مجله علمی پژوهش های کاربردی در علوم زمین (سال اول)
شماره ۱ / بهار ۱۳۹۵ / ص ۱۷- ۹

بررسی بی‌هنجاری‌های مغناطیسی با اســتفاده از فیلترهــای برجسته ساز نوین و مقایسه آنها، بررسی موردی: شمال نروژ

یاسین ناسوتی[۱]، براتعلی فیض آبادی[۲]، عزیز ناسوتی [۳]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

[۲] استادیار، گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

[۳] محقق سازمان زمین‌شناسی نروژ، ترندهیم، نروژ

نام و نشانی ایمیل نویسنده مسئول:

یاسین ناسوتی

nasutiyasin@gmail.com

چکیده

در این تحقیق ما از فیلترهای برجسته ساز شناخته شده‌ای شامل زاویه تیلت، سیگنال تحلیلی و مشتق افقی کل استفاده کرده و آنها را با فیلترهایی که اخیراً معرفی شده‌اند شامل ایتیلت و مشتق افقی کل ایتیلت مقایسه کرده و برای ارزیابی این روش‌ها آنها را بر روی داده‌های مغناطیس هوایی با دقت بالا از شمال نروژ اعمال کرده‌ایم. داده‌های مغناطیس هوایی این منطقه ساختارهای مثبت خطی و خیلی قوی را نشان می‌دهند که توسط گسل‌های خیلی بزرگ یا دایک‌های دولریتی و متادولریتی ایجاد شده‌اند . چون به کمک این داده‌ها می‌توان بی‌هنجاری‌های مغناطیسی عمیق را با دقت بالا شناسایی کرد ، این منطقه برای ارزیابی فیلترهای برجسته ساز، منطقه‌ی مناسبی است. نتایج نشان می‌دهند، فیلترهایی که به تازگی معرفی شده‌اند قادر به فراهم کردن لبه‌های دقیق‌تر و تیزتر در مقایسه با فیلترهای معمول هستند.

واژگان کلیدی: سیگنال تحلیلی، مشتق های افقی و قائم، فیلترهای برجسته ساز، تیلت، ایتیلت

مقدمه

داده‌های مغناطیس هوایی با دقت بالا به صورت گسترده‌ای برای نقشه برداری زمین‌شناسی سطحی و همچنین برای نقشه برداری ساختارهای تکتونیکی عمیق مورد استفاده قرار می‌گیرد. این داده‌ها اغلب شامل بی‌هنجاری‌هایی با گستره وسیع دامنه هستند که به وسیله ساختارهای کم عمق و عمیق ایجاد می‌شوند. با توجه به اثر بی‌هنجاری‌های مجاور بر روی یکدیگر، تفکیک کردن بی‌هنجاری‌های مغناطیسی ضعیف اما مهم از بی‌هنجاری‌های قوی، سخت خواهد بود. در سالهای اخیر تعداد زیادی از فیلترهای تشخیص لبه برای برجسته سازی هر دو نوع از این بی‌هنجاری‌ها معرفی شده است. این فیلترها به طور کلی از ترکیبی از مشتقات عمودی و افقی داده‌های میدان پتانسیل تشکیل شده‌اند و نتایج متعادلی را نشان می‌دهند.

هنگام به کار گیری فیلترهای متفاوت روی داده‌های میدان پتانسیل، بیشترین تلاش برای ایجاد تعادل بین نوفه و سیگنال‌های موجود در تصویر فیلتر شده صورت می‌گیرد [۱]. جداسازی بی‌هنجاری‌های ناحیه‌ای و باقیمانده، جانمایی دقیق محل بی‌هنجاری‌ها بر روی منابع مولد بی‌هنجاری، تخمین مرز منابع مولد بی‌هنجاری بر روی نقشه‌های هم مقدار مغناطیسی، کاهش نویزهای موجود در نقشه‌ها و تصاویر میدان پتانسیل از مهمترین کاربرد فیلترها هستند[۲]. در این تحقیق ما از فیلترهای برجسته ساز شناخته شده‌ای شامل زاویه تیلت[1]، سیگنال تحلیلی[2] و مشتق افقی کل[3] استفاده کرده و آنها را با فیلترهایی که اخیراً معرفی شده‌اند شامل ایتیلت[4] و مشتق افقی کل ایتیلت[5] مقایسه کرده‌ایم.

میلر و سینک (۱۹۹۴) برای تفسیر بی‌هنجاری‌های میدان پتانسیل فیلتر زاویه تیلت را معرفی کردند[۳]. این فیلتر یک فیلتر برآورد مرز نیست بلکه هدف عمده آن ایجاد تعادل در تصویر است. مهم‌ترین ویژگی این فیلتر نیز بدون بعد بودن آن است. کردل و کراچ (۱۹۸۵) مشتق افقی کل را معرفی کردند. بیشینه مقدار این فیلتر مرز توده‌ها را نشان می‌دهد[۴]. سیگنال تحلیلی از جمله روش‌هایی است که نبیقیان (۱۹۷۲) و روئست و همکاران (۱۹۹۲) معرفی کرده‌اند و به طور گسترده در تفسیر داده‌های مغناطیسی از آن استفاده شده است[۵] و [۶]. مهم‌ترین ویژگی این فیلتر وابسته نبودن آن به جهت بردار مغناطیسی زمین است. آریسوی و دیکمن (۲۰۱۳) از ترکیب فیلترهای سیگنال تحلیلی و زاویه تیلت، فیلتر دیگری به نام ایتیلت معرفی کردند[۷]. فیلتر ایتیلت مرز بی‌هنجاری‌های مربوط به توده‌های عمیق را با دقت بیشتری نسبت به این دو فیلتر نشان می‌دهد. آریسوی و دیکمن (۲۰۱۳) برای نشان دادن بهتر لبه‌ی بی‌هنجاری‌ها، فیلتر مشتق افقی ایتیلت را معرفی کردند[۷]. بیشینه این فیلتر مرز توده‌ها را نشان می‌دهد. لبه‌های بی‌هنجاری توسط این فیلتر دارای تیزی خوبی هستند. برای ارزیابی فیلترهای بیان شده، این فیلترها بر روی داده‌های مغناطیس هوایی با دقت بالا از شمال کشور نروژ اعمال شدند.

۱- روش مطالعه

در این تحقیق از چند فیلتر جهت برجسته‌سازی مرز بی‌هنجاری‌های مغناطیسی استفاده شده است که در زیر به شرح مختصری از این فیلترها پرداخته شده است.

اولین فیلتر مورد استفاده فیلتر سیگنال تحلیلی (AS) است که نبیقیان (۱۹۷۲) آن را به صورت رابطه (۱) معرفی کرد[۵]:

$$AS\left(x,y\right)=\frac{\partial T}{\partial x}+\frac{\partial T}{\partial f}-i\,\frac{\partial T}{\partial Z} \qquad (۱)$$

و روئست و همکاران (۱۹۹۲) دامنه سیگنال تحلیلی را در حالت سه بعدی به صورت رابطه (۲) معرفی کردند[۶]:

$$\left|AS\left(x,y\right)\right|=\sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^{2}+\left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)^{2}+\left(\frac{\partial T}{\partial z}\right)^{2}} \qquad (۲)$$

که در آن AS سیگنال تحلیلی و T میدان پتانسیل است. سیگنال تحلیلی به طور گسترده در تفسیر داده‌های مغناطیسی از آن استفاده می‌شود. مهمترین مزیت این فیلتر وابسته نبودن آن به ویژگی‌های بردار مغناطیسی و همچنین مغناطیس باقیمانده[6] در سنگ‌ها است.

---

[1] Tilt angle
[2] Analytical Signal
[3] Total Horizontal derivative
[4] ETilt
[5] Total Horizontal derivative of the ETilt
[6] Remanent Magnetism

بیشینه مقدار این فیلتر مرز توده‌ها را نشان می‌دهد که این نکته در همه جا صادق نیست به طوری که برای یک دایک[۷] نازک بیشینه مقدار سیگنال تحلیلی بر بالای توده قرار می‌گیرد. علاوه بر این برای تفکیک توده‌های مجاور لازم است ازمشتقات مرتبه‌های بالاتر در سیگنال تحلیلی استفاده کرد که این باعث افزایش حساسیت به نویز دراین روش می‌شود[۸] و [۹]. همچنین این فیلتر توانایی برجسته‌سازی توده-های قرار گرفته در عمق زیاد را نیز ندارد.

کردل و کراچ (۱۹۸۵) مشتق افقی کل را به صورت رابطه (۳) معرفی کردند[۴]:

$$THD = \sqrt{\left(\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)^2\right)} \qquad (۳)$$

که در آن THD مشتق افقی کل و T میدان پتانسیل است. بیشینه مقدار این فیلتر مرز توده‌ها را نشان می‌دهد. مرز برآوردی توسط این فیلتر پخش شدگی دارد و توده‌های مجاور به خوبی از هم تفکیک نمی‌شوند.

میلر و سینگ(۱۹۹۴) فیلتر زاویه تیلت (Tilt) که اولین فیلتر فازی است را به صورت رابطه (۴) معرفی کردند[۳]:

$$Tilt = \tan^{-1}\left(\frac{\partial T/\partial z}{\sqrt{\left(\frac{\partial T}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y}\right)^2}}\right) \qquad (۴)$$

که در آن Tilt زاویه تیلت و T میدان پتانسیل است. مقدار صفر این فیلتر مرز توده‌ها را نشان می‌دهد. با این حال، این فیلتر یک فیلتر برآورد مرز نیست. برای توده‌های با بی‌هنجاری مثبت، مقدار زاویه تیلت در بالای بی‌هنجاری مثبت، در نزدیکی لبه‌ها صفر و بیرون از منطقه بی‌هنجاری زیرسطحی، منفی است. زاویه تیلت دارای گستره بین ۹۰- تا ۹۰+ درجه است[۱]. از معایب این فیلتر آن است که توانایی تفکیک توده‌های مجاور را ندارد، همچنین توده‌های عمیق به صورت هاله‌ای و مبهم نمایان می‌شوند.

آریسوی و دیکمن (۲۰۱۳) از ترکیب فیلتر سیگنال تحلیلی و زاویه تیلت، فیلتر دیگری به نام ایتیلت (ETilt) را به صورت رابطه (۵) معرفی کردند[۷]:

$$ETilt = \tan^{-1}\left(K\frac{\partial T/\partial z}{\sqrt{\left(\frac{\partial AS}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial AS}{\partial y}\right)^2}}\right) \qquad (۵)$$

که در آن ETilt فیلتر ایتیلت، T میدان پتانسیل، AS سیگنال تحلیلی و k به صورت رابطه (۶) معرفی می‌شود:

$$K = \frac{1}{\sqrt{dx^2 + dy^2}} \qquad (۶)$$

مقدار صفر این فیلتر مانند فیلتر زاویه تیلت در بالای مرز توده‌ی مولد بی‌هنجاری قرار می‌گیرد. این فیلتر مرز بی‌هنجاری‌های مربوط به توده‌های عمیق را با دقت بیشتری نسبت به این دو فیلتر نشان می‌دهد. این فیلتر بی‌هنجاری‌های سطحی و نویزهای سطحی را نیز حذف می‌کند. همچنین شکل بی‌هنجاری‌ها در این فیلتر حفظ می‌شود.

آریسوی و دیکمن (۲۰۱۳) برای نشان دادن بهتر لبه‌ی بی‌هنجاری‌ها، فیلتر مشتق افقی ایتیلت را به صورت رابطه (۷) معرفی کردند[۷]:

$$ETHDR = \sqrt{\left(\left(\frac{\partial ETilt}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial ETilt}{\partial y}\right)^2\right)} \qquad (۷)$$

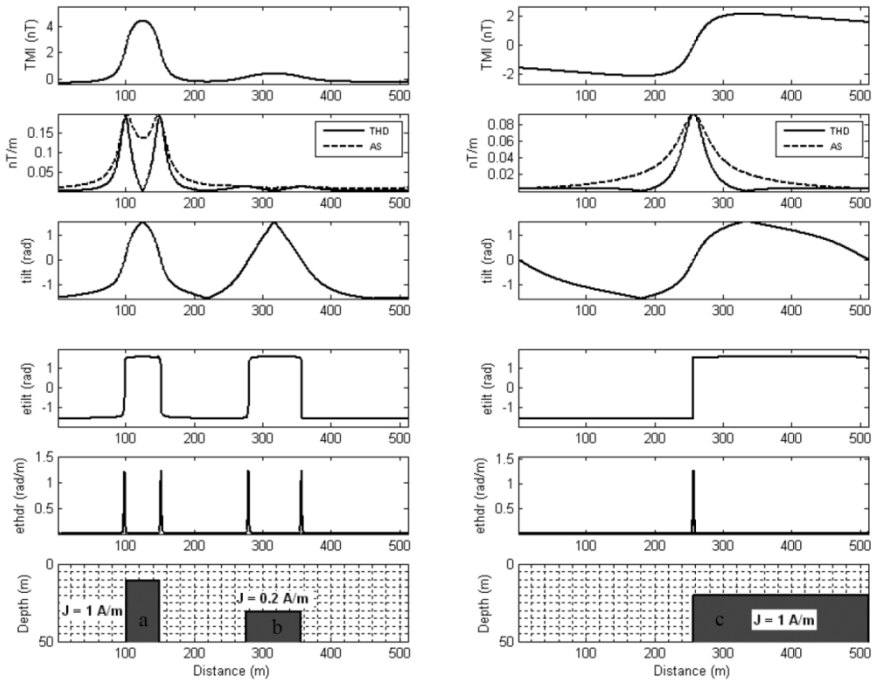
که در آن ETHDR مشتق افقی کل ایتیلت و ETilt فیلتر ایتیلت است. بیشینه مقدار این فیلتر مرز توده‌ها را نشان می‌دهد. لبه‌های بی‌هنجاری توسط این فیلتر دارای تیزی خوبی هستند. این فیلتر توده‌های مجاور را نیز به خوبی از هم تفکیک می‌کند.

[7] Dyke

شکل(۱) نتایج اعمال فیلترهای بیان شده بر روی دو مدل مصنوعی تبدیل به قطب[۸] شده، شامل سه منبع مغناطیسی با پارامترهای آورده شده در جدول (۱) را نشان می‌دهد.

جدول۱- پارامترهای سه منبع مغناطیسی مربوط به دو مدل مصنوعی در شکل(۱)

منبع مغناطیسی	عمق (m)	شدت میدان مغناطیسی در SI (A/m)
منشور a	۱۰	۱
منشور b	۳۰	۰/۲
کنتاکت c	۲۰	۱



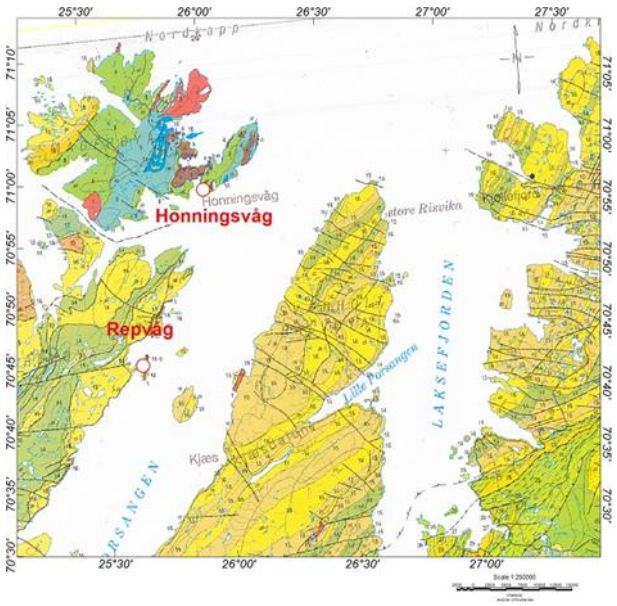
شکل ۱- نتایج اِعمال فیلترهای مشتق افقی کل، سیگنال تحلیلی، تیلت، ایتیلت و مشتق افقی کل ایتیلت بر روی دو مدل مصنوعی که شامل سه منبع مغناطیسی با پارامترهای هندسی آورده شده در جدول(۱) است. مدل‌ها در یک میدان مغناطیسی عمودی قرار دارند [۷].

۲- اعمال فیلترهای بیان شده بر روی داده‌های مغناطیسی منطقه مورد مطالعه در شمال نروژ

منطقه مورد مطالعه در مرکز شهرستان فینمارک که یکی از شهرستان‌های شمال نروژ است، قرار دارد و شامل شهرهای هانینگ سوِج[۹] و ریپ وِج[۱۰] است. شکل (۲) نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱/۵۰۰۰۰۰ شهرستان فینمارک است[۱۰]. این منطقه شامل مجموعه‌ای از سنگ‌های رسوبی، آذرین، نفوذی و دگرگونی دوران کوه‌زایی کالدونین[۱۱] است. در این منطقه سه مجموعه از دایک‌های مافیک[۱۲] که از مطالعات تاریخ گذاری همگن شناخته شده‌اند شامل ادیاکاران[۱۳]، دونین پسین[۱۴] و کربونیفر اولیه[۱۵]

[8] Reduction to the Pole
[9] Honningsvåg
[10] Repvåg
[11] Caledonian Orogeny
[12] Mafic
[13] Ediacaran
[14] Late Devonian
[15] Early Carboniferous

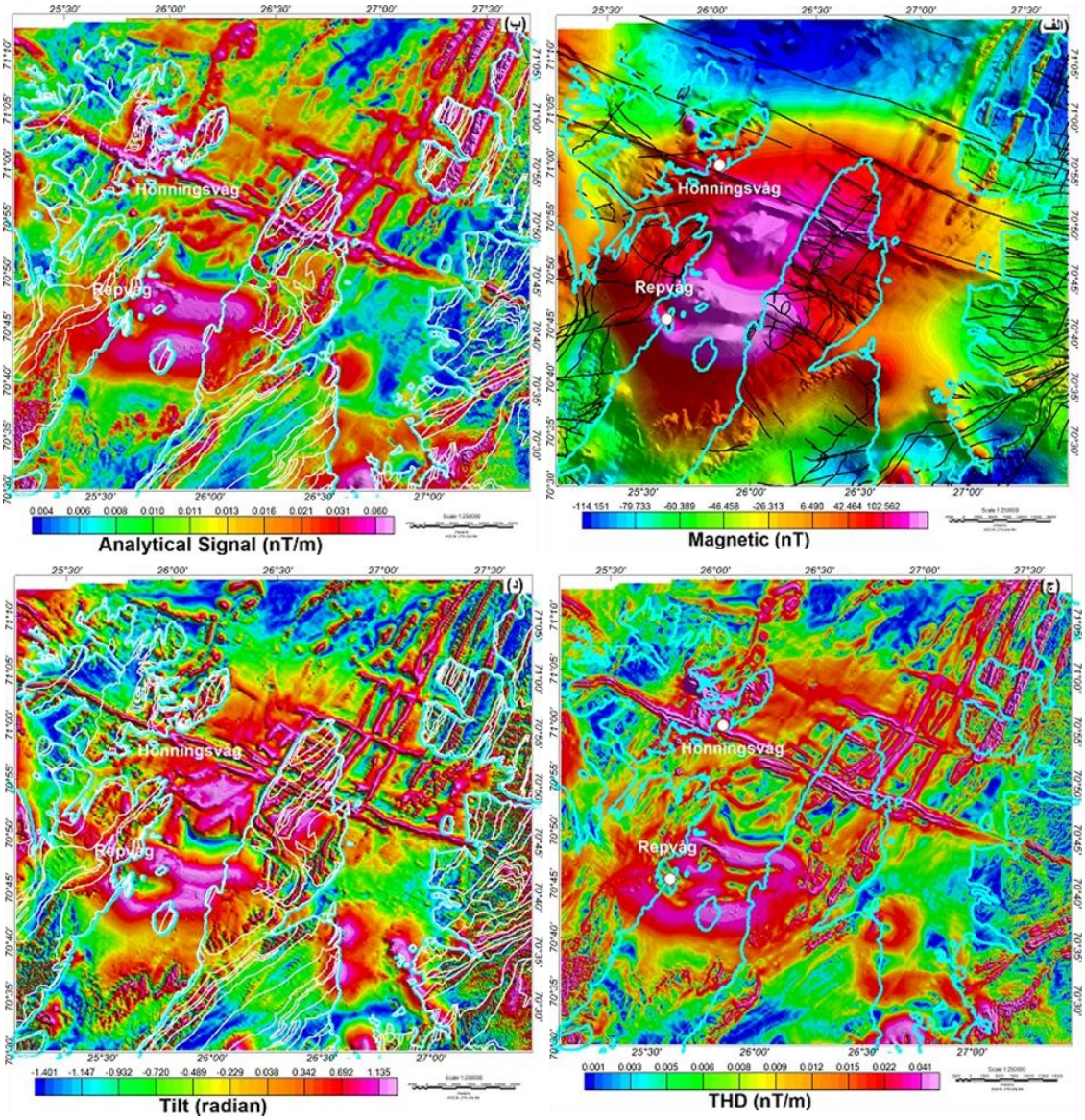
هستند. بی‌هنجاری‌های خطی با دامنه بالا در منطقه، مربوط به این دایک‌ها و گسل‌های[۱۶] موجود در آن هستند[۱۱]. در این تحقیق از فیلترهای ذکر شده برای برآورد مرز بی‌هنجاری‌ها به ویژه خطواره‌های موجود در منطقه‌ی مورد مطالعه، واقع در شمال کشور نروژ استفاده شده است.



شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱/۵۰۰۰۰۰ شهرستان فینمارک در شمال کشور نروژ[۱۰].

شکل۳- الف نقشه شدت میدان مغناطیسی باقیمانده داده‌های هوایی منطقه مورد نظر در شمال نروژ را نشان می‌دهد. در این نقشه مرز توده‌ها به صورت هاله‌ای و مبهم هستند و توده‌های مجاور نیز روی یکدیگر اثر گذاشته و از هم تفکیک نشده‌اند. علاوه بر این به علت ماهیت دوقطبی میدان مغناطیسی زمین بی‌هنجاری‌ها دقیقاً بر روی منابع مولد بی‌هنجاری‌ها قرار ندارند. شکل ۳- ب نقشه فیلتر سیگنال تحلیلی بر روی داده‌های قسمت الف از شکل ۳ را نشان می‌دهد. این فیلتر اثر دوقطبی میدان مغناطیسی را حذف کرده و بی‌هنجاری‌ها بر بالای منابع مولد آن‌ها قرار گرفته‌اند. با استفاده از این فیلتر می‌توان محل گسل‌ها،

[16] Faults

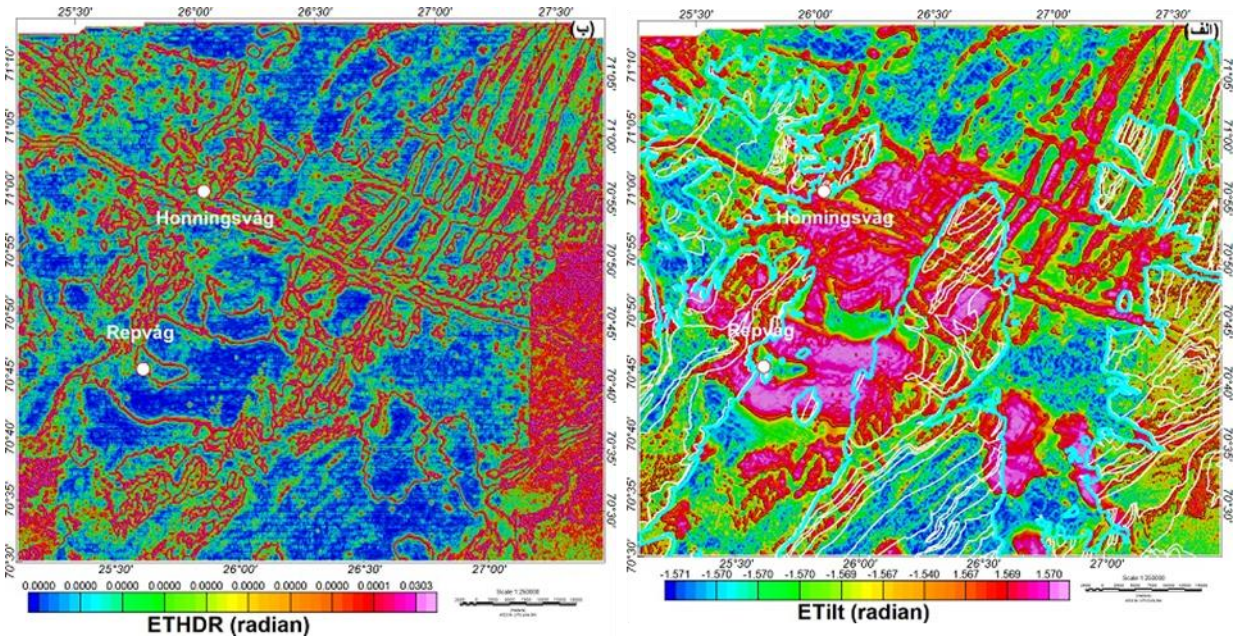


شکل ۳- نتایج اعمال فیلترهای شناخته شده بر روی داده‌های مغناطیس باقیمانده منطقه مورد مطالعه. الف) نقشه شدت میدان مغناطیسی باقیمانده داده‌های منطقه مورد مطالعه که وسعت ۸۰×۸۸ کیلومتر را پوشش می‌دهند. ب) نقشه فیلتر سیگنال تحلیلی بر روی داده‌های قسمت الف. ج) نقشه فیلتر مشتق افقی کل بر روی داده‌های قسمت الف. د) نقشه فیلتر زاویه تیلت بر روی داده‌های قسمت الف. خطوط فیروزه‌ای مرز ساحلی، خطوط سیاه خطواره‌های مشخص شده در نقشه زمین‌شناسی و خطوط سفید مرز ساختارهای زمین‌شناسی برگرفته از نقشه ۱/۵۰۰۰۰۰ منطقه را نشان می‌دهد.

توده‌ها و همچنین دایک‌ها را که بیشتر دارای روند شمال شرق- جنوب غرب و غرب شمال غرب- شرق جنوب شرق هستند، مشخص کرد. سیگنال تحلیلی نتوانسته است اثر توده‌های عمیق را برجسته کند، همچنین توده‌های مجاور یکدیگر نیز به خوبی تفکیک نشده‌اند. علاوه بر آن مرز توده‌های مجزا نیز پخش و پراکنده شده‌اند و گسترده‌تر از واقعیت هستند. شکل ۳- ج نقشه فیلتر مشتق افقی کل بر روی داده‌های شکل ۳- الف را نشان می‌دهد . مشتق افقی کل روی مرز توده‌ها مقدار بیشینه را نشان داده است. این فیلتر نتایج کم و بیش شبیه به فیلتر سیگنال تحلیلی را بدست داده است، با این تفاوت که پخش شدگی مرز توسط این فیلتر کمتر است. شکل ۳- د نقشه فیلتر زاویه تیلت بر روی داده‌های شکل ۳- الف را نشان می‌دهد. این فیلتر باعث تعادل در تصویر شده و علاوه بر مرز ساختارهای مشخص شده در نقشه زمین-شناسی، دنباله این ساختارها در مناطق دور از ساحل و همچنین ساختارهای قرار گرفته در اعماق را نیز نشان داده است. در این نقشه بی-هنجاری‌های مثبت خطی با راستاهای مختلفی دیده می‌شوند که عمدترین این راستاها شمال شرق – جنوب غرب و غرب شمال غرب – شرق جنوب شرق است. همچنین در این نقشه چند بی‌هنجاری مثبت بزرگ نیز دیده می‌شود که احتمالاً مربوط به پاسخ مغناطیسی سنگ

بستر است به طوری که مرز آن‌ها توسط این فیلتر مبهم نشان داده شده است زیرا کارایی آن با افزایش عمق توده‌های مولد بی‌هنجاری‌ها به شدت کاهش می‌یابد.

در این تحقیق برای رفع مشکل پخش شدگی مرز، برجسته‌سازی بهتر توده‌های عمیق و تفکیک توده‌های مجاور هم از دو فیلتر جدید شامل فیلتر ایتیلت و مشتق افقی ایتیلت استفاده شد. تصاویر حاصل از این فیلترها در شکل ۴ نشان داده شده است. شکل ۴ - الف نقشه فیلتر ایتیلت بر روی داده‌های شکل ۳ - الف را نشان می‌دهد. این فیلتر علاوه بر مرز بی‌هنجاری‌های کم عمق، مرز بی‌هنجاری‌های عمیق را نیز به خوبی برجسته کرده است. توده‌های مجاور توسط این فیلتر به خوبی تفکیک نشده است. شکل ۴- ب نقشه فیلتر مشتق افقی کل ایتیلت را نشان می‌دهد. این فیلتر نه تنها مرز بی‌هنجاری‌های مربوط به توده‌های عمیق و کم عمق را با دقت بسیار بالایی برجسته کرده است بلکه توده‌های مجاور را نیز به خوبی تفکیک کرده است.



شکل۴- نتایج اعمال فیلترهای جدید ایتیلت و مشتق افقی کل ایتیلت بر روی داده‌های مغناطیس باقیمانده منطقه مورد مطالعه. الف) نقشه فیلتر ایتیلت بر روی داده‌های شکل۳- الف . ب) نقشه فیلتر مشتق افقی کل ایتیلت (مشتق افقی بر روی نقشه فیلتر ایتیلت اعمال شده است). خطوط فیروزه‌ای مرز ساحلی و خطوط سفید مرز ساختارهای زمین‌شناسی برگرفته از نقشه ۱/۵۰۰۰۰۰ منطقه را بر روی نقشه فیلتر ایتیلت نشان می‌دهد.

۳- نتیجه گیری

فیلترهای مختلفی به منظور تخمین مرز بی‌هنجاری‌های میدان پتانسیل استفاده می‌شوند. همه این فیلترها از سه کمیت پایه به نام گرادیان‌های میدان پتانسیل استفاده می‌کنند. یکی از کاربردهای مهم این فیلترها به ماهیت بی‌هنجاری‌های میدان پتانسیل به خصوص بی-هنجاری‌های مغناطیس‌سنجی برمی‌گردد. استفاده از روش‌های تخمین مرز اثر مایل بودن زاویه میل بر شکل بی‌هنجاری‌ها را برطرف کرده و حدود توده مولد بر روی نقشه تعیین می‌شود. در این تحقیق ما از فیلترهای برجسته ساز شناخته شده‌ای شامل زاویه تیلت، سیگنال تحلیلی و مشتق افقی کل استفاده کرده و آنها را با فیلترهایی که اخیراً معرفی شده‌اند شامل ایتیلت و مشتق افقی ایتیلت مقایسه کرده و برای ارزیابی این روش‌ها آنها را بر روی داده‌های مغناطیس هوایی با دقت بالا از شمال نروژ اعمال کرده‌ایم.

نتایج حاصل از اعمال فیلترهای برجسته ساز بر روی داده‌های مغناطیسی منطقه نشان می‌دهد که فیلتر سیگنال تحلیلی توده‌های مجاور را تفکیک نکرده است. همچنین مرزهای برآوردی توسط این فیلتر پخش‌شدگی دارند. این فیلتر توده‌های عمیق قرار گرفته در مجاور توده‌های کم عمق را نیز برجسته نکرده است. مقدار فیلتر مشتق افقی کل در بالای مرز توده‌های زیرسطحی بیشینه است. این فیلتر نتایج کم و بیش شبیه به فیلتر سیگنال تحلیلی به دست داده است، با این تفاوت که پخش‌شدگی مرز توسط این فیلتر کمتر است. مقدار فیلتر زاویه تیلت در بالای توده‌های مغناطیسی زیرسطحی مثبت، نزدیک مرز صفر و بیرون از توده‌های زیرسطحی منفی است. این فیلتر اثر توده‌های عمیق را برجسته و تا حدودی توده‌های مجاور را تفکیک کرده است و ادامه آن‌ها را در مناطق دور از ساحل نیز نشان داده است. این فیلتر نیز مشکل

پخش‌شدگی مرز دارد به طوری که مرز توده‌ها را به صورت هاله‌ای و مبهم نشان داده است و کارایی آن با افزایش عمق توده‌های مولد بی-هنجاری‌ها به شدت کاسته شده است، با این حال تفسیر توسط این فیلتر ساده‌تر از سیگنال تحلیلی و مشتق افقی کل است. فیلتر ایتیلت اندازه آن در بالای مرز توده‌های زیرسطحی صفر است. این فیلتر علاوه بر مرز بی‌هنجاری‌های مربوط به توده‌های کم عمق، مرز توده‌های عمیق را نیز با دقت بالایی برجسته کرده است. همچنین این فیلتر بی‌هنجاری‌های سطحی و نویزهای سطحی را حذف کرده و شکل بی-هنجاری‌ها در این فیلتر حفظ شده است. این فیلتر به خوبی توده‌های مجاور را تفکیک نکرده است. فیلتر مشتق افقی کل ایتیلت اندازه آن در بالای مرز توده‌های زیرسطحی بیشینه است. این فیلتر نه تنها مرز بی‌هنجاری‌های مربوط به توده‌های کم عمق و عمیق را با دقت بسیار خوبی نشان داده است، بلکه توده‌های قرار گرفته در مجاور هم را نیز به خوبی تفکیک کرده است. لبه‌ی بی‌هنجاری‌ها توسط این فیلتر تیزی خوبی دارند. تفسیر توسط این فیلتر به راحتی انجام می‌گردد.

تشکر و قدردانی

از همکاری سازمان زمین‌شناسی نروژ (NGU) برای در دسترس قرار دادن داده‌های منطقه مورد مطالعه، سپاسگزاریم.

منابع و مراجع

[1] Cooper, G. R. J., and D. R. Cowan. *"Enhancing potential field data using filters based on the local phase"*, Computers & Geosciences, Vol. 32, pp. 1585-1591, 2006.

[2] Blakely, Richard J. "*Potential theory in gravity and magnetic applications"*, Cambridge University Press, pp. 441, 1996.

[3] Miller, Hugh G., and Vijay Singh. "*Potential field tilt—a new concept for location of potential field sources*", Journal of Applied Geophysics, Vol. 32, pp. 213-217, 1994.

[4] Cordell, Lindrith, and V. J. S. Grauch. "*Mapping basement magnetization zones from aeromagnetic data in the*", The utility of regional gravity and magnetic anomaly maps, pp. 181-197, 1985.

[5] Nabighian, Misac N. "*The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: Its properties and use for automated anomaly interpretation*", Geophysics,Vol. 37, pp. 507-517, 1972.

[6] Roest, Walter R., Jacob Verhoef, and Mark Pilkington. "*Magnetic interpretation using the 3-D analytic signal*", Geophysics, Vol. 57, pp. 116-125, 1992.

[7] Arisoy, M., and U. Dikmen. "*Edge detection of magnetic sources using enhanced total horizontal derivative of the Tilt angle*", Bull Earth Sci Appl Res Cent Hacet Univ, Vol. 34, pp. 73-82, 2013.

[8] Hsu, Shu-Kun, Jean-Claude Sibuet, and Chuen-Tien Shyu. "*High-resolution detection of geologic boundaries from potential-field anomalies: An enhanced analytic signal technique*", Geophysics, Vol. 61, pp. 373-386, 1996.

[9] Hsu, Shu-Kun, Dorothee Coppens, and Chuen-Tien Shyu. "*Depth to magnetic source using the generalized analytic signal*", Geophysics, Vol. 63, pp. 1947-1957, 1998.

[10] Siedlecka, A., and D. Roberts. "*Finnmark Fylke. Berggrunnsgeologi M 1: 500 000*", Norges geologiske undersøkelse, 1996.

[11] Nasuti, Aziz, David Roberts, and Laurent Gernigon. "*Multiphase mafic dykes in the Caledonides of northern Finnmark revealed by a new highresolution aeromagnetic dataset*", Norwegian Journal of Geology, Vol. 95, pp. 251–263, 2015.