

پردازش تصویر ناهنجاری‌های میدان پتانسیل به منظور تعیین مرز و محدوده ناهنجاری با استفاده از تجزیه شبکه منظم مربوطه به طیف فرکانس‌های اصلی رنگی

اکو علیپور^{۱*}، محمدحسین محمدیان سرون‌دانی^۱ و حمید آقاجانی^۲

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران

۲. استادیار، دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران

(دریافت: ۹۳/۱۲/۳، پذیرش نهایی: ۹۴/۷/۱۴)

چکیده

در این مقاله پیشنهاد بر این است که ابتدا تصویری سه‌طیفی (تصویری که دارای سه طیف فرکانس اصلی قرمز، آبی و سبز است) از شبکه منظم تهیه شود، چون هر طیف فرکانس رنگی یک محدوده تعریف شده با طول موج و فرکانس خاص خود را دارد. طول موج‌های ناهنجاری مورد مطالعه بر اساس طیف رنگی خود به سه بازه از طول موج‌ها تفکیک خواهند شد و سپس روی هر طیف فیلتر مورد نظر جداگانه اعمال خواهد شد. هنگامی که نتایج اعمال فیلتر روی هر سه طیف فرکانسی به یک فرمت تصویری RGB بازگردانده شود، نوفه‌ها و سایر عوامل ناخواسته که قاعده خاصی ندارند و تنها در یک طیف خاص تقویت شده‌اند با نتایج حاصل از طیف‌های دیگر تداخل و برانگر خواهند داشت (یک کد رنگی بی‌مفهوم برای ذخیره در یک سلول، پیکسلی خاص از تصویر را تولید می‌کند) و به رنگ سیاه نشان داده خواهند شد و عواملی که طیف پیوسته و منظمی دارند، مانند ناهنجاری هدف مورد مطالعه، در مرز لبه ناهنجاری‌ها تداخل سازنده می‌کنند و به صورت دقیق لبه‌ها و محدوده ناهنجاری را نشان می‌دهند که از دقت زیادی برخوردار است. در این مقاله ابتدا این روش روی مدل مصنوعی با درصد‌های متفاوت از نوفه به کار می‌رود و سپس روی داده‌های مغناطیس‌سنجی حاصل از کانسارهای آهن منطقه اجت‌آباد استان سمنان اعمال خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: تعیین لبه، تجزیه طیف فرکانس رنگی، کانسار آهن اجت‌آباد، میدان پتانسیل، مغناطیس‌سنجی.

۱. مقدمه

تصویر RGB به صورت رضایت‌بخشی اثر عوامل ناخواسته حذف شده و علاوه بر این دقت این روش بسیار افزایش یافته است.

۲. روش‌ها

۲.۱. مشتقات افقی کل (THDR)

ماکزیم مقادیر گرادیان افقی ناهنجاری مغناطیسی یا گرانی ناشی از یک توده آنومال با لبه‌های عمودی و با فاصله زیاد از منابع دیگر، بر روی لبه‌های آن قرار می‌گیرد. این ویژگی برای اولین بار توسط کوردل در سال ۱۹۷۹ برای تعیین محل تغییرات ناگهانی چگالی در راستای جانبی مورد استفاده قرار گرفت. سپس این فیلتر روی داده‌های مغناطیسی (در تعیین محل تغییرات ناگهانی جانبی مغناطیدگی) نیز به کار برده شد (وردزکو و همکاران، ۲۰۰۴).

در برداشت‌های میدان پتانسیل به‌ویژه مغناطیس‌سنجی، تعیین مرز ساختارهای زیرسطحی روش متداولی در تفسیر داده‌ها به شمار می‌آید. مشتق‌های افقی و قائم ابزارهای مفیدی برای تعیین مرز تغییرات ناگهانی ناهنجاری یا همان لبه‌های ساختار مورد مطالعه هستند. استفاده از مشتق افقی کل و سیگنال تحلیلی دو روش بسیار مؤثر در استفاده از مشتقات هستند (پلینگتون و کیتینگ، ۲۰۰۴؛ کوپر و کاوان، ۲۰۰۸؛ کوپر، ۲۰۰۹). اگرچه این روش‌ها با تعیین محدوده ناهنجاری مورد مطالعه، تعداد زیادی از عوامل ناخواسته نوفه را تقویت می‌کنند و گاه نتایج بسیار پیچیده‌ای دارند، در سال‌های اخیر در سطح وسیع به کار رفته‌اند و بهبود یافته‌اند؛ به گونه‌ای که در نرم‌افزارهای تجاری استفاده شده‌اند (کوپر و کاوان، ۲۰۰۶). در این مقاله هشت روش متداول تعیین لبه مقایسه شده‌اند و با ارائه روشی کارآمد بر پایه تجزیه طیف رنگی

۲.۲. سیگنال تحلیلی

سیگنال تحلیلی سه بعدی یا گرادیان کامل به صورت ترکیب مشتقات افقی و قائم داده‌های میدان پتانسیل تعریف می‌شود. ماکزیمم مقدار سیگنال تحلیلی بر روی لبه‌های توده قرار می‌گیرد. یکی از نکات این روش این است که مشتقات افقی و قائم یک تابع پتانسیل، تبدیل هیلبرت یکدیگرند. تبدیل هیلبرت دامنه تابع ورودی را تغییر نمی‌دهد ولی فاز آن را به اندازه ۹۰ درجه تغییر می‌دهد. در نتیجه، تبدیل هیلبرت مشتق افقی داده‌های میدان پتانسیل، مشتق قائم داده‌ها را نتیجه می‌دهد (نیقیان، ۱۹۷۲). سیگنال تحلیلی تابع $f(x)$ کمیتی مختلط است و در حالت دو بعدی به صورت زیر تعریف می‌شود (لی، ۲۰۰۶).

$$A(x) = f(x) - i H[f(x)] \quad (1)$$

که در آن، $A(x)$ سیگنال تحلیلی و $H[f(x)]$ تبدیل هیلبرت تابع $f(x)$ است. در حالت کلی می‌توان سیگنال تحلیلی را به صورت زیر تعریف کرد.

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

۲.۳. فیلتر مشتق افقی کل زاویه تمایل (تیلت TA)

یکی از فیلترهای فاز پایه متداول جهت برجسته‌سازی ساختارهای موجود در نقشه‌های میدان پتانسیل، فیلتر زاویه تمایل است. زاویه تمایل برای تعیین لبه ناهنجاری‌های داده‌های میدان پتانسیل در توسط میلر و سینگ مشابه با فاز محلی تعریف شد، اما در مخرج به جای مشتقات افقی از مقدار قدر مطلق آن‌ها استفاده می‌شود (میلر و سینگ، ۱۹۹۴).

زاویه تمایل ویژگی‌های درخور توجهی دارد و به دلیل ماهیت تابع مثلثاتی تانژانت معکوس، مقدار آن صرف نظر از مقادیر مشتقات افقی و قائم در بازه $\left[-\frac{\pi}{2}, +\frac{\pi}{2}\right]$ قرار می‌گیرد. با کمی دقت در رابطه بالا مشخص است که زاویه تمایل، نرمال شده گرادیان قائم داده‌های میدان پتانسیل است. اگرچه مشتق قائم و افقی، هر دو برای منابع عمیق‌تر کوچک‌تر است، اما زاویه تمایل با استفاده از نسبت مشتق قائم به گرادیان افقی بر

این مشکل غلبه کرده است. بنابراین فیلتر تیلت نسبت به عمق منبع، غیرحساس است و منابع عمیق و کم عمق را به طور یکسان تفکیک می‌کند.

برای افزایش قدرت تفکیک ناهنجاری‌ها، وردوز کو و همکاران در سال ۲۰۰۴ مشتق افقی کل زاویه تمایل را پیشنهاد کردند.

از کاربردهای مهم این فیلتر تعیین مرز توده‌هاست، با توجه به شدت تغییرات در داده‌های برداشت شده، ممکن است، تصویر فیلتر شده با نوفه زیادی همراه باشد؛ به عبارت دیگر این فیلتر به نوفه حساس است.

۲.۴. نقشه تمایل $(\cos(\theta))$

این فیلتر به صورت نسبت اندازه گرادیان افقی به اندازه سیگنال تحلیلی داده‌های میدان پتانسیل تعریف می‌شود. بر همین اساس ویجنز و همکاران در سال ۲۰۰۵ فیلتر تمایل را معرفی کردند.

بنابراین نقشه تمایل را می‌توان نرمال شده گرادیان افقی نیز در نظر گرفت. این فیلتر به تخمین مرز توده‌های مولد آنومالی میدان پتانسیل می‌انجامد. محدودیت استفاده از این فیلتر در مورد داده‌های مغناطیسی است که ابتدا داده‌ها باید به قطب منتقل شوند تا ماهیت دوقطبی داده‌ها حذف شود.

۲.۵. گرادیان افقی کل نرمالیزه شده

استفاده از فیلترهای مشتق افقی در مواردی که توزیع ناهنجاری‌ها در سرتاسر نقشه یکسان نیست یا به عبارت دیگر هنگامی که دامنه تغییرات شدت ناهنجاری‌های موجود در نقشه زیاد است، باعث حذف ناخواسته ناهنجاری‌های با شدت متوسط و کم خواهد شد. در این صورت می‌توان از گرادیان افقی کل نرمالیزه شده استفاده کرد. این فیلتر با TDX نمایش داده می‌شود (کوپرو و کاوان، ۲۰۰۶).

فیلتر TDX، شکل نرمال شده مشتق افقی کل نسبت به مشتق قائم است که در مقایسه با فیلتر زاویه تمایل جای صورت و مخرج کسر عوض شده است. حداکثر اندازه گرادیان افقی مرزهای ناهنجاری را در تمام جهات برجسته می‌کند.

صفر است که به صورت اتفاقی در شکل به رنگ قرمز و آبی نشان داده شده است. در قسمت ۲-ج، مقادیر مرزی بین دو طیف آبی و قرمز حداکثر شدت را دارند که این مقدار با رنگ قرمز در شکل مشخص می‌شود و در قسمت ۲-د، حداکثر شدت طیف در زمینه تصویر با رنگ قرمز مشخص می‌شود. توجه شود که رنگ‌بندی‌های شکل‌های نشان داده شده در هر طیف رنگی صرفاً جنبه بصری دارد و مکان‌هایی که مقدار ماکزیمم به آن‌ها نسبت داده شده است، پاسخ‌های مورد نظرند. با تفکیک طیف‌های سه‌گانه از هم و اعمال هریک از فیلترها، بسته به نوع فیلتر اعمالی، مرز و محدوده تغییر فرکانس‌ها تعیین می‌شود. در نهایت با ذخیره‌سازی نتایج اعمال فیلترها روی سه طیف، در یک سلول یا پیکسل از تصویر خروجی تنها مرزهای مشترک بین سه طیف فرکانسی با هم تقویت می‌شوند و به رنگ سفید مشاهده خواهند شد؛ در سایر نقاط تصویر، کدهای بی‌معنی رنگی به وجود می‌آیند که به رنگ سیاه نشان داده خواهند شد. اعمال این روش در آشکارسازی مرز و محدوده آنومالی دو مزیت دارد؛ اول اینکه عوامل ناخواسته مانند نوفه که پیوستگی طیفی ندارند، خود به خود حذف می‌شوند و دوم اینکه در مرزهایی که طیف‌های رنگی رفتار پیوسته دارند (مانند ناهنجاری‌های مورد مطالعه) در فصل مشترک هر سه طیف که بسته به فیلتر استفاده شده می‌تواند مرز یا محدوده آنومالی باشد، این طیف‌ها یکدیگر را تقویت می‌کنند و به‌طور بارز مرز و محدوده آنومالی با رنگ روشن نشان داده می‌شود.

در شکل ۳ به صورت شماتیک مراحل مورد نیاز برای تجزیه طیفی رنگی و اعمال فیلترها روی هر طیف خاص نشان داده شده است. شایان به ذکر است که کدهای مربوط به تمامی فیلترها در محیط متلب برنامه‌نویسی شده است. برای ذخیره نتایج هر سه طیف، در یک سلول یا پیکسل از تصویر خروجی بهتر است از دستور (Double) استفاده شود. توجه شود که خروجی به صورت سه ماتریس دو بعدی خواهد بود که هر ماتریس یک مؤلفه رنگی از تصویر RGB را تشکیل می‌دهد. نویزها و عوامل ناخواسته تنها در یک طیف خاص تقویت می‌شوند، نتایج این طیف با نتایج حاصل

۲.۶. فیلتر تانژانت معکوس مشتق قائم بر مشتق کل سیگنال تحلیلی (Etilt)

در این فیلتر با استفاده از مشتق کامل افقی سیگنال تحلیلی و مشتق قائم که طبق رابطه زیر از آن‌ها استفاده می‌شود، می‌توان محدوده ناهنجاری را به صورت دقیق تعیین کرد.

$$Etilt = \tan^{-1} \left[k \frac{\frac{\partial f(x,y)}{\partial z}}{\sqrt{\left(\frac{\partial A}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial A}{\partial y}\right)^2}} \right] \quad (۳)$$

در این رابطه، A سیگنال تحلیلی است و ضریب k به صورت رابطه (۳-۱) تعیین می‌شود:

$$k = \frac{1}{\sqrt{dx^2 + dy^2}} \quad (۱-۳)$$

که در آن، dx و dy فواصل نمونه‌برداری در جهات محورهای x , y هستند.

برای استفاده از رابطه (۳) به عنوان ابزاری دقیق که تنها لبه‌های ناهنجاری را نشان دهد، می‌توان از آن مشتق افقی گرفت. این روش، روش دقیقی در تعیین لبه‌هاست، اما به نوفه حساسیت بسیار زیادی دارد (ارایسوی و دایکمن، ۲۰۱۳).

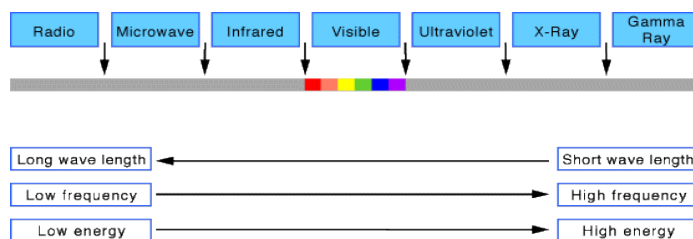
$$Ethdr = \sqrt{\left(\frac{\partial Etilt}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial Etilt}{\partial y}\right)^2} \quad (۴)$$

۳. بهبود کارایی روش‌های متداول با استفاده از تفکیک طیف رنگی

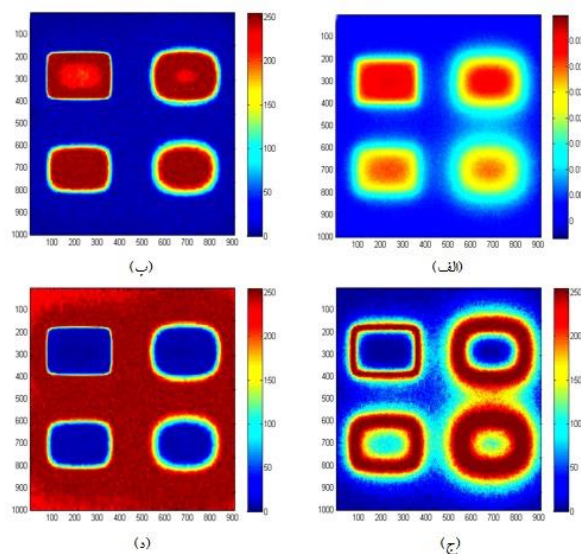
در این روش ابتدا تصویری که از سه ماتریس دو بعدی بر اساس مؤلفه‌های طیفی رنگ‌های اصلی (RGB) تولید شده باشد، به سه ماتریس دو بعدی سازنده آن تفکیک خواهد شد (سه ماتریس دو بعدی که طیف‌های رنگی اصلی تولید یک تصویر (RGB) هستند، در این روش استفاده خواهد شد). در شکل ۱ می‌توان تغییرات طیف‌های رنگی را بر اساس طول موج، فرکانس و انرژی مشاهده کرد.

با توجه به این نکته که طول موج، فرکانس و انرژی طیف رنگی به صورت پیوسته‌ای تغییر می‌کند، می‌توان با تجزیه یک تصویر یا ساخت سه عنصر اصلی تولید یک تصویر، به سه دسته فرکانس با سه طول موج مخصوص در هر طیف رنگی دست یافت. در شکل ۲-ب مشاهده می‌شود تنها طول موج‌های مربوط به طیف قرمز مقادیر حداکثری را تشکیل می‌دهند و برای مقادیر مربوط به طیف آبی شدت

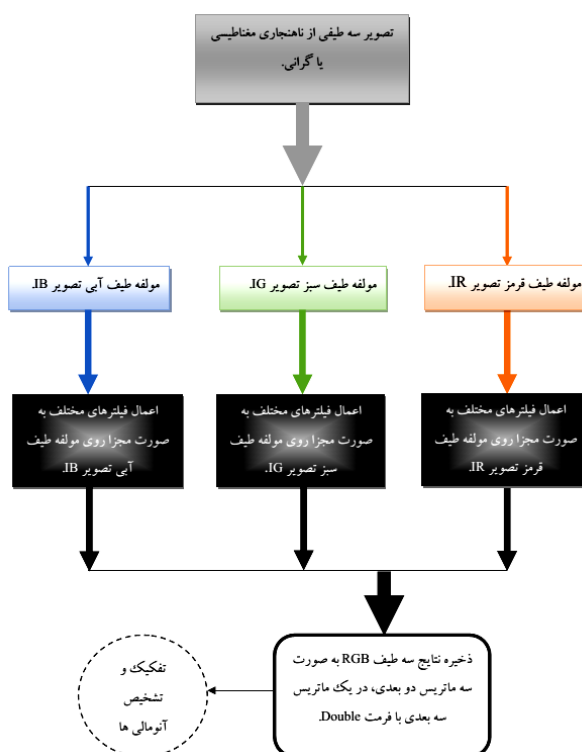
از دو طیف دیگر در یک سلول از تصویر با رنگ سیاه شناخته می‌شود. در شرایطی که طیفی از پیوستگی کافی برخوردار باشد، نتایج در هر سه طیف تقویت شده و در هر سلول با رنگ سفید نشان داده می‌شوند.



شکل ۱. تغییرات طول موج، فرکانس و انرژی طیف رنگی



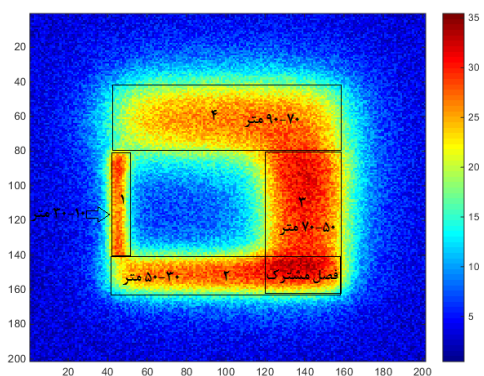
شکل ۲. (الف) تصویر سه بعدی از ناهنجاری مغناطیسی که انتقال به قطب یافته است. (ب) طیف رنگی قرمز، (ج) طیف رنگی سبز و (د) طیف رنگی آبی می‌باشد



شکل ۳. فلوچارت مرحله به مرحله اعمال فیلترهای مختلف با بهره‌گیری از روش تجزیه طیف رنگی

به قطب یافته استفاده شود.

به منظور نشان دادن دقت و پایداری روش‌ها در این بخش کارایی هر کدام از فیلترها به صورت مجزا و بدون اعمال نوفه در شکل‌های ۵ و ۶ و با اعمال نوفه تصادفی نسبتاً بالایی در شکل‌های ۷ و ۸ نشان داده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده از اعمال فیلترها به روش مستقیم در مقایسه با روش تجزیه طیف رنگی و به کارگیری این روش‌ها برای تعیین مرز و محدوده داده‌های واقعی، نتایج در ادامه به بحث و بررسی گذاشته می‌شوند.

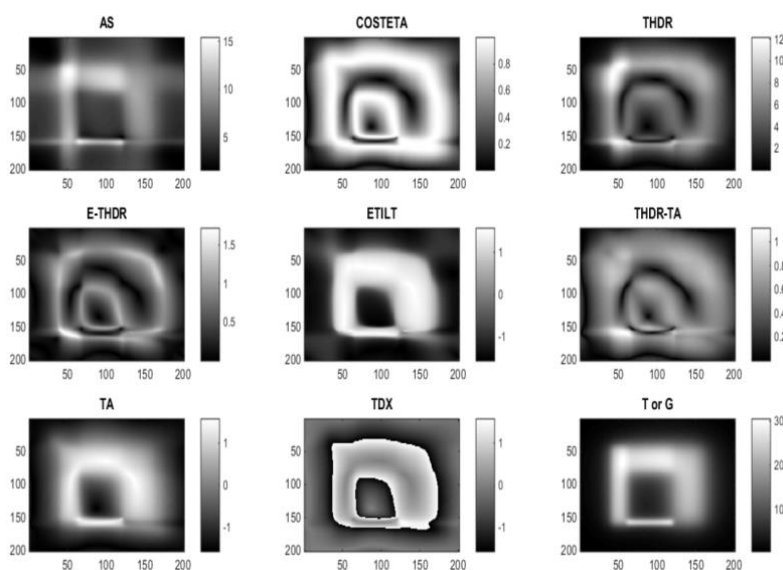


شکل ۴. مدل مصنوعی مغناطیسی حاوی ۱۰ درصد نوفه تصادفی، متشکل از چهار مکعب که محدوده و عمق قرارگیری از سطح تا تک مکعب‌ها با خودپذیری ($J = 1 \text{ A/m}$) روی ناهنجاری‌ها نمایش داده شده است.

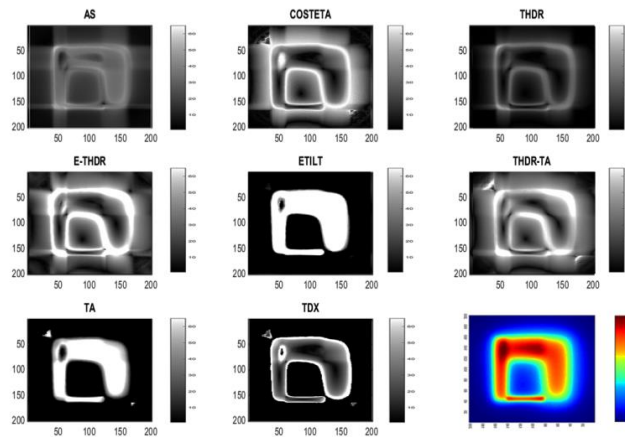
۴. اعمال روش پیشنهادی روی مدل مصنوعی با درصد

نوفه‌های متفاوت

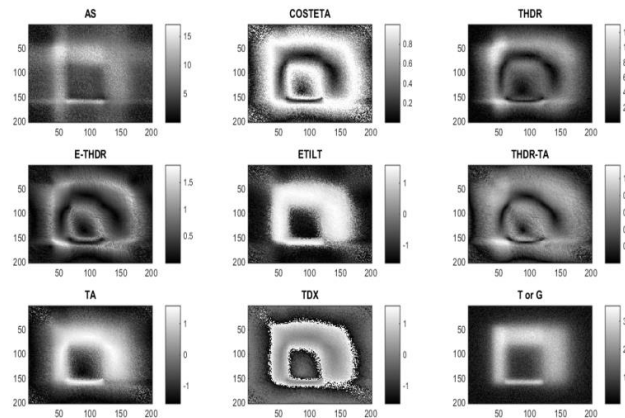
مدل مصنوعی تهیه شده، مدلی متشکل از چهار مکعب با ابعاد یکسان است که در عمق‌های مختلف قرار گرفته‌اند. ضخامت مکعب‌ها ۲۰ متر است و عمق قرارگیری سطح بالایی و پایینی مکعب‌ها در شکل ۴ نشان داده شده است. مدل مصنوعی به گونه‌ای در نظر گرفته شده است که عمق قرارگیری مکعب‌ها به صورت پله‌ای افزایش یابد و در قسمتی از مدل ناهنجاری حاصل، قسمتی از مکعب شماره ۲ و ۳ هم‌پوشانی کنند. داخل این مجموعه مکعب یک فضای خالی وجود دارد که می‌تواند تفکیک مرزها را در روش‌های تعیین مرز و محدوده دشوار سازد. مکعب ۱ دارای عرض ۱۰ متر و طول ۶۰ متر است. مکعب ۲ دارای عرض ۱۲۰ متر و طول ۲۰ متر است. مکعب ۳ دارای عرض ۴۰ متر و طول ۸۰ متر است. مکعب ۴ دارای عرض ۱۲۰ متر و طول ۴۰ متر است. مکعب‌ها به ترتیب در عمق‌های ۱۰، ۳۰، ۵۰ و ۷۰ متر با ضخامت ۲۰ متر خودپذیری ($J=1 \text{ A/m}$) در شکل ۴ نشان داده شده است. داده‌های مغناطیس‌سنجی با انتقال به قطب رفتار مشابه داده‌های گرانی خواهند داشت. چون هدف تعیین مرز و محدوده جسم آنومال است، بهتر است از داده‌های تبدیل



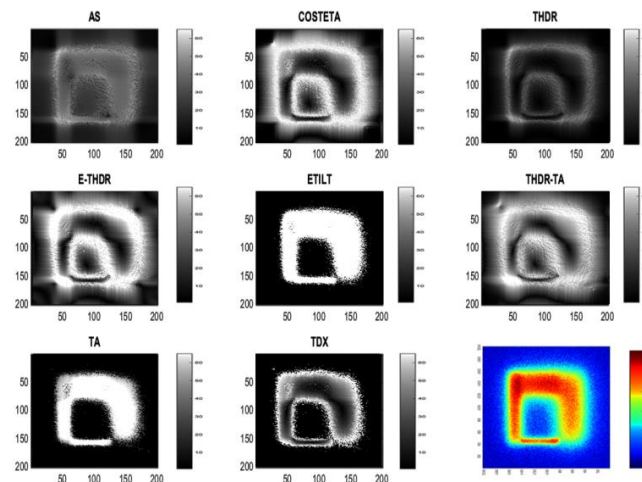
شکل ۵. نتایج اعمال مستقیم فیلترهای مختلف روی مدل مصنوعی بدون نوفه. نتیجه اعمال فیلترها، AS یا سیگنال تحلیلی، COSTETA یا نقشه تنا، THDR یا مشتق کامل افقی، E-THDR، ETilt، THDR_TA یا مشتق افقی زاویه تمایل، TA یا زاویه تمایل، TDX یا گرادینان افقی کل نرمال شده، T or G ناهنجاری حاصل از مدل مصنوعی.



شکل ۶. نتایج اعمال فیلترها از روش تجزیه طیف رنگی روی مدل مصنوعی بدون نوفه. نتیجه اعمال فیلترها، AS یا سیگنال تحلیلی، COSTETA یا نقشه تنا، THDR یا مشتق کامل افقی، E-THDR، ETilt، THDR_TA یا مشتق افقی زاویه تمایل، TA یا مشتق افقی زاویه تمایل، TDX یا گرادیان افقی کل نرمال شده، T or G ناهنجاری حاصل از مدل مصنوعی.



شکل ۷. نتایج حاصل از اعمال مستقیم فیلترهای مختلف روی مدل مصنوعی با ۲۰ درصد نوفه وارون گاوسی و ۵ درصد نوفه گاوسی. نتیجه اعمال فیلترها، AS یا سیگنال تحلیلی، COSTETA یا نقشه تنا، THDR یا مشتق کامل افقی، E-THDR، ETilt، THDR_TA یا مشتق افقی زاویه تمایل، TA یا زاویه تمایل، TDX یا گرادیان افقی کل نرمال شده، T or G آنومالی حاصل از مدل مصنوعی.



شکل ۸. نتایج اعمال فیلترهای مختلف از روش تجزیه طیف رنگی روی مدل مصنوعی با ۲۰ درصد نوفه وارون گاوسی و ۵ درصد نوفه گاوسی. نتیجه اعمال فیلترها، AS یا سیگنال تحلیلی، COSTETA یا نقشه تنا، THDR یا مشتق کامل افقی، E-THDR، ETilt، THDR_TA یا مشتق افقی زاویه تمایل، TA یا زاویه تمایل، TDX یا گرادیان افقی کل نرمال شده، T or G آنومالی حاصل از مدل مصنوعی.

مستقیم و با استفاده از روش تجزیه طیف رنگی می‌پردازیم. با توجه به شکل ۵ که نتایج اعمال فیلترها از روش معمول و مرسوم است و شکل ۶ که روش تجزیه طیف رنگی است، کارایی این روش‌ها در حالت بدون نوفه نشان داده شده است. فیلتر سیگنال تحلیلی یا AS در شکل ۵، تنها مرزهای ناهنجاری مورد مطالعه را در عمق‌های سطحی (۱۰ متری، به شکل ۴ مراجعه شود) واضح نشان داده است. با افزایش عمق، در عمق ۵۰ متری این فیلتر کارایی خود را کاملاً از دست داده است. با توجه به شکل ۶ فیلتر سیگنال تحلیلی یا AS تا عمق ۵۰ متری، مرز ناهنجاری مدل مصنوعی را به خوبی نشان داده است.

با توجه به شکل ۵ با فیلتر COSTETA که حساس به عمق نیست، پهنای مرز ناهنجاری مدل مصنوعی مورد مطالعه بسیار عریض‌تر از مقدار واقعی آن تعیین شده است؛ در حالی که در روش تجزیه طیف رنگی حاشیه اطمینان برای تشخیص مرز لبه‌های ناهنجاری افزایش یافته است (شکل ۶). این نتایج برای فیلترهای ETHDR، THDR، THDR_TA نیز صدق خواهد کرد (این فیلترها در شکل‌های ۵ و ۶ مقایسه شود).

برای سایر فیلترها که محدوده جسم ناهنجار را نشان می‌دهند، با استفاده از روش مستقیم اعمال فیلترها، با افزایش عمق محدوده جسم ناهنجار بزرگ‌تر از اندازه واقعی نتیجه می‌شود؛ در حالی که با افزایش عمق در روش تجزیه طیف رنگی محدوده این ناهنجاری‌ها از حالت مستطیلی به حالت دایره‌ای گرایش یافته است. از بررسی شکل‌های ۵ و ۶ می‌توان نتیجه گرفت که روش تجزیه طیف رنگی با افزایش عمق جسم ناهنجار، موفق‌تر از اعمال مستقیم فیلترها روی داده‌ها عمل کرده و حاشیه اطمینان بیشتری را برای تعیین محدوده و مرز جسم ناهنجار ایجاد می‌کند.

با مقایسه شکل‌های ۷ و ۸ که نتایج اعمال فیلترهای مختلف از روش تجزیه طیف رنگی روی مدل مصنوعی با ۱۰ درصد نوفه تصادفی است، مشاهده می‌شود که در شکل ۸ پایداری روش تجزیه طیف رنگی با اعمال نوفه، در تعیین مرز و محدوده آنومالی به مراتب بهتر از اعمال مستقیم فیلترها در شکل ۷ است. ذکر این نکته ضروری است که پایداری

۵. استفاده از داده‌های واقعی مغناطیس‌سنجی اجت آباد

استان سمنان

کانسار آهن اجت‌آباد در ۶۳ کیلومتری شمال شرق سمنان، جنوب شرق روستای اجت‌آباد و بین طول جغرافیایی $35^{\circ}42'44''$ تا $35^{\circ}43'11''$ و عرض جغرافیایی $53^{\circ}48'23''$ تا $53^{\circ}48'46''$ در بخش جنوبی جاده سمنان - دامغان قرار دارد. بخش مورد مطالعه در داخل نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ جام قرار می‌گیرد و محدوده‌ای به وسعت ۳۶ هکتار را شامل می‌شود. از نظر زمین‌شناسی منطقه کانی‌سازی شده از ماسه سنگ‌ها و آهک‌های دونین تشکیل شده و در اطراف آن سنگ‌های سازند کرج شامل توف و آندزیت و سایر سنگ‌های آتشفشانی و رسوبی‌های وابسته به ائوسن رخمون دارند. بیشتر کانی‌سازی آهن در این منطقه از جنس هماتیت و در صد کمتری مگنتیت است که احتمالاً در اثر فعالیت‌های گرمایی ناشی از نفوذ سنگ‌های آندزیت - داسیت به داخل رسوبات آهکی و کنگلومرانی و همچنین سیلیس‌های با سن ائوسن شکل گرفته است (مرادزاده و همکاران، ۱۳۸۵).

در مطالعه حاضر برداشت مغناطیس‌سنجی جمعاً در طول ۲۳ پروفیل شرقی غربی و ۳ پروفیل شمالی جنوبی در ۱۲۰۰ نقطه در یک شبکه منظم 20×15 متری با مگنتومتر پروتون صورت گرفته و پس از آن تصحیحات اولیه رویدادهای شدت میدان اجرا شده است. زاویه میل و انحراف میدان مغناطیسی زمین تابعی از موقعیت جغرافیایی نقاط اندازه‌گیری است؛ به همین دلیل یک ناهنجاری مغناطیسی، علاوه بر شکل و خود پذیری مغناطیسی ساختمان‌های زیر سطحی، به جهت القاشوندگی مغناطیسی زمین نیز وابسته است. برای حذف این نامتقارنی‌های ایجادشده، از فیلتر برگردان به قطب استفاده می‌شود. با اعمال این فیلتر آنومالی‌ها به مرکز توده‌های مولد آن‌ها انتقال می‌یابند (مرادزاده و همکاران، ۱۳۸۵).

۶. نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج روش‌های ذکر شده در این مقاله، در این مرحله به بحث و بررسی نتایج فیلترهای اعمالی با روش

قوی‌ترین طیف پیوسته را نتیجه خواهد داد؛ بنابراین پیچیدگی‌های مربوط به سایر عوامل که تفسیر را دشوار می‌سازند، فیلتر می‌شود. بیان این نکته ضروری است که تمامی این روش‌ها تنها ابزارهایی برای تفسیر آسان‌تر مرز و محدوده ناهنجاری‌های مورد مطالعه هستند و در نهایت تفسیر به عهده مفسر خواهد بود؛ تنها روش‌هایی که مرز و محدوده را مشخص‌تر نشان می‌دهند و نتایج آن‌ها پیچیدگی‌های کمتری دارد، روش‌های موقفی در این زمینه خواهند بود.

تمامی نتایج این تحقیق توسط نویسنده اول مقاله در محیط برنامه متلب کدنویسی شده است. در این کد از هیچ ابزار آماده برنامه متلب استفاده نشده است تا بتوان به‌عنوان برنامه‌ای کاملاً اتوماتیک از آن استفاده کرد. ورودی این برنامه داده‌های گرانی‌سنجی یا مغناطیس‌سنجی است و خروجی این برنامه نتایج گرافیکی اعمال روش مستقیم فیلترها و تجزیه طیف رنگی به‌طور مجزا است.

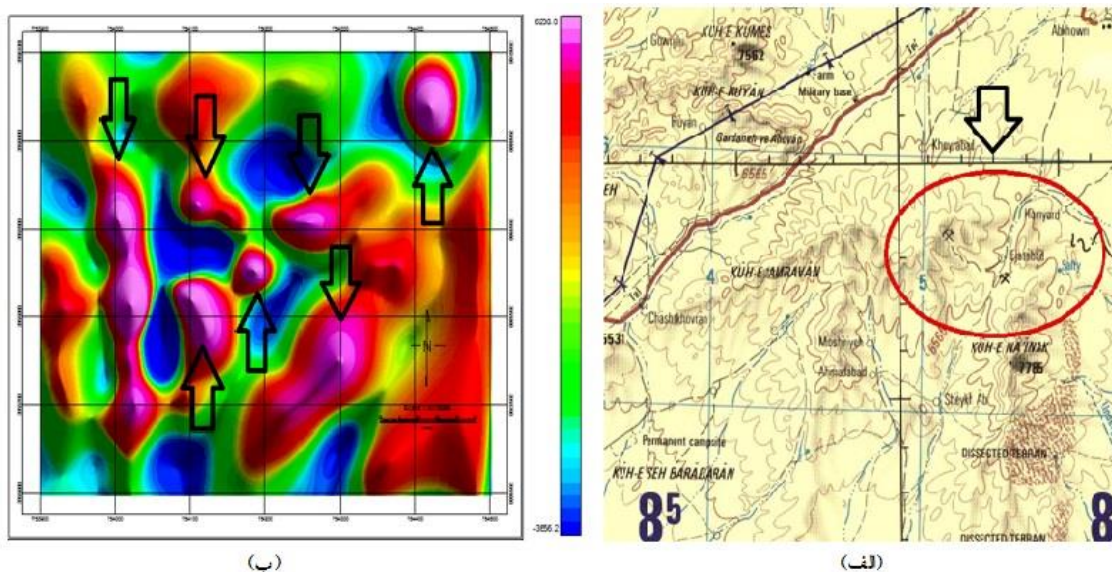
مزایای استفاده از روش‌هایی از این دست مشخص کردن قسمت‌هایی از ناهنجاری است که تغییرات ناگهانی فرکانس دارد. این تغییرات در روش‌های معمول ژئوفیزیکی با اعمال مستقیم فیلترها روی داده‌ها انجام می‌گیرد و مکان‌هایی را مشخص می‌کند که احتمال دارد از دید مفسر مخفی بماند؛ پس به‌عنوان یک ابزار کمکی می‌تواند دیدی کلی از منطقه مورد مطالعه با سرعت زیاد فراهم آورد. با علم به اینکه رفتار این فیلترها در عمق‌های متفاوت می‌تواند چگونه باشد، شیب منطقه نیز قابل تشخیص خواهد بود. مشکل اصلی استفاده از این روش‌ها، عامل نوفه و ایجاد پیچیدگی‌های بسیار زیاد در نتیجه است. یکی از نمونه‌های آن قسمت TA در شکل ۱۰ است که به جای کمک به تفسیر آسان‌تر تفسیر را دشوارتر کرده است. در این مقاله با استفاده از روش تجزیه طیف رنگی، سعی در افزایش دقت و پایداری روش‌های تعیین لبه و محدوده شده است، اما استفاده از این روش باید با احتیاط‌هایی همراه باشد. اول اینکه تصویری که از آنومالی مغناطیسی یا گرانی‌سنجی تهیه می‌شود، بهتر است از محیط برنامه متلب تنها با ترکیب سه

بیشتر در مقابل اعمال نوفه در شکل ۸ ناشی حساسیت این روش به طیف‌های پیوسته و هم‌دوس است. همان‌گونه که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، با اعمال ۱۰ درصد نوفه تصادفی به مدل مصنوعی که نوفه زیادی به شمار می‌آید، در بیشتر روش‌ها مرز و محدوده ناهنجاری در مقایسه با شکل ۷ به‌طور بارزتری مشخص شده است. یکی از دلایل می‌تواند دقت کمتر نتایج اعمال مستقیم فیلترها در تعیین مرز و محدوده ناهنجاری‌ها در مدل‌های پیچیده باشد. با مقایسه کیفی شکل‌های ۷ و ۸، دیده می‌شود که روش‌های THDR، THDR-TA، TA، AS در شکل ۷ نتایج کاملاً ناواضحی به همراه دارند، در حالی که در شکل ۸ این نتایج رضایت‌بخش‌ترند. هرچند در هر دو شکل تأثیر نوفه در نتایج تعیین مرز و محدوده قابل مشاهده است، اما نتایج اعمال سایر فیلترها نیز در شکل ۸ دقت بیشتری از نتایج به‌دست‌آمده در شکل ۷ دارد. برای مثال فیلتر COSTETA در شکل ۷ مرز پهن‌تری را از شکل ۸ نشان می‌دهد. یکی از فواید استفاده از روش‌های تعیین لبه و محدوده، تعیین دقیق مرز و محدوده جسم آنومال است؛ پس روشی مطلوب‌تر خواهد بود که مرز یا محدوده دقیق‌تر با گمانه کمتری را تعیین کند.

مدل‌های مصنوعی حتی حاوی درصد زیاد نوفه تصادفی نیز پیچیدگی‌های ناهنجاری‌های صحرائی را ندارند. معمولاً داده‌های صحرائی تنها تحت تأثیر یک نوع نوفه قرار نمی‌گیرند؛ علاوه بر آن داده‌ها از لحاظ تغییرات دامنه ناهنجاری، بازه بسیار گسترده‌ای را پوشش می‌دهند. در شکل ۹-ب، ناهنجاری‌های کانسار آهن منطقه اجت‌آباد سمنان نشان داده شده است. در این شکل توده‌های آهن با فلش سیاه نشان داده شده‌اند. حال با توجه به شکل ۱۰ و به‌عنوان مثال مقایسه نتایج فیلتر ETILT که نتیجه اعمال مستقیم فیلتر و فیلتر ETILT-ASC که نتیجه روش تجزیه طیف رنگی است، پیچیدگی‌های زیادی که در اعمال مستقیم فیلتر وجود دارد و تفسیر را دشوار می‌سازد، در روش تجزیه طیف رنگی حذف شده‌اند و تفسیر نتایج این روش به مراتب آسان‌تر از روش معمول و مرسوم است. نکته شایان توجه درباره روش این است که تنها محدوده

نشود؛ بهتر است این روش‌ها به‌عنوان ابزاری مکمل برای روش‌های مستقیم به کار برده شود.

رنگ آبی و قرمز و سبز ساخته شود و هرگز تنها به این دست روش‌ها در تعیین لبه و محدوده آنومالی اکتفا



شکل ۹. (الف) نقشه دسترسی به منطقه مورد مطالعه؛ محل مشخص شده با فلش نشان‌دهنده منطقه اجت‌آباد سمنان است و (ب) آنومالی مغناطیس‌سنجی منطقه اجت‌آباد سمنان؛ فلش‌های سیاه‌رنگ محل ۷ توده کانسار آهن هستند.



شکل ۱۰. نتایج اعمال فیلترهای مختلف روی داده‌های مغناطیس‌سنجی اجت‌آباد سمنان. شکل‌هایی که پسوند ASC دارند، نتیجه روش تجزیه طیف رنگی و شکل‌های بدون پسوند، نتیجه اعمال مستقیم فیلترها هستند.

مراجع

- آباد سمنان، بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- Arisoy, Ö. M. and Dikmen, Ü., 2013, Edge detection of magnetic sources using enhanced total horizontal derivative of the Tilt Angle, *Yerbilimleri. J.*, 34, 73-82.
- Cooper, G.R.J., 2009, Balancing images of potential-field data, *Geophys. J. Int.*, 74, 17-20.
- Cooper, G.R.J. and Cowan, D.R., 2006, Enhancing potential field data using filters based on the local phase, *Computers and Geosciences, J.*, 32, 158-159.
- Cooper, G.R.J. and Cowan, D.R., 2008, Edge enhancement of potential-field data using normalized statistics, *Geophys. J. Int.*, 73, 1-4.
- Cordell, L., 1979, Gravimetric expression of graben faulting in Santa Fe country and the Espanola Basin, New Mexico Soc. Expl. Geophys., 59-64.
- Li, X., 2006, Understanding 3D analytic signal amplitude, *Geophys. J. Int.*, 71, 13-16.
- Miller, H. and Singh V., 1994, Potential field tilt- A new concept for location of potential field sources, *Geophys. J. Int.*, 32, 213-217.
- Nabighian, M. N., 1972, The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: Its properties and use for automated anomaly interpretation, *Geophys. J. Int.*, 37, 507-517.
- Pilkington, M. and Keating, P., 2004, Contact mapping from gridded magnetic data: a comparison of techniques, *Exploration Geophysics, J.*, 35, 206-311.
- Verduzco, B., Fairhead, J. D., Green, C.M. and MacKenzie, C., 2004, New insights into magnetic derivatives for structural mapping, *The Leading Edge, J.*, 23, 116-119.
- Wijns, C., Perez, C. and Kowalczyk, P., 2005, edge detection in magnetic data, *Geophys. J. Int.*, 70, 39-43.