

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه مهندسی نفت و ژئوفیزیک

مقایسه و ترکیب داده‌های مغناطیس هوابرد با مقاومت‌سنجی و قطبش‌القایی به منظور شناسایی
ساختارهای زیرسطحی در منطقه کلاته رشم دامغان

عاطفه قندهاری علویجه

اساتید راهنما :

دکتر علیرضا عرب امیری

دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی

اساتید مشاور

مهندس محمدرضا اخوان اقدم

مهندس علیرضا عامری

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

شهریور ۱۳۹۴

با احترام تقدیم به

پدر و مادرم که

در شد و اعتلای من از بیچ زحمتی فروگذار نبودند

و تقدیم به

همسر عزیزم که استوارترین تکیه گاه زندگی ام

است.

تشکر و قدردانی

نخستین سپاس و ستایش از آن خداوندی است که بنده کوچکش را در دریای بیکران اندیشه، قطره‌ای ساخت تا وسعت آن را از دریچه اندیشه‌های ناب آموزگارانی بزرگ به تماشا بنشیند.

برحسب وظیفه و از باب "من لم یشکر المنعم من المخلوقین لم یشکر الله عزّ و جلّ":
از اساتید بزرگوارم؛ جناب آقای دکتر علیرضا عرب امیری و دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ نمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند؛

از کارشناسان محترم سازمان زمین‌شناسی آقای مهندس علیرضا عامری و به ویژه آقای مهندس رضا اخوان اقدام که زحمت مشاوره این رساله را متقبل شدند؛

و از اساتید فرزانه و دلسوز؛ جناب آقای دکتر حمید آقاجانی و دکتر علی نجاتی که زحمت داوری این رساله را متقبل شدند؛ کمال تشکر و قدردانی را دارم.

در آخر از پدر و مادر عزیزم این دو معلم بزرگوارم که همواره بر کوتاهی و درستی من، قلم عفو کشیده و کریمانه از کنار غفلت‌هایم گذشته‌اند و در تمام عرصه‌های زندگی یار و یآوری بی چشم‌داشت برای من بوده‌اند؛ سپاسگزارم.

تعهد نامه

اینجانب عاطفه قندهاری علویجه دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته ژئوفیزیک – ژئوالکترونیک دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه شاهرود نویسنده پایان نامه مقایسه و ترکیب داده‌های مغناطیس هوابرد با مقاومت‌سنجی و قطبش‌القایی به‌منظور شناسایی ساختارهای زیرسطحی در منطقه کلاته رشم دامغان تحت راهنمایی دکتر علیرضا عرب امیری و دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه شاهرود» و یا «Shahrood University» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

تلفیق اطلاعات اکتشافی که دارای انواع گوناگونی می‌باشند همواره در شناسایی دقیق‌تر منابع معدنی، مسئله مهمی می‌باشد. هدف از این مطالعه پردازش و تفسیر داده‌های مغناطیس‌سنجی هوایی و مقاومت-ویژه و قطبش‌القایی زمینی منطقه کلاته – رشم واقع در استان سمنان می‌باشد.

با توجه به نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته-رشم و اندیس‌های معدنی موجود در این منطقه از قبیل مس، سرب، روی و طلا، تفسیر داده‌های مغناطیس‌سنجی هوایی در شناسایی محدوده‌های معدنی و وضعیت زمین‌شناسی منطقه نقش مهمی دارد چرا که مهم‌ترین داده فعلی این منطقه نقشه فوق‌الذکر است. پس از مطالعات اولیه و تهیه نقشه‌های مغناطیسی و رسانندگی الکتریکی از روی داده‌های ژئوفیزیک هواپرد توسط نرم‌افزار Oasis montaj شرکت Geosoft در منطقه کلاته رشم دامغان، دو محدوده بی‌هنجار به شکل کمان به‌دست آمد، که به‌منظور شناسایی بی‌هنجاری‌های احتمالی، برداشت‌های زمینی مقاومت-ویژه و قطبش‌القایی انجام شد که در نتیجه، ابعاد هندسی بی‌هنجاری‌ها به ویژه تغییرات عمقی آن‌ها و نیز کیفیت آن‌ها از نظر مقدار سولفیدهای فلزی مورد بررسی قرار گرفت.

چهار پروفیل زمینی مقاومت‌ویژه و بارپذیری با آرایش قطبی – دوقطبی با فواصل الکتروودی و گام برداشت ۴۰ متر برای اکتشافات تکمیلی در منطقه برداشت‌شد. داده‌های حاصل از این چهار پروفیل توسط دو نرم-افزار RES2DINV و ZondRes2d، مدل‌سازی و مقاطع حاصل به کمک اطلاعات زمین‌شناسی و نتایج برداشت‌های ژئوفیزیک هواپرد تفسیر شد. در نهایت دو محدوده با بارپذیری بالا جهت حفاری، یکی بر روی پروفیل P2E و دیگری به‌صورت قائم بر روی پروفیل P4E پیشنهاد گردید.

کلمات کلیدی

مغناطیس‌سنجی هوایی، قطبش‌القایی، مقاومت‌ویژه، آرایه قطبی – دو قطبی، آرایه دوقطبی – دوقطبی، نرم‌افزار ZondRes2d، مس پورفیری، کلاته رشم.

مقالات مستخرج از پایان نامه

تفسیر داده‌های مقاومت‌ویژه و پلاریزاسیون القایی جهت تعیین محل کانی‌سازی فلزی از نوع پورفیری در منطقه کلاته - رشم، هجدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، ۳ و ۴ دی ۱۳۹۳، دانشگاه تربیت مدرس تهران.

تعیین گسل‌های پنهان در محدوده کلاته - رشم دامغان با استفاده از داده‌های هوابرد، هجدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، ۳ و ۴ دی ۱۳۹۳، دانشگاه تربیت مدرس تهران.

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات

۲	۱-۱ مقدمه
۳	۲-۱ مروری بر مطالعات انجام شده
۷	۳-۱ اهداف و ضرورت انجام تحقیق
۸	۴-۱ روش تحقیق پایان نامه
۸	۵-۱ ساختار پایان نامه

فصل دوم: اصول و تئوری روش های ژئوفیزیکی مورد استفاده

۱۰	۱-۲ مقاومت ویژه
۱۰	۱-۱-۲ اصول روش مقاومت ویژه
۱۴	۲-۱-۲ مزایای روش مقاومت ویژه
۱۴	۳-۱-۲ آرایه های الکترودی
۱۵	الف) آرایه دوقطبی - دوقطبی
۱۶	ب) آرایه قطبی - دوقطبی
۱۸	۴-۱-۲ روش سونداژزنی و پروفیل زنی الکتریکی
۱۸	۲-۲ قطبش القایی
۱۸	۱-۲-۲ اصول و منشأ پدیده IP
۱۸	الف) قطبش الکترولیتی
۱۹	ب) قطبش الکترودی
۲۰	۲-۲-۲ اندازه گیری های IP

۲۱	۳-۲-۲ روش‌های اندازه‌گیری IP
۲۲	۴-۲-۲ عوامل مؤثر بر پدیده IP
۲۳	۵-۲-۲ نوفه های IP
۲۳	۶-۲-۲ دلایل IP منفی در روش زمان حوزه‌ای
۲۵	۳-۲ مغناطیس‌سنجی هوابرد
۲۵	۱-۳-۲ مقدمه
۲۵	۲-۳-۲ کاربردهای روش‌های ژئوفیزیک هوایی
۲۶	۳-۳-۲ اصول برداشت‌های هوایی
۲۷	۴-۳-۲ دقت مغناطیس‌سنج‌های هوایی
۲۷	۵-۳-۲ سیستم‌های برداشت مغناطیس‌سنجی هوایی
۲۸	۶-۳-۲ مسیر و خطوط پرواز
۲۹	۷-۳-۲ مزایا و معایب
۳۰	۸-۳-۲ مروری کوتاه بر پردازش داده‌های مغناطیس‌سنجی هوابرد
	فصل سوم: زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی
۳۴	۱-۳ موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه
۳۵	۲-۳ کلیات زمین‌شناسی منطقه
۳۷	۳-۳ زمین‌شناسی ساختمانی
۳۸	۴-۳ زمین‌شناسی اقتصادی
۳۸	۱-۴-۳ کانی‌سازی مس در ناحیه
۳۸	۵-۳ چینه‌شناسی واحدهای مختلف به نقل از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ ترود

۳۸	۱-۵-۳ سنوزوئیک (ترشیر - کواترنر)
۴۰	۲-۵-۳ واحد سنگی متعلق به ائوسن - الیگوسن
فصل چهارم: نتایج برداشت صحرائی، مدل سازی و تفسیر داده‌ها	
۴۴	۱-۴ مقدمه
۴۴	۲-۴ برداشت‌های مغناطیس‌سنجی هوابرد در منطقه مورد مطالعه
۴۴	۱-۲-۴ نحوه انجام عملیات و مشخصات دستگاه
۴۸	۲-۲-۴ پردازش و تفسیر داده‌های مغناطیس‌سنجی هوایی
۵۵	۳-۴ برداشت‌های IP و مقاومت ویژه زمینی
۵۵	۱-۳-۴ نحوه انجام عملیات و مشخصات دستگاه
۵۸	۲-۳-۴ پردازش و تفسیر داده‌های IP و مقاومت ویژه زمینی
۵۸	پروفیل P1E
۶۱	پروفیل P2E
۶۱	آرایه قطبی - دوقطبی
۶۴	آرایه دوقطبی - دوقطبی
۶۷	پروفیل P3E
۷۰	پروفیل P4E
۷۳	۴-۴ مقاطع مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی معکوس داده‌های الکترومغناطیس هوابرد
فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات	
۸۰	۱-۵ نتیجه‌گیری
۸۱	۲-۵ پیشنهادات

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲. شکل کلی آرایه الکترودی در اندازه‌گیری مقاومت‌ویژه و نحوه انتشار جریان در زمین ۱۲
- شکل ۲-۲. مقادیر مختلف مقاومت‌ویژه برای چند نمونه سنگ، کانی و خاک ۱۳
- شکل ۳-۲. نمایش نقاط داده‌ای مقاومت‌ویژه در دوبعد ۱۷
- شکل ۴-۲. اثر IP الکترودی و غشایی. ۲۰
- شکل ۵-۲. نمودار اثر IP. ۲۲
- شکل ۶-۲. توده پلاریزه شونده مدفون، با اثر IP منفی ۲۴
- شکل ۷-۲. شکلی شماتیک از مغناطیس‌سنج‌های نصب‌شده بر روی هواپیما و بال‌گرد ۲۸
- شکل ۸-۲. طرحی شماتیک از نقشه پرواز برای مغناطیس‌سنجی هوایی ۲۹
- شکل ۱-۳. موقعیت جغرافیایی منطقه و راه‌های دسترسی به محدوده رشم ۳۴
- شکل ۲-۳. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه ۳۶
- شکل ۱-۴. نقشه شدت میدان مغناطیسی کل (محدوده رینگی شکل با مغناطیس بالا) ۴۷
- شکل ۲-۴. نقشه فیلتر برگردان به قطب (جابه‌جایی آنومالی به سمت شمال) ۴۹
- شکل ۳-۴. نقشه فیلتر مشتق قائم مرتبه اول ۵۱
- شکل ۴-۴. نقشه مشتق قائم اول و موقعیت خطواره‌های مغناطیسی ۵۲
- شکل ۵-۴. نقشه فراسو، ۱۰۰ متر و محدوده بی‌هنجاری ۱ و ۲ به صورت تقریبی ۵۴
- شکل ۶-۴. نقشه فراسو، ۳۰۰ متر ۵۴
- شکل ۷-۴. نقشه شدت میدان مغناطیسی کل به همراه موقعیت خطوط برداشت زمینی ۵۷
- شکل ۸-۴. موقعیت خطوط برداشت IP و مقاومت‌ویژه ۵۷

- شکل ۴-۹. شبه مقطع داده‌های خام، داده‌های محاسبه‌شده و مقطع حاصل از مدل‌سازی ۵۹
- شکل ۴-۱۰. شبه مقطع داده‌های خام، داده‌های محاسبه‌شده و مقطع حاصل از مدل‌سازی ۵۹
- شکل ۴-۱۱. مقاطع حاصل از مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت‌ویژه و بارپذیری ۶۰
- شکل ۴-۱۲. مقطع حاصل از مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت‌ویژه و بارپذیری ۶۰
- شکل ۴-۱۳. شبه مقطع داده‌های خام، داده‌های محاسبه‌شده و مقطع حاصل از مدل‌سازی ۶۲
- شکل ۴-۱۴. شبه مقطع داده‌های خام، داده‌های محاسبه‌شده و مقطع حاصل از مدل‌سازی ۶۲
- شکل ۴-۱۵. مقاطع حاصل از مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت‌ویژه و بارپذیری ۶۳
- شکل ۴-۱۶. مقطع حاصل از مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت‌ویژه و بارپذیری ۶۳
- شکل ۴-۱۷. شبه مقطع داده‌های خام، داده‌های محاسبه‌شده و مقطع حاصل از مدل‌سازی ۶۵
- شکل ۴-۱۸. شبه مقطع داده‌های خام، داده‌های محاسبه‌شده و مقطع حاصل از مدل‌سازی ۶۵
- شکل ۴-۱۹. مقاطع حاصل از مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت‌ویژه و بارپذیری ۶۶
- شکل ۴-۲۰. مقطع حاصل از مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت‌ویژه و بارپذیری ۶۶
- شکل ۴-۲۱. شبه مقطع داده‌های خام، داده‌های محاسبه‌شده و مقطع حاصل از مدل‌سازی ۶۸
- شکل ۴-۲۲. شبه مقطع داده‌های خام، داده‌های محاسبه‌شده و مقطع حاصل از مدل‌سازی ۶۸
- شکل ۴-۲۳. مقاطع حاصل از مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت‌ویژه و بارپذیری ۶۹
- شکل ۴-۲۴. مقاطع حاصل از مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت‌ویژه و بارپذیری ۶۹
- شکل ۴-۲۵. شبه مقطع داده‌های خام، داده‌های محاسبه‌شده و مقطع حاصل از مدل‌سازی ۷۰
- شکل ۴-۲۶. شبه مقطع داده‌های خام، داده‌های محاسبه‌شده و مقطع حاصل از مدل‌سازی ۷۱
- شکل ۴-۲۷. مقاطع حاصل از مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت‌ویژه و بارپذیری ۷۲
- شکل ۴-۲۸. مقاطع حاصل از مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت‌ویژه و بارپذیری ۷۲
- شکل ۴-۲۹. نقشه مقاومت‌ویژه حاصل از وارون‌سازی داده‌های الکترومغناطیس هوابرد ۷۶

- شکل ۴-۳۰. نقشه مقاومت ویژه حاصل از وارون سازی داده‌های الکترومغناطیس هوابرد ۷۶
- شکل ۴-۳۱. نقشه مقاومت ویژه حاصل از وارون سازی داده‌های الکترومغناطیس هوابرد ۷۷
- شکل ۴-۳۲. نقشه مقاومت ویژه حاصل از وارون سازی داده‌های الکترومغناطیس هوابرد ۷۷
- شکل ۵-۱. محل حفاری تعیین شده بر روی پروفیل P2E ۸۱
- شکل ۵-۲. محل حفاری تعیین شده بر روی پروفیل P4E ۸۲

فهرست جداول

- جدول ۲-۱. آرایه‌های الکترودی متداول در برداشت‌های صحرایی مقاومت ویژه ۱۵
- جدول ۵-۱. مشخصات نقاط حفاری پیشنهاد شده ۸۳

فصل اول

کلیات

۱-۱ مقدمه

با توجه به نقش موادمعدنی در تأمین نیازهای اولیه صنایع مختلف، جستجوی آن‌ها با روش‌های کارآمد ضروری به نظر می‌رسد. امروزه صرفاً با به‌کارگیری اطلاعات زمین‌شناسی سطحی نمی‌توان منابع معدنی را جستجو نمود. روش‌های ژئوفیزیکی از جمله روش‌های مناسبی می‌باشند که در پی‌جویی منابع مذکور کارایی بالایی دارند. تقریباً در تمامی مراحل عملیات اکتشاف از این روش‌ها که ارزان، قابل‌اعتماد و در بسیاری موارد باعث کاهش ریسک‌های بزرگ سرمایه‌گذاری می‌گردند، بهره‌گرفته می‌شود. با استفاده از ژئوفیزیک می‌توان قسمت‌هایی از زمین را که دارای خصوصیات فیزیکی متفاوت از محیط اطراف هستند؛ مانند زون‌های کانی‌سازی شده را شناسایی کرد. هدف نهایی تمامی اکتشافات ژئوفیزیک کاربردی، رسیدن به تصویری دقیق از ویژگی‌های مواد در زیر سطح زمین است. ساختارهای واقعی در زیر سطح زمین اغلب خیلی پیچیده هستند. بنابراین سعی می‌شود مدل ساده‌تر زمینی که توسط تعداد پارامترهای متناهی کنترل می‌شود، ارائه گردد [۱].

مقاومت‌ویژه و قطبش القایی از جمله مهم‌ترین روش‌های ژئوفیزیکی می‌باشند؛ که به منظور شناسایی و اکتشاف مناطق مستعد کانی‌سازی سولفیدی مخصوصاً سولفیدهای پراکنده مورد استفاده قرار می‌گیرند. از آنجا که نواحی کانه‌زا در اکثر مناطق از بارپذیری بالا و همچنین مقاومت‌ویژه متوسطی برخوردارند، تلفیق دو روش فوق می‌تواند در رسیدن به هدف مورد نظر بسیار مؤثر باشد.

کانسارهای مس پورفیری را می‌توان محصول سرد شدن سیستم‌های هیدروترمالی همراه با نفوذی‌های کم عمق پورفیری جایگیر شده در کمان‌های ماگمایی مرتبط با فرورانش دانست. به‌طور کلی مدل ژنتیکی کانسارهای هیدروترمالی را می‌توان به دو صورت بررسی نمود، یکی مدل ژنتیکی مرتبط با فرآیندهای زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی و دیگری مدل ژنتیکی در ارتباط با فرآیندهای دگرشکلی پوسته ای و محیط‌های ژئودینامیکی. مطالعات اخیر نشان می‌دهد که تشکیل و جایگیری کانسارهای مس پورفیری نه تنها

تحت تأثیر فرآیندهای ماگمایی و هیدروترمالی می‌باشند بلکه تکتونیک ناحیه‌ای، محلی و رژیم‌های تکتونیکی در زمان تشکیل این کانسارها نیز اهمیت بسیار زیادی دارد. بسیاری معتقدند که کانسارهای مس پورفیری در مقایسه با سایر کانسارهای هیدروترمالی به‌طرز جالب توجهی همزاد با توده‌های نفوذی پورفیری می‌باشند که در امتداد سیستم‌های گسلی امتداد لغز کمان‌های قاره‌ای و جزیره‌ای می‌باشند. با توجه به نیاز روزافزون صنایع کشور به مواد معدنی به‌خصوص مس و لزوم تأمین این ماده فلزی از معادن و ذخایر اصلی آن یعنی ذخایر مس پورفیری، اکتشاف این ذخایر با ارزش به کمک روش‌های سریع و کم‌هزینه اکتشافی همچون ژئوفیزیک امری ضروری است. به این منظور در پایان‌نامه حاضر ابتدا پی‌جویی مواد معدنی فلزی مانند مس در منطقه کلاته رشم دامغان به کمک داده‌های مغناطیس هوابرد انجام گرفته و به دنبال آن برای اکتشافات این مواد معدنی فلزی، داده‌های مقاومت‌ویژه و قطبش‌القایی به‌صورت زمینی برداشت و سپس مدل‌سازی و تفسیر شده‌اند [۲].

۱-۲ مروری بر مطالعات انجام شده

نیاز به شناسایی زیردایی‌ها در حین جنگ جهانی دوم باعث سرعت گرفتن تحقیقات ساخت مغناطیس-سنج مطلوب برای مغناطیس‌سنجی هوایی گردید. در سال ۱۹۴۱، محققان آمریکایی ویکتور رکوتر^۱، گری مافلی^۲ و ویکتور واکپور^۳ تکنولوژی ده ساله شارسنجی مغناطیسی را با اضافه کردن وسایل پایدار کننده مناسب متحول کرده و در نتیجه موفق به ساخت یک مغناطیس‌سنج مناسب جهت مغناطیس‌سنجی هوایی گردیدند. در سال ۱۹۴۴، جیمز آر. بالزلی^۴ و هومر جنسون^۵ هر دو از سازمان زمین‌شناسی آمریکا، با استفاده از یک مغناطیس‌سنج با طرح مشابه مغناطیس‌سنج رکوتر و همکاران اولین نقشه‌برداری مغناطیس هوایی امروزی را در منطقه‌ای واقع در ایالت پنسیلوانیای آمریکا انجام دادند.

¹ Wyckoff

² Muffly

³ Vacquier

⁴ Balsley

⁵ Jensen

در اواسط دهه ۱۹۶۰، اندازه‌گیری‌های شدت میدان مغناطیسی که بر روی سطح دریا در شمال شرق اقیانوس آرام انجام شده بود، آنومالی مغناطیسی جالبی که به صورت باندهایی در جهت شمالی - جنوبی گسترش یافته بودند را نشان داد. واین^۱ و متیو^۲ و به‌طور مستقل مورلی^۳ و لاروچل^۴ تشخیص دادند که باندهای مغناطیسی نشانگر معکوس شدن میدان مغناطیسی زمین در زمان‌های گذشته هستند که توسط کف اقیانوس در حال گسترش ثبت گردیده است.

امروزه استفاده از روش ژئوفیزیک هوابرد در راستای برداشت‌های سراسری در کشورهای با وسعت زیاد مثل استرالیا و کانادا بسیار مورد توجه است. لذا در این کشورها از ژئوفیزیک هوابرد به‌منظور بررسی‌های ناحیه‌ای و پی‌جویی مواد معدنی به‌صورت گسترده‌ای استفاده شده است.

در طی ۲۰ تا ۳۰ سال ابتدایی (۱۹۵۵ تا ۱۹۸۷) سیستم‌های هوایی حوزه فرکانس در یک یا چند فرکانس عمل می‌نموده و اهداف مورد برداشت عمدتاً به‌صورت کشف توده‌های سولفیدی بوده است و این سیستم‌ها برای اکتشاف اهداف با رسانایی متوسط تا زیاد همچون سولفیدهای توده‌ای بکار گرفته می‌شدند [۳]. سازمان زمین‌شناسی فنلاند یک برداشت ژئوفیزیک هوایی را به‌طور موفقیت آمیزی برای اکتشاف طلا در کمربند گرین استون از سنترال آپلند استفاده کرده است. ترکیب سه سری داده مغناطیس، الکترومغناطیس و رادیومتری هوابرد در شناسایی مناطق آلتراسیون و دستیابی به اطلاعات با ارزش از ضخامت روباره، نقش مهمی را ایفا نموده است [۴].

در سال ۲۰۰۰ گود^۵ و همکاران بر روی نهشته پلی‌متال در کشور کانادا برداشت‌های ژئوفیزیک زمینی و هوایی انجام دادند. در این مطالعه نتایج حاصل از برداشت مغناطیس، مقاومت‌ویژه و گرانی بر روی دو نهشته آمده است. این مطالعات حضور اکسید آهن در یک منطقه بزرگ با شدت بالای پتاسیم

¹ Vine

² Matthew

³ Morley

⁴ Larochelle

⁵ Goad

متاسوماتیسم^۱ را نشان داد. همچنین نقشه های زمین شناسی، کانی سازی کبالت، طلا، بیسموت و مس را در زمینه ای از شیست و اکسید آهن نشان می دهد و در نهایت به این نتیجه رسیدند که کانی سازی در محیط های نزدیک سطح، هم زمان با ولکانیک شکل گرفته است [۵].

بورناس^۲ و همکاران در سال ۲۰۱۳، از روش های الکترومغناطیس هوابرد، مقاومت ویژه، IP و مگنتوتلوریک برای اکتشافات معدنی و خصوصاً اکتشاف فلزات پایه بر روی منطقه ای در کانادا استفاده کردند. در همان منطقه برای اکتشاف کانی سازی پلی متال نوع پورفیری برداشت زمینی انجام شد. نتیجه وجود یک بی-هنجاری عمیق با بارپذیری خیلی بالا و رسانندگی خوب بود؛ که مقایسه نتایج با حفاری ها حضور یک کانی سازی پورفیری قابل توجه در عمق را نشان داد [۶].

طی سال های ۱۹۷۴-۱۹۷۷ دو برداشت مغناطیس هوایی با حساسیت بالا توسط شرکت آمریکایی ایروسرویس زیر نظر سازمان زمین شناسی با فاصله خطوط پروازی ۷/۵ کیلومتر بر فراز ایران صورت گرفت.

هر چند که می توان گفت ژئوفیزیک هوابرد نسبت به ژئوفیزیک زمینی در کشور ما نوپاتر و جدیدتر است؛ اما با این حال در کشور ما مطالعات متعددی در زمینه طراحی و نحوه برداشت پروژه های ژئوفیزیک هوابرد، با هدف کاهش خطای عملیات به دلیل هزینه بالای این نوع برداشت ها انجام شده است. به عنوان نمونه فردوسی (۱۳۹۲)، در مقاله ای تحت عنوان "طراحی برداشت های مغناطیس سنجی و رادیومتری هوابرد با ارتفاع پرواز و فاصله خطوط بهینه" [۷] سعی کرده است، که برخی از موارد مهم در طراحی پروژه های مغناطیس سنجی و رادیومتری را بررسی کند. همین طور زارعی و عربامیری (۱۳۹۲) در مقاله ای با عنوان "چگونگی بهبود عملیات برداشت ژئوفیزیک هوابرد به همراه یک مثال موردی" [۸] و عبادی (۱۳۹۲) در مقاله خود تحت عنوان "بررسی هزینه های پرت پروازی مربوط به انتخاب محل استقرار

¹ Potassium metasomatism

² Bournas

بالگرد در پروژه‌های ژئوفیزیک هوایی " [۹] به بررسی مسائل در رابطه با طراحی برداشت‌های ژئوفیزیک هوابرد پرداخته‌اند.

خوشبختانه توجه به برداشت‌های ژئوفیزیک هوابرد در زمینه کشف و شناسایی بی‌هنجاری‌ها و بررسی ساختارهای زمین‌شناسی و مقایسه و تلفیق این داده‌ها با داده‌های حاصل از برداشت‌های ژئوفیزیک زمینی چند سالی است که در کشور ما نیز شکل گرفته‌است که از جمله آن‌ها می‌توان مقالات زیر را نام برد:

مرادی کهواده و همکاران در مقاله‌ای تحت عنوان "تلفیق و آنالیز داده‌های ژئوفیزیک هوایی و مغناطیس‌سنجی برای شناسایی مناطق دگرسان‌شده در منطقه فتح آباد کرمان" با تلفیق و آنالیز داده‌های رادیومتری و مغناطیس‌سنجی به بررسی کارایی این داده‌ها در شناسایی مناطق دگرسان شده پرداخته‌اند. این بررسی‌ها دگرسانی گرمابی در بخش جنوب‌غربی منطقه را نشان می‌دهد که اثری از آن‌ها در تصاویر ماهواره‌ای دیده نشده‌است [۱۰].

در سال ۱۳۸۷، ضیاء ظریفی و افضل با تجزیه و تحلیل آماری و رسم نقشه‌های هم‌شدت حاصل از ژئوفیزیک هوایی شمال‌غربی ایران در برگه ۱:۵۰۰۰۰ ترک، محدوده‌های امیدبخش برای اورانیوم را الویت‌بندی کردند. در همان مناطق امیدبخش عملیات ژئوفیزیک زمینی به همراه آنالیز شیمیایی به‌منظور صحت داده‌های ژئوفیزیک هوایی صورت گرفت. در نتیجه محدوده‌هایی مناسب جهت کشف اورانیوم پیشنهاد گردید [۱۱].

بیکی و کامکار روحانی در سال ۱۳۸۴ با کمک ردیابی کانی‌های مغناطیسی همراه با کرومیت، ذخایر کرومیت موجود در برگه صدهزارم سبزوار را شناسایی کردند. به این منظور با مطالعه زمین‌شناسی منطقه و مقایسه آن با کانسارهای کرومیت موجود در محدوده یک الگوی مناسب زمین‌شناسی به‌دست آمد. بررسی نقشه‌های مغناطیسی هوابرد و مقایسه آن‌ها با کانسارهای کرومیت منجر به معرفی ۲۰ منطقه امیدبخش برای مراحل بعدی اکتشاف شد [۱۲].

بر روی داده‌های ژئوفیزیک هوابرد منطقه رشم در استان سمنان نیز در چند مورد بررسی‌هایی انجام شده‌است که از آن میان می‌توان به پایان‌نامه‌ای با عنوان "تفسیر داده‌های مغناطیس‌هوایی در منطقه کلاته رشم دامغان" و مقالات زیر اشاره کرد.

جزائری جونقانی و اسکویی در مقاله‌ای تحت عنوان "برآورد عمق بی‌هنجاری‌های مغناطیس‌زمینی با استفاده از روش واهمامیخت اویلر استاندارد در منطقه رشم، استان سمنان" عمق بی‌هنجاری‌های مغناطیسی ناشی از پیمایش‌های مغناطیسی در منطقه رشم را با استفاده از روش اویلر برآورد کردند. در نتیجه این برآورد عمقی، دو بی‌هنجاری کم‌انرژی در شمال و جنوب منطقه با عمق‌های ۱۳۵ و ۱۰۰ متر شناسایی شده‌است [۱۳].

در مقاله قاسمیان و همکاران (۱۳۹۲) با عنوان "بررسی داده‌های هوابرد دامغان با استفاده از روش عدد موج محلی بهبود یافته"، برای بررسی داده‌های ژئوفیزیک هوابرد دامغان از روش عدد موج محلی بهبود یافته برای تخمین عمق، مکان و ضریب ساختار بی‌هنجاری، و از روش اویلر برای تخمین عمق استفاده شده‌است [۱۴].

۱-۳ اهداف و ضرورت انجام تحقیق

این پژوهش به منظور بررسی پتانسیل کانی‌سازی فلزی، به‌خصوص مس، در منطقه رشم استان سمنان و با تأکید بر قابلیت داده‌های ژئوفیزیک هوابرد در کشف این نوع کانسارها انجام گرفت. با توجه به نیاز روزافزون جوامع صنعتی به مواد معدنی، اکتشاف این منابع با روش‌های ارزان و کم‌هزینه اکتشافی امری ضروری است. به این منظور می‌توان از روش‌های ژئوفیزیکی، که نسبت به سایر روش‌های اکتشافی همچون حفاری، ارزان‌تر و سریع‌تر است؛ استفاده کرد. در پایان‌نامه حاضر برای بررسی بی‌هنجاری‌های فلزی در منطقه کلاته رشم دامغان، در اولین گام به کمک مدل‌سازی داده‌های ژئوفیزیک

هوابرد مناطق امیدبخش شناسایی شد و به دنبال آن به منظور بررسی‌های جزئی‌تر برداشت‌های مقاومت‌ویژه و قطبش‌القایی زمینی در چند خط برداشت گردید.

۴-۱ روش تحقیق پایان‌نامه

ابتدا به منظور تعیین منطقه امیدبخش برای برداشت‌های جزئی‌تر، محدوده وسیعی از منطقه رشم به کمک وسیله پروازی برداشت شد. با بررسی داده‌های مغناطیس هوابرد به وسیله نرم‌افزار Oasis montaj شرکت Geosoft یک محدوده مناسب جهت انجام برداشت‌های ژئوفیزیک زمینی به روش قطبش‌القایی و مقاومت‌ویژه مشخص شد. سپس برداشت چهار پروفیل به روش‌های مذکور با استفاده از آرایه‌های قطبی - دوقطبی و دوقطبی - دوقطبی صورت گرفت. نتایج حاصل از برداشت‌های زمینی با نرم‌افزار ZondRes2d و RES2DINV مدل‌سازی و در نهایت مدل‌های قطبش‌القایی به دست آمده با توجه به زمین‌شناسی منطقه و نقشه‌های مغناطیس‌سنجی هوابرد تفسیر شد.

۵-۱ ساختار پایان‌نامه

پایان‌نامه حاضر در پنج فصل تدوین گردیده است. فصل اول کلیاتی در مورد اهمیت روش‌های ژئوفیزیکی، سوابق مطالعات ژئوفیزیک هوابرد در کشور و منطقه مورد مطالعه و همچنین اهداف پایان‌نامه را شامل می‌شود. فصل دوم به بیان اصول روش‌های مورد استفاده، مزایا، نوفه‌ها و نحوه انجام عملیات صحرائی اختصاص یافته است. در فصل سوم با مروری کوتاه بر زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه، تکتونیک و زمین‌شناسی اقتصادی آن نیز تا حدودی مورد بررسی قرار گرفته است. در فصل چهارم نیز ضمن بیان عملیات صحرائی به مدل‌سازی و تفسیر داده‌های ژئوفیزیک هوابرد، قطبش‌القایی و مقاومت‌ویژه زمینی پرداخته شده است. نهایتاً در فصل پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادات حاصل از این پایان‌نامه آورده شده است.

فصل دوم

اصول و تئوری روش‌های ژئوفیزیکی مورد استفاده

۲-۱ مقاومت ویژه

۲-۱-۱ اصول روش مقاومت ویژه

با استفاده از ژئوفیزیک می‌توان قسمت‌هایی از زمین را که دارای خصوصیات فیزیکی متفاوت از محیط اطراف هستند، مانند زون‌های کانی‌سازی شده را به‌طور مستقیم و غیرمستقیم شناسایی کرد [۱۵]. به‌طور کلی تفاوت در خواص فیزیکی سنگ‌ها مبنای اندازه‌گیری‌های ژئوفیزیکی برای تشخیص آن‌هاست. بر مبنای همین خواص می‌توان روش‌های ژئوفیزیکی مختلف همچون لرزه نگاری، روش‌های الکتریکی، ثقل سنجی، مغناطیس‌سنجی و رادیومتری را به‌کار برد.

روش‌های الکتریکی جزو مهم‌ترین روش‌های ژئوفیزیکی هستند که خود شامل روش‌های متنوع و گوناگونی می‌شوند. این روش‌ها را به‌طور عمده می‌توان به دو گروه فعال (تزریق جریان یا القای میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی به زمین) و غیرفعال (استفاده از میدان‌های الکتریکی و مغناطیسی طبیعی موجود در زمین) تقسیم کرد [۱۶]. از جمله روش‌های الکتریکی می‌توان به پتانسیل خودزا، مگنتوتلوریک، مقاومت ویژه، قطبش القایی و قطبش القایی طیفی اشاره کرد. مقاومت ویژه یک خاصیت فیزیکی است که اساس روش فعال مقاومت ویژه الکتریکی بر این خاصیت بنا شده‌است [۱۷]. این روش در مواقعی کاربرد دارد؛ که مقاومت ویژه هدف به‌طور قابل‌توجهی با محیط دربرگیرنده آن متفاوت باشد [۱۸]. روش مقاومت ویژه در اوایل دهه ۱۹۰۰ توسعه داده شد ولی استفاده گسترده‌تر از آن به دلیل دسترسی به کامپیوتر برای پردازش و تحلیل داده‌ها از دهه ۱۹۷۰ شروع شد [۱۷].

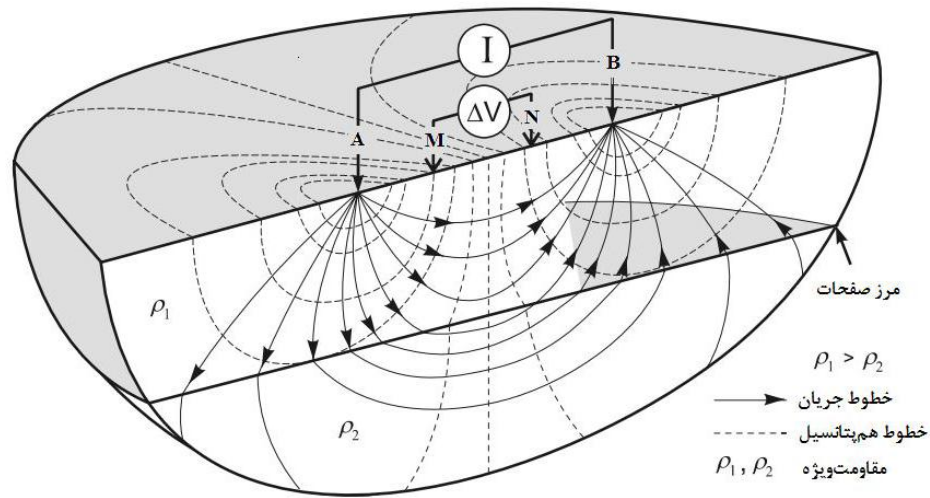
زمانی که اندازه‌گیری‌ها در یک محیط همگن و همسانگرد انجام می‌شود مقاومت ویژه به‌دست آمده، مقاومت ویژه واقعی (ρ_t) و اگر در یک محیط ناهمگن انجام شود مقاومت ویژه محاسبه شده، مقاومت ویژه ظاهری (ρ_a) نامیده می‌شود [۱۷]. ρ_a به ساختار زمین‌شناسی زیرسطحی منطقه، فواصل بین الکترودها و هندسه الکترودهای نصب شده در زمین بستگی دارد [۱۹].

برای یک الکتروود جریان که در سطح یک محیط همگن با مقاومت ویژه ρ قرار داده شده است، خطوط جریان به صورت شعاعی حرکت می کنند و سطوح هم پتانسیل خطوط جریان را با زاویه قائم قطع می کنند [۱۷ و ۲۰]. در اندازه گیری مقاومت ویژه زمین، دو الکتروود جریان (که اصولاً با C_1 و C_2 نشان داده می شوند) به قطب های مثبت و منفی باتری؛ و دو الکتروود پتانسیل (معمولاً با P_1 و P_2 نشان داده می شوند) به یک ولت متر حساس متصل می شوند. جریان الکتریکی تولید شده توسط باتری، از الکتروود C_1 وارد زمین و از الکتروود C_2 خارج می شود. جریان تزریق شده به زمین باعث ایجاد اختلاف پتانسیلی می شود که توسط دو الکتروود پتانسیل اندازه گیری می شود [۱۷] (شکل ۱-۲).

مقاومت ویژه ظاهری ساختارهای زیر سطحی از رابطه زیر محاسبه می شود [۱۷].

$$\rho_a = \frac{2\pi\delta V_{p_1 p_2}}{I} \left\{ \left[\frac{1}{c_1 p_2} - \frac{1}{p_2 c_2} \right] - \left[\frac{1}{c_1 p_1} - \frac{1}{p_1 c_2} \right] \right\}^{-1} \quad (1-2)$$

در رابطه بالا I شدت جریان ارسالی به زمین توسط دو الکتروود جریان C_1 و C_2 بر حسب آمپر و $\delta V_{p_1 p_2}$ اختلاف پتانسیل اندازه گیری شده بین دو الکتروود پتانسیل P_1 و P_2 است. ضریب عبارت $\frac{\delta V}{I}$ را فاکتور هندسی می نامند و با حرف K نشان می دهند [۱۷]. ضریب هندسی K به آرایه الکتریکی به کار گرفته شده بستگی دارد [۲۱].



شکل ۲-۱. شکل کلی آرایه الکترودی در اندازه‌گیری مقاومت‌ویژه و نحوه انتشار جریان در زمین [۱۸]

عوامل متعددی بر مقدار مقاومت‌ویژه در یک برداشت مؤثر است. به‌طور کلی چهار عامل زیر در سنگ‌ها باعث تغییر مقاومت‌ویژه می‌شوند [۲۲].

۱. حجمی از سنگ که توسط آب پر شده‌است.

۲. عامل شوری و یا یون‌های آزاد موجود در آب درون حفره‌ای.

۳. ارتباط بین فضاهای خالی (نفوذپذیری).

۴. درجه حرارت یا دما.

سنگ نیز در مقدار مقاومت‌ویژه مؤثر است. به‌طور کلی هر چه سنگ بیشتر باشد، مقاومت‌ویژه آن هم بیشتر است. در سنگ‌های قدیمی‌تر خلل و فرج، در معرض پرشدگی ثانویه قرار می‌گیرند و در اثر تراکم، تخلخل و نفوذپذیری کاهش می‌یابد [۱۶ و ۱۷].

همچون سایر خواص فیزیکی، مقاومت‌ویژه مواد مختلف نیز هم‌پوشانی قابل توجهی دارند؛ که باعث بروز ابهاماتی در تفسیر مقاومت‌ویژه می‌شود [۲۱]. آشنایی با وضعیت زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه و جمع‌آوری اطلاعات از مقادیر مقاومت‌ویژه برای مواد زیرسطحی مختلف (شکل ۲-۲) کمک شایانی در رفع این ابهامات می‌نماید [۲۳].

۲-۱-۲ مزایای روش مقاومت ویژه

مقاومت ویژه یکی از پرکاربردترین روش‌های ژئوفیزیکی است، که نسبت به سایر روش‌ها دارای مزیت‌هایی می‌باشد [۲۲].

۱. انعطاف‌پذیری (از روش مقاومت ویژه هم می‌توان به منظور پی‌جویی؛ به عنوان مثال به کمک آرایه مستطیلی و هم به منظور اکتشاف به کمک آرایه‌های دیگر همچون دوقطبی - دوقطبی استفاده کرد).

۲. سرعت بالا (افزایش عمق بررسی باعث افزایش زمان برداشت می‌شود).

۳. هزینه پایین عملیات.

۴. سبک و قابل حمل بودن تجهیزات.

۲-۱-۳ آرایه‌های الکترودی

آرایه‌های الکترودی انواع مختلفی دارند. انتخاب آرایه مناسب، به فضای موجود برای گسترش آرایه و میزان کارایی آن آرایه در کاربرد مورد نظر بستگی دارد. حساسیت آرایه‌ها به نا همنگی‌های جانبی بستگی داشته و فصل مشترک‌های شیب‌دار، سطح نوفه^۱ زمینه و قدرت سیگنال^۲ نیز در این رابطه از اهمیت به‌سزایی برخوردار است [۲۱ و ۱۷].

آنچه در برداشت‌های الکتریکی ثبت می‌شود، مقاومت ویژه ظاهری است؛ که برخلاف مقاومت ویژه واقعی، یک خاصیت فیزیکی برای مواد زیرسطحی به حساب نمی‌آید و با روش‌های تفسیر به داده‌های واقعی تبدیل می‌شود [۱۷]. به کار گرفتن آرایه کاملاً خطی لزومی ندارد؛ اما در عمل همیشه سعی می‌شود که الکترودها در یک خط قرارگیرند؛ زیرا در غیر این صورت تفسیر نتایج دشوار و کار صحرایی پیچیده‌تر خواهد شد [۱۹]. آرایه‌های متداول مورد استفاده در برداشت‌های مقاومت ویژه عبارتند از [۲۱]:

¹ Noise

² Signal

آرایه ونر، شلومبرژر، دوقطبی - دوقطبی، قطبی - دوقطبی و قطبی - قطبی. در جدول ۱-۲ پیکربندی و فاکتور هندسی برخی از آرایه‌های الکترونی مورد استفاده در برداشتهای صحرایی مقاومت‌ویژه آورده شده‌است.

جدول ۱-۲. آرایه‌های الکترونی متداول در برداشتهای صحرایی مقاومت‌ویژه [۱۸]

آرایه الکترونی	پیکربندی الکترونی	فاکتور هندسی
ونر ونر آلفا لی		$K = 2\pi a$
شلومبرژر		$K = \pi n(n+1)a$ $n > 3$
دوقطبی - دوقطبی دوقطبی محوری ونر بتا		$K = \pi n(n+1)(n+2)a$
قطبی - دوقطبی نیم شلومبرژر		$K = 2\pi n(n+1)a$ $n > 3$
قطبی - قطبی		$K = 2\pi a$

الف) آرایه دوقطبی - دوقطبی:

با توجه به کم بودن القای الکترومغناطیسی در آرایه دوقطبی - دوقطبی، می‌توان فاصله کابل‌های جریان و پتانسیل را زیاد کرد و پاسخ مقاومت‌ویژه را از عمق زیاد به دست آورد [۲۴]. همچنین قدرت تفکیک جانبی و قائم این آرایه به‌خصوص برای اهداف قائم باریک، بالا می‌باشد [۲۵]. در استفاده از آرایه دوقطبی - دوقطبی به دلیل کم بودن نسبت سیگنال به نوفه لازم است که از دستگاه‌های با حساسیت بالا استفاده کرد و از اتصال مناسب الکترونها به زمین کاملاً مطمئن شد [۱۸]. از رابطه (۲-۲) می‌توان مقاومت‌ویژه ظاهری برای آرایه دوقطبی - دوقطبی را به دست آورد؛ که در آن a فاصله دوقطبی جریان

(فاصله الکترودهای جریان از یکدیگر) که مساوی فاصله دوقطبی پتانسیل است در نظر گرفته می‌شود و n مضرب صحیحی است و در واقع نسبت بین فاصله الکترودهای داخلی (میانی) جریان و پتانسیل به فاصله الکترودهای جریان (یا پتانسیل) از یکدیگر است که معمولاً بین ۱ تا ۶ (یا ۸ یا ۱۰) در نظر گرفته می‌شود [۱۷].

$$\rho_a = \pi n(n + 1)(n + 2)aR \quad (۲-۲)$$

ب) آرایه قطبی - دوقطبی

در این آرایه یکی از الکترودهای جریان در فاصله زیادی از سه الکترودهای دیگر به‌طور ثابت نصب می‌شود. الکترودی که در بی‌نهایت (در کار صحرائی، قراردادن الکترودها در بی‌نهایت بدین منظور است که اثر آن روی الکترودهای دیگر بسیار کم باشد) قرار می‌گیرد؛ لزومی ندارد که با سه الکترودهای دیگر در یک خط باشد. این نوع آرایه روشی مناسب، برای به نقشه درآوردن مقاومت ویژه در حوالی یک رسانای محدود می‌باشد [۱۹].

آرایه قطبی - دوقطبی متقارن قدرت تفکیک بالاتری نسبت به سایر آرایه‌های الکترودی متداول دارد [۲۶] اما قدرت تفکیک قائم آن نسبت به آرایه دوقطبی - دو قطبی کم‌تر است و برای بی‌هنجاری‌های باریک قائم مناسب نیست [۲۵].

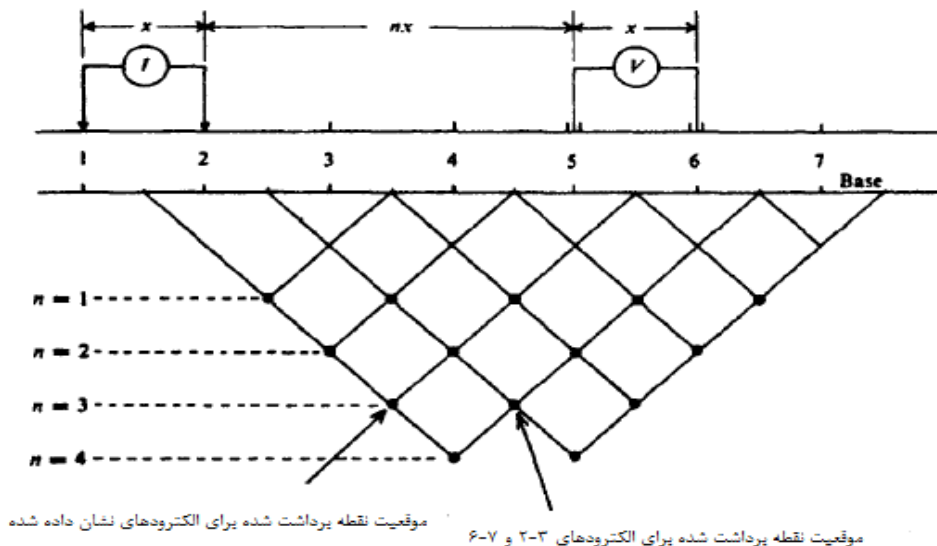
از رابطه (۲-۳) می‌توان مقاومت ویژه ظاهری برای آرایش قطبی - دوقطبی را به‌دست آورد؛ که در آن x فاصله بین الکترودهای پتانسیل از یکدیگر و n مضرب صحیحی است و در واقع نسبت بین فاصله الکترودهای جریان فعال و الکترودهای پتانسیل نزدیک به آن و فاصله بین الکترودهای پتانسیل از یکدیگر است و معمولاً بین ۱ تا ۶ (یا ۸ یا ۱۰) در نظر گرفته می‌شود [۱۹].

$$\rho_a = 2\pi n(n + 1)x \frac{\Delta V}{I} \quad (۳-۲)$$

۲-۱-۴ روش‌های سونداژزنی و پروفیل‌زنی الکتریکی

برداشت‌های مقاومت‌ویژه الکتریکی به دو روش اصلی سونداژزنی و پروفیل‌زنی انجام می‌شوند. در روش سونداژزنی مقاومت‌ویژه الکتریکی، مرکز آرایه الکترودی ثابت نگه‌داشته می‌شود و فواصل الکترودی افزایش می‌یابد؛ که در نتیجه آن با افزایش فاصله الکترودی، عمق کاوش افزایش می‌یابد [۲۲]. اگر زمین را به صورت همگن و ایزوتروپ در نظر بگیریم، داده‌های سونداژزنی مربوط به تغییرات مقاومت‌ویژه نسبت به عمق می‌باشند؛ در صورتی که زمین واقعی دارای ناهمگنی‌های افقی و قائم می‌باشد [۲۷].

در روش پروفیل‌زنی، با ثابت نگه‌داشتن فاصله الکترودی، کل آرایه روی یک مسیر مستقیم جابه‌جا می‌شود. به کمک این روش می‌توان اطلاعاتی از تغییرات جانبی مقاومت‌ویژه الکتریکی متناسب با عمق کاوش به دست آورد. در روش پروفیل‌زنی، خطوط برداشت، حتی‌المقدور عمود بر امتداد ساختارهای زمین‌شناسی طراحی و اجرا می‌شوند و تغییرات مقاومت‌ویژه را در دو بعد به تصویر می‌کشند [۲۷] (شکل ۲-۳).



شکل ۲-۳. نمایش نقاط داده‌ای مقاومت‌ویژه در دوبعد [۱۹]

۲-۲ قطبش القایی (IP)^۱

۲-۲-۱ اصول و منشأ پدیده IP

پدیده قطبش القایی (IP) توسط شلومبرژه در سال ۱۹۱۲ شناسایی شد در حالی که استفاده عملی از آن از اواخر ۱۹۴۰ آغاز شد [۱۷]. روش IP در ایران از اواخر سال‌های ۱۳۴۰ توسط شرکت‌های خارجی مانند CGG فرانسه در زمینه اکتشاف کانسارهای سولفیدی به کار گرفته شد [۱۶].

اگر کانی‌سازی در درون سنگ به صورت پراکنده باشد، ممکن است بی‌هنجاری مقاومت‌ویژه قابل توجهی را ایجاد نکند؛ در حالی که IP پاسخ خوبی را برای کانی‌های رسانای فلزی پراکنده می‌دهد و باعث توسعه و پیشرفت این روش شده است [۲۸].

هر چند علت ایجاد پدیده IP به درستی مشخص نیست؛ اما می‌توان پلاریزاسیون الکترودی (فلزی) و پلاریزاسیون الکترولیتی (غشایی) را به عنوان دو عامل اصلی در ایجاد پدیده IP معرفی کرد [۱۶].

الف) قطبش الکترولیتی (غشایی)

اکثر کانی‌های تشکیل دهنده‌ی سنگ‌ها در سطح مشترک سنگ و سیال درون حفره‌ای دارای بار منفی می‌باشند. در صورتی که عرض خلل و فرج سنگ در حدود 10^{-6} سانتی‌متر باشد، در زمان ارسال جریان، یون‌های منفی در یک انتهای زون تجمع می‌کنند و سدی در برابر شارش ایجاد می‌شود. بعد از قطع جریان، یون‌ها به مرور به حالت اولیه خود بازمی‌گردند [۱۹]. در شکل ۲-۴ قطبش غشایی به‌طور شماتیک برای یک سنگ متخلخل نشان داده شده است.

اثر قطبش غشایی به‌طور عمده به‌علت وجود کانی رس در سنگ یا رسوبات می‌باشد [۲۱]. البته نوع کانی‌رسی نیز بسیار مهم می‌باشد. به‌عنوان مثال، مونت موریلونیت اثر IP پایین و کائولینیت IP بالایی از خود نشان می‌دهند. درصد شوری درون سیال هم از عوامل مؤثر در افزایش IP غشایی می‌باشد [۱۹].

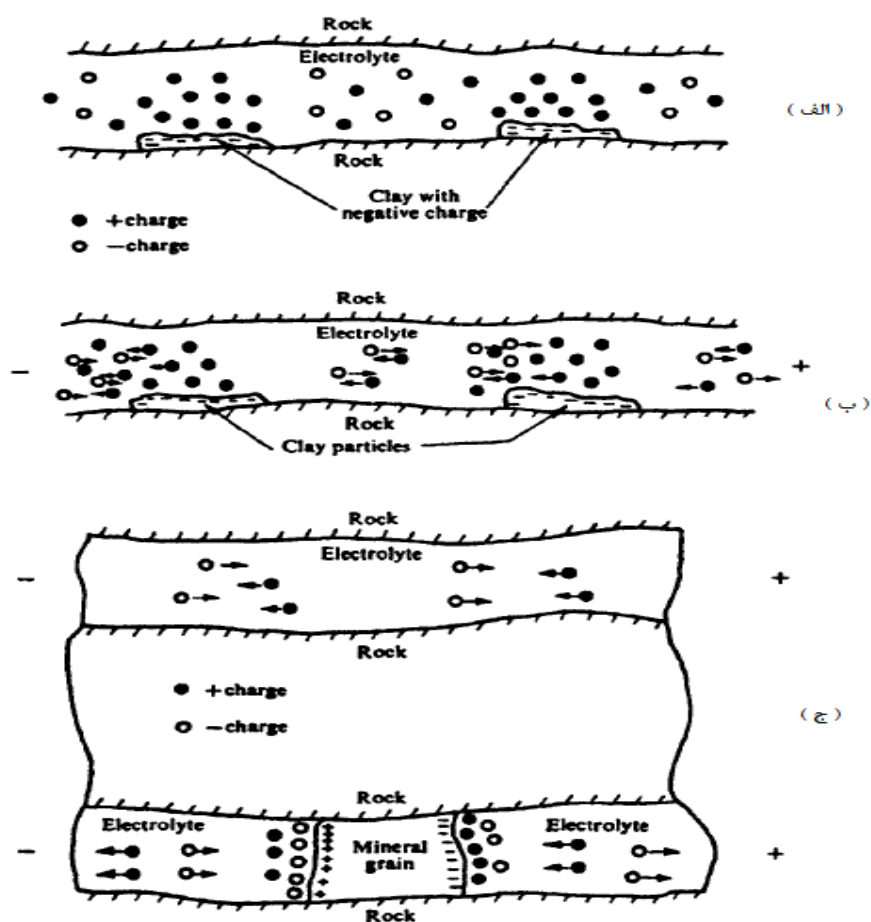
¹ Induced polarization (IP)

ب) قطبش الکتروودی (فلزی)

قطبش الکتروودی به دلیل وجود کانی‌های رسانا در سنگ است. به طوری که قسمتی از جریان الکتریکی تزریقی به زمین از طریق الکترولیتی و قسمتی از طریق کانی رسانا (الکترونیکی) عبور می‌کند. میزان عبور الکترون‌ها آهسته‌تر از میزان تبادل الکترون‌ها از طریق یون‌ها می‌باشد؛ در نتیجه یون‌ها در هر دو طرف کانی تجمع می‌یابند و باعث تجمع بار الکتریکی می‌شوند. زمانی که ولتاژ مؤثر از بین می‌رود، یون‌ها به طور آهسته پراکنده می‌شوند و باعث افت زودگذر ولتاژ می‌شوند. این اثر، ولتاژ اضافی^۱ و یا قطبش الکتروودی نامیده می‌شود [۲۰]. این وضعیت در شکل ۲-۴ نشان داده شده است. پلاریزاسیون الکتروودی در اثر حضور کانی‌هایی با قابلیت رسانش الکترونی، همچون گرافیت و برخی اکسیدها مثل مگنتیت، ایلمنیت، کاسیتريت و تقریباً تمام سولفیدها به جز اسفالریت خالص، سینابر و استینیت ایجاد می‌شود [۱۹].

اثر IP زمانی که کانی‌ها در سنگ میزبان پراکنده‌اند؛ به دلیل سطح قابل دسترسی بیشتر برای تبادل الکترونی مشخص تر است. از طرف دیگر افزایش خلل و فرج راه دسترسی دیگری برای عبور جریان ایجاد می‌کند که باعث کاهش قطبش الکتروودی می‌شود [۲۰].

¹ overvoltage



شکل ۲-۴. اثر IP الکتروودی و غشایی. الف) توزیع نرمال یون‌ها در یک سنگ متخلخل؛ ب) قطبش غشایی در سنگ متخلخل؛ ج) جریان الکتروولیتی در حفره بالایی، قطبش الکتروودی در حفره پایینی [۱۹].

۲-۲-۲ اندازه‌گیری‌های IP

در اندازه‌گیری‌های صحرایی IP، زمین توسط جریان مستقیم (DC^۱) و یا متناوب (AC^۲) با فرکانس پایین شارژ می‌شود. در این روش زمین رفتاری مشابه به یک خازن از خود نشان می‌دهد [۱۶] و باعث قطبیده شدن بخش‌هایی از سنگ می‌شود. بعد از قطع جریان سلول‌های قطبیده در طی چندین ثانیه تخلیه می‌شوند [۲۴]. در واقع اختلاف پتانسیل ایجاد شده بعد از قطع جریان بلافاصله به صفر نمی‌رسد، بلکه بعد از یک افت اولیه به تدریج تخلیه می‌شود [۱۹].

¹ Direct current

² Alternating current

به طور مثال جریان الکتریکی توسط دو الکتروود جریان به زمین تزریق می‌شود و پس از قطع جریان اولیه یک جریان پلاریزه کننده گذرای تولید می‌شود که اختلاف پتانسیل آن در سطح توسط الکترودهای پتانسیل اندازه‌گیری می‌شود. مدت زمانی که طول می‌کشد تا جریان پلاریزه کننده و یا پتانسیل ناشی از آن به صفر برسد و سرعت این فرایند، به عوامل زیادی همچون اندازه و شکل خلل و فرج، ساختار کان‌سنگ، تراوایی، رسانایی الکترولیتی، غلظت یونی و رسانایی فلزی دانه‌های کانه وابسته است [۱۶].

۲-۲-۳ روش‌های اندازه‌گیری IP:

اندازه‌گیری‌های IP در یکی از دو حوزه زیر انجام می‌گیرد:

۱. حوزه زمان^۱ ← اندازه‌گیری زوال ولتاژ اضافی.

۲. حوزه فرکانس^۲ ← اندازه‌گیری مقاومت ویژه‌ی ظاهری در دو یا تعداد بیشتری فرکانس.

تا سال ۱۹۵۰ تمام اندازه‌گیری‌های IP به جریان پیوسته (حوزه زمان) محدود می‌شد و از سال ۱۹۵۰ کولت و سیگل^۳ اندازه‌گیری IP با جریان متناوب (حوزه فرکانس) را پیشنهاد کردند [۱۶].

اگر در روش IP، ولتاژ تخلیه به‌عنوان تابعی از زمان اندازه‌گیری شود، IP حوزه زمان نامیده می‌شود [۱۹]. روش مورد استفاده در این پایان‌نامه، روش IP حوزه زمان است. در این روش بعد از گذشت زمان اندک از قطع جریان شروع به اندازه‌گیری ولتاژ می‌کنند.

همان‌طور که در شکل ۲-۵ نشان داده شده کل ولتاژ مشاهده شده (ΔV_c) برابر است با ولتاژ واقعی ناشی از جریان ارسالی (تزریقی) به زمین به‌علاوه ولتاژ قطبش که باعث به‌وجود آمدن فرایندهای قطبش می‌شود. زمانی که جریان ارسالی به زمین قطع می‌شود، ولتاژ فوراً افت می‌کند و یک ولتاژ باقی‌مانده به‌جا می‌ماند

¹ Time- domain

² Frequency- domain

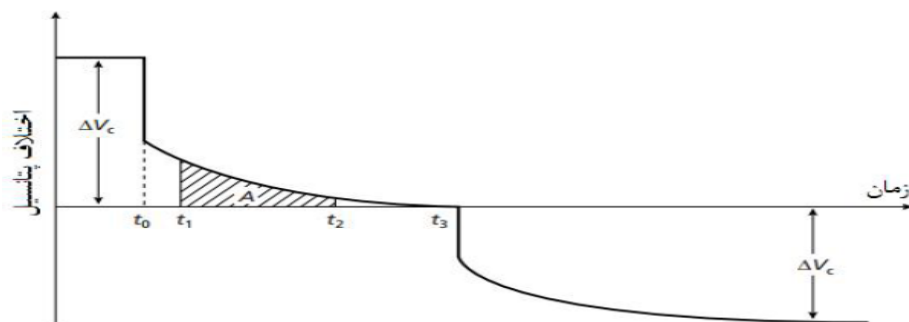
³ Colt and Siegel

که با زمان افت می‌کند. اندازه‌گیری IP بعد از گذشت زمان کوتاه از قطع جریان و در فواصل زمانی بسیار کوتاه صورت می‌گیرد [۱۷].

مساحت محدوده A توسط دستگاه اندازه‌گیری IP توسط انتگرال‌گیری ولتاژ IP از زمان t_1 تا t_2 تعیین می‌شود. با تقسیم این انتگرال بر ΔV_c ، مقدار بارپذیری ظاهری^۱ (M_a) با واحد میلی‌ثانیه به دست می‌آید. بارپذیری پارامتر مفیدی برای تشخیص نوع مواد است [۲۰].

$$M_a = \frac{A}{\Delta V_c} = \frac{1}{\Delta V_c} \int_{t_1}^{t_2} V(t) dt \quad (۴-۲)$$

تفسیر کمی منحنی میرایی یا رو به زوال IP به سادگی امکان‌پذیر نیست و از طرفی سعی شده که این منحنی با توابع میرایی (زوال) الکتریکی شبیه‌سازی شود [۱۹]. یکی از مدل‌های موفق در این شبیه‌سازی، منحنی زوال مدل مقاومت-خازن می‌باشد [۱۶].



شکل ۲-۵. نمودار اثر IP. قطع جریان در زمان t_0 باعث افت ناگهانی پتانسیل از مقدار ΔV_c می‌شود و سپس با یک افت تدریجی به مقدار صفر می‌رسد تا زمانی که در t_3 دوباره جریان وصل شود و همین مراحل تکرار شود [۲۰].

۴-۲-۲ عوامل مؤثر بر پدیده IP

عوامل مختلفی بر مقدار IP اثر می‌گذارد که عبارتند از [۲۹]:

- ۱- قابلیت هدایت الکترونی کانی‌ها: کانی‌های دارای قابلیت هدایت الکتریکی الکترونی معمولاً IP قوی‌تری نسبت به کانی‌های دارای هدایت الکترونی ایجاد می‌کنند.

¹ Apparent chargeability

۲- عمق کانی‌سازی: توده‌های معدنی نسبتاً کوچک و عمیق را نمی‌توان به راحتی از سنگ دربرگیرنده تفکیک کرد.

۳- عیار: افزایش عیار ماده معدنی باعث افزایش IP می‌شود.

۴- دانه‌بندی: ماده معدنی دانه ریزتر IP بزرگ‌تری ایجاد می‌کند. البته اندازه دانه‌بندی نباید از یک حدی کوچک‌تر شود.

۲-۲-۵ نوفه‌های IP

در برداشت‌های IP، عوامل نوفه مختلفی بر روی این برداشت‌ها تأثیر گذاشته و باعث ایجاد خطا در اندازه‌گیری‌های IP می‌شوند. این نوفه‌ها عبارتند از [۱۶]:

۱- نوفه الکتروودی ناشی از تماس الکتروود با زمین

۲- پتانسیل خودزا^۱ (که معمولاً پایدار هستند و تغییرات آن‌ها کم است)

۳- جریان‌های تلوریک (جریان‌های طبیعی در زمین)

۴- جفت‌شدگی الکترومغناطیسی

۲-۲-۶ دلایل IP منفی در روش حوزه زمان

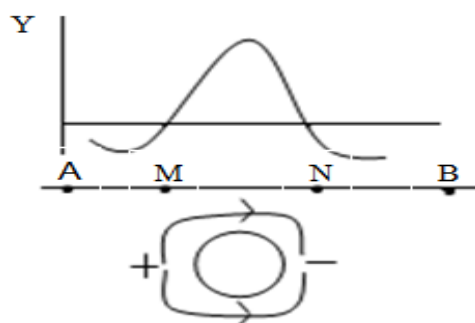
IP منفی می‌تواند ناشی از تأثیر خطوط انتقال برق، تلفن و یا ناهمگنی‌های جانبی باشد و یا به یکی از دلایل زیر ایجاد شود [۱۶]:

۱- حالتی که لایه کانی‌سازی قابل پلاریزه در سطح زمین رخنمون دارد بخشی از جریان به دلیل عایق بودن هوای موجود در سطح لایه تغییر جهت می‌دهد.

۲- حالتی که کانی‌سازی به شکل کروی باشد. همان‌طور که در شکل ۲-۶ نشان داده شده است، توده کروی مدفون باعث ایجاد IP منفی در قسمت‌های مجاور قله می‌شود.

¹ Spontaneous potential

۳- حالتی که کانی‌سازی به شکل عدسی شیب‌دار باشد در بخش فراشیب جهت جریان تخلیه برخلاف جهت جریان شارژ قرار دارد. که در نتیجه آن سر کانسار که به سطح زمین نزدیک است با IP منفی ظاهر می‌شود. در واقع وجود IP منفی مربوط به هندسه و موقعیت کانسار است.



شکل ۲-۶. توده پلاریزه شونده مدفون، در قسمت‌های مجاور قله پتانسیل IP منفی ظاهر می‌شود (برگرفته از نوروزی (۱۳۹۲) با اندکی تغییر).

۲-۳ ژئوفیزیک هوابرد

۲-۳-۱ مقدمه

مطالعه مغناطیس زمین قدیمی ترین شاخه ژئوفیزیک است. انتشار مقاله "بررسی کانسارهای آهن با اندازه‌گیری‌های مغناطیسی" توسط تالن^۱ در سال ۱۸۷۹ سرآغازی بر ژئوفیزیک کاربردی است. به‌طور کلی بی‌هنجاری‌های مغناطیسی در اثر مقدار کانی‌های مغناطیسی موجود در سنگ‌ها به‌وجود می‌آید. استفاده از روش‌های ژئوفیزیک هوابرد از جمله روش مغناطیس هوابرد امروزه به‌اندازه‌ای گسترش یافته‌است که در ابتدا به‌عنوان روش صحرایی اصلی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به این منظور مغناطیس‌سنج‌های فلاکس‌گیت و تلمبه‌نوری برای کارهای هوابرد توسعه داده شده‌اند. مغناطیس‌سنج‌های هوابرد اغلب میدان کل را اندازه‌گیری می‌کنند. [۱۹]. علاوه بر این سایر روش‌های ژئوفیزیک هوابرد نیز در حال توسعه و گسترش روزافزون است.

۲-۳-۲ کاربردهای روش‌های ژئوفیزیک هوابرد

ژئوفیزیک هوابرد از راه‌کارهای انجام مطالعات ژئوفیزیکی - زمین‌شناسی می‌باشد. به کمک این علم می‌توان به اطلاعات با ارزشی در مورد زمین‌شناسی منطقه دست‌یافت. هنر اصلی این علم در حل بسیاری از ابهامات زمین‌شناسی به‌خصوص در راستای اکتشاف موادمعدنی و نیز تعیین ساختارها می‌باشد؛ زیرا به کمک آن می‌توان عواملی که باعث ایجاد ساختارهای عمده و نیز تشکیل کانه‌های معدنی شده ولی از دید زمین‌شناس و یا گروه‌های اکتشافات معدنی پنهان مانده‌اند را به‌راحتی شناسایی نمود. به عنوان مثال تعیین توده‌های نفوذی مدفون که نقش اساسی در تشکیل آلتراسیون‌های هیدروترمال دارند، تعیین شکستگی‌های بزرگ و عمیق ناحیه‌ای که می‌توانند در تشکیل کانسارها نقش عمده ایفا کنند، تهیه نقشه زمین‌شناسی اولیه به کمک جدایش کنتاکت‌ها و تعیین ساختارها با دقت بالا، تعیین پهنه خطر

¹ Thalen

برای مناطق مختلف، شناسایی سفره‌های زیرزمینی آب به صورت غیرمستقیم به کمک داده‌های الکترومغناطیس، بررسی مسائل زیست‌محیطی منطقه، اکتشاف کانسارهای با ارزش رادیواکتیو نظیر اورانیم و توریم، اکتشاف کانسارهای فلزی نظیر طلا، مس، آهن و ... به کمک روش‌های ژئوفیزیک هوابرد قابل شناسایی و بررسی می‌باشند [۳۰].

میدان‌های پتانسیل مانند میدان گرانش، مغناطیسی و الکتریکی در مکان پیوسته بوده و فاقد تغییرات ناگهانی هستند. این همواری به طراحی برداشت کمک می‌کند زیرا حدی برای مقدار تغییر میان یک نقطه مشاهده‌ای و نقطه بعدی وجود دارد. در به‌نقشه درآوردن بی‌هنجاری‌های مغناطیسی، هدف، ترسیم زمین‌شناسی در سرتاسر یک منطقه است. مرزهای سنگ‌شناسی در زمین‌شناسی اغلب با مرزهای خواص مغناطیسی مرتبط است. ردیابی چنین مرزهایی از روی برداشت مغناطیس هوابرد هدف تفسیر داده‌های مغناطیس است [۳۱].

۲-۳-۳ اصول برداشت‌های ژئوفیزیک هوابرد

در روش‌های ژئوفیزیک هوابرد به دلیل برداشت چند لایه اطلاعاتی به‌طور هم‌زمان امکان بررسی پدیده‌های زمین‌شناسی از طریق خواص مختلف ژئوفیزیکی آن امکان پذیر می‌باشد. که این امر در دستیابی به اهداف مورد نظر بسیار سودمند است. با استفاده از تجهیزات ژئوفیزیک هوابرد می‌توان تا ۱۱ لایه اطلاعاتی را به‌طور هم‌زمان برداشت نمود؛ که از این مقدار، ۵ لایه مربوط به رسانایی سنگ‌ها در پنج فرکانس مختلف الکترومغناطیسی، ۱ لایه مربوط به شدت کل میدان مغناطیسی، ۴ لایه اطلاعاتی مربوط به اندازه‌گیری‌های رادیومتری (شامل میزان پتاسیم، توریم، اورانیم و میزان کل تشعشعات رادیو اکتیو) است. همچنین اطلاعات مربوط به مدل ارتفاعی راقومی به‌صورت هم‌زمان جمع‌آوری می‌شود. کلیه اطلاعات مزبور به‌صورت راقومی و دارای مختصات جغرافیایی که توسط GPS^۱ برداشت می‌گردد،

¹ Global positioning system (GPS)

جمع‌آوری شده و هم‌زمان برای حذف اثر مصنوعات ساخت دست بشر از روی اطلاعات توسط دوربین دیجیتالی پیشرفته عکس از سطح زمین تهیه می‌گردد [۳۲].

۲-۳-۴ دقت مغناطیس‌سنج‌های هوابرد

به دو دلیل حساسیت مغناطیس‌سنج‌های هوابرد معمولاً بیش از آن‌هایی است که در اکتشافات مغناطیس زمینی به کار می‌رود [۱۹].

- هزینه زیاد هواپیما و فضای کافی برای نصب دستگاه‌های هوابرد ایجاب می‌کند که عملاً دستگاه‌های مغناطیس‌سنج پیشرفته‌تری نسبت به دستگاه‌های مغناطیس‌سنج قابل حمل زمینی به کار گرفته شود.
- حساسیت بالای مغناطیس‌سنج‌های هوابرد یکی از الزامات اندازه‌گیری مغناطیسی در چند صد فوتی بالای سطح زمین است در حالی که چنین حساسیتی معمولاً برای اندازه‌گیری‌های زمینی غیرضروری و حتی نامطلوب است.

۲-۳-۵ سیستم‌های برداشت مغناطیس‌سنجی هوابرد

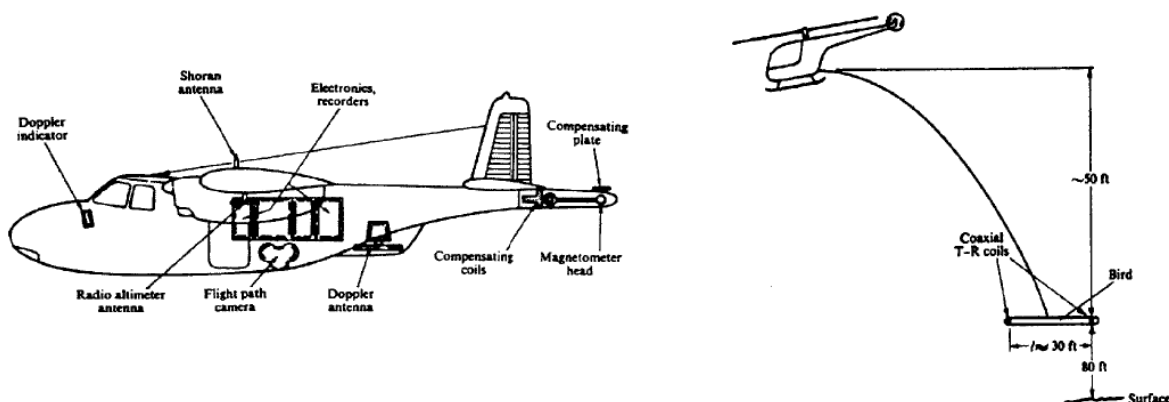
حساسیت‌های زیادی در نصب دستگاه‌های مغناطیسی در هواپیما یا بال‌گرد (هلی‌کوپتر) وجود دارد. زیرا ابزار پروازی دارای یک میدان مغناطیسی پیچیده است [۱۹].

یکی از راه‌های حل این مشکل قراردادن دستگاه در یک محفظه استوانه‌ای شکل به نام پرنده^۱ است [۱۹]. متعلقات مغناطیس‌سنج فشرده بوده و فضای زیادی را اشغال نمی‌کند [۳۳]. پرنده توسط یک کابل به هواپیما یا بال‌گرد متصل می‌شود و با فاصله‌ای در عقب هواپیما کشیده می‌شود. در این روش به دلیل این که پرنده حدود ۶۰ متر از هواپیما (یا بال‌گرد) به زمین نزدیک‌تر است [۱۹] یدک کشیدن پرنده

¹ Bird

به خصوص در بالای مناطق جنگلی و تپه ماهورها مشکل ساز می باشد [۳۳]؛ لذا لازم است ارتفاع پرواز کنترل شده و کافی باشد [۱۹] (شکل ۷-۲).

راه حل دوم نصب آشکارساز بر روی نوک بال یا با فاصله بسیار کم در پشت دم هواپیما است [۱۹]. در این روش اثرات مغناطیس هواپیما را تا حدی با قراردادن قسمت حساس در یک میله بلند که از جلوی هواپیما بیرون بوده یا یک میله بلند که از عقب هواپیما بیرون است خنثی می کنند. علاوه بر این، سیم پیچ های جبران کننده می توانند تا حدی برای خنثی کردن مغناطیس هواپیما نزدیک به قسمت حساس نصب شوند [۳۳] (شکل ۷-۲).

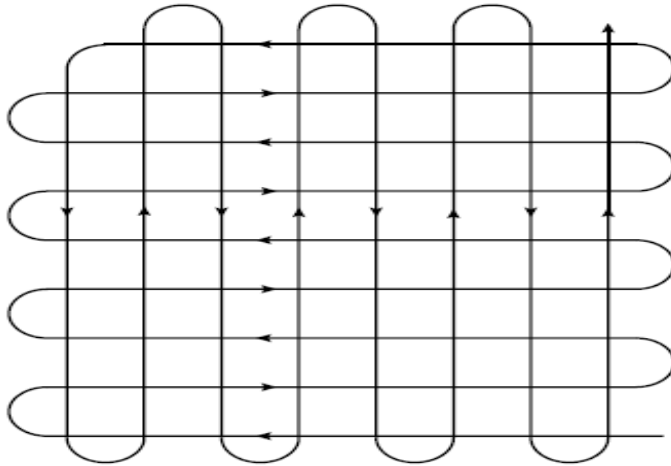


شکل ۷-۲. شکلی شماتیک از مغناطیس سنج های نصب شده بر روی هواپیما و بال گرد [۱۹]

۳-۳-۶ مسیر و خطوط پرواز

در اندازه گیری های عملی ژئوفیزیک هوابرد، مغناطیس سنج یا سایر دستگاه های اندازه گیری ژئوفیزیک هوابرد در امتداد یک سری خطوط پرواز از پیش تعیین شده و در ارتفاعی که تا حد امکان ثابت باشد پرواز داده می شود. ارتفاع به طور پیوسته توسط ارتفاع سنج رادیویی یا بارومتری ثبت می شود. خطوط پرواز به صورت موازی با هم و در حد امکان عمود بر روند اصلی زمین شناختی ناحیه است [۱۹]. خطوط کنترل کننده ای، این خطوط پرواز موازی را قطع نموده تا تصحیحات برای تغییرات زمانی میدان را بتوان

با پرواز آن‌ها به دست آورد [۳۳] (شکل ۲-۸). انحراف‌هایی که در مسیر پرواز رخ می‌دهد مانند ارتفاع و سوی پرواز باعث ایجاد خط‌هایی در اندازه‌گیری می‌شود [۱۹].



شکل ۲-۸. طرحی شماتیک از نقشه پرواز برای مغناطیس‌سنجی هوایی [۲۰]

۲-۳-۷ مزایا و معایب برداشت‌های ژئوفیزیک هوابرد

روش‌های ژئوفیزیک هوابرد که توسط هواپیما در ارتفاع ثابت از سطح دریا (پرواز بارومتریک^۱) یا بال‌گر در ارتفاع ثابت از عوارض زمین (پرواز آلتیمتر^۲) انجام می‌گیرد، از جمله روش‌های اکتشافی است که امکان اجرای آن‌ها در مناطق وسیع و صعب‌العبور و در مدت زمانی کوتاه میسر است. از آن‌جایی که سرعت برداشت نسبت به وسعت منطقه زیاد است؛ این برداشت‌ها مقرون به صرفه هستند. بنابراین از این روش‌ها به منظور اکتشافات منطقه‌ای یا پی‌جویی استفاده می‌شود. از سوی دیگر اطلاعات جمع‌شده توسط روش‌های ژئوفیزیک هوابرد به شکل همگن و متوالی (پیوسته) قرار دارند؛ در صورتی که ماهیت همگن بودن خواص فیزیکی در روش‌های ژئوفیزیک زمینی شبیه ژئوفیزیک هوابرد نبوده و داده‌ها به صورت منقطع برداشت می‌گردند [۳۴].

¹ Barometric

² Altimeter

برداشت‌های ژئوفیزیک هوابرد به واسطه تجهیزات گران قیمت نظیر وسیله پروازی و نیز ابزارهای برداشت و همچنین همکاری و هماهنگی چندین گروه تخصصی نظیر گروه پروازی، گروه برداشت داده، گروه پردازش، گروه تفسیر و چندین گروه پشتیبانی برای مناطق کم وسعت از جمله برداشت‌های گران قیمت به حساب می‌آید [۳۴].

۲-۳-۸ مروری کوتاه بر پردازش داده‌های مغناطیس‌سنجی هوابرد

پردازش داده‌های مغناطیس‌سنجی هوایی در هفت مرحله و در دو فاز انجام می‌شود.

فاز اول - پیش پردازش

۱- بازرسی و تأیید اولیه داده‌های خام

۲- حذف داده‌های قرارگرفته در محدوده زون مرده^۱ و نوفه

در فاز اول، تصحیح داده‌های خام به صورت دستی و با استفاده از مشتق چهارم، تمامی نقاط نبود داده، نوفه‌ها و مقادیر خارج از محدوده مشخص شده و از داده خارج می‌شوند. سپس با طراحی یک فیلتر پایین‌گذر باقیمانده نوفه‌های موجود در داده‌ها که به صورت چشمی قابل تشخیص نیستند از داده‌ها حذف می‌شوند. پارامترهای این فیلتر بستگی به نوع داده‌ها و میزان نویز آن‌ها دارد.

فاز دوم - پردازش اصلی

۱- تصحیح پارالاکس^۲

از آنجایی که محل ثبت مختصات بالگرد (محل قرارگیری آنتن GPS) و محل ثبت میدان (مکان مگنتومتر) یکسان نیستند، میدان قرائت شده مربوط به نقطه ثبت شده نمی‌باشد، بنابراین باید مختصات-های ثبت شده را تغییر داد تا مقادیر میدان بر روی محل اصلی خود قرار گیرند. این تصحیح Log نامیده می‌شود.

¹ dead zone

² Parallax correction

۲- حذف اثر روزانه^۱

میدان مغناطیسی کره زمین متغیر با زمان می‌باشد. این تغییرات دارای دوره تناوب‌های متفاوتی هستند. با توجه به مدت زمان برداشت داده در هر روز مسلم است که فقط تغییرات زودگذر میدان در داده‌های ثبت شده اثر می‌گذارد. برای حذف این اثرات یک دستگاه مگنتومتر پروتون در محل استقرار یافته و در طول مدت زمان برداشت داده، تغییرات میدان زمین را ثبت می‌نماید.

۳- حذف میدان هسته^۲

بیش از ۹۵٪ میدان مغناطیسی زمین از هسته آن ناشی شده است. این میدان هنگام شکل‌گیری پوسته زمین و در هنگام سرد شدن ماگمای مذاب در آن‌ها القا می‌شود. میزان این القا بستگی به چگالی کانی-های فرومغناطیسی در سنگ‌ها دارد. از طرف دیگر میدان مغناطیسی زمین دارای تغییراتی نیز متناسب با طول و عرض جغرافیایی می‌باشد. میدان مغناطیسی کلی زمین با استفاده از داده‌های رصدخانه‌های مغناطیسی تمام دنیا و به‌کارگیری روابط ریاضی به‌صورت یک فرمول درآمده و این امکان را می‌دهد که میدان زمین را در هر نقطه به‌دست آورده و آن را از مقدار ثبت شده کم نمود تا بدین ترتیب تمامی اثرات مذکور از داده‌ها حذف شوند. میدان مغناطیسی مرجع به اختصار IGRF نامیده می‌شود و نحوه حذف آن از داده به‌صورت زیر می‌باشد.

داده نهایی = (شدت کل میدان مغناطیسی در هر کانال) - (مقدار IGRF در هر کانال) + (میانگین مقدار IGRF)

۴- هم‌ترازسازی داده‌ها^۳

برای حذف اثرات باقیمانده در داده‌ها و همچنین اطمینان از صحت داده‌های برداشت شده در پروژه‌های مغناطیسی هوایی معمولاً یکسری خطوط کنترلی عمود بر خطوط اصلی پرواز می‌شوند. بعد از پرواز

^۱Diurnal correction

^۲IGRF

^۳ leveling

خطوط مزبور، در نقاط تقاطع دو مقدار قرائت شده مربوط به دو زمان متفاوت موجود می‌باشد. هم-ترازسازی فرایندی است که طی آن اختلاف بین مقادیر قرائت شده در هر نقطه تقاطع به کمترین مقدار کاهش پیدا کند. یکی از روش‌های موجود برای این کار، روش برازش منحنی برای داده‌های برداشت شده است. در این روش ابتدا یک چند جمله‌ای به روش کمترین مربعات، به مقادیر اختلاف بین اندازه‌گیری-های انجام شده در نقاط تقاطع برازش می‌شود. سپس مقادیر منحنی فوق در مرحله اول به داده‌های خطوط کنترل اعمال شده و دوباره مقادیر اختلاف بین دو مقدار موجود در هر نقطه تقاطع محاسبه می-شود. منحنی چند جمله‌ای دوم به اختلاف‌های تصحیح شده برازش می‌شود و نهایتاً مقادیر منحنی فوق از داده‌های خطوط کم می‌شود.

۵- ریز هم‌ترازسازی داده‌ها^۱ (حذف خطاهای باقیمانده از مرحله هم‌ترازسازی)

ریز هم‌ترازسازی یک اصطلاح کلی است که به حذف و تصحیح هر گونه خطای باقیمانده مشهود در داده‌ها اطلاق می‌شود که پس از اعمال تمامی روش‌های استاندارد باز هم در داده‌ها باقی می‌ماند. این بخش از کار از این لحاظ مهم است که وجود خطاهای خیلی کوچک در داده‌ها باعث پدید آمدن اشکال مصنوعی در نقشه‌های نهایی، به خصوص نقشه‌های با تفکیک بالاتر (برای مثال مشتق قائم) می‌شود. روش‌های مورد استفاده در این مرحله جزو مسائل سری شرکت‌های مهم دنیا به حساب می‌آید و اطلاعات در این مورد کم است.

¹ Micro leveling

فصل سوم

زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی

۳-۱ موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به محدوده مورد مطالعه

محدوده برداشت داده‌های ژئوفیزیک هوابرد (معلمان- ترود) در فاصله ۱۲۰ کیلومتری جنوب شهر دامغان واقع است. منطقه معلمان- ترود از دیدگاه زمین‌شناسی دارای پتانسیل بالای منابع معدنی مانند مس، سرب و ... می‌باشد. این منطقه در محدوده چهارگوش ۱:۲۵۰۰۰۰ ترود قرار دارد و جزئی از زون ساختاری ایران مرکزی است.

برای دسترسی به محدوده مورد مطالعه که مساحتی در حدود ۴/۵ کیلومترمربع دارد، همان‌طور که در شکل ۳-۱ دیده می‌شود، چهار جاده وجود دارد. یکی از مسیرها جاده آسفالت‌ده دامغان به جندق است؛ که این راه از شهر دامغان به سوی جنوب و از طریق معلمان به جندق می‌پیوندد. روستای رشم در مسیر این جاده قرار دارد و منطقه برداشت، در سمت غرب روستای رشم، جای دارد. مسیر دیگر راه ارتباطی از شاهرود به ترود، معلمان و رشم است.



شکل ۳-۱. موقعیت جغرافیایی منطقه و راه‌های دسترسی به محدوده رشم [۳۵]

۲-۳ کلیات زمین‌شناسی منطقه

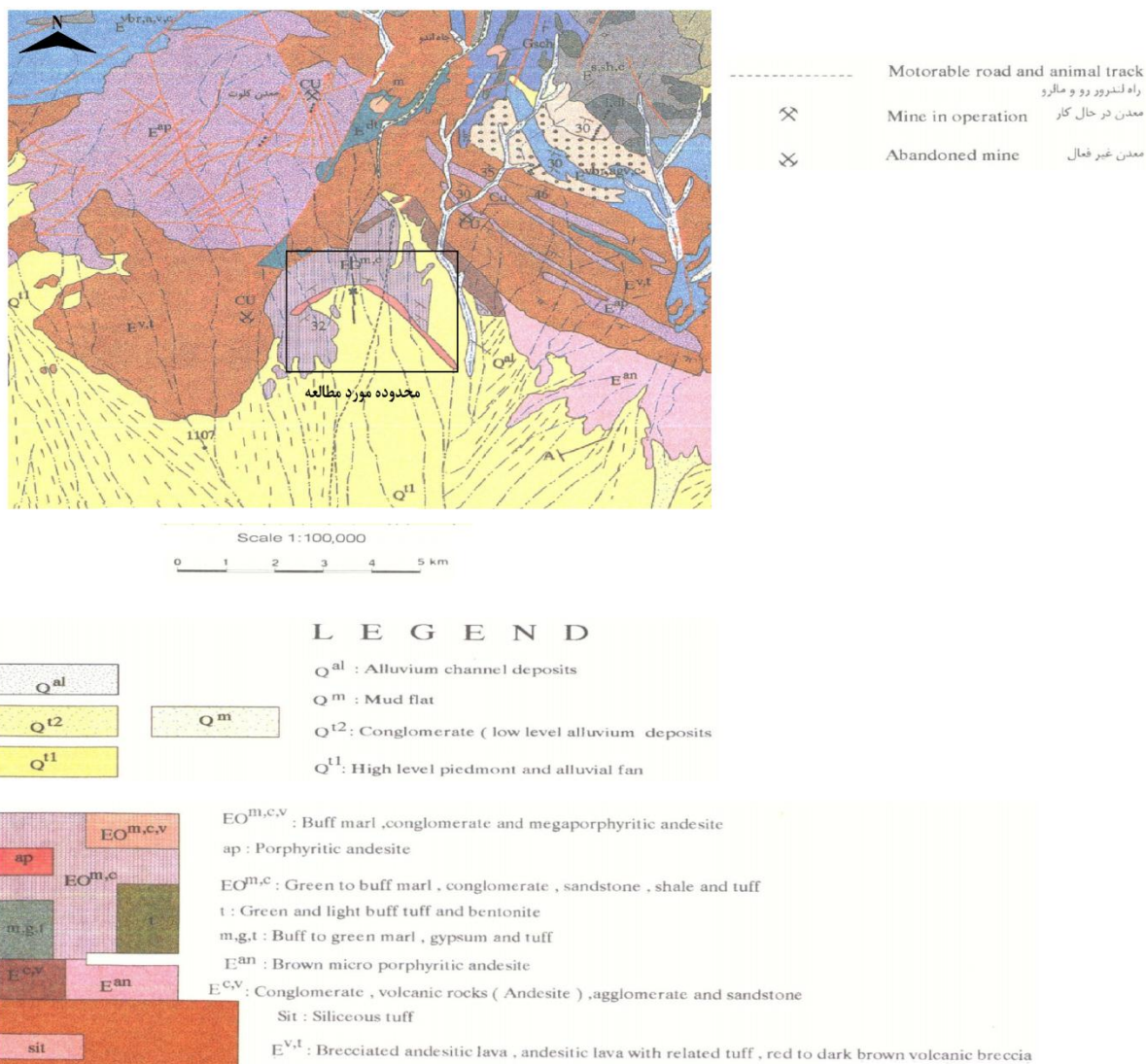
ورقه زمین‌شناسی کلاته- رشم، (شکل ۳-۲)، از دیدگاه زمین‌شناسی ساختاری کشورمان در پهنه ایران مرکزی است و در بخش‌های شمالی این زون جا گرفته‌است. این زون که محل قدیمی‌ترین پهنه خشکی ایران می‌باشد، در دوران پالئوزوئیک و اوایل مزوزوئیک خاصیت پلاتفرمی داشته، ولی در اواخر دوران مزوزوئیک و سنوزوئیک تبدیل به زون کوه‌زایی بسیار فعالی شده‌است. به‌دلیل گستردگی بسیار زیاد این زون ساختاری، زیر زون‌هایی^۱ را می‌توان در آن مشخص نمود، که با یکدیگر تفاوت‌هایی را نشان می‌دهند. در تقسیم‌بندی که توسط نوگل سادات و الماسیان در سال ۱۹۹۳ صورت گرفته بر اساس وضعیت زمین‌ساختی و واحدهای تکتونو - رسوبی ارائه شده، محدوده مورد بررسی در زون ایران مرکزی قرار گرفته و نیمه شمالی آن در زیرزون بخش مرکزی ماگمایی جای دارد [۳۶].

هوشمند زاده و همکاران در سال ۱۳۵۷ در زمین‌شناسی چهارگوش ترود، نیمه شمالی ورقه را باریک رشته‌ای بین دو گسل ترود (در جنوب) و گسل انجیلو (در شمال) می‌دانند و نیمه جنوبی ورقه یاد شده را به زیرزون رسوبی جندق نسبت می‌دهند. چنین می‌نماید که نیمه‌شمالی ورقه به‌صورت یک فرازمین^۲ بوده‌باشد که حاشیه شمالی فرورفتگی کویر بزرگ را پدید می‌آورد. این منطقه بالاآمده در شمال به فروافتادگی کویر چاه جام و در جنوب به فرورفتگی کویر بزرگ محدود می‌شود؛ که مرز جنوبی آن را گسل ترود و مرز شمالی آن را گسل انجیلو محدود می‌نماید. نوار مرتفع نیمه شمالی ورقه از کوه‌های چاه شیرین تا ناحیه عباس‌آباد سبزواری ادامه دارد و در برگیرنده ارتفاعات چاه شیرین، قله دختر، کوه بابا احمد، کوه زر، کوه چاه موسی، کوه چاه فراخ، کوه گفتار و ... است. این نوار مرتفع به لحاظ دارا بودن کانی‌سازی در طولی در حدود صد کیلومتر مورد توجه زمین‌شناسان بوده‌است. کانی‌سازی فلزی و یا غیرفلزی به‌طور عمده در سنگ‌های آتشفشانی ترشیری زیرین رخ داده‌است و در بردارنده کانسارهای مس،

¹ Sub zone

²horst

سرب، روی، منگنز، طلا، آهن و غیره و در نقاطی در اثر دگرسانی سنگ‌های اسیدی و توفی، کائولن و بنتونیت نیز پدیدار شده‌است [۳۶]. همان‌گونه که گفته‌شد ناحیه کلاته- رشم در بخش شمالی زون ساختاری ایران مرکزی جای گرفته‌است و لذا می‌باید روند رخنمون‌ها خاوری- باختری باشند؛ ولی اکنون واحدهای سنگی دگرگونه قدیمی تا ژوراسیک روند شمالی- جنوبی از خود نشان می‌دهند [۳۶].



شکل ۳-۲. نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه، برگرفته از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته - رشم [۳۶]

۳-۳ زمین‌شناسی ساختمانی

ناحیه کلاته- رشم در بخش شمالی زون ساختاری ایران مرکزی واقع شده است. ولی در نگاه دقیق‌تر آن را می‌توان به سه حوضه کوچک‌تر تقسیم نمود که عبارتند از: ۱- نیمه جنوبی ورقه که در محدوده حوضه رسوبی جندق قرار دارد. ۲- نیمه مرکزی. ۳- نیمه شمالی ورقه را کمر بند ترود- چاه شیرین تشکیل می‌دهد. بخش کوچکی از گوشه شمال باختری ورقه در محدوده باریک رشته کوه‌های انجیلو جای دارد. مرز میان حوضه جندق و کمر بند ترود- چاه شیرین را گسل ترود کنترل می‌کند و کوه‌های انجیلو نیز از نوار ترود- چاه شیرین توسط گسل انجیلو جدا می‌شود. جابجایی و حرکت گسل‌های یادشده فزون بر این- که در پدیده دگرگونی و ایجاد روند ماگمایی موثر بوده به اختلاف سطح توپوگرافی فعلی بین سه نوار مذکور تاثیر گذاشته‌است [۳۶].

منطقه جندق حوضه فروافتاده‌ای است که دریای میوسن آن را فراگرفته و رسوبات کم‌عمق ولی با ضخامت زیاد مارن، ماسه‌سنگ، نمک و گچ را در آنجا گذاشته‌است. کمر بند ترود- چاه شیرین در مجموع دارای سه روند اصلی شمال غربی - جنوب شرقی، شرقی - غربی، شمال شرقی - جنوب غربی است که در حاشیه فرورفتگی کویر جندق واقع شده‌است. از نگاه ریخت‌شناسی ظاهری شبیه یک فرا زمین است که بین دو فرورفتگی، یکی در کویر جنوب (کویر جندق) و دیگری در شمال (کویر چاه جام) قرار دارد. مرز آن با کویر جندق را گسل ترود و مرز آن با کویر چاه جام را گسل انجیلو کنترل می‌کند. کمر بند یادشده از سمت خاور تا عباس‌آباد و از سمت باختر تا جنوب خاور سمنان امتداد می‌یابد و در حدود ۱۲۰ کیلومتر درازا دارد. نوار ترود- چاه شیرین چندین مرحله حوادث و تحولات تاریخی را پشت‌سر نهاده‌است. واحدهای سنگی پیش از ژوراسیک میانی پدیده دگرگونی ناحیه‌ای را تحمل کرده‌است. رخنمون این سنگ‌ها و عناصر تکتونیکی مربوط به آن‌ها دارای روند شمالی- جنوبی است [۳۶].

۳-۴ زمین‌شناسی اقتصادی

ناحیه کلاته - رشم در یک زون کانی‌سازی واقع است که از عباس آباد آغاز و پس از عبور از بیارجمند و ترود به جنوب گرمسار پایان می‌پذیرد [۳۶].

۳-۴-۱ کانی‌سازی مس در ناحیه

در محدوده ورقه کلاته- رشم کانی‌سازی مس نیز دیده می‌شود. آثاری از معدن‌کاری قدیمی و سرباره‌های موجود نشانگر تاریخچه معدن‌کاری است. این فعالیت‌ها در سنگ‌های ولکانیک ائوسن در نیمه باختری ورقه نمود بیشتری دارد. کانی‌سازی به‌صورت رگچه‌هایی کوچک است که پراکندگی زیادی دارند. اکتشافات زیادی در ناحیه پیرامون این ماده معدنی صورت پذیرفته و معدن مس کلوت نیز در گذشته مورد بهره‌ر قرار گرفته است. اثر این کانی‌سازی معمولاً به‌صورت کانی‌های کربناته مس مثل، مالاکیت و آزوریت است [۳۶].

تشکیل کانسار مس در ناحیه در اثر نفوذ دایک‌های با ترکیب حدواسط در سنگ‌های آتشفشانی ائوسن و یا سنگ‌های قدیمی صورت گرفته است، لذا می‌توان آن‌را به پس از فعالیت‌های آتشفشانی ائوسن نسبت داد. شاید هم در الیگوسن تشکیل شده باشد. ترکیبات در سنگ‌های کربناته قدیمی به‌صورت رگه‌های بسیار نازک ایجاد شده است. کانسار مس در این نواحی به‌صورت گرمابی تشکیل شده و اغلب در شکستگی‌ها و شکاف‌های کوچک سنگ‌ها بجا گذاشته شده است [۳۶].

۳-۵ چینه‌شناسی واحدهای مختلف به نقل از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ ترود

۳-۵-۱ سنوزوئیک (ترشیر - کواترنر)

ترشیری در منطقه با فعالیت آتشفشانی آغاز می‌گردد. رسوبات دوره ائوسن را توالی‌های ضخیمی از سنگ‌های آتشفشانی همراهی می‌کنند. نشت کف حوضه پیشروی دریایی ائوسن با واحد کنگلومرایی آغاز

می‌گردد که ضخامتی متغییر دارد. سپس رسوبات دریایی نومولیت‌دار ائوسن در پی کنگلومرا می‌آید که گاه ضخامتی در حدود ۳۵۰۰ متر می‌یابد. در این مدت کف دریا ناآرام و بطور مدام دستخوش فعالیت‌های آتشفشانی بوده‌است. حرکات گسل‌های انجیلو و تروود باعث ایجاد حوضه‌های جداگانه در محدوده گسل‌ها گشته‌است و توالی‌های به‌جا مانده در این حوضه‌ها، تناوبی فاحش با یکدیگر دارند. لذا نهشته‌های مربوط به ترشیری به سه گروه قابل تقسیم می‌باشند [۳۷].

- رسوبات دریایی نومولیت‌دار شمال گسل انجیلو، که دارای افق‌هایی از کنگلومرا، توف، شیل و مارن می‌باشند. رسوبات دریایی جنوب گسل تروود که شامل سنگ‌های رسوبی و آتشفشانی بوده و در دامنه‌های جنوبی رشم و چاه شیرین رخنمون دارند.
- سنگ‌های آتشفشانی بین گسل‌های انجیلو و تروود (رشته کوه تروود- چاه شیرین) که از واحدهای سنگی بسیار متنوع تشکیل شده‌اند. ضخامت آن‌ها در نقاط مختلف متفاوت بوده و بطور کلی از برش ولکانیکی، گدازه، توف و مارن تشکیل شده‌اند که به‌صورت دگرشیب بر روی رسوبات کرتاسه و یا سنگ‌های دگرگونی قدیمی‌تر قرار می‌گیرند.
- سنگ‌های نفوذی کم‌عمق و گنبدی شکل نیز با ترکیب آندزیت پورفیری تا دیوریت رخنمون دارند. در این گروه از سنگ‌ها می‌توان به توده‌های گنبدی شکل داسیت‌های پرفیری اشاره نمود. پس از الیگوسن آغازی نهشته‌های ترشیری در ناحیه تروود تقریباً یکسان بوده و رژیم‌های دریایی و قاره‌ای را شامل می‌گردد. تفاوت این نهشته‌ها در نقاط مختلف کم‌عمق بوده و به سازندهای قرمز زیرین، سازند قم و سازند قرمز بالایی قابل تفکیک می‌باشند. نهشته‌های پس از میوسن- پلیوسن بیشتر از کنگلومرا، رس و مارن‌های گچ‌دار تشکیل می‌شود که روی تمام سازندهای قدیمی‌تر را با دگرشیبی می‌پوشانند.

ناحیه ترود از قدیمی‌ترین زمان‌های زمین‌شناسی شاهد فعالیت ماگمایی بوده‌است. این فعالیت‌ها در دوران اول و دوم اندک اندک آغاز شده و در دوران سوم به اوج می‌رسند. فعالیت‌های ماگمایی در منطقه در سیلورین آغاز شده که با خروج گدازه‌های آندزیتی همراه بوده‌است. فعالیت ماگمایی در دوران دوم گسترش چندانی ندارد و ترشیری اوج فعالیت ماگمایی در منطقه بوده‌است که محصولات آن (توف و توده‌های نفوذی) سراسر ناحیه را می‌پوشاند. مرحله نخست فعالیت‌ها در ائوسن میانی است که به خروج گدازه‌های ضخیم آندزیتی و مواد آذرآواری می‌انجامد و در ائوسن به اوج می‌رسد. توده‌های نفوذی در ناحیه که به صورت دایک، سیل و توده‌های کوچک نفوذی (با ترکیب غالب دیوریتی و کم‌تر گرانیتی و گرانودیوریتی) دیده می‌شوند؛ تمام توالی‌ها را تا الیگوسن می‌پیمایند. ترکیب شیمیایی سنگ‌ها (خروجی و نفوذی) در تمام فازها از نوع کالک آلکالن است و در تمام موارد اندک سنگ‌هایی با ترکیب متفاوت مشاهده می‌گردند. نوع سنگ‌ها آندزیت، آندزی بازالت، تراکی آندزیت و داسیت می‌باشند ولی حجم محصولات آندزیتی در مقایسه با سایر محصولات بسیار زیاد است [۳۷].

در ناحیه ترود دو گروه مجزا از سنگ‌های دگرگونی رخنمون دارند. گروه نخست سنگ‌های دگرگونی مربوط به پرکامبرین بوده و شامل مجموعه‌ای از شیست، گنایس و آمفیبولیت می‌باشند که در شرق ناحیه رخنمون دارند. گروه دوم نهشته‌های کامبرین تا قبل از آپسین (کرتاسه زیرین) می‌باشند که تا حد رخساره شیست سبز دگرگون شده‌اند [۳۷].

۳-۵-۲ واحد سنگی متعلق به ائوسن - الیگوسن

نهشته‌های این مقطع زمانی از یک مجموعه واحدهای سنگی شامل مارن، کنگلومرا، گچ، توف و سنگ‌های ولکانیک تشکیل شده‌است. گمان می‌رود در برخی نقاط به‌طور ناپیوسته بر روی واحدهای سنگی مربوط به ائوسن قرار دارد. از گسترش و ضخامت نسبتاً کمی برخوردارند [۳۶].

• **EO^{m,c}:**

این واحد که در دامنه جنوبی ارتفاعات چاه شیرین - بیل بن به گونه پراکنده دیده می شود بیشترین گسترش را در آغاز دره کلوت دارد. در اینجا در حدود ۵۰۰ متر از ضخامت آن دیده می شود که توسط نهشته آبرفتی کواترنر پوشیده می شود. از تناوب طبقات کنگلومرایی سست و مارن روشن تشکیل شده است.

• **واحد فرعی ap:**

در محدوده واحد رسوبی EO^{m,c} در مسیر معدن کلوت و در آغاز دره، یک نوار کم ضخامت (در حدود ۳۰ متر) از آندزیت پورفیری قهوه ای رنگ با بلورهای درشت پلاژیوکلاز دیده می شود که به طور عمده دگرسان است و چهره ای به نسبت هموار به زمین داده است.

فصل چهارم

برداشت داده‌های ژئوفیزیک، مدل‌سازی و

تفسیر داده‌ها

۴-۱ مقدمه

مدل‌سازی و تفسیر داده‌های ژئوفیزیکی عبارت است از تعیین منبع بی‌هنجاری‌های (آنومالی‌های) موجود و ویژگی‌های آن‌ها از روی تغییراتی که در داده‌ها مشاهده می‌گردد. در تفسیر کیفی بیشتر انواع ساختارهای ایجاد کننده بی‌هنجاری‌ها، جهت و امتداد و میزان گسترش آن‌ها مورد نظر قرار می‌گیرد. در این حالت شکل، عمق، گسترش و امتداد و خواص فیزیکی بی‌هنجاری‌ها به‌طور نسبی تعیین می‌گردد.

۴-۲ برداشت‌های مغناطیس‌سنجی هوابرد در منطقه مورد مطالعه

۴-۲-۱ نحوه انجام عملیات و مشخصات دستگاه

محل استقرار کمپ برداشت شهر دامغان و محل استقرار بالگرد در معلمان بوده است. منطقه معلمان - ترود از دیدگاه زمین‌شناسی و مطالعات قبلی انجام‌شده در منطقه دارای پتانسیل بالایی از نظر منابع معدنی مانند طلا، مس، سرب و ... می‌باشد. با توجه به شباهت‌های ساختاری زمین‌شناسی و امتداد ساختمان‌های زمین‌شناسی و نیز با توجه به محدودیت‌های فنی پرواز و محدودیت در طول خطوط پروازی، منطقه به سه بلوک مجزا تقسیم گردیده؛ که در هر بخش امتداد ساختمان‌های زمین‌شناسی تقریباً مشابه می‌باشد.

برداشت داده‌های هوابرد در سال ۱۳۸۲ توسط گروه ژئوفیزیک هوایی سازمان زمین‌شناسی کشور در منطقه انجام شده است. طول خطوط پرواز حداکثر تا ۳۰ کیلومتر و فاصله خطوط پرواز ۲۰۰ متر بوده است. ارتفاع قائم پرنده از سطح زمین در حدود ۳۰ تا ۴۵ متر بوده و با توجه به این‌که طول کابل در حدود ۳۰ متر می‌باشد بنابراین فاصله بالگرد از سطح زمین حدوداً ۶۰ متر و حداکثر ۷۵ متر بوده است. سرعت پرواز بالگرد در حین برداشت‌های هوایی باید در حدود ۶۰ کیلومتر بر ساعت باشد که گاهی ممکن است این مقدار به ۱۰۰ کیلومتر بر ساعت برسد. با توجه به این‌که در هر ثانیه ۱۰ داده ثبت می‌شود؛ می‌توان دریافت که فاصله بین دو داده ثبت‌شده متوالی در حدود ۱/۵ متر است. افزایش سرعت بالگرد باعث

افزایش فواصل نمونه برداری می شود. لذا افزایش بیش از اندازه سرعت سبب از دست رفتن آنومالی های کوچک و کاهش دقت برداشت می شود.

در هر یک از سه بلوک، جهت خطوط اصلی پرواز تقریباً عمود بر امتداد عمومی ساختارهای زمین شناسی و گسل ها بوده است. جهت انجام تصحیح هم تراز^۱ داده های مغناطیس، برداشت هوابرد روی خطوط کنترلی^۲ با فاصله حدود ۴ تا ۶ برابر فاصله خطوط اصلی و عمود بر آن انجام شده است. بالگردهای مورد استفاده برای برداشت هوایی از نوع Lama و Bell214 ساخت کشور فرانسه و متعلق به شرکت هواپیمایی پارس و دستگاه مغناطیس سنج مورد استفاده Scintrex CS vapour بوده است.

در تفسیر داده های ژئوفیزیک هوایی که مشتمل بر لایه های اطلاعاتی مختلف از جمله نقشه شدت کل میدان مغناطیسی، نقشه های مقاومت ظاهری تهیه شده از فرکانس های مختلف و نقشه های رادیومتری می باشد، به طور عمده از نرم افزار Oasis montaj ساخت شرکت نرم افزاری Geosoft استفاده شده است.

۲-۲-۴ پردازش و تفسیر داده های مغناطیس هوابرد

اطلاعات مغناطیسی برای شناخت بهتر ساختارهای زمین شناسی و نیز آگاهی از تغییرات لیتولوژیکی در مناطق فاقد بیرون زدگی و ارتباط بهتر آنها در مناطقی که کمی بیرون زدگی وجود دارد به کار برده می شوند. داده های مغناطیسی بدون توجه به هوازدگی سنگ ها اطلاعات مهمی را در مورد محل گسل ها که محیط مناسب برای حرکت محلول های کانی سازی هستند، می دهند. به کمک این داده ها می توان موقعیت و چگونگی گسترش توده های نفوذی مدفون را بهتر و دقیق تر مشخص نمود و نیز ساختارهای زمین شناسی که با دید مستقیم یا عکس هوایی قابل رؤیت نیستند را تعیین نمود.

¹ Leveling

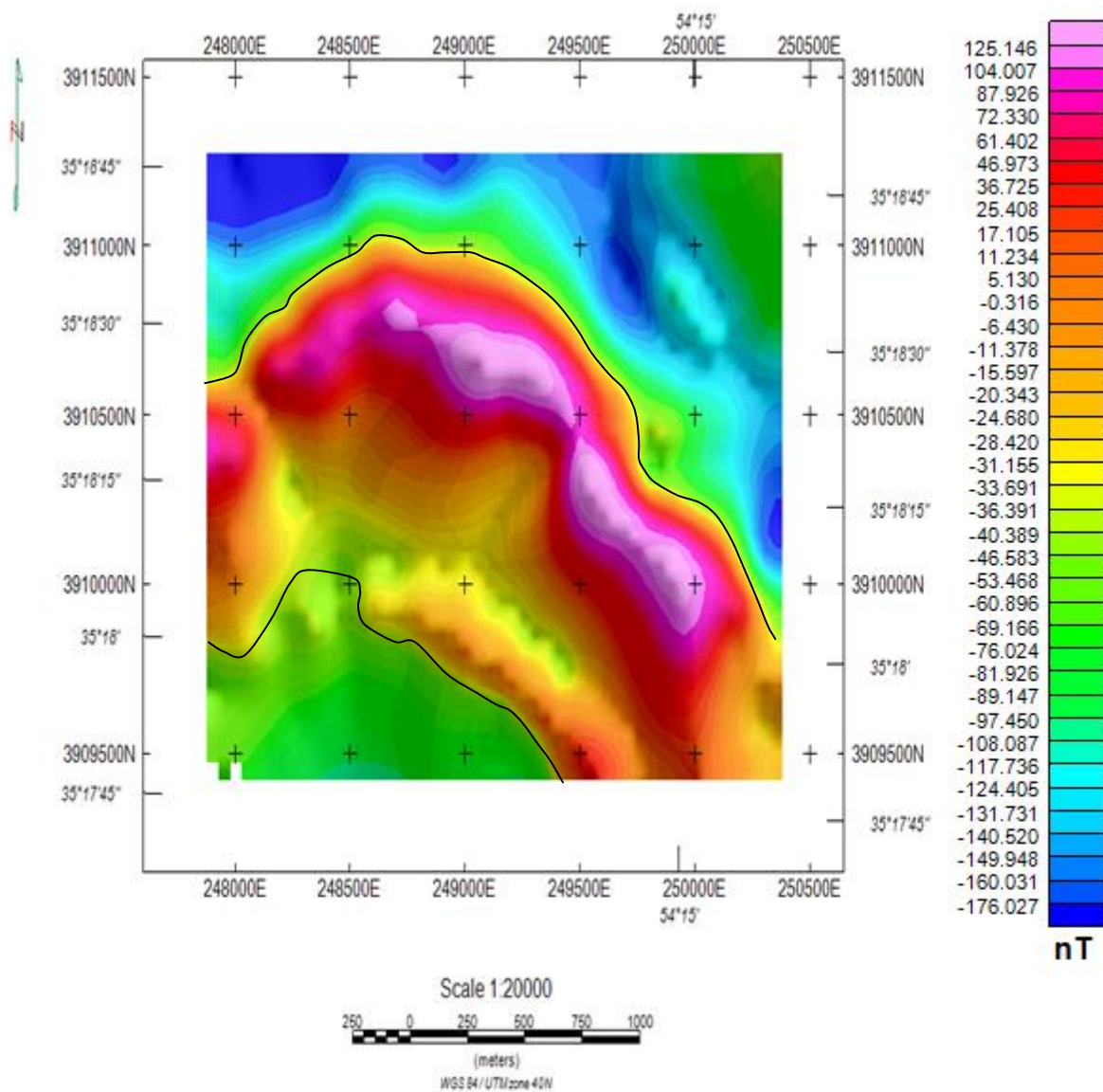
² Tie line

داده‌های هوابرد در امتداد ۱۵ خط^۱ برداشت شده‌اند و حجم اطلاعات زیاد است (در حدود ۶۹۵۷ نقطه). در ادامه برای اعمال فیلترهای کاربردی مناسب به مقدار متوسط زاویه میل و انحراف^۲ مغناطیسی در منطقه برداشت نیاز است؛ که به ترتیب مقدار متوسط ۵۳/۵ و ۳/۷ درجه در منطقه مورد نظر منظور شده است.

برای تهیه شبکه اولیه نیاز به اندازه مش یا سلول‌های مناسب است؛ که این مقدار را می‌توان ۰/۱۲۵ تا ۰/۲۵ فاصله خطوط پرواز اختیار کرد. در این برداشت فاصله خطوط پرواز ۲۰۰ متر و اندازه مش‌های انتخاب شده ۵۰ متر است. کانی‌های فری مغناطیس که زیرمجموعه‌ای از کانی‌های فرومغناطیس می‌باشند؛ تنها عامل خودپذیری مغناطیسی نیز هستند [۱۹]. از این رو مگنتیت و پیروتیت را می‌توان عامل شدت بالای میدان مغناطیسی دانست با این تفاوت که Fe_3O_4 زمانی پایدار است که تحت فشار قرار گیرد. در غیر این صورت به Fe_2O_3 تجزیه می‌شود. شکل ۴-۱ نشان‌دهنده میدان مغناطیسی کل است و به صورت واضح یک منطقه رینگی شکل با مغناطیس بالا را نشان می‌دهد که با خطوط مشکی به صورت تقریبی از سایر مناطق جدا شده است.

¹ Line

² Inclination - Declination

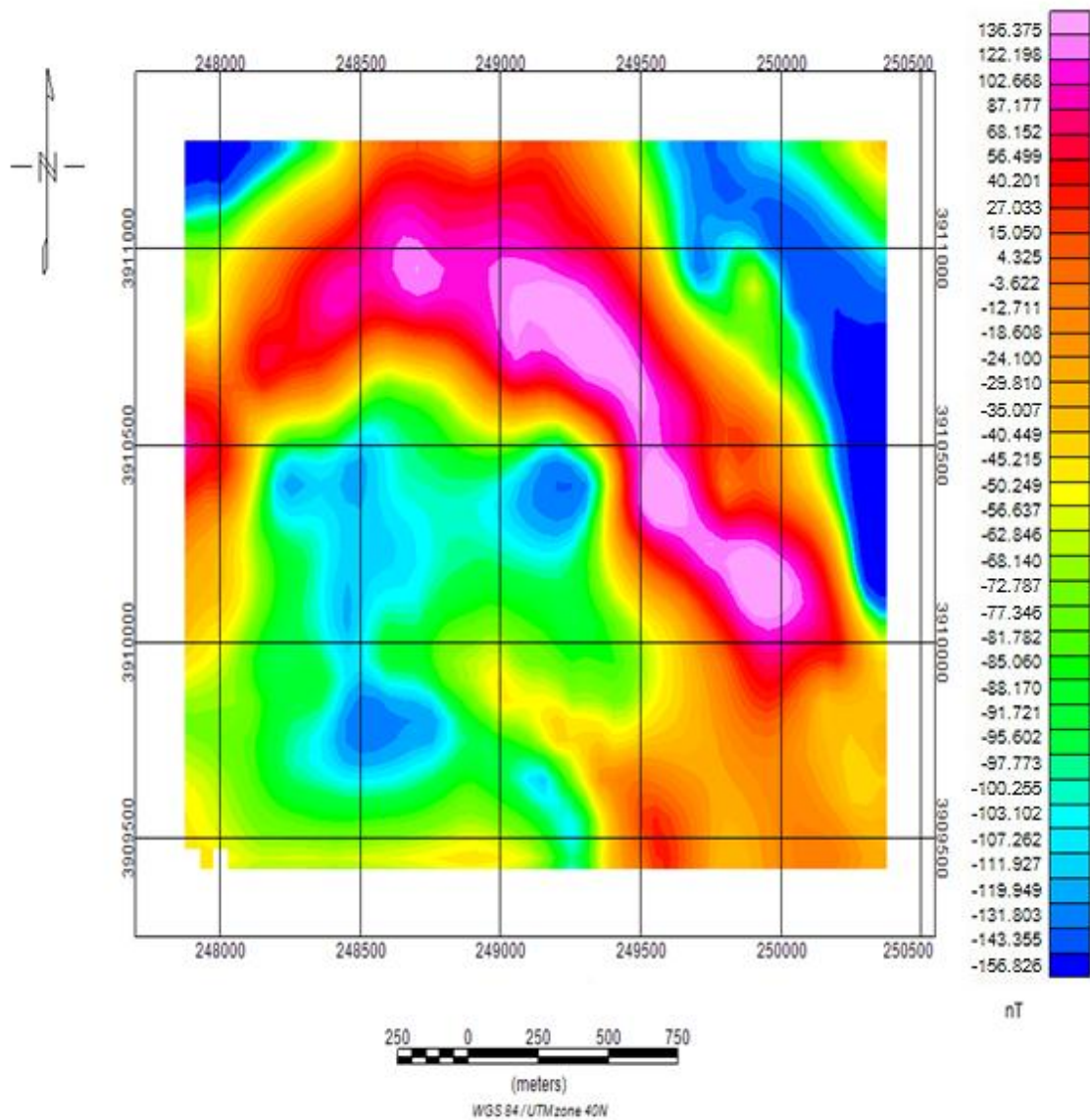


شکل ۴-۱. نقشه شدت میدان مغناطیسی کل (محدوده رنگی شکل با مغناطیس بالا)

برای رسیدن به اطلاعات دقیق تر و نتیجه گیری مناسب تر لازم است تعدادی فیلتر بر روی داده ها اعمال گردد؛ که اولین آن ها فیلتر برگردان به قطب (RTP)^۱ است. شدت میدان مغناطیسی اندازه گیری شده دارای یک انحراف و جابجایی از منبع به وجود آورنده آن می باشد؛ که این جابجایی بر اثر زاویه میل و زاویه انحراف بردار مغناطیسی در آن منطقه به وجود می آید. برای آن که اثر توده مغناطیسی بر روی توده منتقل

¹ Reduction to pole

شود و این جابجایی حذف گردد؛ از این فیلتر استفاده می‌شود. با اعمال این فیلتر، نقشه شدت میدان مغناطیسی کل اندکی دچار تغییر و جابجایی می‌شود؛ که این بی‌هنجاری‌ها اندکی به سمت شمال منطقه جابجا شده و شدت برخی از آن‌ها تغییر می‌نماید. بنابراین بی‌هنجاری‌ها پس از اعمال این فیلتر بر روی منبع به‌وجود آورنده خود قرار می‌گیرند. به این ترتیب می‌توان موقعیت منبع بی‌هنجاری‌ها را دقیق‌تر تعیین نمود. بدیهی است که این فیلتر که در واقع یک رابطه ریاضی است، عاری از خطا نمی‌باشد [۳۸]. همان‌طور که در شکل (۴-۲) دیده می‌شود، آنومالی مغناطیسی بعد از اعمال فیلتر برگردان به‌قطب، به سمت شمال جابه‌جا شده است.



شکل ۴-۲. نقشه فیلتر برگردان به قطب (جابجایی آنومالی به سمت شمال)

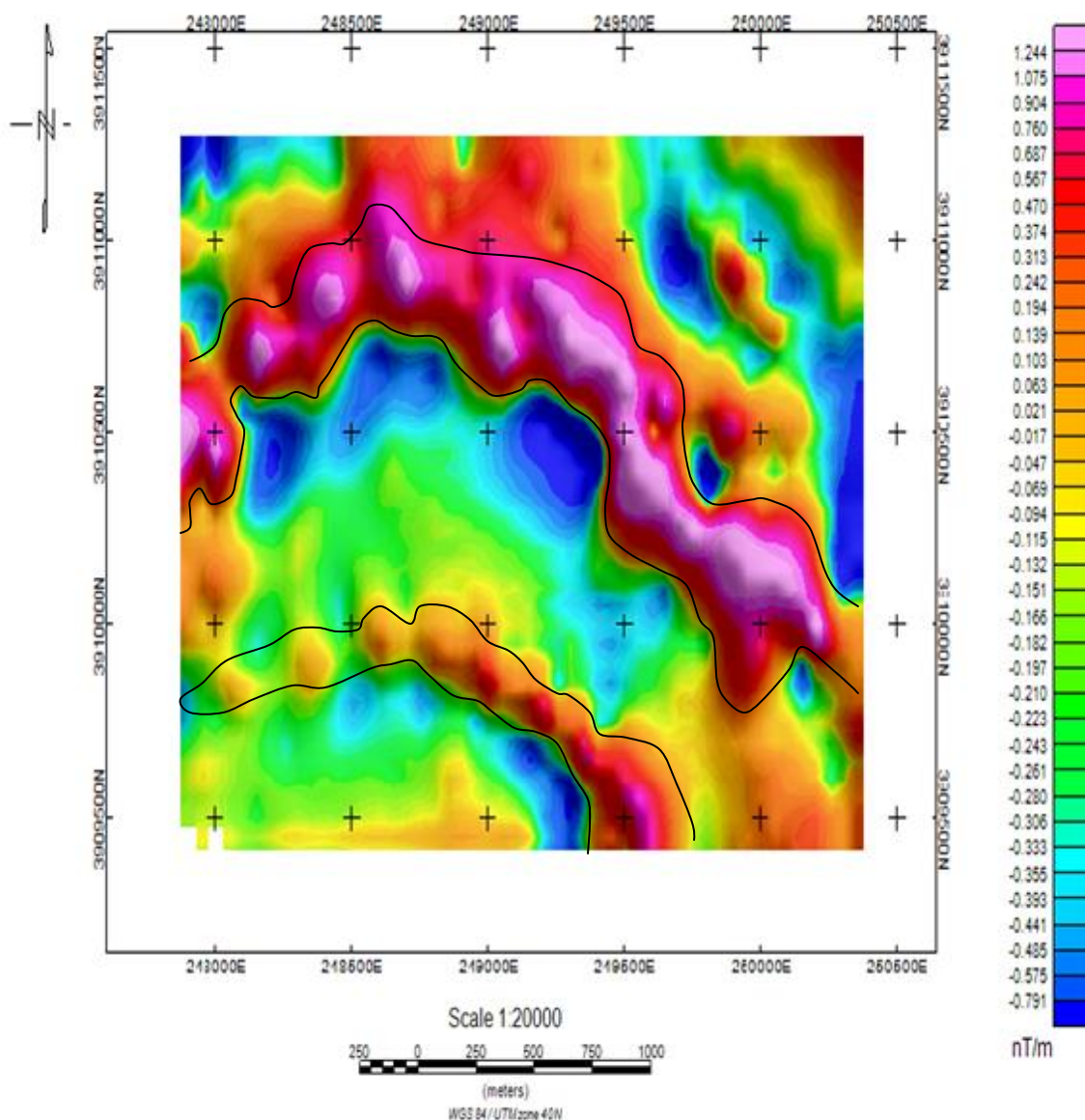
دومین فیلتر اعمالی، مشتق قائم^۱ مرتبه اول است، که بر روی داده‌های عبوری از فیلتر RTP زده شد. مشتق مرتبه دوم در این مورد با نوفه همراه است؛ به همین دلیل از آن استفاده نشد. برای بررسی تغییرات^۲ شدت میدان مغناطیسی در جهت‌های مختلف، از مشتق‌گیری استفاده شد. برای آن‌که بی‌هنجاری‌های سطحی نسبت به بی‌هنجاری‌های عمیق‌تر تقویت شوند؛ از فیلتری به نام مشتق اول در

^۱ Derivative in direction-z

^۲ Gradient

جهت قائم نیز استفاده می‌شود؛ که با اعمال این فیلتر بر روی نقشه برگردان به قطب بی‌هنجاری‌های سطحی نمود بیشتری پیدا می‌کنند. بدین وسیله می‌توان رفتار این توده‌های مغناطیسی را در سطح بهتر مورد بررسی قرار داد. همان طور که در شکل ۴-۳ دیده می‌شود، اعمال فیلتر مشتق قائم، توده‌های آنومال کوچک را که نقش مهمی در کانی‌سازی دارند به خوبی مشخص می‌کند.

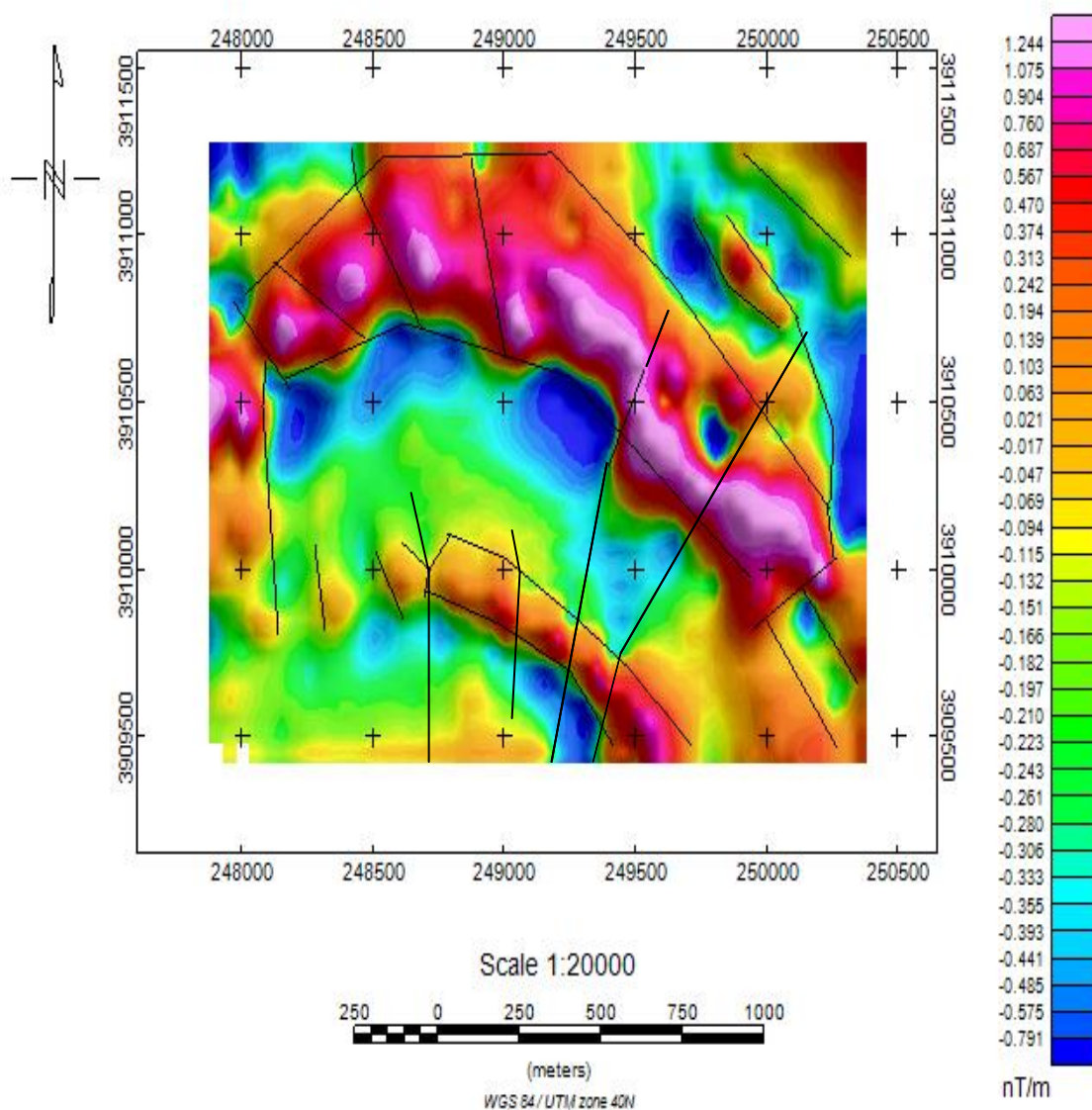
در نقشه (۴-۳) دو باند کمانی شکل یکی با پهنای بیشتر در بیرون و دیگری با پهنای کم‌تر در داخل وجود دارد. طبق مشاهدات صحرایی (برون زدگی‌ها و معدود رخنمون‌های موجود در محدوده) می‌توان جنس کمان شماره یک را آندزیت با بافت میخی حدس زد که جنس سنگ دربرگیرنده معادن مس بالا دست (شکل ۳-۲) است. جنس کمان شماره دو نیز به احتمال زیاد رسوبات لیمونیتی است، که اهمیت چندانی ندارند.



شکل ۴-۳. نقشه فیلتر مشتق قائم مرتبه اول

یکی از کاربردهای مهم نقشه مشتق قائم، یافتن خطواره‌های مغناطیسی (قرار گرفتن ناگهانی محدوده‌هایی با شدت میدان مغناطیسی بالا در کنار مناطقی با شدت میدان مغناطیسی پایین خطواره‌های مغناطیسی را به وجود می‌آورند.) و تعیین دقیق‌تر مرز بین واحدهای سنگ‌شناسی است. به کمک این فیلتر می‌توان خطواره‌های مغناطیسی‌ای را که بعضاً می‌توانند گسل‌های تشکیل شده در اثر فعالیت‌های تکتونیکی منطقه باشند، مشخص نمود. در شکل (۴-۴) سعی شده با دقت خوبی گسل‌های پنهان احتمالی موجود

در منطقه بر روی نقشه مشتق قائم اول مشخص شود. با یک فرضیه می توان گفت که گسل های اصلی مشخص شده در شکل می توانند دلیل جابجایی و حرکت توده های آنومال از عمق زیاد تا نزدیکی سطح باشند.

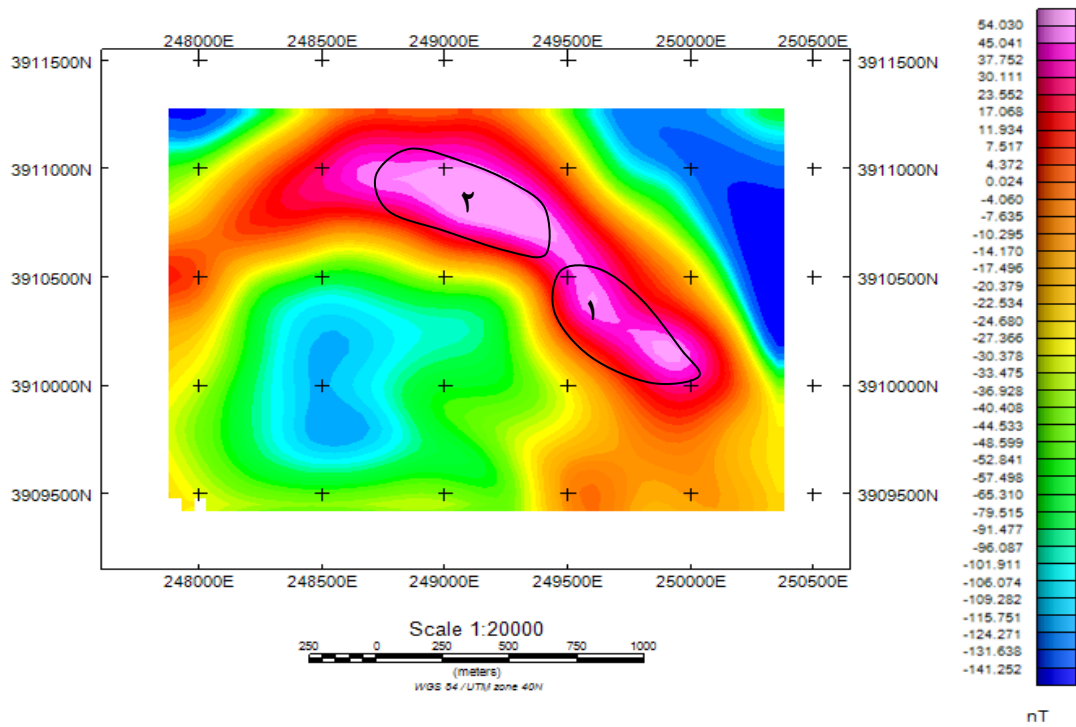


شکل ۴-۴. نقشه مشتق قائم اول و موقعیت خطواره های مغناطیسی

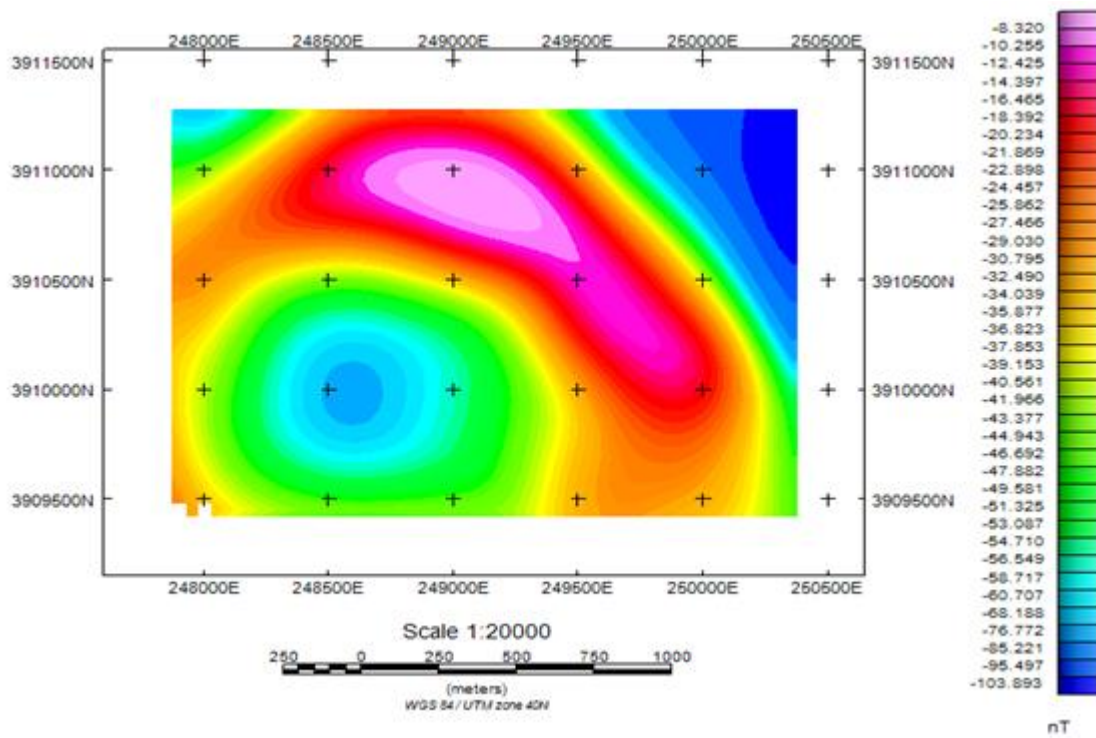
روش ادامه فراسو^۱ نوعی عمل فیلتر کردن است که در آن طول موج‌های بلند آشکار می‌شوند و بدون آن که آسیبی به داده‌ها وارد شود، می‌توان تأثیر توده‌های کم‌عمق و نوفه در داده‌های به نقشه در آمده را به حداقل رساند. در این فیلتر، داده‌ها به هر سطح افقی فرضی، قابل برآزش است و به عبارتی میدان پتانسیل اندازه‌گیری شده در یک سطح را به میدانی که در سطحی دیگر، دورتر از منابع ایجاد میدان قرار دارند، منتقل می‌کند. این انتقال، آنومالی‌ها را با توجه به طول موج آن‌ها کاهش می‌دهند و به عبارتی هرچه طول موج یک آنومالی کوتاه‌تر باشد کاهندگی آن بزرگ‌تر خواهد بود (آنومالی‌های کوچک‌تر ضعیف‌تر می‌شوند). از کاربردهای این فیلتر آن است که گاه لازم می‌شود تا پروازهای انجام‌شده در ارتفاعات مختلف در کنار یکدیگر قرار گیرند، برای این کار با کمک روش ادامه فراسو ارتفاع پروازهای مختلف به یک ارتفاع مشخص منتقل شده، سپس نقشه‌ها در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند.

فیلتر ادامه فراسو به منظور بررسی توده‌های عمیق‌تر مورد استفاده قرار گرفت. در واقع هدف از اعمال این فیلتر بررسی توده ۱ و ۲ (شکل ۴-۵) است. همان طور که در شکل (۴-۵) دیده می‌شود با اعمال این فیلتر می‌توان گفت که بی‌هنجاری‌های موجود در مرکز محدوده ریشه‌دارتر و مهم‌تر از واحدهای مغناطیسی بخش شرقی محدوده هستند. به طوری‌که در نقشه ادامه فراسو ۳۰۰ متر (شکل ۴-۶) اثر واضحی از توده شماره ۱ دیده نمی‌شود. همین طور کمان داخلی که نسبت به کمان آندزیتی ضخامت کم‌تری دارد بعد از اعمال فیلتر ادامه فراسو ۱۰۰ متر اثری از آن دیده نمی‌شود.

¹ Upward continuation



شکل ۴-۵. نقشه فراسو، ۱۰۰ متر و محدوده بی‌هنجاری ۱ و ۲ به صورت تقریبی



شکل ۴-۶. نقشه فراسو، ۳۰۰ متر

۳-۴ برداشت‌های IP و مقاومت ویژه زمینی

۱-۳-۴ نحوه انجام عملیات و مشخصات دستگاه

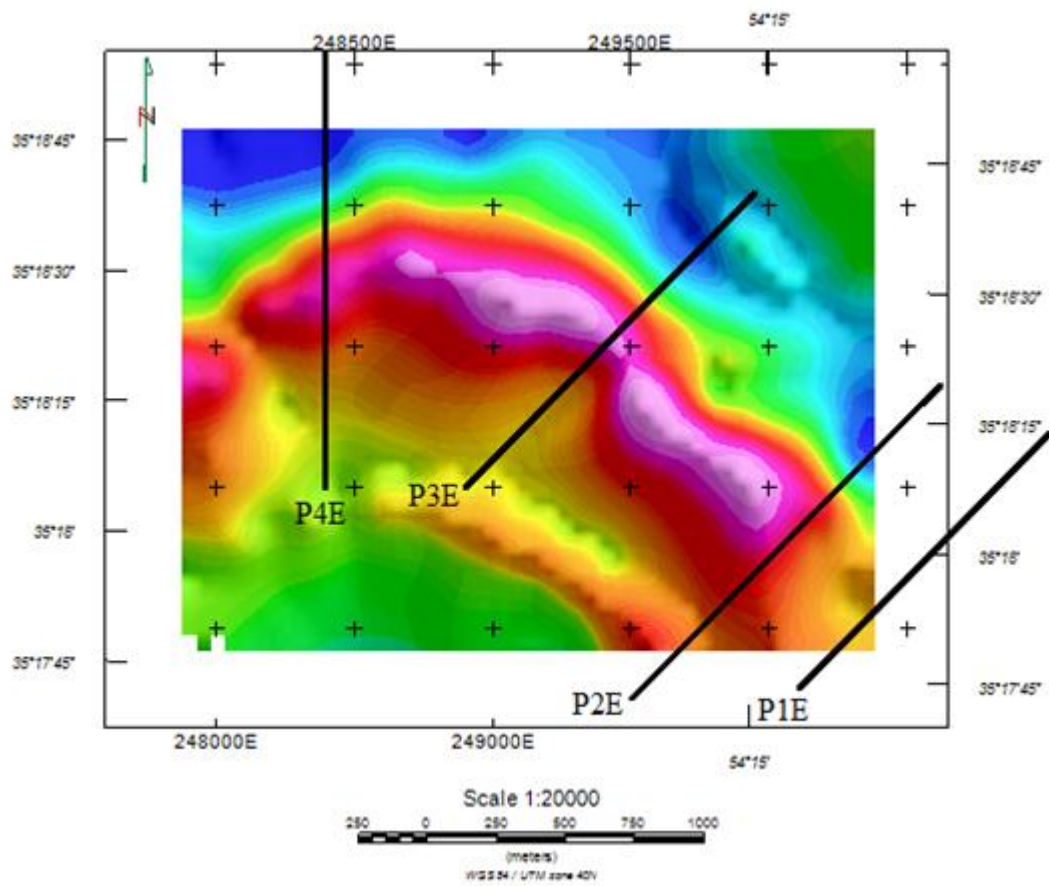
به منظور بررسی تطابق نتایج برداشت‌های ژئوفیزیک زمینی با ژئوفیزیک هوابرد، بررسی عمقی بی‌هنجاری‌ها و تعیین کیفیت آن‌ها از نظر مقدار سولفیدهای فلزی، در منطقه برداشت‌های مقاومت ویژه و قطبش القایی (IP) با استفاده از آرایش‌های دوقطبی - دوقطبی و قطبی - دوقطبی، بر روی مناطق آنومال مشخص شده در نقشه‌های مغناطیس هوابرد انجام گرفت. همان‌طور که در شکل (۴-۷) دیده می‌شود، سعی شده خطوط برداشت زمینی تقریباً بر روی مناطق با شدت میدان مغناطیسی بالا که از برداشت‌های هوابرد به دست آمده، منطبق گردد. برداشت‌های ژئوفیزیک زمینی بر روی چهار پروفیل انجام شده، که سه پروفیل (پروفیل P1E, P2E و P3E) در راستای جنوب غربی - شمال شرقی و یک پروفیل (پروفیل P4E) در راستای شمالی - جنوبی است. طول تقریبی پروفیل‌ها ۱۰۰۰ تا ۱۳۰۰ متر و فواصل الکترودی و گام برداشت ۴۰ متر است. شکل (۴-۸) موقعیت خطوط برداشت زمینی و محدوده برداشت ژئوفیزیک هوایی را نشان می‌دهد.

دستگاه اندازه‌گیری مقاومت ویژه و IP ساخت شرکت IRIS فرانسه است. دستگاه گیرنده مدل ELREC- 10 با دقت ۰/۰۱ میلی‌ولت بر ولت و دستگاه تقویت کننده، یکسوکننده و فرستنده جریان مدل VIP است. دستگاه تقویت کننده، جریان را در فواصل زمانی مساوی ۲ ثانیه به مدت ۲ ثانیه از طریق الکترودهای جریان به زمین تزریق می‌کند.

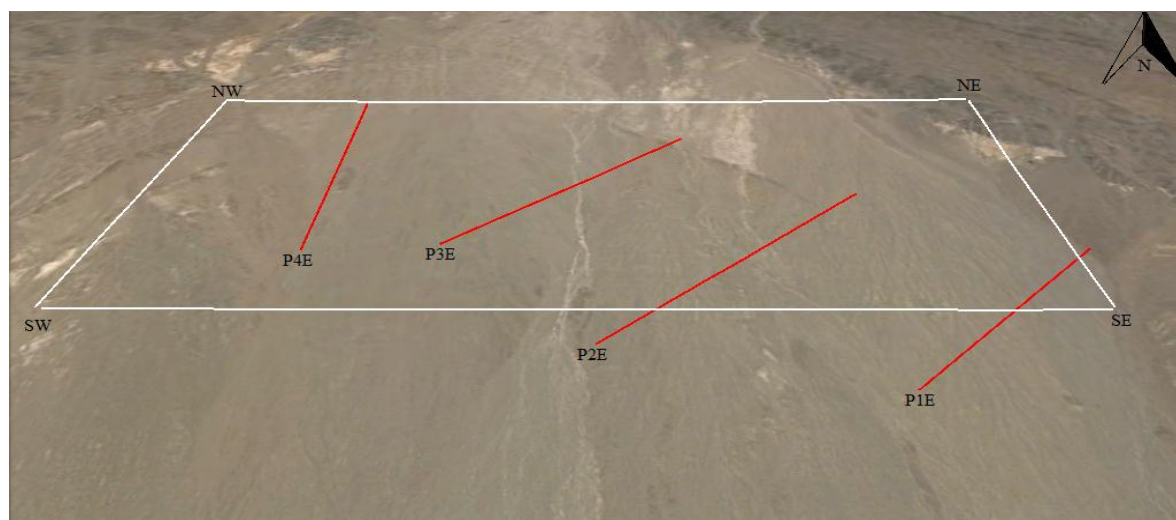
جهت مدل‌سازی داده‌های IP و مقاومت ویژه برداشت شده در منطقه از نرم افزار RES2DINV استفاده شد. نرم افزار RES2DINV با ورودی داده‌های خام مقاومت ویژه و بارپذیری برداشت شده در عملیات صحرائی، به مدل‌سازی شبه مقاطع مقاومت ویژه و بارپذیری می‌پردازد. عملیات مدل‌سازی استفاده شده توسط برنامه بر اساس روش کمترین مربعات می‌باشد که برای ارائه مدل معکوس از سه سازوکار گوسی -

نیوتن، گاوس - نیوتن و برای تکرارهای اول گوسی - نیوتن و از تکرار ۳ به بعد از روش گاوس - نیوتن استفاده می‌شود [۲۱].

هم‌زمان با مدل‌سازی داده‌ها به‌وسیله نرم‌افزار RES2DINV نسخه ۳.۵، به‌منظور بررسی صحت مدل‌سازی‌ها، داده‌ها به‌وسیله نرم‌افزار ZondRes2d نسخه ۵.۰ نیز مدل‌سازی شده‌اند. رویه معکوس‌سازی و حل معادله در این نرم‌افزار مشابه با نرم‌افزار RES2DINV است. با توجه به عدم یکتایی مدل‌سازی با نرم‌افزارهای مختلف، همچنان تطابق خوبی بین دو مدل ارائه شده وجود دارد. به‌منظور مقایسه بهتر مدل‌های ارائه شده توسط دو نرم‌افزار، مقاطع مدل‌سازی شده به‌صورت هم‌زمان با هم در شکل‌های (۴-۱۱ و ۴-۱۲، ۴-۱۵ و ۴-۱۶، ۴-۱۹ و ۴-۲۰، ۴-۲۳ و ۴-۲۴، ۴-۲۷ و ۴-۲۸) ارائه شده‌اند. به‌دلیل تطابق خوب نتایج مدل‌سازی در هر پروفیل توسط این دو نرم‌افزار، فقط مقاطع مدل‌سازی شده با یکی از این دو نرم‌افزار مورد تفسیر قرار گرفت.



شکل ۴-۷. نقشه شدت میدان مغناطیسی کل به همراه موقعیت خطوط برداشت زمینی مقاومت ویژه و IP



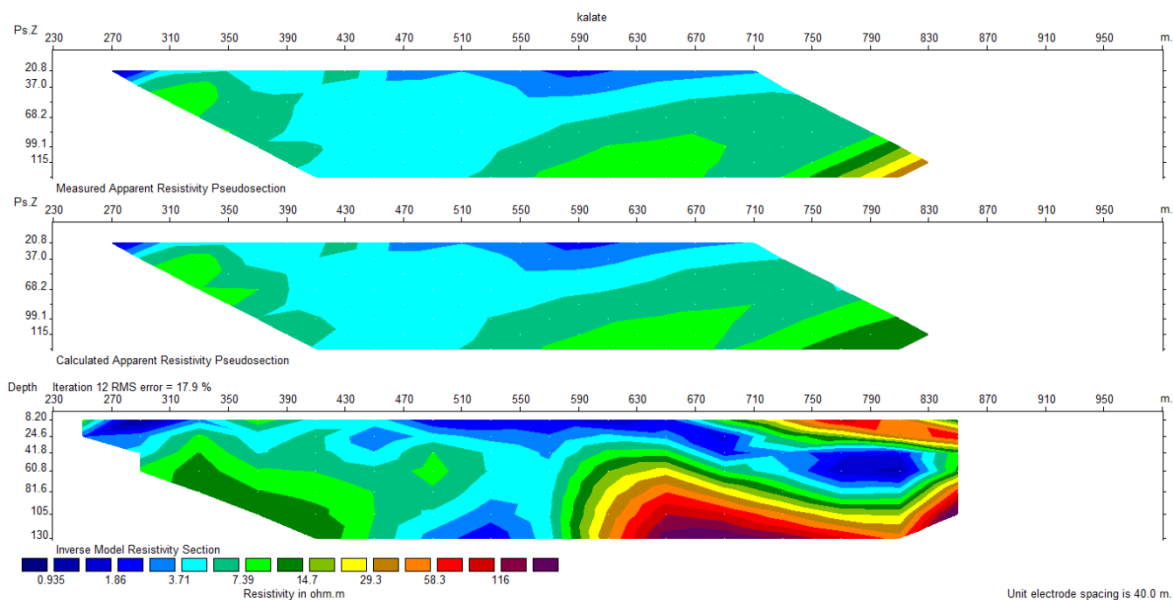
شکل ۴-۸. موقعیت خطوط برداشت IP و مقاومت ویژه (خطوط قرمز رنگ) و محدوده داده‌های هوابرد [۳۹]

۴-۳-۲ پردازش و تفسیر داده‌های IP و مقاومت ویژه زمینی

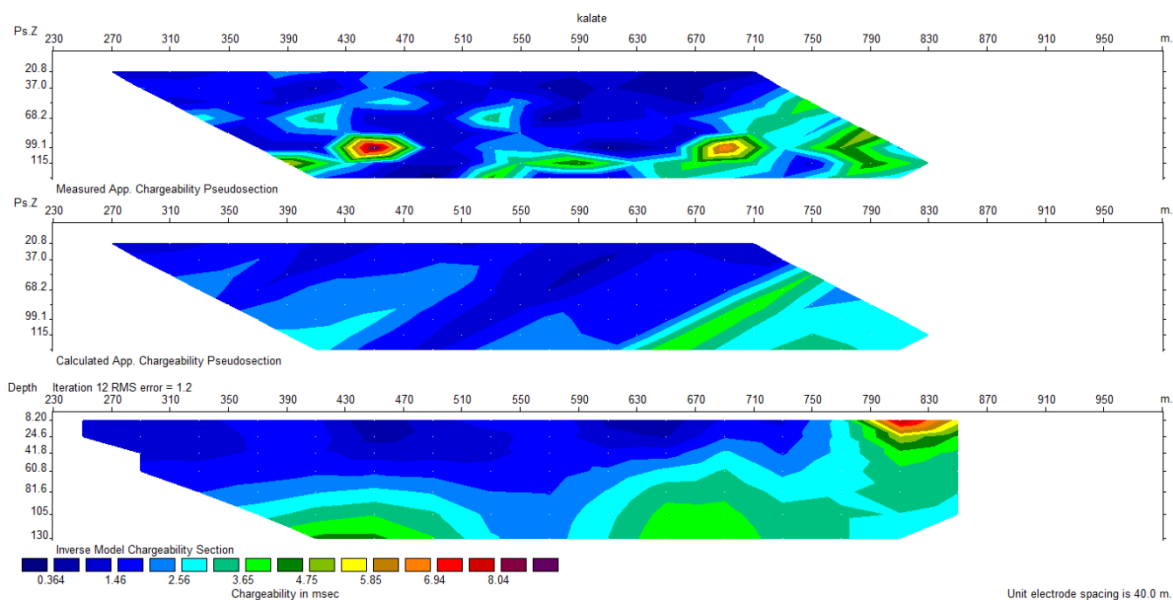
پروفیل P1E

این پروفیل در جهت جنوب غربی - شمال شرقی و با آرایش قطبی - دوقطبی برداشت شده است. کمترین فاصله الکترودی و اندازه گام‌ها ۴۰ متر انتخاب شده است. شکل‌های (۹-۴) و (۱۰-۴) به ترتیب شبه مقاطع خام و داده‌های محاسبه شده به همراه مدل دوبعدی مقاومت ویژه و بارپذیری حاصل از مدل‌سازی معکوس داده‌ها به وسیله نرم‌افزار RES2DINV و شکل (۱۱-۴) مدل‌های حاصل از نرم‌افزار ZondRes2d را نشان می‌دهند.

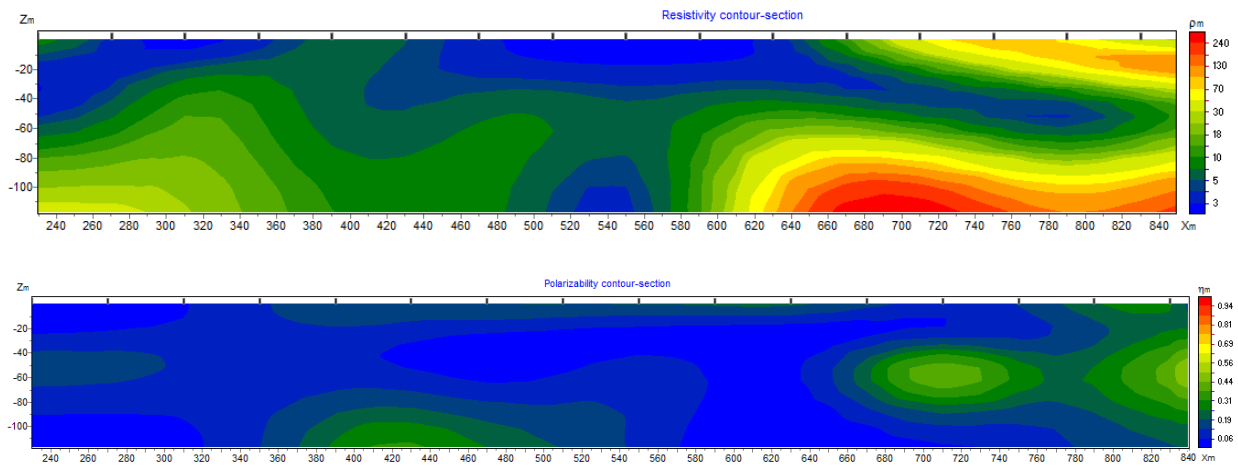
همان‌طور که در شکل (۹-۴) دیده می‌شود؛ از ایستگاه ۴۷۰ متری یک محدوده سطحی با رسانندگی بالا وجود دارد، که با شیب ملایمی در جهت جنوب شرقی تا عمق حدود ۶۰ متری ادامه پیدا کرده است. در کل مقدار مقاومت ویژه در طول این خط پایین است، که به علت انجام برداشت‌ها در محوطه دشت و وجود رسوبات آبرفتی ریزدانه به صورت رس می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۴-۱۲ دیده می‌شود محل‌های دارای مقاومت ویژه پایین تقریباً هماهنگ با محدوده‌های دارای بارپذیری پایین است و همین‌طور در نقاطی که مقاومت ویژه بالاتری در نقشه دیده می‌شود، بارپذیری مقدار بیشتری از خود نشان می‌دهد. در فاصله ایستگاه ۷۹۰ تا ۸۳۰ مقدار بارپذیری بالایی در حدود ۶/۹۴ میلی ثانیه دیده می‌شود. مقدار مقاومت ویژه در این فاصله به طور متوسط ۲۹/۳ اهم‌متر است.



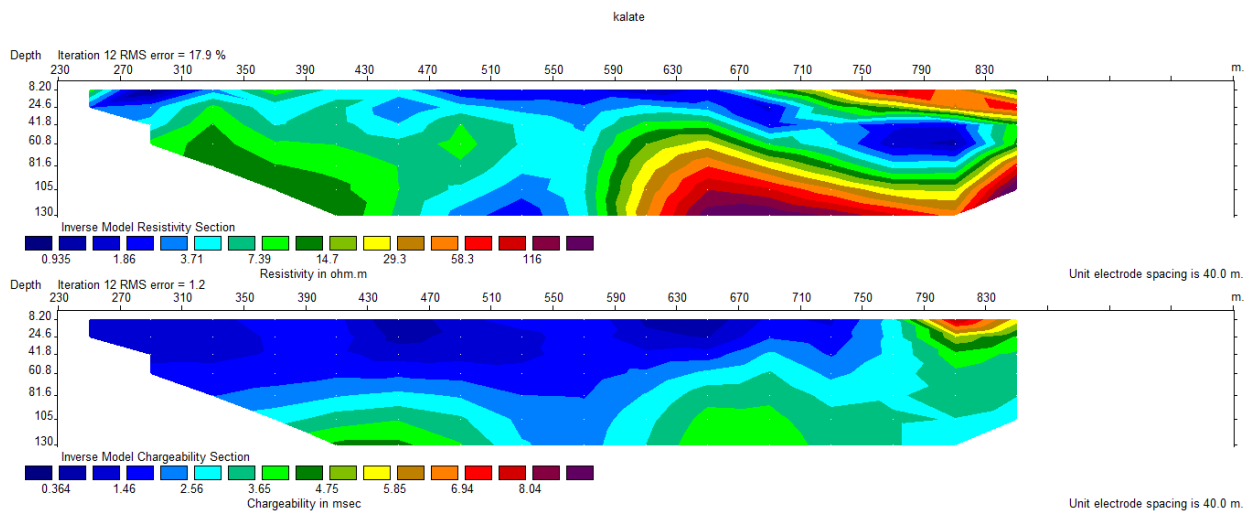
شکل ۴-۹. شبه مقطع داده‌های خام، داده‌های محاسبه‌شده و مقطع حاصل از مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت‌ویژه، برداشت شده در طول پروفیل PIE



شکل ۴-۱۰. شبه مقطع داده‌های خام، داده‌های محاسبه‌شده و مقطع حاصل از مدل‌سازی معکوس داده‌های بارپذیری، برداشت شده در طول پروفیل PIE



شکل ۴-۱۱. مقاطع حاصل از مدل سازی معکوس داده‌های مقاومت‌ویژه و بارپذیری برداشت شده در طول پروفیل P1E با استفاده از نرم‌افزار ZondRes2d



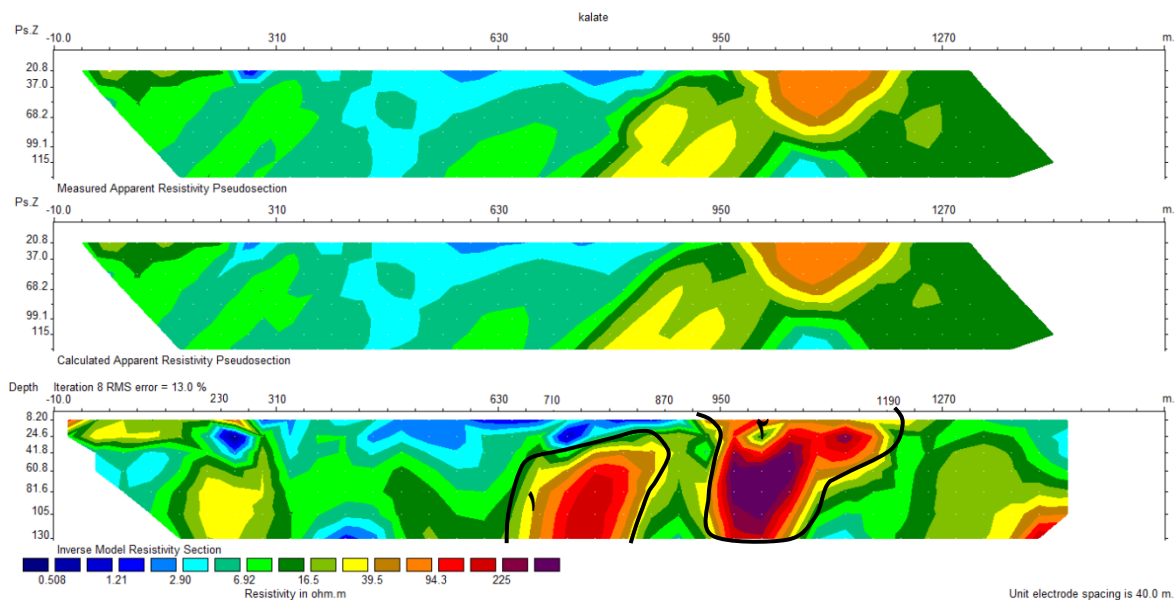
شکل ۴-۱۲. مقطع حاصل از مدل سازی معکوس داده‌های مقاومت‌ویژه و بارپذیری در طول پروفیل P1E با استفاده از نرم-افزار RES2DINV

پروفیل P2E

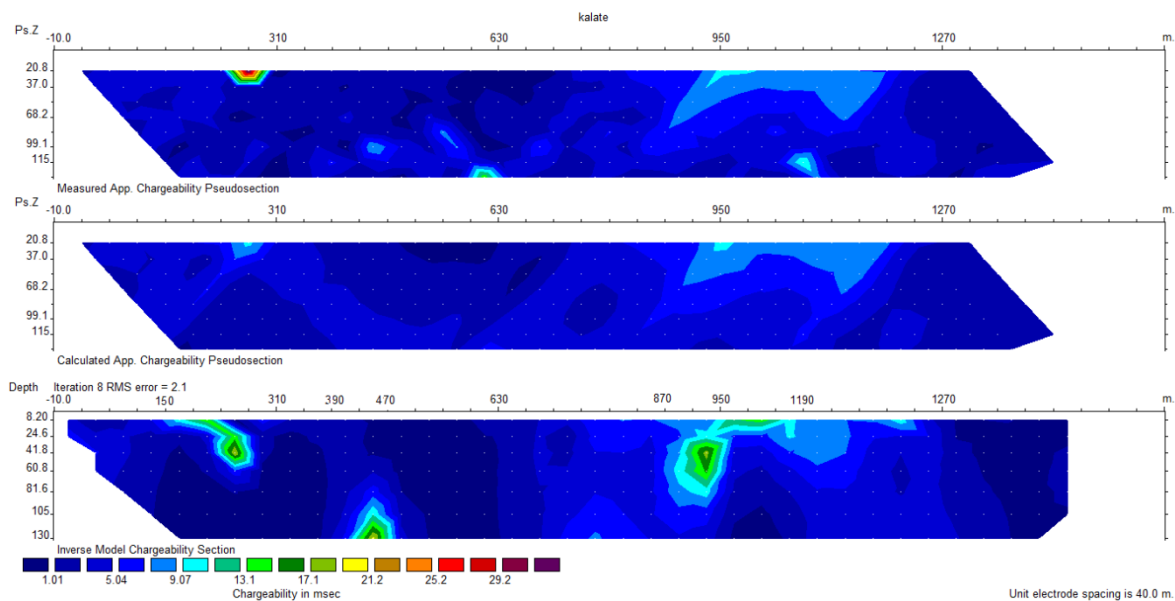
• آرایه قطبی - دو قطبی

پروفیل P2E در امتداد جنوب غربی - شمال شرقی برداشت شده است. اندازه گیری ها برای این پروفیل با آرایش قطبی - دو قطبی و اندازه گام ۴۰ متر انجام شده است. شکل های (۴-۱۳) و (۴-۱۴) به ترتیب شبه مقاطع خام و داده های محاسبه شده به همراه مدل دوبعدی مقاومت ویژه و بارپذیری حاصل از مدل سازی معکوس داده ها با نرم افزار RES2DINV و شکل (۴-۱۵) مدل های حاصل با استفاده از نرم افزار ZondRes2d را نشان می دهند.

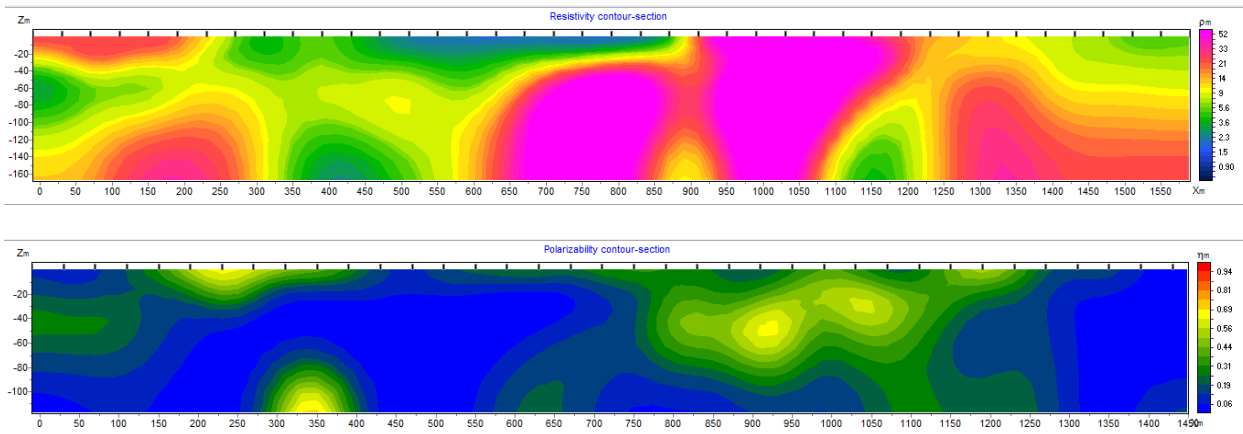
همان طور که در شکل ۴-۱۳ و ۴-۱۴ دیده می شود؛ بیشترین مقدار برای مقاومت ویژه ظاهری ۲۱۵ اهم متر و کمترین مقدار ۱/۸۵ اهم متر و بیشترین مقدار برای بارپذیری بر روی این مقطع ۲۵/۱ میلی ثانیه و کمترین مقدار ۰/۷۶۵ میلی ثانیه است. بر روی مقطع مدل مقاومت ویژه این پروفیل می توان به محدوده با مقاومت ویژه بالا، حدفاصل ایستگاه ۶۷۰ تا ۸۷۰ متری پروفیل اشاره کرد که از عمق ۱۳۰ متری زیر ایستگاه ۶۷۰ شروع شده و به صورت قائم تا نزدیکی سطح زمین رسیده است. سپس از ایستگاه ۹۵۰ تا ۱۲۷۰ یک بی هنجاری با مقاومت ویژه بالا مشاهده می شود؛ که تا سطح زمین نیز رسیده است (محدوده های مشخص شده با اعداد یک و دو روی مقطع). احتمالاً می توان جنس این دو بی هنجاری را یکسان در نظر گرفت. در مقاطع مربوط به بارپذیری دیده می شود که اندازه بارپذیری نیز در این محدوده ها، به خصوص حد فاصل ۹۵۰ تا ۱۲۷۰ متری پروفیل، افزایش یافته است.



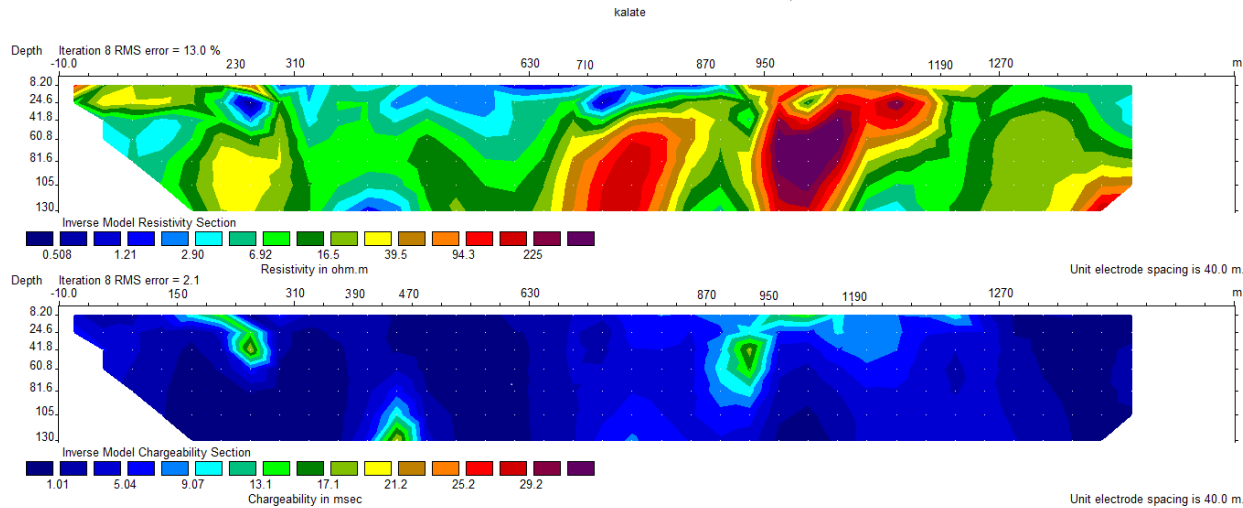
شکل ۴-۱۳. شبه مقطع داده‌های خام، داده‌های محاسبه‌شده و مقطع حاصل از مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت‌ویژه برداشت شده در طول پروفیل P2E که با استفاده از آرایه قطبی - دوقطبی به دست آمده است.



شکل ۴-۱۴. شبه مقطع داده‌های خام، داده‌های محاسبه‌شده و مقطع حاصل از مدل‌سازی معکوس داده‌های بارپذیری برداشت شده در طول پروفیل P2E با آرایش قطبی - دوقطبی.



شکل ۴-۱۵. مقاطع حاصل از مدل سازی معکوس داده های مقاومت ویژه و بارپذیری برداشت شده در طول پروفیل P2E که توسط نرم افزار ZondRes2d به دست آمده اند.



شکل ۴-۱۶. مقطع حاصل از مدل سازی معکوس داده های مقاومت ویژه و بارپذیری در طول پروفیل P2E

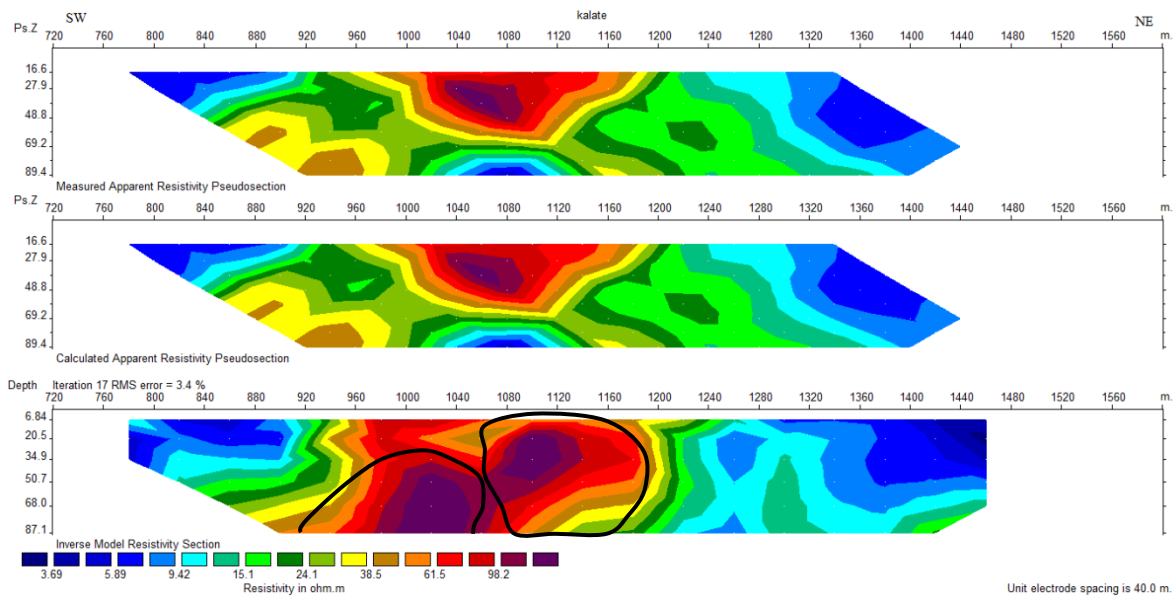
در حد فاصل ایستگاه ۶۷۰ تا ۸۷۰ متری و ۹۵۰ تا ۱۲۷۰ متری پروفیل میزان بارپذیری بالا است؛ که نشان دهنده وجود احتمالی زون ماده معدنی از نوع پورفیری است (آثار آن به صورت تپه ماهور قابل مشاهده است). از سوی دیگر در مشاهدات صحرایی برون زدگی هایی از جنس کوارتز مونوزودیوریت در محدوده کاملاً آبرفتی منطقه مورد مطالعه دیده شده است که بالا بودن میزان مقاومت ویژه در محدوده ایستگاه های ذکر شده را می توان به دلیل قرارگیری این زون در کنار آبرفت مذکور نسبت داد.

• آرایه دوقطبی - دوقطبی

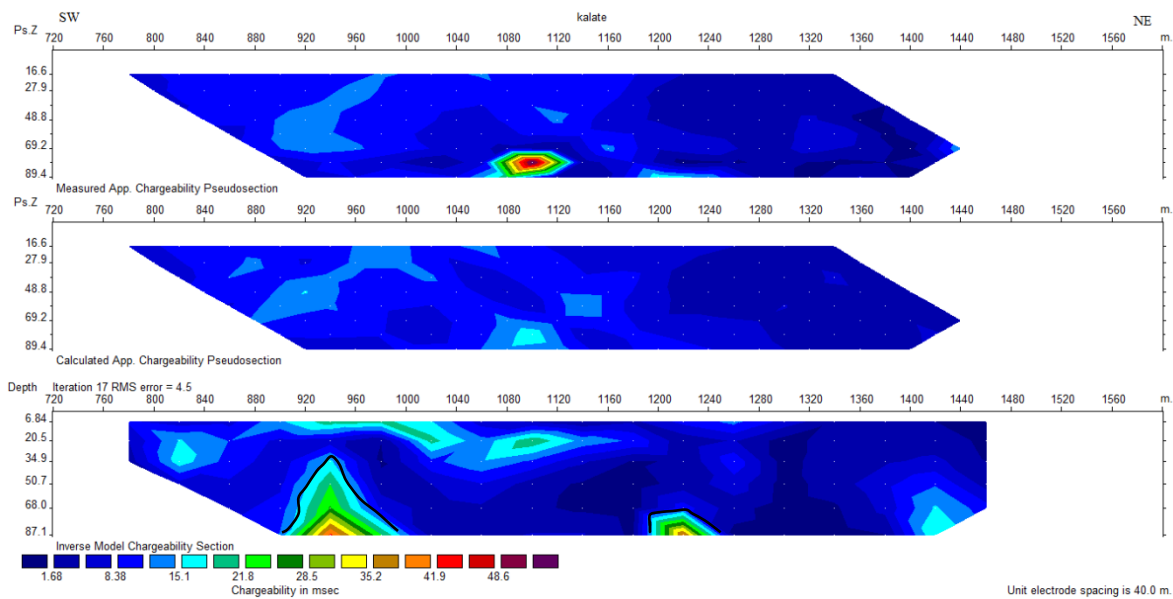
به منظور بررسی بهتر دو زون شماره ۱ و ۲ که در شکل (۴-۱۳) مشخص شده است، بر روی پروفیل P2E برداشت دوقطبی - دوقطبی نیز انجام شد؛ با این تفاوت که اولین الکتروود جریان در ایستگاه ۷۲۰ متری پروفیل قرارداد شده. برداشت دوقطبی - دوقطبی با فاصله الکتروودی و گام برداشت ۴۰ متر و در جهت جنوب غربی - شمال شرقی انجام گرفت. نتایج مدل سازی معکوس داده ها با نرم افزار RES2DINV و مدل های حاصل از نرم افزار ZondRes2d به ترتیب در شکل های ۴-۱۷ و ۴-۱۸ و شکل ۴-۱۹ داده شده است.

در شکل ۴-۱۷ یک محدوده با مقاومت ویژه بالا در حد فاصل ایستگاه ۸۸۰ تا ۱۲۰۰ متری پروفیل دیده می شود. بیشترین مقدار مقاومت ویژه مربوط به ایستگاه های ۱۰۰۰ تا ۱۰۴۰ متری و ۱۰۸۰ تا ۱۱۲۰ متری با مقدار ۱۰۰ اهم متر است. بین دو زون مشخص شده در این شکل، یک جداسدگی وجود دارد. کشیدگی توده جنوب غربی - شمال شرقی است و انطباق خوبی با محدوده یا زون ۱ و ۲ در شکل ۴-۱۳ دارد.

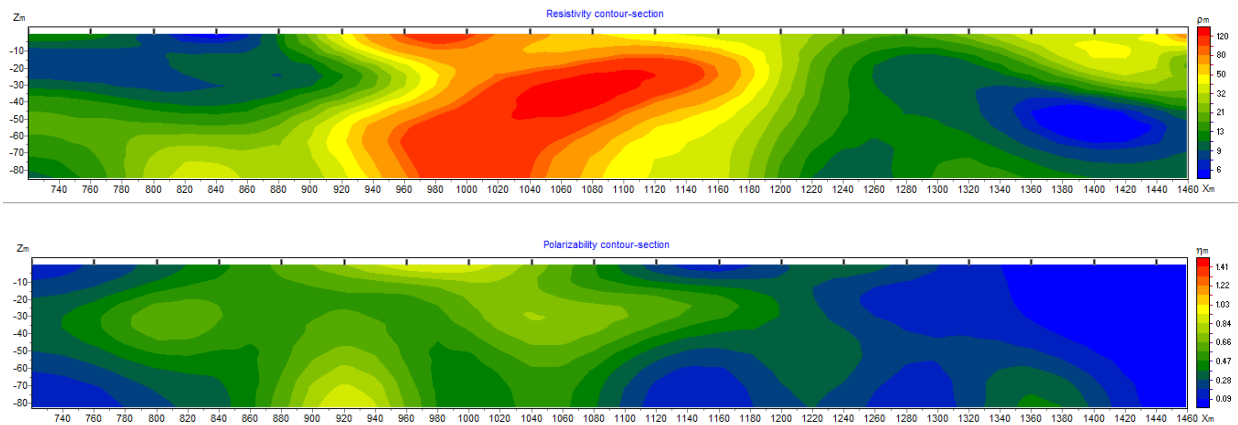
همان طور که در شکل (۴-۱۸) دیده می شود، در فاصله ایستگاه های ۸۸۰ تا ۱۰۰۰ متری و ۱۲۰۰ تا ۱۲۴۰ متری پروفیل دو زون عمقی با مقدار بارپذیری بالا دیده می شود. در حالی که در این محدوده ها مقدار مقاومت ویژه بالا ذکر شد که می تواند نشان دهنده وجود زون پورفیری در این محدوده باشد؛ که با آنچه در مورد آرایش قطبی - دوقطبی بر روی پروفیل P2E گفته شد سازگار است. نقطه ۹۶۰ متری این پروفیل که میزان بارپذیری بالا و مقدار مقاومت ویژه نیز تقریباً بالا است را می توان به عنوان نقطه حفاری به طور قائم پیشنهاد داد.



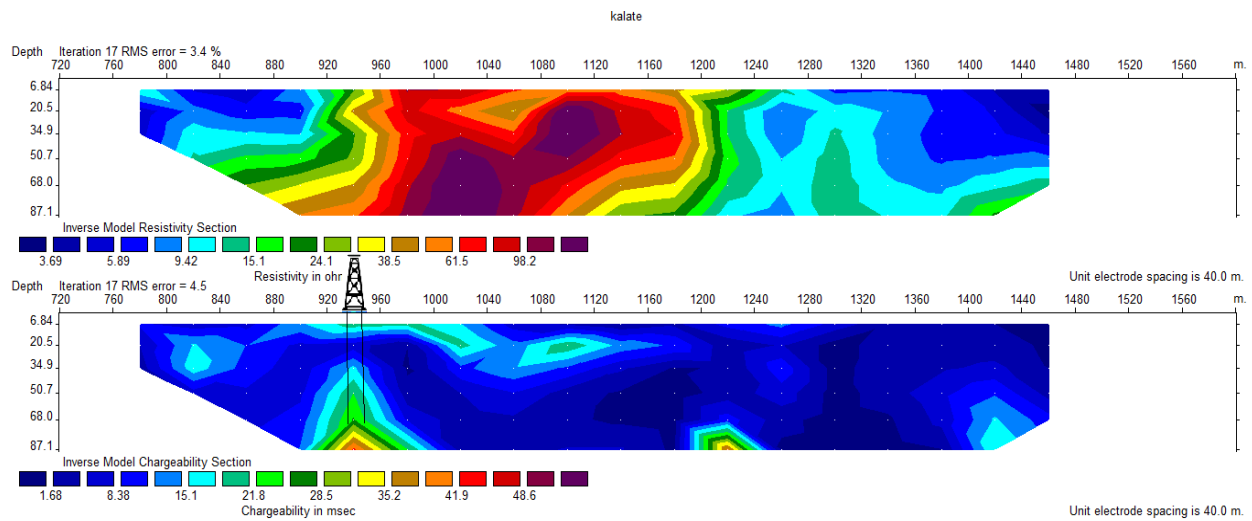
شکل ۴-۱۷. شبه مقطع داده‌های خام، داده‌های محاسبه‌شده و مقطع حاصل از مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت‌ویژه برداشت شده در طول پروفیل P2E که با استفاده از آرایش دوقطبی-دوقطبی به دست آمده‌است.



شکل ۴-۱۸. شبه مقطع داده‌های خام، داده‌های محاسبه‌شده و مقطع حاصل از مدل‌سازی معکوس داده‌های بارپذیری در طول پروفیل P2E که با استفاده از آرایش دوقطبی-دوقطبی به دست آمده‌است.



شکل ۴-۱۹. مقاطع حاصل از مدل سازی معکوس داده های مقاومت ویژه و بارپذیری برداشت شده در طول پروفیل P2E که توسط نرم افزار ZondRes2d با آرایش دوقطبی-دوقطبی به دست آمده اند.



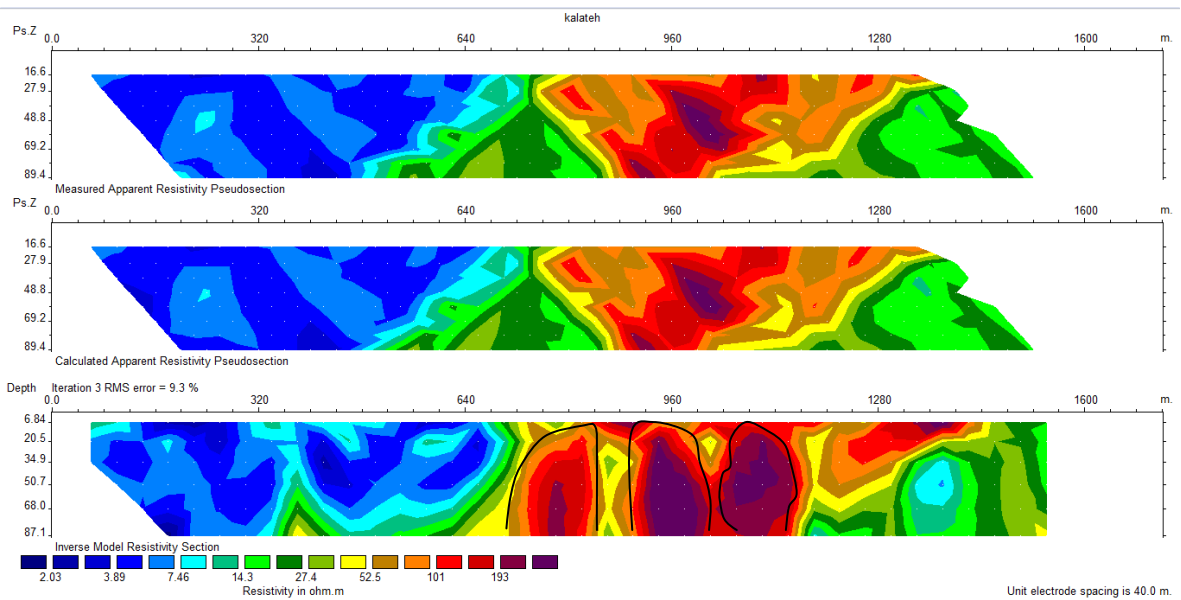
شکل ۴-۲۰. مقطع حاصل از مدل سازی معکوس داده های مقاومت ویژه و بارپذیری برداشت شده در طول پروفیل P2E که با استفاده از آرایش دوقطبی-دوقطبی به دست آمده است.

پروفیل P3E

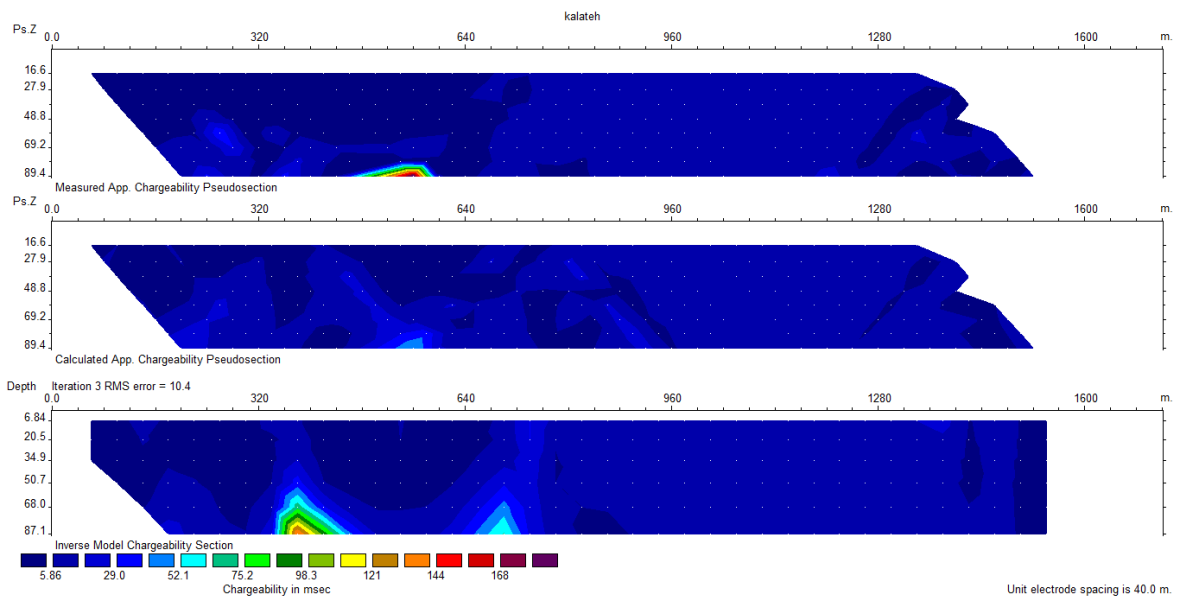
این خط برداشت در جهت جنوب غربی - شمال شرقی برداشت و کمترین فاصله الکترودی و اندازه گامها ۴۰ متر انتخاب شده است. داده‌های حاصل از برداشت‌های مقاومت‌ویژه و بارپذیری با آرایش دوقطبی - دوقطبی، به کمک نرم‌افزار RES2DINV و نرم‌افزار ZondRes2d مدل‌سازی شدند. نتایج مدل‌سازی‌ها به ترتیب در شکل های ۲۱-۴ و ۲۲-۴ و شکل ۲۳-۴ ارائه شده است. خطای برازش بین داده‌های صحرایی و داده‌های نظری حاصل از مدل اولیه در این پروفیل برای داده‌های مقاومت‌ویژه برابر ۹/۳ درصد و برای داده‌های بارپذیری برابر ۱۰/۴ درصد است.

مقاطع مدل‌سازی شده با دو نرم‌افزار RES2DINV و ZondRes2d، به خصوص مقاطع مقاومت‌ویژه حاصل از هر دو نرم‌افزار هم‌خوانی بالایی با هم دارند؛ لذا می‌توان مقاطع مدل‌سازی شده توسط نرم‌افزار ZondRes2d را نیز به خوبی تفسیر کرد.

همان‌طور که در شکل‌های ۲۱-۴ و ۲۳-۴ دیده می‌شود در فاصله ایستگاهی ۷۶۰ تا ۱۱۶۰ متری پروفیل، سه محدوده یا زون مختلف با مقاومت‌ویژه نسبتاً بالا وجود دارد که از عمق ۸۷ متری شروع شده و بصورت قائم تا نزدیکی سطح زمین رسیده است. در حالیکه میزان بارپذیری افزایش قابل ملاحظه‌ای نداشته است که ممکن است به دلیل عیار کم کانی‌های سولفیدی باشد. به دلیل تضاد رنگ بهتر در مقاطع مدل‌سازی شده با نرم‌افزار ZondRes2d در شکل ۲۳-۴ افزایش جزئی میزان بارپذیری برای محدوده ذکر شده، دیده می‌شود.



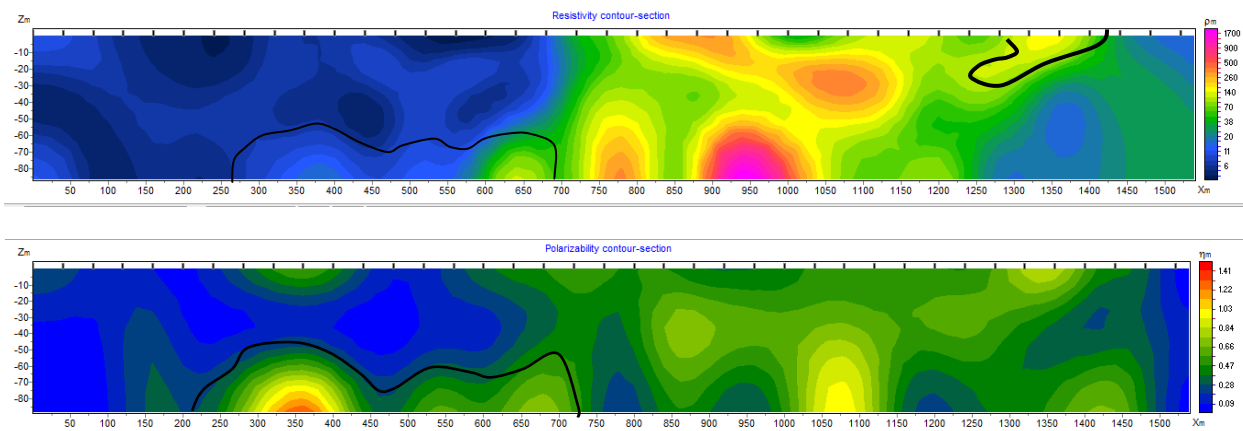
شکل ۴-۲۱. شبه مقطع داده‌های خام، داده‌های محاسبه‌شده و مقطع حاصل از مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت‌ویژه برداشت شده در طول پروفیل P3E



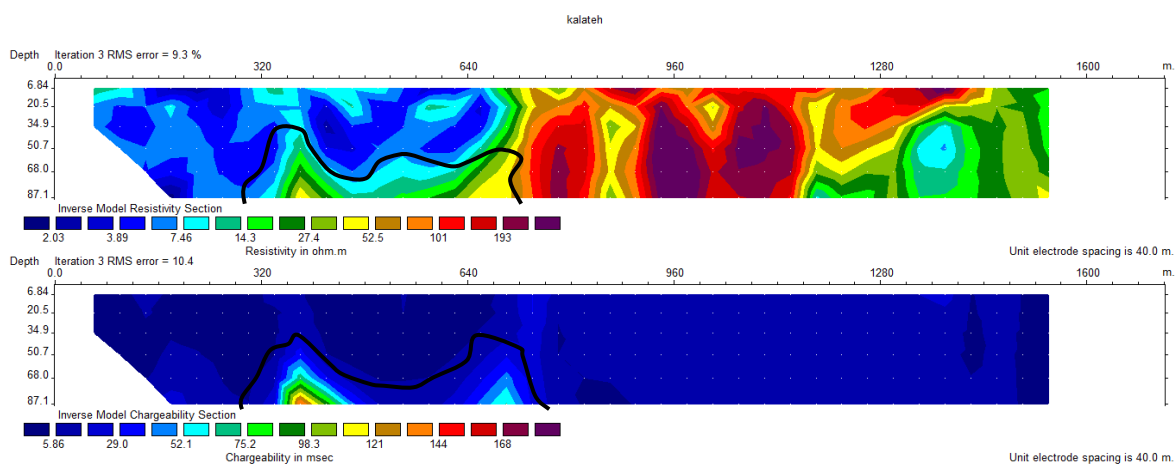
شکل ۴-۲۲. شبه مقطع داده‌های خام، داده‌های محاسبه‌شده و مقطع حاصل از مدل‌سازی معکوس داده‌های بارپذیری در طول پروفیل P3E

همان طور که در شکل ۴-۲۳ دیده می‌شود در فاصله ۱۳۰۰ تا ۱۴۰۰ متری پروفیل، محدوده‌ای با مقاومت‌ویژه نسبتاً بالا دیده می‌شود که منطبق بر روی بی‌هنجاری مغناطیسی، که احتمالاً جنس آن

آندزیت باشد و با سنگ در برگیرنده معدن مس کلوت (شکل ۳-۲) مشابهت دارد، می‌باشد. در فاصله بین ۲۵۰ تا ۷۰۰ متری پروفیل، محدوده‌ای با میزان بارپذیری بالا و مقاومت‌ویژه متوسط وجود دارد. این آنومالی را می‌توان به کانی‌سازی پورفیری نسبت داد. این محدوده که از عمق ۸۷ متری آغاز شده و تا عمق ۵۰ متری بالا آماده است، در شکل‌های ۴-۲۳ و ۴-۲۴ به خوبی قابل مشاهده می‌باشد.



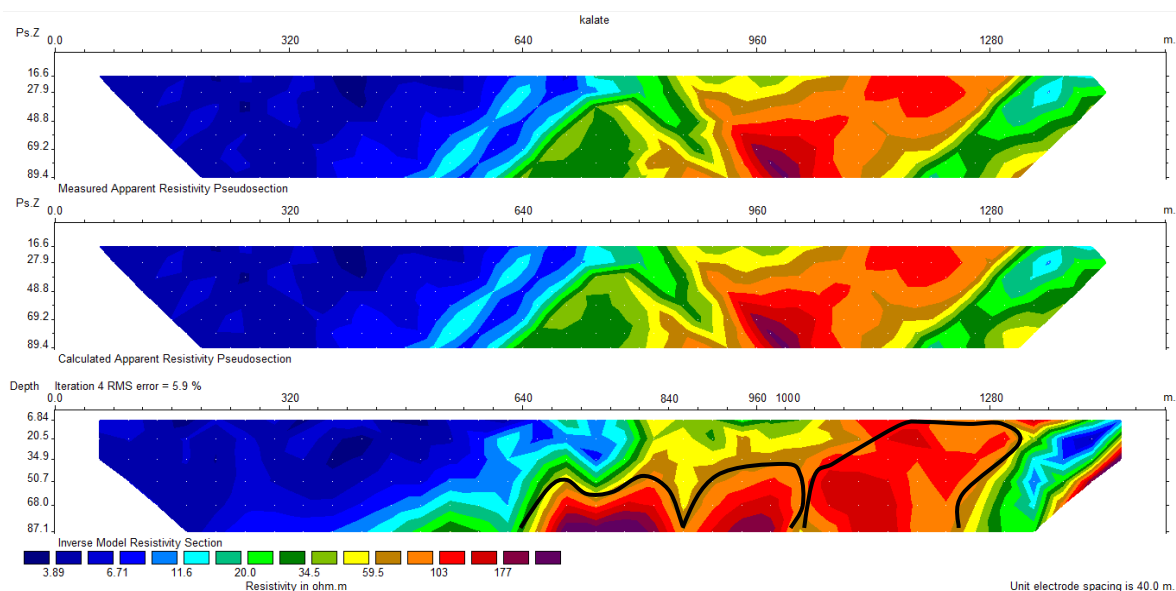
شکل ۴-۲۳. مقاطع حاصل از مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت‌ویژه و بارپذیری برداشت شده در طول پروفیل P3E که توسط نرم‌افزار ZondRes2d به‌دست آمده‌اند.



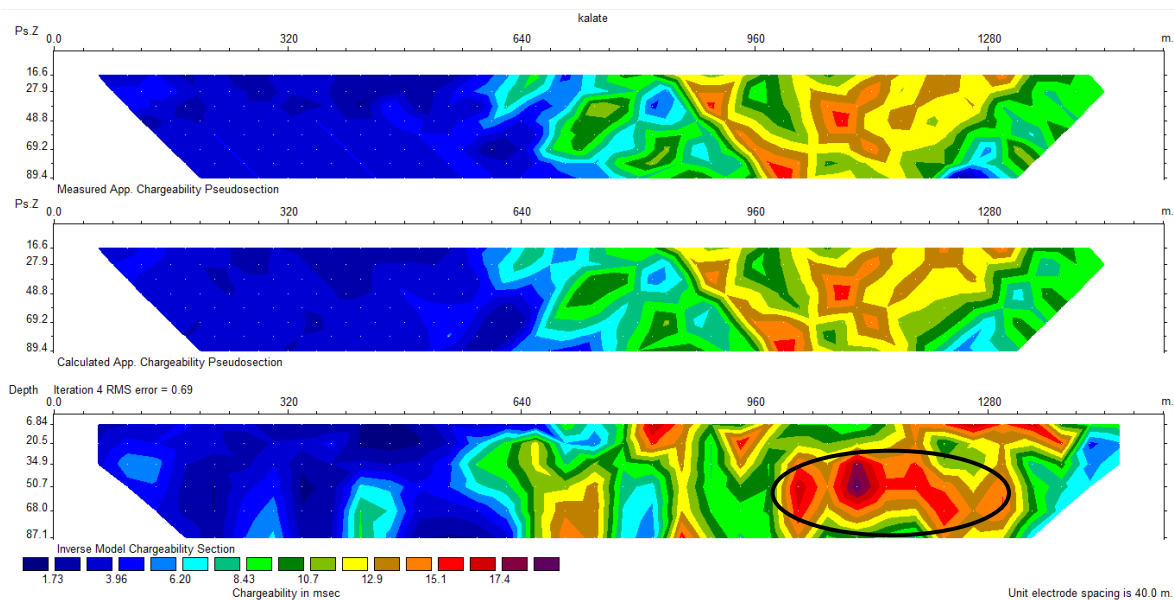
شکل ۴-۲۴. مقاطع حاصل از مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت‌ویژه و بارپذیری برداشت شده در طول پروفیل P3E

پروفیل P4E

آرایه‌ای دوقطبی - دوقطبی با اندازه گام‌های ۴۰ متر در جهت شمالی - جنوبی بر روی پروفیل P4E برداشت شده است. داده‌های حاصل از این برداشت به وسیله نرم‌افزار RES2DINV و نرم‌افزار ZondRes2d مدل‌سازی شده است. شکل‌های ۴-۲۵ و ۴-۲۶ به ترتیب شبه مقاطع خام و داده‌های محاسبه‌ای به همراه مدل دوبعدی مقاومت‌ویژه و بارپذیری حاصل از مدل‌سازی معکوس داده‌ها با نرم‌افزار RES2DINV و شکل ۴-۲۷ مدل‌های حاصل از نرم‌افزار ZondRes2d را نشان می‌دهند. مطابق شکل (۴-۲۵)، از فاصله ایستگاهی ۶۶۰ تا ۱۲۸۰ متری، سه محدوده متفاوت با مقاومت‌ویژه بالا با رنگ نارنجی تا بنفش مشاهده می‌شود. این افزایش مقاومت‌ویژه در فاصله ۶۴۰ متری و از عمق ۸۰ متری آغاز شده و با شیب ملایمی به سطح رسیده است. در همین محدوده به خصوص در فاصله ۹۶۰ تا ۱۲۸۰ متری میزان بارپذیری نیز افزایش یافته است. این آنومالی با مقدار بارپذیری بالا و میزان مقاومت‌ویژه متوسط تا بالا را می‌توان به زون پورفیری نسبت داد. در فاصله تراز ۶۴۰ تا ۸۸۰ متری (شکل ۴-۲۶) شدت بارپذیری نسبت به محدوده یک کم‌تر می‌باشد که ممکن است به دلیل عیار کم کانی‌سازی باشد.

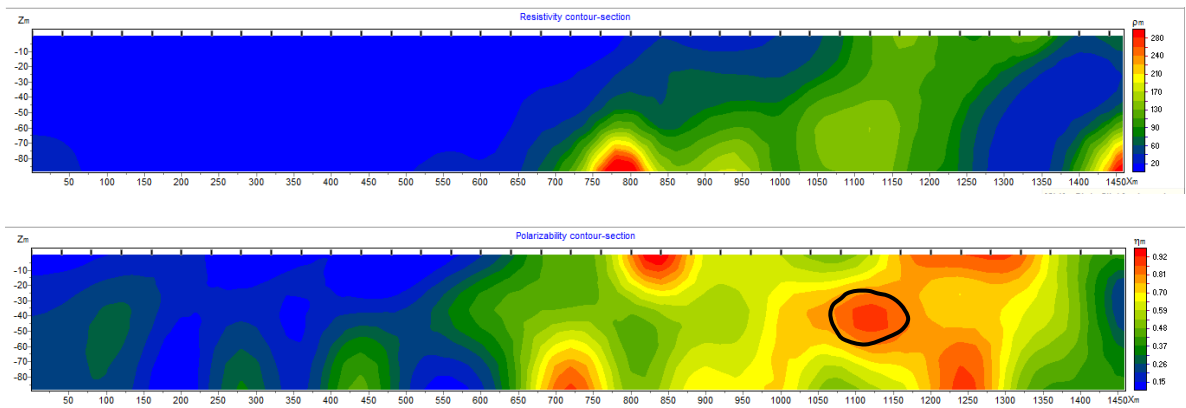


شکل ۴-۲۵. شبه مقطع داده‌های خام، داده‌های محاسبه‌شده و مقطع حاصل از مدل‌سازی معکوس داده‌های مقاومت‌ویژه برداشت شده در طول پروفیل P4E.

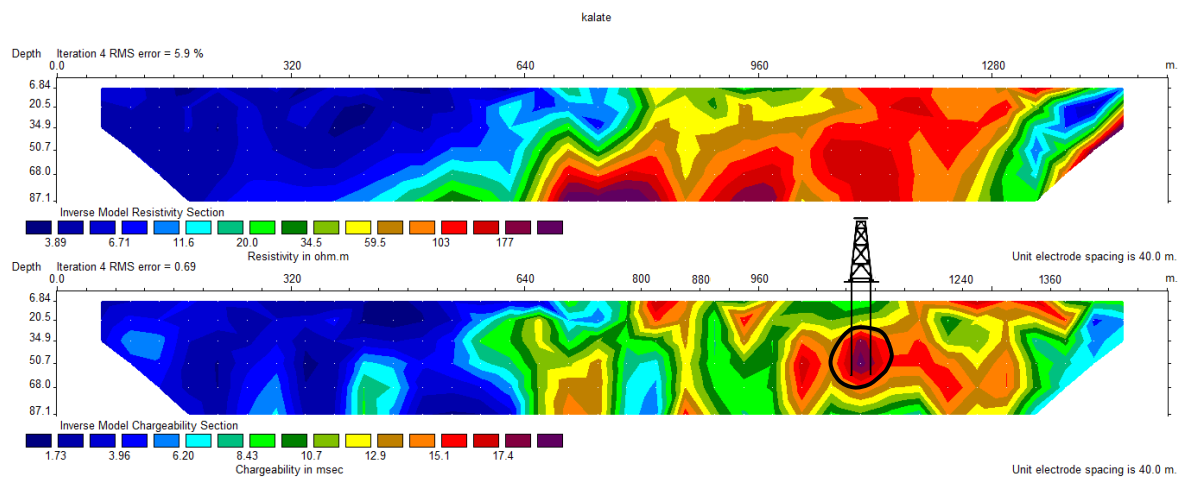


شکل ۴-۲۶. شبه مقطع داده‌های خام، داده‌های محاسبه‌شده و مقطع حاصل از مدل‌سازی معکوس داده‌های بارپذیری برداشت شده در طول پروفیل P4E.

طبق شکل ۴-۲۸ در دو فاصله ۸۰۰ تا ۸۸۰ متری و ۱۲۴۰ تا ۱۳۶۰ متری، دو محدوده سطحی با مقدار بارپذیری بالا دیده می‌شود که احتمال برون‌زدگی ماده معدنی در این دو بخش از منطقه وجود دارد. در هر دو مدل به دست آمده از نرم‌افزارهای ZondRes2d و RES2DINV، در حد فاصل ایستگاهی ۱۰۸۰ تا ۱۱۲۰ متری مقدار بارپذیری افزایش بیشتری داشته است. این محدوده در شکل‌های ۴-۲۷ و ۴-۲۸ با خط مشکی نشان داده شده است. بر روی نقشه‌های مقاومت ویژه برای همین فاصله مقدار مقاومت ویژه نیز بالا است، که احتمالاً می‌تواند معرف یک زون پورفیری باشد. به همین دلیل نقطه ۱۰۸۰ را می‌توان به عنوان نقطه حفاری پیشنهاد داد.



شکل ۴-۲۷. مقاطع حاصل از مدل سازی معکوس داده های مقاومت ویژه و بارپذیری برداشت شده در طول پروفیل P4E که توسط نرم افزار ZondRes2d به دست آمده اند.



شکل ۴-۲۸. مقاطع حاصل از مدل سازی معکوس داده های مقاومت ویژه و بارپذیری برداشت شده در طول پروفیل P4E

۴-۴ مقاطع مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی معکوس داده های الکترومغناطیسی

هوابرد

در برداشت های ژئوفیزیک هوابردی که در منطقه مورد مطالعه انجام گرفته است، ضمن برداشت داده های مغناطیسی هوابرد، داده های الکترومغناطیسی و رادیومتری هوابرد نیز ثبت شده است. روش های الکترومغناطیسی همانند روش های الکتریکی به هدایت یا مقاومت الکتریکی، ضریب گذردهی الکتریکی و تراوایی مغناطیسی زمین مورد مطالعه وابسته می باشد [۳۴]. برداشت های الکترومغناطیسی هوابرد حوزه فرکانس به عنوان روشی اکتشافی با سرعت و دقت بالا برای به نقشه درآوردن مقاومت ویژه زیرسطحی زمین، مورد استفاده قرار می گیرد [۴۰]. روش الکترومغناطیسی هوابرد بر اساس اندازه گیری میدان ثانویه ناشی از القای یک میدان اولیه متغییر با زمان به داخل زمین عمل می کند. سپس با استفاده از این میدان ثانویه اندازه گرفته شده، توزیع مقاومت ویژه زمین را نسبت به عمق مشخص می سازد [۴۱]. در عمل دو روش کلی تبدیل مستقیم (از تبدیل مستقیم داده های الکترومغناطیسی برای یک مدل کلی مثل یک نیم فضا در به دست آوردن مدل تقریبی استفاده می شود.) و معکوس سازی با تکرار محاسبات (معکوس سازی دقیق داده ها با انتخاب مدل اولیه مناسب) برای مدل سازی و تفسیر داده های الکترومغناطیسی هوابرد استفاده می شود [۴۰]. از روش های مدل سازی معکوس مطرح و رایج می توان به روش های دامنه، اسپیلون، سیمون ترکیبی، عمق مرکزی سنگیل و نیپلت - بوستیک و همین طور دو روش تجاری سیمون و فوگرو اشاره کرد [۳۴].

روش تجزیه مقادیر تکین^۱ یا لایه های گسسته یکی از روش های تکرار محاسبات است که داده های الکترومغناطیسی هوابرد منطقه مورد مطالعه به کمک آن به داده های مقاومت ویژه تبدیل شده اند. در این روش، زمین به صورت مدلی متشکل از لایه های افقی در نظر گرفته می شود که هر لایه مقاومت ویژه و

¹ Singular value decomposition (SVD)

ضخامت متفاوتی دارد و پارامترهای مدل سازی، مقاومت ویژه و ضخامت لایه‌ها هستند که به صورت هم‌زمان تغییر می‌کنند. در این روش معکوس سازی، ابتدا یک مدل اولیه از سوی کاربر عرضه می‌شود و با استفاده از مدل سازی پیشرو داده‌های متناظر با این مدل تولید و اختلاف بین این داده‌ها و داده‌های برداشت شده اصلی با کمترین خطای ممکن بررسی می‌شود. سپس با استفاده از روش تجزیه مقادیر تکین، مدل اولیه اصلاح و مدل ثانویه تولید می‌شود. این روند تا جایی که اختلاف داده‌های حاصل از مدل و داده‌های برداشت شده به یک آستانه قابل قبول برسد، تکرار می‌شود [۴۲].

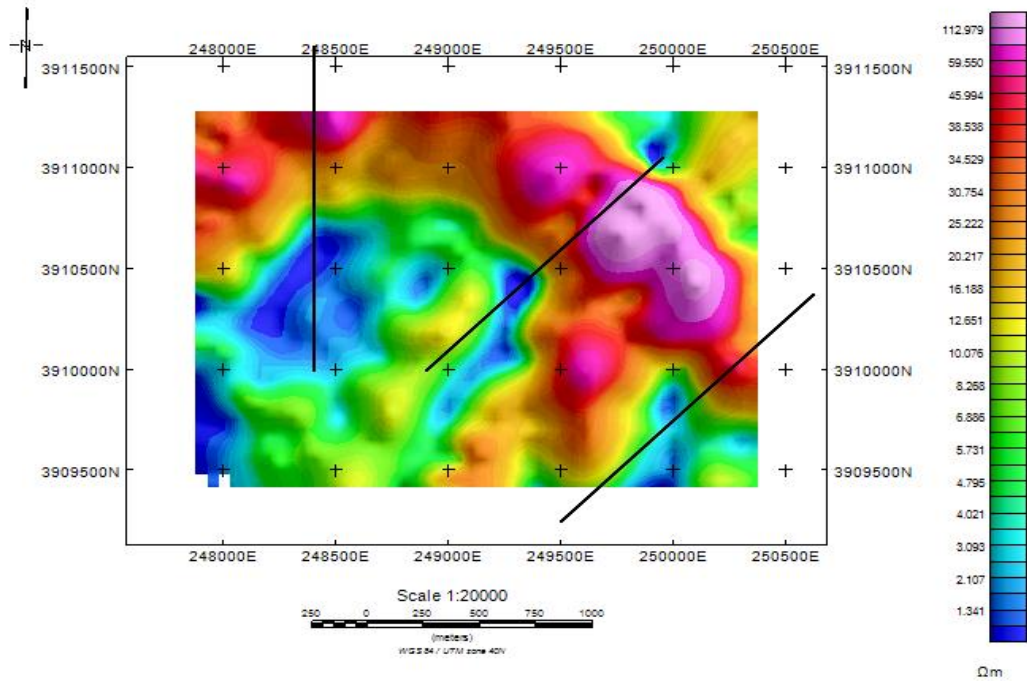
در برداشت داده‌های الکترومغناطیس هوابرد، گیرنده الکترومغناطیسی شامل سه جفت سیم‌پیچ هم‌صفحه افقی با بسامدهای ۸۷۵، ۴۹۲۰ و ۳۳۰۰۰ هرتز و دو جفت سیم‌پیچ هم‌محور با بسامدهای ۹۲۷ و ۴۴۹۰ هرتز است. میزان جدایی تمام جفت سیم‌پیچ‌ها ۶/۴ متر است. در نقشه‌های حاصل از داده‌های مقاومت ویژه به دست آمده از داده‌های الکترومغناطیس هوابرد که در شکل‌های ۴-۲۹ تا ۴-۳۲ نشان داده شده است، موقعیت پروفیل‌های P2E، P3E و P4E رسم شده است.

در نقشه‌های رسم شده مربوط به هر ۴ فرکانس یک محدوده کمانی شکل با مقاومت ویژه بالا دیده می‌شود که مطابق است با محدوده کمانی شکل با مغناطیس بالا در شکل (۴-۲) و همین‌طور تطابق خیلی خوبی بین مقاطع حاصل از داده‌های الکترومغناطیس هوابرد و مقاطع زمینی، به خصوص در مورد پروفیل P3E وجود دارد. محدوده نشان داده شده در شکل ۴-۳۱ هم‌خوانی خوبی با محدوده دارای مقاومت ویژه بالا در شکل ۴-۲۱ دارد. در فاصله بین پروفیل P3E و P4E بر روی نقشه‌های مقاومت ویژه حاصل از وارون سازی داده‌های الکترومغناطیس هوابرد، به خصوص در فرکانس‌های ۹۲۷ و ۸۷۵ هرتز (فرکانس‌های پایین عمق نفوذ بیشتری دارند). مقدار مقاومت ویژه افزایش بیشتری پیدا کرده است (شکل‌های ۴-۳۱ و ۴-۳۲). زون‌های پورفیری با عیار بالا می‌توانند باعث کاهش مقدار مقاومت ویژه می‌شوند، لذا می‌توان

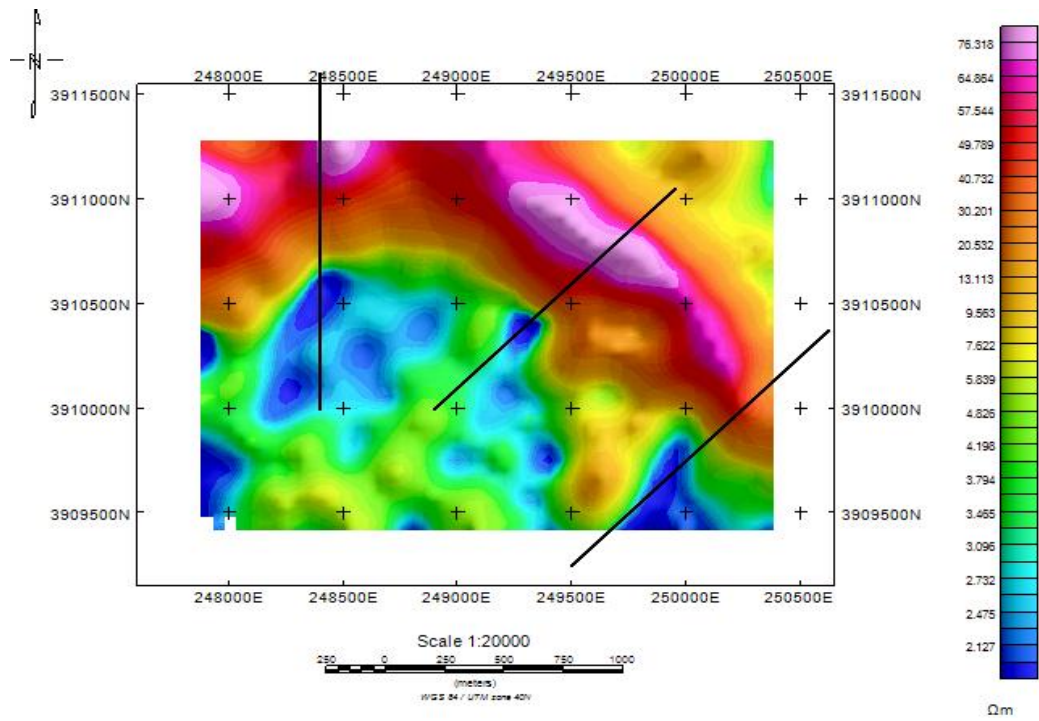
به منظور بررسی بیشتر چند پروفیل مقاومت ویژه و قطبش القایی در فاصله بین پروفیل‌های P3E و P4E برداشت کرد.

لازم به ذکر است که برای تبدیل داده‌های الکترومغناطیس حوزه فرکانس به مقاومت ویژه از نمودار مثلثی‌ای که مولفه موهومی، مولفه حقیقی و ارتفاع به عنوان پارامترهای اصلی در رئوس این نمودار مثلثی قرار داده شده‌اند؛ استفاده شده است. با استفاده از این پارامترها و به کمک نرم‌افزار شرکت فوگرو¹، مدل اولیه و مقاومت ویژه به دست می‌آید. برای رسیدن به مدل دلخواه از مدل اولیه نیز از روش تجزیه نقاط تکین استفاده شده است.

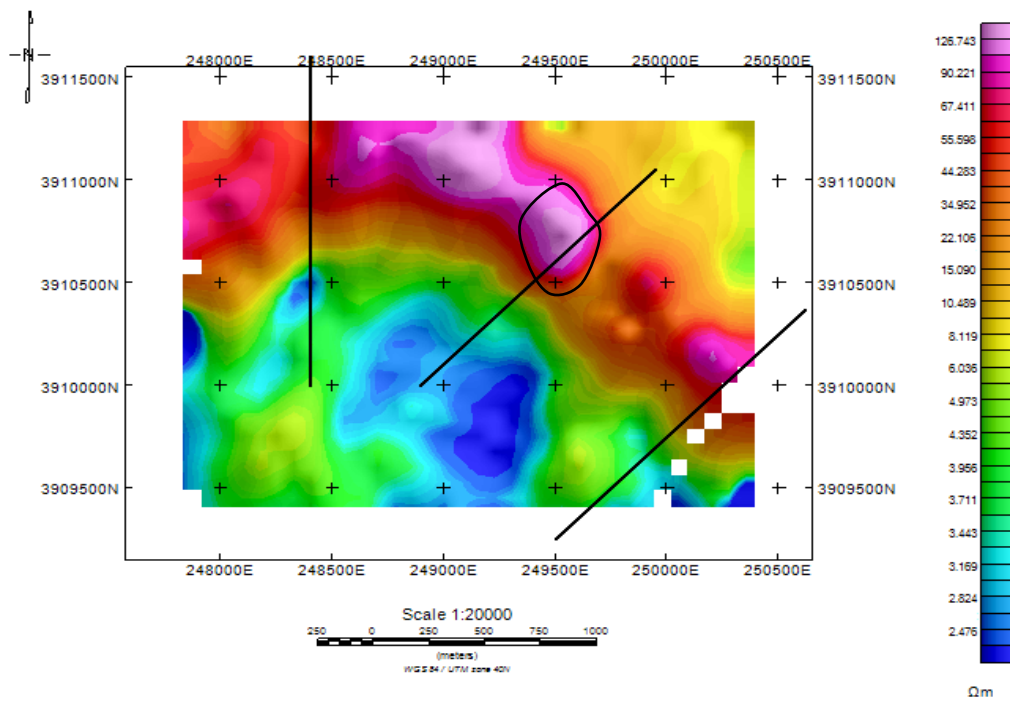
¹ Fugro



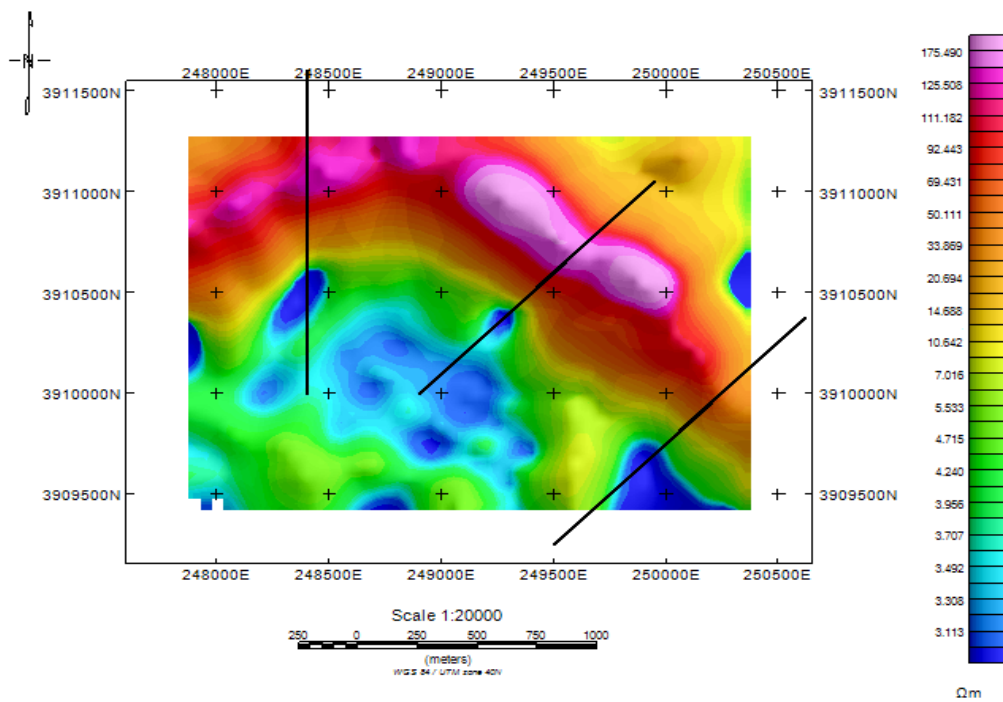
شکل ۴-۲۹. نقشه مقاومت ویژه حاصل از وارون سازی داده‌های الکترومغناطیس هواپرد مربوط به فرکانس ۳۳ کیلو هرتز



شکل ۴-۳۰. نقشه مقاومت ویژه حاصل از وارون سازی داده‌های الکترومغناطیس هواپرد مربوط به فرکانس ۴۹۲۰ هرتز



شکل ۴-۳۱. نقشه مقاومت ویژه حاصل از وارون سازی داده‌های الکترومغناطیس هواپرد مربوط به فرکانس ۹۲۷ هرتز



شکل ۴-۳۲. نقشه مقاومت ویژه حاصل از وارون سازی داده‌های الکترومغناطیس هواپرد مربوط به فرکانس ۸۷۵ هرتز

فصل پنجم

نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱ نتیجه گیری

نتایج زیر از تحقیق حاضر به دست آمده است.

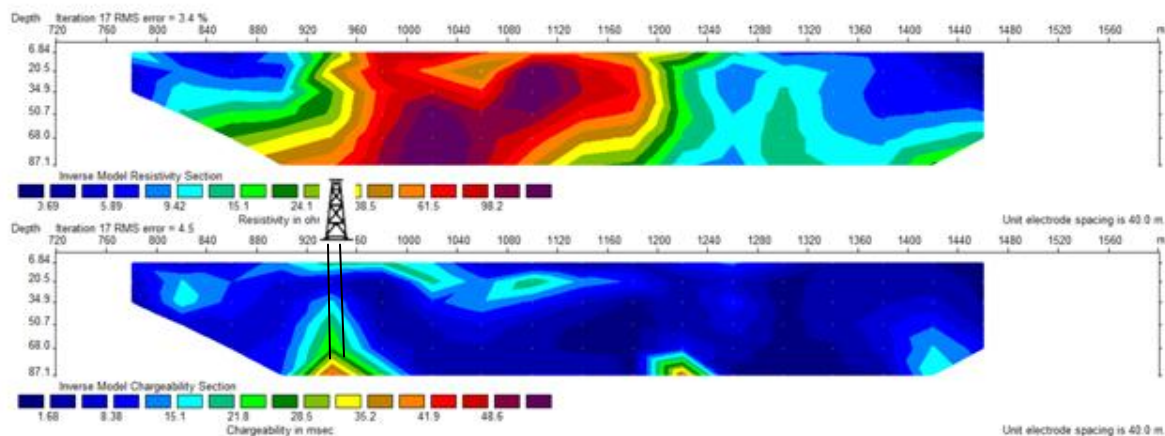
- در نقشه‌های شدت میدان مغناطیسی دو باند کمانی شکل با شدت میدان مغناطیسی بالا دیده می‌شود. باند بیرونی با پهنای بیشتر و جنس آندزیتی و باند داخلی با پهنای کمتر و از جنس رسوبات لیمونیتی می‌باشد.
- کمان بیرونی که ریشه‌دارتر و جنس آن با سنگ دربرگیرنده معادن مس منطقه (شکل ۳-۲) یکسان است؛ از اهمیت بیشتری برخوردار است. به طوری که اکثر مناطق دارای بارپذیری بالا بر روی این کمان قرار می‌گیرند.
- به دلیل قرارگیری بی‌هنجاری‌های مغناطیسی با شدت میدان مغناطیسی بالا در یک محدوده با شدت میدان مغناطیسی پایین و قرارگیری دو محدوده با کانی‌سازی مس در شمال (معدن مس کلوت) و غرب محدوده مورد مطالعه (شکل ۳-۲) و همین طور مشاهده رخنمون‌هایی از جنس آندزیت، محدوده مورد مطالعه جهت پی‌جویی کانی‌سازی مس، سرب و روی مناسب می‌باشد.
- اکثر بی‌هنجاری‌ها با بارپذیری بالا، مطابق با نواحی با مقاومت ویژه بالا تا متوسط می‌باشند؛ که از نظر کانی‌سازی مهم‌اند. این مناطق را می‌توان به عنوان مناطق احتمالی با کانی‌سازی پورفیری در نظر گرفت. شیب تعداد بیشتر بی‌هنجاری‌ها، به طرف جنوب غرب و گسترش عمقی آن‌ها بیش از ۷۰ متر است.
- انجام هم‌زمان روش مقاومت ویژه و قطبش القایی علاوه بر صرف‌جویی در وقت و هزینه در شناسایی کانی‌سازی‌های از نوع پورفیری بسیار کارآمد است. ضمن این‌که روش‌های ژئوفیزیکی اثرات مخرب زیست‌محیطی کم‌تری نسبت به روش‌های اکتشافی مستقیم همچون حفاری دارند.

لذا به کمک روش‌های ژئوفیزیکی همچون روش مقاومت‌ویژه و قطبش‌القایی می‌توان محل‌های مناسب جهت حفاری را پیشنهاد کرد و از هزینه‌های زیاد حفاری‌های بی‌مورد کاست.

۲-۵ پیشنهادات

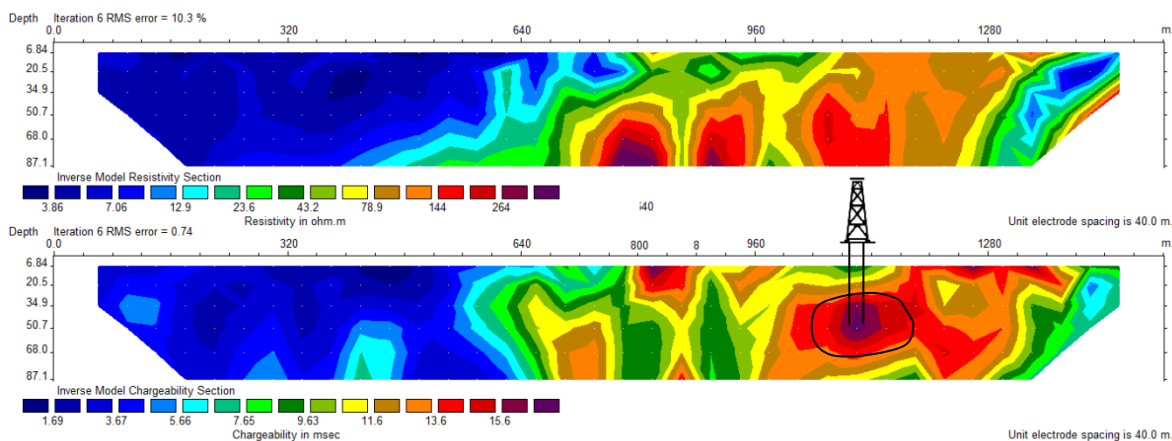
- با توجه به نتایج حاصل از مدل‌سازی داده‌های مقاومت‌ویژه و قطبش‌القایی، به‌منظور بررسی دقیق‌تر و تأیید نتایج تفسیر داده‌های ژئوفیزیک زمینی، محل‌هایی که دارای اهمیت بیشتری است؛ برای حفاری پیشنهاد گردید. مشخصات محل‌های حفاری برای پروفیل‌های P2E و P4E در جدول ۱-۵ آورده شده‌است.

بر روی پروفیل P2E برداشت داده‌ها با دو آرایش قطبی - دوقطبی و دوقطبی - دوقطبی صورت گرفت. نتایج حاصل از هر دو آرایش نشان می‌دهند که در فاصله ۹۴۰ متری میزان بارپذیری بالا و مقدار مقاومت‌ویژه متوسط است که می‌تواند نشان دهنده زون پورفیری باشد (آثار آن به‌صورت تپه ماحور قابل مشاهده‌است). بنابراین بر روی پروفیل P2E در فاصله ۹۴۰ متری یک محل حفاری با زاویه قائم پیشنهاد می‌شود (شکل ۱-۵).



شکل ۱-۵. محل حفاری پیشنهاد شده بر روی پروفیل P2E

در مقاطع مدل سازی شده به وسیله نرم افزار RES2DINV، در حد فاصل ایستگاهی ۱۰۸۰ تا ۱۱۲۰ متری شاهد افزایش مقدار بارپذیری و مقاومت ویژه هستیم که می تواند معرف یک زون پورفیری باشد. بنابراین بر روی پروفیل P4E، نقطه ۱۰۸۰ را می توان به عنوان نقطه حفاری پیشنهاد داد (شکل ۵-۲).



شکل ۵-۲. محل حفاری پیشنهاد شده بر روی پروفیل P4E

- در فاصله بین پروفیل P3E و P4E بر روی نقشه های مقاومت ویژه حاصل از وارون سازی داده های الکترومغناطیس هوابرد، به خصوص در فرکانس های ۹۲۷ و ۸۷۵ هرتز مقدار مقاومت ویژه افزایش بیشتری پیدا کرده است (شکل های ۴-۳۱ و ۴-۳۲). بنابراین از آنجایی که زون های پورفیری باعث کاهش مقدار مقاومت ویژه می شوند لذا می توان به منظور بررسی های بیشتر، چند پروفیل مقاومت ویژه و قطبش القایی در فاصله بین پروفیل های P3E و P4E برداشت کرد.
- محدوده مورد مطالعه یک منطقه هموار است که به وسیله آبرفت پوشیده شده است. به دلیل ضخامت نسبتاً زیاد آبرفت تعداد رخنمون ها در منطقه بسیار محدود می باشد و مطالعه ژئوشیمیایی رسوبات آبراهه ای می تواند در رسیدن به یک دید بهتر از منطقه کمک کند.

جدول ۵-۱. مشخصات نقاط حفاری پیشنهاد شده

خط برداشت	ایستگاه (متر)	شیب (درجه)	عمق (متر)
P4E	۱۱۰۰	۹۰	۵۰
P2E	۹۴۰	۹۰	۸۰

منابع

۱. جعفری زنگلانلو م، (۱۳۷۹)، پایان نامه ارشد: "تعیین مشخصات هندسی کانی سازی کانسار مس شیخ عالی از طریق معکوس سازی و تلفیق داده های پلاریزاسیون القایی (IP)، مقاومت ویژه ظاهری و مغناطیس سنجی"، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۲. مهربانی ع، رنگرن ک، زراسوندی ع، (۱۳۸۴)، "محل مناسب تشکیل ذخایر پورفیری کجاست؟ مطالعه موردی در بخش جنوبی کمر بند آتشفشانی ایران مرکزی"، نهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، تهران.
3. Holladay S., Lo B., (1997) "Airborne frequency Domain EM", Fourth Decennial International Conference on Mineral Exploration, 505-514.
4. Levaniemi H., Kurimo M., Beamish D., Suppala L., Jokinen T., Lohva J., Tiainen M., (2008) "Jac 4-Frequency AEM System with case example in gold", 5th International Conference on Airborn Electromagnetics, Haikko Manor, Finland.
5. Goad R. E., Mumin A. H., DUKE N.A., NEALE K.L., MULLIGAN D. L. and CAMIER W. J., (2000), "The NICO and Sue-Dianne Proterozoic, iron oxide-hosted, polymetallic deposits, Northwest Territories: application of the Olympic Dam model in exploration", Exploration and Mining Geology, 2, 9, pp 123.
6. Bournas N., Clements E. and Hearst R., (2013), "Discovery of polymetallic porphyry at the Silver Queen, British Columbia using airborne EM and TITAN-24 DCIP and MT surveys", Interpretation, 1, 1, pp 101.
۷. فردوسی ح، (۱۳۹۲)، "طراحی برداشت های مغناطیس سنجی و رادیومتری هوا برد با ارتفاع پرواز و فاصله خطوط بهین ه"، سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین المللی - تخصصی علوم زمین، تهران.

۸. زارعی م، عرب امیری ع، (۱۳۹۲)، "چگونگی بهبود عملیات برداشت ژئوفیزیک هوابرد به همراه یک مثال موردی"، سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین المللی - تخصصی علوم زمین، تهران.

۹. عبادی ع، (۱۳۹۲)، "بررسی هزینه‌های پرت پروازی مربوط به انتخاب محل استقرار بالگرد در پروژه‌های ژئوفیزیک هوایی"، سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین المللی - تخصصی علوم زمین، تهران.

۱۰. مرادی کهواده ر، رضایی ازندریانی ه، رنجبر ح، محمدی ع، (۱۳۹۲)، "تلفیق و آنالیز داده‌های ژئوفیزیک هوایی و مغناطیس سنجی برای شناسایی مناطق دگرسان شده در منطقه فتح آباد کرمان"، سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین المللی - تخصصی علوم زمین، تهران.

۱۱. ضیاء ظریفی ا، افضل پ، (۱۳۸۷) "شناسایی محدوده‌های امیدبخش جهت اکتشاف اورانیوم در برکه ۱:۵۰۰۰۰ ترک بر مبنای داده‌های ژئوفیزیک هوایی"، دومین کنفرانس مهندسی معدن ایران، تهران.

۱۲. بیکی م، کامکار روحانی ا، (۱۳۸۴)، "پی‌جویی کرومیت در مجموعه افیولیتی سبزوار با استفاده از داده‌های مغناطیس هوایی"، بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین، تهران.

۱۳. جزائری جونقانی س. و اسکویی ب، (۱۳۹۰) "برآورد بی‌هنجاری‌های مغناطیس زمینی با استفاده از روش واهمامیخت اویلر استاندارد در منطقه رشم، استان سمنان" **مجله فیزیک زمین و فضا**، شماره ۲، دوره ۲۷: صفحه ۳۳-۳۴.

۱۴. قاسمیان ر، کیوانی س، گودرزی مهر س، (۱۳۹۲)، "بررسی داده‌های هوابرد دامغان با استفاده از روش عدد موج محلی بهبود یافته"، سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره تخصصی علوم زمین، تهران.

15. Selley R. C., Cocks L. R. M. and Plimer I. R., (2005), "Encyclopedia of geology", Vol. 1, First Edition, Elsevier Ltd, Oxford, pp 482.

۱۶. نوروزی غ، (۱۳۹۲) "روش‌های الکتریکی در ژئوفیزیک اکتشافی؛ مقاومت ویژه- پلاریزاسیون

القایی- الکترومغناطیس" انتشارات دانشگاه تهران، ص ۱.

17. Reynolds J. M., (1997), "An introduction to applied and environmental geophysics", Vol. 1, First Edition, John Wiley & Sons Ltd, Oxford, pp.418.

18. Knödel K., Lange G. and Voigt H. J., (2007), "Environmental geology: Handbook of field methods and case studies", Vol. 1, First Edition, Springer, Heidelberg, pp.206.

19. Telford W. M., Geldart L.P. and Sheriff R. E., (1990), "Applied geophysics", Cambridge university press, pp.81.

20. Kearey p., Brooks M. and Hill I., (2002), "An introduction to geophysical exploration", Vol. 1, Third edition, John Wiley & Sons Ltd, Oxford, pp.196.

21. Loke M.H., (2004), "Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys", pp.128.

22. Mooney H.M., (1980), "Handbook of Engineering Geophysics", Vol. 2, Bison Instruments Inc., Minnesota, U.S.A., pp.27-1.

23. Aizebeokhai A.P., (2009), "Goelectrical resistivity imaging in environmental studies", ERTEP 2007, pp.297, Ghana, Africa.

24. Milsom J., (2007), "Field geophysics", Vol. 1, Third Edition, John Wiley & Sons Ltd, Oxford, pp.100.

25. Goldie M., (2007), "A comparison between conventional and distributed acquisition induced polarization surveys for gold exploration in Nevada", *The Leading Edge*, 2, 26, pp 180.

۲۶. پیروز ا، جهان‌بین م، رفعت‌هرات ع، احمدزاده غ، فردوسی ح، (۱۳۹۲)، "به تصویر کشیدن

ناهمگنی‌های جانبی واقع در زیر سطح زمین توسط یه کارگیری آرایش الکترودی قطبی - دوقطبی

مقارن و مدل‌سازی معکوس دوبعدی داده‌های اندازه‌گیری شده"، اولین کنفرانس ملی مهندسی

اکتشاف منابع زیرزمینی، ص ۹۶، شاهرود.

۲۷. کلاگری ع.ا، (۱۳۷۱) "اصول اکتشافات ژئوفیزیکی" چاپ اول، انتشارات تابش، ص ۵۷۱.

28. Lowrie W, (2007), "Fundamentals of geophysics", Vol. 1, Second Edition, Cambridge University Press, UK.1 ,pp.266.

۲۹. حجت آ و رنجبر ح، (۱۳۹۰) "اصول ژئوفیزیک کاربردی" چاپ اول، انتشارات ستایش، تهران.

۳۰. بهادری ر، (۱۳۸۶)، پایان نامه ارشد: "ارزیابی پتانسیل معدنی محدوده ۱:۲۵۰۰۰۰ انار با تلفیق

داده‌های ژئوفیزیک هوایی و دورسنجی"، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه یزد.

۳۱. پیری م، نوروزی غ، فتحیان پور ن، مختاری ا، (۱۳۹۰)، "بررسی پتانسیل کانی‌سازی مس در

ناحیه خضراباد یزد با استفاده از تلفیق داده‌های تصاویر ETM+ و مغناطیس هوابرد"، سی‌امین

گردهمایی علوم زمین، تهران.

32. Fountain D, (2008), "60 years of airborne EM_focus on the last decade", International conference on Airborn Electromagnetics, Haikko Manor.

۳۳. رابینسون ای. اس، کورو س، (۱۳۸۵)، "مبانی اکتشافات ژئوفیزیک"، حیدریان شهر م، انتشارات

دانشگاه فردوسی مشهد، ص ۵۲۶.

۳۴. عرب امیری ع، (۱۳۸۸)، رساله دکتری: "روشی بهبود یافته برای مدل‌سازی معکوس داده‌های

الکترومغناطیس هلیکوپتری حوزه فرکانس"، دانشکده مهندسی معدن و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی

شاهرود.

۳۵. نقشه راه‌های ایران، سازمان نقشه برداری کشور.

۳۶. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته- رشم، سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور.

۳۷. هوشمند زاده ع. و همکاران، (۱۳۵۷)، گزارش پیوست نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ ترود، سازمان

زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور، ایران، تهران.

۳۸. آریامنش م. منتظری س.م. و عکاشه ب، (۱۳۸۸)، "مطالعه گسل‌های پنهان استان قم با استفاده

از تفسیر داده‌های ژئوفیزیک هوایی"، فصل‌نامه زمین، سال چهارم، شماره ۲.

39. <http://www.google.com/earth/>

۴۰. اسدیان پیرجل ا، (۱۳۹۲)، پایان‌نامه ارشد: "ارائه روشی برای مدل‌سازی معکوس داده‌های الکترومغناطیس هوایی حوزه فرکانس به روش تجزیه مقادیر تکین"، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه شاهرود.

۴۱. نقی پور اوندری ح، (۱۳۹۰)، پایان‌نامه ارشد: "مدل‌سازی معکوس تقریبی داده‌های مصنوعی الکترومغناطیس هلیکوپتری حوزه فرکانس به روش‌های مختلف و مقایسه نتایج"، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.

۴۲. اسدیان پیرجل ا. مرادزاده ع. عرب امیری ع. نجاتی کلاته ع. و رجیبی د، (۱۳۹۳) "استفاده از تبدیل مستقیم داده‌های الکترومغناطیس هوابرد در حوزه بسامد، به‌منظور بهبود نتایج معکوس‌سازی به روش تجزیه مقادیر تکین" مجله فیزیک زمین و فضا، شماره ۴، دوره ۴۰: ص ۱۱۱-۱۲۶.

Abstract

If the results of airborne geophysical data accompany ground geophysical methods such as resistivity and induced polarization methods, they can be used for determination and geometric interpretation of metallic and non-metallic conducting or polarizable bodies. In fact, the validation of airborne geophysical results is often made by ground geophysical findings.

In our country, airborne geophysical data do not have much application for subsurface exploration. However, anomaly areas can be determined by modeling and interpretation of these airborne geophysical data, and also, subsurface structures can be recognized in semi-detailed exploration phase by mapping several ground survey lines.

Considering 1:100000 geological map of Kalateh Reshm area in Semnan Province and the existence of mineral indices such as copper, lead, zinc and gold, the interpretation of airborne magnetic data plays an important role in recognizing mineral limits and geological situation of the area as the most important information from the area is the geological map of the area. Due to high speed and low cost of airborne geophysical extensive surveys, we can take a big step in recognizing important subsurface mineral deposits if maximum information is obtained from the surveys.

After preliminary studies and preparation of magnetic and electrical conductivity maps from airborne geophysical data using the Oasis montaj of Geosoft Company in Kalateh Reshm area, two anomalous zones of arc shape were obtained. To recognize the possible subsurface anomalies in these two zones, ground geophysical surveys using resistivity and induced polarization methods were carried out, and as a result, geometric dimensions of anomalies, particularly their depth variations and quality in terms of their metallic sulfides were investigated.

Acquisition of resistivity and chargeability data was made along four ground geophysical survey lines for subsurface detailed exploration in the area. The acquired data were modelled using RES2DINV and ZondRes2d, and the obtained modeling cross sections were interpreted using geological information and the results of airborne geophysical

surveys. Finally, two zones having high chargeability were proposed for exploration drilling.

Key words: Airborne magnetic surveys, Induced polarization, Electrical resistivity, Dipole-dipole array, ZondRes2d software, Porphyry copper.



University of Shahrood

Faculty of Mining, Petroleum & Geophysics

Comparison and integration of airborne magnetic, resistivity and induced polarization data to recognize subsurface structures in Kalateh Reshm area, Damghan

Atefeh Ghandehari Alavijeh

Supervisors:

Dr. A. Arab-Amiri

Dr. A. Kamkar Rouhani

Advisors:

M. R. Akhavan Aghdam

A. Ameri

September 2015