Archive of SID

مجله ژئوفیزیک ایران، جلد ۱۰، شماره ۲، ۱۳۹۵، صفحه ۱۵-۲۴

مدل‌سازی و وارون‌سازی فشرده دوبعدی داده‌های مغناطیسی منطقه سیاه‌لت همراه با کاربست روش ماسک سیگنال

بهروز اسکوئی*[۱]، مهدی الماسی[۲] و بی‌بی رابعه صداقت[۳]

[۱] دانشیار، گروه فیزیک زمین، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران
[۲] دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، گروه فیزیک زمین، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران
[۳] کارشناس ارشد ژئوفیزیک، گروه فیزیک زمین، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۹۲/۰۳/۰۶، تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۰/۱۳)

چکیده

در این مقاله به مطالعه مغناطیسی منطقه سیاه‌لت به‌منظور اکتشاف کانسار آهن پرداخته می‌شود. در این مطالعه علاوه‌بر روش‌های رایج در تفسیر کمّی و کیفی که در اکتشافات ژئومغناطیسی رایج است، به مدل‌سازی و وارون‌سازی داده‌ها پرداخته می‌شود. در وارون‌سازی داده‌ها روشی که میدان مغناطیسی را با کمینه‌سازی مساحت سطح مقطع توده منشأ مدل‌سازی و وارون‌سازی می‌کند، به‌کار گرفته می‌شود. این روش وارون‌سازی بر پایه الگوریتم کمترین مربعات وزن‌دار عمل می‌کند. در وارون‌سازی داده‌ها همچنین از روش جدید ماسک سیگنال استفاده می‌شود، بدین‌گونه که عملگر وارون‌سازی بر روی قسمت‌هایی از سیگنال به نام سیگنال مفید، اعمال می‌شود. با استفاده از روش ماسک سیگنال اثرات نوفه کاهش می‌یابد و فرایند همگرایی عمدتاً بر روی سیگنال مفید تمرکز پیدا می‌کند. وارون‌سازی داده‌ها بر روی دو پروفیل صورت گرفته است. یکی از این پروفیل‌ها نشان‌دهنده دو بی‌هنجاری شیب‌دار است که یکی از عمق حدود ۱۰ متر تا عمق حدود ۳۰ متر و دیگری از عمق حدود ۱۰ متر تا عمق حدود ۲۰ متر گسترش دارند. این دو بی‌هنجاری مجموعاً دارای طول تقریبی ۱۴۰ متر و ضخامت ۴-۳ متر هستند. پروفیل دیگر نشان‌دهنده یک بی‌هنجاری شیب‌دار با طول تقریبی ۹۰ متر و ضخامت ۵-۴ متر است که تقریباً از سطح زمین شروع شده و تا عمق ۲۵-۲۰ متری گسترش دارد. با توجه به مقدار پذیرفتاری مغناطیسی به‌دست آمده بعد از وارون‌سازی داده‌ها، می‌توان کانسار موجود را به هماتیت نسبت داد.

واژه‌های کلیدی: ژئومغناطیس، سیگنال مفید، ماسک سیگنال، مدل‌سازی، منطقه سیاه‌لت، وارون‌سازی

* نگارنده رابط: boskooi@ut.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

۱ مقدمه

در سال ۱۸۳۸ کارل فردریش گوس با استفاده از تحلیل هماهنگ‌های کروی روی داده‌های مغناطیسی اندازه‌گیری‌شده، اولین فرمول‌های ریاضی ژئومغناطیس را بنا نهاد. منحرف شدن عقربه قطب‌نما به سمت کانه‌های طبیعی آهن، درنهایت منجر به استفاده از آن به‌عنوان یک ابزار پی‌جویی در قرن نوزدهم میلادی شد.

هدف نهایی مشاهدات ژئوفیزیکی و به‌خصوص مطالعات ژئومغناطیسی، تعیین ساختارهای زمین‌شناختی از روی داده‌های ژئوفیزیکی می‌باشد که با توجه به ساختار پیچیده درون زمین کار بسیار مشکلی است. مبنای کار در روش وارون‌سازی فشرده، کمینه کردن حجم چشمه بی‌هنجاری به روشی است که لاست و کوبیک (۱۹۸۳) ارائه کرده‌اند. این امر معادل بیشینه کردن فشردگی چشمه بی‌هنجاری است. در این روش زیر سطح زمین متشکل از منشورهای افقی عمود بر پروفیل‌های برداشت در نظر گرفته و نیز تأثیر مغناطیس‌شدگی و رفتار نوفه در داده‌ها در نظر گرفته می‌شود.

کوپر و کاون (۲۰۰۶) نتایج صافی‌های مختلف را بر روی داده های گرانی مصنوعی و داده های مغناطیسی از استرالیا، با استفاده از کد متلب (MATLAB) مقایسه کرده‌اند. آنها روش استفاده از تبدیل موجک پیوسته در تحلیل داده‌های گرانی و مغناطیسی را برای به‌دست آوردن تخمین عمق و موقعیت چشمه‌های مغناطیسی و گرانی نشان دادند. استفاده از تبدیل موجک پیوسته و گسسته در داده های میدان پتانسیل را فدی و کوارتا (۱۹۹۸)، فدی و همکاران (۲۰۰۴) و موریو و همکاران (۱۹۹۸) به‌خوبی مستند کرده‌اند.

در بحث پردازش و تفسیر داده‌های مغناطیسی، مدل‌سازی پیشرو و برگردان توسط برنامه رایانه‌ای تحت متلب با استفاده از روش جدیدی به نام ماسک سیگنال ارائه شده است. در این برنامه رایانه‌ای که استوکو و همکاران (۲۰۰۹) ارائه داده‌اند، تمرکز عمل برگردان بر روی سیگنال بی‌هنجاری اصلی برای کاهش اثرات نوفه می‌باشد.

۲ مدل‌سازی و وارون‌سازی داده‌های مغناطیسی

روش مرسوم برای تحلیل داده‌های ژئوفیزیکی عبارتست از ساختن مدل‌های زمین‌شناختی گوناگون و مقایسه داده‌های نظری ناشی از این مدل‌ها با داده‌های مشاهده‌ای. وارون‌سازی شامل یک فرایند تکرار است که در آن ماتریس‌های وزن‌دهی در هر تکرار تغییر می‌کند تا زمانی که همگرایی مناسب حاصل شود (لاست و کوبیک، ۱۹۸۳). پارامترهای ورودی برای فرایند برگردان عبارتند از: (۱) بیشترین تعداد تکرار، (۲) بیشترین مقدار مجاز تباین مغناطش (کمترین مقدار تباین در صورت تباین منفی بین منشأ و زمینه مثلاً برای حفره‌ها) و (۳) نسبت نوفه به سیگنال.

عملگر وارون‌سازی بر روی قسمت‌هایی از سیگنال به نام سیگنال مفید، یعنی بی‌هنجاری اصلی، به‌کاربرده می‌شود. درواقع، قسمت‌هایی از سیگنال که می‌تواند حامل اطلاعات هدف اصلی درنظر گرفته شود، انتخاب می‌شود. تولید ماسک سیگنال بدین صورت است که ابتدا طیف توان سیگنال در حوزه عددموج با استفاده از تبدیل فوریه اندازه گیری می‌شود و عملیات وارون‌سازی بیشتر بر روی مقادیر بالایی طیف توان متمرکز می‌شود. با استفاده از روش ماسک سیگنال، برازش قسمتی که نوفه درنظر گرفته می‌شود، کاهش پیدا کرده و فرایند همگرایی عمدتاً برروی سیگنال مفید تمرکز پیدا می‌کند (استوکو و همکاران، ۲۰۰۹).

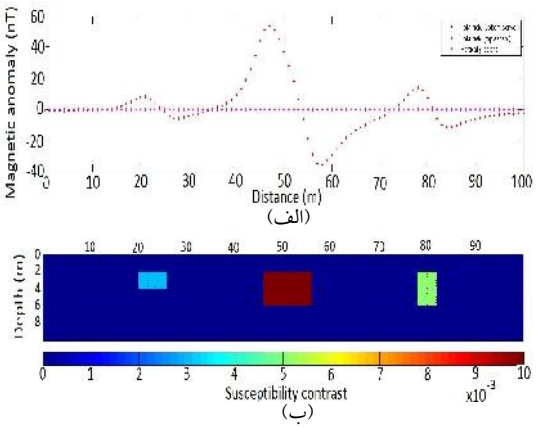
۳ وارون‌سازی داده‌های مصنوعی

در این بخش به‌منظور نشان دادن کارایی روش ماسک سیگنال در وارون‌سازی، به ذکر یک مثال می‌پردازیم. در

www.SID.ir

Archive of SID

این مثال پروفیل به طول ۱۰۰ متر و در جهت شمالی- جنوبی، فاصله نقاط برداشت یک متر، نسبت نوفه به سیگنال ۰/۰۵ و زاویه میل مغناطیسی ۶۰ درجه درنظر گرفته شده است. برای مدل‌سازی پیشرو و وارون‌سازی از برنامه رایانه‌ای MAG2D در محیط متلب استفاده شده است (استوکو و همکاران، ۲۰۰۹). در این مثال حالتی بررسی می‌شود که در آن بی‌هنجاری اصلی نوفه‌های زمین‌شناسی نیز وجود دارد. نتایج در شکل‌های ۱ و ۲ آورده شده است.

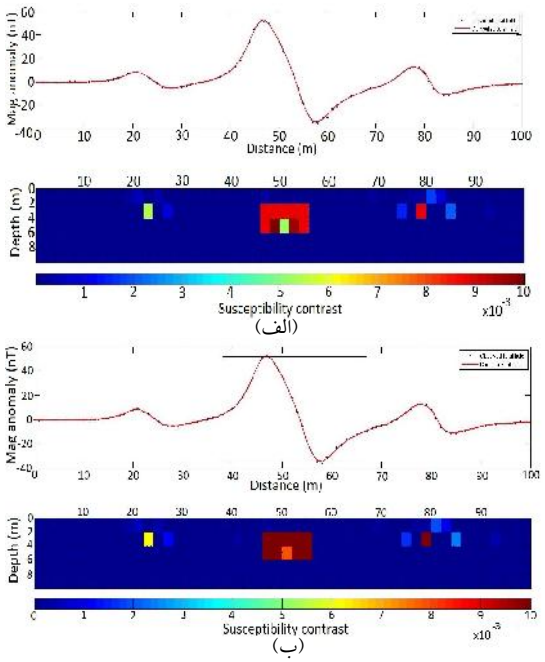


شکل ۱. (الف) تغییرات شدت میدان مغناطیسی (نانوتسلا) در راستای پروفیل (فاصله برحسب متر)، نقاط قرمز نشان‌دهنده میدان کل و نقاط صورتی گرادیان قائم (ب) مدل مصنوعی در نظر گرفته شده (محور افقی تباین پذیرفتاری و محور قائم عمق بر حسب متر).

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، با کاربست روش ماسک سیگنال، عملیات وارون‌سازی بر روی سیگنال مفید متمرکز شده و بی‌هنجاری اصلی بهتر نمایان شده است. در صورت عدم وجود نوفه زمین‌شناختی نتایج حاصل از وارون‌سازی با کاربست روش ماسک سیگنال همانند وارون‌سازی بدون کاربست روش ماسک سیگنال است.

۴ زمین شناسی منطقه سیاه‌لت

منطقه مورد مطالعه عمدتاً از سنگ‌های رسوبی تشکیل شده است. این سنگ‌ها شامل سنگ‌های کربناته، ماسه‌سنگ و کوارتزیت می‌باشد که در سازندهای بایندر، زاگون، لالون و میلا قرارگرفته‌اند. در داخل ممبرهای این سازندها سنگ‌های دگرگونی از جمله شیست‌ها نیز مشاهده می‌شود.



شکل ۲. نتایج حاصل از وارون‌سازی مدل مصنوعی (نقاط آبی میدان کل مشاهده شده و خط قرمز میدان کل محاسبه شده)، (الف) بدون کاربست روش ماسک سیگنال و (ب) با کاربست روش ماسک سیگنال.

حال به معرفی این سازندها پرداخته می‌شود:

۱- سازند بایندر: این سازند از نظر سنگ‌شناسی، شامل ماسه‌سنگ‌های ارغوانی، شیل‌های میکادار سیلتی و شیل‌های ماسه‌ای دانه‌ریز است که میان لایه‌هایی از دولومیت‌های قهوه‌ای استروماتولیت‌دار قرار دارد. جلبک‌های استروماتولیتی و آرکئوسیاتیدها تنها سنگواره‌های موجود است که فقط در میان لایه‌های دولومیتی دیده می‌شوند و به‌طور عموم به نوپروتروزوئیک پسین (وندین) نسبت داده شده‌اند.

۲- سازند زاگون: واحد سنگ چینه‌ای همگنی از شیل‌های آهک‌دار، ماسه‌سنگ ریزدانه آرکوزی و سیلت‌سنگ میکادار زودفرسا است که رنگ متمایل به سرخ ارغوانی

www.SID.ir

Archive of SID

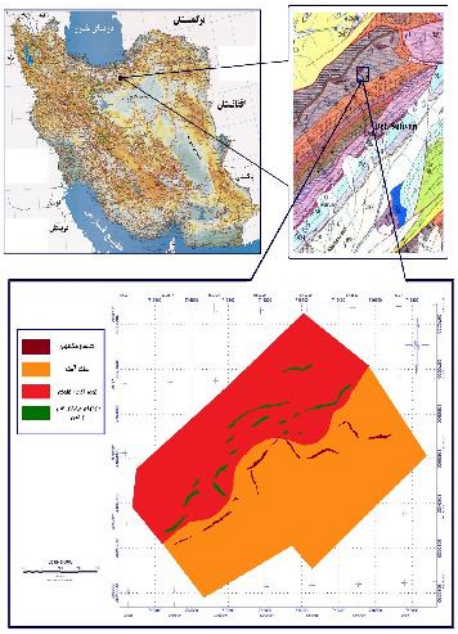
دارد. در برش الگو، ضخامت اندازه‌گیری شده در باختر آبادی زاگون، ۴۵۳ متر است ولی در دیگر برش‌ها، ضخامت‌های متفاوتی از سازند زاگون گزارش شده است.

۳- سازند لالون: این سازند یکی از گسترده‌ترین سازندهای کامبرین پیشین ایران است که به‌تقریب در همه جا ترکیب سنگ‌شناسی مشابهی دارد. لالون شامل ضخامت متغیری (۶۰۰-۴۰۰ متر) از ماسه‌سنگ‌های آرکوزی، متوسط‌دانه، کوارتزی، متراکم، به رنگ سرخ ارغوانی است که به داشتن چینه‌بندی متقاطع و موج‌نقش، شاخص است. با وجود گستردگی زیاد، منشأ این ماسه‌سنگ‌های کوارتزی مشخص نیست. با این حال، وجود گارنت، آپاتیت، گلوکونیت و فسفات سبب شده تا این ماسه‌سنگ‌ها نتیجه تخریب توده‌های گرانیتی و سنگ‌های دگرگونی دانسته شوند که در محیط‌های رودخانه‌ای اکسیدشده انباشته شده‌اند.

۴- سازند میلا: شیل بدون فسیل، ماسه‌سنگ و سنگ‌آهک‌های نازک‌لایه است که یک واحد ماسه‌سنگ کوارتزی سفید در قاعده آن قرار دارد. در بسیاری از گزارش‌های زمین‌شناختی از سازند میلا به‌منزله یک واحد سنگ‌چینه‌ای به سن کامبرین-اردویسین یاد شده است. فرسایش پس از اردویسین سبب شده تا این عضو در همه جا وجود نداشته باشد.

در شمال منطقه مورد مطالعه، یک توده آذرین مافیک به داخل سازندهای مذکور نفوذ کرده و کانه‌زایی آهن در حاشیه توده مزبور با سنگ‌های آهکی ایجاد شده است. جنس توده آذرین دیوریت تا گابرو می‌باشد و کانه‌سازی آهن منطقه از نوع مگنتیتی و هماتیتی می‌باشد. در شکل ۳ نقشه زمین‌شناختی منطقه مورد مطالعه آورده شده است.

مطالعات میکروسکوپی نشان می‌دهد کانه هماتیت در رخنمون‌ها جایگزین کانه مگنتیت شده است. این جایگزینی باعث شده است که جذب مغناطیسی رخنمون‌های آهن در بعضی مناطق به‌شدت کاهش یابد. از طرف دیگر همین موضوع منجر به توجیه انجام پروژه مغناطیس‌سنجی در این منطقه شد، زیرا این مطالعات نشان می‌دهد که کانی اصلی و اولیه ایجادشده مگنتیت می‌باشد و فرایند جایگزینی ثانویه است. علاوه بر آن جذب مغناطیسی کم‌وبیش کانه‌های آهن نشان می‌دهد که این جایگزینی کامل صورت نگرفته است و هنوز کانه‌های مگنتیتی در رخنمون‌ها حضور دارند. بنابراین آشکارسازی آنها حتی در مناطق عمیق نیز به این روش کاملاً امکان‌پذیر است.



شکل ۳. نقشه زمین‌شناختی منطقه مورد مطالعه.

۵ برداشت و پردازش داده‌های مغناطیسی

طراحی نقاط و خطوط برداشت در محدوده اکتشافی به منظور مطالعه دقیق وضعیت رگه مگنتیتی و بررسی گسترش این توده در عمق انجام گرفته است. به همین منظور ۲۶ پروفیل با طول تقریبی ۶۰۰ متر و با فاصله تقریبی ۵۰ متر از یکدیگر در جهت عمود بر کنتاکت، طراحی و برداشت گردیده است. فاصله نقاط برداشت در امتداد خطوط ۱۰ متر و تعداد نقاط برداشت در این محدوده ۱۴۲۰ نقطه بوده است.

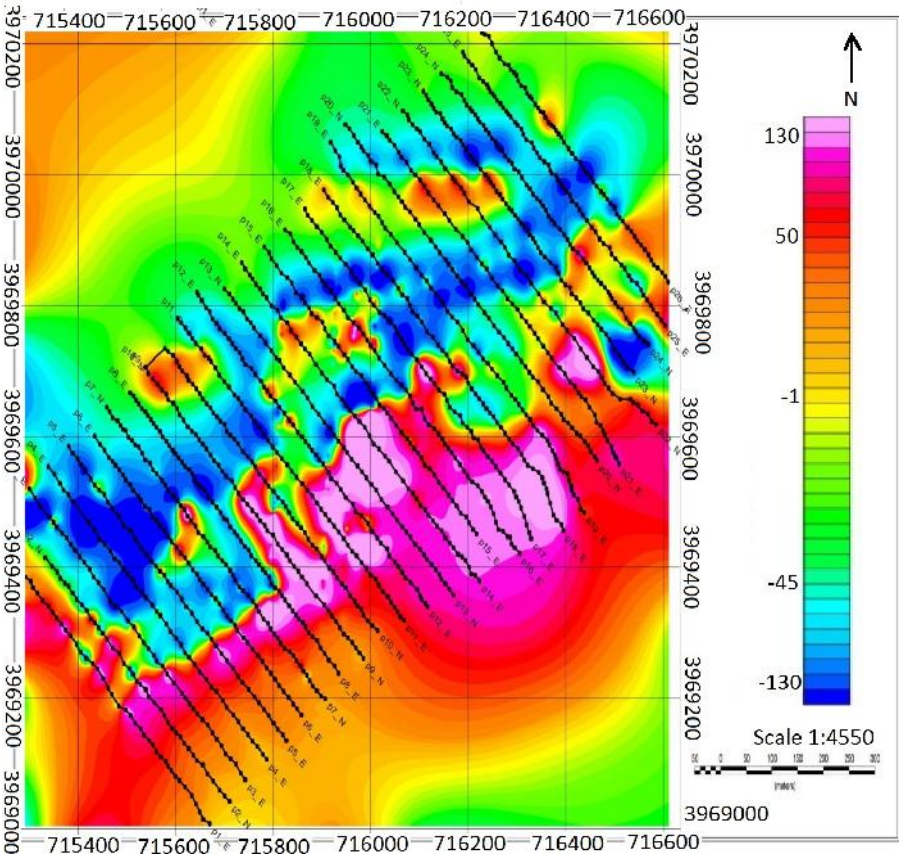
www.SID.ir

Archive of SID

ابتدا و انتهای هر پروفیل طوری طراحی شده است که میدان مغناطیسی در ابتدای هر پروفیل از یک حد زمینه ناحیه‌ای شروع شده و پس از گذشتن از مقدار بی‌هنجاری دوباره در انتهای پروفیل به مقدار زمینه برمی‌گردد. این مقدار زمینه با توجه به میدان مغناطیسی جهانی و تعدادی اندازه‌گیری قبل از انجام عملیات صحرایی در منطقه مطالعاتی به‌دست آمد.

حذف اثر روزانه: در این مرحله ابتدا تغییرات روزانه میدان مغناطیسی زمین، مربوط به چشمه‌های فضایی خارج از محدوده کره زمین، با استفاده از یک مگنتومتر ایستگاهی در منطقه حذف می‌شود. این دستگاه معمولاً در فاصله کمتر از ۲۰ کیلومتری محدوده‌ی برداشت قرار می‌گیرد. چنانچه دامنه بی‌هنجاری‌ها در حد قابل ملاحظه‌ای بزرگ باشد، نیازی به استفاده از دستگاه ایستگاهی نیست. با یک بررسی اولیه در منطقه، دامنه بی‌هنجاری‌ها به اندازه کافی بزرگ تشخیص داده شد و در نتیجه با برآورد عدم نیاز به مگنتومتر ایستگاهی، از ادامه نصب ایستگاه مبنا صرف‌نظر شد.

حذف اثر IGRF: پس از حذف تغییرات زمانی میدان، میدان مربوط به هسته زمین و گوشته بالایی و مناطق عمیق پوسته که ارزش چندانی در اکتشاف مواد معدنی ندارند، از داده‌ها کم می‌شود. این کار با برنامه IGRF صورت می‌گیرد. ورودی این برنامه طول و عرض جغرافیایی منطقه، ارتفاع و زمان برداشت می‌باشد که با توجه به اطلاعات وارد شده، زاویه میل میدان زمین ۵۴/۴ درجه، زاویه انحراف ۴/۱ درجه و اندازه شدت کل میدان زمین ۴۸۲۳۵ گاما تعیین شد.



شکل ٤. نقشه بی‌هنجاری کل به همراه نقاط برداشت، از پروفیل P1 (جنوب غربی) تا P26 (شمال شرقی).

www.SID.ir

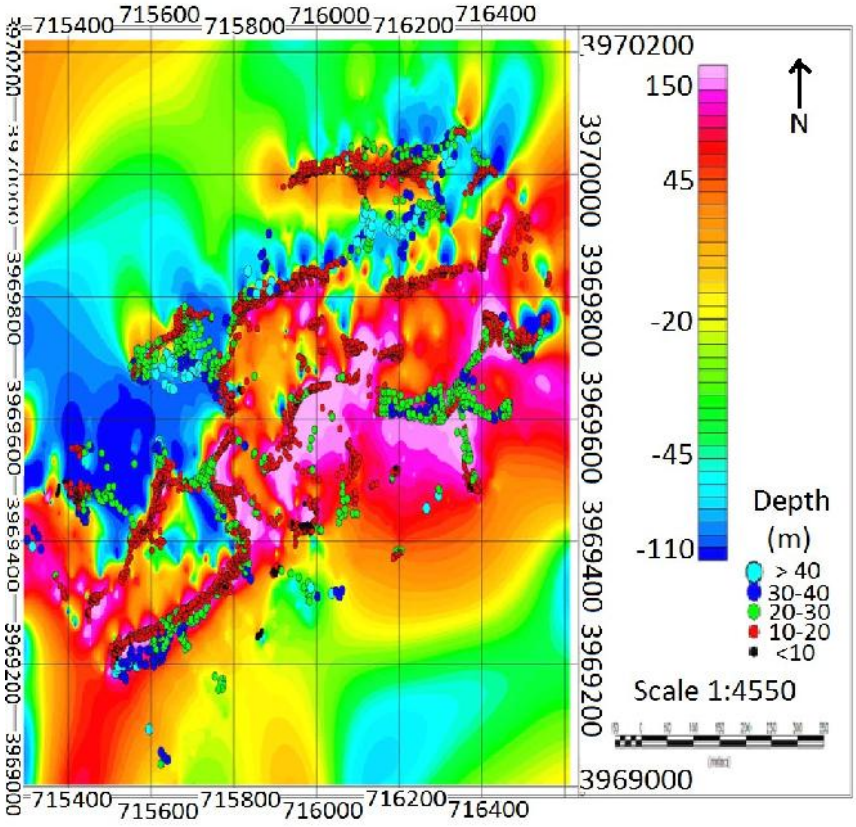
Archive of SID

ادامه فراسو: صافی ادامه فراسو، میدان پتانسیل اندازه گیری شده در روی یک سطح را به میدان پتانسیلی که در سطحی دورتر از منشأ قرار داشته باشد، تبدیل می‌کند. بنابراین این صافی بی‌هنجاری‌های با طول موج کوتاه‌تر را تضعیف می‌کند. درنهایت پس از پردازش اولیه می‌توان در شکل ۴ نقشه بی‌هنجاری مغناطیسی کل محدوده مورد مطالعه را همراه با نقاط و پروفیل‌های برداشت مشاهده کرد.

روش تخمین عمق اویلر: در روش اویلر، با حل معادله همگن اویلر و داشتن اطلاعاتی از شکل هندسی منشأها، می‌توان عمق منشأها را تخمین زد. مشخصات هندسی منشأ در پارامتری به نام اندیس ساختاری به معادله وارد می‌شود. این اندیس برای اشکال دایک‌مانند مقدار ۱ و برای استوانه مقدار ۲ دارد. در اینجا بهترین اندیس ساختاری برابر ۱/۴ (شکلی مابین دایک و استوانه) می‌باشد. نقشه تخمین عمق به روش اویلر در شکل ۵ آورده شده است. به‌طور کلی قسمت اعظم منطقه با بی‌هنجاری‌های با عمق ۴۰-۱۰ متر پوشیده شده است.

۶ مدل‌سازی و وارون‌سازی فشرده دوبعدی داده‌های مغناطیسی صحرایی همراه با کاربست روش ماسک سیگنال

برای انجام عملیات مدل‌سازی و وارون‌سازی داده‌های مغناطیسی منطقه مورد مطالعه، پروفیل‌های شماره ۷ و ۱۷ انتخاب شدند. تغییر مغناطیس‌پذیری در هر یاخته (سلول)، محاسبه مدل‌سازی پیشرو و مقایسه داده‌های برآوردشده با داده‌های به‌دست آمده و تکرار این فرایند تا جایی‌که یک برازش پذیرفتنی بین داده‌های براوردشده و داده‌های به‌دست آمده حاصل شود، امکان‌پذیر است.

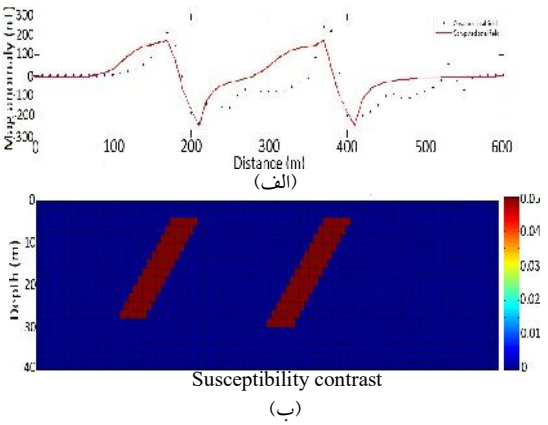


شکل ۵. **نقشه تخمین عمق به روش اویلر.**

www.SID.ir

Archive of SID

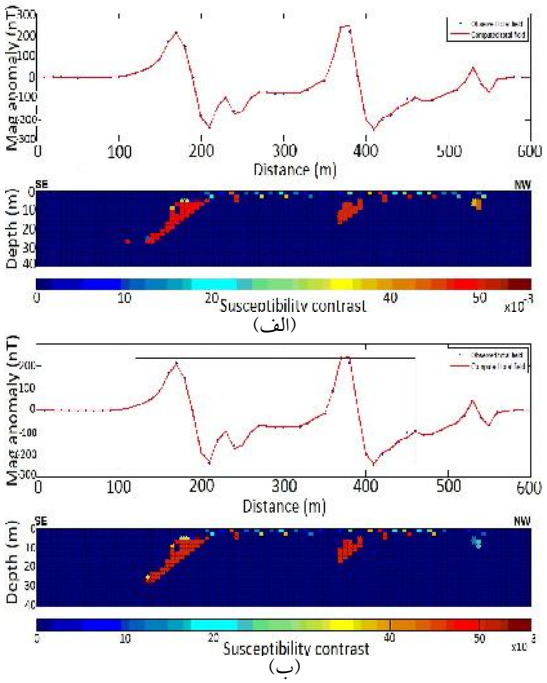
در شکل ۶ مدل اولیه برای فرایند وارون‌سازی حاصل از مدل‌سازی پیشرو و در شکل ۷ نتایج حاصل از وارون‌سازی بدون کاربست روش ماسک سیگنال و همراه با کاربست آن برای پروفیل شماره ۷ آورده شده است.



شکل ٦. (الف) تغییرات شدت میدان مغناطیسی در راستای پروفیل شماره ۷ (نقاط آبی نشان دهنده میدان کل مشاهده شده و خط قرمز میدان کل محاسبه شده، (ب) مدل اولیه حاصل از مدل‌سازی پیشرو برای وارون-سازی پروفیل شماره ۷.

در شکل ۸ مدل اولیه برای فرایند وارون‌سازی حاصل از مدل‌سازی پیشرو و در شکل ۹ نتایج حاصل از وارون‌سازی بدون کاربست روش ماسک سیگنال و همراه با کاربست آن برای پروفیل شماره ۱۷ آورده شده است.

تفسیر نتایج حاصل از وارون‌سازی پروفیل شماره ۷: با توجه به شواهد زمین‌شناختی منطقه، تباین مغناطیس‌پذیری برابر با ۰/۰۵ تخمین زده شد که به پذیرفتاری مغناطیسی هماتیت تا حدودی نزدیک است. تعداد تکرار در وارون‌سازی نیز برابر با ۱۰ و نسبت نوفه به سیگنال نیز برابر با ۰/۰۵ انتخاب شد. نتایج حاصل از وارون‌سازی این پروفیل نشان‌دهنده دو بی‌هنجاری می‌باشد که احتمالاً کانی‌سازی در محل کنتاکت توده آذرین نفوذی با سنگ‌های رسوبی آهکی و در حاشیه توده‌ی آذرین شکل گرفته است. همچنین با توجه به مقدار تقریبی به‌دست آمده ۰/۰۵ برای تباین مغناطش بعد از وارون‌سازی بین بی‌هنجاری‌ها و زمینه، می‌توان پی برد که تخمین اولیه برای این مقدار تا حدودی به مقدار واقعی نزدیک بوده است و شواهد زمین‌شناختی برون‌زدگی‌های موجود دال بر حضور کانسارهای هماتیتی با مگنتیت را می‌توان به ساختارهای درون زمین نیز تعمیم داد. البته لازم به ذکر است که مقدار به‌دست آمده نشان می‌دهد که نتایج حاصل حاکی از وجود دو توده هماتیتی شیب‌دار است. توده سمت چپ از عمق حدود ۱۰ متر شروع شده و تا



شکل ۷. نتایج حاصل از فرایند وارون‌سازی پروفیل شماره ۷، نقاط آبی میدان کل مشاهده شده و خط قرمز میدان کل محاسبه شده، (الف) بدون کاربست روش ماسک سیگنال، (ب) همراه با کاربست روش ماسک سیگنال.

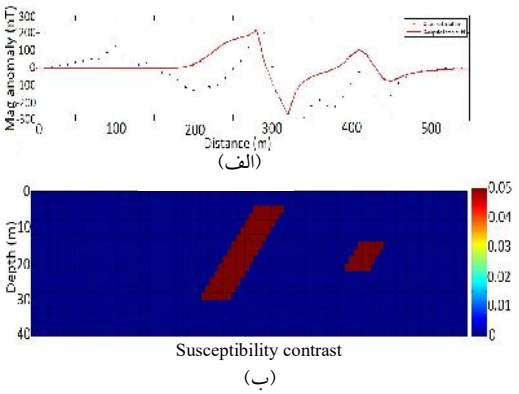
عمق حدود ۳۰ متر ادامه دارد و توده سمت راست از عمق حدود ۱۰ متر شروع شده و تا عمق حدود ۲۰ متر ادامه دارد. این دو بی‌هنجاری مجموعاً دارای طول تقریبی ۱۴۰ متر و ضخامت ۴-۳ متر می‌باشند.

همچنین در سمت راست این پروفیل یک بی‌هنجاری با دامنه کوچک مشاهده می‌شود که پس از کاربست روش ماسک سیگنال، عملیات وارون‌سازی عمدتاً بر روی دو

www.SID.ir

Archive of SID

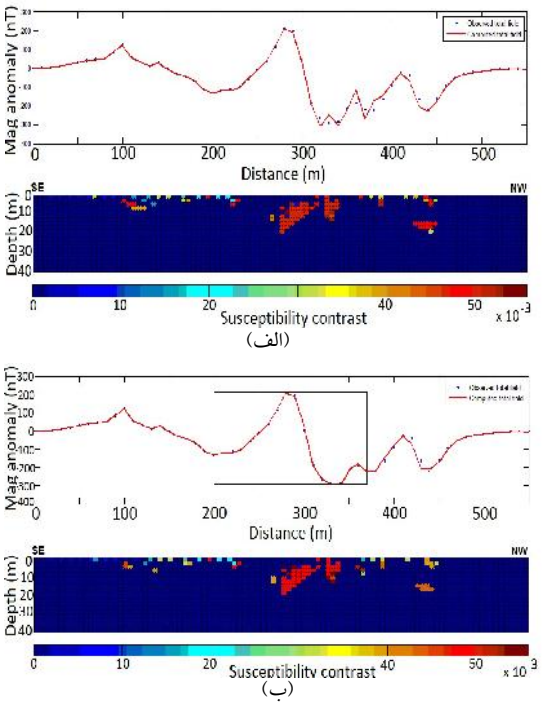
بی‌هنجاری اصلی (سیگنال مفید) متمرکز شده و از اثرات این بی‌هنجاری با دامنه کوچک کاسته شده است. البته با توجه به شواهد زمین‌شناختی منطقه می‌توان این بی‌هنجاری با دامنه کوچک را به دایک‌های دیابازیک نسبت داد که در شمال منطقه و در توده نفوذی آذرین به وفور برونزدگی دارند.



شکل ۸. (الف) تغییرات شدت میدان مغناطیسی در راستای پروفیل شماره ۱۷، نقاط آبی میدان کل مشاهده شده و خط قرمز میدان کل محاسبه شده. (ب) مدل اولیه حاصل از مدل‌سازی پیشرو برای وارون-سازی پروفیل شماره ۱۷.

تفسیر نتایج حاصل از وارون‌سازی پروفیل شماره ۱۷: نتایج به‌دست آمده برای این پروفیل همخوانی زیادی با نتایج پروفیل ۷ دارند و تائیدکننده آن هستند. برای عملیات وارون‌سازی بر روی پروفیل شماره ۱۷ نیز همانند پروفیل شماره ۷، تباین مغناطیس‌پذیری برابر ۰/۰۵ براورد و تعداد تکرارها و نسبت نوفه به سیگنال نیز به‌ترتیب برابر با ۱۰ و ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. نتایج به‌دست آمده از عملیات وارون‌سازی بر روی این پروفیل نشان‌دهنده یک توده هماتیتی شیب‌دار به طول حدود ۹۰ متر و ضخامت ۵-۴ متر می‌باشد که احتمالاً در مرز توده آذرین نفوذی با سنگ‌های رسوبی آهکی شکل گرفته است، همچنین این توده تقریباً از سطح زمین شروع شده و تا عمق ۲۵-۲۰ متری گسترش دارد.

بر روی این پروفیل دو بی‌هنجاری مشاهده می‌شود که بی‌هنجاری سمت چپ دارای دامنه بیشتری می‌باشد. پس از کاربست روش ماسک سیگنال، عملیات وارون‌سازی بیشتر بر روی بی‌هنجاری سمت چپ تمرکز و اثرات ناشی از بی‌هنجاری سمت راست با دامنه کوچک‌تر، کاهش یافته است.



شکل ۹. نتایج حاصل از فرایند وارون‌سازی پروفیل شماره ۱۷، نقاط آبی میدان کل مشاهده شده و خط قرمز میدان کل محاسبه شده، (الف) بدون کاربست روش ماسک سیگنال، (ب) همراه با کاربست روش ماسک سیگنال.

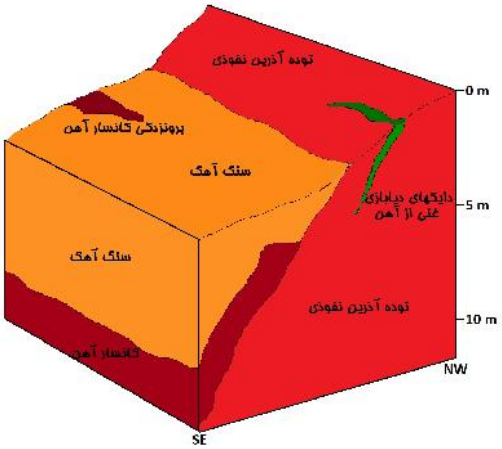
تاثیر روش ماسک سیگنال در عملگر وارون‌سازی تا حدود زیادی قابل مشاهده است، اما از آنجا که در مطالعه این ساختار نمی‌توان برای سایر ساختارها تعریف نوفه را اعمال کرد لذا تمامی سیگنال‌های موجود مفید و باارزش هستند. بنابراین از این روش می‌توان در ساختارها و یا اکتشافاتی بهره برد که هدف اکتشاف از پیش تعیین شده باشد. برای مثال، اکتشافات باستان‌شناختی موردی باارزش

www.SID.ir

Archive of SID

از کاربرد این روش هستند، چون هدف مطالعه یک ساختار خاص، منحصر به فرد و ازپیش پیش‌بینی‌پذیر است. لذا اثر سایر عوامل پیرامونی را می‌توان بر روی سیگنال اصلی، که احتمالا سیگنال ضعیفی است، به‌عنوان نوفه در نظر گرفت. پس با متمرکز کردن عملگر ماسک سیگنال بر روی سیگنال اصلی و مورد نظر در فرایند وارون‌سازی، می‌توان جواب بهتری از مقطع زمین دریافت کرد و پاسخی نزدیک به واقعیت و به دور از تاثیرات نوفه داشت.

حفاری‌ها و مغزه‌گیری‌هایی که بعد از نتیجه تفسیر داده‌برداری انجام شده با جواب به‌دست آمده در این پژوهش مطابقت دارد، بدین‌گونه که ساختار مورد مطالعه از نوع هماتیتی بوده و مگنتیتی نمی‌باشد. شیب و ضخامت و عمق لایه نیز تا حدود زیادی با جواب به‌دست آمده مطابقت دارد. در شکل ۱۰ طرحواره‌ای از مدل پیشنهادی برای ساختار زمین‌شناختی منطقه ارائه شده تا به درک هرچه بهتر ساختار مورد مطالعه کمک کند.



شکل ۱۰. طرحواره‌ای از ساختار درون زمین منطقه مورد مطالعه.

۷ نتیجه‌گیری

روش مغناطیسی یک ابزار اکتشافی اولیه در پی‌جویی کانی‌ها به‌شمار می‌رود. در بحث پردازش و تفسیر داده‌های مغناطیسی، مدل‌سازی پیشرو و وارون‌سازی مطرح است که برنامه رایانه‌ای به‌کار رفته در این تحقیق هر دو را شامل می‌شود. این برنامه در محیط متلب نوشته شده و روش جدیدی را به نام ماسک سیگنال ارائه می‌دهد. در این‌جا مدل‌سازی پیشرو و وارون‌سازی داده‌های مغناطیسی مصنوعی و واقعی انجام گرفت و مشاهده شد که کاربست روش ماسک سیگنال سبب کاهش اثرات نوفه شده و باعث می‌شود که بی‌هنجاری اصلی بهتر پدیدار شود. درواقع، با این روش عملیات وارون‌سازی عمدتاً بر روی سیگنال مفید متمرکز می‌شود.

داده‌های واقعی مورد استفاده، مربوط به یک کانسار آهن در منطقه سیاه‌لت استان سمنان هستند. بی‌هنجاری‌های ثبت شده در محدوده مورد بررسی به دو نوع کلی تفکیک می‌شوند، اول بی‌هنجاری‌های حاصل از کانسارهای مگنتیتی که در آنها کانه مگنتیت با کانه هماتیت جایگزین شده است. این بی‌هنجاری‌ها در مجاورت توده آذرین نفوذی منطقه با لایه‌های رسوبی آهکی، یعنی محل‌هایی که در آن کانه‌زایی آهن صورت گرفته است، مشاهده می‌شوند. دسته دوم بی‌هنجاری‌ها ناشی از دایک‌های دیابازیک هستند که درون توده‌های نفوذی منطقه نفوذ کرده‌اند. این بی‌هنجاری‌ها از نظر شکل ظاهری بسیار به بی‌هنجاری‌های نوع اول شبیه هستند، با این تفاوت که دامنه کمتری در مقایسه با این بی‌هنجاری‌ها دارند.

در این پژوهش عملیات وارون‌سازی به همراه روش ماسک سیگنال بر روی دو پروفیل صورت گرفته است. با استفاده از مقطع‌های به‌دست آمده حاصل از وارون‌سازی داده‌ها می‌توان به این نکته اشاره کرد که ساختار مورد مطالعه شیب‌دار است. نتایج به‌دست آمده از وارون‌سازی پروفیل شماره هفت دو توده هماتیتی شیب‌دار را نشان می‌دهند. توده سمت چپ از عمق حدود ۱۰ متر شروع شده و تا عمق حدود ۳۰ متر ادامه دارد و توده سمت راست از عمق حدود ۱۰ متر شروع شده و تا عمق حدود

www.SID.ir

Archive of SID

۲۰ متر ادامه دارد. این دو بی‌هنجاری مجموعاً طول تقریبی ۱۴۰ متر و ضخامت ۴-۳ متر دارند. بر روی پروفیل شماره ۱۷ نتایج به‌دست آمده از عملیات وارون‌سازی بیانگر یک توده هماتیتی شیب‌دار به طول حدود ۹۰ متر و ضخامت ۵-۴ متر می‌باشد. همچنین این توده تقریباً از سطح زمین شروع شده و تا عمق ۲۵-۲۰ متری گسترش دارد. با توجه به پذیرفتاری مغناطیسی به‌دست آمده بعد از وارون‌سازی داده ها که حدود ۰/۰۵ می‌باشد، می‌توان کانسار موجود را به هماتیت نسبت داد. نتایج به‌دست آمده از وارون‌سازی و نتایج به‌دست آمده از حفاری‌ها مؤید یکدیگرند.

منابع

Cooper, G. R. J., and Cowan, D. R., 2006, Enhancing potential field data using filters based on the local phase: Computers & Geosciences, **32**(10), 1585–1591.

Fedi, M., Primiceri, R., Quarta, T., and Villani, A.V., 2004, Joint application of continuous and discrete wavelet transform on gravity data to identify shallow and deep sources: Geophys. J. Int., **156**(1), 7–21.

Fedi, M., and Quarta, T., 1998, Wavelet analysis for the regional-residual and local separation of potential field anomalies: Geophysical Prospecting, **46**(5), 507–525.

Gauss, C. F., 1838, On a new instrument for the direct observation of the changes in the intensity of horizontal portion of the terrestrial magnetic force: Scientific Memoirs, **2**(1838), 252–267.

Last, B. J., and Kubik, K., 1983, Compact gravity inversion: Geophysics, **48**, 713–721.

Moreau, F., Gibert, D., Holschneider, M., and Saracco, G., 1997. Wavelet analysis of potential fields: Inverse Problems, **13**, 165–178.

Stocco, S., Godio, A., and Sambuelli, L., 2009, Modelling and compact inversion magnetic data: A Matlab code: Computers & Geoscience, **35**, 2111–2118.

www.SID.ir