

## پردازش و تفسیر داده های مغناطیس هوایی با استفاده از روش های تخمین عمق خودکار بررسی موردی: منطقه فینمارک در شمال نروژ

یاسین ناسوتی<sup>۱</sup>، براتعلی فیض آبادی<sup>۲</sup>، عزیز ناسوتی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

<sup>۲</sup> استادیار، گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران

<sup>۳</sup> محقق سازمان زمین شناسی نروژ، ترندهیم، نروژ

نام و نشانی ایمیل نویسنده مسئول:

عزیز ناسوتی

[aziz.nasuti@ngu.no](mailto:aziz.nasuti@ngu.no)

### چکیده

در پردازش و تفسیر داده های میدان پتانسیل یکی از هدف های مهم بدست آوردن عمق توده های مورد نظر است. در علم ژئوفیزیک روش های خودکار متداولی جهت تخمین عمق توده های میدان پتانسیل وجود دارد. در این تحقیق از روش های تخمین عمق خودکار شامل واهمامیخت اوپلر، اوپلر مکانی، روش ترکیبی سیگنال تحلیلی-واهمامیخت اوپلر و تیلت-عمق جهت تخمین عمق خطواره های موجود در منطقه فینمارک که مربوط به گسل ها و دایک های دولریت دونین پسین در شمال نروژ هستند، استفاده شده است. برای این کار روش های مذکور بر روی داده های شدت میدان مغناطیسی باقی مانده با کیفیت و دقت بالای منطقه مورد مطالعه اعمال گردیده است. این روش ها کم و بیش نتایج یکسانی را به دست داده اند به طوری که نتایج حاصل از این روش ها نشان می دهد که تقریباً تمام خطواره های موجود در منطقه فینمارک دارای عمقی کمتر از ۴۰۰ متر هستند و بیشتر آن ها عمق کمتر از ۵۰ متر دارند.

**واژگان کلیدی:** واهمامیخت اوپلر، اوپلر مکانی، سیگنال تحلیلی، روش تیلت، عمق، فینمارک،

نروژ

## مقدمه

طی پروژه چشمه های معدنی شمال نروژ<sup>(۱)</sup> (MINN) در سازمان زمین شناسی نروژ (NGU<sup>۲</sup>) داده های مغناطیس هوایی با کیفیت و دقت بالا اندازه گیری شد که اکنون تمام ناحیه ی فینمارک واقع در شمال کشور نروژ را پوشش می دهد. هدف از این پروژه ارتقا و تکمیل زمین شناسی موجود که مربوط به ارزیابی پتانسیل های معدنی در سه تا از شهرستان های شمال نروژ است، بود. این داده ها از کیفیت و دقت بالایی برخوردار هستند به طوری که از طریق این داده ها بسیاری از ساختارهای زمین شناسی که در داده های قبلی دیده نمی شدند را می توان به وضوح دید. مجموعه ای از دایک های مافیک که از مطالعات تاریخ گذاری همگن در شمال شرقی منطقه فینمارک شناخته شده اند شامل دایک های دونین پسین هستند که به صورت ناپیوسته بروزندگی دارند [۱] و [۲]. داده های جدید مغناطیس هوایی نشان می دهند که تا ۲۰ عدد دایک را می توان در زیر سطح منطقه بین وارو و سلتیف جوردن بر مبنای نشانه های بی هنجاری مثبت خطی تشخیص داد [۳]. در شمال وادسو دو دایک دولریت دونین پسین که از بروزندگی ساحلی شناخته شده اند به عنوان بی هنجاری های مغناطیسی مثبت بر روی زمین و نقاط دور از ساحل در نقشه ی مغناطیسی منطقه قابل مشاهده هستند [۳].

در این تحقیق به منظور برآورد عمق خطواره های موجود در منطقه مورد مطالعه داده های مغناطیس هوایی با کیفیت بالای برداشت شده با استفاده از روش های تخمین عمق خودکار شامل روش واهمامیخت اوپلر<sup>۳</sup>، اوپلر مکانی<sup>۴</sup>، روش ترکیبی سیگنال تحلیلی-واهمامیخت اوپلر<sup>۵</sup> و تیلت-عمق<sup>۶</sup> مورد پردازش و تفسیر قرار گرفته است. روش سیگنال تحلیلی و واهمامیخت اوپلر به طور گسترده در برآورد پارامترهای توده های زیرسطحی مولد بی هنجاری های گرانی سنجی و مغناطیس سنجی شامل تعیین عمق، موقعیت و شکل توده های مولد بی هنجاری های میدان پتانسیل به کار رفته اند [۴]، [۵]، [۶]، [۷]، [۸]، [۹]، [۱۰]، [۱۱]، [۱۲]، [۱۳] و [۱۴]. روش واهمامیخت اوپلر نیاز به انتخاب اندیس ساختاری و اندازه پنجره مناسب دارد و هر چه این پارامترها بهتر انتخاب شوند نتایج بدست آمده به واقعیت نزدیک تر خواهد بود. بنابراین در اینجا دقت روش به مهارت اپراتور بستگی زیادی دارد و باید هندسه بی هنجاری ها توسط اپراتور مشخص شود. سالم و همکاران (۲۰۰۲) از تابع سیگنال تحلیلی در روش اوپلر استفاده کردند و روش جدیدی به نام اوپلر مکانی را معرفی کردند و عمق و مکان توده مولد بی هنجاری ها را برای حالت خاصی که شکل توده مشخص باشد، بدست آوردند [۱۵]. برای این روش خطای اپراتور کمتر شده و تنها اندیس ساختاری توسط اپراتور انتخاب می شود. سالم و راوات (۲۰۰۳) روش پیشین را تعمیم دادند و از ادغام دو روش واهمامیخت اوپلر و سیگنال تحلیلی روش AS-EULER را معرفی کردند [۱۶]. با استفاده از این روش عمق و اندیس ساختاری توده مولد بی هنجاری در محل توده مولد بی هنجاری محاسبه می شود؛ که مکان توده مولد بی هنجاری با استفاده از محل مقدار بیشینه دامنه سیگنال تحلیلی برآورد می شود. در این روش تمام پارامترها به صورت خودکار انتخاب می شوند و خطای اپراتور در این روش به حداقل می رسد. سالم و همکاران (۲۰۰۷) روش دیگری به نام تیلت-عمق را معرفی کردند که می تواند به عنوان یک روش ساده برای تخمین عمق تا بالای توده های مولد بی هنجاری های میدان پتانسیل مورد استفاده قرار گیرد. روش تیلت-عمق بر پایه ی استفاده هم زمان زاویه تیلت برای تخمین مرز و عمق توده های مولد است. در این روش نصف فاصله فیزیکی بین  $45^{\circ}+$  تا  $45^{\circ}-$  برای هر توده برابر با عمق آن توده است، البته باید ارتفاع سنسور مغناطیسی در برداشت های هوایی و ارتفاع ادامه فراسو در صورت استفاده آن از عمق برآوردی کم شود. [۱۷]

اعمال روش های پردازشی در این تحقیق با استفاده از نرم افزار Oasis Montaj ساخت شرکت ژئوسافت انجام گرفته است.

<sup>1</sup>Mineral resources In Northern Norway

<sup>2</sup>Norges Geologiske Undersøkelse

<sup>3</sup>Euler Deconvolution

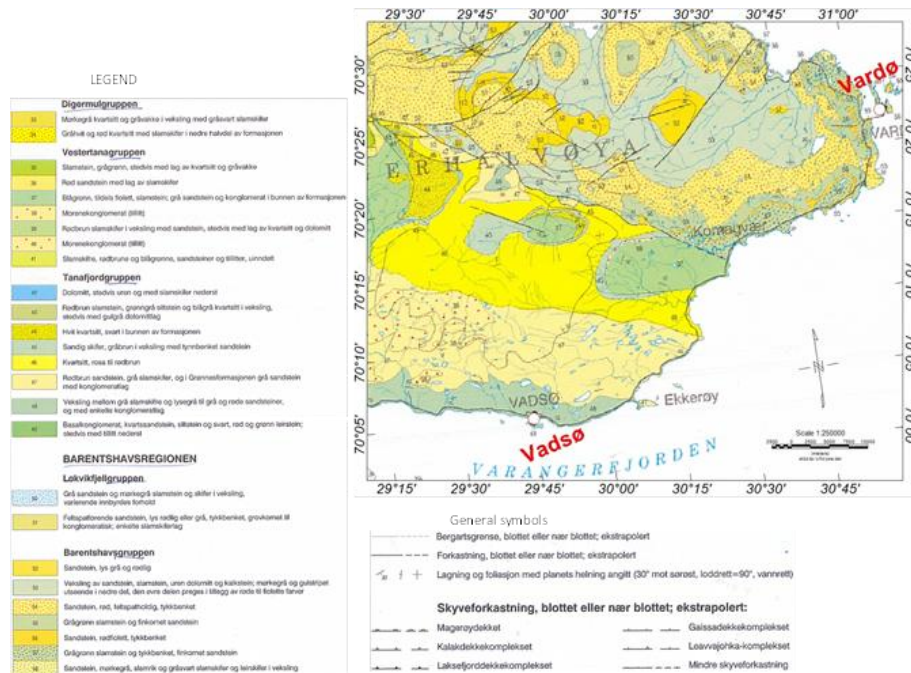
<sup>4</sup>Euler Located

<sup>5</sup>AS\_EULER

<sup>6</sup>Tilt\_Depth

## ۱- معرفی منطقه و اعمال روش های پردازشی

منطقه مورد مطالعه در شمال شرق شهرستان فینمارک قرار دارد و شامل شهرهای واردو<sup>۷</sup>، وادسو<sup>۸</sup>، شرق تانابرو<sup>۹</sup> و جنوب باتس فیورد<sup>۱۰</sup> است. شکل (۱) نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه برگرفته از نقشه زمین شناسی ۱/۵۰۰۰۰۰ شهرستان



شکل ۱- نقشه زمین شناسی از واردو، وادسو، شرق تانابرو و جنوب باتس فیورد برگرفته از نقشه زمین شناسی ۱/۵۰۰۰۰۰ شهرستان فینمارک [۱۸].

فینمارک است [۱۸]. این منطقه شامل مجموعه ای از ماسه سنگ، کنگلومرا، سیلتستون و شیل مربوط به دوران نئوپروتریوزوئیک و فانروزوئیک است. داده های مغناطیسی با کیفیت بالا از این منطقه تعداد زیادی دایک های دولریت دونین پسین را در قسمت شمال و شمال شرقی منطقه نشان می دهد. همچنین در شمال شرق وادسو دو دایک دولریت دونین پسین نیز که از بروزندگی آن ها در ساحل شناخته شده اند به عنوان بی هنجاری های مغناطیسی مثبت بر روی زمین و نقاط دور از ساحل بر روی نقشه مغناطیسی معرفی شده اند. در ابتدا برای تخمین عمق خطواره های موجود در منطقه مورد مطالعه که مربوط به گسل ها و دایک های دولریت دونین پسین هستند، از روش نیمه خودکار واهمامیخت اوپلر استفاده گردید. هنگام استفاده از این روش دو مشکل اساسی وجود دارد. اولی القاء نویزهای فرکانس بالا به هنگام محاسبه مشتق های میدان پتانسیل و دومی نیاز به اطلاع از هندسه توده برای تخمین شاخص ساختاری معادله اوپلر است. در این تحقیق برای رفع مشکل اول علاوه بر اینکه از داده های با کیفیت و دقت بالای منطقه فینمارک استفاده شده و فرایند میکروولولینگ نیز جهت حذف نویزهای احتمالی بر روی داده ها اعمال گردیده است، داده ها ۲۰ متر به سمت بالا ادامه فراسو داده شده اند. جهت رفع مشکل دوم یعنی تخمین شاخص ساختمانی از روش ترکیبی سیگنال تحلیلی-واهمامیخت اوپلر استفاده شده است. روش آزمون و خطا نیز اندیس بدست آمده از روش ترکیبی سیگنال تحلیلی-واهمامیخت اوپلر را تأیید کرد. در هنگام استفاده از داده های مغناطیسی اندیس ساختاری برای دایک معمولاً عدد یک می باشد اما در این تحقیق روش ترکیبی سیگنال تحلیلی-واهمامیخت اوپلر و روش آزمون و خطا بهترین اندیس برای دایک های این منطقه را عددی بین ۰/۶ تا ۱ بدست دادند که به طور میانگین عدد ۰/۸ برای اندیس ساختاری دایک های دولریت

<sup>7</sup> Vardø

<sup>8</sup> Vadsø

<sup>9</sup> Tana bru

<sup>10</sup> Batsfjord

دونین پسین موجود در منطقه انتخاب شد. جدول (۱) پارامترهای مناسب برای اعمال روش واهمامیخت اوپلر بر روی داده‌های شدت میدان مغناطیسی باقی مانده منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

به دلیل اینکه در این تحقیق از داده‌های مغناطیس هوایی استفاده شده و ارتفاع سنسور مغناطیسی بین ۶۰ تا ۲۰۰ متر تغییر کرده است، به طور میانگین ارتفاع ۱۳۰ متر برای سنسور مغناطیسی انتخاب شده است و چون داده‌ها نیز ۲۰ متر ادامه فراسو داده شده‌اند، هنگام تخمین عمق دایک‌های دولریت دونین پسین موجود در منطقه، از عمق‌های بدست آمده ۱۵۰ متر کم شده است.

جدول ۱- پارامترهای انتخاب شده برای اعمال روش واهمامیخت اوپلر بر روی داده‌های مغناطیسی مربوط به منطقه مورد مطالعه

درصد خطای تخمین عمق (dz)	اندیس ساختاری (N)	اندازه پنجره (m)	ادامه فراسو (m)	ابعاد شبکه (m)
۵	۰/۸	۵×۵	۲۰	۵۰ × ۵۰

جدول (۲) نتایج تخمین عمق به روش واهمامیخت اوپلر بر روی داده‌های شدت میدان مغناطیسی باقی مانده منطقه که ۲۰ متر ادامه فراسو داده شده‌اند را نشان می‌دهد.

از این جدول به خوبی پیداست که برخی از مقادیر بدست آمده برای عمق نقاط، منفی هستند، یعنی بالای سطح زمین قرار دارند، به خوبی پیداست که این اعداد بدست آمده صرفاً در محاسبات ریاضی بدست می‌آیند و معنای فیزیکی ندارند و توجیه پذیر نیستند که باید از پایگاه داده‌ها توسط عملیات پنجره کردن، حذف شوند. علاوه بر این معمولاً شمار نتایج بدست آمده پس از اعمال فرایند واهمامیخت اوپلر بسیار زیاد خواهند بود که باید با در نظر گرفتن محدودیت‌هایی این شماره حل‌ها را کاهش داد. شرایط مختلفی را می‌توان برای پنجره کردن داده‌ها در نظر گرفت، که با اعمال هر کدام از این محدودیت‌ها روی پایگاه داده‌ها شماری از داده‌ها حذف می‌شوند. این محدودیت‌ها را می‌توان روی پارامترهای مختلفی که در پایگاه داده‌ها وجود دارند، اعمال کرد.

جدول ۲- پارامترهای مربوط به نقاط عمق بدست آمده برای روش واهمامیخت اوپلر

نقاط عمق	پنجره اوپلر (m)	y_offs et بیشینه	y_offs et کمینه	x_offs et بیشینه	x_offs et کمینه	dxy بیشینه	dxy کمینه	عمق بیشینه	عمق کمینه
۵۰۳۱۸۷	۲۵۰	۴۰۴۴۳	-۲۸۰۵۵	۶۸۰۶۷	-۳۸۳۹۳	۱۴۷۷	۰/۳۹	۲۵۳۸۴	-۲۹۸۰۱

حالات مختلفی برای مجموع محدودیت‌ها در نظر گرفته شد (نام مجموع محدودیت‌ها به این دلیل انتخاب شد که چندین محدودیت روی پارامترهای مختلف، باید به طور همزمان روی پایگاه داده‌ها اعمال شود). با بررسی اعمال شرایط مختلف محدود کردن شمار عمق‌ها از طریق آزمون و خطا در ترکیب همزمان محدودیت‌های مختلف، نتایج مختلفی حاصل شد. بهترین شرایطی که برای پنجره کردن پایگاه داده‌های مربوط به منطقه مورد مطالعه جهت تخمین عمق دایک‌های دولریت دونین پسین بدست آمد (برای رسیدن به دقت بسیار خوب)، در جدول (۳) آورده شده است.

جدول ۳- پنجره کردن پایگاه داده‌ها برای واهمامیخت اوپلر

عمق کمینه (m)	عمق بیشینه (m)	dxy کمینه	dxy بیشینه	x_offs et کمینه	x_offs et بیشینه	y_offs et کمینه	y_offs et بیشینه	نقاط عمق بعد از پنجره کردن
۰	۵۰۰	۰	۲۰	-۵۰	۵۰	-۵۰	۵۰	۲۱۱۱

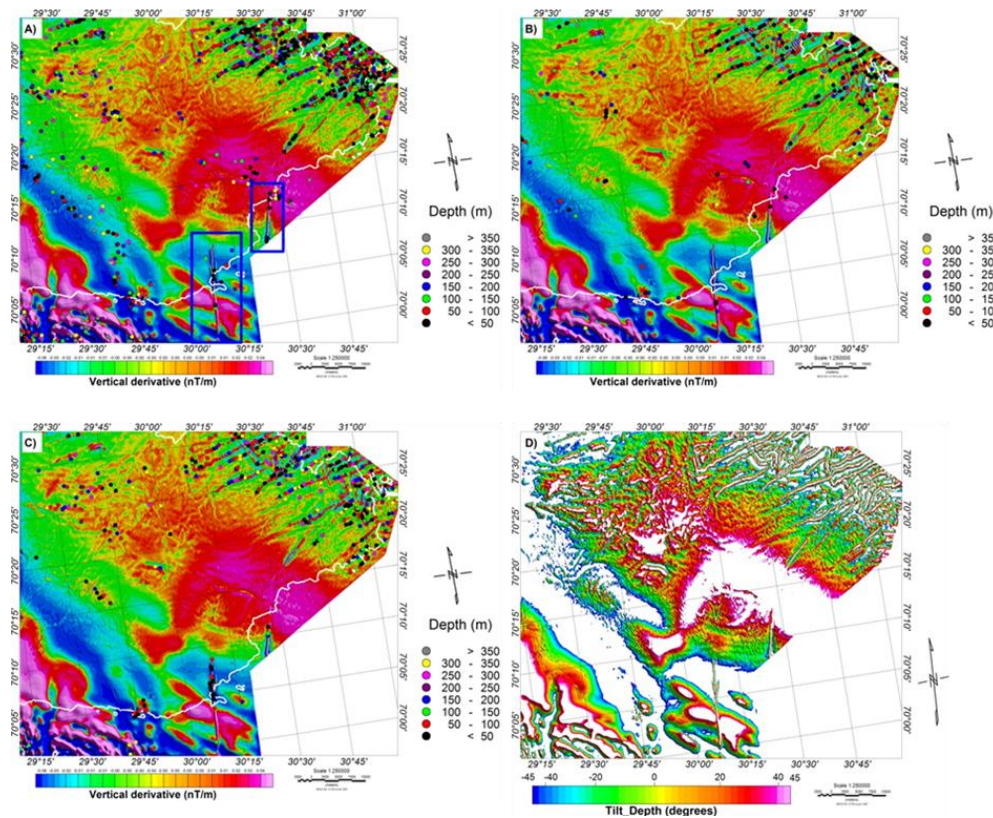
شکل (A-۲) نقشه مشتق قائم مرتبه اول از داده‌های شدت میدان مغناطیسی باقی مانده منطقه مورد مطالعه که نتایج تخمین عمق‌های قابل قبول به روش واهمامیخت اوپلر برای این منطقه بر روی آن نشان داده شده است. این روش همان طور که مشخص است عمق بیشتر خطواره‌های مربوط به این ناحیه را کمتر از ۵۰ متر تخمین زده است. این خطواره‌ها که مربوط به گسل‌ها و دایک‌های دولریت دونین پسین هستند، در برخی از نقاط به ویژه در شمال و شمال شرق این منطقه رخنمون دارند و در نقشه زمین‌شناسی نیز نشان داده شده‌اند که در بخش قبل به آن پرداخته شد. از جمله دایک‌های مهم دونین پسین در این منطقه می‌توان به دو دایک مشخص شده با کادرهای آبی در شکل (A-۲) اشاره کرد که در زیر آب قرار دارند. یکی از این دایک‌ها قسمتی از آن در داخل خشکی است. روش واهمامیخت اوپلر عمق این دایک‌ها را کمتر از ۵۰ متر تخمین زده است.

از آنجا که مطالعات تخمین عمق و نتایج حفاری‌های صورت گرفته در منطقه فینمارک را در اختیار نداشته یا اینکه وجود ندارند، به عبارت دیگر اطلاعاتی از عمق دایک‌های دولریت دونین پسین موجود در منطقه فینمارک جهت مقایسه آن‌ها با نتایج بدست آمده با روش واهمامیخت اوپلر وجود ندارند، لذا برای اعتبار بخشیدن به نتایج بدست آمده از روش واهمامیخت اوپلر، این روش را با چند روش دیگر مقایسه کرده که در زیر به آن پرداخته شده است.

در ابتدا از روش اوپلر مکانی جهت تخمین عمق دایک‌های دولریت دونین پسین موجود در منطقه فینمارک و مقایسه آن با عمق‌های بدست آمده از روش واهمامیخت اوپلر استفاده شده است. این روش کم و بیش شبیه به روش واهمامیخت اوپلر است با این تفاوت که در این روش اندازه پنجره به صورت خودکار انتخاب می‌شود. بنابراین خطای اپراتور در این روش نسبت به روش واهمامیخت اوپلر کاهش می‌یابد. جهت تخمین عمق دایک‌های دولریت دونین پسین موجود در این منطقه اندیس ساختاری ۰/۸ برای روش اوپلر مکانی انتخاب شد. شکل (B-۲) نقشه مشتق قائم مرتبه اول از داده‌های شدت میدان مغناطیسی باقی مانده منطقه مورد مطالعه که نقاط عمق قابل قبول به روش اوپلر مکانی بر روی آن نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌گردد این روش نیز عمق دایک‌های دولریت دونین پسین مربوط به این منطقه را تا حدود زیادی شبیه به روش واهمامیخت اوپلر بدست آورده است با این تفاوت که تعداد نقاط عمق بدست آمده برای خطواره‌های موجود در منطقه اکثراً کمتر از ۵۰ متر است. این روش دو دایک دولریت دونین پسین را نیز تخمین عمق زده است به طوری که عمق آن‌ها کمتر از ۵۰ متر است که روش واهمامیخت اوپلر نیز چنین عمقی را بدست داده است.

جهت بررسی دقیق‌تر و همچنین کمتر کردن خطای مربوط به اپراتور از روش ترکیبی سیگنال تحلیلی-واهمامیخت اوپلر استفاده شد. در این روش تمام پارامترها به صورت خودکار انتخاب می‌شوند و اپراتور کمترین دخالت در خطای تخمین عمق بی‌هنجاری‌های منطقه را خواهد داشت. در این روش همان طور که گفته شد تخمین عمق بر بالای پیک‌های بی‌هنجاری‌ها صورت می‌گیرد که این پیک‌ها می‌توانند در چهار جهت یا تنها در یک جهت باشند. با توجه به دقت مورد نیاز، اپراتور روش سیگنال تحلیلی-واهمامیخت اوپلر را برای نقاطی که در یک، دو، سه یا چهار جهت پیک دارند اعمال می‌کند.

شکل (C-۲) نقشه مشتق قائم مرتبه اول از داده‌های شدت میدان مغناطیسی منطقه مورد مطالعه که نقاط عمق قابل قبول به روش ترکیبی سیگنال تحلیلی-واهمامیخت اوپلر بر روی آن نشان داده شده است. این شکل به خوبی نشان می‌دهد که



شکل ۲- (A) نقشه مشتق قائم مرتبه اول داده های مغناطیسی منطقه مورد مطالعه که نقاط عمق به روش واهمامیخت اوپلر روی آن دیده می شود. کادرهای آبی دو دایک دولریت دونین پسین را نشان می دهند. (B) نقشه مشتق قائم مرتبه اول از داده های مغناطیسی منطقه که نقاط عمق به روش اوپلر مکانی روی آن دیده می شود. (C) نقشه مشتق قائم مرتبه اول از داده های مغناطیسی منطقه که نقاط عمق به روش ترکیبی سیگنال تحلیلی-واهمامیخت اوپلر روی آن دیده می شود. (D) نقشه فیلتر زاویه تیلت بر حسب درجه از  $-45^{\circ}$  تا  $+45^{\circ}$  را بر روی داده های منطقه نشان می دهد. خطوط سفید، خط ساحلی را نشان می دهند.

روش ترکیبی سیگنال تحلیلی-واهمامیخت اوپلر نیز نتایج کم و بیش شبیه به روش واهمامیخت اوپلر و اوپلر مکانی را بدست داده است، با این تفاوت که تعداد نقاط عمق برای عمق های کمتر از ۵۰ متر و ۱۰۰ تا ۱۵۰ متر برای خطواره ها به نسبت بیشتر شده است. این روش دو دایک مجزای دولریت دونین پسین را با دقت بیشتری نسبت به دو روش قبل تخمین عمق زده است، به طوری که نقاط عمق بر روی این دو دایک نسبت به دو روش قبل بیشتر است و عمق وسط دایک پایینی کمتر از ۵۰ متر، به طرف شمال غربی بین ۵۰ تا ۱۰۰ متر و به سمت جنوب شرقی بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ متر تخمین زده شده است. در مورد دایک بالاتر، از ساحل به سمت دریا یا از شمال غرب به سمت جنوب شرق عمق آن از ۵۰ تا ۲۰۰ متر تغییر کرده است. به عبارت دیگر روش تمام خودکار سیگنال تحلیلی-واهمامیخت اوپلر علاوه بر تخمین عمق این دایک ها، شیب آن ها را نیز نشان داده است.

روش های واهمامیخت اوپلر، اوپلر مکانی و سیگنال تحلیلی-واهمامیخت اوپلر تا حدود زیادی روش کار مشابهی دارند. برای بالا بردن دقت کار از روش تیلت-عمق که اخیراً معرفی شده است و روش کار آن مجزا از روش های قبلی مورد استفاده است، استفاده شده است. همان طور که گفته شد روش کار تیلت-عمق به این گونه است که نصف فاصله فیزیکی بین  $+45^{\circ}$  تا  $-45^{\circ}$  برای هر توده برابر با عمق آن توده است، البته باید ارتفاع سنسور مغناطیسی در برداشت های هوایی و ارتفاع ادامه فراسو از عمق برآوردی کم شود.

شکل ۲- (D) نقشه فیلتر زاویه تیلت بر حسب درجه از  $-45^{\circ}$  تا  $+45^{\circ}$  داده های شدت میدان مغناطیسی باقی مانده منطقه را نشان می دهد. روش تیلت-عمق، نتایج تخمین عمق خطواره های موجود در منطقه به روش های واهمامیخت اوپلر، اوپلر مکانی و سیگنال تحلیلی-واپلر را با دقت بسیار خوبی تأیید می کند.

## ۲- نتیجه گیری

در ابتدا برای تخمین عمق دایک‌های دولریت دونین پسین موجود در منطقه مورد مطالعه از روش نیمه خودکار واهمامیخت اویلر استفاده گردید. هنگام استفاده از این روش دو مشکل اساسی وجود دارد. اولی القاء نویزهای فرکانس بالا به هنگام محاسبه مشتق‌های میدان پتانسیل و دومی نیاز به اطلاع از هندسه توده برای تخمین شاخص ساختاری معادله اویلر است. در این تحقیق برای رفع مشکل اول علاوه بر اینکه از داده‌های با کیفیت و دقت بالای منطقه فینمارک استفاده شده و فرایند مایکرولولینگ نیز جهت حذف نویزهای احتمالی بر روی داده‌ها اعمال گردیده است، داده‌ها ۲۰ متر به سمت بالا ادامه فراسو داده شده‌اند. جهت رفع مشکل دوم یعنی تخمین شاخص ساختمانی از روش ترکیبی سیگنال تحلیلی-واهمامیخت اویلر استفاده شده است. روش آزمون و خطا نیز اندیس بدست آمده از روش ترکیبی سیگنال تحلیلی-واهمامیخت اویلر را تأیید کرد. در این تحقیق روش ترکیبی سیگنال تحلیلی-واهمامیخت اویلر و روش آزمون و خطا بهترین اندیس برای دایک‌های این منطقه را عددی بین ۰/۶ تا ۱ بدست دادند که به طور میانگین عدد ۰/۸ برای اندیس ساختاری دایک‌های دولریت دونین پسین موجود در منطقه انتخاب شد. همچنین اندازه پنجره اویلر نیز برای روش واهمامیخت اویلر ۵×۵ انتخاب شد. در این تحقیق از داده‌های مغناطیس هوایی استفاده شده و به طور میانگین ارتفاع ۱۳۰ متر برای سنسور مغناطیسی انتخاب شده است و چون داده‌ها نیز ۲۰ متر ادامه فراسو داده شده‌اند، هنگام تخمین عمق دایک‌های دولریت دونین پسین موجود در منطقه، از عمق‌های بدست آمده ۱۵۰ متر کم شده است.

روش واهمامیخت اویلر خطواره‌های موجود در منطقه فینمارک که مربوط به گسل‌ها و دایک‌های دولریت دونین پسین هستند را به خوبی تخمین عمق زده است به طوری که بیشتر نقاط عمق قابل قبول بدست آمده توسط این روش از روند خطواره‌های موجود در منطقه تبعیت کرده و در بالای آن‌ها قرار گرفته‌اند. نتایج حاصل از این روش نشان می‌دهد که تقریباً تمام خطواره‌های موجود در منطقه فینمارک دارای عمقی کمتر از ۴۰۰ متر هستند و بیشتر آن‌ها عمق کمتر از ۵۰ متر را نشان می‌دهند.

از آنجا که در این منطقه اطلاعاتی از عمق خطواره‌های موجود در منطقه فینمارک جهت مقایسه آن‌ها با نتایج به دست آمده با روش واهمامیخت اویلر وجود ندارند، لذا برای اعتبار بخشیدن به نتایج بدست آمده از روش واهمامیخت اویلر، نتایج این روش با چند روش دیگر شامل اویلر مکانی، سیگنال تحلیلی-واهمامیخت اویلر و تیلت-عمق که خطای اپراتور در آن‌ها کمتر است، مقایسه شد. همان طور که مشاهده گردید نتایج حاصل از تخمین عمق به روش واهمامیخت اویلر دارای تطابق بسیار خوبی با عمق‌های بدست آمده از روش‌های اویلر مکانی، سیگنال تحلیلی-واهمامیخت اویلر و تیلت-عمق است به طوری که می‌توان گفت این روش‌ها نتایج یکسانی بدست داده‌اند.

## تشکر و قدردانی

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

- [1] Roberts, D. A. V. I. D. "Geochemistry of dolerite and metadolerite dykes from Varanger Peninsula, Finnmark, North Norway", *Norges geologiske undersøkelse*, Vol. 322, pp. 55-72, 1975.
- [2] Rice, A. H. N., T. Ntaflos, R. A. Gayer, and R. D. Beckinsale. "Metadolerite geochronology and dolerite geochemistry from East Finnmark, northern Scandinavian Caledonides", *Geological Magazine*, Vol. 141, no. 03, pp. 301-318, 2004.
- [3] Nasuti, Aziz, David Roberts, and Laurent Gernigon. "Multiphase mafic dykes in the Caledonides of northern Finnmark revealed by a new high-resolution aeromagnetic dataset", *Norwegian Journal of Geology*, Vol. 95, pp. 251-263, 2015.
- [4] 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, no. 3, pp. 507-517, 1972.
- [5] Nabighian, Misac N. "Additional comments on the analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section", *Geophysics*, Vol. 39, no. 1, pp. 85-92, 1974.
- [6] Nabighian, Misac N. "Toward a three-dimensional automatic interpretation of potential field data via generalized Hilbert transforms: Fundamental relations", *Geophysics*, Vol. 49, no. 6, pp. 780-786, 1984.
- [7] Thompson, D. T. "EULDPH: A new technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data", *Geophysics*, Vol. 47, no. 1, pp. 31-37, 1982.
- [8] Reid, Ab B., J. M. Allsop, H. Granser, AJ T. Millett, and I. W. Somerton. "Magnetic interpretation in three dimensions using Euler deconvolution", *Geophysics*, Vol. 55, no. 1, pp 80-91, 1990.
- [9] 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, no. 2, pp. 373-386, 1996.
- [10] Debeglia, Nicole, and Jacques Corpel. "Automatic 3-D interpretation of potential field data using analytic signal derivatives", *Geophysics*, Vol. 62, no. 1, pp. 87-96, 1997.
- [11] Thurston, Jeffrey B., and Richard S. Smith. "Automatic conversion of magnetic data to depth, dip, and susceptibility contrast using the SPI (TM) method", *Geophysics*, Vol. 62, no. 3, pp. 807-813, 1997.
- [12] Hsu, Shu-Kun, Dorothee Coppens, and Chuen-Tien Shyu. "Depth to magnetic source using the generalized analytic signal", *Geophysics*, Vol. 63, no. 6, pp. 1947-1957, 1998.
- [13] Smith, Richard S., Jeffrey B. Thurston, Ting-Fan Dai, and Ian N. MacLeod. "ISPITM—the improved source parameter imaging method", *Geophysical prospecting*, Vol. 46, no. 2, pp. 141-151, 1998.
- [14] Fedi, M., and G. Florio. "Detection of potential fields source boundaries by enhanced horizontal derivative method", *Geophysical prospecting*, Vol. 49, no. 1, pp. 40-58, 2001.
- [15] Salem, Ahmed, Dhananjay Ravat, T. Jeffrey Gamey, and Keisuke Ushijima. "Analytic signal approach and its applicability in environmental magnetic investigations", *Journal of Applied Geophysics*, Vol. 49, no. 4, 231-244, 2002.



- [16] Salem, Ahmed, and Dhananjay Ravat. "A combined analytic signal and Euler method (AN-EUL) for automatic interpretation of magnetic data", *Geophysics*, Vol. 68, no. 6, pp. 1952-1961, 2003.
- [17] Salem, Ahmed, Simon Williams, J. Derek Fairhead, Dhananjay Ravat, and Richard Smith. "Tilt-depth method: A simple depth estimation method using first-order magnetic derivatives", *The Leading Edge*, Vol. 26, no. 12, pp. 1502-1505, 2007.
- [18] Siedlecka, A., and D. Roberts. "Finnmark Fylke. Berggrunnsgeologi M 1: 500 000", *Norges geologiske undersøkelse*, 1996.