

## اثر صافی پایین‌گذر بر شاخص ساختاری بی‌هنجاری‌های مغناطیسی

سامان اسدی سرابی<sup>۱</sup> و محسن اویسی مؤخر<sup>۲\*</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران  
<sup>۲</sup> استادیار، گروه فیزیک، دانشکده علوم، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

( تاریخ دریافت: ۹۲/۰۵/۱۲، تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۴/۰۱ )

### چکیده

شاخص ساختاری که با نوع منبع و آهنگ کاهش میدان با فاصله از منبع ارتباط دارد، در دو فن تفسیر واهمامیخت اوپلر و واهمامیخت اوپلر بسط‌یافته نقش مهمی ایفا می‌کند. این کمیت در فن تفسیر واهمامیخت اوپلر، کمیتی معلوم به حساب می‌آید. در این فن با استفاده از شاخص ساختاری مفروض، عمق و مکان توده مورد محاسبه قرار می‌گیرد در حالی که در فن واهمامیخت اوپلر بسط‌یافته، شاخص ساختاری مورد محاسبه قرار می‌گیرد. نوفه در یک مجموعه داده می‌تواند سیگنالی را که واهمامیخت اوپلر بسط‌یافته جستجو می‌کند، منحرف کند. بنابراین نوفه دقت در مکان‌یابی، تعیین عمق و شاخص ساختاری را کاهش می‌دهد. برای داده‌های نوفه‌دار، معمولاً از یک صافی پایین‌گذر استفاده می‌کنند تا اثرات نوفه پیش از اعمال فن‌های تفسیر از بین برود. در این مقاله اثری که کاربست صافی پایین‌گذر بر داده مغناطیسی و شاخص ساختاری تخمین زده شده دارد، مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای این کار از یک صافی پایین‌گذر ساده به نام صافی باترورث استفاده می‌شود و شاخص ساختاری در دو موقعیت مکانی افقی متفاوت، یکی درست روی هدف و دیگری دور از هدف، بررسی می‌شود. داده‌های مغناطیسی به کار رفته در اینجا داده پتانسیلی یک دوقطبی مغناطیسی با شاخص ساختاری ۲ و پتانسیل خطی از دوقطبی‌ها با شاخص ساختاری ۱ می‌باشند. به‌طور کلی داده مغناطیسی صافی شده به صورت عددی و نظری شاخص ساختاری را کاهش می‌دهد. طول موج قطع و مرتبه صافی باترورث بر روی شاخص ساختاری تخمین زده شده اثر می‌گذارد. کاربست صافی پایین‌گذر بر روی داده‌های واقعی منطقه چاه مس طبس نشان می‌دهد که شاخص ساختاری کاهش می‌یابد.

**واژه‌های کلیدی:** دوقطبی مغناطیسی، خط دوقطبی‌ها، شاخص ساختاری، صافی پایین‌گذر، صافی باترورث، طول موج قطع، مرتبه صافی، نوفه

### ۱ مقدمه

اشتباه در انتخاب شاخص ساختاری باعث اشتباه در تخمین عمق و مکان توده می‌شود و بالعکس. در همه مواردی که شاخص ساختاری مناسب انتخاب شده است، عمق تخمین زده شده نزدیک به مقدار واقعی است.

فن واهمامیخت اوپلر بسط‌یافته این ضعف انتخاب شاخص ساختاری به عنوان پیش فرض را برطرف کرده است. موشایاندیو و همکاران (۱۹۹۹) با افزودن یک قید چرخشی با این فرض که توابع همگن تحت چرخش ناوردا هستند، تعمیمی از واهمامیخت اوپلر را به نام

شاخص ساختاری ( $N$ ) که با نوع منبع و آهنگ کاهش میدان با فاصله از منبع ارتباط دارد (تامسون، ۱۹۸۲) در دو فن تفسیر واهمامیخت اوپلر و واهمامیخت اوپلر بسط‌یافته کمیتی مهم به حساب می‌آید.

در فن تفسیر واهمامیخت اوپلر، شاخص ساختاری کمیتی معلوم به حساب می‌آید. در این فن با استفاده از شاخص ساختاری مفروض، عمق و مکان توده مورد محاسبه قرار می‌گیرد (رید و همکاران، ۱۹۹۰). بنابراین

متفاوت صافی باترورث در مورد بی‌هنجاری‌های مغناطیسی انجام می‌شود و تغییرات شاخص ساختاری به ازای مرتبه‌های مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد.

## ۲ مبانی نظری روش برای پتانسیل مغناطیسی یک دو-قطبی قائم

ابتدا برای سادگی کار، پتانسیل مغناطیسی یک دوقطبی در نظر گرفته می‌شود. سپس پتانسیل خطی از دوقطبی‌ها هم مورد بررسی قرار می‌گیرد. شاخص ساختاری پتانسیل مغناطیسی دوقطبی برابر است با ۲ (میدان مغناطیسی کل یک دوقطبی دارای شاخص ساختاری ۳ است، چون میدان، مشتق اول پتانسیل است). فرض می‌شود که اندازه-گیری در صفحه  $x - y$  و  $z = 0$  انجام می‌گیرد و توده در عمق  $h = 0.5m$  و در نقطه  $(0, 0, h)$  قرار دارد. بنابراین پتانسیل به صورت رابطه زیر نوشته می‌شود:

$$V = \frac{\mu_0 m_z}{4\pi} \frac{h}{(x^2 + y^2 + h^2)^{3/2}}, \quad (1)$$

که  $m_z$  مؤلفه قائم گشتاور دوقطبی مغناطیسی برحسب آمپر مترمربع و  $\mu_0$  تراوایی مغناطیسی در خلأ است که برابر با  $4\pi \times 10^{-7} H/m$  می‌باشد. از پتانسیل رابطه (۱) تبدیل فوریه دو بُعدی گرفته می‌شود تا عبارت پتانسیل در حوزه بسامد (یا عدد موج) به دست آید (بلیکلی، ۱۹۹۶):

$$\tilde{V} = \frac{\mu_0}{8\pi^2} m_z e^{-h(k_x^2 + k_y^2)}, \quad (2)$$

که  $k_x$  و  $k_y$  به ترتیب عدد موج در راستاهای  $x$  و  $y$  هستند. برای به دست آوردن پتانسیل صافی شده، از تابع تبدیل زیر که صافی باترورث مرتبه ۰.۵ است، استفاده می‌شود (باترورث، ۱۹۳۰):

$$F = \frac{1}{1 + \alpha k_r}, \quad (3)$$

واهمامیخت اولر بسط یافته ارائه کردند که قادر است علاوه بر عمق و مکان توده، شاخص ساختاری آن را هم محاسبه کند. سپس نبیقیان و هسن (۲۰۰۱) نشان دادند که واهمامیخت اوایلر بسط یافته می‌تواند تعمیم و تلفیقی از واهمامیخت اوایلر و ورنر باشد و از طریق تبدیل هیلبرت آن را به سه بُعد بسط دادند و این تعمیم هم قادر است که شاخص ساختاری را مورد محاسبه قرار دهد.

اما نوفه در یک مجموعه داده می‌تواند سیگنالی را که واهمامیخت اوایلر بسط یافته جستجو می‌کند، منحرف کند. بنابراین نوفه دقت در مکان بایی، تعیین عمق و شاخص ساختاری را کاهش می‌دهد.

برای داده نوفه‌ای، معمولاً از یک صافی پایین گذر استفاده می‌کنند تا اثرات نوفه قبل از کاربست روش تفسیر از بین برود. در این جا از یک صافی ریاضی به نام صافی باترورث استفاده می‌شود که مبنای نظری کاربست آن ساده است. صافی باترورث یک نوع پردازش سیگنال است که در مقایسه با دیگر صافی‌ها پاسخ بسامدی بسیار یکنواختی دارد بدین معنی که هیچ تموجی در نوار عبور ندارد و در نوار توقف هم به سمت صفر میل می‌کند. شاخص ساختاری حاصل از واهمامیخت اوایلر بسط یافته بعد از اعمال صافی متفاوت از مقدار نظری می‌باشد. همچنین کاربست صافی باعث می‌شود که در واهمامیخت اوایلر هم مقدار شاخص ساختاری مفروض از مقدار نظری متفاوت باشد.

در این مقاله نشان داده می‌شود که برای واهمامیخت اوایلر، اثر صافی پایین گذر شاخص ساختاری تعیین شده را کاهش می‌دهد. برای این کار از دو عبارت تحلیلی، یکی برای پتانسیل مغناطیسی یک دوقطبی قائم با شاخص ساختاری ۲ و دیگری پتانسیل مغناطیسی خطی از دوقطبی-ها با شاخص ساختاری ۱، استفاده می‌شود. سپس صافی پایین گذر باترورث در حوزه بسامد اعمال می‌شود و پتانسیل صافی شده به دست می‌آید. این کار برای مرتبه‌های

که  $k_r$  عدد موج شعاعی است:

$$k_r = \sqrt{k_x^2 + k_y^2},$$

و  $\alpha$  عدد موج قطع ( بسامد قطع ) صافی را کنترل می کند. رابطه بین  $\alpha$  و بسامد قطع و طول موج قطع طبق روابط زیر می باشد:

$$\lambda_c = 2\pi\alpha \quad \text{و} \quad \alpha = \frac{1}{2\pi f_c} = k_c^{-1}$$

طبق روابط بالا هرچه بسامد قطع افزایش یابد (همه گذر یا All-pass)،  $\alpha$  کاهش می یابد و به سمت صفر میل می کند، یعنی اینکه هیچ صافی اعمال نشده است.

در شکل های ۱ و ۲ صافی پایین گذر باترورث به ازای مقادیر متفاوت  $\alpha$  و مرتبه های مختلف نشان داده شده است:

$$F_b = \frac{1}{1 + (\alpha k_r)^{2n}}, \quad (۴)$$

$n$  مرتبه صافی باترورث است.

پتانسیل صافی شده با استفاده از تبدیل فوریه وارون و تابع تبدیل بالا به صورت زیر به دست می آید (گردشتاین و رزیک، ۱۹۶۵):

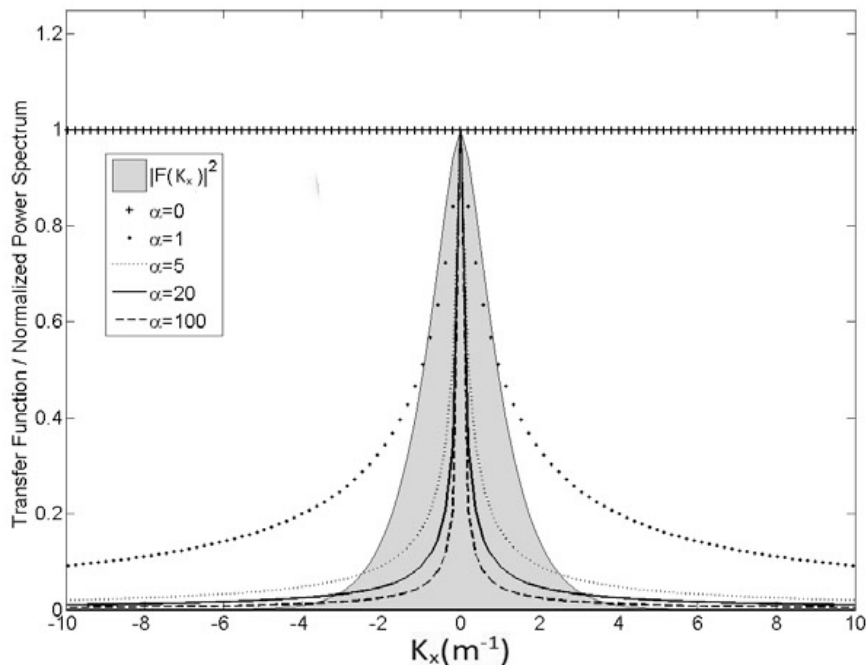
$$V_1 = \frac{\mu_0}{8\pi^2} m_z \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-hk_r} e^{-i(xk_x + yk_y)} \frac{1}{1 + \alpha k_r} dk_x dk_y, \quad (۵)$$

که با حل انتگرال رابطه (۵) رابطه نهایی زیر برای پتانسیل صافی شده به دست می آید:

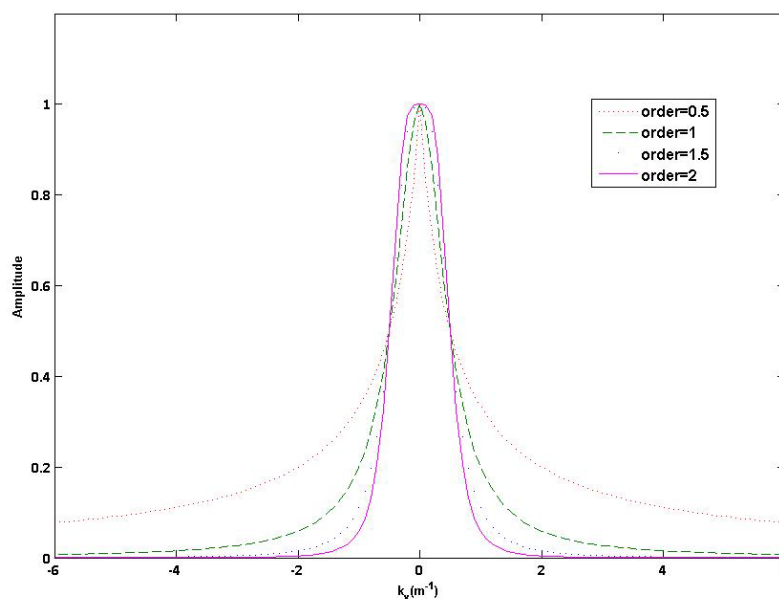
$$V_1 = \frac{\mu_0}{4\pi} m_z \int_0^{\infty} e^{-t} \frac{(h + \alpha t)}{[x^2 + y^2 + (h + \alpha t)^2]^{3/2}} dt \quad (۶)$$

### ۳ پتانسیل مغناطیسی خطی از دوقطبی ها

شاخص ساختاری پتانسیل خطی از دوقطبی ها برابر است با ۱ (میدان مغناطیسی کل خطی از دوقطبی ها دارای شاخص ساختاری ۲ است، چون میدان، مشتق اول پتانسیل است).



شکل ۱. تابع تبدیل به ازای  $\alpha$  های متفاوت برای صافی باترورث مرتبه ۰.۵.



شکل ۲. سطح مقطع صافی باترورث به ازای مرتبه صافی از 0.5 تا  $\alpha = 2$  که متناظر است با طول موج قطع  $12.6m$ .

$$V_2 = \frac{\mu_0}{2\pi} m_z \int_0^{\infty} e^{-t} \frac{(h + \alpha t)}{[x^2 + (h + \alpha t)^2]} dt, \quad (9)$$

۴ شاخص ساختاری پتانسیل صافی شده دوقطبی قائم مغناطیسی و خطی از دوقطبی‌ها  
شاخص ساختاری در ۲ حالت مورد بررسی قرار می‌گیرد:  
درست روی توده و دور از توده

۴-۱ درست روی هدف

پتانسیل مغناطیسی دوقطبی صافی شده درست روی توده  
برابر است با:

$$V_1(0,0,0) = \frac{\mu_0}{4\pi} m_z \int_0^{\infty} \frac{e^{-t}}{(h + \alpha t)^2} dt. \quad (10)$$

با قرار دادن رابطه (۱۰) در معادله اوپلر:

$$\frac{\partial V_1}{\partial z}(0-h) = -NV_1. \quad (11)$$

برای چشمه‌های خطی که تا بی‌نهایت گسترش دارند (در اینجا دوقطبی‌ها به موازات محور  $y$  تا بی‌نهایت گسترش دارند) می‌توان فقط یک پروفیل عمود بر چشمه خطی در نظر گرفت (بلیکلی، ۱۹۹۶). با فرض اینکه اندازه‌گیری روی محور  $x$  و  $z = 0$  انجام می‌گیرد و توده در عمق  $h = 0.5m$  و در نقطه  $(0, h)$  قرار دارد، پتانسیل به صورت رابطه زیر نوشته می‌شود:

$$V_2 = \frac{\mu_0}{2\pi} m_z \frac{h}{(x^2 + h^2)}, \quad (7)$$

تبدیل فوریه در اینجا یک بُعدی می‌باشد. با گرفتن تبدیل فوریه یک بُعدی از پتانسیل رابطه (۷) مانند قسمت قبلی، رابطه زیر به دست می‌آید (بلیکلی، ۱۹۹۶):

$$\tilde{V}_2 = \frac{\mu_0}{2\pi} m_z e^{-h|k_x|}, \quad (8)$$

که با استفاده از تابع تبدیل صافی باترورث مرتبه 0.5، در نهایت پتانسیل صافی شده برای خطی از دوقطبی‌ها می‌شود:

ناشناخته‌اند، باید از این تفاوت آگاه شد. در این مقاله پارامترهای صافی پایین گذر ناشناخته هستند و رفتار شاخص ساختاری داده صافی شده بررسی می‌شود.

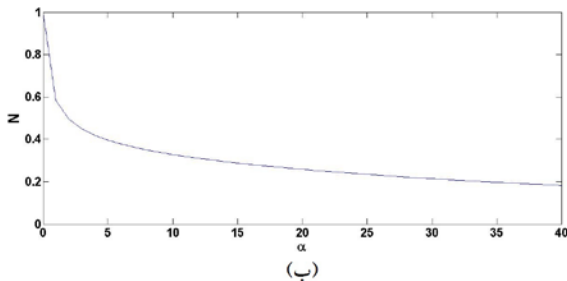
#### ۲-۴ دور از هدف

نشان داده شد که شاخص ساختاری پتانسیل صافی شده یک دوقطبی قائم درست روی هدف کوچک تر یا مساوی با ۲ است (بسته به عدد موج قطع). اکنون شاخص ساختاری در مکانی افقی، دور از هدف بر روی صفحه اندازه گیری (صفحه  $x-y$ ) مورد بررسی قرار می‌گیرد. با قرار دادن معادله (۱۰) در معادله اوپلر، رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\frac{\partial V_1}{\partial x}(x-0) + \frac{\partial V_1}{\partial y}(y-0) + \frac{\partial V_1}{\partial z}(z-h)_{z=0} = -NV_1, \quad (14)$$

و بعد از ساده کردن رابطه (۱۵) حاصل می‌شود:

$$3 \int_0^{\infty} e^{-t} \frac{at(h+at)^2}{[x^2+y^2+(h+at)^2]^{5/2}} dt = \int_0^{\infty} e^{-t} \frac{2h+3at-N(h+at)}{[x^2+y^2+(h+at)^2]^{3/2}} dt. \quad (15)$$



بعد از ساده کردن رابطه (۱۱) رابطه زیر به دست می‌آید که ارتباط بین شاخص ساختاری و  $\alpha$  را نشان می‌دهد:

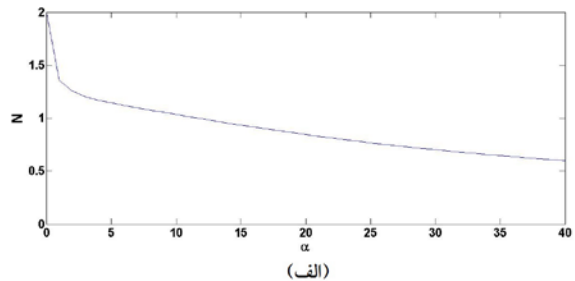
$$N = 2 \frac{\int_0^{\infty} \frac{e^{-t}}{\left(1 + \frac{\alpha t}{h}\right)^3} dt}{\int_0^{\infty} \frac{e^{-t}}{\left(1 + \frac{\alpha t}{h}\right)^2} dt}. \quad (12)$$

چون  $\left(1 + \frac{\alpha t}{h}\right)$  همواره بزرگ تر از ۱ است، انتگرال صورت همواره کوچک تر از انتگرال مخرج بوده و در نتیجه با توجه به شکل ۳-الف،  $N \leq 2$  می‌باشد. با انجام روابط بالا برای خطی از دوقطبی‌ها:

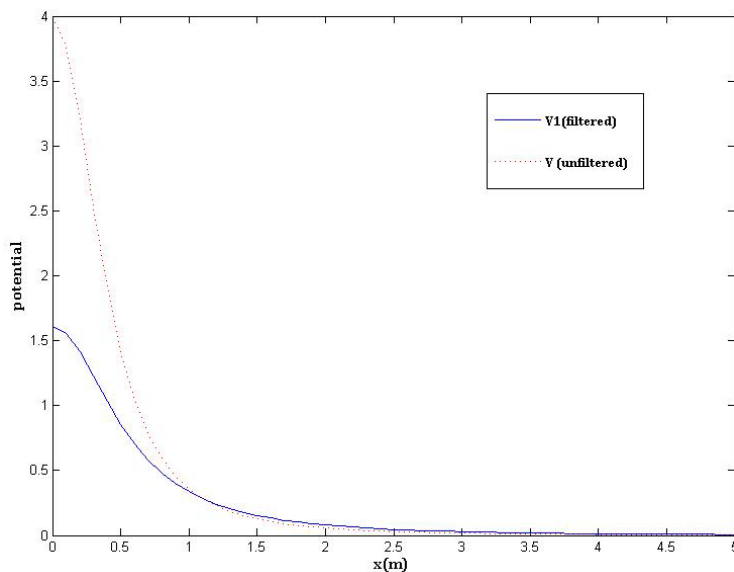
$$N = \frac{\int_0^{\infty} \frac{e^{-t}}{\left(1 + \frac{\alpha t}{h}\right)^2} dt}{\int_0^{\infty} \frac{e^{-t}}{\left(1 + \frac{\alpha t}{h}\right)} dt}. \quad (13)$$

در نتیجه برای خطی از دوقطبی‌ها همان‌طور که در شکل ۳-ب نشان داده شده است،  $N \leq 1$ .

نکته‌ای که باید در این جا به آن اشاره شود این است که پتانسیل صافی نشده و پتانسیل صافی شده هر دو تابع مکان هستند، ولی همان‌طور که در شکل ۴ برای مورد دوقطبی قائم نشان داده شده است، پتانسیل صافی شده کندتر از پتانسیل صافی نشده کاهش می‌یابد. پس هنگامی که از شاخص ساختاری استفاده می‌شود و پارامترهای صافی هم



شکل ۳. شاخص ساختاری داده صافی شده با صافی باترورث مرتبه 0.5. (الف) کاهش شاخص ساختاری دوقطبی قائم. (ب) کاهش شاخص ساختاری خطی از دوقطبی‌ها به‌ازای  $\alpha$  های متفاوت.



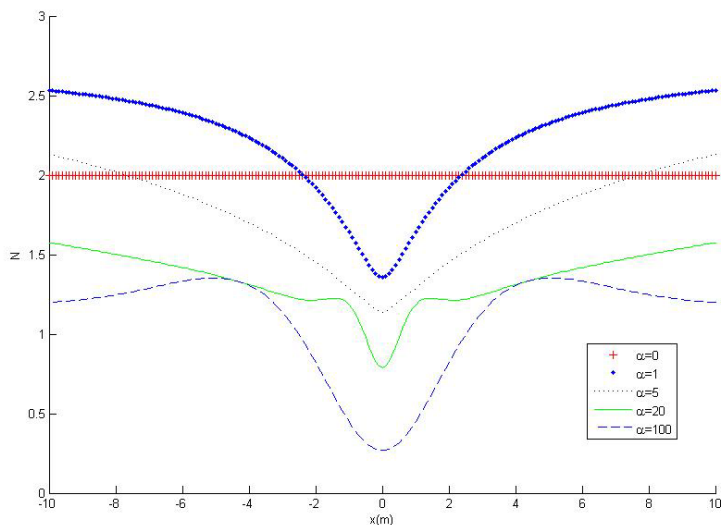
شکل ۴. مقایسه کاهش پتانسیل صافی شده با صافی باترورث (خط توپر) و پتانسیل صافی نشده (خط چین) برحسب فاصله. پتانسیل صافی شده کندتر کاهش می‌یابد.

انتگرال رابطه (۱۵) به روش عددی گاوس- لاگور حل می‌شود. شبیه آنچه برای بالای توده انجام شد، جواب‌های نزدیک هدف شاخص ساختاری کوچک‌تر یا مساوی با ۲ دارند.

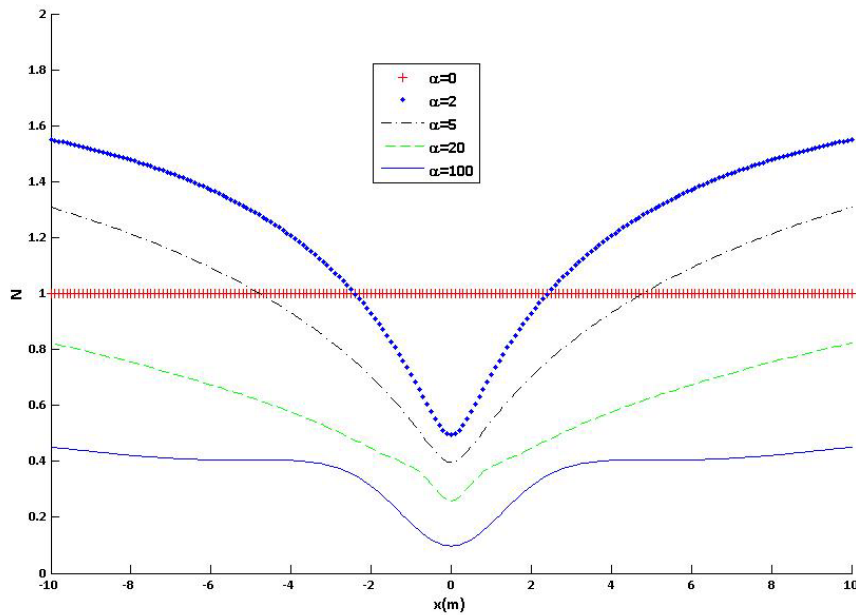
اما در فاصله‌های افقی خیلی بیشتر از عمق هدف، شاخص ساختاری بزرگ‌تر از ۲ با حد بالای ۳ می‌باشد. بدین ترتیب، نتایج نظری نشان دادند که شاخص ساختاری

وقتی که داده از صافی عبور داده شود، کاهش می‌یابد. شکل ۵ نشان می‌دهد که به‌طور نظری مقادیر شاخص ساختاری (SI) روی لبه‌های بی‌هنجاری می‌تواند بزرگ‌تر از ۲ باشد.

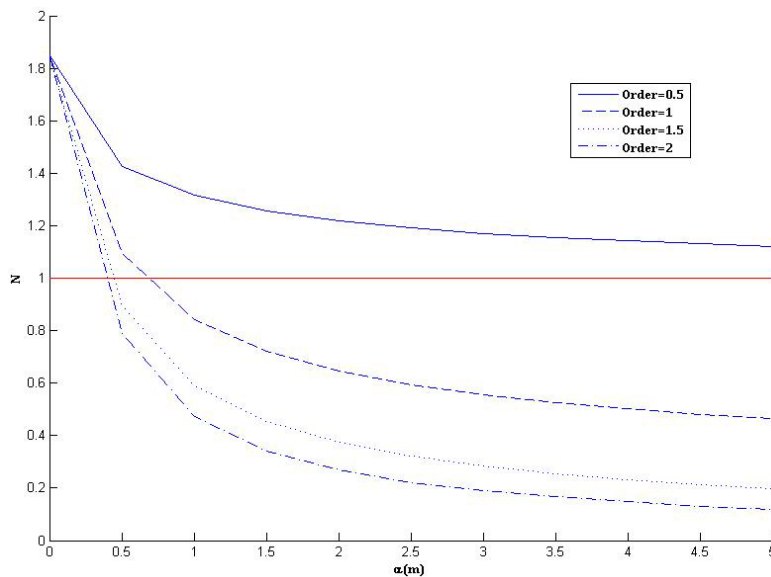
در شکل ۶ در مورد خطی از دوقطبی‌ها هم در فاصله‌های افقی بیشتر از عمق توده، شاخص ساختاری بزرگ‌تر از ۱ و با حد بالای ۲ می‌باشد.



شکل ۵. شاخص ساختاری داده صافی شده دوقطبی قائم به‌ازای  $\alpha$  های مختلف برحسب فاصله. در فاصله‌های بیشتر از ۵ برابر عمق توده شاخص ساختاری به مقداری بزرگ‌تر از ۲ با حد بالای ۳ می‌رسد.



شکل ۶. شاخص ساختاری داده صافی شده خطی از دوقطبی ها به ازای  $\alpha$  های مختلف برحسب فاصله نشان داده شده است. در فاصله ای دورتر از هدف، شاخص ساختاری به مقداری بزرگتر از ۱ با حد بالای ۲ می رسد.

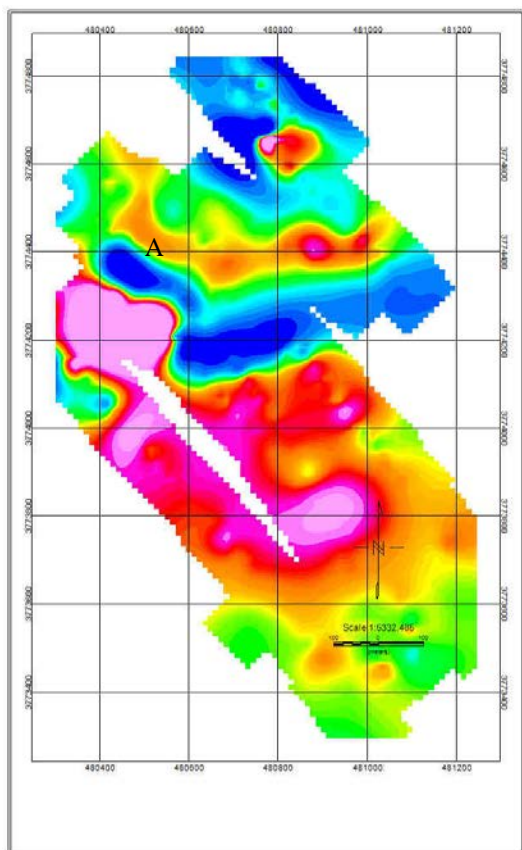


شکل ۷. شاخص ساختاری به ازای افزایش مرتبه صافی باترورث از 0.5 تا 2 کاهش می یابد. این کاهش به ازای مرتبه های بالاتر سریع تر می باشد تا جایی که در مرتبه های بالا به ازای  $\alpha$  کوچک مقدار شاخص ساختاری به زیر 1 می رسد.

۵ بررسی مرتبه های بالاتر صافی گذر باترورث در این قسمت رفتار مرتبه های صافی باترورث برای دوقطبی مغناطیسی بررسی می شود. با افزایش مرتبه صافی، شاخص ساختاری خیلی سریع تر کاهش می یابد تا اینکه به ازای  $\alpha = 0.5$  در مرتبه های ۲ به بعد شاخص ساختاری خیلی سریع به مقداری کوچکتر از ۱ می رسد. در شکل ۷ مرتبه های 0.5 تا ۲ صافی باترورث نشان داده شده است.

۶ مقایسه صافی باترورث با صافی ادامه فراسو

۵ بررسی مرتبه های بالاتر صافی گذر باترورث در این قسمت رفتار مرتبه های صافی باترورث برای دوقطبی مغناطیسی بررسی می شود. با افزایش مرتبه صافی، شاخص ساختاری خیلی سریع تر کاهش می یابد تا اینکه به ازای  $\alpha = 0.5$  در مرتبه های ۲ به بعد شاخص ساختاری



شکل ۸. نقشه میدان مغناطیسی کل منطقه چاه مس طبس.

## ۷ نتیجه گیری

با اعمال صافی پایین گذر باترورث بر داده‌های مغناطیسی، تأثیر این صافی بر شاخص ساختاری مورد بررسی قرار گرفت و این نتیجه حاصل شد که اعمال صافی پایین گذر شاخص ساختاری را کاهش می‌دهد. در دو موقعیت مکانی متفاوت، یکی درست روی توده و دیگری دور از توده، شاخص ساختاری مورد بررسی قرار گرفت. در روی توده مشاهده شد که شاخص ساختاری به‌ازای افزایش طول موج قطع کاهش می‌یابد. در این حالت شاخص ساختاری دارای حد بالا می‌باشد که برای داده‌های پتانسیلی مربوط به یک دوقطبی مغناطیسی برابر با ۲ می‌باشد. در حالت دوم، موقعیت مکانی دور از هدف مورد بررسی قرار گرفت. در فاصله‌های نزدیک توده، رفتار شاخص ساختاری شبیه حالت درست روی توده می‌-

ادامه فراسو اغلب به‌مثابه یک صافی پایین گذر مورد استفاده قرار می‌گیرد. تابع تبدیل این صافی به صورت زیر است:

$$F_{upward} = e^{-h'k_r} \quad (16)$$

این صافی یک نوع صافی ویژه است چون ویژگی‌های فیزیکی را حفظ می‌کند. بنابراین پتانسیل مغناطیس یک دوقطبی بعد از اعمال صافی ادامه فراسو برابر می‌شود با:

$$V_1 = \frac{\mu_0 m_z}{4\pi} \frac{(h+h')}{[x^2 + y^2 + (h+h')^2]^{3/2}} \quad (17)$$

با قرار دادن رابطه (۱۷) در معادله اوایلر، شاخص ساختاری تغییر نمی‌کند.

## ۶ اعمال صافی بر روی داده‌های واقعی

داده‌های مغناطیسی از منطقه چاه مس به ترتیب در عرض و طول جغرافیایی  $56^{\circ}47'31.20''E$  و  $34^{\circ}6'16.26''N$  واقع در ۶۰ کیلومتری شهر طبس برداشت شده‌اند. فاصله داده‌های برداشت شده ۱۰ متر و بیشینه فاصله پروفیل‌ها ۱۰۰ متر است. تشکیلات منطقه عمدتاً از آهک و دولومیت تشکیل شده که در مجاورت آنها بیرون‌زدگی‌های مگنتاتی مشاهده می‌شود. نقشه میدان مغناطیسی کل در شکل ۸ نشان داده شده است.

اعمال صافی باترورث بر روی داده‌های مغناطیسی نشان می‌دهد که با افزایش مرتبه صافی، شاخص ساختاری کاهش می‌یابد. برای مثال شاخص ساختاری بی‌هنجاری A هنگامی که مرتبه صافی ۰.۵ می‌باشد، ۲.۴۴ می‌باشد در صورتی که در مرتبه ۱ صافی، شاخص به ۰.۵۸ کاهش می‌یابد. در درجات بالاتر افت چندانی در شاخص مشاهده نمی‌شود. بنابراین نتیجه می‌گیریم که در اعمال صافی‌های ریاضی بایستی مراقب بود که بی‌هنجاری‌های حاصل با توجه به تغییر شاخص ساختاری، اشتباه تفسیر نشوند.



## منابع

- Blakely, R. J., 1996, *Potential Theory in Gravity and Magnetic Applications*: Cambridge University Press.
- Butterworth, S., 1930, On the theory of filter amplifiers: *Experimental Wireless and the Wireless Engineer*, 7, 536-541.
- Gradshteyn, I. S., and Ryzhik, I. W., 1965, *Table of Integrals, Series and Products*: Academic Press.
- Mushayandebvu, M. F., van Driel, P., Reid, A. B., and Fairhead, J. D., 1999, Magnetic imaging using extended Euler deconvolution: Presented at the 69th Ann. Internat. Mtg., Soc. Expl. Geophys.
- Nabighian, M. N., and Hansen, R. O., 2001, Unification of Euler and Werner deconvolution in three dimensions via the generalized Hilbert transform: *Geophysics*, 66, 1805-1810.
- Reid A. B., Allsop, J. M., Granser, H., Millet, A. J., and Somerton, I. W., 1990, Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution: *Geophysics*, 55, 80-91.
- Thompson, D. T., 1982, EULDPTH: A technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data: *Geophysics*, 47, 31-37.

باشد یعنی شاخص ساختاری به ازای افزایش طول موج قطع کاهش می یابد. در موقعیت های مکانی دورتر از توده، شاخص ساختاری از حد بالای نظری ذکر شده در بالا بیشتر می شود. اعمال صافی پایین گذر بر روی داده های واقعی منطقه چاه مس طبس، بیانگر کاهش شاخص ساختاری بی هنجاری واقع در نقشه میدان مغناطیسی کل است.

نتیجه عملی این بحث این است که:

۱- اگر در داده صافی شده حاصل از اعمال صافی باترورث از شاخص ساختاری تعیین شده در روش واهمامیخت اوپلر برای تخمین عمق توده استفاده شود، از مقدار نظری استفاده نمی کنند چون مقداری بزرگ است، بلکه بسته به داده از یک شاخص ساختاری کوچک تر استفاده می کنند.

۲- در پردازش داده های واقعی، برای آشکارسازی یک بی هنجاری مانند مین (تقریب یک دوقطبی) به جای استفاده از مقدار نظری از شاخص ساختاری پایین تر از حد آستانه استفاده می شود.