

تفسیر داده‌های مغناطیس‌سنجی کانسار پلی‌متال منطقه عشوند و مقایسه نتایج با

وارون‌سازی داده‌های مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی

اردلان خزائی فر^{۱*}، علی نجاتی کلاته^۲، امین روشندل کاهو^۲ و فرامرز الله‌وردی میگونی^۳

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

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

۳. کارشناس ژئوفیزیک، مدیریت اکتشاف، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران

(دریافت: ۹۳/۷/۷، پذیرش نهایی: ۹۳/۱۱/۲۸)

چکیده

تفسیر داده‌های مربوط به پی‌جویی‌های مغناطیسی اغلب در حوزه فرکانس انجام می‌شود که این امر به دلیل ساده‌سازی روابط میان مدل‌های زیرسطحی مختلف با میدان مربوطه است. تخمین عمق مربوط به منشأ بی‌هنجاری‌های مختلف میدان پتانسیل نیز معمولاً با استفاده از روش اسپکتور و گرنت و در حوزه فرکانس انجام می‌شود. در این روش چنین فرض شده است که پارامترهای مربوط به منشأ به صورت تصادفی و ناهمبسته توزیع شده‌اند. با استفاده از اطلاعات به دست آمده از چندین چاه پروژه حفاری قاره‌ای آلمانی‌ها در سراسر دنیا (KTB) نشان داده شد که فرض مربوط به روش اسپکتور و گرنت در مورد منشأ آنومالی صحیح نیست. در این مطالعه یک روش برای تخمین عمق منشأهای مختلف آنومالی با استفاده از طیف توان تعمیم‌یافته پروفیل‌های مغناطیس ارائه شده است که مقدار عمق حاصل از آن بسیار به مقادیر واقعی نزدیک است. با استفاده از این روش به تخمین عمق داده‌های مغناطیسی کانسار پلی‌متال منطقه عشوند واقع در استان همدان پرداخته شده و نتایج آن با نتایج روش‌های مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی مقایسه شده است.

واژه‌های کلیدی: تخمین عمق، حوزه فرکانس، روش اسپکتور و گرنت، طیف توان تعمیم‌یافته، کانسار پلی‌متال منطقه عشوند

۱. مقدمه

(۱۹۹۸) روی اطلاعات حاصل از این حفاری‌ها نشان داده شد که منشأ آنومالی به صورت همبسته و دارای رفتار تعمیم‌یافته است. از طرفی فدوی و همکاران (۱۹۹۷) به مطالعه عدم دقت روش محاسبه طیف توان و تصحیح طیف توان روش اسپکتور و گرنت (۱۹۷۰) پرداختند. روش جدید در محاسبه طیف توان توسط ماوس و دیمیری (۱۹۹۵) بر مبنای خواص ذاتی منشأ آنومالی پیشنهاد شد. در این روش که با نام طیف توان تعمیم‌یافته معرفی شد، عمق با استفاده از توزیع ذاتی طیف توان منشأ آنومالی و اثر آن روی طیف نهایی، با دقت بیشتری محاسبه می‌شود. روش تخمین عمق تا سطوح تباین خودپذیری مغناطیسی به وسیله طیف توان تعمیم‌یافته توسط پیلکینگتون و تودوسچاک (۱۹۹۳)، ماوس و دیمیری (۱۹۹۶، ۱۹۹۵، ۱۹۹۴)، فدوی و همکاران (۱۹۹۷)، ژائو و تایبو (۱۹۹۸) و کوآترا و همکاران (۲۰۰۰) توسعه داده شد. در این مقاله نحوه محاسبه طیف توان تعمیم‌یافته

تحلیل طیفی داده‌های مغناطیس در طول دو دهه گذشته به طور گسترده برای به دست آوردن عمق ساختارهای زمین‌شناسی مختلف استفاده شده است. روش تخمین عمق با استفاده از تحلیل طیف توان یکی از روش‌های اتوماتیک تخمین عمق است که با در نظر گرفتن یک توزیع آماری برای منشأهای آنومالی به تخمین عمق می‌پردازد. اولین تحلیل طیف توان به منظور تخمین عمق آنومالی‌های میدان پتانسیل توسط اسپکتور و گرنت (۱۹۷۰) انجام شد و بعدها توسط هاهن و همکاران (۱۹۷۶)، کنارد و همکاران (۱۹۸۳) و پائولوسکی، (۱۹۹۴) توسعه داده شد. در تمامی تحلیل‌های طیفی ارائه شده پارامترهای مربوط به منشأ آنومالی مانند چگالی و خودپذیری مغناطیسی تصادفی و ناهمبسته فرض شده‌اند. با توجه به نتایج به دست آمده از پروژه حفاری قاره‌ای آلمانی‌ها در سراسر دنیا (KTB) و همچنین با استفاده از مطالعات ماوس و دیمیری (۱۹۹۴) و ژائو و تایبو

مغناطیس‌سنجی، زمین را به صورت چندین گروه مستقل از بلوک‌ها با وجوه عمودی و موازی در نظر گرفتند. آن‌ها با استفاده از یک فرض اساسی مکانیک آماری که بر اساس آن مقدار چشمداشتی تابع چگالی توان مربوط به یک گروه با میانگین گروه برابر است و همچنین با در نظر گرفتن این موضوع که عامل عمق، فاکتور غالب در تعیین شکل طیف توان است، نشان دادند که طیف توان با تقریب نسبتاً خوبی از رابطه (۵) به دست می‌آید:

$$E(\rho) \cong Ae^{-2\bar{h}\rho} \quad (5)$$

که در این رابطه A مقداری ثابت، \bar{h} عمق میانگین مربوط به مجموعه بلوک‌ها، $\rho = (\mu^2 + \nu^2)^{\frac{1}{2}}$ عدد موج و $E(\rho)$ طیف توان میدان مغناطیسی است. در ادامه به منظور شرح دادن روش آنالیز طیف توان تعمیم‌یافته، تساوی اخیر به شکل رابطه (۶) بازنویسی می‌شود:

$$E(\rho) = CP_m(\rho)e^{-2\bar{h}\rho} \quad (6)$$

که در این رابطه C یک مقدار ثابت و $P_m(\rho)$ طیف توان مربوط به توزیع خودپذیری مغناطیسی منشأ آنومالی است. به نحوی که قبلاً نیز اشاره شد آنالیز داده‌های مربوط به خودپذیری مغناطیسی حاصل از حفاری‌های (KTB) نشان می‌داد که منشأ آنومالی به صورت تصادفی و ناهمبسته نیست و بنابراین $P_m(\rho)$ ثابت نیست، بلکه رفتار آن نشان‌دهنده منشأ آنومالی به شکل پیوسته و مقیاس‌بندی شده است (پلیکینگتون و تودوسچاک، ۱۹۹۳؛ ماوس و دیمیری، ۱۹۹۶، ۱۹۹۵، ۱۹۹۴؛ ژائو و تابیو، ۱۹۹۸). در نتیجه در روش طیف توان تعمیم‌یافته، توزیع خودپذیری مغناطیسی مربوط به منشأ آنومالی، دارای طیف توانی به شکل رابطه (۷) است:

$$P_m(\rho) = C_1\rho^{-\beta m} \quad (7)$$

که در تساوی اخیر C_1 یک مقدار ثابت و βm توان مقیاس‌بندی شده مربوط به توزیع خودپذیری مغناطیسی منشأ آنومالی است. از طرفی در این روش، طیف توان مربوط به میدان پتانسیل $E(\rho)$ ، خود نیز دارای یک رابطه تعمیم‌یافته به شکل رابطه (۸) است:

$$E(\rho) = C_2\rho^{-\beta} \quad (8)$$

در این رابطه C_2 یک مقدار ثابت و β توان

و چگونگی تخمین عمق توسط آن ارائه می‌شود. سپس به منظور تفسیر داده‌های ژئوفیزیکی مربوط به کانسار پلی متال منطقه عشوند نهانند از روش‌های مقاومت ویژه، پلاریزاسیون القایی و طیف توان تعمیم‌یافته میدان مغناطیسی استفاده و نتایج آن‌ها با هم مقایسه می‌شود.

۲. روش تحلیل طیف توان تعمیم‌یافته

طیف توان به صورت مجذور شدت طیف فوریه به دست آمده از آنومالی میدان تعریف می‌شود. از لحاظ ریاضی تبدیل فوریه تابع دو متغیره $f(x, y)$ از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$\bar{f}(\mu, \nu) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \cdot e^{-i(\mu x + \nu y)} dx dy \quad (1)$$

و معکوس تبدیل فوریه نیز از رابطه (۲) به دست می‌آید:

$$f(x, y) = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \bar{f}(\mu, \nu) \cdot e^{i(\mu x + \nu y)} d\mu d\nu \quad (2)$$

در این روابط μ و ν به ترتیب عدد موج در جهت محورهای x و y هستند که بر حسب رادیان بر متر اندازه‌گیری می‌شوند (اگر x و y بر حسب متر اندازه‌گیری شوند). این مقادیر با فرکانس‌های f_x و f_y مرتبط هستند که بر حسب سیکل بر متر سنجیده می‌شوند. خروجی تبدیل فوریه به صورت عدد مختلط است که از قسمت حقیقی و موهومی تشکیل شده است. فاز و دامنه تبدیل فوریه از روابط زیر به دست می‌آیند:

$$\varphi = \tan^{-1}(I/R) \quad |\bar{f}(\mu, \nu)| = (R^2 + I^2)^{1/2} \quad (3)$$

در این روابط R و I به ترتیب قسمت حقیقی و موهومی تبدیل فوریه و φ زاویه فاز تبدیل فوریه است.

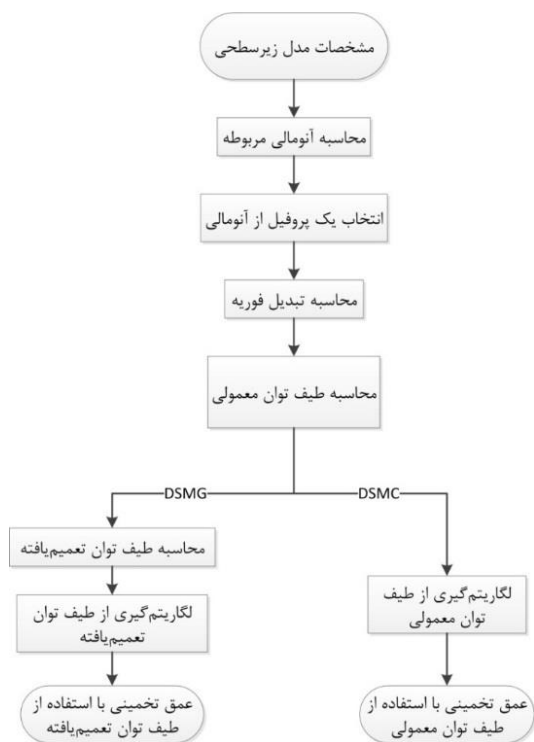
طیف توان تابع $f(x, y)$ همان‌طور که قبلاً گفته شد به صورت مجذور شدت طیف فوریه به دست آمده از این تابع تعریف می‌شود و از رابطه زیر محاسبه می‌گردد (اپنهایم و همکاران، ۱۳۷۵):

$$E(\mu, \nu) = \bar{f}(\mu, \nu) \cdot \bar{f}^*(\mu, \nu) = |\bar{f}(\mu, \nu)|^2 = R^2 + I^2 \quad (4)$$

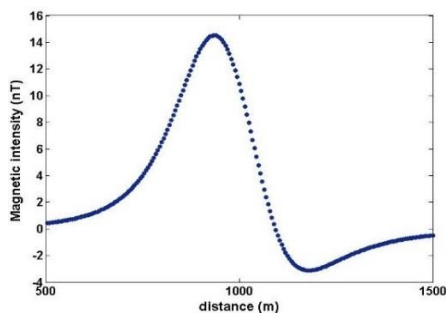
در این رابطه $\bar{f}^*(\mu, \nu)$ تبدیل فوریه تابع مذکور است که عدد مختلط است، $\bar{f}^*(\mu, \nu)$ مزدوج تبدیل فوریه، $|\bar{f}(\mu, \nu)|^2$ مجذور اندازه تبدیل فوریه و $E(\mu, \nu)$ طیف توان دوبعدی تابع است.

اسپکتور و گرنت (۱۹۷۰) به منظور پردازش نقشه‌های

اولین مدل مصنوعی همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده است یک بلوک دارای مقطع مربعی شکل به ضلع ۱۵۰ متر و ضخامت ۷۰ متر بوده که در عمق ۱۵۰ متری زیر سطح قرار دارد. زاویه میل ۶۰ درجه، زاویه انحراف ۳ درجه و اختلاف خودپذیری مغناطیسی توده با سنگ‌های اطراف برابر ۰/۰۱ در سیستم SI لحاظ شده است. حال روی این مدل یک پروفیل انتخاب می‌شود و بی‌هنجاری میدان مغناطیسی مربوط به آن همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده، به دست می‌آید. نمودارهای لگاریتم طیف توان معمولی و طیف توان تعمیم‌یافته در مقابل مقادیر عدد موج و همچنین عمق حاصل از این نمودارها برای این مدل مصنوعی در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۱. الگوریتم برنامه تهیه‌شده برای تخمین عمق با استفاده از روش‌های تحلیل طیفی.



شکل ۲. پروفیل بی‌هنجاری مغناطیسی مربوط به مدل مصنوعی بلوک منفرد.

مقیاس‌بندی‌شده مربوط به میدان پتانسیل است که از طریق رابطه (۹) با β_m در ارتباط است (ماوس و دیمری، ۱۹۹۵).

$$\beta_m = \beta - 1 \quad (9)$$

نتیجه به دست آمده با ترکیب روابط (۶)، (۷) و (۹) به شکل رابطه (۱۰) است:

$$E(\rho) = C_3 \rho^{-(\beta-1)} e^{-2\bar{h}\rho} \quad (10)$$

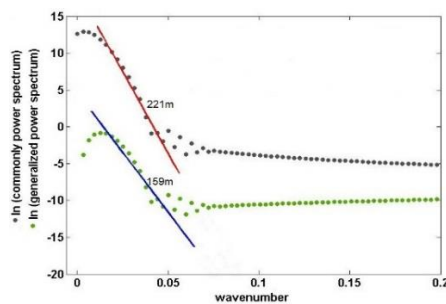
که در آن، C_3 یک مقدار ثابت است. با به کارگیری تساوی ۱۰ می‌توان مقدار عمق تا سطوح تباین مغناطیس‌پذیری را با استفاده از روش آنالیز طیف توان تعمیم‌یافته تخمین زد. اگر نمودار لگاریتم طیف توان در مقابل مقادیر عدد موج رسم کنیم، با استفاده از شیب خط برازش داده‌شده بر قسمت‌های دارای شیب خطی ثابت این نمودار می‌توان عمق تا منشأهای مختلف آنومالی را به دست آورد. در ادامه با به کارگیری مدل‌های مصنوعی، کاربرد تساوی‌های به دست آمده مشاهده خواهد شد و در نهایت از آن‌ها به منظور تخمین عمق داده‌های واقعی استفاده می‌شود. در این مطالعه روش‌های تحلیل طیفی به منظور تخمین عمق، با استفاده از برنامه‌نویسی در محیط MATLAB، روی منشأهای آنومالی اعمال شده است. ورودی این برنامه ابعاد بلوک، اختلاف مغناطیس‌پذیری با محیط اطراف، عمق دفن، موقعیت قرارگیری آن و زاویه میل و زاویه انحراف است. در زیر برنامه DSMC که برای تخمین عمق با استفاده از طیف توان معمولی تهیه شد، خروجی برنامه نمودار طیف توان معمولی و مقدار عمق حاصل از آن است اما در زیر برنامه تهیه‌شده برای استفاده از روش تحلیل طیف توان تعمیم‌یافته که DSMG نامیده شد، خروجی برنامه نمودار طیف توان تعمیم‌یافته و مقدار عمق تخمینی توسط آن است که در مقایسه با روش اسپکتور و گرنت (۱۹۷۰) مقدار بسیار دقیق‌تری را در دسترس قرار می‌دهد. مراحل کلی مربوط به این برنامه در شکل ۱ آمده است:

۳. اعمال روی داده‌های مصنوعی

برای آزمودن روابط هر روشی لازم است که آن روش در ابتدا روی داده‌های مصنوعی اعمال شود. در این مقاله

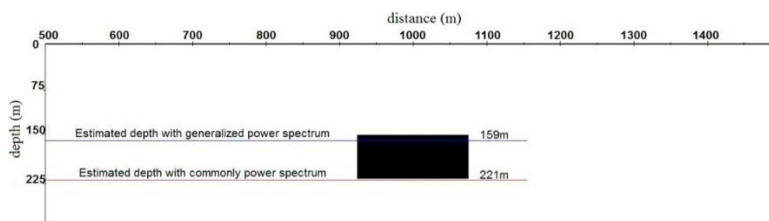
گردیده است. در ضمن زاویه میل ۶۰ درجه، زاویه انحراف ۳ درجه و اختلاف خودپذیری مغناطیسی تمامی این بلوک‌ها با سنگ‌های اطراف برابر ۰/۰۱ در سیستم SI لحاظ شده است.

حال با استفاده از ترسیم نمودارهای لگاریتم طیف توان معمولی و طیف توان تعمیم‌یافته در مقابل مقادیر عدد موج، عمق منشأ آتومالی به نحوی که در شکل ۶ نشان داده شده است، برای این مدل تخمین زده می‌شود. همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده شد روش طیف توان معمولی مقدار ۱۹۱ متر را نتیجه می‌دهد که از عمق مفروض برای هر سه بلوک بیشتر است. این مقدار با به‌کارگیری روش آنالیز طیف توان تعمیم‌یافته به ۱۳۲ متر کاهش می‌یابد که تخمین بسیار مناسبی از عمق است. در ادامه در شکل ۷ نتایج به‌صورت شماتیک روی نمایی از این مدل نمایش داده شده است. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که عمق حاصل از روش طیف توان معمولی، موقعیتی را نشان می‌دهد که تنها قسمت زیرین یکی از بلوک‌ها را شامل می‌شود و این عمق با به‌کارگیری روش آنالیز طیف توان تعمیم‌یافته تا حد زیادی بهبود می‌یابد. بنابراین با اندکی دقت در مثال‌های مذکور می‌توان به‌صورت کلی چنین نتیجه‌گیری کرد که روش آنالیز طیف توان تعمیم‌یافته روشی کاربردی در تخمین عمق داده‌های مغناطیسی است و در مقایسه با روش‌های مشابه، مقادیر دقیق‌تری را نتیجه می‌دهد.



شکل ۳. نمودار لگاریتم طیف توان معمولی و طیف توان تعمیم‌یافته در مقابل مقادیر عدد موج و نتایج حاصل از آن‌ها برای مدل مصنوعی بلوک منفرد.

همان‌گونه که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، عمق تخمینی با استفاده از روش تحلیل طیف توان معمولی برابر با ۲۲۱ متر است که این مقدار با عمق مفروض برای قسمت فوقانی مدل هم‌خوانی ندارد. با به‌کارگیری روش آنالیز طیف توان تعمیم‌یافته این مقدار کاهش می‌یابد و مقدار ۱۵۹ متر را نتیجه می‌دهد که با عمق مفروض برای مدل اختلاف ناچیزی دارد. حال برای درک بهتر موضوع، این نتایج در شکل ۴ به‌صورت شماتیک روی نمایی از اولین مدل مصنوعی نمایش داده می‌شود. در مرحله بعدی به عنوان یک مدل مصنوعی پیچیده‌تر، مجموعه‌ای از بلوک‌ها در نظر گرفته می‌شود. سپس برای این مجموعه نیز بی‌هنجاری مغناطیسی مطابق شکل ۵ در طول یک پروفیل به دست می‌آید. این مدل مصنوعی همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، از سه بلوک تشکیل شده که مشخصات آن‌ها در جدول ۱ قید



شکل ۴. مدل مصنوعی بلوک منفرد و مقادیر عمق تخمین‌زده‌شده برای این مدل توسط روش‌های آنالیز طیف توان معمولی و طیف توان تعمیم‌یافته.

جدول ۱. مشخصات هندسی سه بلوک تشکیل‌دهنده مدل مصنوعی شکل ۷.

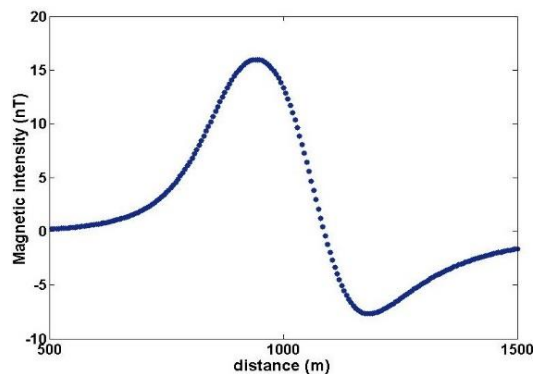
مشخصات هندسی مکعب‌ها	مکعب سمت راست	مکعب وسط	مکعب سمت چپ
گسترده‌گی افقی	۴۰ متر	۴۰ متر	۸۰ متر
ضخامت	۸۰ متر	۴۰ متر	۴۰ متر
عمق	۱۲۰ متر	۱۱۰ متر	۱۳۰ متر

با جنس گرانیت تا گرانودیوریت که در مجاورت واحد یادشده قرار گرفته، قسمتی از ماده معدنی (آندواسکارن) را در بر می‌گیرد. سن مطلق این توده نفوذی بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۷۰ تا ۸۰ میلیون سال تخمین زده شده است که معادل با کرتاسه فوقانی است. این توده بارور بوده و منشأ اصلی تشکیل کانسار به شمار می‌رود. در مطالعات اکتشافی صورت گرفته در این محدوده دو زون کانه‌سازی اصلی شناسایی شد که در زیر به شرح آن‌ها می‌پردازیم:

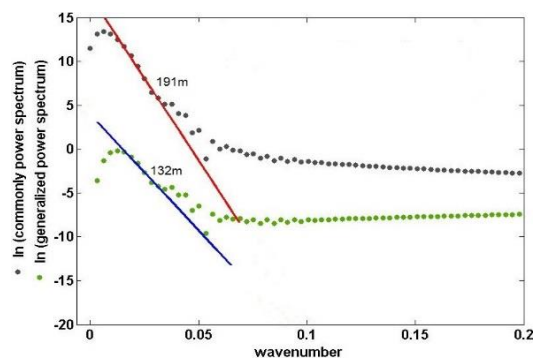
۱. کانه‌سازی در مرز توده نفوذی و سنگ همبر و داخل توده نفوذی که تشکیل آندواسکارن را داده است. مقدار کانه‌سازی به طرف داخل توده کاهش می‌یابد و در نهایت به توده نفوذی می‌رسد.

۲. کانه‌سازی در مرز توده نفوذی و سنگ همبر و داخل سنگ همبر که تشکیل آگرواسکارن را داده است. مقدار کانه‌سازی به طرف داخل سنگ همبر کاهش می‌یابد و در نهایت به سنگ مرمریتی فاقد کانه‌زایی ختم می‌شود.

از مطالعه نمودارهای مربوط به ترانسه‌های حفرشده می‌توان به این نتیجه رسید که تغییرات عناصر از توده گرانیتی به طرف آندواسکارن و آگرواسکارن و در نهایت سنگ همبر مرمریتی تدریجی است، به طوری که به طرف آندواسکارن و آگرواسکارن افزایشی است و در نهایت به سمت داخل سنگ همبر کاهش می‌یابد تا در نهایت به ترکیب کلارک زمینه مرمریت نزدیک می‌شود. نکته جالبی که از مطالعه این روند افزایشی و کاهش‌ی عناصر در قسمت‌های مختلف اسکارن به دست می‌آید، تغلیظ عناصری خاص در یکی از واحدهای آندواسکارن یا آگرواسکارن است. به نحوی که عناصری مانند روی، طلا و مس در آگرواسکارن ماده معدنی تغلیظ می‌گردد و عنصری مانند آهن در آندواسکارن ماده معدنی تجمع می‌کند (جعفری، ۱۳۹۰).



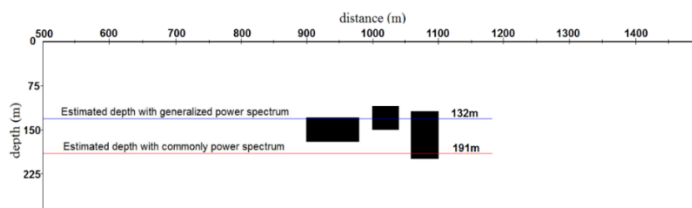
شکل ۵. پروفیل بی‌هنجاری مغناطیسی مربوط به مدل مصنوعی متشکل از سه بلوک.



شکل ۶. نمودار لگاریتم طیف توان معمولی و طیف توان تعمیم‌یافته در مقابل مقادیر عدد موج و نتایج حاصل از آن‌ها برای مدل مصنوعی متشکل از سه بلوک.

۴. کانسار پلی‌متال منطقه عشوند نیاوند

کانسار اسکارن پلی‌متال طلا، مس، روی و آهن عشوند نیاوند در پانزده کیلومتری شمال شرق شهر نیاوند و در دو کیلومتری شمال شرق روستای عشوند قرار دارد. این کانسار در حد واسط دو زون سنندج-سیرجان و زاگرس مرتفع قرار گرفته است و بنابراین خصوصیات بینایی از هر دو زون را نشان می‌دهد. عمده واحدهای سنگی موجود در محدوده مورد مطالعه را سنگ‌های آهکی مرمریتی شده به سن پالئوزوئیک تشکیل می‌دهند که قسمتی از کانسار آگرواسکارن را در بر دارد. شکل ۸ نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ مربوط به این محدوده و شکل ۹ راهنمای مربوط به این نقشه را نشان می‌دهد. واحد نفوذی



شکل ۷. مدل مصنوعی متشکل از سه بلوک و مقادیر عمق تخمین زده‌شده برای این مدل توسط روش‌های آنالیز طیف توان معمولی و طیف توان تعمیم‌یافته.



شکل ۸. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ محدوده مورد مطالعه (گزارش سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور).



شکل ۹. راهنمای نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه مورد مطالعه.

وضعیت قرارگیری توده‌ها در عمق به‌خوبی روشن شود. نحوه قرارگیری این پروفیل‌ها به همراه نقشه برگردان به قطب مغناطیسی در شکل ۱۰ نشان داده شده است. همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود در طول بسیاری از این پروفیل‌ها بی‌هنجاری‌های مغناطیسی موجود است که می‌توانیم به تخمین عمق آن‌ها پردازیم اما به دلیل محدودیت فضای این مقاله، از این میان تنها دو آنومالی انتخاب می‌شود. برای بررسی نتایج مربوط به روش‌های پلاریزاسیون القایی، مقاومت ویژه و تخمین عمق با استفاده از تحلیل طیف توان ابتدا پروفیل شماره ۴ انتخاب می‌شود. برداشت‌های پلاریزاسیون القایی و مقاومت ویژه در این محدوده به‌طور کلی با فاصله

۵. بررسی‌های ژئوفیزیکی در کانسار پلی‌متال منطقه عشوند نهانند در این منطقه ۱۰۶۰ ایستگاه مغناطیس برداشت شده است. زاویه ۵۲/۱ میل و زاویه انحراف ۴/۱ به دست آمده است. اختلاف شدت میدان در این محدوده حدود ۱۱۰۰۰ نانوتسلاست که نشان‌دهنده نفوذپذیری مغناطیسی بالا و نزدیک بودن توده به سطح زمین است. در این محدوده با در نظر گرفتن این مطلب که توده‌ها شامل رگه‌های مس از جنس مالاکیت و کالکوپیریت است، تعداد هفت پروفیل برداشت پلاریزاسیون القایی و مقاومت ویژه عمود بر امتداد توده، یعنی در جهت شمال-جنوب به فاصله ۵۰ متر از یکدیگر و با آرایش دوقطبی-دوقطبی برداشت شده تا

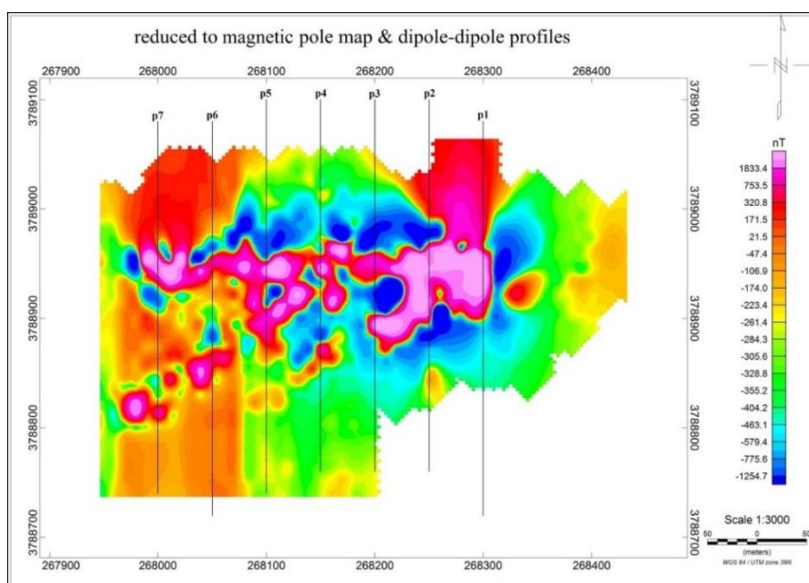
یک انفصال کوچک در زیر ایستگاه ۶۰ شمالی تا ایستگاه ۱۰۰ بالا بوده است. این بخش‌ها همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد دارای مقاومت ویژه بیشتری نیز هستند. حال برای تخمین عمق با استفاده از روش‌های طیفی، آنومالی موجود در بخش شمالی شکل اخیر انتخاب می‌گردد و داده‌های مغناطیسی مربوط به آن توسط ایجاد پروفیلی روی آن استخراج می‌شود. در شکل ۱۲ نمایی از محل قرارگیری پروفیل انتخابی و در شکل ۱۳ بی‌هنجاری مغناطیسی برگردان به قطب‌شده مربوط به آن نشان داده شده است.

در مرحله بعدی عمق مربوط به پروفیل انتخابی p4 با استفاده از روش تحلیل طیف توان معمولی به نحوی که در شکل ۱۴ نشان داده شده است، تخمین زده می‌شود. همان‌گونه که در این شکل ۱۴ مشاهده شد، مقدار به‌دست‌آمده برابر با ۸/۸ متر است. در ادامه به نحوی که در شکل ۱۵ مشاهده می‌شود، این مقدار تخمینی با استفاده از طیف توان تعمیم‌یافته به ۳/۵ متر کاهش می‌یابد.

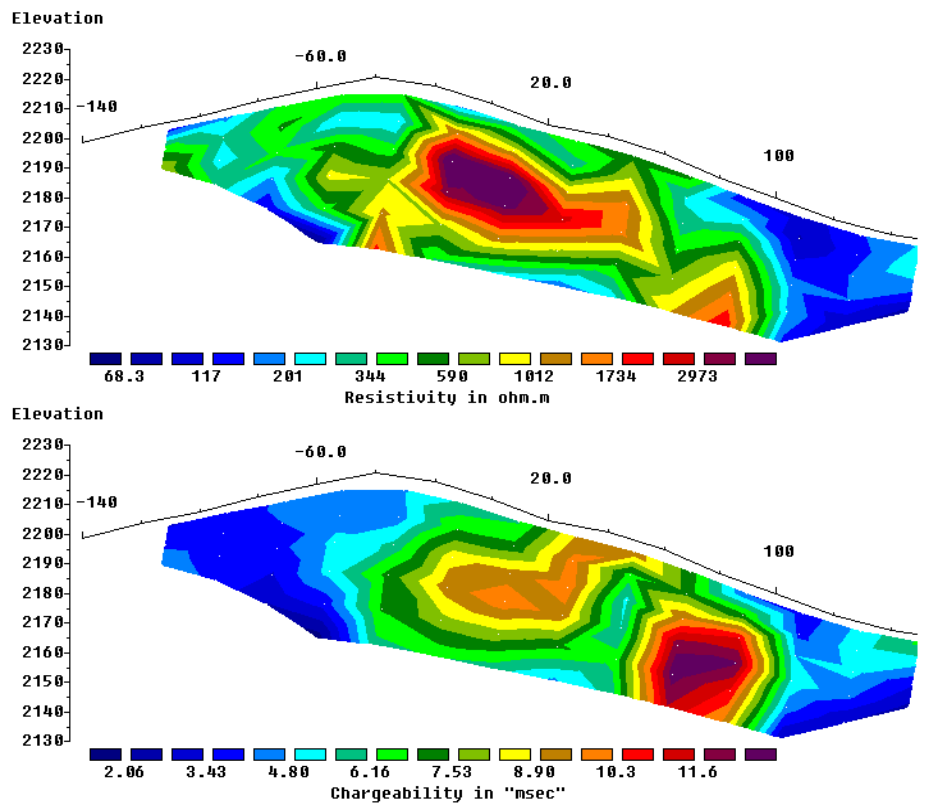
با اندکی دقت در نتیجه روش پلاریزاسیون القایی مشاهده می‌شود که مدل نهایی حاصل از آن، با نتیجه به‌دست‌آمده از روش طیف توان تعمیم‌یافته برای شمالی‌ترین آنومالی موجود در پروفیل ۴ تطابق خوبی دارد.

الکترودی ۲۰ متر انجام شد. نقطه آغاز همه پروفیل‌ها در جنوب واقع شده و اندازه‌گیری در جهت شمال پروفیل ادامه یافته است. بدین ترتیب دو پارامتر پلاریزاسیون القایی ظاهری بر حسب میلی‌ولت بر ولت (mV/V) و مقاومت ویژه ظاهری بر حسب اهم‌متر ($\Omega.m$) اندازه‌گیری شده است. شکل ۱۱ مدل پلاریزاسیون القایی و مقاومت ویژه را در امتداد پروفیل ۴ که با نرم‌افزار Res2dinv تهیه شده، به همراه توپوگرافی نشان می‌دهد. می‌توان گفت به‌طور تقریبی در تمام محدوده مورد مطالعه بخش‌های دارای پلاریته بالا بر بخش‌های دارای مقاومت پایین منطبق هستند، اما نکته درخور توجه روی پروفیل شماره ۴، انطباق بخش‌های مقاوم بر بخش‌های با پلاریته بالاتر در مقایسه با محیط اطراف است. این حالت که در این محدوده تنها در این پروفیل مشاهده شده، ممکن است ناشی از تغییر نوع کانی‌سازی یا تغییر سنگ میزبان کانی‌سازی روی این پروفیل باشد.

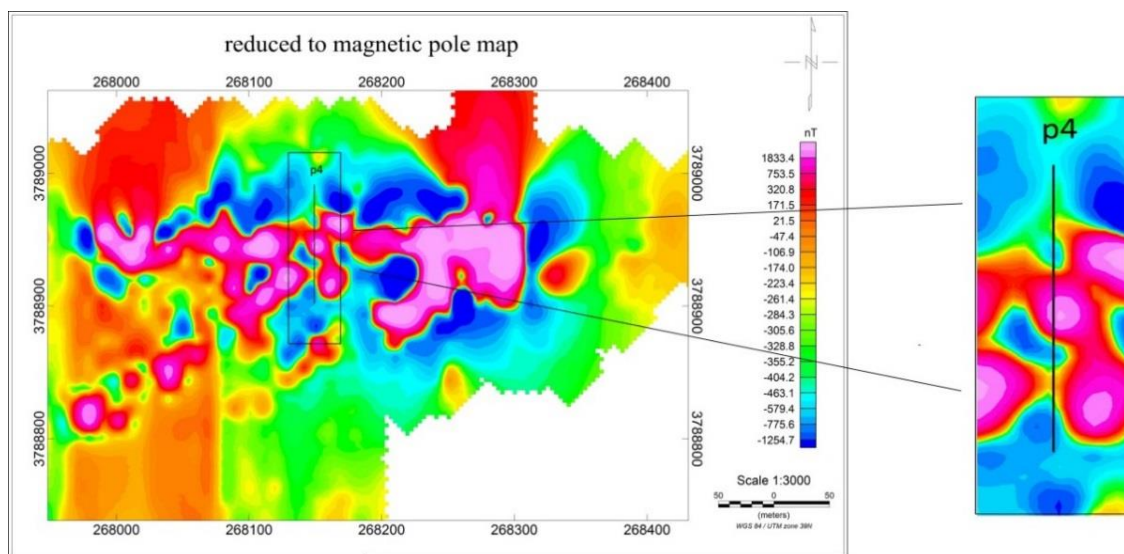
روی مدل مقاومت ویژه این پروفیل، بخش مقاوم با رنگ زرد از حدود ایستگاه ۶۰- شروع شده و تا ایستگاه ۱۰۰ در شمال ادامه داشته است. این بخش در سطح ممکن است برونزد چندانی نداشته باشد اما در عمق کم شروع شده و تا عمق ۳۰ تا ۴۰ متر و نه بیشتر ادامه می‌یابد. روی نقشه مدل پلاریزاسیون القایی این پروفیل مقدار پلاریته بین ایستگاه ۳۰- در جنوب و ۶۰ در شمال و با



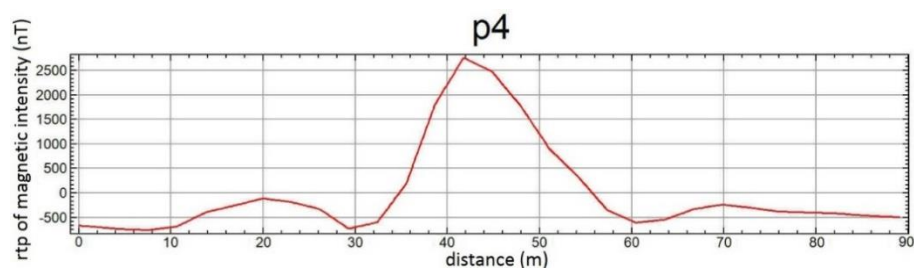
شکل ۱۰. نقشه برگردان به قطب مغناطیسی به همراه موقعیت قرارگیری پروفیل‌های برداشت پلاریزاسیون القایی و مقاومت ویژه در منطقه مورد مطالعه.



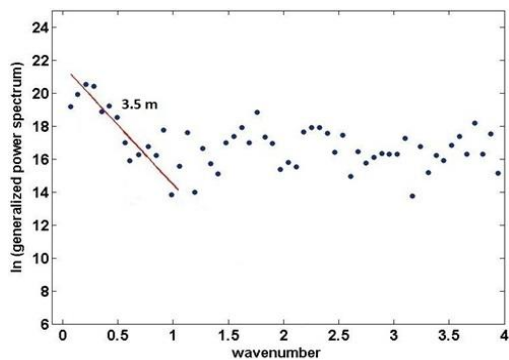
شکل ۱۱. مدل پلاریزاسیون القایی و مقاومت ویژه به همراه توپوگرافی مربوط به پروفیل شماره ۴.



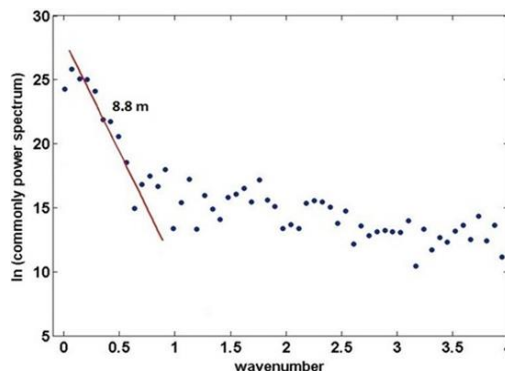
شکل ۱۲. نمایی از محل قرارگیری پروفیل انتخابی p4.



شکل ۱۳. بی‌هنجاری مغناطیسی برگردان به قطب‌شده مربوط به پروفیل انتخابی p4 جهت تخمین عمق.



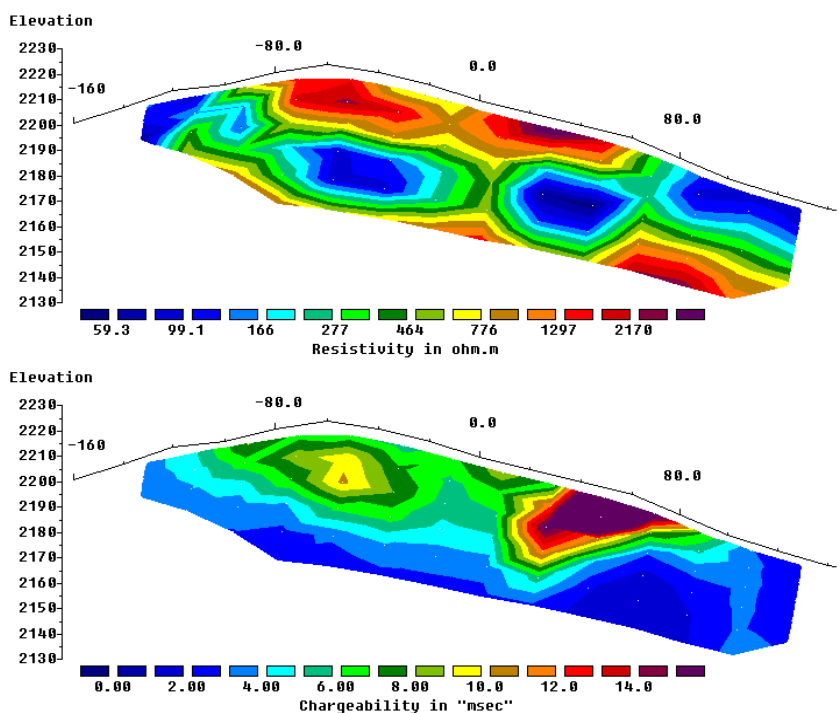
شکل ۱۵. نمودار لگاریتم طیف توان تعمیم یافته در مقابل مقادیر عدد موج و نتیجه حاصل از آن برای پروفیل انتخابی p4



شکل ۱۴. نمودار لگاریتم طیف توان معمولی در مقابل مقادیر عدد موج و نتیجه حاصل از آن برای پروفیل انتخابی p4

روی نقشه مدل پلاریزاسیون القایی این پروفیل از ایستگاه ۸۰- تا ۴۰- یک بی هنجاری از نزدیکی سطح تا عمق ۲۰ تا ۳۰ متر و پس از یک فاصله ۶۰ متری یک بی هنجاری شدیدتر، چه از نظر شدت مغناطیس و چه از نظر شدت پلاریته، از ایستگاه ۲۰ در عمق شروع شده و تا ایستگاه ۹۰ به طول تقریبی ۷۰ متر ادامه یافته است. همان گونه که در شکل ۱۷ نیز دیده می شود و با توجه به توضیحات فوق در طول این پروفیل دو بی هنجاری موجود است که به منظور تخمین عمق با استفاده از روش های تحلیل طیفی از آنومالی واقع در بخش جنوبی پروفیل استفاده می شود.

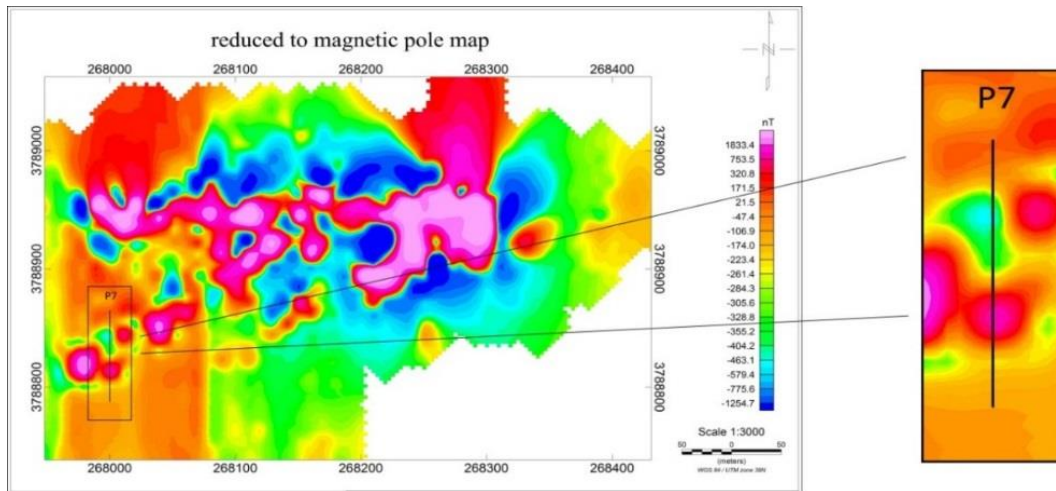
در ادامه برای بررسی های ژئوفیزیکی، پروفیل شماره ۷ انتخاب می شود. شکل ۱۶ مدل پلاریزاسیون القایی و مقاومت ویژه را در امتداد این پروفیل نشان می دهد که با نرم افزار Res2dinv تهیه شد. روی مدل مقاومت ویژه این پروفیل یک بخش مقاوم آهکی بین ایستگاه ۸۰- تا ۶۰ به طول ۱۴۰ متر دیده می شود که ممکن است در بعضی جاها سطح آن با خاک سطحی پوشیده شده باشد. زیر این بخش در عمق ۲۰ متری یک لایه با مقاومت کم قرار گرفته که احتمالاً از جنس شیست است و سپس به احتمال زیاد دوباره لایه مقاوم آهکی در عمق بیش از ۴۰ متر تکرار می شود.



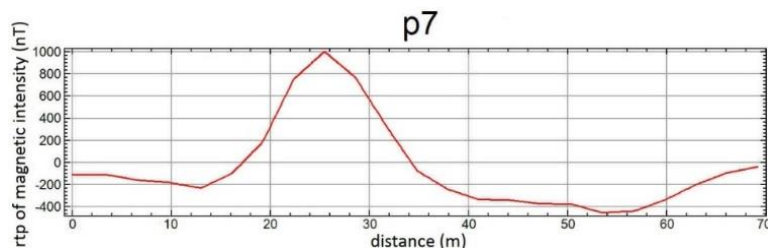
شکل ۱۶. مدل پلاریزاسیون القایی و مقاومت ویژه به همراه توپوگرافی مربوط به پروفیل شماره ۷

طیف توان معمولی برابر با ۸/۸ متر است که در روش طیف توان تعمیم‌یافته این مقدار کاهش یافته و ۳/۸ متر به دست می‌آید. با توجه با نتیجه به‌دست آمده در روش پلاریزاسیون القایی، مقدار به‌دست آمده از تحلیل طیف توان تعمیم‌یافته، تخمین مناسبی برای عمق مربوط به این بی‌هنجاری است.

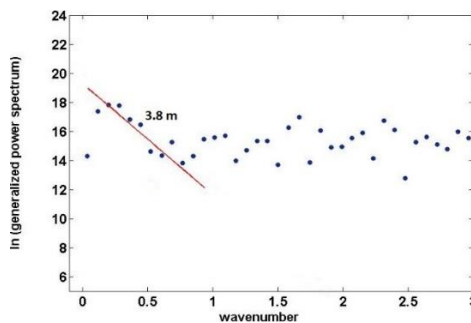
در شکل ۱۸ بی‌هنجاری مغناطیسی برگردان به قطب‌شده مربوط به این پروفیل انتخابی نمایش داده شده است. تخمین عمق با استفاده از تحلیل طیف توان معمولی و طیف توان تعمیم‌یافته به نحوی که به ترتیب در شکل‌های ۱۹ و ۲۰ نمایش داده شده است، انجام می‌گیرد. عمق تخمین‌زده‌شده با استفاده از روش آنالیز



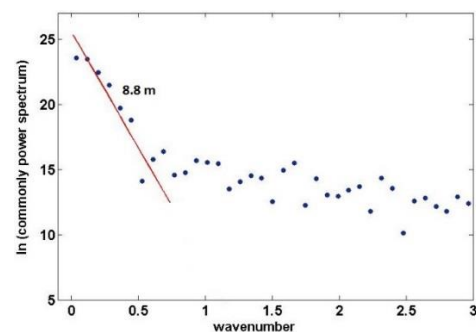
شکل ۱۷. نمایی از محل قرارگیری پروفیل انتخابی p7.



شکل ۱۸. بی‌هنجاری مغناطیسی برگردان به قطب‌شده مربوط به پروفیل انتخابی p7 جهت تخمین عمق.



شکل ۲۰. نمودار لگاریتم طیف توان تعمیم‌یافته در مقابل مقادیر عدد موج و نتیجه حاصل از آن برای پروفیل انتخابی p7.



شکل ۱۹. نمودار لگاریتم طیف توان معمولی در مقابل مقادیر عدد موج و نتیجه حاصل از آن برای پروفیل انتخابی p7.

شد که با به‌کارگیری این فرض‌ها عمق تخمین‌زده‌شده، بیشتر از عمق مفروض برای منشأ به دست می‌آید. روش مورد مطالعه در این تحقیق که آنالیز طیف توان تعمیم‌یافته نام دارد، مقدار عمق تخمینی را تا حد بسیار زیادی بهبود

۶. نتیجه‌گیری

در ابتدا برای محاسبه طیف توان میدان مغناطیسی از فرض‌های روش اسپکتور و گرنیت (۱۹۷۰) استفاده می‌شد. در این تحقیق با استفاده از مدل‌های مصنوعی نشان داده

اکتشافات معدنی کشور.

- Connard, G., Couch, R. and Gemperle, M., 1983, Analysis of aeromagnetic measurements from the Cascade Range in Central Oregon, *J. of Geophysics.*, **48**, 376-390.
- Fedi, M., Quarta, T. and Santis, A. D., 1997, Inherent power-law behavior of magnetic field power spectra from a Spector and Grant ensemble, *J. of Geophysics.*, **62**, 1143-1150.
- Hahn, A., Kind, E. G. and Mishra, D. C., 1976, Depth estimation of magnetic sources by means of fourier amplitude spectra, *J. of Geophysical Prospecting.*, **24**, 287-308.
- Maus, S. and Dimri, V. P., 1994, Scaling properties of potential field due to scaling sources, *J. of Geophysical research*, **21**(10), 891-894.
- Maus, S. and Dimri, V. P., 1995, Potential field power spectrum inversion for scaling geology, *J. of Geophysical research*, **100**, 12605-12616.
- Maus, S. and Dimri, V. P., 1996, Depth estimation from the scaling power spectrum of potential fields, *J. of Geophysics*, **124**, 113-120.
- Pawłowski, R. S., 1994, Green's equivalent-layer concept in gravity band-pass filter design, *J. of Geophysics*, **59**, 69-76.
- Pilkington, M. and Todoeschuck, J., P., 1993, Fractal magnetization of continental crust, *J. of Geophysical Research Letters*, **20**, 627-630.
- Quarta, T., Fedi, M. and Santis, A. D., 2000, Source ambiguity from an estimation of the scaling exponent of potential field power spectra, *Geophys. J. Int.*, **140**, 311-323.
- Spector, A. and Grant, F., S., 1970, Statistical model for the interpreting of aeromagnetic data, *J. of Geophysics*, **35**, 293-302.
- Zhou, S. and Thybo, H., 1998, Power spectra analysis of aeromagnetic data and KTB susceptibility logs, and their implication for fractal behavior of crustal magnetization, *J. of Pure and Applied Geophysics.*, **151**, 147-159.

می‌بخشد. بنابراین برنامه کامپیوتری مربوط به این روش تهیه و برای تعدادی از آنومالی‌های مغناطیسی موجود در منطقه عشوند نهانند به کار گرفته شد. با توجه به اینکه نتایج مربوط به روش‌های پلاریزاسیون القایی و مقاومت ویژه نیز در این منطقه به دست آمد، مشاهده شد که روش پیشنهادی در این تحقیق نتایجی منطبق بر نتایج آن‌ها دارد. بدین ترتیب روش آنالیز طیف توان تعمیم یافته به عنوان روشی کاربردی در تخمین عمق داده‌های مغناطیسی معرفی می‌شود.

تشکر و قدردانی

برای انجام این تحقیق داده‌های مغناطیسی منطقه عشوند نهانند بررسی شد. این اطلاعات با مساعدت سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور در اختیار اینجانب قرار گرفت؛ بنابراین از زحمات پرسنل محترم مدیریت اکتشاف این سازمان به خصوص جناب آقای مهندس فیروز جعفری که زحمت برداشت و جمع‌آوری این داده‌ها را کشیده بودند و همچنین جناب آقای مهندس ابراهیم شاهین که کمال همکاری را با بنده داشتند، نهایت تشکر را دارم.

مراجع

- اپنهایم، آ.، ویلسکی، آ. و یونگ، ی.، ۱۳۷۵، سیگنال‌ها و سیستم‌ها، تک‌جلدی، دیانی، م. و ملکان، م.، چاپ اول، نص، تهران.
- جعفری، ف.، ۱۳۹۰، اکتشاف کانسار پلی‌متال به روش مغناطیس‌سنجی و IP, RS در منطقه عشوند نهانند استان همدان، گزارش سازمان زمین‌شناسی و