

تفسیر کیفی داده‌های مغناطیس‌سنگی هوابرد منطقه بصیران (استان خراسان جنوبی)

حسین توسلی تربتی^۱، غلامعباس فنایی خیرآباد^{*}، محمد محمدزاده مقدم^۲ و امین کریمی کلورزی^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی معدن، دانشکده مهندسی معدن، عمران و شیمی، دانشگاه صنعتی بیرجند، بیرجند، ایران
۲. استادیار، گروه مهندسی معدن، دانشکده مهندسی معدن، عمران و شیمی، دانشگاه صنعتی بیرجند، بیرجند، ایران
۳. دانشجوی دکتری، پژوهشکنده علوم پایه کاربردی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران
۴. دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی معدن، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

(دریافت: ۹۹/۹/۲۲، پذیرش نهایی: ۱۴۰۱/۷/۱۲)

چکیده

پژوهش حاضر به ارائه نتایج حاصل از انجام مطالعات مغناطیس‌سنگی هوابرد در منطقه بصیران واقع در جنوب شهرستان بیرجند پرداخته است. این منطقه طبق گزارش نقشه‌های زمین‌شناسی دارای انديس‌ها و پتانسیل‌های بالای معدنی همچون مس قلعه زری، آهن بیشه و طلای هیرد بوده و از نظر مطالعات معدنی نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در سال ۱۳۸۳ عملیات برداشت داده‌های مغناطیس‌سنگی هوایی در محدود وسیعی در حدود ۱۵۰۰ کیلومتر مربع و با هدف شناسایی نواحی جدید حاوی پتانسیل‌های معدنی به ویژه کانسارهای فلزی انجام گرفته است. جهت انجام تفسیر کیفی این داده‌ها از انواع فیلترهای ریاضی و ژئوفیزیکی متداول مانند انتقال به قطب، ادامه فراسو، تهیه داده شبیه گرانی و سیگنال تحلیلی استفاده شده است. با مقایسه روند تغییرات بی‌هنجاری‌ها در نقشه‌های مختلف، وجود حداقل پنج منبع عمده ایجاد کننده بی‌هنجاری مغناطیسی عمیق با منشأهایی از قبیل توده‌های آذرین نفوذی در محدوده قابل مشاهده و تفسیر می‌باشد. این منابع در نقشه‌های رسم شده به ویژه در نقشه‌های انتقال به قطب، شبیه گرانی، سیگنال تحلیلی و نقشه‌های ادامه فراسوی ۳۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر با وضوح خوبی در گسترهایی عمیق مغناطیسی در منطقه بصیران می‌باشد و می‌تواند در کنار سایر پتانسیل‌های شناخته شده موجود از قبیل معدن مس، آهن، طلا و منگنز جهت انجام مطالعات اکتشافی زمینی برای فعالان حوزه اکتشاف معدن مفید و سودمند باشد.

واژه‌های کلیدی: مغناطیس‌سنگی هوابرد، تفسیر کیفی، بصیران، استان خراسان جنوبی.

۱. مقدمه

اطلاعات پایه‌ای در زمینه اکتشافات معدنی ارائه شده است. در این مقاله به تفسیر کیفی داده‌های مغناطیس هوابرد منطقه بصیران پرداخته شده است. در تهیه نقشه‌های مورد نیاز جهت تحلیل کیفی، از الگوریتم کمترین انحصار موجود در نرم‌افزار ژئوسافت برای شبکه‌بندی داده استفاده شد.

به منظور ایجاد امکان بررسی بهتر ناهنجاری‌های مغناطیسی و حذف اثر زاویه میل مغناطیسی باید از فیلتر انتقال به قطب (Reduction To Pole) RTP استفاده شود. با اعمال این فیلتر، مقادیر بیشینه و کمینه ناهنجاری‌ها دقیقاً بر روی توده‌های ایجاد کننده آن قرار می‌گیرد و لذا تفسیر آن‌ها آسان‌تر می‌شود (ارکانی - حامد، ۲۰۰۷).

در ادامه به منظور تحلیل کیفی، از داده‌های انتقال به قطب

منطقه بصیران در فاصله حدود ۱۰۰ کیلومتری جنوب‌غرب شهرستان بیرجند واقع شده است. معادن مس قلعه‌زری، آهن بیشه، طلای هیرد و دیگر انديس‌های مشخص شده در نقشه زمین‌شناسی و گزارش‌های موجود نشان‌دهنده پتانسیل معدنی بالا در این منطقه می‌باشد. روش مغناطیس‌سنگی به منظور تفسیر داده‌ها و ارتباط بی‌هنجاری‌ها با پدیده‌های زمین‌شناسی انجام می‌پذیرد. همچنین روش مغناطیس‌سنگی در شناسایی توده‌های فلزی مانند کانسارهای حاوی آهن و شناسایی محدوده‌های معدنی و هیدروکربوری کاربرد دارد. داده‌های مغناطیس‌سنگی حاوی اطلاعات زمین‌شناسی و ساختاری زیرسطحی بسیار سودمندی نیز می‌باشد. در این پژوهش با استفاده از داده‌های مغناطیس هوابرد منطقه بصیران،

کاربردهای مهم روش مغناطیس‌سنگی اکتشاف کانسارهای فلزی به ویژه شناسایی توده‌های حاوی آهن می‌باشد. در این مقاله ابتدا با ترسیم نقشه شدت میدان مغناطیسی کلی (TMI) و نقشه شدت میدان بی‌هنجری کلی (TMA)، موقعیت بی‌هنجری‌های اصلی در نقشه‌های تهیه شده مشخص شد. وجود شواهد متعدد کانی سازی معدنی و دگرسانی‌های سطحی سبب درهم آمیخته شدن بی‌هنجری‌های مغناطیسی در نقشه‌های اولیه به دست آمده از ترسیم داده‌ها شده است. بر مبنای اطلاعات زمین‌شناسی و اعمال سایر فیلترهای متداول جهت تحلیل کیفی داده‌ها، معرفی محدوده‌های مستعد حضور بی‌هنجری‌های عمد و دارای منشأ عمیق مغناطیسی در منطقه بصیران انجام شده است. معرفی این نواحی جهت انجام مطالعات تکمیلی اکتشافی می‌تواند مورد استفاده محققان و فعالان حوزه اکتشاف معدن در آینده قرار گیرد.

۳. زمین‌شناسی محدوده بصیران

محدوده مورد مطالعه در شمال باختری برگه ۱:۱۰۰،۰۰۰ زمین‌شناسی بصیران قرار دارد. این برگه در شرق ایران و در استان خراسان جنوبی به فاصله تقریبی ۱۰۰ کیلومتری جنوب شهرستان بیرجند و در محدوده جغرافیایی ۵۹ درجه تا ۵۹ درجه و ۳۰ دقیقه طول خاوری و ۳۱ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۲ درجه عرض شمالی قرار دارد. محدوده‌ای که در آن پیمایش مغناطیس‌سنگی صورت گرفته است، دارای گسترشی حدود ۳۵ کیلومتر در جهت خاوری- باختری و ۵۵ کیلومتر در جهت شمالی-جنوبی است. در شکل ۱ راه‌های دسترسی و موقعیت منطقه مورد مطالعه در این محدوده جغرافیایی و در جنوب شهر بیرجند نمایش داده شده است. روستای بصیران و معدن مس قلعه زری تقریباً در مرکز محدوده مورد مطالعه واقع شده است.

بر اساس تقسیمات زمین‌شناسی ایران، این محدوده شامل بخشی از بلوک لوت و منطقه فیلیش-افیولیتی شرق ایران را شامل می‌شود. با توجه به گزارش همراه برگه نقشه

(RTP) به عنوان داده مینا در تهیه نقشه‌های شبه گرانی، سیگنال تحلیلی و ادامه فراسوی مورد نیاز استفاده شده است.

در تهیه نقشه شبه گرانی با فرض اینکه یک رابطه کلی بین چگالی و پذیرفتاری مغناطیسی (Magnetic Susceptibility) وجود دارد، این نقشه‌های شبه گرانی تهیه و تفسیر می‌شوند (بوت و همکاران، ۱۹۶۶ و گان، ۱۹۷۵). در حقیقت این گونه نیست که سنگ‌های با چگالی بالاتر دارای پذیرفتاری مغناطیسی بالاتری باشند مگر این که حاوی میزان زیادی کانی مگنتیت هم باشند.

نیکیان (۱۹۷۴، ۱۹۸۴) اولین مقالات را در زمینه سیگنال تحلیلی و کارآمدی آن در تحلیل کیفی بی‌هنجری‌های مغناطیسی ارایه کرد. به عنوان اولین مشخصه سیگنال تحلیلی، عدم وابستگی آن به جهت مغناطیدگی در توده مغناطیسی می‌باشد. به لحاظ نظری سیگنال تحلیلی بر روی ساختار مغناطیسی دارای بیشترین دامنه است که در مرز توده از آن کاسته می‌شود (رویست و همکاران، ۱۹۹۲). مک‌لیود و همکاران (۱۹۹۳) نشان دادند که برای تفسیر کیفی داده‌ها وجود یک تابع مانند سیگنال تحلیلی که بر روی توده دارای مقدار بیشینه در دامنه می‌باشد بسیار مفید است.

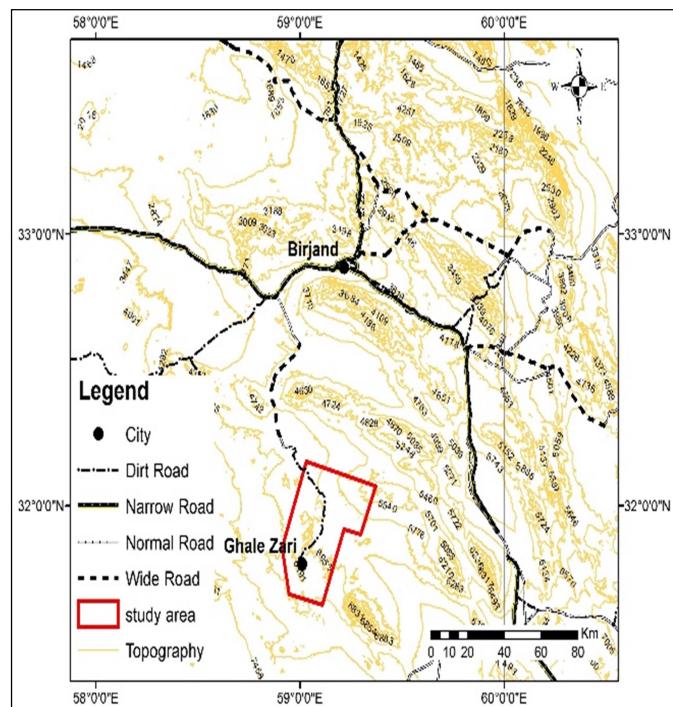
فیلتر ادامه فراسو نیز با کاهش دامنه سیگنال به صورت پایدار و با استفاده از روابط ریاضیاتی داده‌ها را به سطوح بالاتر منتقل کرده و مشابه یک فیلتر پایین گذر (Low-Pass) بر روی بی‌هنجری‌ها عمل می‌کند و معمولاً قبل از تهیه نقشه مشتقات جهتی و تفسیر کیفی از آن استفاده می‌شود (فیرهد، ۲۰۱۵).

۲. شیوه پژوهش

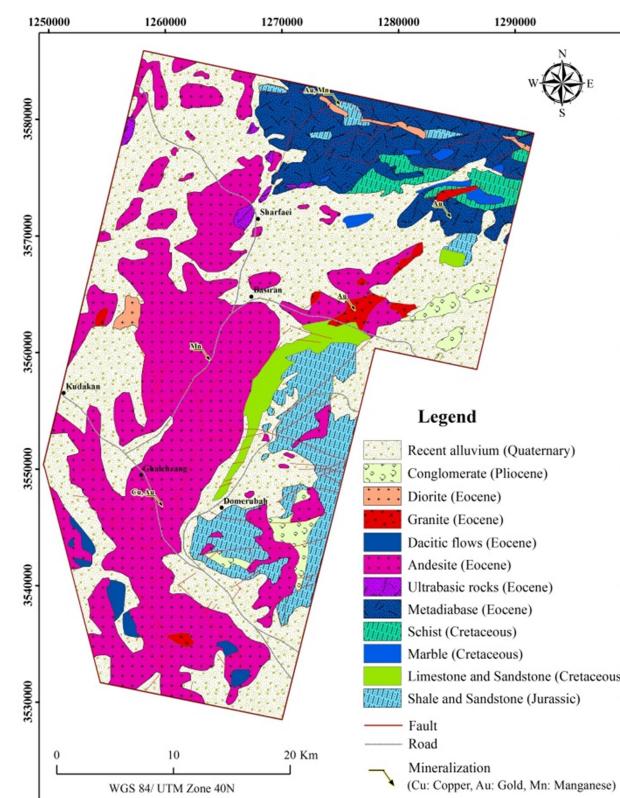
داده‌های این تحقیق توسط تجهیزات هوابرد سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور تهیه و برداشت شده است. تصحیحات و پردازش اولیه موردنیاز با استفاده از نرم‌افزار تجاری ژئوسافت در این سازمان انجام گرفته است (فنایی خیرآباد و همکاران، ۱۳۸۷). از جمله

(سنگ گرانیت شاه کوه) است که در برخی از قسمت‌ها انواعی از کانسارهای مس پروفیری (همراه با کانسارهای رگه‌ای و اسکارنی) مشاهده شده است (شکل ۲).

زمین‌شناسی ۱:۱۰۰،۰۰۰ بصران و زمین‌شناسی بلوک لوت (اشتوکلین و نبوی، ۱۹۷۲)، عمده‌ترین آثار و نشانه‌های معدنی در منطقه شامل معادن سنگ ساختمانی



شکل ۱. راه‌های دسترسی و موقعیت محدوده مورد مطالعه بصران.



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی منطقه بصران، اقتباس از نقشه‌های سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

داده‌ها را به منظور تخمین عمق پی‌سنگ مغناطیسی و شناسایی بیش از ۲۰ گسل پنهان ارائه کردند. در ادامه تحلیل کیفی این داده‌ها با اعمال فیلترهای مختلف ارائه شده است.

شکل ۳ نقشه شدت میدان مغناطیسی کل (TMI) می‌باشد که در ادامه با مبنای قراردادن این نقشه سایر نقشه‌های اصلی مورد نیاز جهت انجام تفسیر کیفی تهیه شده است (توسلی تربتی، ۱۳۹۹).

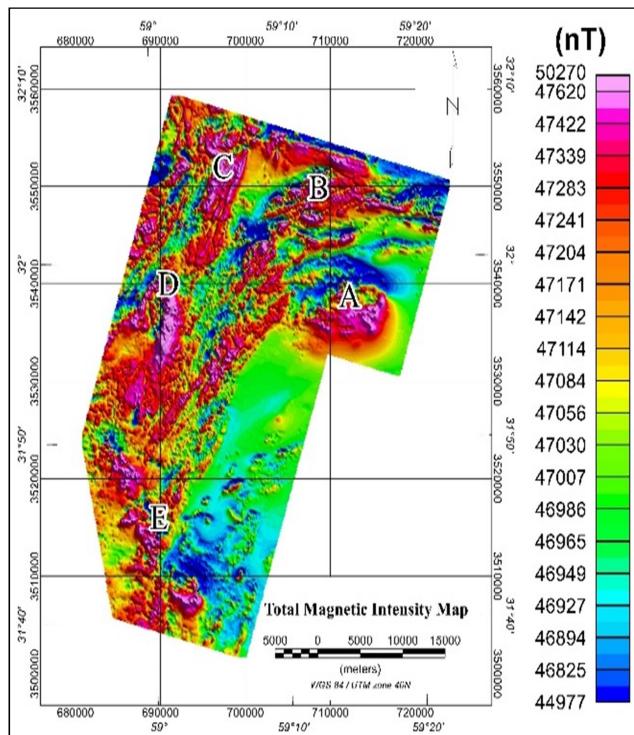
در نقشه شدت میدان مغناطیسی کل تعداد پنج محدوده حضور بی‌هنگاری عمد A, B, C, D و E مشخص شده است که در سایر نقشه‌های تفسیر کیفی تولید شده بعدی اثرات بامنشاها عمیق‌تر مغناطیسی در این محدوده‌ها قابل توجه بوده است. عموماً در برداشت داده‌های مغناطیسی سنجی تصحیح تغییرات روزانه میدان با استفاده از داده‌های برداشت شده در ایستگاه مینا بر روی داده‌ها انجام می‌شود. مشخصات میدان ژئومغناطیسی برای یک نقطه از منطقه با استفاده از مدل میدان مرجع ژئومغناطیسی (IGRF) سال ۲۰۰۵ به شرح جدول ۱ جهت تصحیح و حذف اثر میدان هسته زمین از داده‌ها استفاده شده است.

به طور کلی در بخش زیادی از این منطقه شرایط زمین‌شناسی لازم برای ایجاد انواع کانسارهای مهم معدنی فراهم شده است. از دیگر پتانسیل‌های موجود می‌توان به کانسار مس قلعه زری اشاره کرد. از دیگر انواع کانسارها می‌توان کانسارهای طلای نوع اپی‌ترمال (طلای هیرد در شرق بصیران) را نام برد.

همچنین مطالعه مغزه‌های حفاری موجود در محدوده معدن آهن بیشه نیز وجود بی‌هنگاری مغناطیسی را در غرب ناحیه مورد مطالعه نشان داده است که منشأ این بی‌هنگاری‌ها از عمق کم در حدود ۱۰ متر تا عمق‌های زیاد ادامه داشته است (نخعی و همکاران، ۱۳۹۲).

۴. عملیات مغناطیسی سنجی هوایرد بصیران

عملیات برداشت داده‌های ژئوفیزیک هوایرد به روش مغناطیسی در منطقه بصیران توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور در سال ۱۳۸۳، با استفاده از یک بالگرد انجام شده است. فاصله خطوط پرواز ۲۵۰ متر، فواصل متوسط برداشت داده ۱۰ متر و ارتفاع بالگرد ۴۰ متر می‌باشد. محمدزاده و همکاران (۱۳۹۸) تفسیر این



شکل ۳. نقشه شدت میدان مغناطیسی کل (TMI).

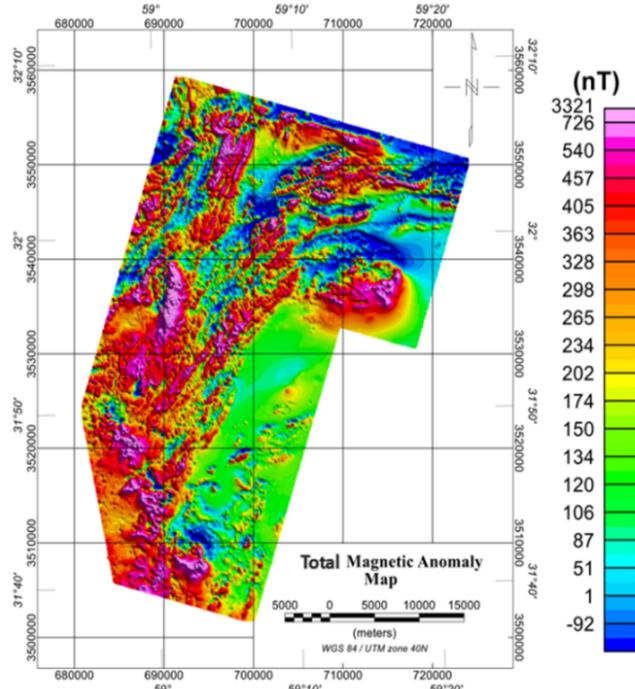
جدول ۱. مشخصات میدان ژئومغناطیسی درمحدوده بصیران به دست آمده از مدل IGRF سال ۲۰۰۵.

اندازه	مشخصات میدان
۵۹ درجه و ۶۳ دقیقه	طول جغرافیایی
۳۲ درجه و ۲۲ دقیقه	عرض جغرافیایی
۴۶۹۳۱ نانوتسلا	شدت میدان کل
۴۹/۳ درجه	زاویه میل میدان
۲/۳۴ درجه	زاویه انحراف میدان

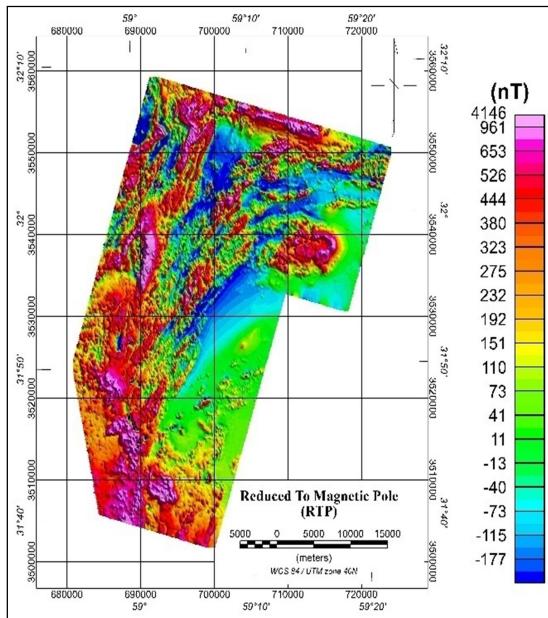
می‌شود. با اعمال این فیلتر مقادیر شدت میدان قطب‌های مثبت و منفی بی‌هنگاری‌ها به طور قائمه و در بالای منبع ایجاد کننده آن قرار می‌گیرند. نقشه انتقال به قطب به صورت برهم‌نهی آنومالی‌های مثبت و منفی عمل می‌کند و قابل تفسیر آسان‌تر به دلیل حذف اثر جهت میدان و به عبارتی عدم وابستگی به عرض جغرافیای یا محل برداشت داده می‌باشد (هیتزه و همکاران، ۲۰۱۳). شکل ۵ نقشه انتقال به قطب داده‌ها را نشان می‌دهد که در آن وضعیت بی‌هنگاری‌ها مقداری دچار تغییر شده و به صورت برهم‌نهی دو قطب و در بالای توده و منشأ اصلی ایجاد کننده میدان در نقشه انتقال به قطب آشکار شده است.

سپس با حذف میدان هسته کره زمین و تغییرات روزانه خورشید نقشه شدت میدان مغناطیسی بی‌هنگاری کلی داده‌ها (TMA) تهیه شده است (شکل ۴).

۴-۱. تهیه نقشه‌های اصلی جهت انجام تفسیر کیفی ماهیت بی‌هنگاری‌های مغناطیسی دو قطبی است و از آنجاکه زاویه میل و انحراف میدان مغناطیسی زمین تابعی از موقعیت جغرافیایی نقاط اندازه گیری می‌باشد، پاسخ مغناطیسی مواد مغناطیسی در زیر سطح زمین علاوه بر میزان خودپذیری مغناطیسی به جهت القا شوندگی مواد در حضور این میدان نیز وابسته است. لذا برای حذف اثر زاویه میل مغناطیسی از فیلتر انتقال به قطب (RTP) استفاده



شکل ۴. نقشه شدت میدان مغناطیسی بی‌هنگاری کل (TMA).



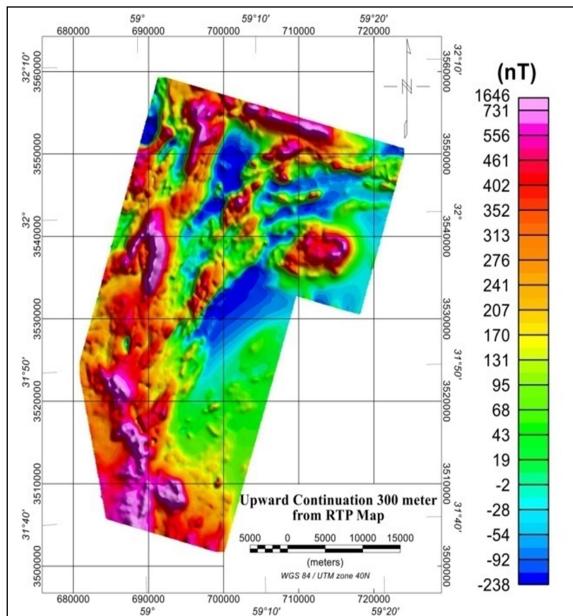
شکل ۵. نقشه انتقال به قطب داده‌ها (RTP).

کاهش اثرات نوافه و تعیین گسترش عمق منبع استفاده می‌شود. این کاربرد منجر به برآورد دقیقی از عمق قرارگیری منبع نمی‌شود و به نوعی تفسیری کیفی از داده‌ها است. در این نقشه‌ها اثر بی‌هنچاری‌های سطحی حذف و بی‌هنچاری‌های عمیق باقی می‌مانند.

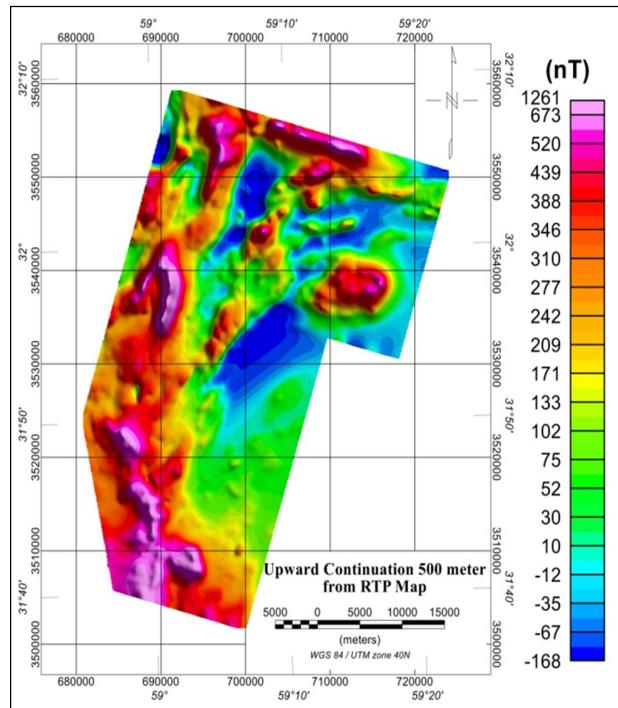
برای داده‌های بصیران، نقشه ادامه فراسو تا ۱۰۰۰ متری تهیه شد. در اینجا نقشه‌های گسترش فراسوی ۳۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متری به ترتیب در شکل ۶ تا ۸ نشان داده شده است.

۲-۴. نقشه‌های ادامه فراسو، سیگنال تحلیلی و شبکه‌گرانی

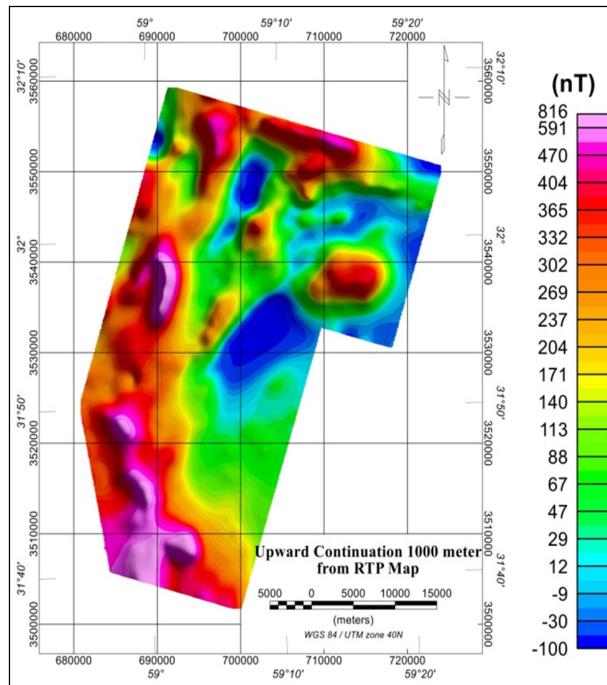
یکی از نقشه‌های مهم در تفسیر داده‌های مغناطیس سنگی، نقشه ادامه فراسو (گسترش به طرف بالا) است. در این نقشه داده‌های مغناطیسی اندازه‌گیری شده در سطحی بالاتر از سطح اندازه‌گیری محاسبه می‌شود. در واقع در اکثر تفسیرهای مغناطیسی از این نقشه به عنوان ابزاری برای



شکل ۶. نقشه گسترش فراسو به میزان ۳۰۰ متر.



شکل ۷. نقشه گسترش فراسو به میزان ۵۰۰ متر.



شکل ۸ نقشه گسترش فراسو به میزان ۱۰۰۰ متر.

زیاد این بی‌هنجری‌های سطحی، معمولاً در مطالعات هوابرد اهمیت و دقت زیادی ندارند و برداشت‌های زمینی برای بررسی بیشتر در هر محدوده نیاز است. در نقشه‌های فراسو تمرکز روی منشأهای عمیق تر

در نقشه‌های ادامه فراسو بسیاری از بی‌هنجری‌های کوچک سطحی حذف شده‌اند. این امر ناشی از منشأ سطحی و کم ژرف‌ها از تعداد زیاد از بی‌هنجری‌های کوچک در منطقه است. به دلیل فراوانی و پراکندگی

مغناطیسی را به طور واضح‌تری نشان می‌دهد. این نتایج کیفی در تعیین نقاط حفاری و مشخص کردن مرزها تفسیر دقیق‌تری ارائه می‌کند. بی‌هنجری‌های شناسایی‌شده در نقشه‌های تحلیل کیفی داده‌ها، در نقشه سیگنال تحلیلی نیز آشکار شده‌اند (شکل ۹). موقعیت این بی‌هنجری‌ها در این نقشه کم‌ویش با موقعیت آنها در نقشه‌های دیگر همخوانی دارد.

ایجاد کننده آنومالی و با استفاده از فیلترها و روش‌های ریاضی صورت می‌پذیرد. با استفاده این فیلتر بر روی داده‌های بصیران، وجود پنج بی‌هنجری اصلی در نقشه‌های فراسو جلوه بهتری پیدا کرده است و با دقت بیشتری قابل تشخیص و تفسیر است به طوری که در نقشه ادامه فراسو ۱۰۰۰ متر، بی‌هنجری‌های کوچک به کلی محبو شده‌اند و بی‌هنجری‌های عمیق با وضوح بیشتری قابل تشخیص است.

در نقشه فراسوی ۵۰۰ متر، بخش مربوط به بی‌هنجری A، C، D و E کوچک‌تر شده و محدوده مرز آن نیز به خوبی آشکار شده است. این نکته می‌تواند حاکمی از آن باشد که بی‌هنجری B به احتمال زیاد عمق کمتری نسبت به دیگر موارد دارد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، محدوده بی‌هنجری C در عمق دارای گسترش طولی و عرضی است و در مقایسه نقشه فراسوی ۳۰۰ متر تا ۱۰۰۰ متر نیز این گسترش بیشتر می‌شود.

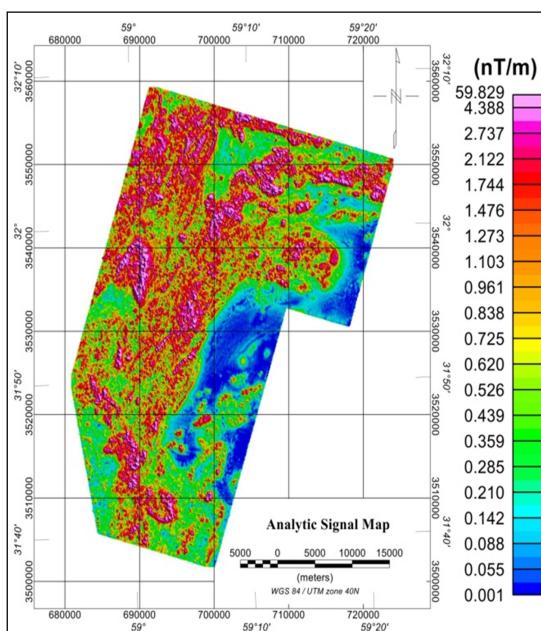
۴-۲-۴. نقشه سیگنال تحلیلی

بر اساس محاسبه مشتق‌های میدان در جهت‌های افقی و در جهت قائم، نقشه سیگنال تحلیلی به دست می‌آید (نقیان، ۱۹۷۲). این نقشه مرز منبع‌های ایجاد کننده آنومالی

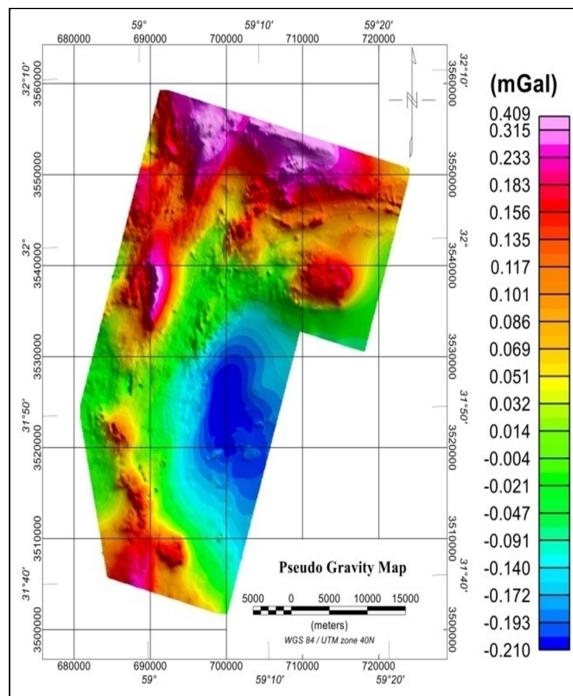
۴-۳-۴. نقشه شبه گرانی

نقشه شبه گرانی، بی‌هنجری معادل گرانی و توزیع چگالی حاصل از یک منبع بی‌هنجری مغناطیسی را نشان می‌دهد که دارای توزیع چگالی مشابه با خودپذیری مغناطیسی است. بنابراین نقشه شبه گرانی معادل با نقشه آنومالی گرانی حاصل از منبع مغناطیسی است. از این نقشه مانند نقشه تبدیل به قطب برای تعیین ویژگی‌های بی‌هنجری استفاده می‌شود (بلکلی، ۱۹۹۶).

همان‌طور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، اثر حداقل پنج بی‌هنجری اصلی موجود در نقشه‌های مغناطیسی به صورت توزیع و تغییرات میدان گرانش و به صورت معادل با آن بی‌هنجری‌های نقشه شبه گرانی دیده می‌شود.



شکل ۹. نقشه سیگنال تحلیلی داده‌ها.



شکل ۱۰. نقشه شبکه‌گرانی داده‌ها.

کیلومتر مربع در این مقاله ارائه شده است. به طور کلی هدف از برداشت‌های ژئوفیزیک هوایی با وسعت بالا در این محدوده معرفی منابع مغناطیسی مرتبط با کانسارهای فلزی از جمله آهن بوده است. از جمله نتایج حائز اهمیت این مقاله می‌توان به معرفی حداقل پنج ناحیه عمدۀ مولد بی‌هنجاری عمیق در اشاره کرد که می‌تواند مبنای مطالعات آینده در منطقه بصیران قرار گیرد.

با توجه به این که در این محدوده معادن فلزی مهمی نیز فعال می‌باشد، این محدوده‌ها از نظر اکتشافی می‌توانند در اولویت بررسی‌های بیشتر ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی قرار بگیرد. همچنین نتایج حاصل از مطالعات پیشین در این منطقه نیز وجود و پراکندگی ساختارهای مغناطیسی با منشأهای سطحی، عمیق و نیمه‌عمیق در سراسر منطقه تأیید می‌کند.

تشکر و قدردانی

از بخش ژئوفیزیک هوایی سازمان زمین‌شناسی کشور به جهت در اختیار قراردادن داده‌های این پژوهش در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد تشکر و قدردانی می‌شود.

۵. بحث

در این تحقیق با ترسیم حدود ۱۰ نقشه مختلف از داده‌های مغناطیس سنجی هوابرد به تحلیل کیفی داده‌های منطقه بصیران پرداخته شد. در نقشه‌های رسم شده به ویژه در نقشه‌های انتقال به قطب، شبکه‌گرانی، سیگنال تحلیلی و نقشه‌های فراسوی ۳۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر، با وضوح خوبی منشاهای سطحی و عمیق مغناطیسی قابل تشخیص می‌باشند. به دلیل شرایط تکتونیکی و زمین‌شناسی خاص و نسبتاً پیچیده این منطقه، نقشه شدت میدان کلی مغناطیسی دارای تعداد زیادی بی‌هنجاری در هم تنیده مثبت و منفی مغناطیسی می‌باشد که از شدت این اثرات سطحی در نقشه‌های ادامه فراسو تا حد زیادی کاسته شده و منشاهای عمیق‌تر قابل تحلیل و شناسایی قرار گرفته است.

۶. نتیجه‌گیری

نتایج تفسیر کیفی انجام شده بر روی نقشه‌های شدت میدان مغناطیسی کل و نقشه شدت میدان مغناطیسی آنومالی منطقه بصیران در محدوده ای با وسعت تقریبی ۱۵۰۰

مراجع

- محمدزاده مقدم، م.، فنایی خیرآباد، غ.، میرزائی، س.، و عابدی، م.، ۱۳۹۸، تفسیر داده‌های مغناطیس هوایی به منظور تخمین عمق پی‌سنگ مغناطیسی و گسل‌های پنهان در منطقه بصیران، خراسان جنوبی، *فصلنامه زمین‌شناسی ایران*، ۵۱، ۱۱–۱۲۸.
- نخعی، م.، حیدریان شهری، م.، کریم پور، م.، مظاہری، س.، و زرین کوب، م.، ۱۳۹۲، پردازش و تفسیر کیفی داده‌های مغناطیسی در کانسار سنگ آهن بیشه، پنجمین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، ۲۰ و ۲۱ شهریور.
- تولسلی تربتی، ح.، ۱۳۹۹، مدل‌سازی دو بعدی داده‌های مغناطیسی هوایی برای شناسایی توده‌های مغناطیسی مرتبط با کانی زایی در منطقه بصیران واقع در جنوب شهرستان بیرجند، استان خراسان جنوبی، *پایان‌نامه کارشناسی ارشد اکتشاف معدن*، دانشگاه صنعتی بیرجند.
- فنایی خیرآباد، غ.، حسین‌زاده گویا، ن.، نمکی، ل.، و صداقت، ب.، ۱۳۸۷، پردازش داده‌های مغناطیس هوایی منطقه بصیران با استفاده از اسپلاین مکعبی، *مجله فیزیک زمین و فضا*، ۳۴(۲)، ۴۳–۵۱.

- Arkani-Hamed J., 2007, Differential reduction to the pole: Revisited: *Geophysical Journal International*, 72(1), L13–L20.
- Blackely, R. J., 1996, Potential theory in gravity and magnetic applications, New York: Cambridge.
- Bott, M.H.P., Smith, R.A. and Stacey, R.A., 1966, Estimation of the direction of magnetization of a body causing a magnetic anomaly using a pseudo gravity transformation, *Geophysics*, 31, 803–811.
- Fairhead, J.D., 2015, Advances in Gravity and Magnetic processing and Interpretation, EAGE Publication, 338 Pages.
- Gunn, P.J., 1975, Linear transformations of gravity and magnetic fields. *Geophysical Prospecting*, 23, 300–312.
- Hinze, W. J., Von Frese, R. B. and SAAD, A. H., 2013, Gravity and Magnetic exploration, New York: Cambridge.
- MacLeod, I.N., Jones, K. and Dai, T.F., 1993, 3D Analytic signal in the interpretation of total

magnetic field data at low magnetic latitudes exploration. *Geophysics*, 24(4), 679–688.

- Nabighian, M.N., 1974, Additional comments on the Analytic signal of two dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section. *Geophysics* 39, 85–92.
- Nabighian, M.N., 1984, Towards a three-dimensional automatic interpretation of potential field data via generalized Hilbert transforms: Fundamental relations. *Geophysics*, 49(6), 78G–786.
- Roest, W.R., Verhoef, J. and Pilkington, M., 1992, Magnetic interpretation using the 3D Analytic signal. *Geophysics*, 57(1), 116–125.
- Stocklin, J. and Nabavi, M., 1972, Tectonic Map of Iran, Geological Survey of Iran.
- Nabighian, M.N., 1972, The analytic signal of two-dimensional magnetic bodies with polygonal cross-section: Its properties and use for automated anomaly interpretation, *Geophysics*, 37, 507–517.

Qualitative interpretation of aeromagnetic data of Basiran area (South Khorasan Province)

Tavassoli Torbati, H.¹, Fanaee Kheirabad, Gh. A.^{2*}, Mohammadzade Moghaddam, M.³, Karimi Kalvarzi, A.⁴

1. M.Sc. Student, Department of Mining Engineering, Faculty of Mining, Civil and Chemical Engineering, Birjand University of Technology, Birjand, Iran

2. Assistant Professor, Department of Mining Engineering, Faculty of Mining, Civil and Chemical Engineering, Birjand University of Technology, Birjand, Iran

3. Ph.D. Student, Research Institute of Applied Sciences, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

4. M.Sc. Graduated, Department of Mining Engineering, Faculty of Mining, Amir-Kabir University of Technology, Tehran, Iran

(Received: 12 Dec 2020, Accepted: 4 Oct 2022)

Summary

Aeromagnetic data provide useful information for delineating magnetic basement, structural patterns, tectonics, and thermal status of the survey area. The current study presents the results of airborne magnetic studies in Basiran area (South Khorasan province) 100 km southwest of Birjand, that is well-known for its great mineral potential such as gold, copper, iron, manganese and silver. Appearance of Ghale-Zari, Bishe and the other active mines in the area indicate the promising mine potential of the region. Basiran area in the classification of the structural zones of Iran is located in the Lut Block. The Lut Block stretched over 900 km in the north-south direction and nearly 200 km in the east-west direction and bounded by the Nayband and Nehbandan faults. The lithology of the Lut Block is mainly lavas and pyroclastic rocks, as well as sub-volcanic rocks of Eocene-Oligocene ages eras. Volcanic rocks display a scattered pattern since they formed during the subduction to post-collisional stages between the Arabian and Asian plates. In 2005, a high-resolution airborne magnetic data collection (with flight line distances of 250 meters) was carried out in Basiran area of approximately 1500 km² by the Geological Survey of Iran (GSI). The purpose of this survey is the study of the patterns of magnetic fields and their relationship with geological structures, especially iron bodies and to create a suitable exploration database for further investigations. The collected raw aeromagnetic data set are processed by applying Diurnal Variation correction and IGRF removal using Geosoft Oassis Montaj software. Processing of airborne data need applying other technical corrections such as lag compensation, topography and leveling in order to prepare the residual magnetic intensity data or TMA map (Total Magnetic Anomaly Map). In order to have a qualitative interpretation, we need to prepare all relevant maps to follow the anomaly variations. Then geophysical and mathematical filters are sequentially applied that routinely are the reduction-to-the pole (RTP) and upward continuation. The RTP map removes the latitude dependence of the magnetic fields and upward continuation maps bring and show the effect of the magnetic sources at depth. Based on the other studies results, in literature review, there are at least five main sources of anomalies in the Basiran area, which may be related to several magnetic and geological structures at depth. These sources are clearly at 300 m, 500 m and 1000 meters upward continuation maps. As the main results, this paper emphasizes on the key role of the aeromagnetic study to understand the relation between magnetic anomalies and the subsurface structures. Basiran area is a high potential area for mineral exploration that includes copper, gold, iron, and manganese that is made it valuable for many researchers that are active in mining exploration.

Keywords: Aeromagnetic, qualitative interpretation, Basiran, Birjand.

* Corresponding author:

afanaee@birjandut.ac.ir