

تفسیر داده‌های مغناطیسی ذخیره آهن اجت آباد، شمال خاور سمنان

نوشته: علی مرادزاده*، فرامرز دولتی ارده جانی* و بیت الله طیبی*

*دانشکده مهندسی معدن و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۶ / ۱۱ / ۲۱

تاریخ دریافت: ۱۳۸۵ / ۱۲ / ۱۲

چکیده

تعدادی ذخیره آهن در شمال و شمال خاور سمنان وجود دارد که در هیچ یک از آنها اکتشاف نظام مند (systematic) صورت نگرفته است. ذخیره آهن اجت آباد در ۶۳ کیلومتری شمال خاور سمنان در جنوب جاده سمنان- دامغان، یکی از این ذخایر است که به تازگی برای اکتشاف آن، برداشت‌های منظم مغناطیس سنجی در ۱۲۰۰ نقطه در محدوده‌ای به وسعت ۳۶ هکتار صورت گرفته است. نقشه‌های تهیه شده شدت میدان کل، وجود چند بی‌هنجاری را در زونی با روند شمال خاور- جنوب باختر نشان می‌دهد که آثار این بی‌هنجاری‌ها، در نقشه‌های باقی مانده میدان مغناطیسی به صورت برجسته در ۷ محل مورد تأیید قرار می‌گیرد. با انجام مدل‌سازی‌های عددی دو و سه بعدی، می‌توان اطلاعات کمی و کیفی بیشتری از بی‌هنجاری‌های شناسایی شده به دست آورد. برای نیل به این هدف، از نقشه بی‌هنجاری باقی مانده روند سطحی مرتبه ۷ که به کمک نرم افزار Modelvision Pro به دست آمده، استفاده شده است. بررسی نشان می‌دهد که نتایج مدل‌سازی‌های دو و سه بعدی غالباً یکدیگر را تأیید کرده و علاوه بر آن با نتایج حفاری‌های موجود نیز تطابق خوبی دارند. همچنین نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که بی‌هنجاری‌های موجود به صورت مجزا از هم بوده و بجز یک مورد، همگی در ژرفای کمتر از ۳۵ متری قرار دارند.

کلید واژه‌ها: بی‌هنجاری، کانسار آهن، مغناطیس سنجی، نقشه میدان باقی مانده مغناطیسی، مدل‌سازی دو و سه بعدی

۱- مقدمه

در این مقاله، داده‌های مغناطیسی این کانسار که طی یک کار تحقیقاتی توسط نگارندگان مقاله برداشت شده و پس از اصلاحات و پردازش‌های لازم به کمک نرم افزار Modelvision Pro [Encom Technology Pty Ltd, 2003] نقشه بی‌هنجاری باقی مانده مغناطیسی ارائه شده (مرادزاده و دولتی ارده جانی، ۱۳۸۵) به روش کمی تفسیر می‌شوند.

۲- محل و موقعیت جغرافیایی

محدوده مورد نظر (شکل ۱) در ۶۳ کیلومتری شمال خاور سمنان و در بخش جنوبی جاده سمنان_دامغان قرار دارد. راه دسترسی به کانسار، ۳ کیلومتر جاده اصلی آبخوری و ۱۰ کیلومتر جاده خاکی اختصاصی معدن همیرد و ۵۰ کیلومتر جاده آسفالت سمنان_دامغان است.

۳- زمین شناسی منطقه

بر اساس نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ جام، منطقه کانی‌سازی شده از ماسه سنگ‌ها و سنگ آهک‌های دوزین تشکیل شده که در اطراف آن سنگ‌های سازند کرج شامل توف، آندزیت و سایر سنگ‌های آتشفشانی و رسوبی‌های وابسته به ائوسن رخنمون دارند. علاوه بر آن در بخش‌های باختری و جنوبی ناحیه مورد بررسی، کنگلومرا و آهک کنگلومرای سازند فجن با سن ائوسن زیرین دیده می‌شوند. همچنین سنگ‌های نفوذی میکرودیوریت مربوط به تشریری با وسعت کمی در بخش جنوبی منطقه برونزد دارند. شکل ۲ بخشی از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ جام (سازمان زمین شناسی، ۱۳۸۴) را که این منطقه را دربرمی‌گیرد، نشان می‌دهد.

کانی‌سازی آهن در این منطقه عموماً از جنس مگنتیت و هماتیت است (مرادزاده و دولتی ارده جانی، ۱۳۸۵) که احتمالاً می‌تواند در اثر فعالیت‌های گرمایی ناشی از نفوذ سنگ‌های آندزیت - داسیت به درون رسوبات آهکی، کنگلومرای و همچنین سیلیس‌های با سن ائوسن باشد. از کانی‌های فرعی همراه ماده معدنی می‌توان به سیلیس و باریت اشاره کرد. توده‌های آهن دار عموماً به صورت رگه و دایک هستند.

بیشتر کانسارهای آهن به دلیل دارا بودن درصد قابل توجهی از کانی مگنتیت، مغناطیسی هستند و به همین دلیل می‌توان از روش مغناطیس سنجی برای اکتشاف آن بهره گرفت. برداشت داده‌ها بسته به وسعت منطقه و دقت مورد نیاز می‌تواند به صورت هوایی و یا زمینی صورت گیرد. در این روش هنگامی که شدت میدان مغناطیسی زمین به وسیله مغناطیس سنج‌های حساس با دقت بیش از ۱ نانوتسلا (nTesla) برداشت شدند، یک‌دسته تصحیحات ضروری صورت می‌گیرد و سپس نتایج برداشت شده به صورت نقشه شدت میدان کل مغناطیسی برای منطقه برداشت شده ارائه می‌شود. سپس برای آشکارسازی هر چه بهتر بی‌هنجاری‌های مغناطیسی، به روش‌های مختلف سعی می‌شود اثرات توده‌های عمیق و ناحیه‌ای میدان محاسبه و از مقادیر اندازه‌گیری شده کسر شده تا نقشه باقی مانده شدت میدان مغناطیسی، تهیه شود، که عمدتاً اثرات توده‌های آهن دار محلی و کانسارهای احتمالی آهن دار را نشان می‌دهند (Telford et al., 1991). این نقشه‌های باقی مانده، مبنای هرگونه تفسیرهای کیفی و کمی بی‌هنجاری‌های موجود در منطقه هستند.

در شمال و شمال خاور سمنان چندین رخداد و کانسار آهن وجود دارد که از بعضی از آنها مانند کانسار همیرد برای مصارف کارخانه‌های سیمان بهره‌برداری می‌شود و بعضی دیگر مانند کانسار اجت آباد به دلیل نبود اطلاعات اکتشافی بهره‌برداری نمی‌شود. مشاهدات صحرائی نشان می‌دهد که در این کانسار آثار معدنکاری قدیمی بیش از ۵۰ سال، به صورت محدود در دو محل، همراه با مقداری ذخیره‌سازی از سنگ‌های آهن دار استخراج شده وجود دارد و حتی اقدامات اولیه برای کشیدن ریل دسترسی به محل و سکوی بارگیری نیز دیده می‌شود. با وجود چنین شواهدی که تلاش برای بهره‌برداری از کانسار فوق را نشان می‌دهد، متأسفانه هیچ گزارش مدونی از زمین شناسی و اکتشاف آن وجود ندارد. (Belich & Bragin (1993) کانسارهای آهن منطقه سمنان را تحت عنوان گرمایی معرفی کرده‌اند و در ادامه قربانی (۱۳۸۱) این کانسارها را به ماگماتیسیم اولیگومیوسن نسبت داده و به دلیل نداشتن ذخیره کافی آنها را فاقد هرگونه ارزش اقتصادی معرفی می‌کند. به تازگی شرکت معدنی نگین وابسته به شرکت سیمان البرز، به اخذ مجوز اکتشاف کانسار اجت آباد اقدام کرده است و تحقیق حاضر در جهت تکمیل اکتشاف کانسار است.

۴- روش مطالعه

مدل با فرایند مدل‌سازی وارون به گونه‌ای تغییر داده شد تا خطای مدل‌سازی در هر مرحله کاهش یابد. با تکرار چنین فرایندی، محاسبات آنقدر تکرار شد تا خطای حاصل از مدل‌سازی به مقدار مورد نظر کاهش یافت. نتایج مدل‌سازی وارون برای بی‌هنجاری‌های $A + 0$ و F به ترتیب در شکل‌های ۵ تا ۷ نشان داده می‌شوند. با پایان فرایند مدل‌سازی، پارامترهای فیزیکی و هندسی هر یک از بی‌هنجاری‌ها تعیین شدند. نتایج حاصل از این مدل‌سازی بر روی هر نیمرخ در جدول ۱ آورده شده است.

۵- مدل‌سازی سه بعدی

به منظور ارزیابی اعتبار نتایج مدل‌سازی‌های دو بعدی انجام شده و همچنین گسترش سه بعدی بعضی از بی‌هنجاری‌های مشاهده شده، مدل‌سازی سه بعدی نیز بر روی داده‌های مغناطیسی انجام شد. برای این منظور نیز از نقشه بی‌هنجاری باقی‌مانده مغناطیسی روند سطحی مرتبه ۷ استفاده شد.

برای شروع مدل‌سازی ابتدا محدوده گسترش سطحی هر یک از بی‌هنجاری‌ها به صورت تقریبی مطابق شکل ۸ با چندضلعی مشخص و مقدار چگالی سنگ میزبان و بی‌هنجاری‌ها به ترتیب $2/6$ و 5 گرم بر سانتی‌متر مکعب و همچنین خود پذیری مغناطیسی بی‌هنجاری‌ها $0/1251$ به عنوان فرض اولیه در نظر گرفته شدند. سپس مطابق شکل ۸ نیمرخ‌هایی روی نقشه رسم و مدل‌سازی سه بعدی بر روی تمام نیمرخ‌ها به‌طور همزمان انجام شد و پاسخ مدل تهیه شده با مدل‌سازی پیشرو محاسبه شد. پس از بررسی خطای مدل‌سازی، مشخص شد این خطا از خطای هدف ($RMS=6$) بیشتر است. لذا در مرحله بعد به منظور انطباق بیشتر پاسخ مدل با داده‌های اندازه‌گیری شده و کاهش خطا از مدل‌سازی وارون استفاده شد. مدل‌سازی وارون سه بعدی نیز همانند مدل‌سازی وارون دو بعدی با انتخاب پارامترهای آزاد و عملیات تکرار انجام گرفت. پس از ۱۵ مرحله تکرار فرایند، خطای مدل‌سازی به $5/32$ رسید که در مقایسه با خطای هدف تعیین شده قابل قبول است. نتایج حاصل از مدل‌سازی سه بعدی در جدول ۲ آورده شده است.

۶- بحث در مورد نتایج مدل‌سازی

نتایج مدل‌سازی دو بعدی (جدول ۱) نشان می‌دهد که تشکیل کانسار در نزدیکی سطح زمین است که این نتیجه با آثار معدنکاری قدیمی در دو محل که یکی از آنها به‌صورت تونلی کوچک منطبق بر بی‌هنجاری D و دیگری به‌صورت ترانشه‌ای بزرگ و منطبق بر بی‌هنجاری F است، تطابق خوبی دارد. مشاهدات صحرائی نشان می‌دهند که ژرفای قرارگیری زون کانی‌سازی شده در این دو محل بین ۱۰ تا ۱۵ متر در تغییر است. همچنین مقادیر خودپذیری مغناطیسی به‌دست آمده از مدل‌سازی نشان دهنده وجود مگنتیت و هماتیت است.

مقایسه نمایش سه بعدی داده‌های اندازه‌گیری شده (شکل ۹) با داده‌های حاصل از مدل‌سازی سه بعدی (شکل ۱۰) نشان می‌دهد که پاسخ مدل حاصل، تطابق خوبی با داده‌های اندازه‌گیری شده دارد، بدین معنی که مدل‌سازی سه بعدی در حد مطلوبی توانسته است ویژگی‌های منابع مولد بی‌هنجاری‌ها را بازسازی کند. با بررسی نتایج مدل‌سازی سه بعدی (جدول ۲) و با مقایسه آن با نتایج مدل‌سازی دو بعدی (جدول ۱) و همان گونه که در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ نیز نشان داده شده است، می‌توان نتیجه گرفت که برای بیشتر بی‌هنجاری‌ها ژرفا و خودپذیری مغناطیسی پیش‌بینی شده توسط دو روش مدل‌سازی تطابق خوبی دارند و اختلاف بین آنها ناچیز است. از آنجا که در فرایند مدل‌سازی سه بعدی اثرات متقابل بی‌هنجاری‌ها روی یکدیگر به‌صورت یک‌جا در نظر گرفته می‌شود (مرادزاده و همکاران، ۱۳۸۴) بنابراین به نتایج حاصل از این روش بهتر می‌توان تکیه کرد.

برداشت داده‌های مغناطیسی توسط مؤلفان مقاله طی یک دوره آرام مغناطیسی توسط دو دستگاه مغناطیس‌سنج پروتون در یک محدوده مربعی با وسعت 36 هکتار در امتداد 22 نیمرخ خاوری-باختری و 3 نیمرخ شمالی-جنوبی با فاصله نقاط اندازه‌گیری 15 متر و فواصل نیمرخ 20 متر صورت گرفت. با چنین آرایش عملیات صحرائی، در مجموع در بیش از 1200 نقطه برداشت مغناطیس‌سنجی انجام شد. همچنین برای ارزیابی مقدار خودپذیری مغناطیسی سنگ‌ها (susceptibility) و انجام مطالعات میکروسکوپی 32 نمونه از محل‌های مختلف محدوده برداشت شد. در شکل ۳ موقعیت تمامی نقاط برداشت مغناطیس‌سنجی همراه با محل نقاط نمونه‌برداری در روی نقشه شدت میدان کل تصحیح‌شده به صورت سه بعدی نشان داده شده است.

۵- تفسیر کمی و کیفی داده‌ها

در تفسیر کیفی و کمی داده‌های مغناطیسی، شناسایی بی‌هنجاری‌های مورد نظر و تعیین پارامترهای هندسی و فیزیکی آنها اهمیت زیادی دارد. به همین دلیل، در این مقاله با استفاده از نرم افزار Modelvision Pro، بی‌هنجاری‌های شناسایی شده در نقشه بی‌هنجاری باقی‌مانده مغناطیسی روش روند سطحی درجه 7 (مرادزاده و همکاران، ۱۳۸۵) به صورت دو و سه بعدی مدل‌سازی وارون می‌شوند.

برای مدل‌سازی عددی دو و یا سه بعدی، این نرم‌افزار ساختارهای زیرسطحی را به چند بلوک مستطیلی با پارامترهای فیزیکی ثابت، اما مجهول تقسیم می‌کند. سپس، پاسخ مدل با استفاده از روش اجزای محدود به ازای یک حدس اولیه و با روش تکرار محاسبه می‌شود. در این روش در هر بار تکرار، یک مقدار خطا به دست می‌آید که تابعی از پارامترهای مدل است. هدف مدل‌سازی وارون، کمینه‌سازی اختلاف بین پاسخ مدل و داده‌های اندازه‌گیری شده با در نظر گرفتن قیود خاصی همراه است. با کمینه کردن تابع هدف، وقتی همپوشانی مناسب بین داده‌های مغناطیسی محاسبه شده و مقادیر مشاهده شده به‌دست آید، می‌توان پارامترهای هر بلوک را برآورد کرد (Pilkington, 1997; Li & Oldenburg, 1998)

۵- مدل‌سازی وارون دوبعدی

برای شناسایی و تفسیر کمی بی‌هنجاری‌ها از نقشه بی‌هنجاری باقی‌مانده مغناطیسی تهیه شده با روش روند سطحی درجه 7 (شکل ۴) استفاده می‌شود (مرادزاده و دولتی ارده جانی، ۱۳۸۵). همان گونه که شکل ۴ نشان می‌دهد، در منطقه مورد مطالعه 7 بی‌هنجاری وجود دارد که با حروف G, F, E, D, C, B, A مشخص شده‌اند. با توجه به این که بیشتر بی‌هنجاری‌ها گسترش دو بعدی دارند، در مرحله اول برای به‌دست آوردن دید اولیه از مشخصات هر یک از منابع به‌وجود آورنده بی‌هنجاری‌ها، مدل‌سازی دو بعدی روی آنها (در راستای نیمرخ‌هایی عمود بر امتداد آنها) صورت می‌گیرد.

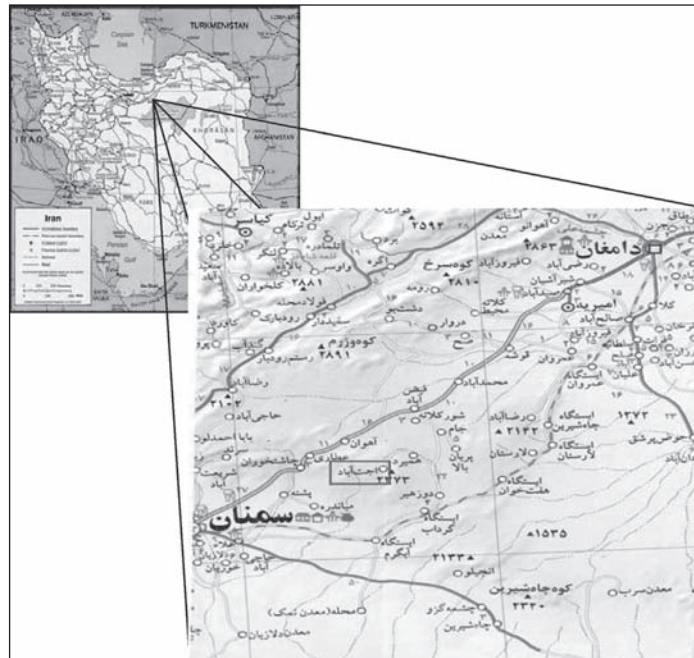
برای تهیه مدل اولیه در شروع مدل‌سازی، ابتدا مقطع عرضی هر بی‌هنجاری در امتداد هر نیمرخ رسم و سپس با استفاده از آزمایش‌های انجام شده بر روی نمونه‌های اخذ شده از منطقه (مرادزاده و دولتی ارده جانی، ۱۳۸۵)، چگالی سنگ میزبان و توده معدنی به ترتیب $2/6$ و 5 گرم بر سانتی‌متر مکعب انتخاب شد. همچنین مقادیر خودپذیری مغناطیسی اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه به‌عنوان خودپذیری مغناطیسی مدل و مقدار $0/0023$ به‌عنوان خودپذیری مغناطیسی سنگ‌های زمینه در نظر گرفته شد. پس از آن، پاسخ مدل مورد نظر با مدل‌سازی پیشرو محاسبه و ریشه میانگین مربع خطای مدل‌سازی (RMS) با خطای هدف ($RMS=2$) مقایسه شد. برای انطباق بیشتر پاسخ مدل با مقادیر میدان مغناطیسی اندازه‌گیری شده، پارامترهای

به یک اندازه مغناطیسی نیستند. نتایج مدل‌سازی‌ها همراه با نتایج آزمایش‌های صورت گرفته روی نمونه‌های اخذ شده نشان می‌دهند که در بی‌هنجاری‌های $A \cdot C$ و D مقدار مگنتیت بیشتر از هماتیت است، در حالی که در سه توده دیگر هماتیت کانی غالب کانسنگ است. همچنین نتایج مدل‌سازی‌های دو و سه بعدی و مقایسه آنها با شواهد موجود نشان می‌دهد که پارامترهای به دست آمده از بی‌هنجاری‌ها دقت و هماهنگی خوبی دارند. به علاوه، نتایج مدل‌سازی‌ها نشان می‌دهد که همه بی‌هنجاری‌ها، بجز بی‌هنجاری C ، در ژرفای کمتر از ۳۳ متر قرار دارند، ولی از آنجا که در مدل‌سازی سه بعدی اثرات متقابل بی‌هنجاری‌ها نیز لحاظ می‌شود و افزون بر ژرفا و خودپذیری مغناطیسی، اطلاعاتی در مورد گسترش سطحی توده‌ها نیز حاصل می‌شود، بهتر است به نتایج آن وزن بیشتری در هر گونه تصمیم‌سازی آتی داده شود. در مجموع می‌توان گفت بی‌هنجاری‌های A و F ، E و C وسعت و اندازه بیشتری نسبت به دیگر بی‌هنجاری‌ها دارند.

همان‌گونه که جدول ۲ نشان می‌دهد، ۷ توده سه بعدی مغناطیسی با توجه به شکل‌های ۹ و ۱۰، بی‌هنجاری‌های مجزا از هم هستند و به استثنای توده C ، عمدتاً ژرفای کمتر از ۲۰ تا ۳۵ متر دارند. بر اساس نتایج مدل‌سازی‌ها مشخص می‌شود که توده‌های $A \cdot C$ ، D و F مقادیر خودپذیری مغناطیسی بالاتری نسبت به دیگر توده‌های مدل‌شده دارند که این امر خود می‌تواند به خاطر حضور درصد بیشتری از کانی مگنتیت در کانسنگ باشد. این در حالی است که دیگر توده‌ها با توجه به خودپذیری کمتر، احتمالاً درصد بیشتری آهن به صورت هماتیت دارند. نتایج مطالعات زمین‌شناسی و بررسی‌های میکروسکوپی مقاطع تهیه شده از نمونه‌ها (مرادزاده و دولتی ارده جانی، ۱۳۸۵) این مطلب را کاملاً تأیید می‌کند.

۷- نتیجه‌گیری

بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که در منطقه مورد مطالعه ۷ بی‌هنجاری مغناطیسی مجزا وجود دارد که همگی آنها به خاطر تغییر ترکیب کانی‌شناسی توده‌های آهن دار



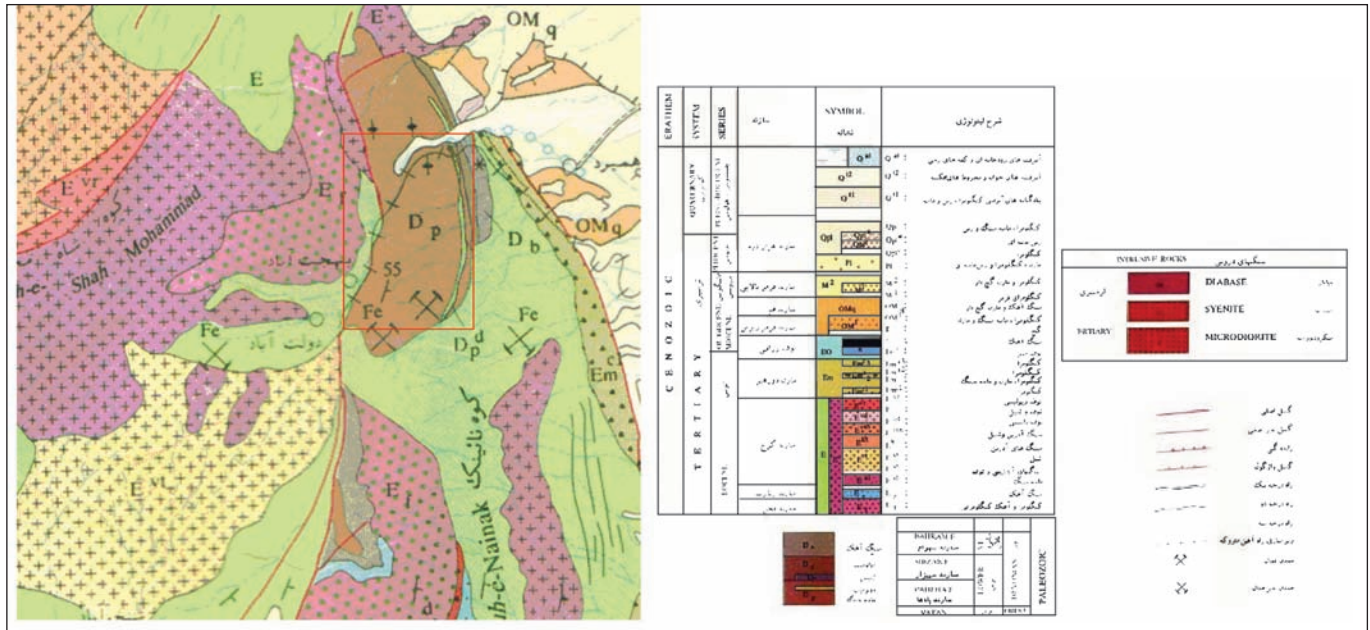
شکل ۱- نقشه موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه (محل مورد مطالعه با مستطیل سرخ‌رنگ در شکل نشان داده شده است).

جدول ۲- نتایج مدل‌سازی سه بعدی

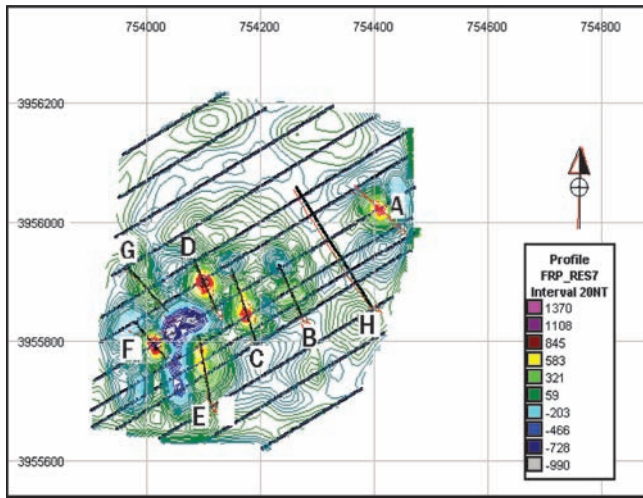
نام بی‌هنجاری	ابعاد بی‌هنجاری (متر)	طول جغرافیایی (مرکز بی‌هنجاری)	عرض جغرافیایی (مرکز بی‌هنجاری)	ژرفا (متر)	خودپذیری مغناطیسی (c.g.s)
A	۶۲x۶۱	۷۵۴۴۱۲	۳۹۵۵۹۹۸	۳۳	۰/۱۳۸
B	۶۰x۹	۷۵۴۲۰۰	۳۹۵۵۸۹۰	۱۵	۰/۰۴۱
C	۶۱x۲۶	۷۵۴۱۹۴	۳۹۵۵۸۱۹	۸۷	۰/۱۳۷
D	۲۶x۶۱	۷۵۴۱۰۲	۳۹۵۵۸۱۷	۱۲	۰/۱۳۹
E	۴۴x۵۳	۷۵۴۰۰۸	۳۹۵۵۷۷۶	۲۰	۰/۰۹
F	۱۶۶x۵۳	۷۵۳۹۸۷	۳۹۵۵۸۳۱	۱۰	۰/۱۴۰
G	۶۳x۹	۷۵۳۹۷۰	۳۹۵۵۹۵۰	۱۵	۰/۰۲۱۶

جدول ۱- نتایج حاصل از مدل‌سازی دو بعدی

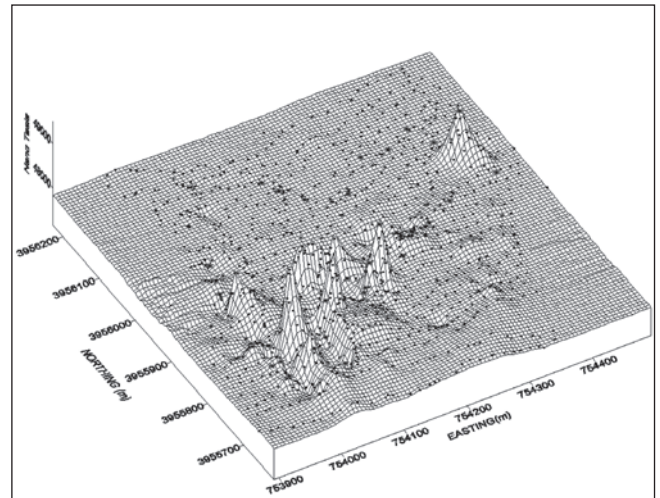
نام بی‌هنجاری	A	B	C	D	E	F	G
خطای مدل‌سازی (RMS)	۱/۹۳	۰/۸۳۲	۱/۸۶۳	۱/۶۸	۱/۷۹۸	۱/۳۹۱	۱/۹۶۱
چگالی بر حسب gr/cm3	۵	۵	۴/۸	۴/۹	۴/۸۲	۵	۵
خودپذیری مغناطیسی (c.g.s)	۰/۱۸	۰/۰۵۳	۰/۱۴۵۳	۰/۱۳۳۳	۰/۱۰۱	۰/۱۲۲۱	۰/۰۳۴۶
طول جغرافیایی (مرکز توده)	۷۵۴۴۰۲	۷۵۴۲۵۰	۷۵۴۱۵۷	۷۵۴۰۸۸	۷۵۴۰۶۵	۷۵۳۹۹۹	۷۵۳۹۹۰
عرض جغرافیایی (مرکز توده)	۳۹۵۶۵۶۰	۳۹۵۵۸۶۵	۳۹۵۵۸۸۳	۳۹۵۵۹۰۲	۳۹۵۵۷۷۰	۳۹۵۵۸۰۸	۳۹۵۵۹۹۸
ژرفای میانگین (متر)	۲۶/۱	۱۰/۸	۱۱۰	۱۷/۹	۱۶/۸	۱۴	۱۰
طول نیم‌رخ (متر)	۳۹۸	۳۶۳	۲۲۰/۱	۱۹۹/۵	۱۷۲/۶	۵۲۰	۱۷۷۲



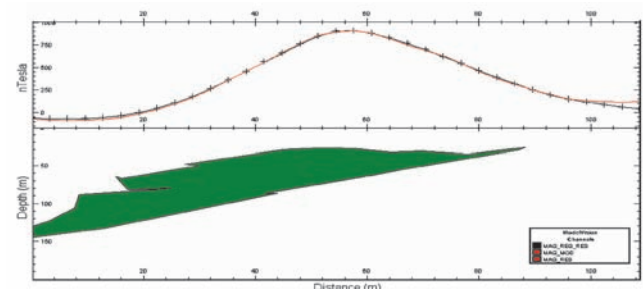
شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی ناحیه (بخشی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ جام) همراه با راهنما، منطقه مورد مطالعه با کادر مستطیلی مشخص شده است.



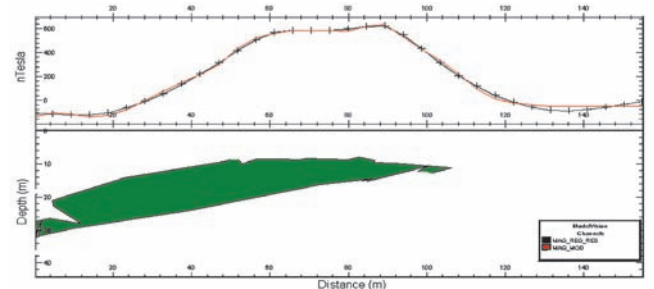
شکل ۴- نقشه بی‌هنجاری باقیمانده مغناطیسی و مقاطع انتخاب شده بر روی بی‌هنجاری‌های A, B, C, D, E, F, G



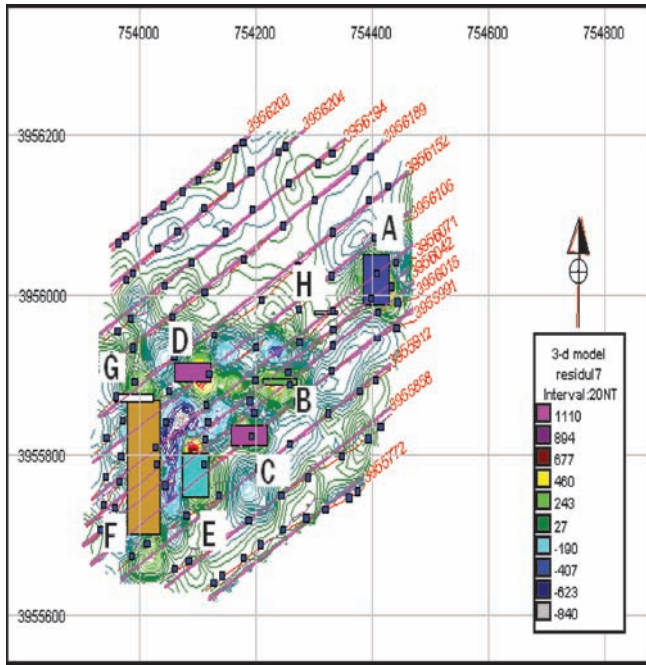
شکل ۳- نمایش سه بعدی میدان کل مغناطیسی همراه با محل برداشت داده‌ها (نقاط مشکی) و نمونه‌ها (نقاط آبی)



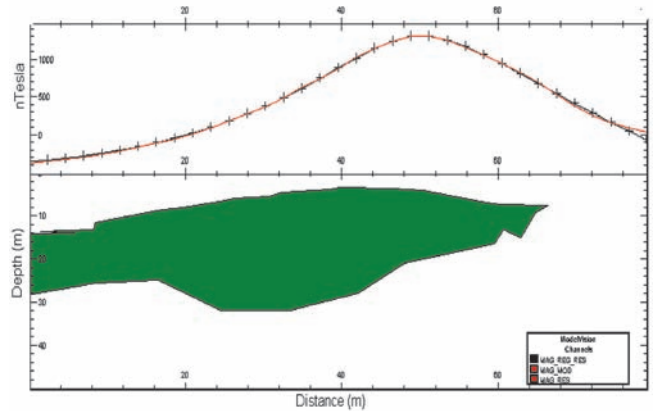
شکل ۶- مدل دو بعدی بی‌هنجاری D (RMS = 1/68) همراه با پاسخ مدل (منحنی سرخ رنگ) و داده‌های اندازه‌گیری شده (+ها)



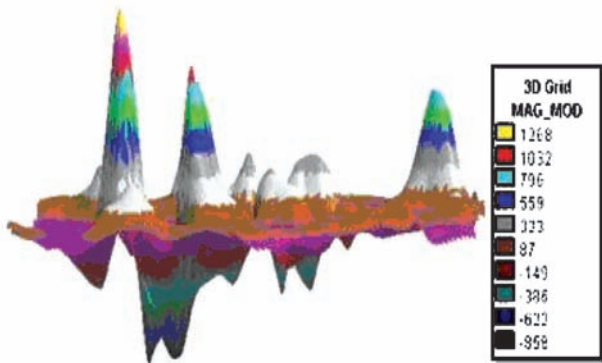
شکل ۵- مدل دو بعدی بی‌هنجاری A (RMS = 1/93) همراه با پاسخ مدل (منحنی سرخ رنگ) و داده‌های اندازه‌گیری شده (+ها)



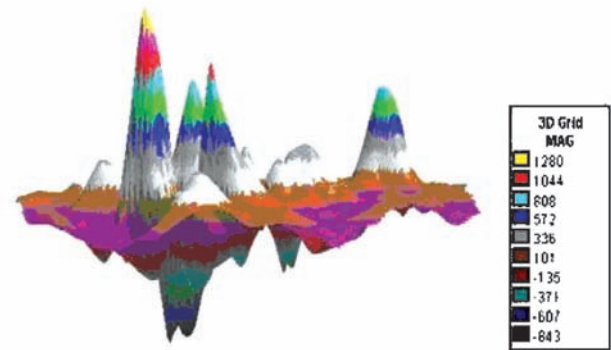
شکل ۸- مدل سه بعدی بر روی نقشه بی‌هنجاری باقیمانده مغناطیسی با مقدار خطای RMS = ۵/۲۳۱



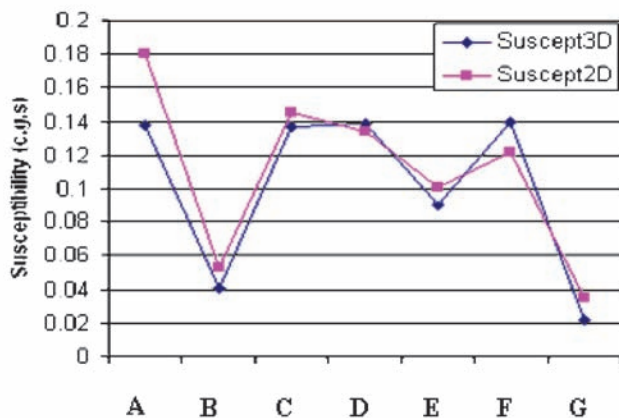
شکل ۷- مدل دو بعدی بی‌هنجاری F (RMS=۱/۳۹۱) همراه با پاسخ مدل (منحنی سرخ رنگ) و داده‌های اندازه‌گیری شده (+ها)



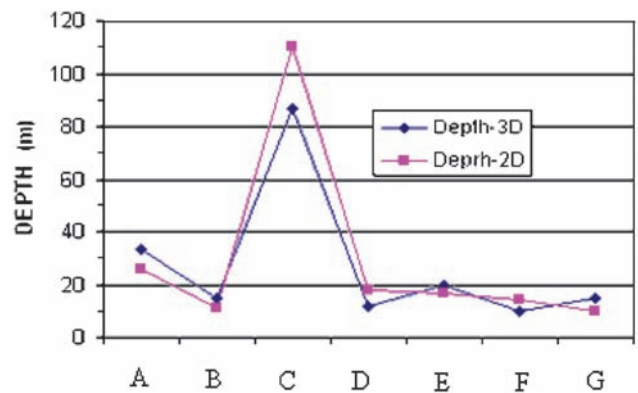
شکل ۱۰- نمای سه بعدی میدان مغناطیسی حاصل از مدل‌سازی (پاسخ مدل)



شکل ۹- نمای سه بعدی داده‌های مغناطیسی اندازه‌گیری شده



شکل ۱۲- مقایسه خودپذیری مغناطیسی حاصل از مدل‌سازی دو و سه بعدی



شکل ۱۱- مقایسه ژرفای حاصل از مدل‌سازی دو و سه بعدی

کتابنگاری

- سازمان زمین‌شناسی، ۱۳۸۴- نقشه زمین‌شناسی جام در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰.
- قربانی، م.، ۱۳۸۱- دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی اقتصادی ایران. سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی، پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور، گزارش ۲.
- مرادزاده، ع.، دولتی ارده جانی، ف.، آگاه، آ. و طباطبایی رئیسی، س. ه.، ۱۳۸۴- اکتشاف تله‌های هیدروکربوری طبس با روش جدید وارون‌سازی سه بعدی داده‌های گرانی. مجله فیزیک زمین و فضا، جلد ۳۱، شماره ۲، ص ۲۳-۳۴.
- مرادزاده، ع.، دولتی ارده جانی، ف.، ۱۳۸۵- طرح پژوهشی اکتشاف و مدل‌سازی داده‌های مغناطیسی کانسار آهن اجت‌آباد سمنان. دانشگاه صنعتی شاهرود، ۸۱ صفحه
- مرادزاده، ع.، دولتی ارده جانی، ف.، و طیبی، ب.، ۱۳۸۵- تفسیر کیفی داده‌های مغناطیسی کانسار آهن اجت‌آباد سمنان. بیست و پنجمین همایش علوم زمین، ص ۱۰۷.

References

- Belich, A.I., & Bragin, Y.D., 1993- Ore deposits of Iran (in Russian).
- Encom Technology Pty Ltd, 2003- Reference Manual of Modelvision Pro Microsoft.
- Li, Y. & Oldenburg, D.W., 1998- 3D inversion of gravity data. *Geophysics*, 63: 109-119.
- Pilkington, M., 1997- 3D magnetic imaging using conjugate gradients. *Geophysics*, 62: 1132-1142.
- Telford, W.M., Geldart, L.P. & Sheriff, R.C., 1991- Applied geophysics, 2nd edition, Cambridge University Press.