحلیلی (نبیقیان، ۱۹۷۲)، واهمامیخت اویلر (تامسون، ۱۹۸۲)، واهمامیخت ورنر (کوو و شارپ، ۱۹۸۳)، تصویرسازی پارامترهای منبع یا تکنیک عدد موج محلى (تورستون و اسميت، ١٩٩٧)، تبديل موجك پيوسته (ريدسديل اسميت و دنتيت، ۱۹۹۹) و واهماميخت اويلر از سیگنال تحلیلی (کیتینگ و پیلکینگتون ۲۰۰۴) اشاره کرد. هركدام از این روشها مزیتها و نقاط ضعف مربوط به خود را در تعيين عمق، مكان و هندسهٔ بي هنجاري مغناطيسي دارد. بنابر آنچه گفته شد یکی از روش ها برای تخمین عمق و مکان منبع مغناطیسی، استفاده از تکنیک عدد موج محلی بهبودیافته است که برحسب بردارهای سیگنال تحلیلی تعريف مي شو د.

سیگنال تحلیلی به صورت تر کیب گرادیان افقی و قائم

بی هنجاری مغناطیسی تعریف می شود. کاربرد سیگنال تحلیلی برای تفسیر مغناطیسی اجسام دوبعدی به منظور تخمین عمق و هندسهٔ منبع توسط نبیقیان (۱۹۷۲) صورت گرفت.

فرم سیگنال تحلیلی به صورت رابطه (۱) تعریف میشود:

$$a(x,z) = \frac{\partial M}{\partial x} + i \frac{\partial M}{\partial z} \tag{1}$$

زاویهٔ فاز به عنوان زاویهٔ بین مشتقات عمود و مقادیر مطلق مشتقات افقی کل داده های میدان پتانسیل که در مفهوم نمایش لبه ها به زاویهٔ تیلت معروف است، تعریف می شود. براین اساس، فاز محلی سیگنال تحلیلی به صورت رابطه (۲) تعریف می شود: (تورستون و اسمیت، ۱۹۹۷)

$$\theta = tg^{-1} \left(\frac{\partial M}{\partial z}_{\partial X} \right)$$
(Y)

عدد موج محلی، k_x به صورت مشتق فاز محلی نسبت به xتعریف می شود. مشتق z از فاز محلی یک نوع فاز چرخیده k_z ، از عدد موج محلی را تعریف می کند که k_x و k_z به صورت روابط (۳ و ۴) تعریف می شوند:

$$k_{x} = \frac{\partial \theta}{\partial x} = \frac{1}{|A|^{2}} \left(\frac{\partial^{2} M}{\partial x \partial z} \frac{\partial M}{\partial x} - \frac{\partial^{2} M}{\partial x^{2}} \frac{\partial M}{\partial z} \right)$$
(**Y**)

$$k_{z} = \frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{-1}{|A|^{2}} \left(\frac{\partial^{2} M}{\partial x \partial z} \frac{\partial M}{\partial z} - \frac{\partial^{2} M}{\partial z^{2}} \frac{\partial M}{\partial x} \right)$$
(*)

$$|A| = \sqrt{\left(\frac{\partial M}{\partial z}\right)^2 + \left(\frac{\partial M}{\partial x}\right)^2} \tag{(a)}$$

این کمیت گرادیان کل یا دامنهٔ سیگنال تحلیلی میدان مغناطیسی است. این کمیت مثبت نقش اساسی را در تفسیر مغناطیسی بازی میکند، زیرا مستقل از جهت مغناطیس شدگی جسم است و به عنوان آشکارساز لبه های بی هنجاری و روش تخمین عمق به وسیلهٔ افراد متخصص استفاده می شود.

واهمامیخت دوبعدی اویلر به وسیلهٔ معادلهٔ (۶) تعریف میشود:

$$\left\| B - AX \right\| = \min(M) \tag{A}$$

از سوی دیگر نبیقیان (۱۹۷۲) عبارتی را برای بیان تغییرات
قائم و افقی مدل همبری شیب دار ارائه کرده است:

$$\frac{\partial M}{\partial x} = 2KFc \sin d \frac{h_c \cos(2I - d - 90) + x \sin(2I - d - 90)}{h_c^2 + x^2}$$
(۹)

$$\frac{\partial M}{\partial z} = 2KFc \sin d \frac{x \cos(2I - d - 90) - h_c \sin(2I - d - 90)}{h_c^2 + x^2}$$
(۱۰)

$$\frac{\partial M}{\partial z} = 2KFc \sin d \frac{x \cos(2I - d - 90) - h_c \sin(2I - d - 90)}{h_c^2 + x^2}$$
(۱۰)

$$\frac{\partial M}{\partial z} = 2KFc \sin d \frac{x \cos(2I - d - 90) - h_c \sin(2I - d - 90)}{h_c^2 + x^2}$$
(۱۰)

$$\frac{\partial M}{\partial z} = 2KFc \sin d \frac{x \cos(2I - d - 90) - h_c \sin(2I - d - 90)}{h_c^2 + x^2}$$
(10)

$$\frac{\partial M}{\partial z} = 2KFc \sin d \frac{x \cos(2I - d - 90) - h_c \sin(2I - d - 90)}{h_c^2 + x^2}$$
(10)

$$\frac{\partial M}{\partial z} = 2KFc \sin d \frac{x \cos(2I - d - 90) - h_c \sin(2I - d - 90)}{h_c^2 + x^2}$$
(10)

$$\frac{\partial M}{\partial z} = 2KFc \sin d \frac{x \cos(2I - d - 90) - h_c \sin(2I - d - 90)}{h_c^2 + x^2}$$
(10)

$$\frac{\partial M}{\partial z} = 2KFc \sin d \frac{x \cos(2I - d - 90) - h_c \sin(2I - d - 90)}{h_c^2 + x^2}$$
(10)

$$\frac{\partial M}{\partial z} = 2KFc \sin d \frac{x \cos(2I - d - 90) - h_c \sin(2I - d - 90)}{h_c^2 + x^2}$$
(10)

$$\frac{\partial M}{\partial z} = 2KFc \sin d \frac{x \cos(2I - d - 90) - h_c \sin(2I - d - 90)}{h_c^2 + x^2}$$
(10)

$$\frac{\partial M}{\partial z} = 2KFc \sin d \frac{x \cos(2I - d - 90) - h_c \sin(2I - d - 90)}{h_c^2 + x^2}$$
(10)

$$\frac{\partial M}{\partial z} = 2KFc \sin d \frac{x \cos(2I - d - 90)}{h_c^2 + x^2}$$
(10)

$$\frac{\partial M}{\partial z} = 2KFc \sin d \frac{x \cos(2I - d - 90)}{h_c^2 + x^2}$$
(10)

$$\frac{\partial M}{\partial z} = 2KFc \sin d \frac{x \cos(2I - d - 90)}{h_c^2 + x^2}$$
(10)

$$\frac{\partial M}{\partial z} = 2KFc \sin d \frac{x \cos(2I - d - 90)}{h_c^2 + x^2}$$
(10)

$$\frac{\partial M}{\partial z} = 2KFc \sin d \frac{x \cos(2I - d - 90)}{h_c^2 + x^2}$$
(10)

$$\frac{\partial M}{\partial z} = 2KFc \sin d \frac{x \cos(2I - d - 90)}{h_c^2 + x^2}$$
(10)

$$\frac{\partial M}{\partial z} = 2KFc \sin d \frac{x \cos(2I - d - 90)}{h_c^2 + x^2}$$
(10)

$$\frac{\partial M}{\partial z} = 2KFc \sin d \frac{x \cos(2I - d - 90)}{h_c^2 + x^2}$$
(10)

$$\frac{\partial M}{\partial z} = 2KFc \sin d \frac{x \cos(2I - d - 90)}{h_c^2 + x^2}$$
(11)

$$\frac{\partial M}{\partial z} = 2KFc \sin d \frac{x \cos(2I - d - 90)}{h_c^2 + x^2}$$
(12)

$$\frac{\partial M}{\partial z} = 2KFc \sin d \frac{x \cos(2I - d - 90)}{h_c^2 + x^2}$$
(13)

$$\frac{\partial M}{\partial z} = 2KFc \sin d \frac{x \cos(2I - d - 90)}{h_c^2 + x^2}$$
(14)

$$\frac{\partial M}{\partial z} = 2KFc \sin d \frac{x \cos(2I - d - 90)}{h_c^2 + x^2}$$
(15)

$$\frac{\partial M}{\partial z} = 2KFc \sin d \frac{x \cos(2I - d - 90)}{h_c^2 + x^2}$$
(15)

$$\frac{\partial M}{\partial Z} = 2KFc \sin d \frac{x$$

عمق نوک همبری و تمام کمانهای مثلثاتی بر حسب درجه هستند. سیستم مختصات طوری تهیه شده که خط پروفیل اصلی (x = 0) دقیقاً روی لبه قرار دارد.

مقدار بیهنجاری میدان مغناطیسی ناشی از یک صفحهٔ نازک شیبدار از رابطهٔ (۱۱) به دست میآید (ریفورد، ۱۹۶۴):

$$M(x,z) = 2KFc\omega \frac{h_{i}\sin(2I-d) - x\cos(2I-d)}{h_{i}^{2} + x^{2}} \quad (11)$$

$$C = \Delta t = 0$$

$$\Delta t = 0$$

همچنین بی هنجاری میدان مغناطیسی ناشی از استوانهٔ افقی بلند از رابطهٔ (۱۲) محاسبه می شود (مورتی و میشرا، ۱۹۸۰) M(x,z)sin $i (h_{b}^{2} - x^{2}) \cos(2I - 180) + 2xh_{b} \sin(2I - 180)$ (۱۲)

$$=2KFS \frac{\sin \left(\frac{h_{h}}{2}+x^{2}\right)^{2}}{\left(h_{h}^{2}+x^{2}\right)^{2}}$$
که S سطح مقطع ناحیه و h_{h} عمق مرکز سیلندر افقی است.

با جای گذاری روابط ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲ در روابط ۳ و ۴ $x = j (l = c,t,h) \cdot h_l = z_0 - z$ و با توجه به اینکه $h_l = z_0 - z$ ایت، مقادیر k_x و k_x برای یک جسم ساده که $x - x_0$ است، مقادیر k_x و k_x برای یک جسم ساده که در مکان (x_0, z_0) قرار دارد، از فرمول های (۱۳ و ۱۴) به دست می آیند:

$$k_{x} = \frac{-(\eta + 1)(z - z_{0})}{(x - x_{0})^{2} + (z - z_{0})^{2}}$$
(11)

$$\left(x - x_0\right)\frac{\partial M}{\partial x} + \left(z - z_0\right)\frac{\partial M}{\partial z} = -\eta M \tag{9}$$

که x₀ مکان افقی و z₀ عمق منبع را نشان میدهد و η ضریب ساختار است که سرعت تضعیف میدان مغناطیسی کل را تشریح میکند و به هندسهٔ جسم بستگی دارد. z به سمت پایین، مثبت در نظر گرفته شده و از مختصات کارتزین استفاده شده است.

انصاری و علمدار (۲۰۱۰) نشان دادند که از معادلهٔ (۶) می توان به معادلهٔ (۷) دست یافت:

$$xk_x + zk_z = x_0k_x + z_0k_z \tag{(Y)}$$

معادلهٔ (۷) مستقل از ضریب ساختار است و برای یک همبری، دایک، یک استوانهٔ افقی و منابع دو بعدی دیگر برقرار است. این معادله برای هر نوع هندسهٔ منبع و میدان اندازه گیری شدهای که در معادلهٔ لاپلاس دوبعدی صدق کند، برقرار است. بر اساس این ویژگی منحصر به فرد سالم و همکاران (۲۰۰۵) روند حل معادلهٔ (۷) را به عنوان روش عدد موج محلى بهبوديافته معرفي كردند. حل متعارف اين معادله از طریق تعیین کردن k_x و k_z برای مقادیر مختلف x و z در یک پنجرهٔ متمرکز با قلهٔ دامنهٔ سیگنال تحلیلی که مکان افقی بی هنجاری را تقریب میزند، حاصل می شود. به عبارت دیگر از مکان قلهٔ منحنی دامنهٔ سیگنال تحليلي كه مكان بي هنجاري را تقريب مي زند، براي تعريف مرکز یک پنجره استفاده می شود که در آن مقادیر مختلف و x_z و k_z برای مقادیر مختلف x و z بهدست می آیند. k_x مشکل زیاد بودن معادلات در مقایسه با پارامتر های ناشناخته نیز از طریق استفاده از روش استاندارد حداقل مربعات قابل حل است. در اینجا از تکنیک گلوب (۱۹۶۵) برای حل معادلات خطی استفاده شده است. در این روش، اگر p تعداد نقاط اندازه گیری و n تعداد مجهولات باشد، در این صورت برای p>n، ماتریس (X(n) از این روش بهنحوی به دست می آید که برای ماتریس (A(p,n و (B(p رابطهٔ (۸) برقرار باشد:

$$k_{z} = \frac{(\eta + 1)(x - x_{0})}{(x - x_{0})^{2} + (z - z_{0})^{2}}$$
(14)

که η ضریب ساختار بوده و مقدار آن برای همبری صفر؛ برای دایک، یک و برای استوانهٔ افقی، دو میباشد. در عمل، پس از تعیین عمق و مکان بی هنجاری که با استفاده از روش حداقل مربعات و رابطهٔ ۷ صورت می گیرد، میتوانیم هندسهٔ منبع را نیز با استفاده از مقدار به دست آمده برای η از رابطه های ۱۳ و ۱۴ تخمین بزنیم.

۳. کاهش نوفه در دادههای مشاهده شده

آگاروال و لال (۱۹۷۲۵) در خلال یک رابطهٔ ریاضی بیان کردند که یک هموارسازی ذاتی به وسیلهٔ مشتق گیری از ضرایب فیلتر می تواند ایجاد شود. آنها همچنین به صورت ریاضی نشان دادند که عمق هدف، حضور فرکانس تله را برای مرتبهٔ مشخصی از مشتق کنترل می کند. فرکانس بیشینه برای مرتبهٔ خاصی از مشتق با عمق منبع و تعداد نقاط اندازه گیری رابطه دارد (رابطهٔ ۱۵). ما از این مفهوم برای از بین بردن فرکانس های بالا ناشی از منابع کم عمق موجود در دادههای مشاهده شده، برای افزایش نسبت سیگنال به نویز، استفاده می کنیم.

بر اساس آگاروال و لال (۱۹۷۲b) عدد فرکانس هارمونیک اساسی k_{max} متناظر با فرکانس قله می تواند به صورت رابطه (۱۵) محاسبه شود: $k_{\max} = {order.of.derivate}(LX) / {(2\pi)(depth.of.source)}$

(2π) (*depth.of source*) (2π) (*depth.of source*) جایی که LX تعداد نقاط دادهٔ استفاده شده در تبدیل فوریهٔ سریع است. عمق منبع که در رابطهٔ ۱۵ استفاده می شود، باید مقداری باشد که معرف توزیع اتفاقی منابع کم عمق باشد. این پارامتر شدت هموارسازی مشتقات مختلف ($_{x} k_{x} x$) را که در روش عدد موج محلی بهبودیافته استفاده می شود، کنترل می کند. برای طراحی یک فیلتر مشتق خاص، تبدیل فوریهٔ سریع داده های ورودی در پاسخ فرکانس متناظر و تابع پنجره ضرب می شود. برای محدود کردن پاسخ فرکانس بالا، تابع پنجره بر پایهٔ فرکانس بیشینه محاسبه شده از رابطهٔ (۱۵) طراحی می شود. این روش ها برای از بین بردن منشأ پاسخهای فرکانس بالای ناشی از منابع سطحی کافی منشأ پاسخ های فرکانس طراحی شده است، در فضای برای ضرب در حوزهٔ فرکانس طراحی شده است، در فضای



شکل ۱. پنجرهٔ BOX-CAR در حوزهٔ فرکانس با انتهای کسینوسی.

۲. اعمال روش عدد موج محلی بهبودیافته بر روی
 دادههای مصنوعی

۲. اعمال روش عدد موج محلی بهبودیافته بر روی
 دادههای مصنوعی بدون نوفه

در این قسمت این روش را بر روی مدل مصنوعی دایک تولیدشده در محیط متلب اعمال می کنیم و در ادامه این مدل را به نوفههای اتفاقی با دامنههای مختلف آلوده می کنیم تا پایداری این روش را نسبت به نوفهها با دامنههای می کنیم تا پایداری این روش را نسبت به نوفهها با دامنههای می کنیم تا پایداری این روش را نسبت به نوفه ما دامنه های م مختلف بسنجیم. دایک مورد بررسی دارای شیب ۴۵ درجه و مغناطید گی یک آمپر بر متر، زاویهٔ انحراف ۱۰ درجه و زاویهٔ میل ۶۴ درجه است. مقادیر بی هنجاری مصنوعی روی پروفیلی به طول ۱۰۰۰ متر و با فاصلههای مکانی یک متر محاسبه می شوند. جسم مغناطیسی با ضخامت ۵ متر در وسط پروفیل قرار دارد که نوک آن در عمق ۱۰ متری واقع است.

ابتدا این مدل را بدون نوفه در برنامهٔ مورد بررسی قرار میدهیم و در ادامه روی آن نوفههای تصادفی با دامنههای مختلف اعمال میکنیم. شکل ۲ میدان بدون اعمال نوفه را نشان می دهد.

برنامهٔ عدد موج محلی بهبودیافته را اجرا کرده و نمودارها به قرار زیر بهدست میآیند: منحنیهای k_z ، k_x و دامنهٔ سیگنال تحلیلی برای این مدل در شکل ۳ آمدهاند.

هرکدام از سه تصویر در شکل ۳ شامل چهار منحنی می شوند که نشان دهندهٔ اعمال فیلترهای بالاسو به از ای مقادیر از صفر تا شش متر با فواصل دو متر است که منحنی با دامنهٔ بیشتر مربوط به فیلتر صفر است. لازم به ذکر است در مواردی که نوفه های سطحی زیاد باشند، این فیلتر برای ارائهٔ جواب صحیح بسیار کمک کننده است. در واقع برای خنثی کردن اثر نوفه های فرکانس بالا از دو راه حل، شامل تابع پنجرهٔ معرفی شده در قسمت های قبل و فیلتر ادامه فراسو منحنی عدد موج محلی _x و نقطهٔ عطف در منحنی عدد موج محلی _x مبین صحت جواب های نهایی است. به می توان گفت جواب های نهایی تقریباً قابل اطمینان هستند. با استفاده از این نمودارها و محاسبات انجام گرفته مقادیر زیر برای این دایک مغناطیسی حاصل می شود:



شکل ۲. منحنی تغییرات میدان مغناطیسی برای مدل دایک مصنوعی بدون نوفه.



شکل ۳. الف: منحنی عدد موج محلی k_z برحسب مسافت با فیلترهای بالاسوی صفر، دو، چهار و شش متر. ب: منحنی عدد موج محلی k_x برحسب مسافت با فیلترهای بالاسوی صفر، دو، چهار و شش متر. پ: منحنی دامنهٔ سیگنال تحلیلی بر حسب مسافت.

همان طور که مشخص است از این روش به خوبی پارامترهای مربوط به مکان و عمق به دست می آید و مقدار بسیار نزدیک به یک برای مقادیر xx و xx، دایک شکل بودن هندسه را نشان می دهد. حال جواب این تودهٔ مغناطیسی را به نوفه هایی با دامنه های مختلف آلوده می کنیم.

 ۲. اعمال روش عددموج محلی بهبودیافته روی دادههای مصنوعی با نوفه

در این قسمت برای بررسی حساسیت پایداری این روش به نوفه، میدان مغناطیسی حاصل از دایک را به نوفههایی که دامنهٔ آنها به ترتیب ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد دامنهٔ داده در هر نقطه است، به صورت تصادفی اضافه می کنیم. منحنی پاسخ مغناطیسی با نوفهٔ ۱۰درصد در شکل ۴ آمده است.

منحنیهای k_x و k_z و دامنهٔ سیگنال تحلیلی برای این پاسخ میدان در شکل ۵ آمدهاند.

همان گونه که قبلاً اشاره شد، از محل پیک منحنی دامنهٔ سیگنال تحلیلی برای تعریف پنجرهای استفاده میشود که

در آن مقادیر k_x و k_z برای مقادیر مختلف X و Z بهدست می آیند و نهایتاً با استفاده از روش حداقل مربعات، مقدار نهایی مکان و عمق بی هنجاری تخمین زده می شود. در اینجا منحنی دامنهٔ سیگنال تحلیلی محل پیک را نشان می دهد، بنابراین ما برای دریافت جواب های نهایی عمق و مکان و ضریب ساختار از پنجرهای که شامل داده های از مسافت ۴۵۰ متر تا ۵۵۰ متر هستند، استفاده کرده ایم.

جدول ۱. مقادیر بهدست آمده از اعمال روش عدد موج محلی بهبودیافته بر روی تودهٔ دایک شکل بدون حضور نوفه.

تخمين مكان افقي	۵۰۰/۰۰۰
تخمين عمق	1./.80
$m{k}_{x}$ ضريب ساختار	۱/۰۰۱۸
k_z ضريب ساختار	•/9٧١۶
مجموع انحراف معیار در محاسبهٔ ضریب ساختار k_{x}	•/••*٨
مجموع انحراف معیار در محاسبهٔ ضریب ساختار k _z	•/••۵١



شکل ۴. منحنی تغییرات میدان مغناطیسی برای مدل دایک مصنوعی آلوده به نوفه با دامنهٔ ۱۰ درصد دامنهٔ داده.

جدول ۲. مقادیر بهدست آمده از اعمال روش عدد موج محلی بهبودیافته بر روی دادههای آلوده به نوفهٔ ۱۰٪ ناشی از تودهٔ دایک شکل.

0/9177	تخمين مكان افقى
1./1748	تخمين عمق
1/•783	k_x ضريب ساختار k_x
1/* 408	k_z ضريب ساختار
•/••**	مجموع انحراف معیار در محاسبهٔ ضریب ساختار k_{χ}
•/•11٣	k_z مجموع انحراف معيار در محاسبهٔ ضريب ساختار



 k_x شکل ۵. الف: منحنی عدد موج محلی k_z برحسب مسافت در حضور نوفهٔ ۱۰٪ با فیلترهای بالاسوی صفر، دو، چهار و شش متر؛ ب: منحنی عدد موج محلی k_x برحسب مسافت. برحسب مسافت در حضور نوفهٔ ۱۰٪ با فیلترهای بالاسوی صفر، دو، چهار و شش متر؛ پ: منحنی دامنهٔ سیگنال تحلیلی بر حسب مسافت.

0.1/4918	تخمين مكان افقى
٨/٣٨٨۴	تخمين عمق
•/٩٢٨٩	k_{x} ضريب ساختار k_{x}
•/\4\4	k_z ضریب ساختار
•/•79•	k_{χ} مجموع انحراف معيار در محاسبهٔ ضريب ساختار
•/••٨٢	k_z مجموع انحراف معيار در محاسبهٔ ضريب ساختار

جدول ۳. مقادیر بهدستآمده از اعمال روش عدد موج محلی بهبودیافته بر روی دادههای آلوده به نوفهٔ ۲۰٪، ناشی از تودهٔ دایک شکل.

از سوی دیگر، همانطور که در شکل ۵–الف و ۵–ب مشخص است، منحنی k_z دارای یک نقطهٔ عطف و منحنی k_x دارای یک قله در مکان ۵۰۰ متر است که همان محل پیک منحنی دامنهٔ سیگنال تحلیلی است. این امر نشان میدهد جوابهای نهایی قابل قبول هستند.

مقادیر بهدست آمده برای این بی هنجاری در ادامه می آید: مقادیر ضرایب ساختار برای k_x و k_z به عدد یک بسیار نزدیک است که دایک شکل بودن منبع را نشان می دهد. از سوی دیگر عمق و مکان به درستی تخمین زده شده است. حال مقدار نوفه را تا ۲۰ درصد مقدار داده افزایش می دهیم که پاسخ میدان مغناطیسی برای این مقدار نوفه در شکل ۶ آمده است.

منحنیهای k_{z} ، k_{z} و دامنهٔ سیگنال تحلیلی برای این پاسخ میدان در شکل ۷ آمدهاند. با توجه به شکل ۷-الف و

۷-ب که نقطهٔ عطف و حضور قله در منحنی های k_z و k_x را نشان می دهند، انتظار می رود پاسخ های مناسبی در انتها داشته باشیم.

مقادیر بهدست آمده برای این بی هنجاری در ادامه آمده است:

ضرایب ساختار، دایک شکل بودن منبع را تأیید می کنند و مکان و عمق با تقریب بسیار خوبی بهدست آمدهاند که مکان ۲/. درصد و عمق ۱۷ درصد با مکان واقعی اختلاف دارد.

مقدار دامنهٔ نوفه را برای این دایک به تدریج افزایش دادیم که نتایج آن بهصورت خلاصه در جدول ۴ مشاهده میشود.

از بررسی جدول فوق چنین بر میآید که این روش پایداری تقریباً خوبی نسبت به افزایش نوفه دارد.



شکل ۶. منحنی تغییرات میدان مغناطیسی برای مدل دایک مصنوعی آلوده به نوفه با دامنهٔ۲۰ درصد دامنهٔ هر داده.



شکل ۷. الف: منحنی عدد موج محلی k_z برحسب مسافت در حضور نوفهٔ ۲۰ درصد، با فیلترهای بالاسوی صفر، دو، چهار و شش متر؛ ب: منحنی عدد موج محلی برحسب مسافت در حضور نوفهٔ ۲۰ درصد، با فیلترهای بالاسوی صفر، دو، چهار و شش متر؛ پ: منحنی دامنهٔ سیگنال تحلیلی بر حسب مسافت.

k_z انحراف معيار	k_x انحراف معيار	k_z ضريب ساختار	k_x ضريب ساختار	عمق	مكان افقى	دامنة نوفة
(\/m)	(\/m)	(\/m)	(\/m)	(m)	(m)	اعمالشده
•/••01	•/••• ٢٨	•/9٧١۶	١/••١٨	1./.90	۵	•
•/•11٣	•/••**	1/•409	1/• 884	1./7/98	۵۰۰/۶۸۳۳	۱.
•/••۶٨	•/١••۵	•//\٩//	•/٩٧٣۶	٨/٩٨٢۵	۵۰۱/۳۵۸۹	١۵
•/••٨٢	•/• ٢٩ •	•/٧٩٧٩	•/٩٢٨٩	۸/۳۸۸۴	0.1/4518	۲.
•/•٣٢٧	•/•V٩V	•/۶٧٣٢	1/1784	۶/۷۲۷۹	D. T/TFAT	۲۵

جدول ۴. مقادیر بهدستآمده از اعمال روش عدد موج محلی بهبودیافته بر روی دادههای آلوده به نوفه ناشی از تودهٔ دایک شکل.

۵. اعمال روش عدد موج محلی بهبودیافته روی دادههای میدانی

۵. ۱. منطقهٔ گلبلاغی واقع در زنجان شکل ۸ نقشهٔ زمین شناسی کلی منطقه و نیز محدودهٔ مورد مطالعه را با رنگ زرد مشخص کرده است. با مراجعه به نقشهٔ زمین شناسی و نیز بهرهبری از تجربیات و مشاهدات کار شناس برداشت ژئوفیزیکی، اطلاعات کلی در رابطه با محدودهٔ مورد مطالعه جمع آوری شده است. محدودهٔ مورد مطالعه در ورقه ۲۰۰۰۰: ازنجان و در واحد سنگ چینه ای از نوع سنگهای دگرگونهٔ دورهٔ پر کامبرین قرار گرفته است. محدودهٔ مورد مطالعه در غرب شهرستان زنجان واقع شده است که دو ساختار زمین شناسی را در بر دارد. قسمت

جنوبی محدوده را سازندهای گرانیتی دوران (gd، در شکل ۸) در بر گرفتهاند، که در بررسی ها از لحاظ شدت مغناطیسی و تغییرات مغناطیس تغییرات محسوسی را شامل نمی شوند. در بخش شمالی تر محدوده، ساختارهای حاوی سنگهای اسلیتی و فیلیتی سازند کهر مشاهده می شوند. این مجموعهٔ دگر گونه در نقشهٔ زمین شناسی شکل ۸ تحت عنوان 2*M* مشخص شده است. رخنمون مگنتیتی کوهزایی در درون 2*M*، انگیزهٔ اصلی این مطالعات بود. در این محدوده ساختارهای حاوی فیلیت، کوارتزیت و گنایس مشاهده می شود.



شکل ۸ موقعیت پروفیل های مورد مطالعه با رنگ زرد در نقشهٔ زمین شناسی منطقه مشخص شده است.

در بازدید زمینشناسی سنگ گرانیت بهعنوان سنگ میزبان برای کانسار آهن و همراه با این مادهٔ هدف شناسایی شده است.

در این محدوده رخنمونهایی از سنگهای دگرگونهٔ شیست، کوارتز، گنایس، آمفیبولیت با شدت دگرگونی بیشتر در تماس با تودهٔ بزرگ گرانیتی دوران دیده می شود که آنها نیز به طرف بالا با مرز نامشخص به سنگهای اسلیتی و فیلیتی سازند کهر تبدیل می گردند.

 ۲. تحلیل داده های منطقه با استفاده از نرم افزار مدل ویژن
 این بی هنجاری از منطقهٔ گلبلاغی واقع در شهرستان زنجان برداشت شده است. فواصل بین خطوط برداشت، ۴۰ متر و

فواصل بین نقاط در مناطق آرام از نظر تغییرات مغناطیسی ۲۰ تا ۲۵ متر است و در مناطق با تغییرات مناسب که به نوعی مستعد کانیزایی است، فاصلهٔ نقاط برداشت به حدود ۱۰ متر کاهش یافته است. ابعاد پهنهٔ مورد مطالعه ۸۸۰ در ۱۶۰۰ متر بود که مجموعاً ۲۰۰۰ نقطه به منظور پوشش پهنهٔ مورد مطالعه برداشت شده است. نقشهٔ شدت کل میدان مغناطیسی به همراه پروفیل مورد نیاز برای اجرا در برنامهٔ عدد موج محلی به بودیافته در شکل ۹ آمده است. این نقشه به کمک نرمافزار Oasis montaj تهیه شده است که متعلق به شر کت ژئوسافت کاناداست.

طول پروفیل استفاده شده در شکل ۹، ۵۲۵ متر است که نقطهٔ ابتدایی قسمت پایین خط برداشت قرار دارد. مدل تخمین زده شده برای بی هنجاری ناشی از این خط برداشت نرمافزار به دست آمده و در کادر مستطیلی کوچک سمت راست درج شده است، خطای تطبیق دو منحنی ۳/۶ درصد است که نشاندهنده تطبیق خوبی است. و همچنین تصویر مدل در شکل ۱۰ آمده است که توسط نرمافزار مدلویژن به روش معکوسسازی سریع برای دادههای میدان مغناطیسی کل، تهیه شده است. این نرمافزار متعلق به شرکت Encom استرالیاست. همانطور که از



Total magnetic intensity- Zanjan

شکل ۹. نقشهٔ شدت میدان مغناطیسی منطقهٔ گلبلاغی. پروفیل دادهها با یک خط مشخص شده است.



شکل ۱۰. در قسمت سمت راست خط برداشت به همراه مدل تخمین زده شده برای آن در نقشهٔ شدت میدان مغناطیسی نمایش داده شده است. در شکل سمت چپ منحنی میدان مغناطیسی تطبیق دادهشده با منحنی میدان اصلی قرار دارد.

در شکل ۱۱ مشخصات بهدست آمده برای این بی هنجاری ثبت شده است. همان طور که از شکل ۱۱ مشخص است، عمق این بی هنجاری در ۴/۴ متری و مکان آن در مختصات (۴۰۶۰۷۹۸ و ۲۳۷۸۸۵) واقع است که در فاصلهٔ ۲۷۲ متری از آغاز خط برداشت قرار دارد. لازم به ذکر است که دسترسی به بی هنجاری بعد از حفر ترانشه در عمق حدود ۴ متری مؤید صحت مدل سازی و نتایج به دست آمده است.

۵. ۳. بررسی بیهنجاری منطقهٔ گلبلاغی با استفاده از روش عدد موج محلی بهبودیافته خط برداشت طبق شکل ۹ انتخاب شده و طول آن ۵۲۵ متر است. منحنی سیاهرنگ در شکل ۱۰ پاسخ میدان مغناطیسی را برای این پروفیل نشان میدهد. بعد از اجرای برنامهٔ منحنی

دامنهٔ سیگنال تحلیلی به صورت شکل ۱۲ به دست آمده است.

پیکهای این منحنی محل بی هنجاری ها را برای ما مشخص میکند. از شکل ۱۲ چنین برمی آید که داده ها به شدت تحت تأثیر نوفه های فرکانس بالا هستند. از این رو از فیلترهای ادامه فراسو با پارامترهای ۴، ۶، ۸ و ۱۰ متر برای از بین بردن آن ها استفاده کرده ایم. همان طور که از شکل بر می آید، دو بی هنجاری نزدیک به هم توسط این منحنی مشخص شده است. در مرحلهٔ بعد منحنی های عددموج محلی x_{λ} و x_{λ} در دو شکل ۱۳ و ۱۴ آمده اند.

حال اگر حول نقاط بیشینه در منحنی دامنهٔ سیگنال تحلیلی بزرگنمایی کنیم به شکلهای ۱۵، ۱۶، ۱۷ و ۱۸ میرسیم:

4060950	237850	237900	237950	238
Body Properties				×
Label name	Body			
Density (bg 2.67)	2.770000	Thickness	77.9	
Susceptibility	0.0108261 CGS	Depth Extent	12.0	
Convert Body Tab	ular	Dip	153.5	- 1
C Pos C Reman	ence @ Spatial C UBC			
Area	X 237885.4	Strike Length	27.5	
2144	Y 4060798.3	Azimuth	335.0	
25787.102	Z 4.4			
Active Locke	d 🔽 Visible 🔲 Regional			
Add Label	Associated Channels			
Display Properties	Display			
Next Body	6 facets			
< >	Close Apply	Auto		



شکل ۱۱. مشخصات به دستآمده برای بی هنجاری با استفاده از نرمافزار مدلویژن



شکل ۱۳. منحنی عددموج محلی k_x برای بی هنجاری.

شکل ۱۲. منحنی دامنهٔ سیگنال تحلیلی برای خط برداشت در شکل ۹.





با توجه به پاسخ میدان مغناطیسی منطقه در شکل ۹ مشخص است که بی هنجاری مورد نظر همان بی هنجاری اول است؛ بنابراین داده های خروجی را برای ادامهٔ برنامه به گونهای انتخاب می کنیم که شامل نقاط بی هنجاری دوم نباشد. پس از خاتمهٔ برنامه نتایج زیر حاصل می شود:

همان طور که مشخص است نتایج با مدل تهیه شده توسط نرمافزار مدلویژن مطابقت دارد بدین ترتیب که در مکان حدود ۵ متر و در عمق حدود ۵۰ سانتیمتر اختلاف وجود دارد. ضریب ساختار k_x مقدار نزدیک به یک (۰/۸۷۱۸±۰/۰۸۸۱) را دارد که مبین دایک شکل بودن توده است و ضریب ساختار k_z برابر ۰/۶۸۹۴±۰/۰۳۵۹ است. احتمالاً مقداری از انحراف از مقدار یک بهدلیل تأثیر بیهنجاری دوم روی دادههاست اما با وجود این، روش عدد موج محلى توانسته است پارامترهاي منبع بيهنجاري را مشخص کند. در ادامه برای اینکه دید و تفسیر بهتری از شیب بی هنجاری داشته باشیم، پروفیلی را که در شکل ۱۹ آمده است، بررسی می کنیم. طول خط برداشت ۳۱۰ متر و فواصل نمونهبرداری ۱۰ متر است. پاسخ میدان مغناطیسی این پروفیل در شکل ۲۰ آمده است. توجه شود که جهت برداشت در پروفیل اول از پایین به بالا (از جنوب غربی به شمال شرقي) ولي در پروفيل دوم از بالا به پايين (از شمال شرقي به جنوب غربي) است.



226/2021	تخمين مكان افقى
4/904	تخمين عمق
•/٨٧١٨	$m{k}_{\chi}$ ضريب ساختار $m{k}_{\chi}$
•/۶٨٩۴	k_z ضریب ساختار
•/•٨٨١	k_x مجموع انحراف معيار در محاسبهٔ ضريب ساختار k_x
•/•٣۵٩	k_z مجموع انحراف معيار در محاسبهٔ ضريب ساختار

جدول ۵. مقادیر بهدستآمده از اعمال روش عدد موج محلی بهبودیافته بر روی دادههای حاصل از پروفیل شکل ۹.

Total magnetic intensity- Zanjan



شکل ۱۹. مکان پروفیل مورد بررسی و تقریب روش ELW برای مکان بی هنجاری در امتداد این پروفیل.





منحنیهای مربوط به دامنهٔ سیگنال تحلیلی و عدد موج محلی k_x و k_z بهترتیب در شکلهای ۲۱، ۲۲ و ۲۳ آمدهاند.



 k_{χ} شکل ۲۲. منحنی عدد موج محلی شکل





جدول ۶. مقادیر بهدستآمده از اعمال روش عدد موج محلی بهبودیافته روی دادههای پروفیل دوم.

188/91.0	تخمين مكان افقى
4/8.4.	تخمين عمق
1/14/1	k_x ضریب ساختار k_{x}
1/1188	k_z ضریب ساختار
•/•*	مجموع انحراف معیار در محاسبهٔ ضریب ساختار k _x
•/•٣•٨	مجموع انحراف معيار در محاسبهٔ ضريب ساختار k _z

نتایج بهدست آمده، دایک شکل بودن توده را بار دیگر نشان میدهند. مکان در فاصلهٔ ۱۶۹ متری از آغاز پروفیل که در شکل ۱۹ علامت گذاری شده و عمق تقریباً ۳/۶ متر تخمین زده شده است. این نشان میدهد که بی هنجاری شیب بسیار ناچیزی دارد. محلی بهبودیافته، به کار رفت که مکان افقی در ۲۷۷ متری و عمق در ۴متری مشخص شد. برای ضریب ساختار k_x مقدار مقدار ۸۸۱٬±۸/۰۸ و برای ضریب ساختار k_z مقدار یک نشاندهندهٔ دایک شک و برای ضریب ساختار این به عدد یک نشاندهندهٔ دایک شکل بودن منبع بی هنجاری است. از یک نشاندهندهٔ دایک شکل بودن منبع بی هنجاری است. از نتایج مشخص است که روش عددموج محلی بهبودیافته با نتایج بهدست آمده از نرمافزار مدل ویژن مطابقت دارد. در نتایج بهدست آمده از نرمافزار مدل ویژن مطابقت دارد. در استفاده از این روش عرضه کرد، پروفیلی دیگر در فاصلهٔ استفاده از این روش عرضه کرد، پروفیلی دیگر در فاصلهٔ به منجاری روی آن حدود ۴/۳ متر بهدست آمد که مؤید بی هنجاری روی آن حدود ۴/۳ متر بهدست آمد که مؤید به جنوب شرقی با شیب بسیار ناچیز کمتر از یک درجه در جال افزایش است.

تش**کر و قدردانی** از دکتر لقمان نمکی بهخاطر دیدگاههای ارزشمندشان و همچنین از سازمان زمینشناسی کشور برای ارائهٔ دادههای صحرایی قدردانی می گردد.

مراجع

- Agarwal, B. N. P. and Lal, T., 1972a, A generalized method of computing second derivative of gravity field, Geophysical Prospecting, 20, 385-394.
- Agarwal, B. N. P. and Lal, T., 1972b, Calculation of the vertical gradient of the gravity field using the Fourier transform, Geophysical Prospecting, 20, 448-458.
- Ansari, A., H. and Alamdar, K., 2010, 3-D depth and susceptibility estimation of magnetic anomalies using Local Wavenumber (LW) method, Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B: Engineering, 34(B5), 567-575.
- Bulent, O., Ertan, P. and Serafeddin, C., 2010, Interpretation of magnetic anomaly in the south of lake Sapanca using an Enhanced Local

در این روش می توان مکان افقی و عمق بی هنجاری را مستقل از کمیتهای هندسه و خودپذیری مغناطیسی منبع به دست آورد و سپس با تعیین این پارامترها میتوان ضریب ساختار و در نتیجه شکل منبع بی هنجاری را نیز مشخص کرد. برای اثبات توان این روش، ابتدا کد نوشته شده برای این روش بر روی دادههای مصنوعی بدون نوفه و سپس آلوده به نوفههای اتفاقی با دامنههای مختلف، اعمال و پايداري روش بدين وسيله بررسي شده است. پس از اعمال روش بر روى يك مدل دايك شكل، مكان و عمق خيلي دقیق به دست آمد و ضرایب ساختار k_x و k_z بسیار به مقدار یک که ضریب ساختار نشان دهندهٔ مدل دایک است، نزدیک بود. در ادامه برای این دایک تا نوفههای با دامنهٔ حدود ۲۰ درصد دامنه دادهٔ نیز جوابهای قابل قبولی به دست آمد که نشان میدهد این روش با وجود اعمال نوفه یایداری قابل قبولی دارد. در ادامه این روش بر روی دادههای میدانی از منطقهٔ گلبلاغی در زنجان آزموده شد. ابتدا پارامترهای منبع بیهنجاری با استفاده از نرمافزار مدلویژن به دست آمد که بی هنجاری در مدلسازی به صورت یک دایک در مکان ۲۷۲ متری در طول پروفیل به طول ۵۲۵ متر و در عمق ۴/۴ متر نشان داده شده است. همین پروفیل برای کد نوشتهشده برای روش عدد موج Wave number method, Journal of Engineering

- Science and Design, 1(2), 87-90. Golub, G., 1965, Numerical methods for solving
- linear least squares problems, Numerische Mathematik, 7, 206-216. Keating, P. and Pilkington, M., 2004, Euler
- deconvolution of the analytic signal and its application to magnetic interpretation, Geophysical Prospecting, 52, 165-182.
- Ku, C. C. and Sharp, J. A., 1983, Werner method for automated magnetic interpretation and its refinement using Marquardt inverse modeling, Geophysics, 48, 754-774.
- Ma, G. Q., 2013, Improved local wavenumber methods in the interpretation of potential field data, Pure and Applied Geophysics, 170, 633-643.

۶. نتیجه گری

- MA, G. Q., DU, X. J. and LI, L. L., 2012, Interpretation of potential field tensor data using the tensor local wavenumber method and comparison with the conventional local wavenumber method, Chinese Journal of Geophysics, 55(4), 380-393.
- Murthy, K. S. R. and Mishra, D. C., 1980, Fourier transform of the general expression for the magnetic anomaly due to a long horizontal cylinder, Geophysics, 45, 1091-1093.
- Nabighian, M. N., 1972, The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: its properties and use for automated anomaly interpretation, Geophysics, 37, 507-517.
- Naudy, H., 1971, Automatic determination of depth on aeromagnetic profile, Geophysics, 36, 717-722.
- Peters, L. J., 1949, The direct approach to magnetic interpretation and its practical application, Geophysics, 14, 290-320.
- Reford, M. S., 1964, Magnetic anomalies over thin sheets, Geophysics, 29, 532-536.

- Ridsdill-Smith, T. A. and Dentith, M. C., 1999, The wavelet transform in aeromagnetic processing, Geophysics, 64, 1003-1013.
- Salem, A., Ravat, D., Smith, S. and Ushijima, K., 2005, Interpretation of magnetic data using an enhanced local wave number (ELW) method, Geophysics, 70, L7-L12.
- Smith, R. S., Thurston, J. B., Dai, T. F. and Macleod, I. N., 1998, iSPI the improved source parameter imaging method, Geophysical Prospecting, 46, 141-151.
- Thompson, D. T., 1982, EULDPH—a new technique for making computer assisted depth estimates from magnetic data, Geophysics, 47, 31-37.
- Thurston, J. B. and Smith, R. S., 1997, Automatic conversion of magnetic data to depth, dip, and susceptibility contrast using the SPI method, Geophysics, 62, 807-813.
- Thurston, J. B., Smith, R. S. and Guillon, J. C., 2002, A multimodel method for depth estimation from magnetic data, Geophysics, 67, 555-561.

Estimation of depth, location and structure index of magnetic anomalies by enhanced local wavenumber method

Ghasemiannia, R.¹and Oskooi, B.^{2*}

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

(Received: 24 Feb 2016, Accepted: 18 Oct 2016)

Summary

A reliable analysis of magnetic data is the correct estimation of the causative sources to plan for drilling to achieve the targets. This paper presents enhanced local wave number (ELW) method for interpretation of the magnetic data. ELW method has been proposed during the previous decades and is based on the analytic signal to estimate the location and depth of the anomalies without having any knowledge about the geometry and magnetic susceptibility of the source. Final equation in this technique, is based on the depth and position and is independent of the structural index. The normal solution of this equation is obtained by assigning ELW k_x and k_z (the local wave number with respect to x and z) for different values of x and heights of continuation; z within a window is centred with the peak of the analytic signal amplitude. A problem of over determined unknown parameters can be solved through a standard technique, as using the least squares approach, therefore, the Golub algorithm is used to solve a set of linear equations. The ELW technique requires computation of horizontal and vertical derivatives of the first and second orders. Due to this characteristic, any high frequency noise present in the data gets substantially enhanced, masking the response from a target. To restrict the high frequency response, a window function is designed on the basis of the maximum frequency computed from the work of Agrawal and Lal (1972). After finding these quantities the method can approximate the structure index. Although, an appropriate Matlab code for the method is introduced and tested on two dimensional synthetic data before and after adding noises. There is a peak in the curves of analytic signal and k_x of ELW and also a turning point in the curve of k_z of ELW which shows the position of anomaly. Existence of these features shows that final responses of ELW method are correct. Synthetic data produced from a dyke like body with dip, magnetization, declination, inclination, depth and thickness are 45°, 1(A/m), 10°, 64°, 10m and 5m respectively. The ELW method has had reasonable responses for noises with different amplitudes up to 20nT and for noises with amplitude more than 20nT, ELW method loses its efficiency. Then, the method is tested by applying it on the real data of Golbolaghi area in Zanjan, and the results are compared with the results obtained from Model vision software. To do this a 525m profile is used. At the end, the depth and structure index are obtained as about 4m and 0.8, respectively using ELW method; also the depth is estimated at about 4.4m using model vision software. It is worthy to note that the depth of anomaly has been reported 4.5m by drilling. The parameters obtained from the introduced method for the anomalies show that the enhanced local wavenumber method and its introduced Matlab code can be a powerful tool in the studies of local anomalies. Because this method is automatic and quick, it can be used for large data sets like vast area or airborne data. This method is also used on airborne data of Damghan region in another paper.

Keywords: Analytic signal, Enhanced Local Wavenumber, Golbolaghi region, Zanjan.

^{*}Corresponding author: