Archive of SID

فیزیک زمین و فضا، دوره ۴۱، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۴، صفحهٔ ۲۲۹- ۲۳۸

کاربرد فیلتر گسترش رو به بالا در تفسیر داده‌های میدان مغناطیس به‌همراه تعیین ارتفاع بهینهٔ در منطقهٔ منصورآباد یزد، ایران

محمدرضا آزاد*

کارشناس ارشد مهندسی اکتشاف معدن، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

(دریافت: ۹۳/۴/۱، پذیرش نهایی: ۹۴/۳/۱۲)

چکیده

با توجه به این واقعیت که توده‌های آهن به‌علت به‌همراه داشتن کانی‌های فرومغناطیس، شدت مغناطیسی بالایی دارند، در اکتشافات معدنی معمول‌ترین روش ژئوفیزیکی مغناطیس‌سنجی است که برای اکتشاف این ذخایر پیشنهاد می‌شود. برای پردازش و تفسیر نقشه‌های بی‌هنجاری مغناطیسی اصولاً از روش‌های متعددی استفاده می‌شود که تقریباً اکثر این روش‌ها بر مبنای سعی و خطاست. یکی از روش‌های معمول پالایش یا فیلترسازی داده‌های ژئوفیزیکی، فیلتر گسترش رو به بالاست که در این تحقیق نیز به‌کار گرفته شده است. از جمله مشکلاتی که در تفسیر داده‌ها از طریق این فیلتر با آن مواجهیم، تعیین ارتفاع بهینهٔ گسترش رو به بالاست. در این مطالعه داده‌های مغناطیس بی‌هنجاری شمالی منطقهٔ منصورآباد یزد مطالعه شد. به‌منظور تفسیر و تعیین ارتفاع فیلتر گسترش رو به بالا از روشی عملی بر مبنای همبستگی عرضی دو ارتفاع متوالی استفاده شده است. با استفاده از این روش بدون مقایسهٔ نقشه‌های متعدد مربوط به ارتفاعات مختلف و بدون دخالت شخصی می‌توان فیلتر مناسب گسترش رو به بالا جهت تعیین بی‌هنجاری ناحیه‌ای مغناطیسی را به‌دست آورد و متعاقب آن با کسر این مقادیر از کل مقادیر داده‌ها نقشهٔ بی‌هنجاری باقیمانده را برآورد کرد که نشانگر بهتری از بی‌هنجاری‌های محلی در منطقه است. با روش مذکور ارتفاع ۳۹ متر برای داده‌های مورد بررسی انتخاب شد. پس از بررسی و انطباق بی‌هنجاری‌های مغناطیسی در محدودهٔ مطالعاتی مشخص شد که عامل بی‌هنجاری‌ها توده‌های آهن است. گسترش عمقی عامل این بی‌هنجاری‌ها متفاوت است و تا عمق متوسط ۸۰ متر ادامه می‌یابد.

واژگان کلیدی: تعیین ارتفاع بهینه، گسترش رو به بالا، معدن آهن منصورآباد یزد، مغناطیس‌سنجی

۱. مقدمه

سنگ‌هایی که میزان قابل‌توجهی از کانی‌های فرو یا فری‌مغناطیس را دارا هستند، خودپذیری مغناطیسی بالایی از خود نشان می‌دهند. سنگ‌های اولترا بازیک و بازیک بالاترین خودپذیری مغناطیسی، سنگ‌های دگرگونی میزان متوسط و رسوبات کمترین میزان خودپذیری مغناطیس را دارند. انتخاب روش مناسب برای شناسایی کانسارهای معدنی یکی از عوامل مهم در اکتشاف ذخایر معدنی است. اکثر توده‌های آهنی به‌علت به‌همراه داشتن کانی‌هایی با خودپذیری مغناطیسی بالا میدان مغناطیسی بالایی از خود نشان می‌دهند. بنابراین، می‌توان مغناطیس‌سنجی را روش ژئوفیزیکی متداول در اکتشاف ذخایر آهن دانست (رینولدز، ۱۹۹۷).

برای تعیین موقعیت توده‌های بی‌هنجاری مغناطیسی نیاز به پردازش و تفسیر دقیق نقشه‌های بی‌هنجاری حاصل از برداشت داده‌های مغناطیس است. جدایش بی‌هنجاری‌های ناحیه‌ای و محلی با استفاده از روش‌های مختلفی انجام می‌شود. روش متداولی که برای این منظور استفاده می‌شود، فیلترهای ژئوفیزیکی است. فیلترهای رایجی همچون ادامهٔ فراسو و فروسو، مشتقات و روند سطحی، تبدیل به قطب و نظایر آن عموماً برای تعیین بی‌هنجاری‌های محلی و ناحیه‌ای به کارگرفته می‌شود (کلاربوت، ۱۹۸۸؛ ژاکوبسن، ۱۹۸۷). فیلتر مورد استفاده در این مقاله جهت تفسیر داده‌های میدان مغناطیسی، گسترش رو به بالاست. فرایند فیلتر گسترش رو به بالا تبدیل ریاضی بر رویداده‌های برداشت‌شده است که اثر ساختارهای عمیق را برجسته و بی‌هنجاری‌هایی با طول موج کوتاه را تضعیف می‌کند (کلوگ، ۱۹۵۳؛ گوپتا و رامانی، ۱۹۸۰). اگرچه امروزه پیشنهاد و روش متداول در تفسیر داده‌های ژئوفیزیکی همین فیلترهاست، ضعف‌های متعددی نیز دارد که فیلتر گسترش رو به بالا نیز از این قضیه مستثنا نیست. مشکل اساسی در فیلترهای گسترش رو به بالا یا به‌طور کلی در فیلترهای ژئوفیزیکی، عدم

*نگارنده رابط: E-mail: azad66.mohammad@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

قطعیت‌پذیری نتایج است. در مورد گسترش رو به بالا دو مشکل اساسی وجود دارد. اول اینکه روش ادامهٔ فراسوی متداول، بی‌هنجاری ناحیه‌ای را تضعیف می‌کند. دوم اینکه باید ارتفاع ادامه مشخص باشد (عبدالرحمان و همکاران، ۱۹۸۹؛ ژنگ و همکاران، ۲۰۰۷). گوپتا و رامانی (۱۹۸۰) طراحی فیلتر جدایش گسترش رو به بالا را منوط به انتخاب ارتفاع مناسب دانستند. ارتفاع ادامهٔ فراسو در بعضی موارد بر اساس سعی و خطا و گاه بر اساس مقایسهٔ بی‌هنجاری‌های متعدد در ارتفاع‌های متفاوت انتخاب می‌شود. انتخاب ارتفاع فیلترهای گسترش رو به بالا کیفی است و با مقایسهٔ نتایج در ارتفاعات مختلف می‌توان به ارتفاع بهینهٔ تقریبی دست یافت (ژنگ و همکاران، ۲۰۰۷). هدف از این مطالعه تفسیر و پردازش داده‌های مغناطیسی برداشت‌شده از محدودهٔ مورد نظر با استفاده از فیلتر ادامهٔ فراسو به روش متداول و ارتفاع بهینهٔ تعیین‌شده از طریق همبستگی‌های عرضی ارتفاع‌های متوالی گسترش رو به بالاست. در ادامه، ابتدا کلیاتی از منطقهٔ مورد مطالعه بیان شده است. سپس فیلتر گسترش رو بالا برای داده‌های مغناطیس برداشتی به کارگرفته شده است. در نهایت، روشی مناسب جهت تعیین ارتفاع بهینهٔ گسترش رو به بالا شرح و نتایج برای داده‌های مورد بررسی آنالیز شده است.

۲. مطالعهٔ موردی

۲. ۱. موقعیت و زمین‌شناسی منطقه

محدودهٔ مورد بررسی در فاصلهٔ ۳۴ کیلومتری شمال شرق شهرستان یزد و در نزدیکی کوه منصورآباد قرارگرفته است. این ناحیه بر اساس تقسیم‌بندی زون‌های زمین‌شناسی– ساختاری ایران در زون تکتونیکی ایران مرکزی واقع شده است. روند برون‌زدگی‌های موجود در این مجموعه با زون تراستی کمربند چین‌خوردهٔ زاگرس هم‌خوانی دارد. رخنمون‌های سنگی مشهود در محدودهٔ برداشت مربوط به رسوبات سازند نای‌بند– شمشک شامل ماسه‌سنگ، شیل، توف سبزوسیاه و دولومیت دوران مزوزوییک است. کانی‌سازی آهن به‌صورت رخنمون‌های آهن هماتیتی در محدوده مشهود است.

در شکل ۱ نقشهٔ زمین‌شناسی منطقهٔ معدنی منصورآباد یزد با مقیاس ۱:۵۰۰۰ نمایش داده شده است. همان‌طور که در نقشه نیز مشخص است رخنمون‌های آهن به‌صورت هماتیت‌های قرمزرنگ در سنگ‌های آهک اوولیتی مشهود است. با توجه به انطباق نقشه با بی‌هنجاری‌های به‌دست‌آمده از منطقه در شکل ۲ مشخص می‌شود که همین سنگ‌های آهکی اوولیتی میزبان دو ناحیه با بی‌هنجاری مغناطیسی در منطقه است. محدودهٔ سوم نیز در سنگ‌های دولومیتی منطقه اتفاق افتاده است. با توجه به نقشهٔ توپوگرافی منطقه از لحاظ ساختار تکتونیکی گسل وسیعی با امتداد شمال غربی– جنوب شرقی به وضوح جداکنندهٔ دو تیپ سنگی آهک اوولیتی و دولومیت‌های محدوده است. منطقهٔ مورد بررسی با مستطیل سیاه‌رنگ روی نقشه مشخص شده است که از لحاظ لیتولوژی نیمی از آن را سنگ‌های آهکی اوولیتی و نیمی از آن را دولومیت‌ها تشکیل می‌دهد.

۲. ۲. برداشت داده‌ها

جهت انجام بررسی‌های ژئوفیزیکی، با توجه به مطالعات قبلی، محدوده‌ای با وسعت ۷۰۰ × ۴۵۰ مترمربع برای پیاده‌کردن مطالعات مغناطیس‌سنجی انتخاب شد. بعد از بازدید تقریبی صحرایی و بررسی مطالعات قبلی، دو شبکهٔ اکتشاف با فواصل پروفیل ۱۰ متر و فواصل ایستگاه‌های اندازه‌گیری ۱۰ متر انتخاب شد. خط مبنای شبکهٔ اکتشاف در غرب محدوده دارای امتداد شرقی– غربی و در شمال محدودهٔ برداشت خط مبنا دارای طراحی و امتداد شمال غرب– جنوب شرق است. عملیات برداشت‌های صحرایی مغناطیسی در تمامی محدوده‌ها با دو دستگاه مگنتومتر پیشرفتهٔ GSM19T صورت گرفت که یکی ایستگاه ثابت برای ثبت تغییرات روزانه بود. دستگاه مگنتومتر دیگر را گروهی از کارشناسان ژئوفیزیک برای اندازه‌گیری شدت کل میدان مغناطیسی در ایستگاه‌ها طی دو مرحله و به مدت دو روز به کار گرفتند. خطای موجود در برداشت‌ها را می‌توان با روش‌های مختلف از جمله روش دستی یا با استفاده از هم‌سطح‌سازی حذف کرد.

www.SID.ir

Archive of SID

منشأ اصلی اکثر خطاها تغییرات بلندمدت میدان مغناطیسی، فصول مغناطیسی با شدت مختلف و نوفهٔ دستگاه است. در بعضی موارد چون برداشت‌ها ممکن است تا چند ماه به طول انجامد، در این صورت با تغییرات فصلی نیز مواجه‌ایم (دوبرین و ساویت، ۱۹۸۸). تغییرات مکانی با تصحیح IGRF و تغییرات زمانی با استفاده از داده‌های ثبت‌شده با مغناطیس‌سنج ایستگاه مبنا حذف شد. در واقع، با این عمل اثر مغناطیس هستهٔ زمین از داده‌ها حذف شد. پس از برداشت‌های صحرایی و انجام تصحیح‌های لازم روی داده‌ها، نقشه‌های مختلف با استفاده از فیلترهای معمول ژئوفیزیکی تهیه شد که در مرحلهٔ بعد به‌طور مفصل در مورد نقشه‌ها و تفسیر آن‌ها صحبت خواهد شد. علت تفسیر دقیق این نقشه‌ها در این مرحله آن است که تصمیم‌های بعدی و ادامهٔ فعالیت‌های اکتشافی تابع صحت و درستی نقشه‌ها و تفسیرهای آنان است.

در محدودهٔ منصورآباد سه سری دادهٔ مغناطیسی از سه ناحیهٔ مختلف برداشت شده است و پس از انجام تمامی تصحیح‌های لازم روی داده‌های مغناطیسی برداشت‌شده، بی‌هنجاری مغناطیسی در سه ناحیه از منطقه تشخیص داده شد. در این مقاله ناحیهٔ سه، برداشتی که همان بی‌هنجاری شمالی منطقه است بررسی خواهد شد که نقشهٔ مغناطیسی به‌همراه مختصات آن در شکل ۲ نمایش داده شده است. در این محدوده شبکه‌ای اکتشافی با روند خطوط برداشت شمالی- جنوبی برداشت شده است. چگالی نقاط برداشتی در مرکز این زون نسبت به اطراف کمتر بود و این به دلیل عدم دسترسی به بعضی نقاط شبکه در زمان برداشت به‌دلیل شیب زیاد توپوگرافی در این نواحی است. مقیاس تمامی نقشه‌های مغناطیسی ۱:۱۰۰۰ است.

با بررسی داده‌های مذکور، مشخص شد که تغییرات دامنهٔ میدان مغناطیسی بی‌هنجار در این منطقه ۶۰۰ نانوتسلاست. نقشهٔ بی‌هنجاری مغناطیسی مذکور تغییرات تقریباً شدیدی را نشان می‌دهد که ممکن است ناشی از تغییرات در توپوگرافی یا لیتولوژی منطقه باشد. این تغییرات در زون‌های مختلف تقسیم‌بندی شده‌اند. در این منطقه سه زون شناسایی شده است. زون A دارای کمترین شدت میدان مغناطیسی است که نشان از نبود تودهٔ کانساری در منطقه، یا عمق بسیار زیاد آن یا سنگ بستر رسوبی با گسترش شرقی– غربی دارد. زون B بیشترین شدت میدان مغناطیسی را داراست که ممکن است به علت وجود توده‌های با شدت مغناطیس‌پذیری بالا، همچنین عمق کم سنگ بستر باشد. زون C نیز دارای شدت مغناطیس متوسط است که احتمالاً وجود سنگ‌های آذرین اسیدی را نشان می‌دهد چرا که سنگ‌های آذرین اسیدی به‌دلیل مقادیر کم کانی‌های آهن، خودپذیری مغناطیسی متوسط تا کم از خود نشان می‌دهند.

۳. فیلتر گسترش رو به بالا (ادامهٔ فراسو)

روش‌های مختلفی برای جدایش بی‌هنجاری‌های ناحیه‌ای از محل وجود دارد. روش گسترش رو به بالا (ادامهٔ فراسو) به‌طور متناوب جهت تشخیص بی‌هنجاری‌های ناحیه‌ای در تغییرپذیری‌های مغناطیسی و گرانی استفاده می‌شود (کلاربوت، ۱۹۸۸). این روش بی‌هنجاری‌های فرکانس بالا را فیلتر می‌کند. همچنین، نوفهٔ مربوط به ویژگی‌های سطحی را کاهش می‌دهد (رینولدز، ۱۹۹۷). عملگر ادامهٔ فراسو، تبدیل بی‌هنجاری میدان پتانسیل محاسبه شده به ارتفاع بالاتری از میدان پتانسیل مشاهده شده A(x,y,z) است که در مختصات فضایی (x,y,z) برداشت شده است. میدان پتانسیل در نقاط از رابطهٔ (۱) به‌دست می‌آید (ژاکوبسن، ۱۹۸۷).

$$A(x,y,z) = \frac{z}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}\frac{A(\delta,\tau,0)}{[(x-\delta)^2+(y-\tau)^2+z^2]^{3/2}}d\delta d\tau \qquad (۱)$$

در این رابطه، δ و τ مختصات نقطه‌ای مشخص است. رابطهٔ (۱) را می‌توان به‌گونه‌ای دیگر نیز نوشت (گیلبرت و گالدئون، ۱۹۸۵) که در رابطهٔ (۲) آمده است.

$$A(x,y,z) = A(x,y,0) * P_z(x,y) \qquad (۲)$$

در این رابطه، *، نماد کانولوشن است.

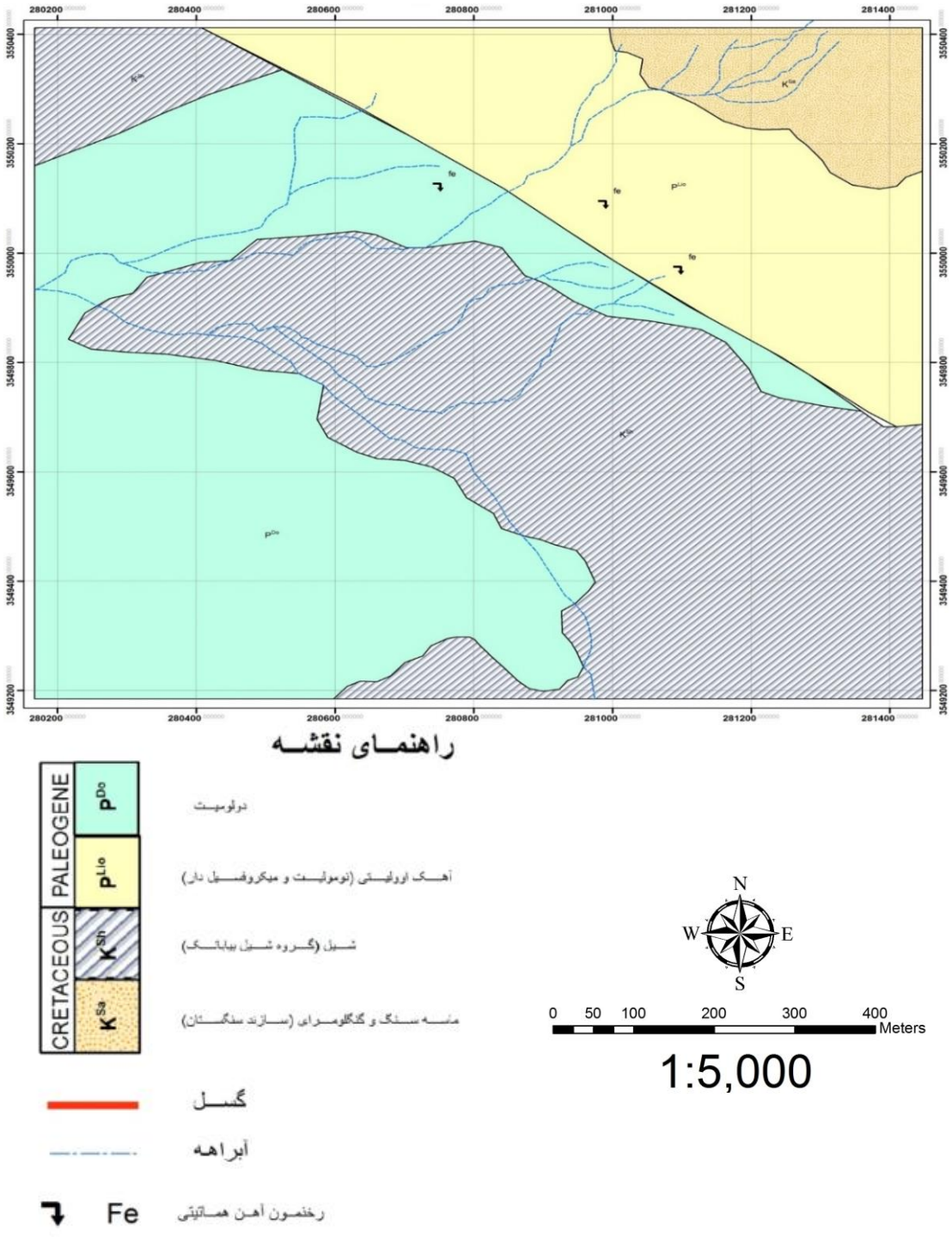
$$P_z(x,y) = \frac{z}{2\pi(x^2+y^2+z^2)^{3/2}} \qquad (۳)$$

www.SID.ir

Archive of SID

A(x,y,0) ادامهٔ فراسوی میدان پتانسیل در ارتفاع صفر است که این ارتفاع بالاتر از ارتفاع z مربوط به موقعیت میدان مشاهده شده A(x,y,z) است. قابل ذکر است که جهت محور z به سمت پایین مثبت است.

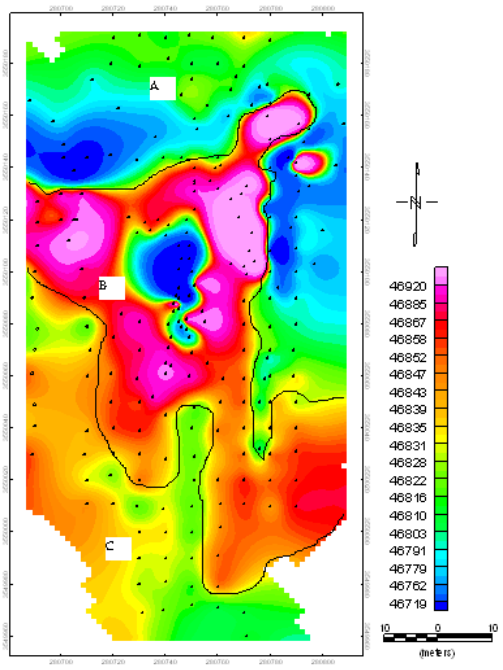
جهت تشخیص بی‌هنجاری‌های مغناطیسی عمیق یا همان بی‌هنجاری ناحیه‌ای منطقهٔ مورد مطالعه، از روش فیلتر گسترش رو به بالا استفاده شده که نتایج آن‌ها در ادامه به طور خلاصه توضیح داده شده است. شکل ۳، نقشه‌های فیلتر گسترش رو به بالای میدان مغناطیسی برای ارتفاعات ۳۰، ۳۵، ۴۰ و ۴۵ متر را نشان می‌دهد.



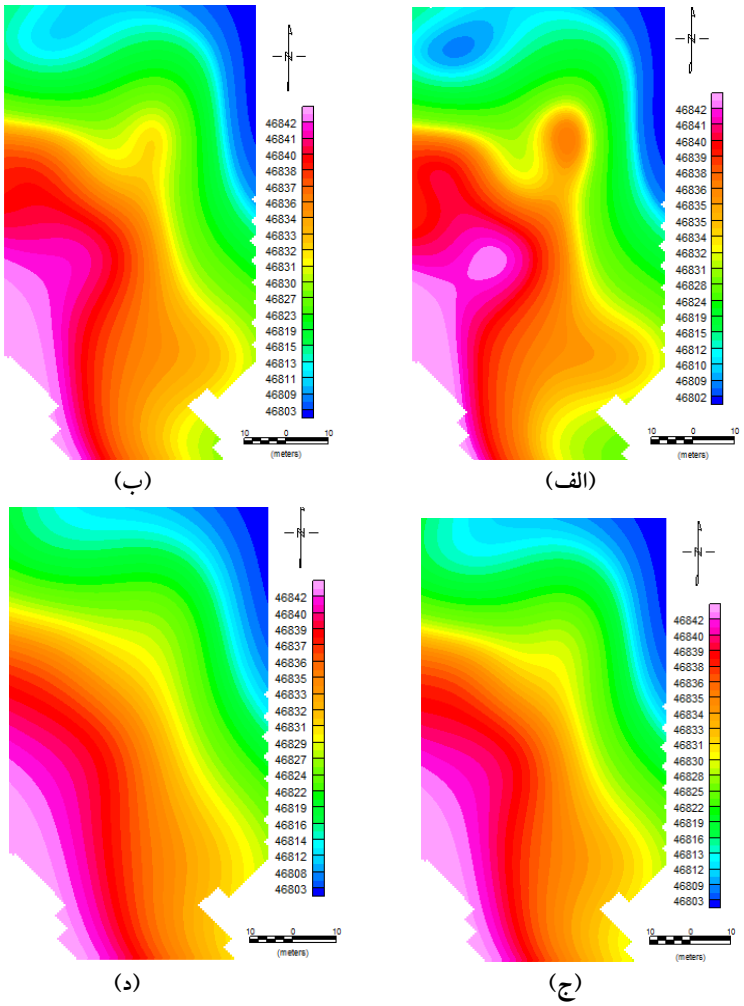
شکل ۱. نقشهٔ زمین‌شناسی منطقهٔ منصورآباد یزد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲. نقشهٔ بی‌هنجاری مغناطیسی ناحیهٔ سه محدودهٔ مورد مطالعه.



شکل ۳. نقشه‌های گسترش رو بالا با ارتفاع (الف) ۳۰ متر، (ب) ۳۵ متر، (ج) ۴۰ متر و (د) ۴۵ متر.

www.SID.ir

Archive of SID

همان‌طور که از روی این نقشه‌ها دیده می‌شود میدان مغناطیسی در بخش مرکزی تا جنوب غربی منطقه نسبت به بقیهٔ نواحی شدت بیشتری نشان می‌دهد و به صورت روندی از شمال شرقی به جنوب غربی، افزایش میدان مغناطیس مشهود است، به طوری که در شمال شرقی منطقه کمترین مقدار بی‌هنجاری مغناطیسی را می‌توان رؤیت کرد که احتمالاً به علت عمق زیاد رسوبات است. بیشترین تغییرپذیری مغناطیسی به‌صورت روند جنوب غربی- شمال شرقی است که حداکثر شدت بی‌هنجاری در جنوب غرب و کمترین میزان آن در شمال شرق منطقه است. چنانچه بخواهیم از بین نقشه‌های تهیه‌شده بهترین انتخاب برای نقشهٔ بی‌هنجاری ناحیه‌ای را داشته باشیم می‌توان به ارتفاع ۳۵ متر اشاره کرد، چرا که بعد از این ارتفاع تمامی نقشه‌ها تقریباً روندی مشابه دنبال می‌کنند و می‌توان عنوان کرد که از این ارتفاع به بعد اثر ساختارهای عمیق تقریباً از بین می‌رود و تمامی نقشه‌ها یکسان می‌شود.

برای تعیین بی‌هنجاری‌های مغناطیسی کم‌عمق یا در واقع بی‌هنجاری محلی مغناطیسی از روش‌های پردازش و تفسیر به کمک فیلترهای مشتقات قائم، روند سطحی، گریفین و ادامهٔ گسترش رو به پایین (ادامهٔ فروسو) استفاده می‌شود. با اعمال این فیلترها، نقشه‌های باقیمانده به دست می‌آید که در آن‌ها، بی‌هنجاری‌های مغناطیسی محلی یا کم‌عمق، در صورت وجود مشهود است. در شکل ۴ نقشه‌های باقیمانده مربوط به فیلترهای گسترش رو به بالا با ارتفاع‌های مختلف نمایش داده شده است.

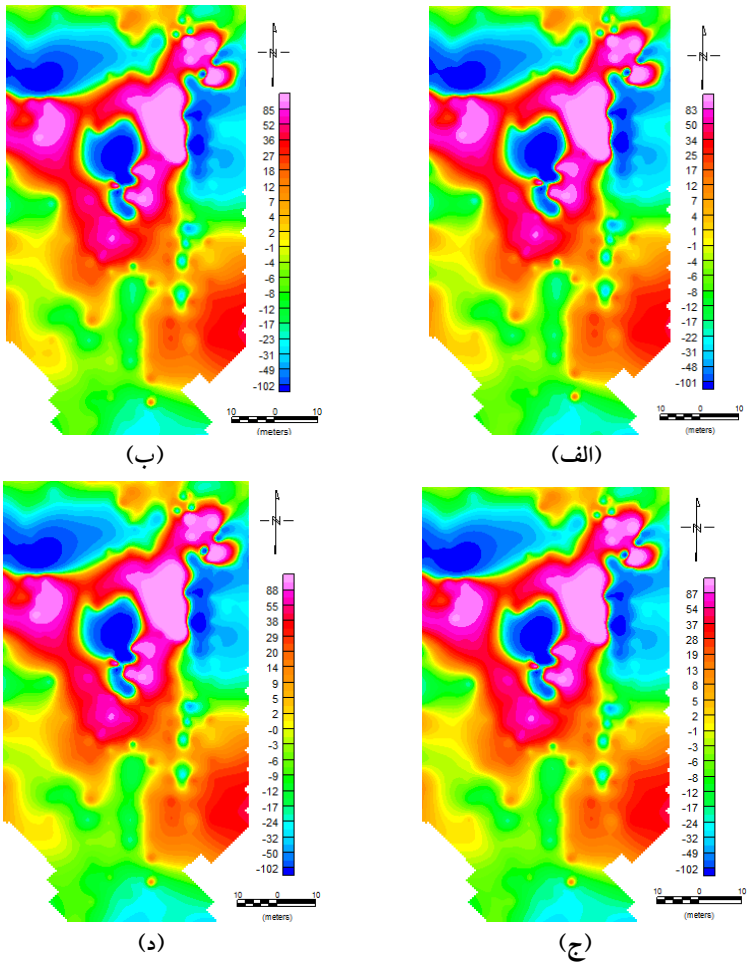
همان‌گونه که از روی این نقشه‌ها مشخص است، بی‌هنجاری‌ها در نقشهٔ باقیمانده برخلاف نقشهٔ گسترش رو به بالا نامنظم‌تر شده و تعدد آن‌ها نیز بیشتر شده است. همچنین، این نقشه‌ها نشان می‌دهد که میدان مغناطیسی در برخی بخش‌های جنوبی و شمال غربی منطقه کم است. البته، شایان ذکر است که میدان مغناطیسی شدت بالا در برخی از این بخش‌ها در کنار میدان مغناطیسی شدت پایین دیده می‌شود. شدت منفی مغناطیسی دقیقاً در مرکز و دو طرف بی‌هنجاری‌های مثبت منطقه وجود دارد که نشان از نبود کانی‌سازی آهن در این بخش از منطقه، همچنین نمایانگر توسعهٔ رسوبات منطقه است. ولی در مرکز منطقه همان‌طور که در نقشهٔ باقیمانده دیده می‌شود می‌توان وجود کانی‌سازی را اذعان کرد. از آنجا که ارتفاع ۳۵ متر برای بی‌هنجاری ناحیه‌ای ارتفاعی مناسب انتخاب شده است، بنابراین به استناد این انتخاب نقشهٔ باقیماندهٔ ۳۵ متر را نیز می‌توان نقشهٔ بی‌هنجاری محلی داده‌ها در نظر گرفت.

با توجه به پردازش و تفسیر انجام‌شده روی داده‌های مغناطیس که در بالا به طور خلاصه بحث شد، می‌توان نتایج زیر را در مورد وجود توده‌های آهن در منطقهٔ منصورآباد یزد بیان کرد. از روی نقشه‌های گسترش رو به بالا می‌توان حضور سنگ‌های دربرگیرندهٔ توده‌های معدنی را در مرکز منطقه توجیه کرد. همان‌طور که تقریباً نقشهٔ باقیماندهٔ مغناطیس (شکل ۴-ب) نشان می‌دهد، میدان مغناطیسی در اکثر بخش‌های مرکزی و جنوب شرقی منطقه نسبت به بخش‌های شمالی، شرقی و جنوبی بیشتر است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که توده‌های هماتیتی به احتمال زیاد در بخش‌های مرکزی و بخش‌های شرقی منطقه قرارگرفته‌اند و اکثر بخش‌های شمالی و جنوب غربی منطقه فاقد وجود هر گونه کانی‌سازی آهن است. در جنوب شرق منطقه بی‌هنجاری مثبتی به‌طور ناقص مشاهده می‌شود که احتمالاً با برداشت داده‌های بیشتر از این منطقه می‌توان اطلاعات بیشتری در این زمینه به‌دست آورد. حد بالایی شدت میدان مغناطیسی در نقشه‌های باقیمانده تا ۱۴۷ نانوتسلا می‌رسد.

در مرکز محدودهٔ برداشت ممکن است به دلیل چگالی کم نقاط برداشت‌شده، زون با شدت مغناطیسی پایین بزرگ‌تر از اندازهٔ واقعی نشان داده شده باشد. تغییرات شدت میدان در جنوب و جنوب غرب این محدوده کم و در حد شدت زمینه است. در محدودهٔ شرقی، بی‌هنجاری شدت بالایی دارای عرض حدود ۶ متر دیده می‌شود که گسترش طولی مشخصی ندارد. در بخش غرب، بی‌هنجاری‌ها از غرب به جنوب غرب و جنوب کنترل شده است. در شمال شرق ممکن است بی‌هنجاری امتداد داشته باشد. عرض متوسط این زون‌ها حدود ۷ متر و طول بی‌هنجاری‌ها حدود ۷۰ متر است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴. نقشه‌های باقیمانده با ارتفاع (الف) ۳۰ متر، (ب) ۳۵ متر، (ج) ۴۰ متر و (د) ۴۵ متر.

عملگر ادامهٔ فراسو فیلتری است که مؤلفه‌های فرکانس بالا را حذف و در مقابل مؤلفه‌های با فرکانس پایین تقویت می‌کند. اگرچه یکی از فیلترهای اصلی در پردازش داده‌های میدان پتانسیل، روش ادامهٔ فراسوست، اما این روش، همان‌طور که قبلاً اشاره شد، معایبی نیز دارد. تعیین ارتفاع بهینهٔ گسترش رو به بالا مشکل عمده در این فیلتر است. در ادامه به روشی عملی جهت تعیین ارتفاع بهینه اشاره شده و نتایج با روش متداول مقایسه شده است.

۴. تعیین ارتفاع بهینهٔ فیلتر گسترش رو به بالا

همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد، مشکل اساسی در فیلترهای گسترش رو به بالا یا به‌طور کلی در فیلترهای ژئوفیزیکی، عدم قطعیت‌پذیری نتایج است. فیلتر گسترش رو به بالا نیز از این قضیه مستثنا نیست. انتخاب ارتفاع بهینه برای بهترین جدایش بی‌هنجاری ناحیه‌ای داده‌ها امری مهم تلقی می‌شود. عبدالرحمان و همکاران (۱۹۸۹) فرایندی برای تعیین بهینهٔ درجهٔ چندجمله‌ای بر اساس همبستگی بین فاکتورهای بین درجات مختلف متوالی ارائه دادند. ژنگ (۱۹۸۹) نشان داد که ارتفاع بهینه برای بی‌هنجاری ناحیه‌ای از نقطهٔ ناپیوستگی گرادیان روی گراف واریانس در برابر درجهٔ چندجمله‌ای تعیین می‌شود. این گراف از برازش درجات مختلف چندجمله‌ای به گسترش رو به بالایی در ارتفاعی معین از بی‌هنجاری مشاهده‌شده به دست می‌آید.

نظریهٔ همبستگی عرضی بین ناهنجاری ناحیه‌ای و در نتیجه گسترش رو به بالا، برای تعیین ارتفاع بهینه را اولین بار عبدالرحمن و همکاران (۱۹۸۹) مطرح کردند. بی شینهٔ مقدار همبستگی در ارتباط با ارتفاعی است که آثار بی‌هنجاری‌های محلی در نتیجهٔ ادامهٔ فراسو تضعیف شده است (عبدالرحمان و همکاران، ۱۹۸۹).

$$r_{\Delta g_r,\Delta g_u}=\frac{\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}\Delta g_r(x_i,y_j)\Delta g_u(x_i,y_j)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}\Delta {g_r}^2(x_i,y_j)\sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{N}\Delta {g_u}^2(x_i,y_j)}} \quad (۴)$$

www.SID.ir

Archive of SID

در رابطهٔ (۴)، M و N به‌ترتیب تعداد نمونه‌ها در راستای x و y است. برای تخمین ارتفاع بهینهٔ گسترش رو به بالا می‌توان همبستگی عرضی بی‌هنجاری ناحیه‌ای (Δg_r) و در نتیجه ادامهٔ فراسو (Δg_u) را برای ارتفاع‌های مختلف بر حسب ارتفاع رسم کرد. اساس روش بر این است که برای ارتفاع‌های متوالی مقادیر گسترش رو به بالا محاسبه و دوبه‌دو همبستگی بین آن‌ها تعیین می شود. همبستگی بین دو ارتفاع متوالی بالاتر از ارتفاع بهینهٔ مفروض ممکن است با دو ارتفاع متوالی پایین‌تر از ارتفاع بهینهٔ انتخاب‌شده متفاوت باشد. در این روش در ابتدای امر، همبستگی بین دو ارتفاع متوالی به‌صورت متناوب بررسی می‌شود و پس از محاسبهٔ همبستگی بین دو ارتفاع متوالی گسترش رو به بالا و رسم منحنی انحراف از وتر (از اتصال اولین نقطه تا آخرین نقطه) بین دو مؤلفهٔ متوالی نسبت به وتری که بیشترین و کمترین همبستگی بین دو ارتفاع متوالی را نشان می‌دهد، می‌توان ارتفاع بهینهٔ فیلتر گسترش رو به بالا را تعیین کرد. نقطه‌ای که حداکثر انحراف را نسبت به وتر ترسیم شده نشان می‌دهد ارتفاع بهینه است (ژنگ و همکاران، ۲۰۰۷). در این داده‌ها برای ارتفاعات گسترش رو به بالا از ۳۰ تا ۴۸ متر و با فاصلهٔ ۲ متر از همدیگر همبستگی عرضی محاسبه شده است. شکل ۵ همبستگی بین دو ارتفاع متوالی به فاصلهٔ ۲ متر از همدیگر را نشان می‌دهد. همان‌طور که از روی شکل نیز مشخص است، در ارتفاعات بزرگ‌تر همبستگی بین دو ارتفاع متوالی بیش از همبستگی در ارتفاعات کوچک‌تر است و به‌طور مشخص همبستگی بین ارتفاع‌های متوالی کمتر از ارتفاع ۳۸ و ۴۰ متر نسبت به ارتفاع‌های بزرگ‌تر از این مقدار بیشتر است، به گونه‌ای که در ارتفاع‌های بالا تفاوت زیادی دیده نمی‌شود.

برای تعیین ارتفاع بهینه باید که انحراف همبستگی دو ارتفاع متوالی از وتر محاسبه شوند (C) (ژنگ و همکاران، ۲۰۰۷). همان‌طور که در شکل ۵ نیز مشاهده می‌شود، حداکثر انحراف از وتر در این ارتفاعات، مربوط به ارتفاع ۳۹ متر است. در مرحلهٔ بعد انحراف از وتر برای ارتفاعات متوالی اندازه‌گیری و در نمودار شکل ۶ نمایش شده است.

در این میان ارتفاع ۳۹ متر حداکثر انحراف را از وتر نشان می‌دهد. به عبارتی، ارتفاع ۳۹ متر همان ارتفاع بهینهٔ مد نظر برای فیلتر گسترش رو به بالای داده‌ها بوده است. نقشهٔ گسترش رو به بالایی که با این ارتفاع برای داده‌های مغناطیس منطقهٔ منصورآباد محاسبه می‌شود بهترین برازش را با بی‌هنجاری ناحیه‌ای داده‌های مغناطیسی بر اساس روش به‌کاربرده‌شده نشان می‌دهد (شکل ۷-الف). بر اساس این ارتفاع بهینه نقشهٔ باقیماندهٔ داده‌ها یا در واقع بی‌هنجاری محلی داده‌ها به‌دست می‌آید (شکل ۷-ب).

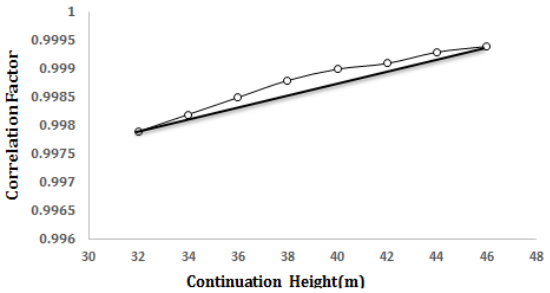
از نظر زمین‌شناسی کانی‌سازی آهن که در این محدوده تشکیل شده است، از نوع کانسارهای آهن رسوبی شیمیایی به نوع اوولیتی است که در محدودهٔ زمانی فانروزوئیک تشکیل شده است. از خصوصیات مهم این نوع کانسارهای آهن وجود بافت اوولیتی به جای لایه‌ای، نبودن چرت به دلیل محدود بودن سیلیس، نبود سنگ‌های آتشفشانی و نظایر آن است که شرایط عمق کم و دمای بالا محیطی مناسب برای تشکیل این‌گونه ذخایر محسوب می‌شود. با در نظر گرفتن موقعیت بی‌هنجاری تعیین شده و نقشهٔ‌زمین‌شناسی منطقه مشاهده می‌شود که این نوع کانی‌سازی آهن در آهک‌ها با بافت اوولیتی تشکیل شده است و با توجه به توجیه زمین‌شناسی ذکرشده منطقی به‌نظر می‌رسد.

بعد از تعیین نقشهٔ بی‌هنجاری مغناطیسی در ناحیه، چندین نقطه جهت حفاری روی نقشه پیاده شد. چهار گمانهٔ اکتشافی قائم به مختصات جدول ۱ در ناحیهٔ مورد بررسی حفر شده است.

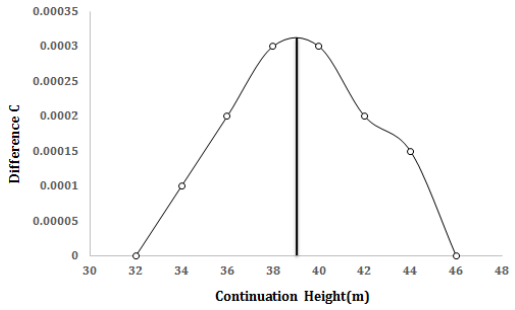
گمانهٔ ۱، تا عمق ۶۳ متری حفاری شده که تمام نمونه‌های سه متری اخذشده از آن از عمق‌های حدود ۲۰ متر به بعد هماتیت گزارش شده است. گمانه‌های ۲، ۳ و ۴ به ترتیب تا اعماق ۹۰ متری، ۸۰ متری و ۸۵ متری حفاری شده‌اند. با توجه به نتایج حاصل از گزارش گمانه‌ها عمق تقریبی تودهٔ بی‌هنجار تا حدود ۸۰ متر برآورد شده است. موقعیت گمانه‌ها در نقشهٔ باقیماندهٔ داده‌ها نمایش داده شده است.

www.SID.ir

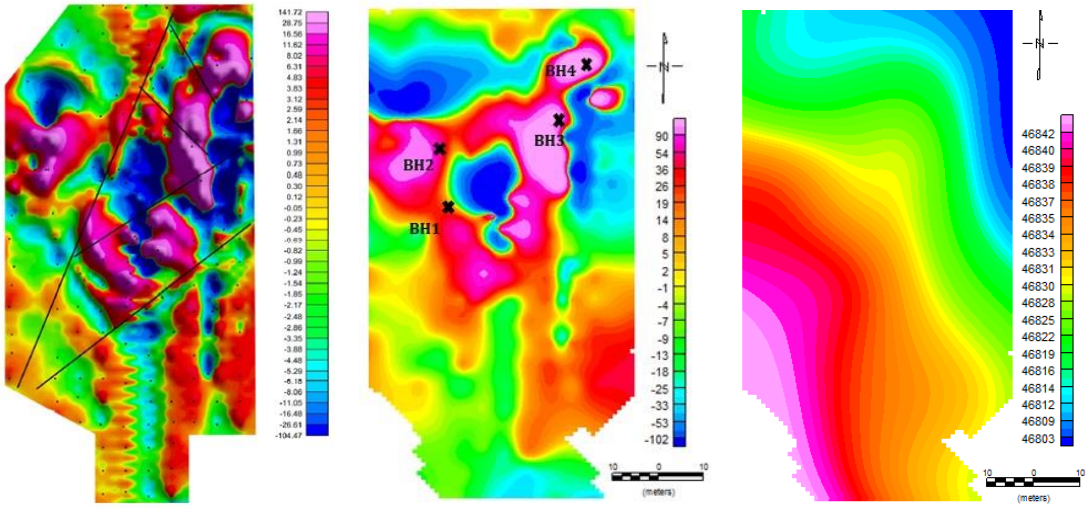
Archive of SID



شکل ۵. همبستگی بین دو ارتفاع متوالی و به فاصلهٔ ۲ متر از همدیگر.



شکل ۶. نمودار تعیین انحراف از وتر برای فیلترهای گسترش رو به بالای با دو ارتفاع متوالی.



(الف) (ب) (ج)

شکل ۷. (الف) نقشهٔ گسترش رو به بالای ۳۹ متر، (ب) نقشهٔ باقیمانده و (ج) نقشهٔ مشتق قائم.

جدول ۱. موقعیت گمانه‌های حفرشده در محدوده.

گمانه‌های اکتشافی	X	Y	Z
BH1	۳۵۵۰۰۹۶٫۸۹	۲۸۰۷۱۷٫۷۶	۱۶۳٫۹۸
BH2	۳۵۵۰۱۲۰٫۶۸	۲۸۰۷۱۵٫۶۵	۱۵۱٫۵۷
BH3	۳۵۵۰۱۳۰٫۱۴	۲۸۰۷۶۵٫۳۲	۱۵۰٫۴
BH4	۳۵۵۰۱۶۰٫۱۲	۲۸۰۷۸۴٫۱۷	۱۳۰

در مقایسهٔ نتایج دو نقشهٔ باقیمانده با ارتفاع ۳۵ متر (جواب نتایج گسترش رو به بالا به روش متداول) و نقشه با ارتفاع ۳۹ متر (جواب نتایج تعیین ارتفاع بهینه) می‌توان به موارد متعددی اشاره کرد. بارزترین تفاوت بین دو نقشه، کاهش شدت بی‌هنجاری ناحیه‌ای در ارتفاع بهینه و به تبع آن افزایش شدت بی‌هنجاری در نقشهٔ باقیماندهٔ حاصل از این ارتفاع است. همچنین، در نقشهٔ مذکور محدودهٔ بی‌هنجاری‌ها وسیع‌تر و به نسبت هموارتر شده است.

برای بررسی بیشتر قابلیت روش معرفی‌شده در این مطالعه جهت تعیین ارتفاع بهینهٔ فیلتر گسترش رو به بالا، جداسازی بی‌هنجاری ناحیه‌ای از محلی با استفاده از روش مشتق قائم نیز انجام شده است (شکل ۷-ج). همان‌طور که مشاهده می‌شود روند کلی جداسازی

www.SID.ir

Archive of SID

بی‌هنجاری‌ها یکسان است، اما در مواردی جزئی تفاوت‌هایی نیز مشاهده می‌شود. تعدد بی‌هنجاری‌ها در نقشهٔ باقیمانده با ارتفاع بهینه به مراتب کمتر از روش مشتق قائم است، به‌گونه‌ای که بالغ بر پنج منطقه با شدت بالا دیده می‌شود، ولی در نقشهٔ باقیمانده با توجه به هموارسازی داده‌ها یک منطقهٔ بی‌هنجار پیوسته در مرکز نمایش عامل ایجاد بی‌هنجاری مغناطیسی است که از لحاظ زمین‌شناسی ساختاری بیشتر توجیه‌پذیر است. به‌طور کلی، هدف این مقاله، نمایش عدم کارایی روش‌های دیگر تفسیر داده‌های میدان پتانسیل نیست، بلکه هدف اصلی معرفی روش دیگری جهت تعیین ارتفاع بهینه برای داده‌های مغناطیس و جدایش بهینهٔ بی‌هنجاری‌ها با روش گسترش رو به بالاست.

۵. نتیجه‌گیری

همواره تفسیر داده‌های ژئوفیزیک برداشت‌شده برای ادامهٔ مراحل اکتشافی منطقه امری حیاتی بوده است. در این مقاله برای تفسیر داده‌های مغناطیس ناحیهٔ سه، بی‌هنجار منطقهٔ معدنی منصورآباد یزد از فیلتر گسترش رو به بالا استفاده شد. همچنین، روشی کاربردی برای تعیین ارتفاع گسترش رو به بالا جهت پردازش و تفسیر نقشه‌های بی‌هنجاری مغناطیسی در ژئوفیزیک ارائه شده است که بر اساس مقایسهٔ همبستگی عرضی بین دو ارتفاع متوالی گسترش رو به بالای داده‌ها انجام می‌شود. با استفاده از این روش می‌توان ارتفاع بهینهٔ فیلتر ادامهٔ فراسو را تعیین و بر اساس آن بهترین تفسیر را در مورد بی‌هنجاری ناحیه‌ای و باقیماندهٔ داده‌ها ارائه کرد. با توجه به موارد ذکرشده و هدف از اجرای مطالعات در محدودهٔ مورد نظر، که مشخص شدن وضعیت گسترش رخنمون‌های آهن در محدودهٔ برداشت و چگونگی ارتباط آن‌ها با هم است، می‌توان گفت با توجه به انطباق بی‌هنجاری‌ها با محدوده‌های آهن‌دار، زون‌های بی‌هنجاری در ارتباط با کانی‌سازی آهن است و تغییرات شدت میدان مغناطیسی در محدودهٔ برداشت با عیار، عمق و وضعیت شکل‌گیری تودهٔ آهن در محدوده‌هاست. در محدودهٔ مورد بررسی منقطع بودن بی‌هنجاری‌ها از هم قابل توجه و نشان‌دهندهٔ تأثیر فعالیت گسل بر محدودهٔ مورد مطالعه یا تغییرات در میزان خودپذیری عامل بی‌هنجاری است. در این بخش عامل بی‌هنجاری احتمالاً دارای گسترش عمقی متفاوت و تا حداکثر حدود ۸۰ تا ۹۰ متر است. گسترش عرضی عامل بی‌هنجاری حدود ۷ الی ۸ متر است و گسترش طولی آن در محدوده تا حدود ۸۰ متر می‌رسد.

مراجع

Abdelrahman, E. M., Bayoumi, A. I., Abdelhady,Y. E., Gobashy, M. M. and El-Araby, H. M., 1989, Gravity interpretation using correlation factors between successive least-squares residual anomalies, Geophysics, 54, 1614-1621.

Claerbout, J. F., 1988, Fundamentals of geophysical data processing with applications to petroleum prospecting, Blackwell Scientific Publications.

Dobrin, M. B. and Savit, C. H., 1988, Introduction to geophysical prospecting, NewYork, McGraw- Hill.

Gilbert, D. and Galdeano, A., 1985, A computer program to perform transformations of gravimetric and aeromagnetic surveys, Computer and Geosciences, 11, 553-588.

Gupta, V. K. and Ramani, N., 1980, Some aspects of regional-residual separation of gravity anomalies in a Precambrian, Geophysics, 45, 1412-1426.

Jacobsen, B. H., 1987, A case for upward continuation as a standard separation filter for potential-field maps: Geophysics, 52, 1138-1148.

Kellogg, O. D., 1953, Foundations of potential theory, Dover Publishing Inc.

Reynolds, J., 1997, An introduction to applied and environmental geophysics, Reynolds Geo-Sciences.

Zeng, H., Xu, D. and Tan, T., 2007, A model study for estimating optimum upward-continuation height for gravity separation with application to a Bouguer gravity anomaly over a mineral deposit, Jilin province, northeast China, Journal of Geophysics, 72, 145-150.

Zeng, H., 1989, Estimation of the degree of polynomial fitted to gravity anomalies and its applications: Geophys. Prosp., 37, 959-973.

www.SID.ir