



مدل سازی معکوس داده‌های مغناطیسی معدن سنگ آهن شهرک در محدوده کرکرا یک

علی معصومی^۱، عبدالحمید انصاری^۲، ابراهیم اصلانی^۱

۱- دانشجوی دکترای اکتشاف معدن، گروه مهندسی معدن، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد
۲- دانشیار، گروه مهندسی معدن، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد

(دریافت ۱۳۹۳/۱۱/۲۷، پذیرش ۱۳۹۵/۱۲/۰۱)

چکیده

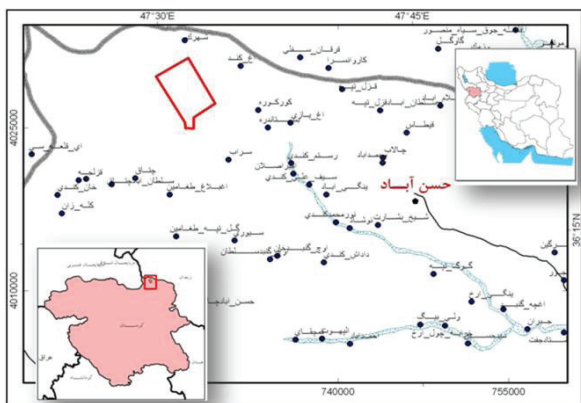
مطالعات ژئوفیزیکی یکی از مراحل اصلی اکتشاف است که باید قبل از حفاری‌های اکتشافی انجام گیرد؛ روش‌های ژئوفیزیکی بر مبنای خواص فیزیکی کانی‌ها و شرایط زمین‌شناسی آن‌ها متفاوت است. این مطالعه در محدوده کرکرا یک در معدن سنگ آهن شهرک انجام شد. معدن سنگ آهن شهرک و در مقیاس کوچکتر محدوده کرکرا یک، در شمال شرق استان کردستان و ۶۰ کیلومتری شرق تکاب واقع شده است. برای بررسی و مطالعه کانی‌سازی، مطالعات ژئوفیزیکی به روش مغناطیس‌سنجی در این منطقه انجام شد. پس از اعمال تصحیحات لازم بر روی داده‌های برداشت شده، نقشه شدت میدان مغناطیسی کل ترسیم شد. با محاسبه شدت میدان منطقه‌ای (مقدار زمین‌ه) و اعمال آن بر روی داده‌های خام، نقشه میدان باقیمانده به دست آمد. در ادامه، فیلترهای مشتق دوم قائم، گسترش به بالا در ارتفاعات مختلف، برگردان به قطب و سیگنال تحلیلی روی داده‌ها اعمال و نتایج حاصله به صورت نقشه‌های مختلف ترسیم شد و مورد بحث قرار گرفت. سپس با طراحی تعدادی پروفیل بر روی آنومالی‌ها و با استفاده از نرم افزار mag2dc مدل‌سازی معکوس بر روی این پروفیل‌ها انجام شد. از روش اوپلر نیز به منظور بررسی عمق استفاده شد. در نهایت با تلفیق کلیه اطلاعات به دست آمده و در نظر گرفتن فیلترهای اعمال شده بر روی داده‌ها، تعدادی نقطه برای انجام حفاری اکتشافی پیشنهاد شد. موقعیت حفاری‌های پیشنهادی به نحوی انتخاب شد که بیشترین احتمال برخورد به ماده معدنی را داشته باشد.

کلمات کلیدی

مغناطیس‌سنجی، مدل‌سازی معکوس، سنگ آهن شهرک، کرکرا یک، حفاری.

۱- مقدمه

قرار دارد، در بین طول های $۴۷^{\circ}۲۰'۳۰''$ تا $۴۷^{\circ}۲۰'۳۴''$ شرقی و عرض های $۳۶^{\circ}۰۰'۲۰''$ تا $۳۶^{\circ}۰۰'۲۵''$ شمالی جای گرفته است. در این مطالعه به بررسی و مدل سازی آنومالی کرکرا یک پرداخته شد. در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه آورده شده است.



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه

۲-۱- زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در برکه $۱:۱۰۰,۰۰۰$ قجور در چهارگوش $۱:۲۵۰,۰۰۰$ تکاب واقع است. این منطقه از دیدگاه ساختاری و طبق تقسیم بندی نبوی (۱۳۵۵)، در پهنه البرز- آذربایجان و طبق تقسیم بندی بربریان (۱۹۸۱)، در مرز زون سنندج- سیرجان و ایران مرکزی (کمر بند آتشفشانی ارومیه- دختر) جای گرفته است. سنگ های این منطقه بیشتر از دگرگونه های اسلیتی- فیلیتی و به مقدار کم از اکتینولیت شیبست های کرتاسه و واحدهای گوناگون سازند قم شامل مارن و سنگ آهک به همراه سنگ های آذرین و مارن های پلیوسن تشکیل شده است. توده های نفوذی گرانیتی و گرانودیوریتی تا دیوریتی دوران سوم نیز در چندین نقطه دگرگونه های کرتاسه و سازند قم را قطع کرده اند [۳].

۲-۱-۱- واحد دیوریت-گرانودیوریت

این واحد در گستره ای به نسبت پهناور در مرز غربی نقشه در جنوب روستای شهرک در میان ماسه سنگ های ائوسن و آهک های مربوط به سازند قم نفوذ کرده است. این رو سن واحد به پس از الیگوسن- میوسن نسبت داده شده است. آپوفیزهای به نسبت بزرگ و کوچک دیگری نیز در بخش های مرکزی منطقه از جمله شمال غرب قیطاس و پیرامون روستاهای آزادویس در درون دگرگونه های کرتاسه

اکتشافات ژئوفیزیکی یکی از مهم ترین روش های اکتشاف مواد معدنی و آب های زیرزمینی است. در اکتشافات ژئوفیزیکی، خواص فیزیکی زمین با ابزارهای ویژه اندازه گیری شده و با تفسیر نتایج حاصله، شرایط زیر زمین استنتاج می شود. خواص از سنگ ها که در اکتشافات ژئوفیزیکی سنجیده می شوند، معمولاً شامل: کشسانی، هدایت الکتریکی، هدایت حرارتی، چگالی، خاصیت مغناطیسی و رادیواکتیویته است [۱].

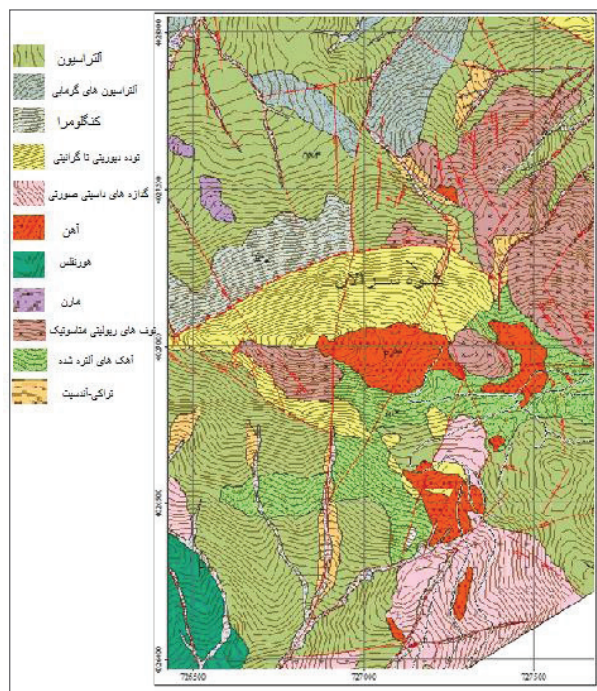
برداشت داده های مغناطیسی به طور مستقیم برای مشخص کردن توده های با خاصیت مغناطیسی بالا مانند کانسارهای آهن و به طور غیرمستقیم برای اکتشاف هاله های اطراف کانسارها (مانند کانسارهای سولفیدی) مورد استفاده قرار می گیرد. با این وجود تفسیر و پردازش داده های حاصل از برداشت های مغناطیسی مهم است. این روش به صورت زمینی و هوایی برای کشف توده های معدنی، ساختارهای زمین شناسی، حوزه های رسوبی و نظایر آن انجام می گیرد. از مزیت های برداشت های مغناطیسی نسبت به سایر روش های ژئوفیزیکی، می توان به سهولت برداشت و هزینه پایین تر آن اشاره کرد [۲].

در استفاده از این روش در سال ۲۰۱۳، ریبریو و همکاران در سائو خوزه در ماتو گروسو برزیل اقدام به مدل سازی سه بعدی داده های مغناطیسی به روش وارون سازی داده ها کردند و مدل توده های معدنی منطقه آنومالی را مشخص کردند. همچنین در مقاله ای که ژیانگ ژو و همکاران در سال ۲۰۱۴ به چاپ رساندند با استفاده از روش مغناطیس سنجی و مدل سازی دو بعدی داده های مغناطیسی اقدام به پیدا کردن خط لوله های فرومغناطیس کردند و به صورت موفقیت آمیزی به کشف این لوله ها پرداختند. در ایران نیز عابدی و همکاران در سال ۲۰۱۳ با استفاده از روش Lanczos bidiagonalization به مدل سازی معکوس سریع داده های مغناطیس پرداختند. در این تحقیق با انجام فیلترهای مناسب بر روی داده های مغناطیس سنجی، محل آنومالی مشخص و اقدام به مدل سازی معکوس دوبعدی داده ها شده است.

۲- منطقه مورد مطالعه

معدن سنگ آهن شهرک در شمال شرق استان کردستان و ۶۰ کیلومتری شرق تکاب واقع شده است. این معدن که در نمای نزدیک تر به فاصله ۱۰۰ کیلومتری شمال شهر بیجار و ۴ کیلومتری جنوب روستای شهرک از توابع حسن آباد یاسو کند

مدل های ژنتیکی ارایه شده برای این کانسار باید گفت نمونه آشکار کانی سازی آهن در میوسن زیرین- میانی با دو منشا آتشفشانی و اسکارنی است. در مورد منشا کانی سازی اسکارنی منطقه باید گفت این کانی سازی که اصلی ترین ارتباط ژنتیکی را با محدوده های کانهدار به ویژه در قسمت های عمقی دارد، خود به دو دسته کانی سازی مرتبط با اسکارن های کلسیک و منیزیم دار قابل تقسیم است. ن- خوئی با ارایه دلایلی همچون وجود کریستال های زونه و ایدومورف مگنتیت و آشکار بودن لایه بندی اولیه در سنگ های آهکی همبر آهن، معدن شهرک را یک کانسار متاسوماتیک می داند. همچنین، در محدوده مورد بررسی ذخیره های احتمالی از سنگ آهن در شمال روستای آق کند و غرب شاه نشین به عنوان اندیس معرفی شده است. در شکل ۲ نقشه زمین شناسی ۱:۵۰۰۰ محدوده معدنی کرکرا یک ارایه شده است [۴].



شکل ۲: نقشه زمین شناسی ۱:۵۰۰۰ محدوده معدنی کرکرا یک

۳- عملیات مغناطیس سنجی بر روی منطقه مورد مطالعه

عملیات مغناطیس سنجی در منطقه مورد مطالعه در مهر ماه سال ۱۳۹۲ انجام گرفت و تعداد ۲۱۲۵ نقطه بر روی پروفیل های نشان داده شده در (شکل ۳)، برداشت شد. فاصله پروفیل ها در بخش های مختلف منطقه متفاوت و بسته به میزان تغییرات میدان مغناطیسی و نیز نزدیکی به رخنمون های سنگ آهن تغییر کرده است. روندهای عمومی

نفوذ کرده اند. مطالعه پتروگرافی بر روی بخشی از سنگ های این واحد نام گرانیت-گرانودیوریت تا مونزودیوریت را برای این توده نفوذی مشخص نموده است [۳].

۲-۱-۲- کانسنگ آهن

در کنار توده اصلی واحد دیوریت-گرانودیوریت بخش زیادی از آهن موجود در ماگما به صورت مجزا در جنوب شهرک از توده نفوذی جدا شده به طوری که بر روی نقشه زمین شناسی به عنوان یک بخش مستقل با عنوان آهن تفکیک شده است. در بخش هایی که این واحد با آهک سازند قم همبری دارد، اسکارن پدیدار شده است. نتایج تجزیه شیمیایی بر روی نمونه هایی از این واحد خلوصی به نسبت بالا (بین ۶۰ تا ۶۸ درصد) را از نظر میزان آهن نشان می دهد [۳].

بر پایه بررسی های صحرائی و مطالعات سنگ شناختی می توان گفت که اصلی ترین واحدهای سنگ چینه ای رخنمون یافته در این منطقه واحدهای ولکانوسدیمنت و سنگ های دگرگونی درجه ضعیف ناحیه ای هستند که در بخش های مرکزی و غربی محدوده بیشترین رخنمون را دارند. کلیه این واحدها با توده نفوذی بزرگی با ترکیب دیوریتی، به ویژه در بخش های جنوبی و شرقی مورد نفوذ قرار گرفته اند. واحدهای متاسوماتیسم شده اسکارنی و بخش های کانی سازی در این محدوده نیز در قسمت های مختلفی از شمال شرق تا جنوب منطقه پراکنده اند. کانی سازی در معدن شهرک شامل محدوده های شهرک ۱، ۲ و ۳؛ کرکرا یک و ۲ و همچنین کانی سازی های چشمه و سراب به همراه گل زر و آی قالاسی است. در محدوده معدنی شهرک و در داخل واحدهای سنگ چینه ای آن، دگرسانی های مختلفی مانند آرژلیک، پروپلیتیک، سیلیسی و کربناتی مشاهده می شود که در برخی نمونه ها شدت دگرسانی زیاد است. واحدهای ولکانیکی کرتاسه و همچنین تا حدودی واحدهای پیروکلاستیک و ولکانیک میوسن منطقه دگرسانی های پروپلیتیک به ویژه کلریتی و واحدهای توفی کالک سیلیکاته و آهکی الیگومیوسن نیز دگرسانی های مرتبط با اسکارنی شدن را نشان می دهند. کانه اصلی در محدوده مورد مطالعه شامل کانی مگنتیت است که در برخی قسمت ها با مقادیر محدودتری از پیریت، کالکوپیریت، مارکازیت و کانی های ثانویه آهن همراه می شود. کانه زایی در این منطقه به طور کلی به دو صورت لایه ای و توده ای تا رگه ای تشکیل شده است. بر اساس مطالعات انجام گرفته بر روی منطقه مورد مطالعه و بررسی نظریات و

عملیات مگنتومتري در منطقه است. علاوه بر این روندی که در افزایش و کاهش میدان در طول روزهای مختلف به چشم می‌خورد در تمام روزهای برداشت شده به یکدیگر شبیه است.

۴- تعبیر و تفسیر داده‌ها

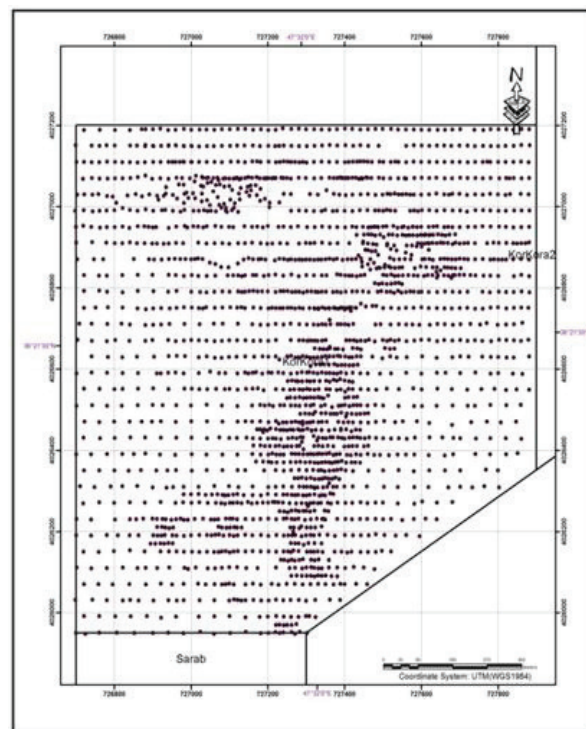
دستیابی به تفسیر به عوامل زیادی مربوط است که زمین‌شناسی و مقیاس برداشت از مهم‌ترین آن‌ها به شمار می‌رود. برای محاسبه کمی و کیفی ناهنجاری‌ها، لازم است فرضیه‌های ساده‌ای در مورد منبع آن‌ها وضع شود، چرا که دانستنی‌ها در مورد زمین‌شناسی آن‌ها، موقعیت ماده معدنی و پدیده‌های ساختاری بسیار اندک است [۵].

بدین منظور فیلترهایی بر روی داده‌های برداشت شده اعمال می‌شود تا بتوان با کمترین خطای ممکن به نتایج مطلوب دست یافت. البته هیچ کدام از این عملیات فیلتر کردن به طور کامل آنومالی‌های مطلوب را از غیر مطلوب جدا نمی‌کند. به منظور بررسی دقیق‌تر نقشه‌های ژئوفیزیکی و تعبیر و تفسیر نتایج حاصله، اقدام به اعمال فیلترهای مختلف بر روی داده‌ها و ترسیم نقشه‌های حاصله در منطقه مورد مطالعه شد. در بخش‌های بعد به شرح مراحل انجام کار و بررسی نتایج به دست آمده پرداخته می‌شود [۶].

۴-۱- نقشه شدت میدان مغناطیسی کل کرکرا یک

شدت میدان مغناطیسی کل در محدوده کرکرا یک در شکل ۴ نمایش داده شده است. اختلاف میدان در این محدوده بسیار زیاد و از حداقل ۳۵۷۳۸ تا حداکثر ۶۶۲۲۱ گاما در تغییر است. با توجه به نقشه شدت میدان مغناطیسی کل، مقادیر بالای میدان مغناطیسی کل به صورت نواری در امتداد شمال شرق - جنوب غرب کشیده شده است. قطب منفی معادل آن‌ها بسیار ضعیف‌تر از قطب مثبت است که علت آن را می‌توان به شیب تند ماده معدنی نسبت داد. نکته مهم در خصوص آنومالی‌های این منطقه عدم پیوستگی بین آنها است. جدا بودن این آنومالی‌ها می‌تواند به علت یکپارچه نبودن کانی‌سازی و یا وجود گسل‌های فراوان در منطقه باشد. به همین دلیل لازم است با انجام پردازش‌های بیشتر بر روی این نقشه به بررسی موضوع پرداخت.

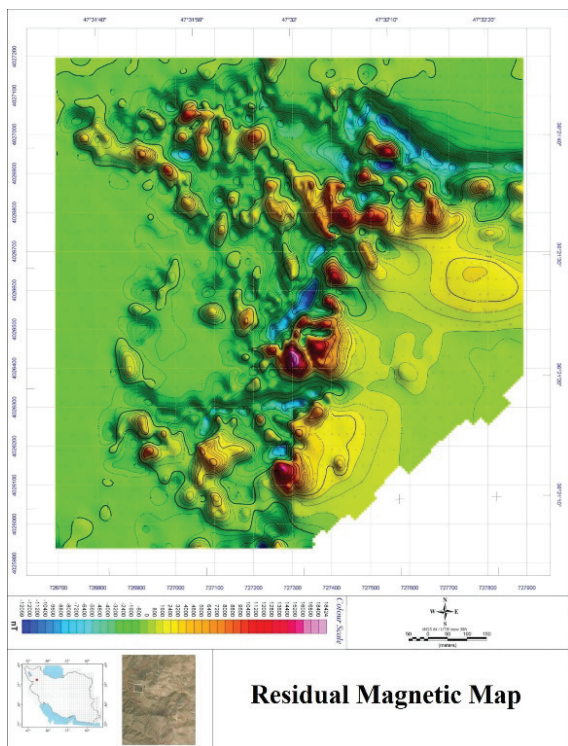
منطقه و شکل آبراهه‌ها و توپوگرافی، باعث طراحی شبکه‌ای به ابعاد ۲۰ در ۴۰ متر در امتداد شرقی- غربی شد. بدین معنی که پروفیل‌هایی به فاصله ۴۰ متر در امتداد شرقی- غربی و نقاطی به فاصله ۲۰ متر بر روی آن‌ها برداشت شد. در مناطقی که تغییرات میدان مغناطیسی شدید بوده و نیز در نزدیکی رخنمون‌های ماده معدنی، ابعاد شبکه برداشت به نصف کاهش یافت، بنابراین در کل محدوده فاصله پروفیل‌ها بین ۲۰ تا ۴۰ متر و فاصله نقاط برداشت بر روی هر پروفیل بین ۱۰ تا ۲۰ متر در تغییر است.



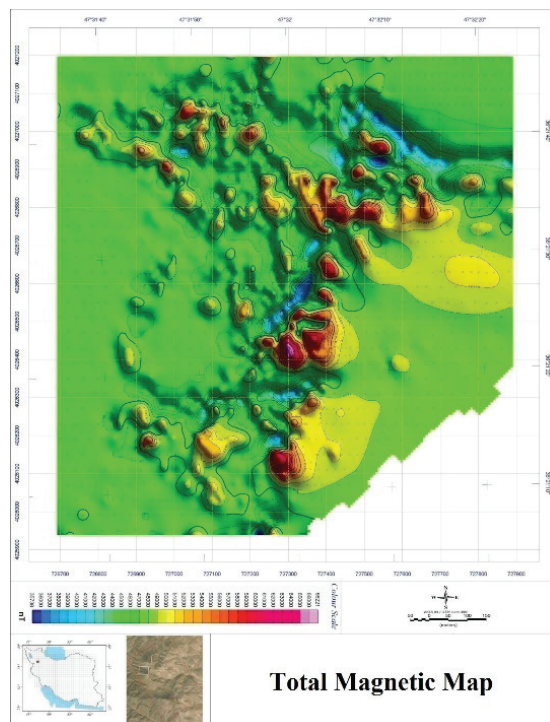
شکل ۳: موقعیت ایستگاه‌های برداشت

۳-۱- تصحیحات روزانه

به منظور ثبت تغییرات روزانه در منطقه شهرک، نقطه مشخصی خارج از محدوده مورد مطالعه در نظر گرفته شد و به ازای هر دو ساعت یک قرائت در آن نقطه انجام گرفت. این فرآیند در تمام طول برداشت در منطقه انجام شد. خوشبختانه در تمام مدت برداشت‌های صحرایی هیچ گونه اغتشاشی در میدان مغناطیسی رخ نداد و تغییرات میدان در طول روز کاملاً آرام و یکنواخت بود. حداکثر تغییر میدان در طول روز حدود ۴۵ گاما است که این عدد در مقایسه با تغییرات چند صد گاما که در آنومالی‌های منطقه مشاهده می‌شود بسیار ناچیز است و این دال بر عدم رخداد هرگونه آشفتگی در مدت زمان انجام



شکل ۵: نقشه شدت میدان باقیمانده در محدوده کرکرا یک



شکل ۴: نقشه شدت میدان مغناطیسی کل در محدوده کرکرا یک

۲-۴- تعیین شدت میدان منطقه‌ای و محاسبه مقدار باقیمانده کرکرا یک

تعداد دوقطبی‌های این محدوده زیاد و ابعاد آن‌ها کم است. کانی‌سازی در این محدوده به صورت پراکنده است. امتداد زون اصلی، شمال شرق - جنوب غرب است که با حرکت به اطراف از شدت و تعداد آنومالی‌ها کاسته می‌شود.

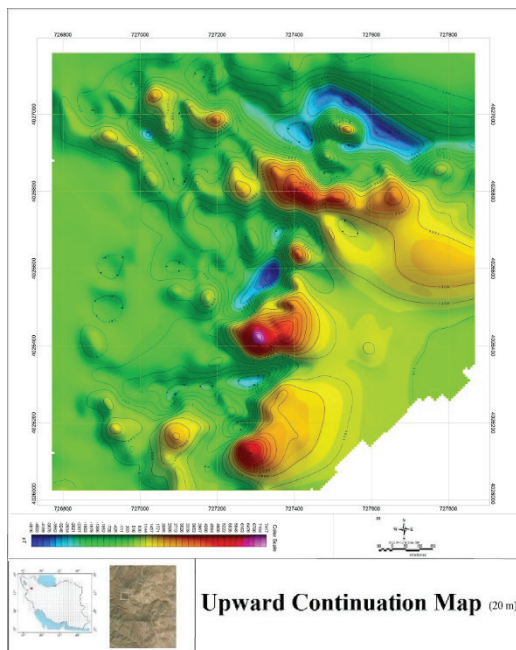
۳-۴- مشتقات قائم میدان مغناطیسی کرکرا یک

نقشه حاصل از اعمال فیلتر مشتق دوم در منطقه کرکرا یک در شکل ۶ نشان داده شده است. از این فیلتر برای بارزسازی آنومالی‌های سطحی استفاده می‌شود [۷]. در امتداد شمال غرب- جنوب شرق که در نقشه میدان مغناطیسی کل آنومالی ژئوفیزیک مشاهده می‌شود، در اینجا نیز بیشترین مقدار میدان وجود دارد؛ بنابراین احتمال وجود رخنمون‌هایی از ماده معدنی در این محدوده زیاد است. در شمال غرب محدوده نیز مقدار مشتق دوم افزایش یافته است که احتمال گسترش ماده معدنی در نزدیکی سطح زمین وجود دارد.

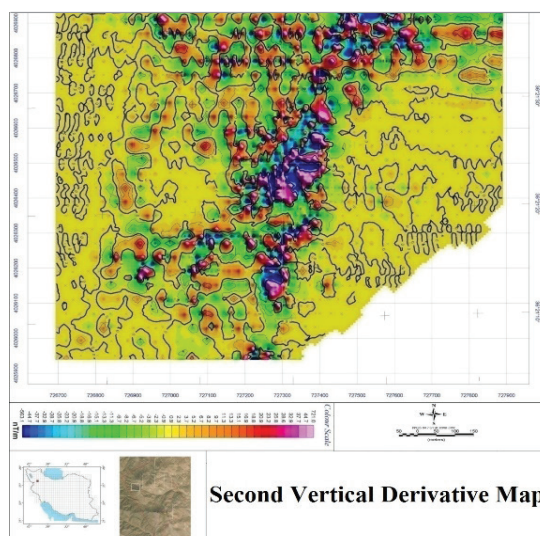
میدان منطقه‌ای (زمینه) برای محدوده مورد مطالعه، با استفاده از میانگین کل داده‌ها یا مقدار میانه که کمتر تحت تاثیر عوامل حاشیه‌ای باشد و مقدار به دست آمده از IGRF محاسبه شد که نتیجه آن در جدول ۱ ارایه شده است. مقدار IGRF بین مقدار میانگین و میانه داده‌ها است. همچنین اختلاف میدان در این سه عدد بسیار اندک است. به همین دلیل مقدار IGRF به عنوان مقدار منطقه‌ای در نظر گرفته شد و با کسر آن از کلیه داده‌ها، نقشه آنومالی باقیمانده رسم شد. نقشه شدت میدان باقیمانده در منطقه مورد مطالعه در شکل ۵ ارایه شده است. در این نقشه آنومالی‌های موجود در منطقه با وضوح بیشتری مشخص شده‌اند. حداقل میدان مغناطیسی در این نقشه با مقدار میدان ۱۲۰۵۹- گاما و حداکثر میدان با مقدار ۱۸۴۲۴ گاما مشاهده می‌شود که این اختلاف ناشی از وجود دوقطبی‌های مغناطیسی است.

جدول ۱: میانگین، میانه و IGRF داده‌های مغناطیسی

میانگین کل داده‌ها	میانه کل داده‌ها	شدت بدست آمده از IGRF
۴۷۸۳۲ nT	۴۷۶۵۱ nT	۴۷۷۹۷ nT



شکل ۷: نقشه گسترش به بالا در ارتفاع ۲۰ متری در منطقه کرکرا یک

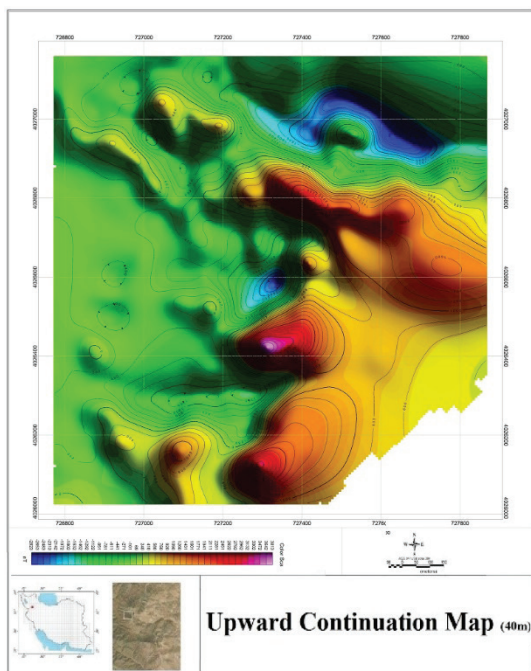


شکل ۶: نقشه مشتق قائم میدان مغناطیسی محدوده کرکرا

۴-۴- گسترش به بالای داده‌های مغناطیسی کرکرا یک

فیلتر گسترش به بالا بر روی داده‌های منطقه مورد مطالعه در افق‌های مختلف اعمال شد تا نحوه گسترش عمقی کانی‌سازی، دایک‌ها، گسل‌ها و سنگ بستر به صورت واضح‌تری مشخص شود. در کانسار سنگ آهن کرکرا یک این فیلتر در افق‌های ۲۰، ۴۰ و ۱۰۰ متر بر روی داده‌های شدت میدان مغناطیسی کل اعمال شد که نقشه‌های حاصله در شکل‌های ۷ تا ۹ ارایه شده است.

همان‌گونه که در نقشه گسترش به بالا در ارتفاع ۲۰ متری (شکل ۷) ملاحظه می‌شود، بخشی از آنومالی‌های موجود در نقشه شدت میدان مغناطیسی کل از بین رفته‌اند و تعدادی از آن‌ها که ابعاد بزرگتری داشتند، هنوز حضور دارند. آنومالی‌های موجود در شمال غرب محدوده بسیار ضعیف شده است. به طور کلی بیشترین مقدار آنومالی‌ها در امتداد شمال شرق- جنوب غرب کشیده شده است اما به لحاظ شدت میدان مغناطیسی، کاهش زیادی در آن‌ها انجام گرفته است. اختلاف میدان مغناطیسی در این نقشه به حدود ۱۲۵۰۰ گاما رسیده است، بنابراین بخش زیادی از آنومالی‌های این منطقه سطحی بوده‌اند که با اعمال این فیلتر از بین رفته‌اند. در نقشه گسترش به بالا در ارتفاع ۴۰ متری (شکل ۸) تمامی آنومالی‌های شمال غرب و غرب محدوده کاملاً ضعیف و تعداد زیادی از آن‌ها محو شده‌اند، بنابراین منشأ این آنومالی‌ها نزدیک به سطح زمین بوده است. آنومالی بزرگ موجود در مرکز نیز ضعیف‌تر شده است اما گسترش آن به سمت شرق کاملاً مشخص است،

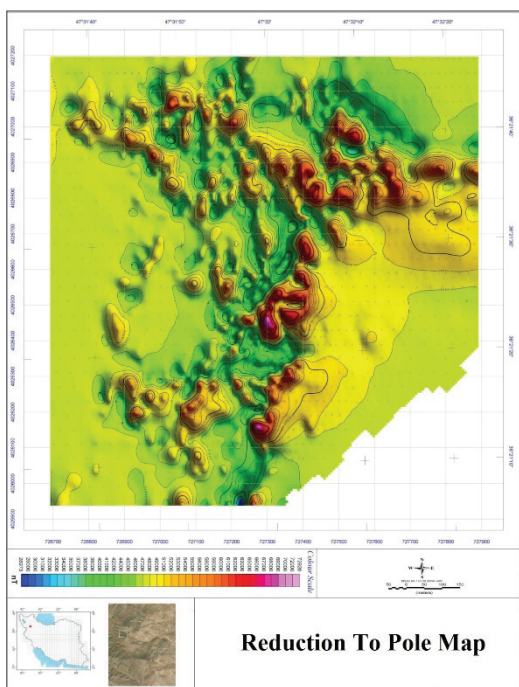


شکل ۸: نقشه گسترش به بالا در ارتفاع ۴۰ متری در منطقه کرکرا یک

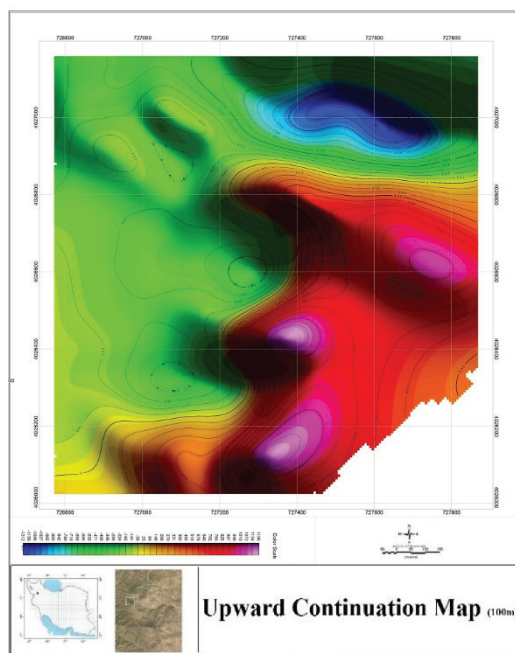
بنابراین می‌توان چنین استنباط کرد که کانی‌سازی در این محدوده با افزایش عمق، به سمت شرق کشیده شده است. به عبارت دیگر شیب ماده معدنی به سمت شرق است. در نقشه گسترش به بالا در ارتفاع ۱۰۰ متری (شکل ۹) وضعیتی مشابه نقشه قبل حاکم است با این تفاوت که هیچ آنومالی مغناطیسی

که در نقشه شدت میدان مغناطیسی کل وجود داشتند، با کمی جابه جایی به روی منشأ به وجود آورنده خود منتقل شده اند. به کمک این نقشه می توان به مرز بین ماده معدنی و باطله پی برد. در خصوص آنومالی بزرگی که در مرکز محدوده دیده می شود مرز بین کانی سازی و سنگ مادر به وضوح مشخص شده است.

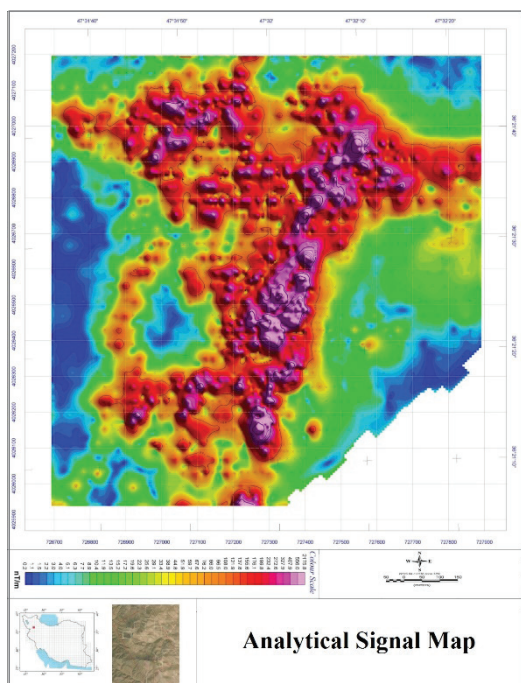
در شمال غرب محدوده وجود ندارد. آنومالی موجود در مرکز نیز با همان امتداد شمال شرق - جنوب غرب دیده می شود اما به لحاظ شدت میدان مغناطیسی بسیار ضعیف شده است و کشیدگی آن به سمت شرق ادامه دارد، بنابراین می توان انتظار داشت در اعماق زیاد نیز کانی سازی آهن وجود داشته باشد که این موضوع باید با انجام حفاری اکتشافی بررسی شود.



شکل ۱۰: نقشه برگردان به قطب در منطقه کرکرا یک



شکل ۹: نقشه گسترش به بالا در ارتفاع ۱۰۰ متری در منطقه کرکرا یک



شکل ۱۱: نقشه سیگنال تحلیلی در منطقه کرکرا یک

۴-۵- برگردان به قطب داده های مغناطیسی کرکرا یک

فیلتر برگردان به قطب بر روی داده های محدوده کرکرا یک اعمال شد که نقشه آن در شکل ۱۰ ارائه شده است. پس از اعمال این فیلتر بخشی از دوقطبی های مغناطیسی موجود در مرکز و شمال غرب این محدوده تبدیل به تک قطبی شده اند اما تعدادی از آنها نیز کماکان به صورت دوقطبی باقی مانده اند. علت این امر را می توان حضور میدان مغناطیسی بازماند در آنومالی های این محدوده دانست. چند آنومالی ضعیف که در شمال شرق محدوده وجود داشتند تبدیل به یک قطبی شده اند و بر اهمیت آنها افزوده شده است، بنابراین به کمک این نقشه می توان به محل واقعی کانی سازی پی برد و این نقشه راهنمای خوبی در ادامه کار اکتشاف است.

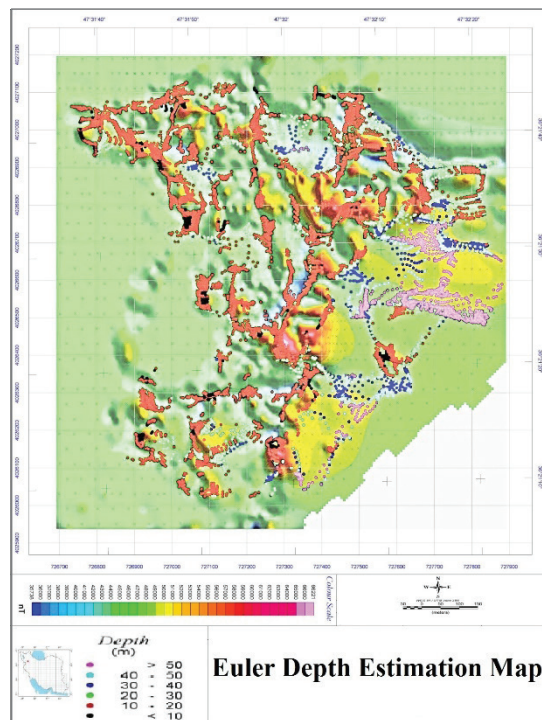
۴-۶- سیگنال تحلیلی کرکرا یک

نقشه سیگنال تحلیلی در منطقه کرکرا یک در شکل ۱۱ نشان داده شده است. همانگونه که ملاحظه می شود آنومالی هایی

۵- مدل سازی کانسار کرکرا یک

۱-۵- روش اویلر

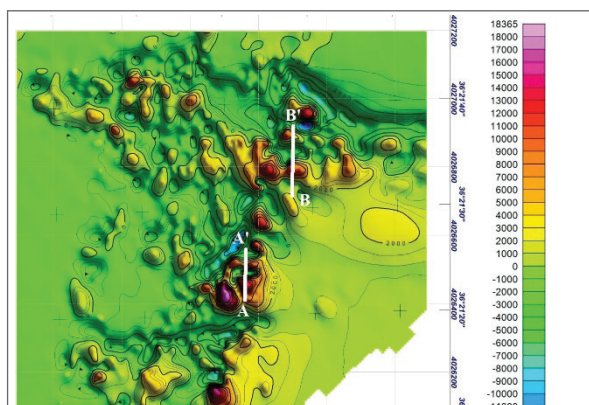
از روش اویلر برای تعیین عمق کانی سازی در هر نقطه استفاده می شود [۸]. روش اویلر یکی از روش های قابل استفاده به منظور تعیین عمق تقریبی آنومالی های مغناطیسی است. این فیلتر بر روی داده های مغناطیس کل منطقه اعمال و پاسخ آن به صورت نقشه شکل ۱۲ نشان داده شده است. در این نقشه، هر دایره محل و عمق منشا در هر یک از پنجره ها را نشان می دهد. رنگ هر دایره معرف عمق حدودی آنومالی در آن نقطه است. عمق چشمه های مسبب در این منطقه عموماً سطحی است. میانگین عمق تخمین زده شده با استفاده از این روش در بیشتر نقاط بین ده تا بیست متر بوده است. در بین نقاط تخمین زده شده برخی حتی زیر ده متر هم تخمین زده شده است که همه این موارد نشان دهنده عمق کم کانی سازی است، همچنین در بعضی نقاط عمق های بین بیست تا سی متر و تعدادی از نقاط نیز در عمق های بیشتر به عنوان عمق کانی سازی تخمین زده شده است. بر این اساس می توان گفت که روند کانی سازی به طور خیلی ملایمی به سمت شرق است. نکته ای که باید مد نظر داشت این است که آنومالی ها به حالت پراکنده و مجزا در سطح هستند و این امکان وجود دارد که در عمق نیز این روند ادامه داشته باشد.



شکل ۱۲: نقشه تعیین عمق اویلر در منطقه کرکرا یک

۲-۵- روش مدل سازی معکوس

مدل سازی معکوس داده ها روشی مناسب برای شبیه سازی آنومالی های مغناطیس سنجی برای پی بردن به شکل کانسار به حساب می آید [۹]. روش مدل سازی معکوس راهکاری مناسب به منظور تعیین شکل تقریبی توده کانی سازی در یک مقطع انتخابی است. در محدوده مورد مطالعه، فرآیند مدل سازی معکوس در امتداد دو پروفیل انجام گرفت. مختصات ابتدا و انتهای این پروفیل ها در جدول ۲ ارایه شده است و همچنین موقعیت پروفیل های فوق بر روی نقشه شدت میدان مغناطیسی باقیمانده نشان داده شده است (شکل ۱۳).



شکل ۱۳: موقعیت پروفیل های طراحی شده کرکرا یک بر روی نقشه شدت میدان مغناطیسی باقیمانده

جدول ۲: مختصات ابتدا و انتهای پروفیل های مدل سازی کرکرا یک

نام پروفیل	مختصات ابتدا		مختصات انتها	
	X	Y	X	Y
AA'	۷۲۷۳۶۳	۴۰۲۶۴۱۰	۷۲۷۳۶۳	۴۰۲۶۵۵۷
BB'	۷۲۷۵۰۰	۴۰۲۶۷۱۵	۷۲۷۵۰۰	۴۰۲۶۹۲۱

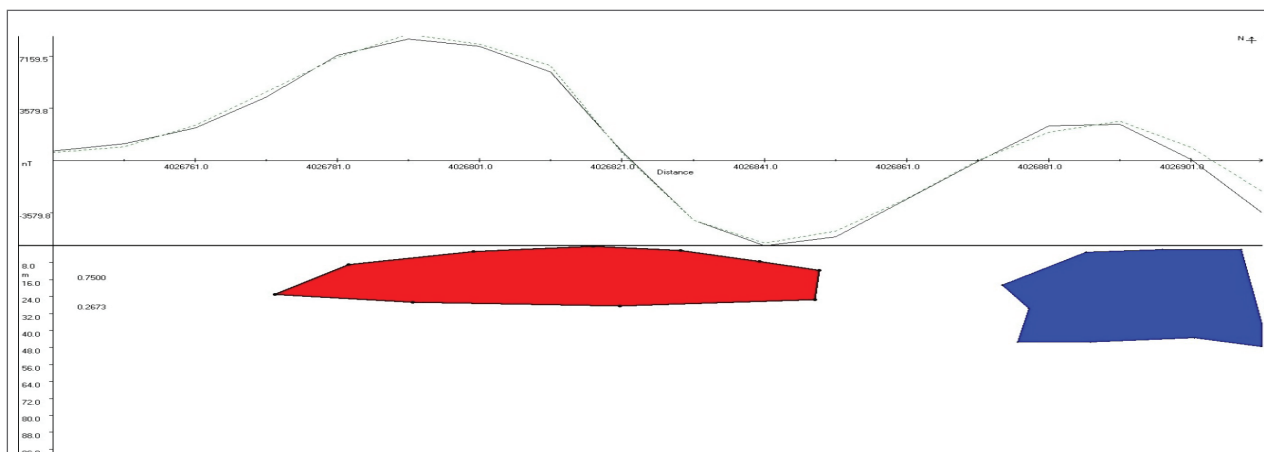
پروفیل AA'

مدل سازی معکوس بر روی پروفیل AA' انجام شد که پاسخ به دست آمده در شکل ۱۴ دیده می شود. همان گونه که ملاحظه می شود در اینجا کانی سازی فرضی به صورت دو بخش مجزا از هم است. طول ماده معدنی احتمالی در این پروفیل زیاد اما ضخامت آن کم است، بنابراین انتظار ذخیره بزرگی از سنگ آهن در این محدوده وجود ندارد. خودپذیری مغناطیسی این توده، مقدار متوسطی است، بنابراین کانی سازی آهن عیار متوسط دارد.

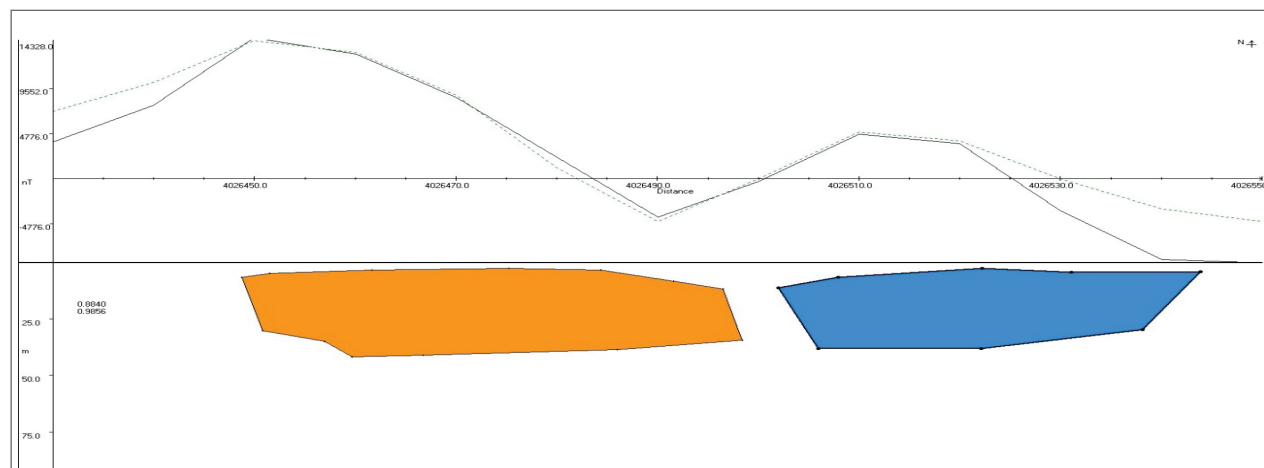
استفاده شده است. این نوع مدل سازی به دلیل سادگی از دیرباز در تحلیل های گرانی سنجی و مغناطیس سنجی مورد استفاده قرار گرفته است. فرض اصلی در آن این است که کشیدگی منشاهای مورد بررسی در یک جهت خیلی بیشتر از جهت دیگر است که این هر ساختار کشیده ای در زمین شناسی مانند دایک ها، گسل ها و نظایر آن را شامل می شود. در این نوع ساختارها میتوان فرض کرد که در راستای امتداد جنس توده یکنواخت باقی می ماند (منشاهای 2D). برای حل مشکل فوق اصلاحاتی به این روش انجام شده و دیگر نیازی به کشیدگی خیلی زیاد در یک راستا نسبت به راستای دیگر

پروفیل BB'

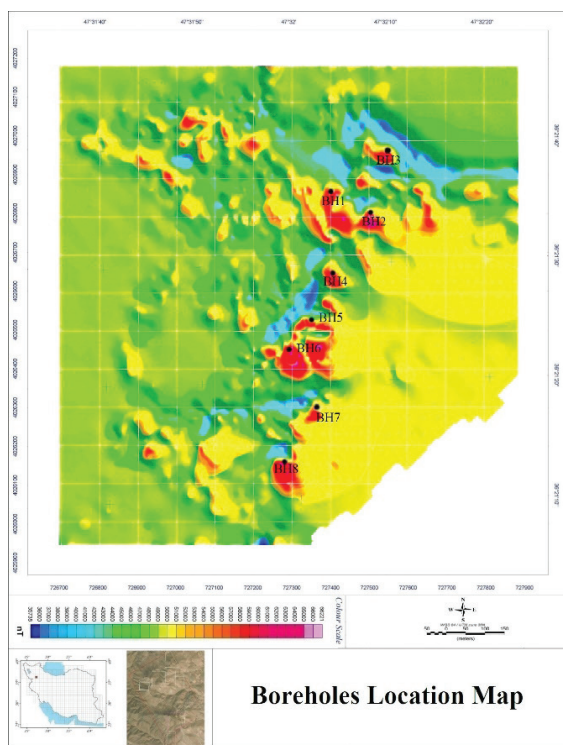
پس از اعمال مدل سازی بر روی پروفیل BB' و با بررسی نتایج، مشخص شد که در این پروفیل نیز وضعیتی مشابه پروفیل AA' حاکم است. در اینجا کانی سازی احتمالی از عرض جغرافیایی حدود ۴۰۲۶۴۰۰ شروع شده به سمت شمال و با طول حدود ۱۵۰ متر ادامه دارد. در این پروفیل نیز کانی سازی به صورت پیوسته نیست. علاوه بر این ضخامت آن اندک است به همین دلیل نمی توان ذخیره زیادی برای این بخش از کانسار در نظر گرفت (شکل ۱۵). در این مطالعه از روش مدل سازی 2D و 2.5D تالوانی



شکل ۱۴: مدل سازی معکوس بر روی پروفیل AA'



شکل ۱۵: مدل سازی معکوس بر روی پروفیل BB'



جدول ۳: مختصات گمانه‌های پیشنهادی در محدوده کرکرا یک

ردیف	شماره گمانه	X	Y	عمق (متر)	شیب (درجه)	آزموت
۱	BH1	۷۲۷۴۰۲	۴۰۲۶۸۶۵	۱۰۰	۹۰	-
۲	BH2	۷۲۷۵۰۴	۴۰۲۶۸۰۹	۱۰۰	۹۰	-
۳	BH3	۷۲۷۵۴۸	۴۰۲۶۹۷۱	۱۰۰	۹۰	-
۴	BH4	۷۲۷۴۰۷	۴۰۲۶۶۵۱	۱۰۰	۹۰	-
۵	BH5	۷۲۷۳۵۲	۴۰۲۶۵۲۸	۱۰۰	۹۰	-
۶	BH6	۷۲۷۲۹۲	۴۰۲۶۴۵۱	۱۰۰	۹۰	-
۷	BH7	۷۲۷۳۶۴	۴۰۲۶۲۹۹	۱۰۰	۹۰	-
۸	BH8	۷۲۷۲۸۱	۴۰۲۶۱۵۶	۱۰۰	۹۰	-

شکل ۱۶: موقعیت گمانه‌های پیشنهادی بر روی نقشه میدان کل

مغناطیسی کل به صورت نواری در امتداد شمال شرق - جنوب غرب کشیده شده است. نکته مهم در خصوص آنومالی‌های این منطقه عدم پیوستگی بین آن‌ها است. جدا بودن این آنومالی‌ها می‌تواند به علت یکپارچه نبودن کانی‌سازی و یا وجود گسل‌های فراوان در منطقه باشد. با اعمال فیلتر برگردان به قطب و سیگنال تحلیلی و ترسیم نقشه‌های حاصله، محل واقعی آنومالی مشخص و اقدام به ترسیم تعدادی پروفیل، عمود بر امتداد آن شد. در مدل‌سازی‌های انجام گرفته، توده‌هایی با خاصیت خودپذیری مغناطیسی بالا و با اشکال مختلف شناسایی شد. با تلفیق کلیه نقشه‌های حاصله و مدل‌سازی‌های انجام شده اقدام به پیشنهاد تعدادی نقطه برای انجام عملیات حفاری شد. مختصات نقاط حفاری پیشنهادی در جدول ۳ ارائه شده است. همچنین موقعیت نقاط حفاری پیشنهادی در شکل ۱۶ نشان داده شده است. با توجه به شکل کانی‌سازی در این منطقه پیشنهاد می‌شود گمانه‌ها به صورت قائم و تا عمق ۱۰۰ متر ادامه یابد.

نیست (منشاهای $2.5 D$). در این روش می‌توان تقریباً تمامی پارامترهای مدل (منشا) از جمله جنس، عمق و شکل هندسی را بدست آورد. در مواردی که تغییرات میدان مغناطیسی ناشی از رگه‌های مگنتیت‌دار باشد مدلسازی نسبتاً خوبی بدست می‌دهد [۱۰].

جهت مدل‌سازی عمق و شکل کانسار توده‌های مغناطیسی احتمالی موجود در منطقه از نرم‌افزار mag2dc که از روش معکوس‌سازی تالوانی عملیات معکوس‌سازی را انجام می‌دهد، استفاده شد.

۶- نتیجه‌گیری

برداشت‌های ژئوفیزیکی به روش مگنتومتري در شبکه‌ای به ابعاد ۲۰ در ۱۰ متر در منطقه مورد مطالعه انجام گرفت و در بخش‌های حاشیه‌ای و خارج آنومالی به ۴۰ در ۲۰ متر افزایش یافت. امتداد پروفیل‌های برداشتی، شرقی- غربی در نظر گرفته شد. این پروفیل‌ها بخش زیادی از رخنمون‌های سطحی و عوارض ساختاری را قطع می‌کنند. بررسی نقشه شدت میدان مغناطیسی کل در محدوده کرکرا یک نشان داد که میدان

on groundmagnetic anomaly detection of underground ferromagnetic metal pipeline". International Conference on Pipelines and Trenchless Technology, China, Beijing, 1011-1024.

- [7] Marchetti, M., Sapia, V., and Settimi, A. (2013). "Magnetic anomalies of steel drums: a review of the literature and research results of the INGV". *Annals of geophysics*, 56(1): 1-12.
- [8] Thompson, D. T. (1982). "EULDPTH – a technique for making computer-assisted depth estimates from magnetic data". *Geophysics*, 47: 31-37.
- [9] Namaki, L., Gholami, A., and Hafizi, M. A. (2011). "Edge-preserved 2-D inversion of magnetic data: an application to the Makran arc-trench complex". *Geophysical Journal International*, 184: 1058-1068.

[۱۰] شاهی، ح؛ ۱۳۸۹؛ "تحلیل و تفسیر ساختارهای تاقدیسی جهت اکتشاف مخازن هیدروکربوری با استفاده از الگوریتم تالوانی بر روی داده های گرانی"، چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، تهران، انجمن ژئوپلتیک ایران، ص ۱۴-۱۰.

۷- مراجع

- [1] Butler, S. L., Sinha, G., (2012). "Forward modeling of applied geophysics methods using Comsol and comparison with analytical and laboratory analog models". *Computer and Geoscience*, 42: 168-176.
- [2] Bellott, A., Corpel, J., and Million, R. (1991). "Contribution of magnetic modelling to the discovery of hidden massive sulfide body at Hajar, Morocco". *Geophysics*, 56(7): 983-991.
- [۳] نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ قجور، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- [۴] سالمی، ر؛ معانی جو، م؛ ۱۳۹۱؛ "کانی زایی متاسوماتیک در اندیس آهن شهرک ۱، معدن شهرک شرق تکاب"، ششمین همایش ملی زمین شناسی دانشگاه پیام نور، تهران.
- [5] Billings, S. D., Pasion, C., and Walker, S. (2006). "Magnetic models of unexploded ordinance". *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 44(8): 2115-2124.
- [6] Guo, Z. Y., Liu, D. J., and Chen, Z. (2012). "Modeling