



وزارت صنعت، معدن و تجارت
سازمان زمین شناسی و
اکتشافات معدنی کشور
Ministry of Industry, Mine and Trade
Geological Survey of Iran

معاونت اکتشاف

مدیریت اکتشافات ناحیه ای

گروه ژئوفیزیک

مطالعات مقاومت ویژه الکتریکی و مغناطیس سنجی برای آشکارسازی شاخه‌های

مدفون گسل اشتھارد (استانهای تهران و البرز)

مهدی محمدی ویژه

سید ابوالحسن رضوی

حسین ایرانشاهی

سال چاپ

۱۴۰۲



وزارت صنعت، معدن و تجارت
سازمان زمین شناسی و
اکتشافات معدنی کشور
Ministry of Industry, Mine and Trade
Geological Survey of Iran

معاونت اکتشاف

مدیریت اکتشافات ناحیه ای

گروه ژئوفیزیک

مطالعات مقاومت ویژه الکتریکی و مغناطیس سنجی برای آشکارسازی شاخه‌های

مدفون گسل اشتهارد (استانهای تهران و البرز)

مهدی محمدی ویژه

سید ابوالحسن رضوی

حسین ایرانشاهی

سال تهیه

۱۳۹۹

گزارش حاضر طبق کد ۱۴۰۲/۱۶ گک ۲۷۵۱-۷۱۴-۹۷ از شورای ارزیابی انتشارات سازمان زمین

شناسی و اکتشافات معدنی کشور مجوز انتشار گرفته است.

سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور



فهرست مطالب

فصل اول

کلیات

- ۱-۱- مقدمه ۲
- ۱-۲- موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه ۴
- ۱-۳- مختصری از زمین شناسی محدوده ۶

فصل دوم

روشهای ژئوفیزیکی

- ۱-۲- مقاومت ویژه الکتریکی ۸
- ۱-۱-۲- مقاومت ویژه ساختارهای زیر سطحی ۱۰
- ۲-۱-۲- روشهای اندازه گیری داده های مقاومت ویژه ۱۲
- ۳-۱-۲- آرایش های الکترودی مورد استفاده ۱۳
- ۲-۲- روش مغناطیس سنجی ۱۴
- ۱-۲-۲- روش های تحلیل و تفسیر داده های میدان مغناطیسی ۱۷

فصل سوم

اندازه گیری داده ها و تجهیزات مورد استفاده

- ۱-۳- برداشت داده ها ۲۱
- ۲-۳- تجهیزات ۲۸
- ۳-۳- نحوه پردازش، مدل سازی و نمایش داده ها ۳۲

فصل چهارم

بررسی نتایج

- ۱-۴- محدوده ۱ ۳۵
- ۱-۱-۴- مطالعات مغناطیس سنجی ۳۵

ژئوفیزیک



۴-۱-۲- مطالعات مقاومت ویژه ۴۶

۴-۲- محدوده ۲ ۵۸

۴-۲-۱- پروفیل ۱-۲ ۵۸

۴-۲-۲- پروفیل ۲-۲ ۶۱

فصل پنجم

نتیجه گیری و پیشنهادات ۶۵

سپاسگزاری ۷۰



فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

به درخواست معاونت محترم پژوهشکده علوم زمین سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، مطالعات ژئوفیزیک جهت آشکارسازی شاخه های گسل مدفون اشتهارد در محدوده شهرستان ساوجبلاغ صورت پذیرفت. بدین منظور اکیپ ژئوفیزیک سازمان در دو ماموریت ۱۰ و ۱۳ روزه و طی احکام جداگانه‌ای به شماره های ۱۳۰۲ و ۱۴۰ به ترتیب در تاریخ های ۹۷/۰۷/۰۲ و ۹۸/۰۲/۲۲ در منطقه حضور یافت. سرپرست گروه در ماموریت های فوق به ترتیب مهدی محمدی ویژه و مهندس سید ابوالحسن رضوی بوده و مهندس حسین ایرانشاهی، مهندس ابراهیم ترک و مهندس حسام غلامی به عنوان کارشناس با گروه همکاری داشته‌اند. در این مطالعه از روش های مغناطیس سنجی و مقاومت ویژه الکتریکی برای بررسی های زیرسطحی استفاده شده است. در نهایت تعداد ۲۶۴۶ داده با روش مغناطیس سنجی و ۸۸۳۴ داده با روش مقاومت ویژه الکتریکی در ۷ پروفیل برداشت شد.



۱-۲- موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در حاشیه شهر ماهدشت در مرز استان های تهران و البرز واقع شده است. برای اندازه گیری های مغناطیس سنجی و ژئوالکتریک، دو ناحیه در حاشیه جاده شهریار-بویین زهرا در نظر گرفته شد. محدوده شماره ۱ در ۱۰ کیلومتری ماهدشت و محدوده شماره ۲ در فاصله ۳۰ کیلومتری از ماهدشت و ۱۰ کیلومتری اشتهارد واقع شده اند. دسترسی به محدوده های مذکور از طریق جاده شهریار-بویین زهرا امکان پذیر است. راه های دسترسی و موقعیت محدوده های مورد مطالعه (چند ضلعی های قرمز رنگ) بر روی تصویر هوایی در شکل ۱-۱ آورده شده است.



شکل ۱-۱: محدوده های شماره ۱ (سمت راست) و ۲ (سمت چپ) که با چند ضلعی های قرمز رنگ بر روی تصویر ماهواره ای منطقه (برگرفته از نرم افزار Google Earth) مشخص شده اند. خطوط آبی رنگ موقعیت پروفیل های مقاومت ویژه در محدوده های مورد مطالعه می باشد.

۱-۳- مختصری از زمین شناسی محدوده

همانطور که ذکر شد، مطالعات ژئوفیزیک در دو محدوده صورت گرفت. محدوده ۱ در نقشه زمین شناسی

۱:۱۰۰۰۰۰ کرج (هشتگرد در نامگذاری جدید؛ مهدی زاده تهرانی، س.، ۱۳۷۴) واقع شده و محدوده ۲ در حاشیه

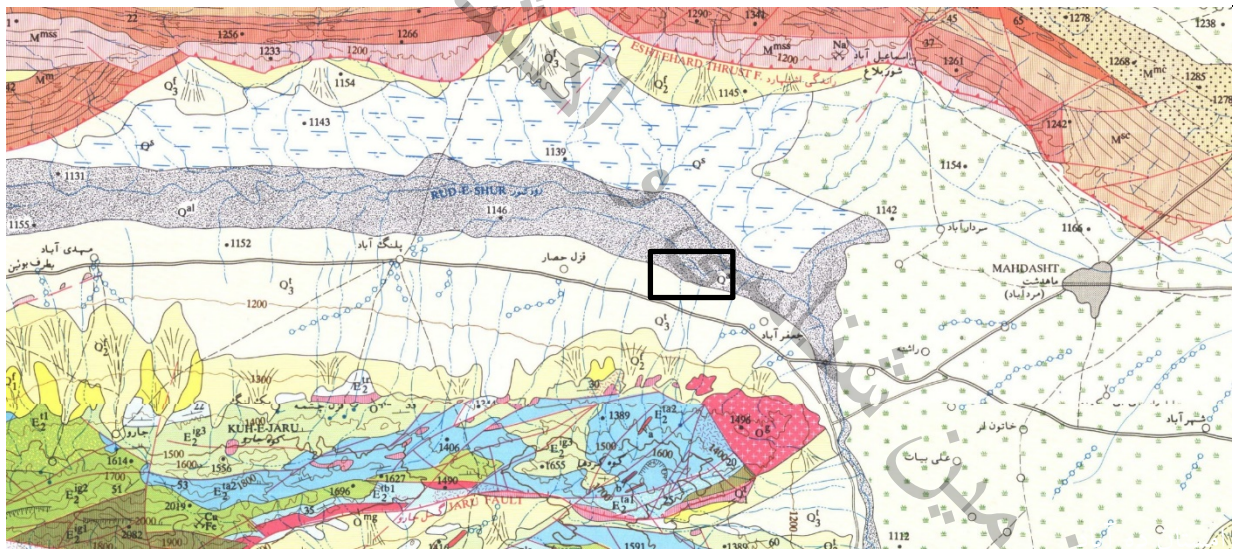
نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ اشتهاارد قرار دارد. هر دو محدوده بر روی آبرفت های کوتاه تر قرار دارند. محدوده ۲ و قسمتی از

محدوده ۱ بر روی پادگانه های آبرفتی بسیار جوان (Q^{t3}) قرار دارند. در محدوده ۱ آبرفت های رودخانه ای و

سیلابی (Q^{al}) نیز در حاشیه رود شور مشاهده می شوند. با فاصله حدودی ۳ کیلومتر در جنوب و شمال منطقه واحد

های سنگی مختلف (عمدتا آذرین بیرونی و آذرآواری) در ارتفاعات رخنمون یافته اند. موقعیت تقریبی محدوده ۱

بر روی قسمتی از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کرج در شکل ۱-۲ به نمایش درآمده است.



شکل ۱-۲: جانمایی محدوده ۱ بر روی نقشه زمین شناسی (برگرفته از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کرج، توسط توسط سیمین

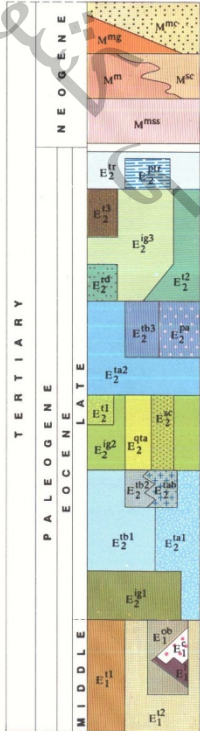
مهدی زاده تهرانی، ۱۳۷۴)



LEGEND

QUATERNARY		Q ^{al} : Recent alluvium and flood plains آبرفت‌های رودخانه‌ای و دشت‌های سیلابی		Q ^c : Clay flat کفه های رسی		Q ^s : Salt flat کفه های نمکی
QUATERNARY		Q ₃ ^t : Youngest terraces		Q ₃ ^g : Youngest gravel fans		
		Q ₂ ^t : Young terraces		Q ₂ ^g : Young gravel fans		
		Q ₁ ^t : Old and high level terraces		Q ₁ ^g : Old gravel fans		
		PIQ ^c : Unconsolidated conglomerate with intercalations of silt and clay				

پادگانه های آبرفتی بسیار جوان
مخروط افکنده های بسیار جوان
پادگانه های آبرفتی جوان
مخروط افکنده های جوان
پادگانه های آبرفتی مرتفع و کهن
مخروط افکنده های کهن
کنگلومرای تراکم نیافته با میان لایه های سilt و رسی



CENTRAL IRAN ZONE مرکز ایران مرکزی

M^{mc}: Marl, mudstone and conglomerate
M^{mg}: Red gypsiferous marl with intercalations of siltstone and gypsum
M^m: Unconsolidated massive sandstone, conglomerate, siltstone and gypsum
M^m: Gypsiferous marl and mudstone with intercalations of sandstone and gypsum
M^{ms}: Marl, salt, siltstone with gypsum intercalations

مارن، نمک، سیلتستون با میان لایه های گچ

E^{1t}: Hyalo trachyandesitic to trachytic lava
E^{2t}: Platey trachytic lava
E^{3t}: White dacitic crystal tuff
E^{4t}: Rhodacitic lava
E^{5t}: Rhodacitic tuff breccia and trachytic breccia
E^{6t}: Trachytic ignimbrite and trachyandesitic to trachytic lava
E^{7t}: Pyroxene andesitic lava
E^{8t}: Olivine trachybasaltic lava
E^{9t}: Aphanitic to megaporphyritic trachyandesite and andesite
E^{10t}: Green trachytic tuff and breccia
E^{11t}: Dacitic and trachyandesitic lava
E^{12t}: Sandstone, conglomerate and sandy tuff
E^{13t}: Rhyolitic to trachytic tuff, trachytic breccia and trachytic ignimbrite
E^{14t}: Altered trachybasaltic lava
E^{15t}: Trachyandesite-trachybasalt
E^{16t}: Aphanitic to porphyritic trachyandesite with related tuffs
E^{17t}: Megaporphyritic trachybasalt and pyroxene trachyandesite
E^{18t}: Ignimbrite and rhodacitic breccia
E^{19t}: Nummulitic tuffaceous conglomerate
E^{20t}: Nummulitic tuffaceous limestone
E^{21t}: Olivine trachybasaltic lava
E^{22t}: Tuffaceous sandstone, ash tuff and conglomeratic tuff
E^{23t}: Green ash tuff, platy tuff and sandy conglomeratic tuff

گدازه هیالوتراکی آندزیتی تا تراکییتی
گدازه تراکییتی ورقه ای
کریستال توف داسیتی سفید
گدازه ریوداسیتی
توف برش ریوداسیتی و برش تراکییتی
لیگنیمبریت تراکییتی و گدازه کوآرتز تراکی آندزیتی - تراکییتی
گدازه پیروکسن آندزیت
گدازه تراکی بازالت اولیون دار
تراکی آندزیت تا مگاپورفیری و آندزیت
توف سبز تراکییتی و برش
گدازه داسیتی و تراکی آندزیتی
ماسه سنگ، کنگلومرا و توف ماسه ای
گدازه تراکی بازالت تجزیه شده
تراکی آندزیت - تراکی بازالت
تراکی آندزیت آفانیتیک تا پورفیری و توف های وابسته
تراکی بازالت مگاپورفیری و تراکی آندزیت پیروکسن دار
لیگنیمبریت و ریوداسیتی
کنگلومرای توفی نومولیت دار
آهک توفی نومولیت دار
گدازه تراکی بازالت اولیون دار
ماسه سنگ توفی، خاکستر توف و توف کنگلومرای
خاکستر توف سبز، توف ورقه ای و توف کنگلومرا - ماسه ای

CENTRAL ALBORZ ZONE زون البرز مرکزی

E^{1a}: Megaporphyritic trachyandesite to alkalisalt with related tuff
E^{2a}: Aphanitic trachyte to quartz trachyandesite with related tuff.
E^{3a}: Shale, grey sandstone, sandy limestone, Conglomerate and sandy tuff
E^{4a}: Cream Nummulitic sandy tuffaceous limestone
E^{5a}: White Nummulitic bearing, oolitic limestone
E^{6a}: Shale and yellowish brown tuffaceous sandstone
E^{7a}: Shale, laminated tuff, siltstone and tuffaceous sandstone
E^{8a}: Megaporphyritic trachyandesite, breccia and massive microconglomerate
E^{9a}: Green ash tuff, tuffite, tuffaceous siltstone and shale
E^{10a}: Turbidites (braccia, tuff and tuffite)
E^{11a}: Silty and laminated tuff, shale and siltstone
E^{12a}: Trachyandesitic to trachytic lava and breccia
E^{13a}: Mostly trachytic ignimbrite
E^{14a}: Mostly tuffaceous shales, laminated tuff and lapilli tuff
E^{15a}: Quartz andesitic to quartz trachytic lava with related tuffs
E^{16a}: Trachyandesitic lithic tuff, tuffite, breccia and calcareous tuff
E^{17a}: Megaporphyritic trachybasalt and hyalo-pyroxene andesite with hyaloclastic breccia
E^{18a}: Rhyolitic to andesitic tuff, tuffaceous calcareous shale, tuffaceous sandstone and hyaloclastic microbreccia

تراکی آندزیت تا آنگالی بازالت مگاپورفیری با توف وابسته
تراکی تا تراکی آندزیت کوآرتز دار آفانیتیک با توف وابسته
شیل، ماسه سنگ خاکستری، آهک ماسه ای، کنگلومرا و توف ماسه ای
سنگ آهک توفی ماسه ای کرم رنگ نومولیت دار
سنگ آهک سفید لیبیتی نومولیت دار
شیل و ماسه سنگ توفی زرد قهوه ای
شیل، توف لایه ای، سیلتستون و ماسه سنگ توفی
تراکی آندزیت مگاپورفیری، برش و میکروکنگلومرای توده ای
خاکستر توف سبز، توفیت، سیلتستون توفی و شیل
نور بیدها (برش، توف و توفیت)
توف لایه ای و سیلیسی، شیل و سیلتستون
گدازه تراکی تا تراکی آندزیتی و برش
بیشتر لیگنیمبریت تراکییتی
بیشتر شیل توفی، توف لامینه و لاپیلی توف
گدازه های کوآرتز آندزیتی تا کوآرتز تراکییتی با توف های وابسته
لیتیگ توف تراکی آندزیتی، توفیت، برش و توف آهکی
تراکی بازالت مگاپورفیری و هیالوپروکسن آندزیت همراه با برش هیالوکلاسیک
توف ریولیتی تا آندزیتی، شیل آهکی توفی، ماسه سنگ توفی و میکروبرش هیالوکلاسیک

POST EOCENE پس از ائوسن

O^r: Rhyolitic lava
O^{qla}: Quartz latite
O^{mg}: Micro-quartz monzonite
O^g: Granite to quartz monzonite

گدازه ریولیتی
کوآرتز لاتیت
میکرو کوآرتز مونزونیت
گرانیت تا کوآرتز مونزونیت

Diabasic dikes (Oligocene)
a: Acidic dikes
b: Basic dikes
Hydrothermal alteration

دایک های دیابازی (ئوسن)
دایک های اسیدی
دایک های بازیکی
دگرسانی حرارتی

NON-GEOLOGICAL SYMBOLS نشانه های غیر زمین شناسی

City
Town, village
Free way
First class road
Second class road
Third class road
Motorable track
Railway

شهرستان
شهر، روستا
آراده (انویان)
رله درجه یک
رله درجه دو
رله درجه سه
رله جیپ رله
رله آهن

شکل ۱-۳: راهنمای نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کرج



فصل دوم

روشهای ژئوفیزیکی

در این فصل تئوری روشهای ژئوفیزیکی مورد استفاده در این مطالعه به اختصار آورده می شود.

۱-۲- مقاومت ویژه الکتریکی

در کاوشهای الکتریکی اثرهای سطحی حاصل از عبور جریان در داخل زمین آشکارسازی می شوند. در مقایسه با دیگر روشهای ژئوفیزیک نظیر گرانی سنجی، مغناطیس و رادیواکتیویته که در آنها تنها یک میدان نیرو یا ویژگی بی‌هنجار مورد استفاده قرار می‌گیرد، روشهای الکتریکی از تنوع بیشتری نسبت به دیگر روشهای ژئوفیزیکی برخوردارند. هدف اصلی عمده روشهای الکتریکی، اندازه‌گیری مقاومت ویژه الکتریکی زمین است. در این روش‌ها، برای اینکه یک ویژگی زیرسطحی مشخص شود، باید مقاومت ویژه الکتریکی آن به طور بارزی متفاوت از محیط اطرافش باشد. بنابراین، استفاده از روشهای الکتریکی، به حالت‌هایی که یک تباین مقاومت ویژه وجود داشته باشد، محدود می‌شود. در این روش‌ها، ویژگی‌های زمین‌شناسی، آب‌های زیرزمینی و سایر خصوصیات موجود، به طور مستقیم اندازه‌گیری نمی‌شود. بلکه برای تفسیر مناسب داده‌های الکتریکی، نیاز به یک سری اطلاعات خارجی می‌باشد.

روش مقاومت ویژه الکتریکی که از جمله روش‌های شناخته شده ژئوالکتریک است، به طور مؤثری برای اکتشاف منابع آب زیرزمینی، بررسی انواع آلودگی‌های آب‌های زیرزمینی، آشکارسازی محل حفره‌های زیرسطحی، گسل‌ها و مناطق خردشده، در مسائل مهندسی و همچنین بقایای ساختارهای مدفون در بررسی‌های

ژئوفیزیک



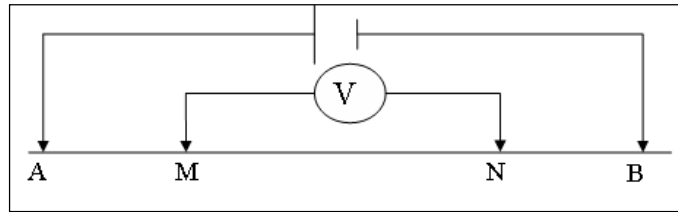
باستان‌شناسی و کاربردهای متنوع دیگر، مورد استفاده قرار می‌گیرند. هدف از برداشت‌های مقاومت ویژه، تعیین توزیع زیرزمینی مقاومت ویژه با استفاده از اندازه‌گیری‌های سطحی می‌باشد. از این اندازه‌گیری‌ها، مقاومت ویژه واقعی توده‌های زیرسطحی قابل تخمین است.

در اندازه‌گیری‌های مقاومت ویژه با تزریق جریان به درون زمین از طریق دو الکتروود جریان و اندازه‌گیری اختلاف ولتاژ حاصل میان دو الکتروود پتانسیل، مقاومت ویژه ساختارهای زیرسطحی قابل تخمین است. در شکل ۲-۱ که یک آرایش چهار الکتروودی را نشان می‌دهد. الکتروودهای A و B الکتروودهای جریان و الکتروودهای M و N الکتروودهای پتانسیل می‌باشند. معادله (۱-۲) معادله اساسی برای محاسبه مقاومت ویژه ظاهری برای هر نوع آرایش الکتروودی است.

$$\rho_a = \frac{2\pi \Delta V}{\left\{ \left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \right\} I} \quad (1-2)$$

در این رابطه، I شدت جریان ارسالی (برحسب آمپر)، ΔV اختلاف پتانسیل قرائت شده (برحسب ولت) و ρ_a مقدار مقاومت ویژه ظاهری (برحسب اهم‌متر) می‌باشد. در صورتی که اگر زمین غیرهمگن باشد (که معمولاً چنین است) و فواصل الکتروودی تغییر کنند و یا فواصل ثابت بوده در حالی که مجموعه آرایش تغییر مکان یابد، مقاومت ویژه کلاً تغییر خواهد یافت. نتیجه این است که در هر اندازه‌گیری مقدار متفاوتی از مقاومت ویژه ظاهری حاصل می‌شود. واضح است که بزرگی این مقدار با آرایش الکتروودها ارتباط نزدیک دارد. اگر چه این مقاومت ویژه ظاهری تا حدودی مشخص‌کننده مقاومت ویژه واقعی منطقه‌ای در نزدیکی مجموعه الکتروودها است، ولی قطعاً یک مقدار مطلق نخواهد بود.

¹ Apparent resistivity



شکل ۱-۲- آرایش چهار الکترودی

رابطه بین مقاومت ویژه حقیقی و ظاهری رابطه‌ای پیچیده است. برای تعیین مقاومت ویژه حقیقی ساختارهای زیرسطحی از روی مقادیر ظاهری آن، از روش‌های معکوس سازی توسط نرم افزارهای کامپیوتری استفاده می‌شود.

۲-۱-۱- مقاومت ویژه ساختارهای زیرسطحی

برداشت‌های مقاومت ویژه، تصاویری از تغییرات مقاومت ویژه ساختارهای زیرسطحی در اختیار قرار می‌دهند. برای تبدیل این تصاویر به تصاویر زمین‌شناسی، اطلاعاتی در خصوص مقادیر مقاومت ویژه انواع ساختارهای زیرسطحی و همچنین زمین‌شناسی محیط تحت بررسی حائز اهمیت است. مقاومت ویژه برخی از مواد، سنگ‌ها، کانی‌ها و محیط‌های معمول زمین‌شناسی در جدول ۱-۲ آورده شده است. دامنه تغییرات مقاومت ویژه در مقایسه با کمیت‌های فیزیکی که در دیگر روش‌های ژئوفیزیک محاسبه می‌شوند بسیار بیشتر است. مقاومت ویژه الکتریکی مواد مختلف از $10^{-8} \Omega m$ تا $10^{16} \Omega m$ برای گوگرد خالص متغیر است. سنگ‌های دگرگون و آذرین نوعاً دارای مقادیر با مقاومت ویژه بالا هستند. مقاومت ویژه این سنگ‌ها اساساً وابسته به درجه شکستگی و درصد پرشدگی آنها از آب‌های زیرسطحی است.

سنگ‌های رسوبی به علت تخلخل و به واسطه آن محتوی آب بیشتر، معمولاً دارای مقاومت ویژه پایین می‌باشند. خاک‌های مرطوب و آب‌های زیرزمینی شیرین، دارای مقاومت ویژه پایینی هستند. خاک‌های رسی از



انواع ماسه‌ای آن دارای مقاومت ویژه پایین تری می‌باشند. مقدار مقاومت ویژه آب دریا که برابر مقدار پایین ۰/۲ اهم-متر است، ناشی از میزان بالای نمک‌های محلول آن است.

همان‌طور که در جدول ۱-۲ دیده می‌شود، مقاومت ویژه انواع سنگ‌ها و خاک‌ها دارای همپوشانی است. این مطلب از آنجا ناشی می‌شود که مقاومت ویژه نمونه‌های خاصی از خاک و سنگ وابسته به چندین عامل مختلف است.

عوامل مؤثر در مقاومت ویژه الکتریکی آنها عبارت است از:

- حجم خلل و فرج موجود در سنگ و میزان شکستگی‌ها
- وضع قرار گرفتن خلل و فرج سنگ و چگونگی ارتباط آنها با یکدیگر
- حجمی از خلل و فرج سنگ که حاوی آب باشد
- قابلیت هدایت الکتریکی آب موجود در سنگ
- جنس کانی‌های تشکیل دهنده سنگ

بنابراین مقدار مقاومت ویژه الکتریکی یک لایه بستگی به وضعیت زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه دارد. به

عبارت دیگر تفکیک لایه‌ها برحسب جنس آنها از نظر زمین‌شناسی تنها با بدست آوردن مقاومت ویژه الکتریکی

آنها میسر نمی‌باشد و مقاومت ویژه الکتریکی رسوبات، سازندها و واحدهای زمین‌شناسی موجود در هر منطقه باید

به طور جداگانه تعیین شود.



جدول ۲-۱: مقاومت ویژه برخی از انواع آب، سنگ و رسوبات

مقاومت ویژه (اهم متر)	مواد معمول زمین شناسی
۵۰۰ - > ۱۰۰۰	آهک های آسماری
۲۰۰ - ۵۰۰	آهک های کرتاسه
۳۰۰ - ۱۰۰۰۰	ماسه سنگ کوارتزیت
۲۰ - ۱۰۰	خاکستر (برش) آتشفشانی
۱۰ - ۱۰۰	آب زیرزمینی
۰/۲	آب دریا
۵۰ - ۵۰۰۰	سنگ آهک
۲۰ - ۲۰۰۰	شیل
۱ - ۱۰۰	رس
۳۰۰ - ۱۰۰۰۰	آبرفت های دانه درشت و کنگلومرا
۱۰۰ - ۳۰۰	آبرفت های دانه متوسط
۵۰ - ۱۰۰	آبرفت های دانه ریز
۱۰۰۰ - ۱۰۰۰۰	شن و ماسه خشک
۵۰ - ۵۰۰	شن و ماسه اشباع از آب شیرین
۰/۵ - ۵	شن و ماسه اشباع از آب شور

۲-۱-۲- روش های اندازه گیری داده های مقاومت ویژه

داده های مقاومت ویژه به صورت یک بعدی، دو بعدی و همچنین سه بعدی اکتساب می شوند. یک عملیات یا برداشت ژئوالکتریک به یکی از دو روش سونداژزنی قائم الکتریکی (VES)^۱ و یا پروفیل زنی انجام می شود. در روش سونداژزنی، تغییرات عمقی یا قائم مقاومت ویژه مورد بررسی قرار می گیرد. اما در روش پروفیل زنی، تغییرات جانبی مقاومت ویژه مواد زیرسطحی در طول یک خط پروفیل بررسی می شود. در روش پروفیل زنی، آرایش مورد

^۱Vertical electric sounding

^۲Profiling

استفاده و پارامترهای آن، ثابت باقی می ماند و الکترودها در طول خط پروفیل جابه جا می شوند. در مواقعی که تغییرات مقاومت ویژه در طول پروفیل مورد بررسی هم به صورت جانبی و هم به صورت عمقی وجود دارد، داده ها به صورت دو یا سه بعدی (تلفیقی از سونداژزنی و پروفیل زنی) برداشت می شوند.

۲-۱-۳- آرایش های الکترودی مورد استفاده

برای اندازه گیری های داده های مقاومت ویژه آرایش های الکترودی مختلفی پیشنهاد شده است. از مهم ترین آرایش هایی که در روش مقاومت ویژه بکار برده می شوند، می توان به آرایش های ونر، شلومبرگر، دو قطبی - دو قطبی، قطبی - دو قطبی و گرادیان اشاره کرد. پرکاربردترین این آرایش ها، آرایش ونر، شلومبرگر و دو قطبی - دو قطبی می باشند. آرایش ونر در پروفیل زنی، آرایش شلومبرگر در سونداژزنی و آرایش دو قطبی - دو قطبی در تهیه شبه مقاطع و برداشت های IP محبوبیت زیادی پیدا کرده اند.

همانطور که ذکر شد، در این مطالعه از آرایش دو قطبی - دو قطبی استفاده شده است. در این نوع آرایش هر چهار الکترودها A, B, M, N در امتداد یک پروفیل قرار داشته و عملاً فاصله الکترودهای فرستنده مساوی فاصله الکترودهای گیرنده و برابر مقدار ثابت a می باشد ($AB = MN = a$). در هر اندازه گیری الکترودهای AB ثابت بوده و الکترودهای MN در امتداد پروفیل حرکت می کنند. فاصله بین نزدیکترین الکترودهای جریان و پتانسیل برابر na می باشد ($n = 1, 2, 3, \dots$) و عمق هر اندازه گیری برابر $(n+1)a/2$ خواهد بود. عدد اندازه گیری شده به نقطه ای در

Wenner

Schlumberger

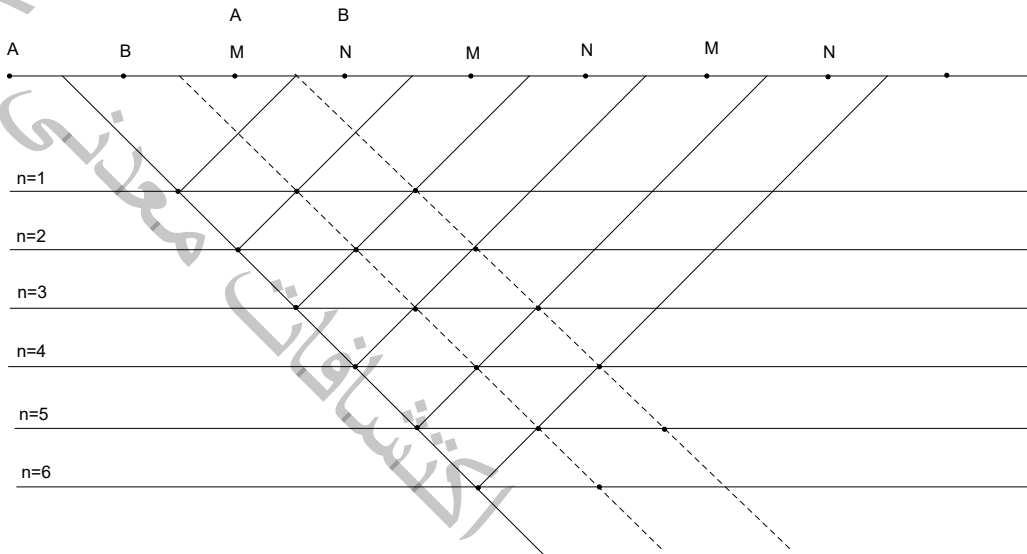
Dipole-dipole

Pole-dipole

Gradient



محل تلاقی دو خط با زاویه ۴۵ درجه نسبت به سطح زمین که از وسط AB, MN رسم شده، نسبت داده می شود. به این ترتیب از مجموع نقاط اندازه گیری شده با این روش شبهه مقطعی از مقاومت ویژه ظاهری در امتداد یک پروفیل بدست خواهد آمد (شکل ۲-۲). لازم به توضیح است که عمق به دست آمده از این روش عمق واقعی نبوده و برای دستیابی به اعماق واقعی تر روش های مختلف مدلسازی استفاده می شود.



شکل ۲-۲- آرایش دو قطبی - دو قطبی

۲-۲- روش مغناطیس سنجی

مطالعه مغناطیس زمین، قدیمی ترین شاخه ژئوفیزیک است که سالهاست در اکتشاف نفت، کانی های اقتصادی و حتی مقاصد باستان شناسی کاربرد دارد. برای نخستین بار گیلبرت نشان داد که میدان مغناطیسی زمین راستایی عموماً شمالی - جنوبی در نزدیکی محور چرخشی زمین دارد. از آن زمان تاکنون پیشرفت های قابل توجهی در زمینه ساخت دستگاهها و تفسیر اندازه گیری های این روش بدست آمده است. اکتشاف به روش مغناطیسی بر اساس اندازه گیری تغییرات میدان مغناطیسی در منطقه مورد مطالعه انجام می شود. در واقع اکتشاف به روش مغناطیسی را می توان ترکیبی از علوم ریاضی، فیزیک و زمین شناسی دانست. در روشهای مغناطیسی معمولاً میدان

کلی یا مولفه قائم اندازه گیری می شود. با توجه به اینکه میدان مغناطیسی دارای دو قطب و نیز راستا می باشد، لذا تفسیر نقشه های مربوطه پیچیده تر از سایر روش ها می باشد. از طرف دیگر، در مقایسه با اغلب روش های ژئوفیزیکی، اندازه گیری های صحرائی در این روش، ارزان و ساده است و عملاً نیازی به اعمال تصحیحات پیچیده و طولانی در قرائت ها نیست.

میدان مغناطیسی زمین تا آنجا که به اکتشاف ژئوفیزیکی مربوط است، از سه قسمت تشکیل شده است:

۱- میدان اصلی، که هر چند با زمان ثابت نیست، نسبتاً به آرامی تغییر می کند و منشاء آن داخلی است و حدود ۹۰ درصد میدان مغناطیسی زمین را تشکیل می دهد.

۲- میدان خارجی، جزء کوچکی از میدان اصلی است که منشاء آن خارج از زمین می باشد و نسبتاً سریع تغییر می کند، تغییری که بخشی از آن دوره ای و بخشی اتفاقی (تصادفی) است (مربوط به تغییرات روزانه و سالیانه خورشید و روزانه ماه می باشد).

تغییرات میدان اصلی، معمولاً ولی نه همیشه خیلی کوچکتر از میدان اصلی است، نسبتاً با زمان و مکان ثابت است و در اثر بی هنجاری های مغناطیسی محلی در نزدیکی سطح پوسته زمین بوجود می آید. این تغییرات هدف های ژئوفیزیک اکتشافی را تشکیل می دهد.

اگر جسمی در میدان زمین F قرار بگیرد در این صورت یک میدان به نام J (مغناطیس القایی) به داخل جسم القاء می شود. که خواهیم داشت:

$$J = KF$$

که K ضریب مغناطیس پذیری (خودپذیری مغناطیسی) می باشد. اجسام بر حسب ضریب K به سه دسته تقسیم

می شوند:

1. Induced Magnetization

2. Magnetic susceptibility

• $K < 0$ ، دیامغناطیس. معمولترین مواد دیامغناطیس زمین، گرافیت، ژپس، مرمر، کوارتز و نمک می باشند.

• $K > 0$ ، پارامغناطیس. عناصری مانند نیکل و کلسیم و ... این اثر با دما کاهش می یابد.

• $K \gg 0$ ، فرومغناطیس اکثراً اکسیدهای آهن.

خودپذیری مغناطیسی، متغیری مهم در مغناطیس است و همان نقشی را داراست که چگالی در تفسیرهای گرانی دارد. هر چند تغییرات بزرگی در مقادیر K ، حتی برای یک سنگ بخصوص وجود دارد و لپوشی وسیعی بین انواع مختلف مشاهده می شود، سنگ های رسوبی پایین ترین و سنگ های آذرین اصلی بالاترین میانگین خودپذیری را دارا می باشند. در هر مورد خودپذیری تنها به مقدار کانی های فری مغناطیس موجود بستگی دارد که عمدتاً مگنتیت و بعضی اوقات ایلمنیت یا پیروتیت می باشند (سنگ هایی نظیر گابرو، پیروکسنیت، بازالت و آندزیت دارای خاصیت مغناطیسی بالا هستند).

اغلب ممکن است که کانیایی با خودپذیری منفی توسط اندازه گیری های مغناطیسی تفصیلی تعیین محل شوند، هر چند این مقادیر منفی کوچکند. همچنین باید خاطر نشان کرد که بسیاری از کانیهای آهن فقط کمی مغناطیسی اند. سنگ ها و کانی ها از نظر مغناطیس به سه دسته؛ دیا مغناطیس (بدون مغناطیس)، پارامغناطیس (دارای مغناطیس وقتی در معرض میدان قرار می گیرد) و فرومغناطیس (مغناطیس دار) تقسیم می شوند (Telford, 1990,72).

پارامتر اندازه گیری خاصیت مغناطیس سنگ ها خودپذیری مغناطیسی است که در جدول ذیل برای تعدادی از کانی ها ارایه گردیده است. این کمیت در سیستم emu ، یک کمیت بدون بعد بوده و مقدار آن، 4π برابر مقدار آن در سیستم SI می باشد (Blakely, 1995,52).



جدول ۱-۲: میانگین خودپذیری بعضی از سنگ‌ها و کانیها (Telford, 1990,72)

نوع	میانگین خودپذیری $\times 10^3$	نوع	میانگین خودپذیری $\times 10^3$
هماتیت	۶/۵	کرومیت	۷
مگنتیت	۶۰۰۰	لیمونیت	۲/۵
زغال	۰/۰۲	کوارتز	-۰/۰۱
آندزیت	۱۶۰	آهک	۰/۳

۱-۲-۲ روش‌های تحلیل و تفسیر داده‌های میدان مغناطیسی

جهت تفسیر بهتر داده‌های برداشت شده، از روش‌های مختلف تحلیلی و ترسیمی استفاده می‌شود. به عنوان مثال روش ادامه فراسو^۱ بمنظور کاهش اثر نویزهای سطحی و نمایش بهتر بی‌هنجاری‌های عمیقتر مناسب است در حالیکه نقشه‌های مشتق جهت آشکارسازی هر چه بیشتر بی‌هنجاری‌های سطحی مناسب هستند. نقشه‌های مشتق اول و دوم، نسبت تغییرات بی‌هنجاری و شدت تغییرات بی‌هنجاری را به عمق نمایش می‌دهد. بدین ترتیب بی‌هنجاری‌های سطحی که تغییرات شدیدتری دارند، نمایان‌تر خواهند شد. ضمن آنکه احتمال عمیق بودن یا ادامه چنین بی‌هنجاری‌هایی در عمق منتفی نیست و به همین منظور نقشه‌های ادامه فراسو تهیه می‌گردد. به صورت ساده می‌توان چنین فرض کرد که گیرنده^۲ دستگاه مغناطیس‌سنج در ارتفاعی بالاتر از سطح فعلی اندازه‌گیری نموده است.

^۱. Upward Continuation

^۲. Sensor

آنومالی‌های مغناطیسی ناشی از توده‌های مغناطیسی مدفون تمایل دارند که بر روی چشمه قرار بگیرند. در صورتی که جهت میدان مغناطیسی زمین و مغناطیس شوندگی جسم عمودی نباشد، آنومالی مغناطیسی بر روی چشمه قرار نمی‌گیرد و دارای انحراف خواهد بود. در این حالت آنومالی مغناطیسی ناشی از چشمه‌های متقارن مانند کره، استوانه و ... متقارن نخواهد بود. با استفاده از انتقال به قطب داده‌ها می‌توان آنومالی مغناطیسی ناشی از چشمه مغناطیسی را برای شرایطی که میدان مغناطیسی زمین و مغناطیس شوندگی جسم هر دو قائم باشند، بدست آورد. در نتیجه شکل آنومالی‌ها متقارن‌تر می‌شود. این شرایط تنها در قطب‌های مغناطیسی برقرار است. نقشه برگردان به قطب نیز به منظور تعیین بهتر محل بی‌هنجاری با توجه به موقعیت جغرافیایی و با در دست داشتن مقادیر *declination* و *inclination*، در منطقه و انجام تصحیح بدست می‌آید.

به منظور تفسیر بهتر لازم است که نوفه‌های احتمالی در برداشت و اثرات بی‌هنجاری‌های سطحی، از بین برود بدین منظور از پردازش ادامه فراسو استفاده می‌شود. در این روش به صورت ساده می‌توان چنین فرض کرد که دستگاه مغناطیس سنج در ارتفاعی بالاتر از سطح فعلی اندازه‌گیری نموده است و این کار با استفاده از تبدیل فوریه انجام می‌شود.

از روش‌هایی چون سیگنال تحلیلی^۱ جهت تعیین لبه‌های بی‌هنجاری و به عبارتی تعیین گسترش جانبی آن استفاده می‌شود. نیمیان در مقاله خود سیگنال تحلیلی برای گرادیان‌های گرانی را به صورت زیر تعریف می‌کند (Nabighian, 1974, 85-92):

$$A(x, y) = \frac{\partial^2 g}{\partial x \partial z} + \frac{\partial^2 g}{\partial y \partial z} - i \frac{\partial^2 g}{\partial z^2}$$

و دامنه سیگنال تحلیلی به صورت زیر تعریف می‌شود:

^۱ . Analytic Signal



$$|A(x, y)| = \left\{ \left(\frac{\partial^2 g}{\partial x \partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 g}{\partial y \partial z} \right)^2 + \left(\frac{\partial^2 g}{\partial z^2} \right)^2 \right\}^{1/2}$$

این فرمول کلی است و برای مغناطیس سنجی نیز کاربرد مشابه دارد. چون محل بیشینه سیگنال تحلیلی دقیقاً

در بالای لبه یا گوشه قرار دارد، تعیین موقعیت افقی لبه‌ها نیاز به مکان دقیق بیشینه مقدار سیگنال تحلیلی دارد.

جهت تعیین عمق تقریبی می‌توان از روش تعیین عمق طیف توان فوریه استفاده کرد. مطالعه طیف توان نشان

می‌دهد که در منحنی لگاریتمی طیف توان، قسمتی از منحنی که در فرکانس‌های پایین سریعاً کاهش می‌یابد مربوط

به چشمه‌های عمیق می‌باشد و شیب ملایم‌تر مربوط به چشمه‌های نزدیک سطح (سطحی) است و وقتی منحنی به

فرکانس نایکویست نزدیک می‌شود، در یک سطح انرژی تقریباً ثابت نوسان می‌کند که نشان‌دهنده نوفه است و

شیب خطوط برازش داده شده بر این منحنی نسبتی از عمق بی‌هنجاری را نشان می‌دهد. در نرم افزار *Geosoft* به

صورت خودکار این عملیات‌ها را انجام داده و عمق متوسط بی‌هنجاری‌های موجود در منطقه را نشان می‌دهد.

روش اویلر دیکانولوشن، روشی سریع برای تفسیر داده‌ای میدان پتانسیل است. در صورتیکه مقدار صحیحی

از شاخص ساختاری مربوط به هندسه توده سبب شونده، انتخاب و در معادله اویلر استفاده شود، این روش به راحتی

می‌تواند تخمین صحیحی از عمق آنومالی مورد نظر ارائه کند. اساس این روش بر مبنای معادلات دیفرانسیل جزئی

اویلر بنا شده که با معرفی کمیتی به نام شاخص ساختاری می‌توان موقعیت توده‌ها را به کمک اندازه گیری میدان

پتانسیل در روی یک پروفیل یا نقشه و با تقسیم آنها به پنجره‌های اندازه گیری متوالی بدست آورد. هر پنجره تخمینی

از عمق و موقعیت افقی توده ارائه می‌کند. استفاده صحیح از این روش مستلزم آگاهی از شکل توده زیرسطحی

است که با انتخاب شاخص برای توده مورد مطالعه صورت می‌گیرد. در صورت عدم دقت در انتخاب شاخص

ساختاری، در صورتیکه شاخص ساختاری بزرگتر انتخاب شود، میزان عمق تخمینی بیشتر و برعکس هرچه شاخص

ساختاری کوچکتر باشد، باعث کاهش میزان عمق تخمینی خواهد شد (*Reid & et al, 1990, 80-91*).

به زبان ساده مشتق قائم میدان به صورت اختلاف میدان اندازه گیری شده در راستای قائم در ارتفاع بالاتر و میدان اندازه گیری شده در همان راستا در ارتفاع پایین تر تقسیم بر اختلاف ارتفاع بین دو نقطه تعریف می شود. مشتق قائم نقش بسیار مهم و کلیدی در تفسیر و پردازش داده های مغناطیسی و گرانی دارد، از جمله:

۱- مشتق قائم اثر تغییرات روزانه میدان مغناطیسی را حذف می کند، زیرا محاسبه آن مستلزم محاسبه اختلاف میدان بین دو ارتفاع مختلف می باشد. این اثر بخصوص در مناطقی که در عرض های جغرافیایی بالایی قرار دارند حایز اهمیت است.

۲- مشتق قائم دارای وضوح بیشتری نسبت به میدان اصلی می باشد.

طبق رابطه پواسون^۲ پتانسیل مغناطیسی و پتانسیل گرانی یک جسم با مغناطیس شوندگی و چگالی یکنواخت با هم ارتباط دارند. با استفاده از تبدیل شبه گرانی می توان آنومالی گرانی ناشی از یک جسم مغناطیسی را از روی آنومالی مغناطیسی آن بدست آورد. تبدیل شبه گرانی تا حدی از پیچیدگی تفسیر داده های مغناطیسی می کاهد و کار تفسیر را تسهیل می کند. تبدیل شبه گرانی تا حدی ماهیت فیلترهای پایین گذر را دارد، چون دامنه طول موج های کوتاه (آنومالی های سطحی) را تضعیف می کند.

¹ - Resolution

² - Poisson Relation



فصل سوم

اندازه گیری داده ها و تجهیزات مورد استفاده

۳-۱- برداشت داده ها

در مطالعات تکتونیک صورت گرفته به منظور تدقیق محل گسل اشتهارد، چند خطواره از سوی زمین شناس تکتونیک محدوده (مهندس محمود ناوور نویری) در اختیار اکیپ ژئوفیزیک قرار گرفت. لازم به ذکر است که مطالعات ژئوفیزیک در دو محدوده صورت گرفت. با توجه به امتداد طولانی چند خطواره در محدوده شماره ۱، برداشت های مغناطیس سنجی گسترده در محدوده مزبور پیش بینی شد. در این مطالعه، هدف آشکارسازی گسل مدفون اشتهارد و شاخه های جوانتر آن بوده که سبب گسیختگی در رسوبات کواترنری شده اند. بدین منظور با مشورت با کارشناس زمین شناس منطقه و در نظر گرفتن نتایج حاصل از مطالعه عکس های هوایی و بازدیدهای میدانی، محدوده شماره ۱ مورد پوشش مطالعات مغناطیس سنجی قرار گرفت. برداشت داده های مغناطیس سنجی در این مطالعه با استفاده از سه دستگاه مغناطیس سنج صورت گرفت. یکی از دستگاه ها در منطقه به عنوان ایستگاه مبنا جهت ثبت تغییرات روزانه شدت کل میدان مغناطیس و به منظور تصحیح روزانه داده ها، استفاده شد. فواصل پروفیل ها ۲۰۰ متر و فواصل ایستگاهی حدود ۲۰ متر در نظر گرفته شد. با توجه به نتایج به دست آمده و تغییرات کم شدت میدان مغناطیس، در برخی نقاط برداشت ها با فاصله پروفیلی ۵۰ متر و فواصل ایستگاهی ۱۰ متر نیز ادامه



یافت. پروفیل های برداشت تقریباً عمود بر روند خطواره های مشاهده شده در منطقه و با امتداد شمالی - جنوبی در نظر گرفته شد. به منظور تعیین موقعیت ایستگاه ها از *GPS* متصل به دستگاه مغناطیس سنج استفاده شد. از این رو همزمان با برداشت داده ها، مختصات نقاط نیز برداشت شده تا جهت استفاده برای ترسیم نقشه ها استفاده شود.

در ادامه برداشت داده های مقاومت ویژه الکتریکی بر روی روند های خطی مشاهده شده در نقشه مغناطیس سنجی و همچنین خطواره های حاصل از مطالعات تکتونیک (عکس های هوایی، باز دید های میدانی و ...) صورت گرفت. برداشت داده های مقاومت ویژه بر روی پنج پروفیل با طول های ۲۳۵ متر تا ۴۳۵ متر صورت گرفت. پروفیل های مقاومت ویژه نیز همگی با امتداد جنوب - شمال در نظر گرفته شد. به نحوی که نقطه صفر همه پروفیل ها در جنوب پروفیل واقع شده و ایستگاه ها به سمت شمال با توجه به فاصله از نقطه صفر نامگذاری شده اند. موقعیت مکانی ایستگاه ها با استفاده از *GPS* دستی هر پنج متر با میخ های چوبی مشخص شد. تمامی برداشت های مقاومت ویژه الکتریکی در این مطالعه با استفاده از آرایش دوقطبی - دوقطبی صورت گرفت.

در محدوده شماره ۲ برداشت های مقاومت ویژه در دو پروفیل با نامهای ۱-۲ و ۲-۲ صورت پذیرفت. امتداد پروفیل های مزبور نیز همانند محدوده شماره ۱ به صورت شمالی - جنوبی در نظر گرفته شد. در این محدوده برخلاف محدوده شماره ۱ برداشت های مغناطیس سنجی تنها در محل پروفیل های برداشتی و با طولی بیشتر از پروفیل های مقاومت ویژه صورت پذیرفت. فواصل ایستگاهی مغناطیس سنجی در این محدوده ۵ تا ۱۰ متر بوده و تعیین موقعیت آنها با *GPS* متصل به دستگاه انجام شده است.

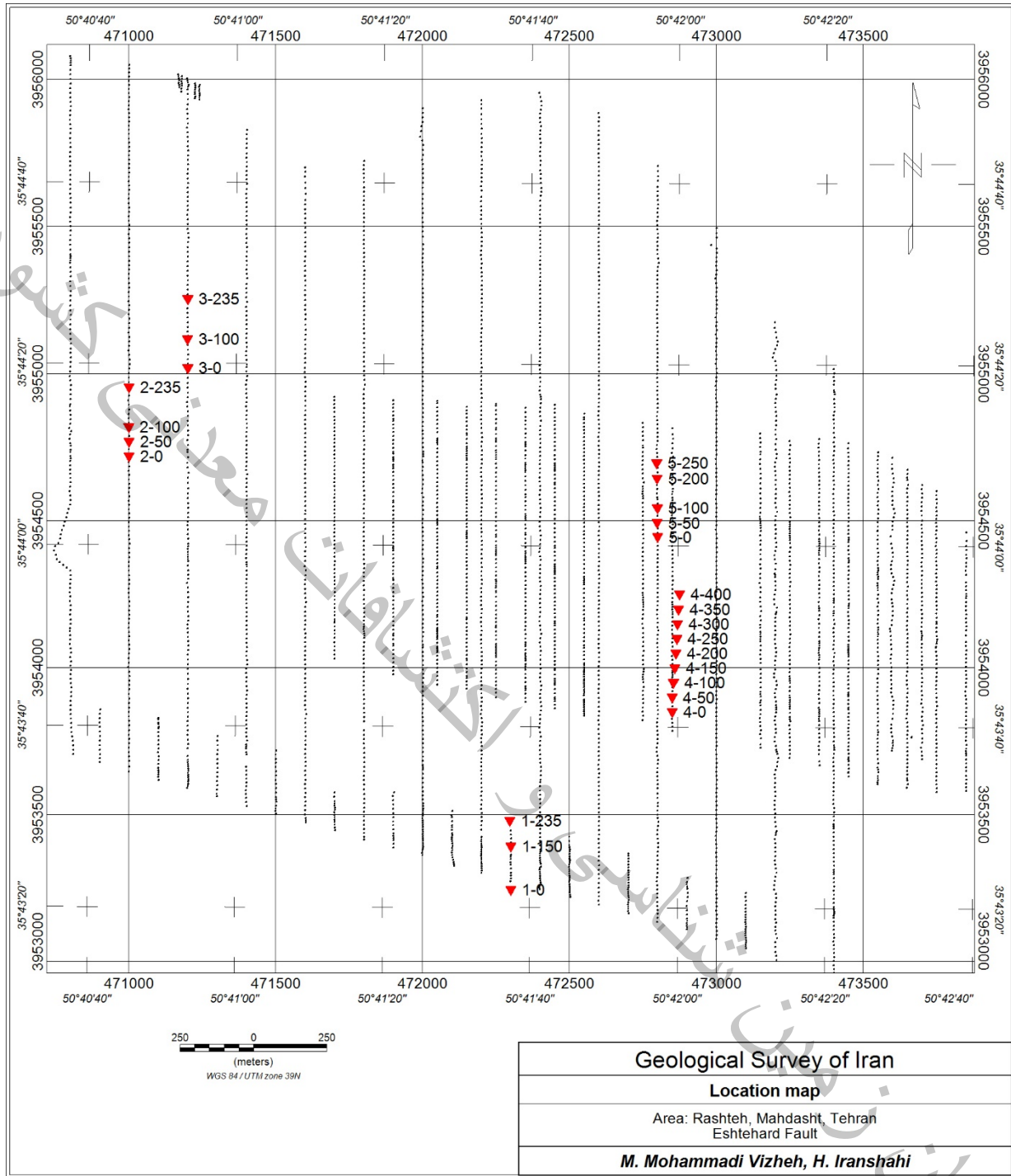


جدول ۱-۳: مشخصات پروفیل های مقاومت ویژه.

تعداد نقاط	مختصات انتها	مختصات ابتدا	طول (m)	پروفیل
۷۲۷	472297 3953480	472300 3953245	۲۳۵	۱-۱
۶۸۴	471000 3954955	471000 3954720	۲۳۵	۲-۱
۶۸۳	471200 3955255	471200 3955020	۲۳۵	۳-۱
۱۷۵۸	472877 3954285	472850 3953850	۴۳۵	۴-۱
۱۳۵۴	472796 3954719	472800 3954445	۲۷۵	۵-۱
۲۵۰۳	451253 3953459	451228 3952942	۵۱۵	۱-۲
۱۱۲۵	453156 3953498	453154 3953223	۲۷۵	۲-۲

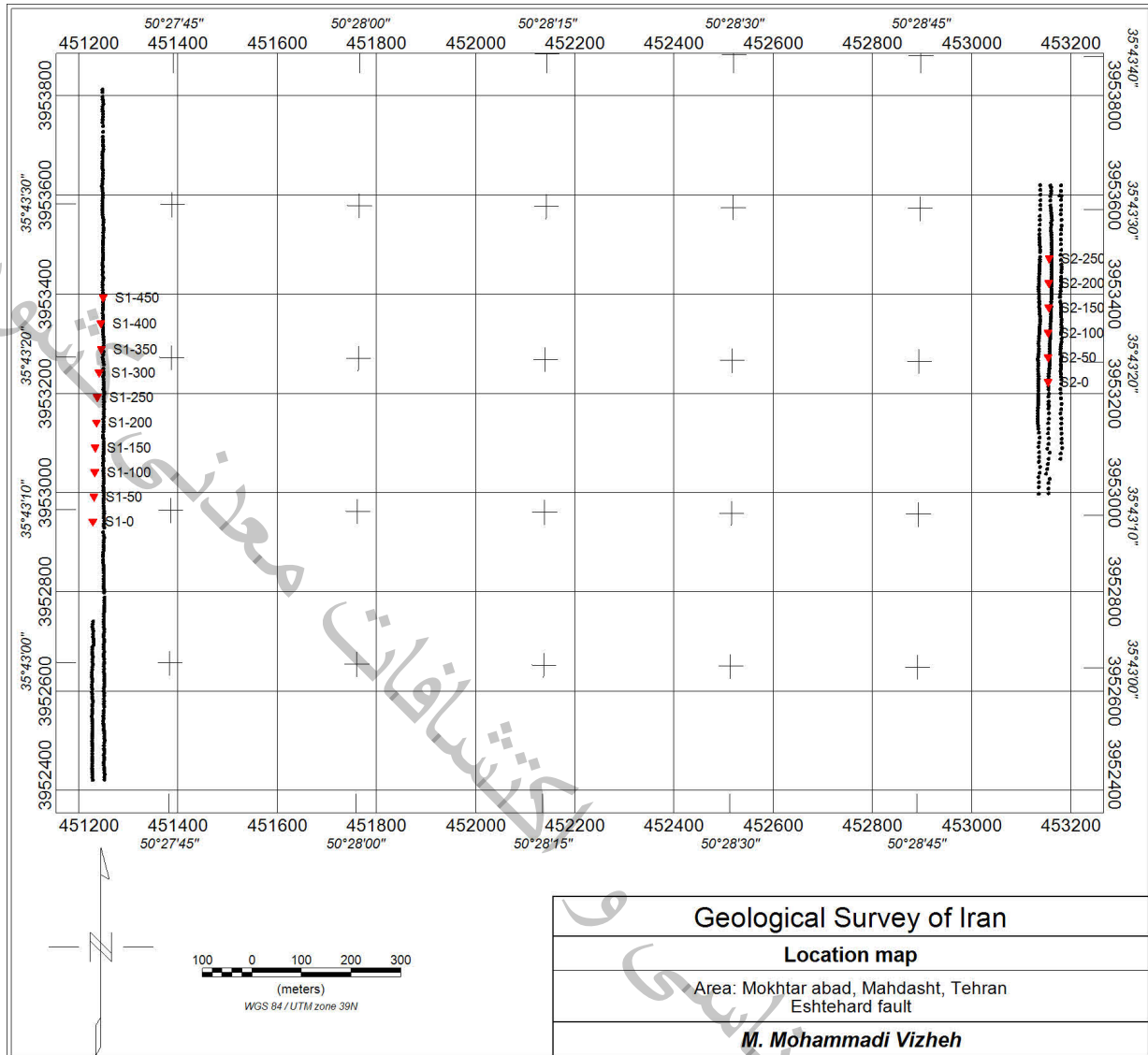
تمام پروفیل ها با آرایش دوقطبی-دوقطبی برداشت شده اند و کمترین فاصله الکترودی برای همه آنها یکسان و برابر ۵ متر بوده است. مختصات نقاط ابتدایی و انتهایی در سیستم مختصات *UTM* و با استاندارد *WGS84* می باشد.

نقشه های موقعیت مکانی ایستگاه های مغناطیس سنجی و مقاومت ویژه در محدوده های ۱ و ۲ به ترتیب در شکل های ۱-۳ و ۲-۳ به نمایش درآمده است. علاوه بر این، نمایی از ایستگاه های برداشت بر روی عکس های هوایی محدوده های مزبور در شکل های ۳-۳ و ۴-۳ آورده شده است. در نهایت تصاویری از تجهیزات و نحوه برداشت داده ها در شکل های ۳-۵ تا ۳-۹ به نمایش درآمده اند.



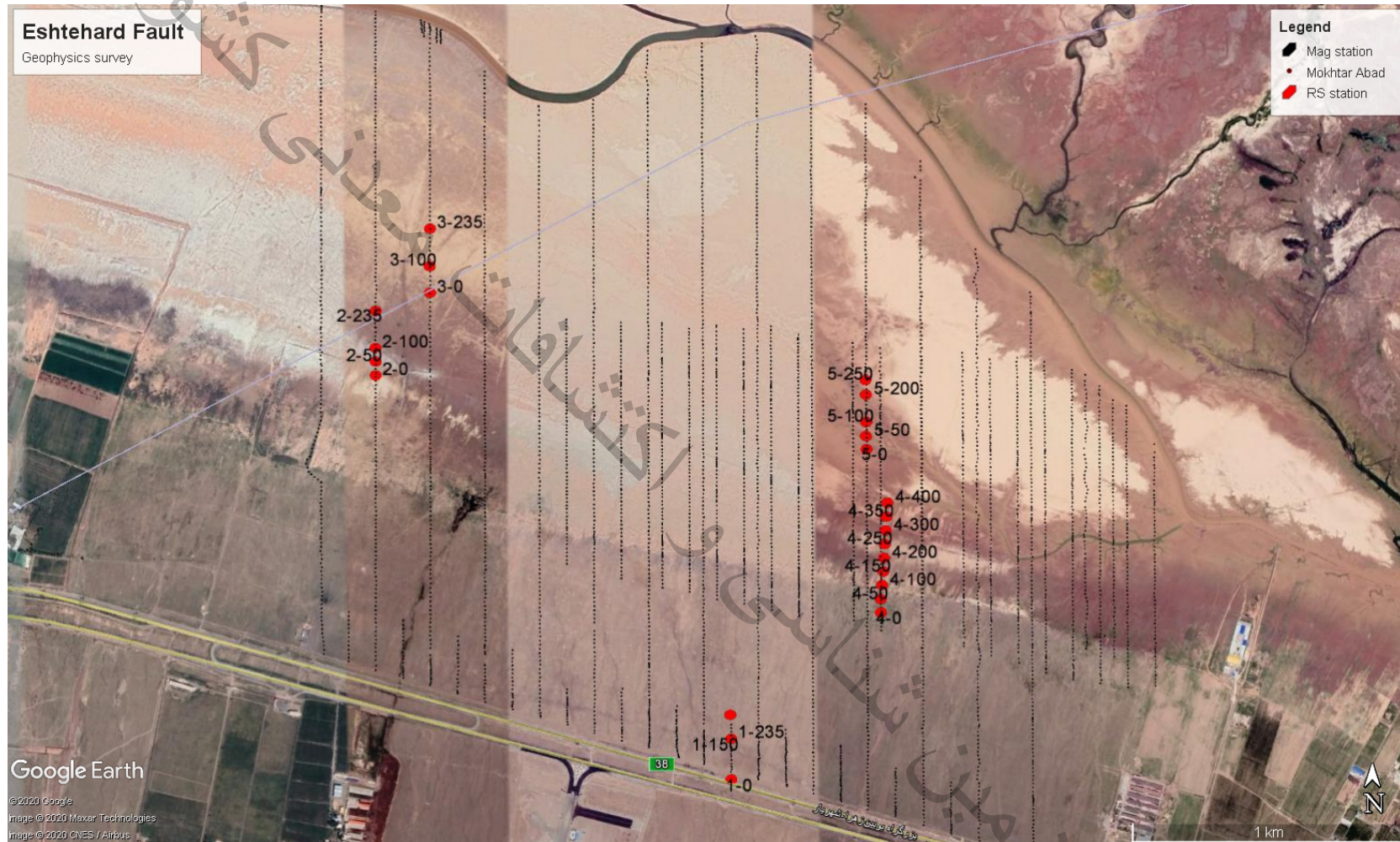
شکل ۳-۱: موقعیت ایستگاه‌های مغناطیس سنجی (نقاط سیاه رنگ) و برخی ایستگاه‌های مقاومت ویژه (مثلث‌های قرمز رنگ) در

محدوده ۱



شکل ۳-۲: موقعیت ایستگاه‌های مغناطیس‌سنجی (نقاط سیاه رنگ) و برخی ایستگاه‌های مقاومت ویژه (مثلث‌های قرمز رنگ) در

محدوده ۲



شکل ۳-۳: موقعیت ایستگاه های مغناطیس سنجی (نقاط سیاه رنگ) و برخی ایستگاه های مقاومت ویژه (دوایر قرمز رنگ) بر روی عکس هوایی محدوده شماره ۱ (برگرفته از نرم افزار Google Earth)



شکل ۳-۴: موقعیت ایستگاه های مغناطیس سنجی (نقاط سیاه رنگ) و برخی ایستگاه های مقاومت ویژه (دوایر قرمز رنگ) بر روی عکس هوایی محدوده شماره ۲ (برگرفته از نرم افزار Google Earth)



۳-۲- تجهیزات

تجهیزات روش مقاومت ویژه الکتریکی

جهت انجام برداشت های مقاومت ویژه از دستگاه *ARES* ساخت شرکت *GF Instruments* کشور جمهوری چک استفاده شده است. بیشینه جریان و ولتاژ قابل تأمین توسط این دستگاه به ترتیب ۵ آمپر و ۲۰۰۰ ولت بوده و توان فرستنده آن حداکثر تا ۸۵۰ وات می باشد. همچنین این دستگاه قابلیت اندازه گیری داده های *SP*، *IP* و مطالعات درون چاهی به صورت دو بعدی و سه بعدی را دارا می باشد. از مزایای قابل توجه آن می توان به ۶ قطعه کابل همراه که مجموعاً اندازه گیری در ۴۸ کانال را میسر می سازند، اشاره کرد. وجود این کابل، همراه با جابه جایی اتوماتیک فواصل میان الکترودی توسط دستگاه، امکان اندازه گیری تعداد نقاط زیاد همراه با صرفه جویی در وقت و هزینه را امکان پذیر می سازد. از طرفی با ذخیره ضریب هندسی بسیاری از آرایش های الکترودی مرسوم نظیر ونر الف، بتا و گاما، ونر- شلومبرگر، دوقطبی- دوقطبی، قطبی- دوقطبی، قطبی- قطبی در حافظه آن، مقاومت ویژه الکتریکی ظاهری به صورت اتوماتیک محاسبه شده و حین اندازه گیری در صفحه نمایش آن قابل مشاهده خواهد بود. نرم افزار پشتیبانی کننده این دستگاه نیز قابلیت ارسال داده های اندازه گیری شده با فرمت ورودی نرم افزارهای *Res2Dinv*، *Res3Dinv* و *Surfer*، و دیگر نرم افزارهای کاربردی ژئوفیزیک را دارا می باشد. این دستگاه با یک باتری ۱۲ ولتی کار می کند و وزن کلی دستگاه ۵/۹ کیلوگرم بوده که ابعاد آن برابر ۴۰*۲۱*۱۵ سانتیمتر می باشد (شکل ۳-۵).



شکل ۳-۵: دستگاه ARES و تصویری از عملیات برداشت



شکل ۳-۶: نمایی از برداشت به روش مقاومت ویژه با دستگاه ARES به همراه کابل روی پروفیل ۱-۲ (دید از جنوب به شمال)

تجهیزات روش مغناطیس سنجی

دستگاه‌های اندازه‌گیری در روش مغناطیس سنجی به سه دسته واریومترهای مغناطیسی، مغناطیس سنج فلاکس گیت (دروازه شار)، مغناطیس سنج شتاب هسته‌ای و بخار روبیدیم تقسیم‌بندی می‌شوند. پیشرفته‌ترین و جدیدترین نوع مغناطیس سنج مدل Smartmag ساخت شرکت Scintrex کشور کانادا است که با استفاده از بخار سزیم کار می‌کند. این دستگاه دارای حساسیت بسیار بالا و در حد 0.01 گاما می‌باشد و برای کشف بی‌هنجاری‌های باستان‌شناسی کاربرد فراوانی دارد. واحد اندازه‌گیری شدت میدان مغناطیسی، گاما یا همان نانوتسلا است. مغناطیس سنج‌های با

حساسیت و ظرافت کمتر برای عملیات معدنی بسیار مناسب تر است. در این مطالعه از دستگاه مغناطیس سنج پروتون GEM مدل GSM-19T که دارای دقت ۰/۰۵ گاما است، استفاده شده است (شکل ۳-۷).



شکل ۳-۷: مغناطیس سنج GEM مدل GSM-19T



شکل ۳-۸: نمایی از خطواره مشاهده شده در مطالعات تکتونیک بر روی نهشته های رسی (خط سیاه رنگ) و امتداد پروفیل های مغناطیس سنجی (خط قرمز) در محدوده ۱

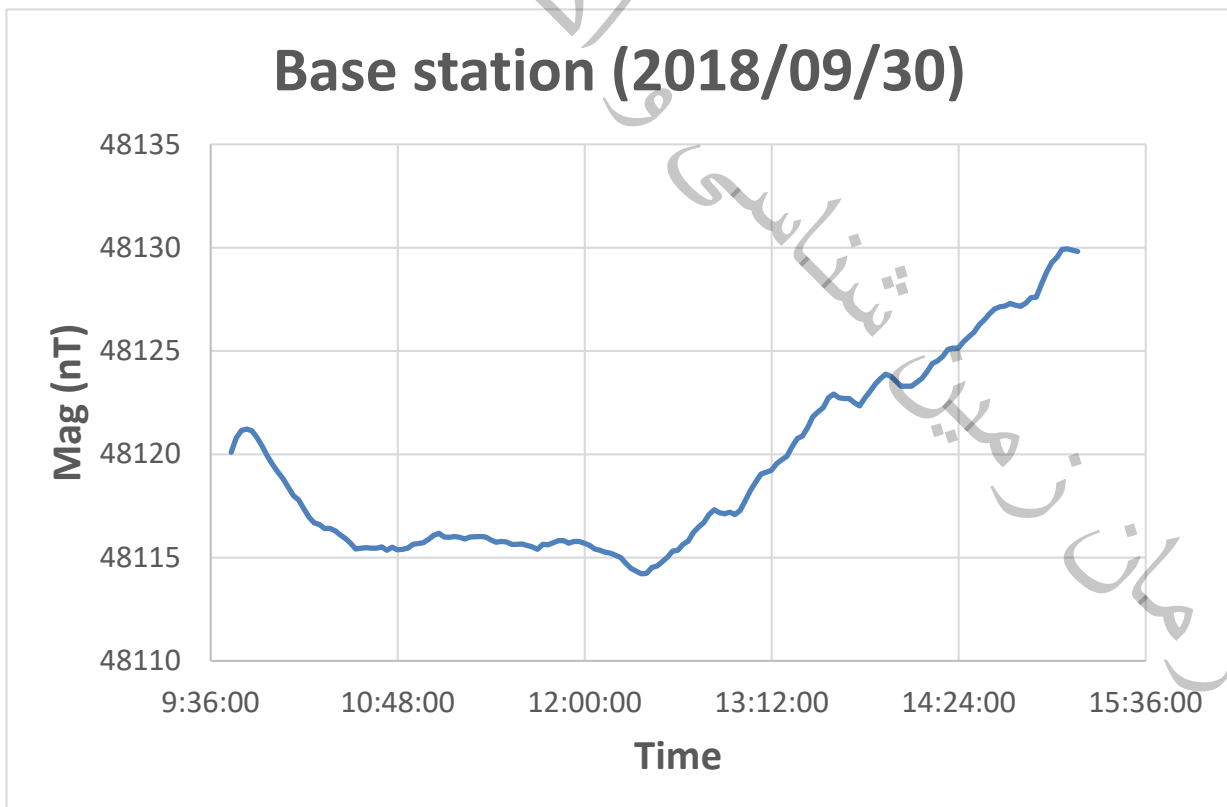


۳-۳- نحوه پردازش، مدل سازی و نمایش داده ها

یکی از تصحیحات اولیه، حذف داده های غیرعادی و خارج از رده (*Outliers*) می باشد. در برداشت های مغناطیس سنجی این قرائت ها عمدتاً در ارتباط با سازه های فلزی موجود در محدوده برداشت بوده و قبل از پردازش های ابتدایی نیز بایستی حذف شوند. در محدوده شماره ۱ به دلیل نزدیک بودن به جاده شهریار-بوئین زهرا، و قرار گیری خطوط انتقال نیرو، دکل های برق و همچنین لوله های مدفون گاز، تعداد محدودی از داده های خارج از رده وجود داشته که در بررسی های اولیه حذف شده اند. همانطور که ذکر شد یک دستگاه مغناطیس سنج در ایستگاه مبنا (شکل ۳-۹) در تمام روزهای برداشت مستقر بوده و تغییرات شدت میدان مغناطیسی را به صورت مرتب به ازاء هر ۶۰ ثانیه، همزمان با برداشت در ایستگاه های متحرک، ثبت کرده است. نمودار تغییرات شدت میدان مغناطیس در تاریخ ۱۳۹۷/۰۷/۰۸ در شکل ۳-۱۰ به نمایش در آمده است. با استفاده از داده های ایستگاه مبنا، تصحیحات به صورت روزانه برای تمام روزهای برداشت انجام شده است. برداشت داده های مغناطیس سنجی برای محدوده ۱ طی شش روز در فاصله ۹۷/۷/۲ تا ۹۷/۷/۸ و برای محدوده شماره ۲ طی یک روز در تاریخ ۱۳۹۸/۳/۱ صورت گرفت. پس از ویرایش اولیه و انجام تصحیحات روزانه، داده های مغناطیس سنجی همتراز (*Levelling*) شده اند.



شکل ۳-۹: اندازه گیری داده‌ها در ایستگاه مبنا



شکل ۳-۱۰: تغییرات شدت کل میدان مغناطیسی ایستگاه مبنا در تاریخ ۱۳۹۷/۰۷/۰۸



اطلاعات مغناطیس سنجی به همراه مختصات نقاط برداشت در رایانه توسط نرم افزار *Oasis montaj* مورد پردازش قرار گرفته است. تغییرات میدان مغناطیسی با استفاده از مقیاس رنگی و با تکنیک *Image shadow* به گونه ای رسم شده که کمترین شدت میدان با رنگ آبی و به تدریج با افزایش شدت کل میدان مغناطیسی به رنگهای سبز - زرد - نارنجی - قرمز و بنفش نمایش داده شود.

یکی از متداول ترین و پیشرفته ترین روش ها در مدلسازی داده های ژئوفیزیک، مدلسازی وارون است که با روش ها و الگوریتم های گوناگونی صورت می پذیرد. همانطور که از نام این مدلسازی برمی آید، در برابر مدلسازی مستقیم قرار دارد. در این نوع مدلسازی فرایند محاسبات با شروع از یک مدل ساده و یا استفاده از نتایج مطالعاتی مانند زمین شناسی و ژئوتکنیک یک مدل اولیه فرضی بدست می آید. سپس با تغییر پارامترهای مدل در هر مرحله از فرآیند وارون سازی، سعی بر این است که اختلاف مابین پاسخ مدل حاصل با داده های مشاهده ای کمینه شود. از آنجا که عموماً در مسائل ژئوفیزیک مدل های بیشماری به داده های مشاهده ای قابل برازش هستند، لذا قیودی از جمله همواری مدل نیز در حین انجام محاسبات عددی در نظر گرفته می شود. در مدلسازی وارون بعد از تعیین پارامترهای مدل تمامی مراحل مدلسازی به صورت خودکار انجام می شود. در وارون سازی دوبعدی داده های مقاومت ویژه در این مطالعه به ترتیب از نرم افزار *Res2Dinv* از محبوب ترین و شناخته شده ترین نرم افزارها در این زمینه، استفاده شده است. در نهایت برای تفسیر ترکیبی اطلاعات و نمایش مطلوب نقشه ها، مدلها و مقاطع از نرم افزارهای *Google Earth* و *Global mapper* نیز استفاده شده است.



فصل چهارم

بررسی نتایج

همانطور که ذکر شد برداشت های مغناطیس سنجی و مقاومت ویژه الکتریکی با استفاده از آرایش دوقطبی - دوقطبی در دو محدوده صورت پذیرفت. در ادامه هر یک از مناطق مورد مطالعه به صورت مجزا مورد بررسی قرار می گیرند.

۴-۱-۱- محدوده ۱

۴-۱-۱-۱- مطالعات مغناطیس سنجی

در شکل های ۳-۱ و ۳-۳ موقعیت مکانی ایستگاه های برداشت مغناطیس سنجی و مقاومت ویژه در محدوده ۱ آورده شد. پس از اعمال تصحیحات مورد نیاز و پردازش های اولیه داده های مغناطیس سنجی، در شکل ۴-۱ نقشه شدت کل میدان مغناطیسی محدوده آورده شده است. بیشترین و کمترین مقدار شدت کل میدان مغناطیسی اندازه گیری شده (بعد از حذف داده های خارج از رده و نامتعارف) به ترتیب ۴۸۲۲۰ و ۴۸۱۰۰ گاما بوده و حد زمینه در این منطقه ۴۸۲۵۷ گاما در نظر گرفته شد. اختلاف بیشترین و کمترین مقدار شدت میدان کل مغناطیسی اندازه گیری شده برابر با ۱۲۰ گاما می باشد.



همانطور که مشاهده می شود، یک ناحیه با شدت میدان مغناطیس پایین (طیف آبی رنگ) در مرکز نقشه قابل تشخیص است. این ناحیه احتمالاً در ارتباط با افزایش ضخامت نهشته های رسوبی در این نواحی است. علاوه بر این، چند روند خطی با تغییرات کم شدت میدان مغناطیس در نقشه شدت کل مغناطیس (شکل ۴-۱) قابل تشخیص می باشد. این خطواره های مغناطیسی با خط چین های قرمز رنگ در شکل ۴-۱ مشخص شده اند.

به منظور تفسیر بهتر و تعیین دقیق تر محل واقعی توده ها، نقشه شدت کل میدان مغناطیس به قطب برگردانده شده و نتیجه در شکل ۴-۲ به نمایش در آمده است. مقادیر زاویه میل مغناطیسی و زاویه انحراف مغناطیسی طبق استاندارد جهانی در محل انجام برداشت ها عبارت است از:

$$\text{Inclination}=54.57, \text{Declination}=4.84$$

همانطور که مشاهده می شود، ناحیه بی هنجاری با شدت میدان مغناطیس پایین در مرکز نقشه شدت کل مغناطیس (شکل ۴-۱) با جابجایی به سمت شمال در نقشه برگردان به قطب (شکل ۴-۲) دیده می شود. رودخانه واقع در ضلع شمالی محدوده (شکل ۳-۳)، سبب نهشته شدن مقدار قابل توجهی از رسوبات ریزدانه رسی در این ناحیه است. بی هنجاری با شدت مغناطیس پایین در این ناحیه، هم می تواند در ارتباط با تغییر خواص نهشته های رسوبی و هم ضخامت بیشتر آنها در این ناحیه باشد.

با توجه به شکل ۴-۲ شدت میدان مغناطیس در قسمت های شمالی نقشه از نواحی جنوبی کمتر است. با توجه به توپوگرافی سطحی منطقه و واقع بودن محدوده مورد مطالعه بر روی نهشته ها مخروط افکنه ای، چنین مسئله ای مورد انتظار بوده است. چرا که انتظار می رود در قسمت های جنوبی محدوده، سنگ کف (احتمالاً آذر آواری) در اعماق کمتری واقع شده باشد. همانطور که از نقشه های ۴-۱ و ۴-۲ مشاهده می شود، ساختارهای زیر سطحی عمدتاً دارای روند شرقی - غربی می باشند. این مسئله از زمین شناسی سطحی (نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ کرج) و عکس های هوایی منطقه نیز مورد انتظار بوده است. با قراردادن نقشه برگردان به قطب بر روی عکس هوایی محدوده در شکل ۴-۳، انطباق عوارض سطحی با بی هنجاری های مغناطیسی در نقشه مزبور، به خوبی قابل مشاهده است. همانطور که



مشاهده می شود، نهشته های رسی اطراف رودخانه از خواص مغناطیسی کمتری نسبت به نهشته های درشت دانه مخروط افکنه ای (در قسمت جنوبی محدوده) برخوردارند. همانطور که ذکر شد، این مسئله علاوه بر جنس رسوبات، احتمالاً ناشی از ضخامت بیشتر رسوبات در قسمت های شمالی محدوده است. در شکل ۴-۳، موقعیت خطواره های حاصل از مطالعات تکتونیک و خطواره های مشاهده شده در نقشه های مغناطیس سنجی به ترتیب با خطوط سیاه و قرمز رنگ مشخص شده اند.

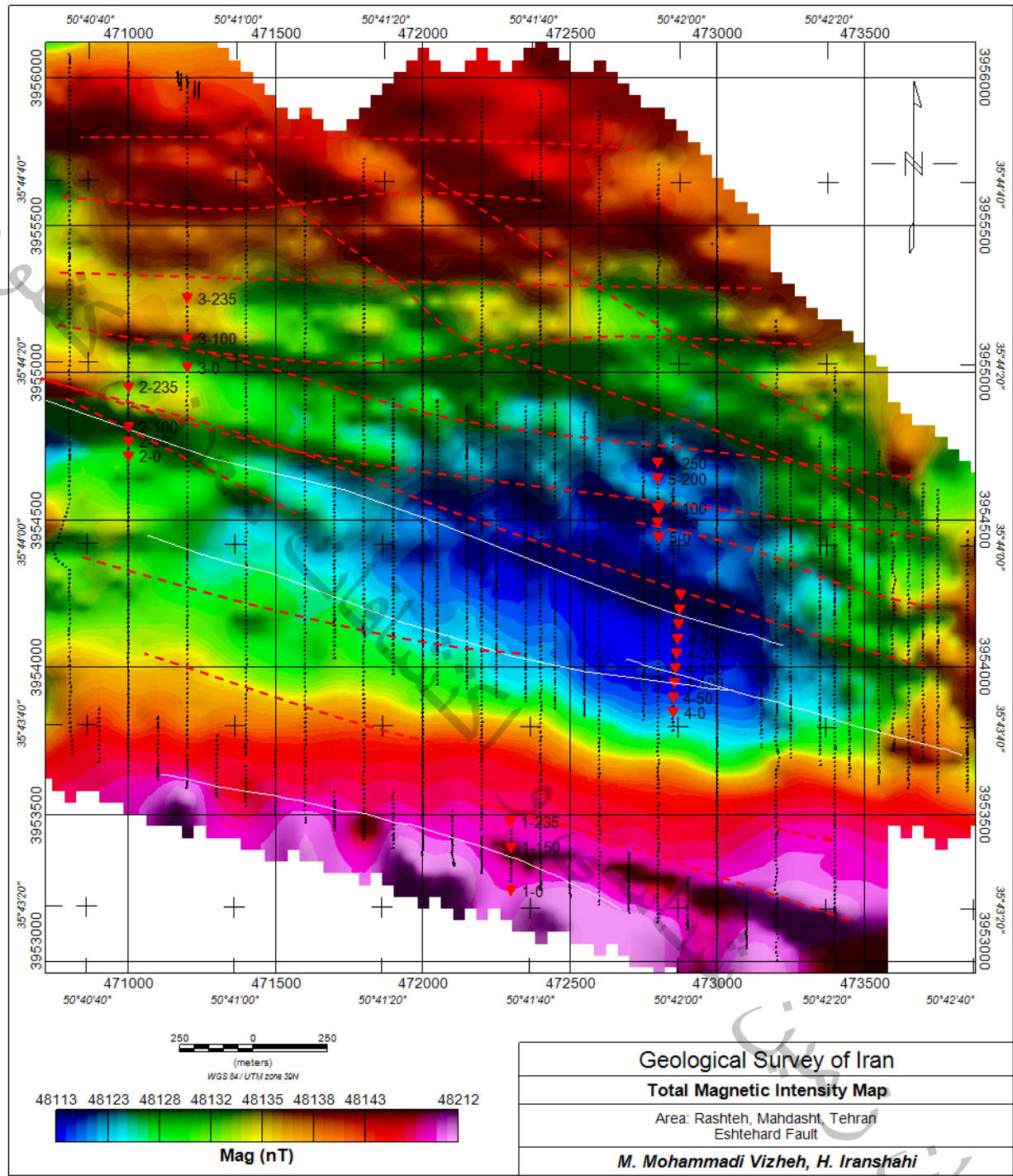
در شکل ۴-۴، نقشه فیلتر زاویه تیلت (بر حسب رادیان) نمایش یافته است. در نقشه های مغناطیسی قرارگیری ساختارها در مجاورت هم و در عمق های مختلف باعث پیچیدگی نقشه های مغناطیسی و دشواری تفسیر آن ها می شود. از این فیلتر برای آشکارسازی لبه بی هنجاری های مغناطیسی و همچنین آشکارسازی گسل ها و خطواره های مغناطیسی استفاده می شود. تانژانت زاویه تیلت از نسبت گرادیان قائم میدان به مقدار مطلق دامنه گرادیان افقی محاسبه می شود. به این ترتیب مقادیر صفر آن بر روی لبه های بی هنجاری واقع می شود. همانطور که مشاهده می شود، علاوه بر خطواره های مشاهده از عکس های هوایی و مطالعات زمین شناسی (خطوط سفید رنگ) چند روند خطی دیگر نیز در این نقشه قابل تشخیص می باشد. این خطواره های مغناطیسی با خط چین های قرمز رنگ در تمامی نقشه های مغناطیس سنجی مشخص شده اند.

برای حذف اثر بی هنجاریهای سطحی و دستیابی به تغییرات عمقی از پردازش ادامه فراسو استفاده شده است. در صورتی که بی هنجاری نزدیک به سطح و با ضخامت کم باشد، با افزایش ارتفاع (Z) در نقشه های ادامه فراسو، اثر آن از بین رفته و یا کاهش مقدار عددی زیاد خواهد بود و چنانچه بی هنجاری در عمق و یا در سطح و دارای ضخامت زیاد باشد، خلاف این امر پیش خواهد آمد. بدین منظور با استفاده از این پردازش، نقشه شدت کل میدان مغناطیس به میزان ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ متر به سمت بالا مورد پردازش قرار گرفته و در شکل های ۴-۵ تا ۴-۷ به نمایش در آمده اند. چنانچه مشاهده می شود در نقشه ادامه فراسوی ۲۰ متر علاوه بر کاهش در شدت بی هنجاری های

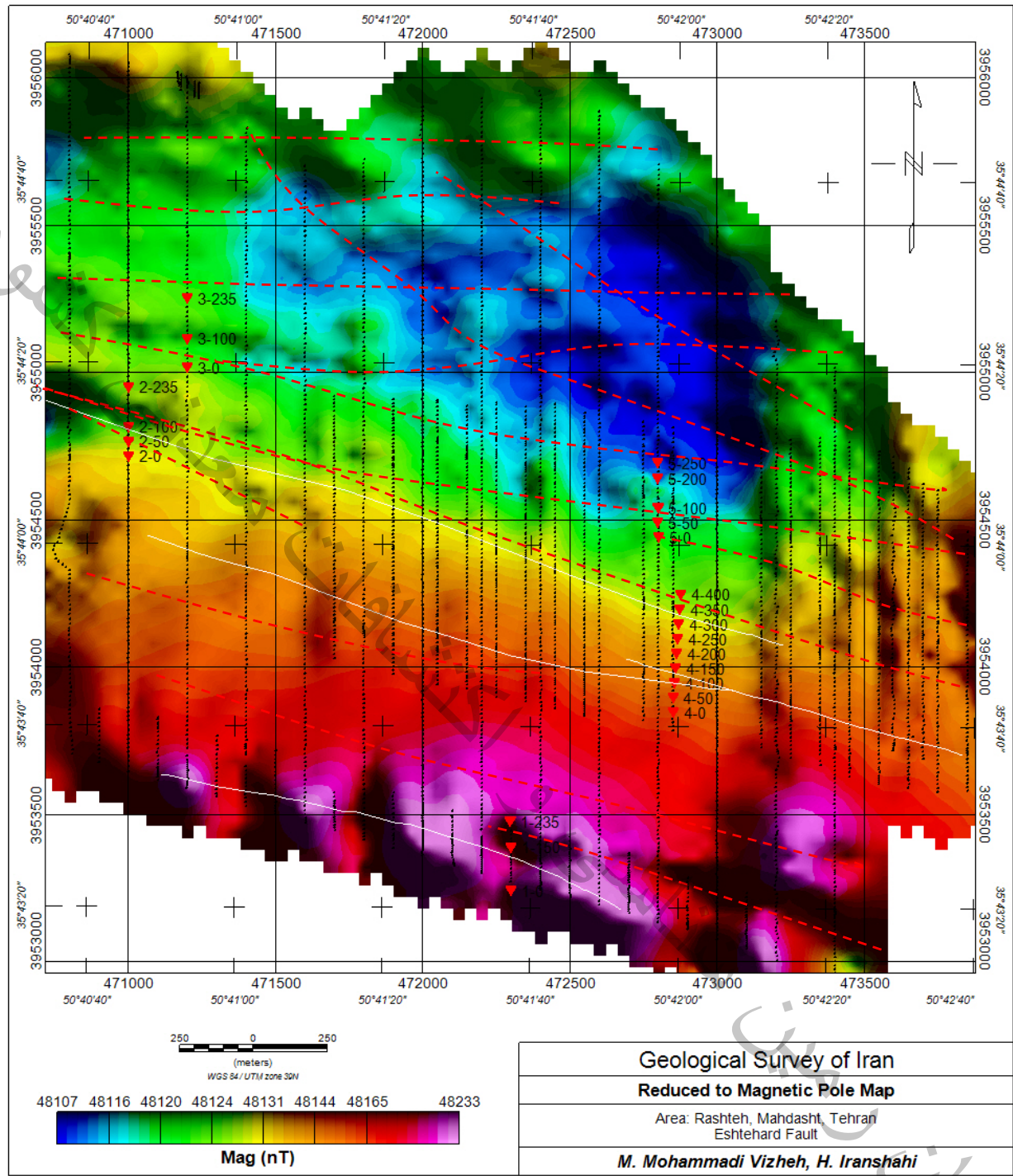
کوچک، اثر نوفه‌های با فرکانس بالا در داده‌ها نیز به صورت قابل توجهی کاهش یافته است. در ادامه فراسوی ۵۰ و ۱۰۰ متر، حضور بی‌هنجاری با شدت پایین نشان دهنده گسترش نسبی عمقی آن می‌باشد. علاوه بر این، همچنان اثر خطواره‌های مغناطیسی در نقشه‌های ادامه فراسوی ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ متر نیز قابل تشخیص می‌باشد.

شکل ۴-۸، منحنی تغییرات لگاریتمی طیف توان میدان مغناطیسی کل نسبت به طول موج به همراه عمق متوسط بی‌هنجاری‌ها را بر حسب کیلومتر نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، قسمت عمده سر این بی‌هنجاری‌ها در سطح و در اعماق کمتر از ۵۰ متر بوده و به ندرت از عمق ۱۰۰ متر فراتر می‌رود. این مسئله نشان دهنده این مطلب است که بی‌هنجاری‌های کوچک عمدتاً در اعماق کمتر از ۵۰ متر قرار گرفته‌اند. تنها یک اثر ناحیه‌ای با عمق کمتر از ۵۰۰ متر در این نمودار قابل تشخیص بوده که نشان دهنده روند کلی تغییرات میدان مغناطیس در این ناحیه است. نتایج بدست آمده انطباق خوبی با نقشه‌های ادامه فراسو دارد.

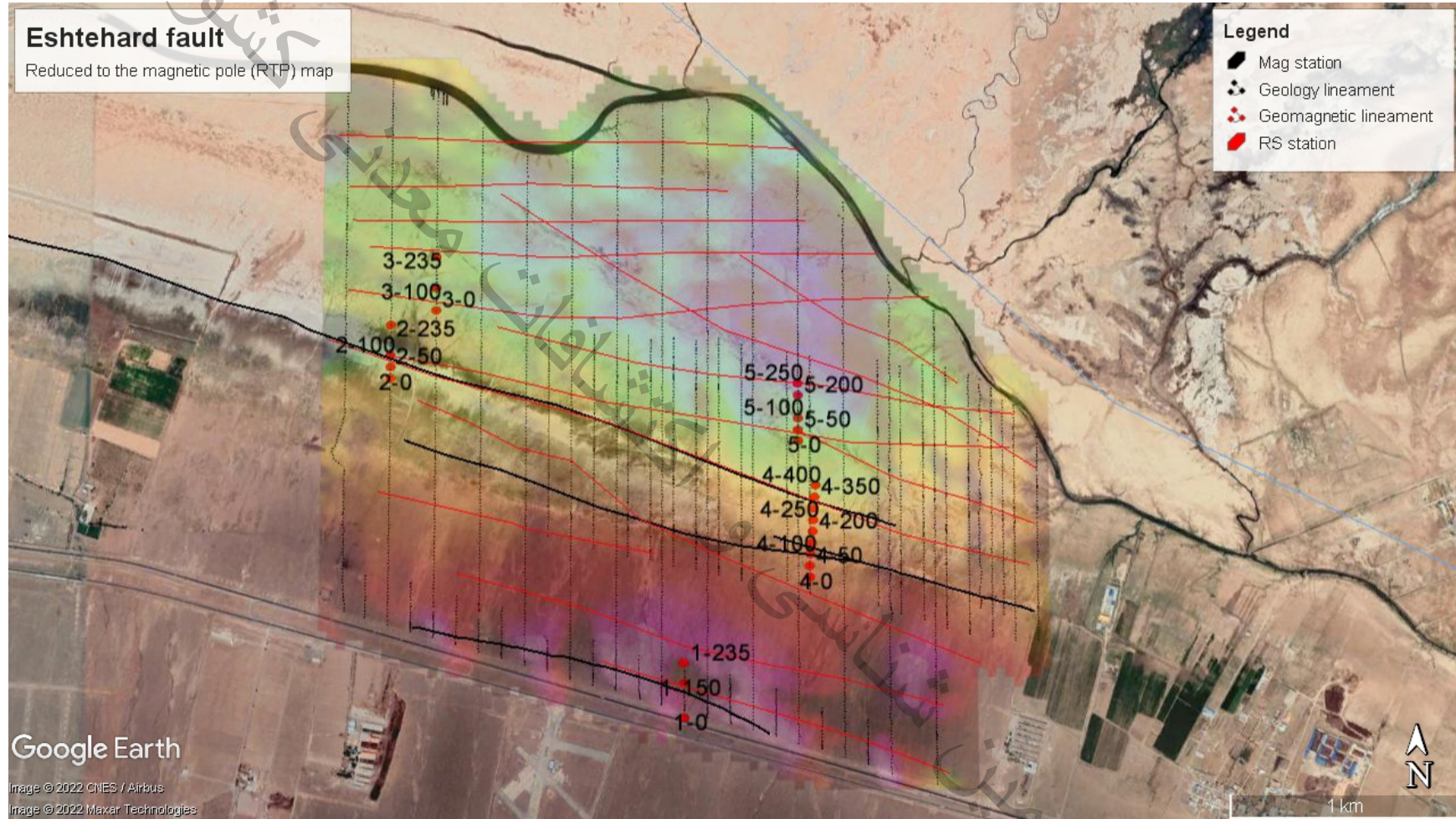
در نهایت برای ارزیابی دقیق‌تر خطواره‌های به دست آمده از مطالعات مغناطیس‌سنجی و تکتونیک، مطالعات مقاومت ویژه بر روی پنج پروفیل صورت گرفت. در ادامه نتایج حاصل از وارون‌سازی داده‌های مزبور مورد بررسی قرار می‌گیرد.



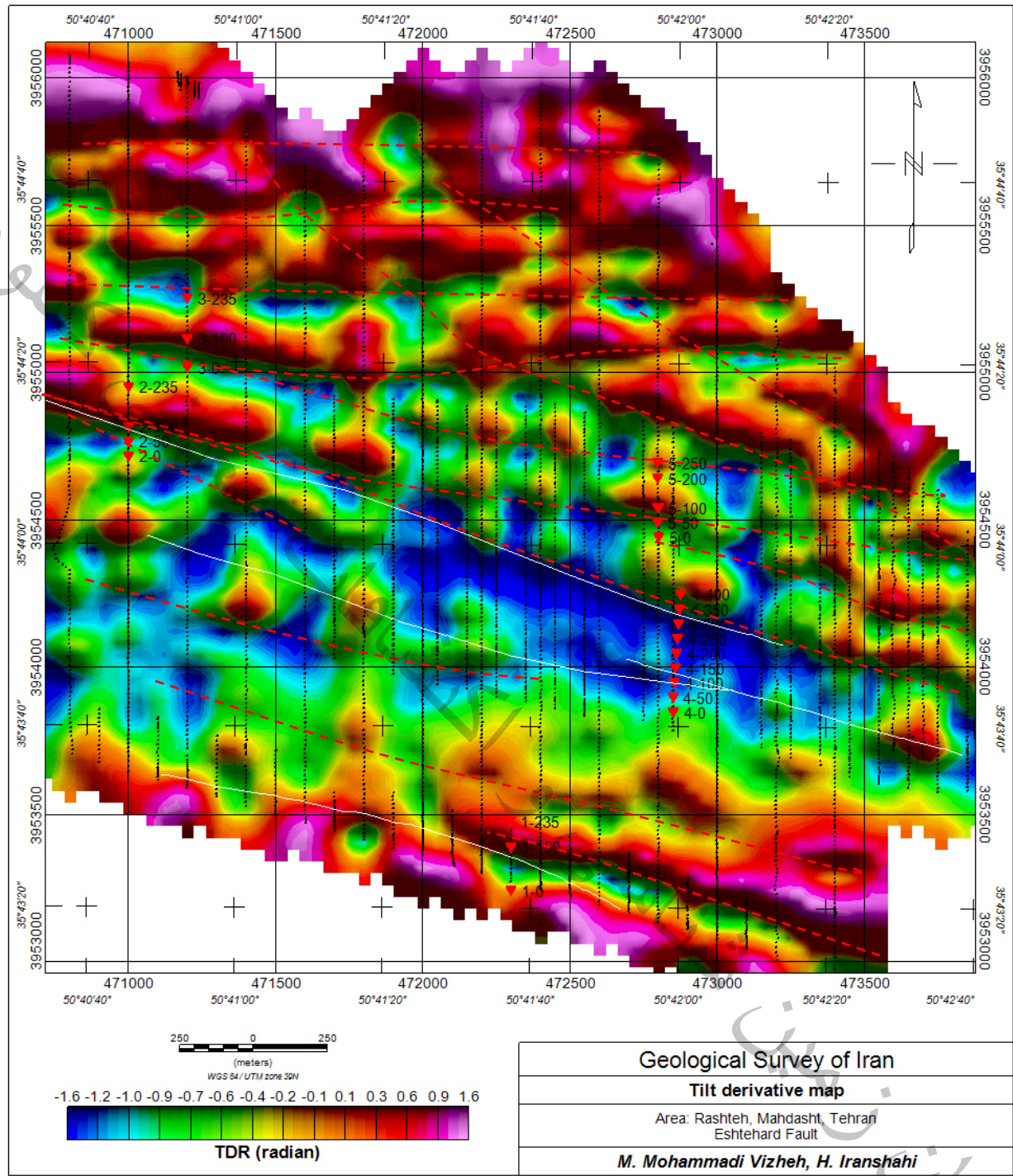
شکل ۴-۱: نقشه شدت کل میدان مغناطیسی محدوده ۱ همراه با موقعیت ایستگاه های مغناطیس سنجی (نقاط سیاه رنگ) و برخی ایستگاه های مقاومت ویژه (مثلث های قرمز رنگ). خطوط سفید و چین های قرمز رنگ، به ترتیب خطواره های حاصل از مطالعات زمین شناسی و مغناطیس سنجی می باشند.



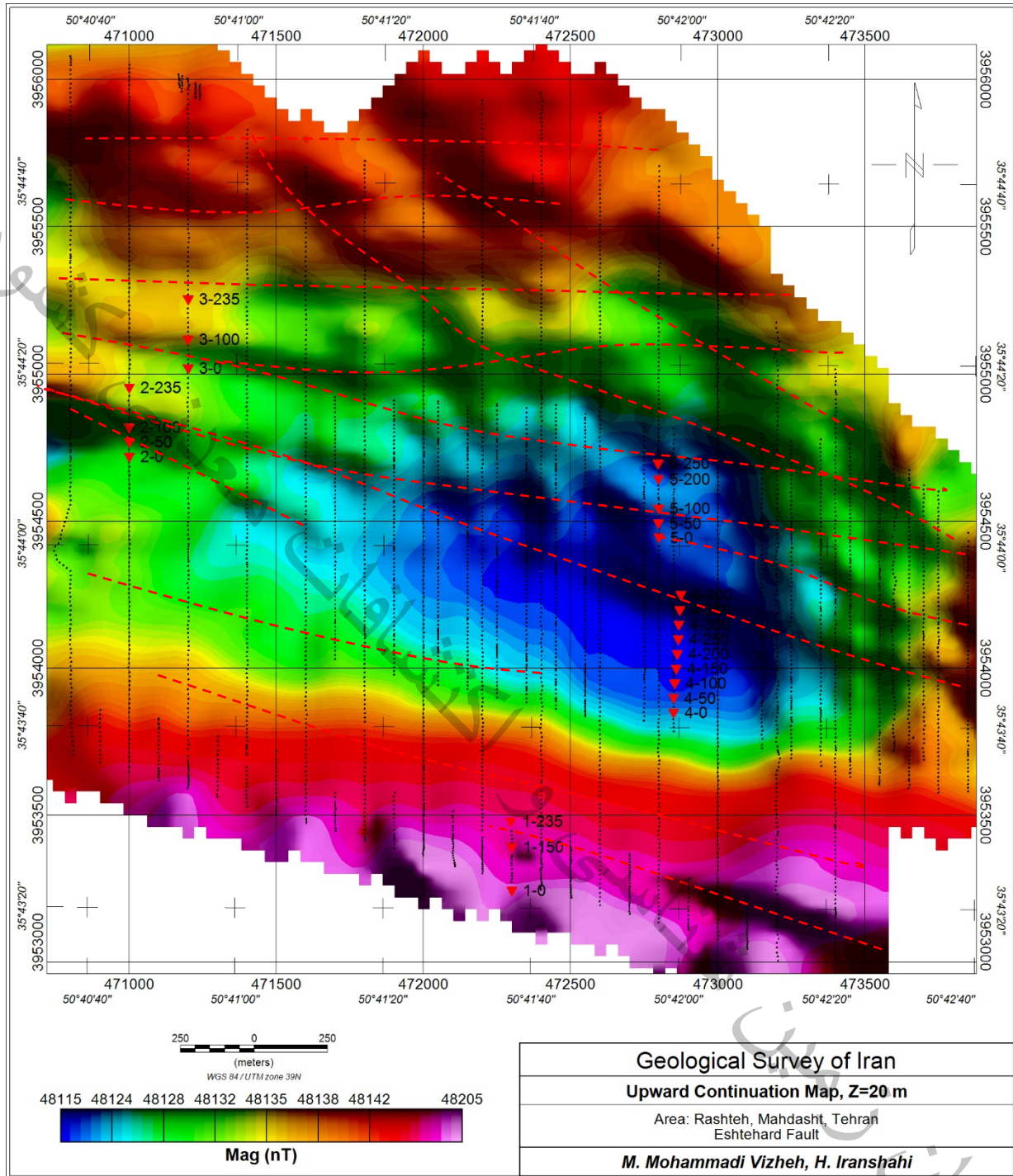
شکل ۴-۲: نقشه برگردان به قطب مغناطیسی محدوده ۱ همراه با موقعیت ایستگاه های مغناطیس سنجی (نقاط سیاه رنگ) و برخی ایستگاه های مقاومت ویژه (مثلث های قرمز رنگ). خطوط سفید و چین های قرمز رنگ، به ترتیب خطواره های حاصل از مطالعات زمین شناسی و مغناطیس سنجی می باشند.



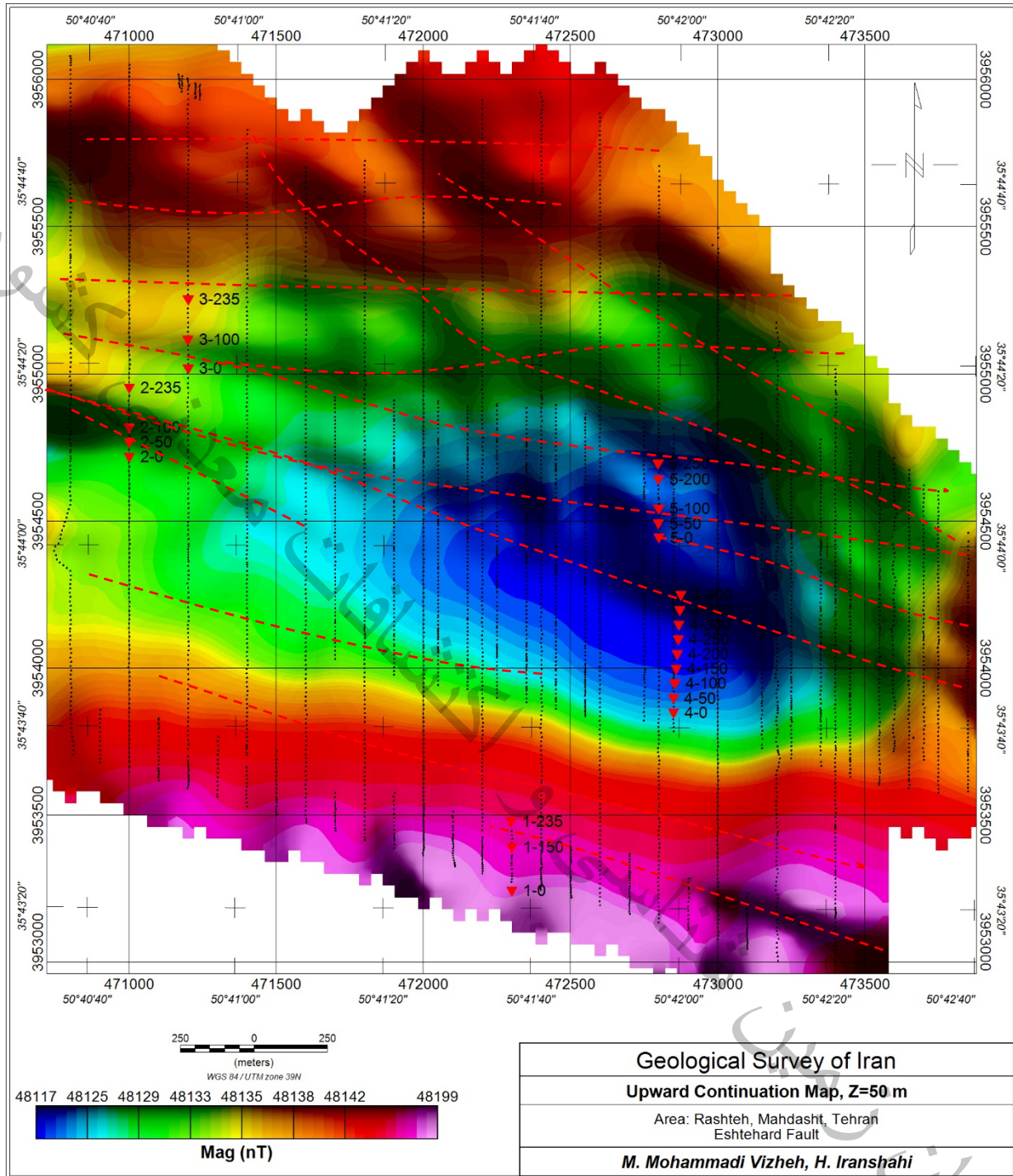
شکل ۴-۳: نقشه برگردان به قطب مغناطیسی همراه با موقعیت ایستگاه های مغناطیس سنجی (نقاط سیاه رنگ) و برخی ایستگاه های مقاومت ویژه (دوایر قرمز رنگ) بر روی تصویر ماهواره ای (برگرفته از نرم افزار گوگل ارث) محدوده ۱. خطواره های حاصل از مطالعات زمین شناسی (تکتونیک) و مغناطیس سنجی به ترتیب با خطوط سیاه و قرمز رنگ مشخص شده اند.



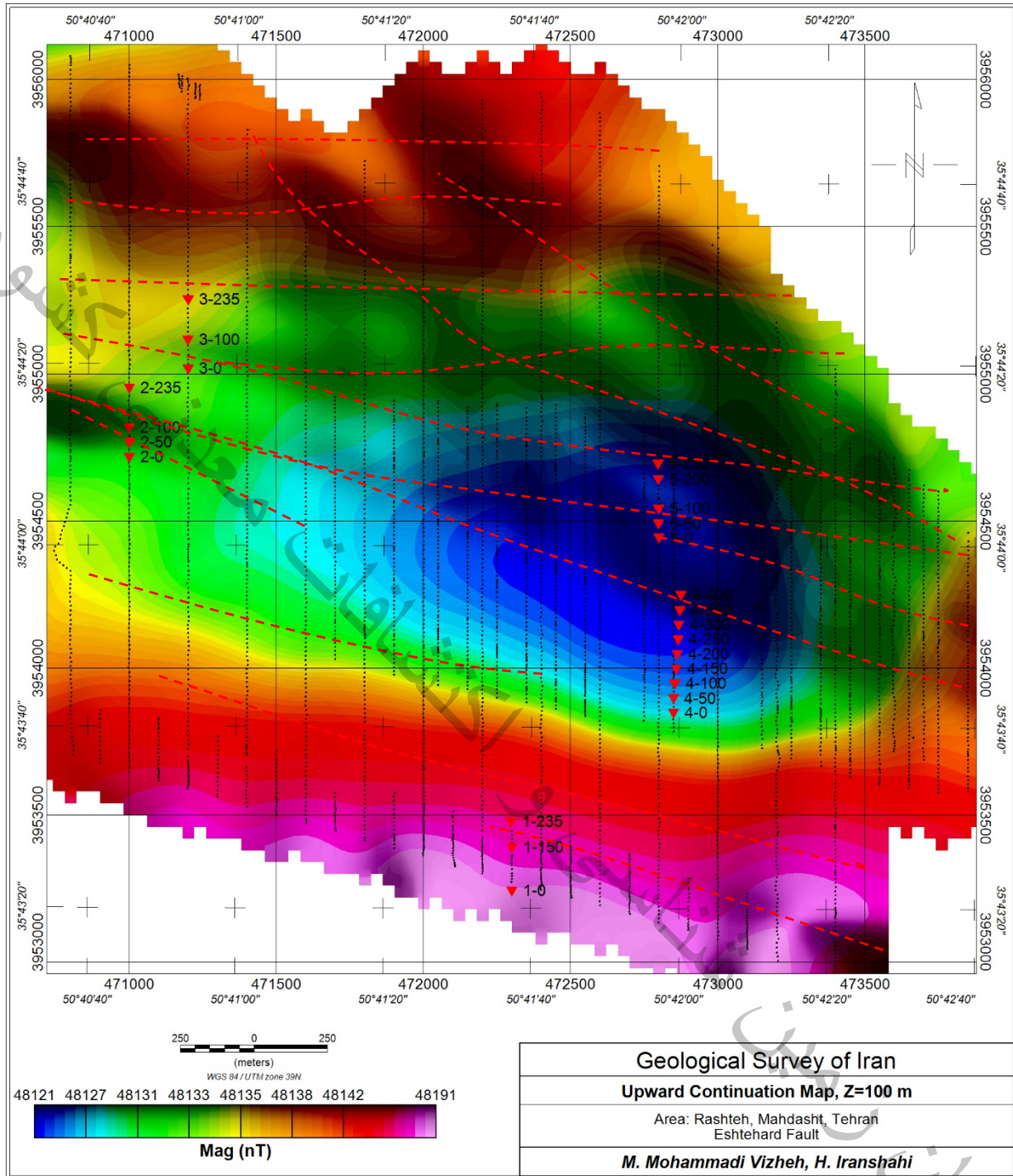
شکل ۴-۴: نقشه مشتق زاویه تیلت محدوده ۱ همراه با موقعیت ایستگاه های مغناطیس سنجی (نقاط سیاه رنگ) و برخی ایستگاه های مقاومت ویژه (مثلث های قرمز رنگ). خطوط سفید و چین های قرمز رنگ، به ترتیب خطواره های حاصل از مطالعات زمین شناسی و مغناطیس سنجی می باشند.



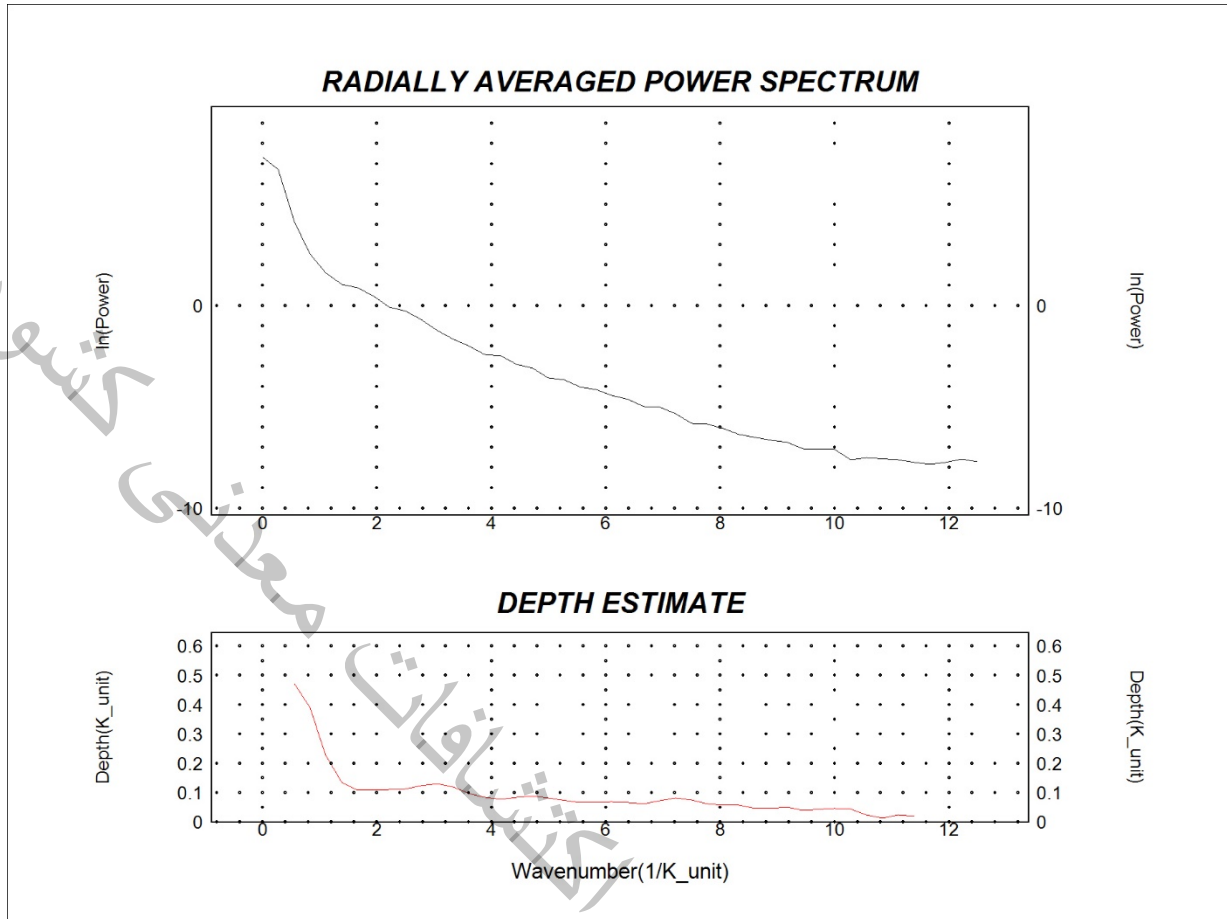
شکل ۴-۵: نقشه ادامه فراسوی (۲۰ متر) مغناطیسی محدوده ۱ همراه با موقعیت ایستگاه های مغناطیس سنجی (نقاط سیاه رنگ) و برخی ایستگاه های مقاومت ویژه (مثلث های قرمز رنگ). خط چین های قرمز رنگ، خطواره های حاصل از مطالعات مغناطیس سنجی می باشند.



شکل ۴-۶: نقشه ادامه فراسوی (۵۰ متر) مغناطیسی محدوده ۱ همراه با موقعیت ایستگاه های مغناطیس سنجی (نقاط سیاه رنگ) و برخی ایستگاه های مقاومت ویژه (مثلث های قرمز رنگ). خط چین های قرمز رنگ، خطواره های حاصل از مطالعات مغناطیس سنجی می باشند.



شکل ۴-۷: نقشه ادامه فراسوی (۱۰۰ متر) مغناطیسی محدوده ۱ همراه با موقعیت ایستگاه های مغناطیس سنجی (نقاط سیاه رنگ) و برخی ایستگاه های مقاومت ویژه (مثلث های قرمز رنگ). خط چین های قرمز رنگ، خطواره های حاصل از مطالعات مغناطیس سنجی می باشند.



شکل ۴-۸: منحنی لگاریتمی طیف توان و منحنی تخمین عمق متوسط مربوطه بر حسب کیلومتر در محدوده مورد مطالعه

۴-۱-۲- مطالعات مقاومت ویژه

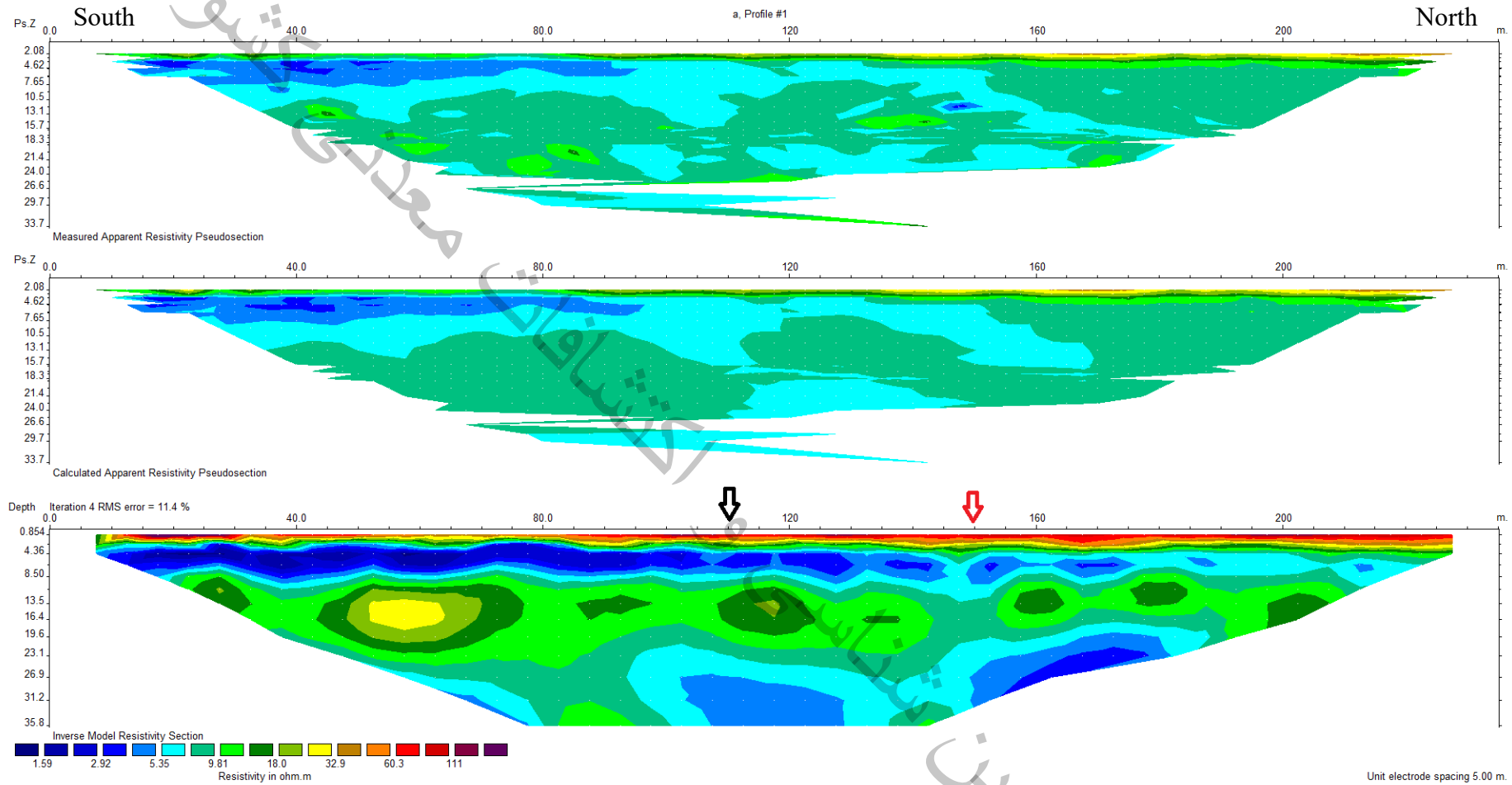
بر روی خطواره های مشاهده شده در مطالعات مغناطیس سنجی و تکتونیک در محدوده مورد مطالعه، پنج پروفیل مقاومت ویژه به منظور بررسی های دقیق تر زیر سطحی در نظر گرفته شد. مشخصات پروفیل های مزبور در جدول ۳-۱ آورده شده و همچنین موقعیت آنها در شکل های ۳-۱ و ۳-۳ آورده شده است. پروفیل ها به ترتیب برداشت از شماره ۱-۱ تا ۵-۱ نامگذاری شده اند.

پروفیل ۱-۱

در شکل ۴-۹ شبه مقاطع مقاومت ویژه ظاهری اندازه گیری شده، پاسخ مدل وارون و مدل حاصل از وارون سازی دو بعدی داده های مقاومت ویژه در طول پروفیل ۱-۱ آورده شده است. کمینه و بیشینه مقادیر مقاومت ویژه اندازه



گیری شده در طول این پروفیل به ترتیب ۲/۶۵ و ۳۲ اهم متر می باشد. مقادیر مزبور مقاومت ویژه ظاهری مشاهده ای بوده و طبیعتاً مقادیر حاصل از وارون سازی داده ها متفاوت خواهد بود. همانطور که در مدل وارون (شکل ۴-۹ پایین) مشاهده می شود، گستره تغییرات مقاومت ویژه در طول این پروفیل نسبتاً پایین است. به نحوی که بیشینه مقاومت ویژه مشاهده شده از ۲۰۰ اهم متر فراتر نبوده و در بیشتر نقاط مقاومت ویژه نهشته های زیرسطحی کمتر از ۳۰ اهم متر می باشد. این مسئله ناشی از گسترش رسوبات ریزدانه (عمدتاً رسی) در رسوبات زیرسطحی این ناحیه است. همانطور که مشاهده می شود، تا اعماق کمتر از ۵ متری، یک ناحیه با مقاومت ویژه نسبتاً بالا (طیف رنگی نارنجی تا بنفش) در سطح زمین قابل تشخیص است. این ناحیه با مقاومت ویژه بالا، احتمالاً ناشی از افزایش اندازه دانه های رسوبی در سطح می باشد. در زیر این ناحیه با مقاومت ویژه بالا، مقاومت ویژه نهشته های زیرسطحی به صورت قابل توجهی کاهش یافته است. به نحوی که یک ناحیه با مقاومت ویژه کمتر از ۵ اهم متر در اعماق حدودی ۴ تا ۸/۵ متر قابل تشخیص است. این ناحیه با مقاومت ویژه پایین می تواند در ارتباط با رسوبات رسی باشد که در زیر رسوبات آواری سطحی در این ناحیه قرار دارند. گسترش رسوبات رسی در سطح و از مرکز تا قسمت های شمالی محدوده مورد مطالعه (شکل ۳-۳) قابل تشخیص می باشد. تنها یک ناپیوستگی جزئی و با تغییرات پایین مقاومت ویژه در فاصله ایستگاهی ۱۵۰ متری پروفیل قابل تشخیص است. این ناپیوستگی با دقت خوبی منطبق بر خطواره مشاهده شده در نقشه شدت کل میدان مغناطیس (شکل ۴-۱) می باشد. موقعیت خطواره های مشاهده شده از مطالعات تکتونیک و مغناطیس سنجی به ترتیب با فلش های مشکی و قرمز رنگ در مدل های وارون مقاومت ویژه در این مطالعه مشخص شده است.



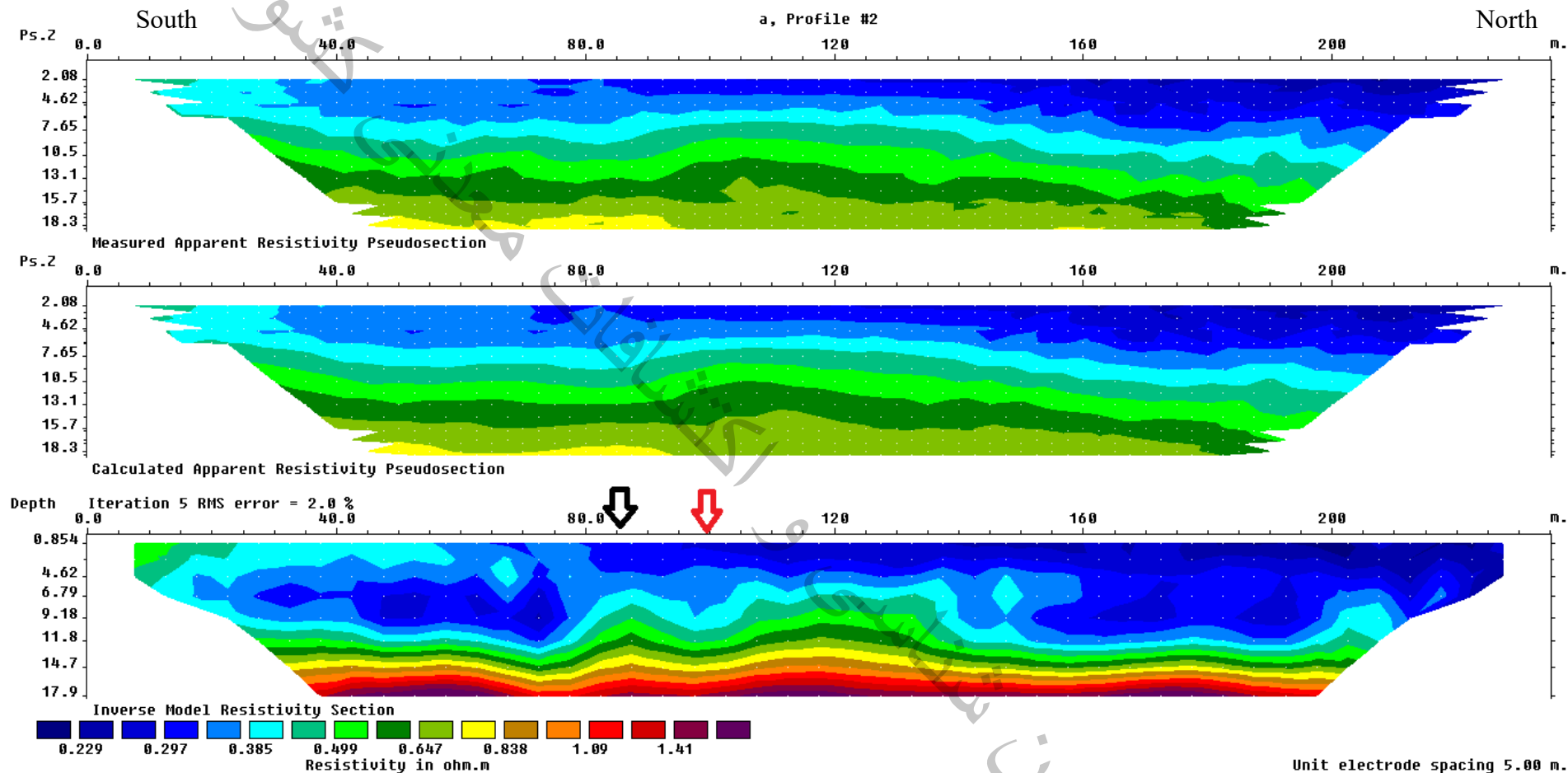
شکل ۴-۹: شبه مقاطع داده های اندازه گیری شده (شکل بالا)، پاسخ مدل وارون (شکل وسط) و مدل حاصل از وارون سازی دوبعدی داده ها (شکل پایین) در طول پروفیل ۱-۱. موقعیت خطواره های مشاهده شده از مطالعات تکتونیک و مغناطیس سنجی به ترتیب با فلش های مشکی و قرمز رنگ مشخص شده است.

ژئوفیزیک



پروفیل ۱-۲

در شکل ۴-۱۰ شبه مقاطع مقاومت ویژه ظاهری اندازه گیری شده، پاسخ مدل وارون و مدل حاصل از وارون سازی دو بعدی داده های مقاومت ویژه در طول پروفیل ۱-۲ آورده شده است. کمینه و بیشینه مقادیر مقاومت ویژه اندازه گیری شده در طول این پروفیل به ترتیب ۰/۲۲ و ۰/۷۵ اهم متر می باشد. همانطور که از داده های اندازه گیری شده و مدل وارون (شکل ۴-۱۰ پایین) مشاهده می شود، گستره تغییرات مقاومت ویژه در طول این پروفیل بسیار پایین است. بیشینه مقاومت ویژه در مدل وارون از ۲ اهم متر فراتر نیست و در نهشته های کم عمق، مقاومت ویژه کمتر از ۰/۵ اهم متر می باشد. این مسئله ناشی از حضور کفه های رسی (حاوی املاح قابل توجه) در این ناحیه است. علاوه بر این، با توجه به ارتفاع محدوده مورد مطالعه نسبت به رود شور (شکل ۳-۳)، به نظر عمق سطح ایستابی در این ناحیه از ۳ متر متجاوز نیست. لذا با توجه به خاصیت موینگی و قابلیت رسوبات رسی در نگهداری آب، انتظار می رود که این رسوبات تا نزدیک سطح اشباع از آب باشند. لذا مقاومت ویژه پایین این رسوبات به واسطه اشباع بودن از آب و حضور قابل توجه املاح تفسیر می شود. گسترش رسوبات رسی در محل این پروفیل و در سطح زمین قابل تشخیص می باشد (شکل ۳-۳). با این حال، مقاومت ویژه نهشته های زیرسطحی با افزایش عمق، افزایش می یابد. به نحوی که در اعماق بیش از ۱۵ متر، مقاومت ویژه ساختارهای زیرسطحی به بیش از ۱ اهم متر (طیف رنگی نارنجی تا بنفش) می رسد. این ناحیه با مقاومت ویژه بالا احتمالاً در ارتباط با افزایش اندازه دانه های رسوبی است. در محل خطواره های مشاهده شده در مطالعات تکتونیک و مغناطیس سنجی (شکل ۴-۳)، ناپیوستگی های جزئی در توزیع مقاومت ویژه رسوبات زیرسطحی قابل تشخیص می باشد. همانند پروفیل ۱، این ناپیوستگی ها در فاصله ایستگاهی ۸۵ و ۱۰۰ متری پروفیل با فلش های مشکی و قرمز رنگ در مدل های وارون مقاومت ویژه در این مطالعه مشخص شده است. تغییرات مقاومت ویژه در محل خطواره های مزبور، بسیار جزیی است. از این رو، انجام مشاهدات مستقیم در این ناحیه ضروری به نظر می رسد.



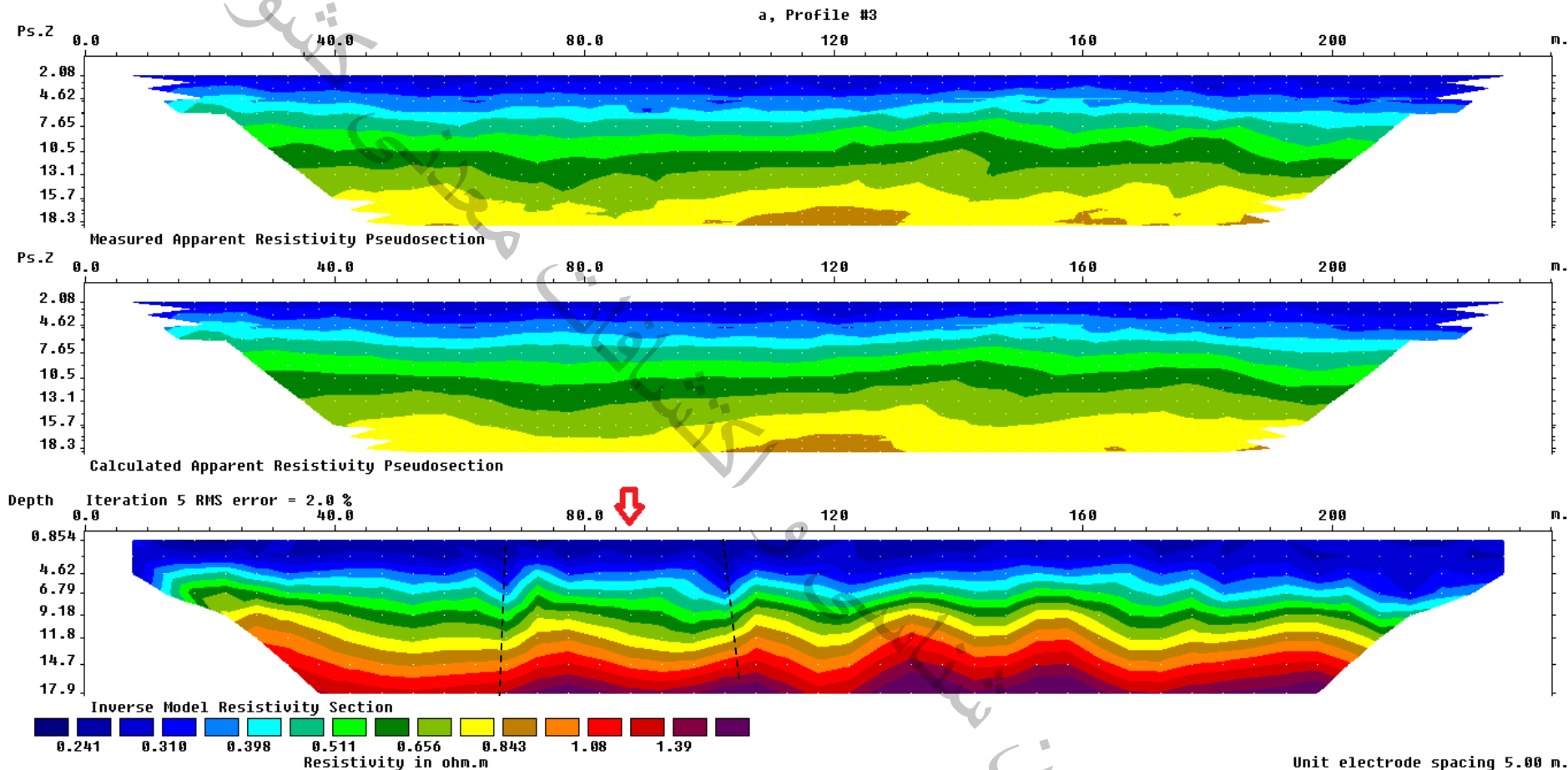
شکل ۴-۱۰: شبه مقاطع داده های اندازه گیری شده (شکل بالا)، پاسخ مدل وارون (شکل وسط) و مدل حاصل از وارون سازی دوبعدی داده ها (شکل پایین) در طول پروفیل ۱-۲. موقعیت خطواره های مشاهده شده از مطالعات تکتونیک و مغناطیس سنجی به ترتیب با فلش های مشکی و قرمز رنگ مشخص شده است.

ژئوفیزیک



پروفیل ۱-۳

در شکل ۴-۱۱ شبه مقاطع مقاومت ویژه ظاهری اندازه گیری شده، پاسخ مدل وارون و مدل حاصل از وارون سازی دو بعدی داده های مقاومت ویژه در طول پروفیل ۱-۳ آورده شده است. کمینه و بیشینه مقادیر مقاومت ویژه اندازه گیری شده در طول این پروفیل به ترتیب ۰/۲۶ و ۰/۸۶ اهم متر می باشد. همانند پروفیل ۲، گستره تغییرات مقاومت ویژه در طول این پروفیل نیز بسیار پایین است. بیشینه مقاومت ویژه در مدل وارون (شکل ۴-۱۱ پایین) از ۲ اهم متر فراتر نیست و در اعماق کمتر از ۵ متر، مقاومت ویژه نهشته های زیرسطحی کمتر از ۰/۵ اهم متر می باشد. همانند پروفیل ۲، این مسئله ناشی از حضور کفه های رسی (حاوی املاح قابل توجه) در این ناحیه است. علاوه بر این، با توجه به ارتفاع محدوده و مجاورت آن به رود شور (شکل ۳-۳)، به نظر شرایط زیرسطحی آن مشابه پروفیل ۲ می باشد. لذا مقاومت ویژه پایین این رسوبات به واسطه اشباع بودن از آب و حضور قابل توجه املاح تفسیر می شود. مقاومت ویژه نهشته های زیرسطحی نیز همانند پروفیل ۲ با افزایش عمق، افزایش می یابد. به نحوی که در اعماق بیش از ۱۵ متر، مقاومت ویژه ساختارهای زیرسطحی به بیش از ۲ اهم متر (طیف رنگی بنفش) می رسد. افزایش اندازه دانه های رسوبی احتمالاً دلیل این امر می باشد. در اطراف خطواره مشاهده شده در مطالعات مغناطیس سنجی (شکل ۴-۱)، دو ناپیوستگی جزئی در مدل وارون مقاومت ویژه (شکل ۴-۱۱ پایین) مشاهده می شود که با خط چین سیاه مشخص شده اند. همانند پروفیل های قبلی، موقعیت خطواره های مغناطیس سنجی در سطح زمین با فلش قرمز رنگ در مدل وارون مقاومت ویژه مشخص شده است. از آنجا که تغییرات مقاومت ویژه در محل خطواره های مزبور، بسیار جزئی است، انجام مشاهدات مستقیم در این ناحیه نیز ضروری به نظر می رسد.



شکل ۴-۱۱: شبه مقاطع داده های اندازه گیری شده (شکل بالا)، پاسخ مدل وارون (شکل وسط) و مدل حاصل از وارون سازی دوبعدی داده ها (شکل پایین) در طول پروفیل ۱-۳. موقعیت خطواره مشاهده شده از مطالعات مغناطیس سنجی با فلش قرمز رنگ مشخص شده است.

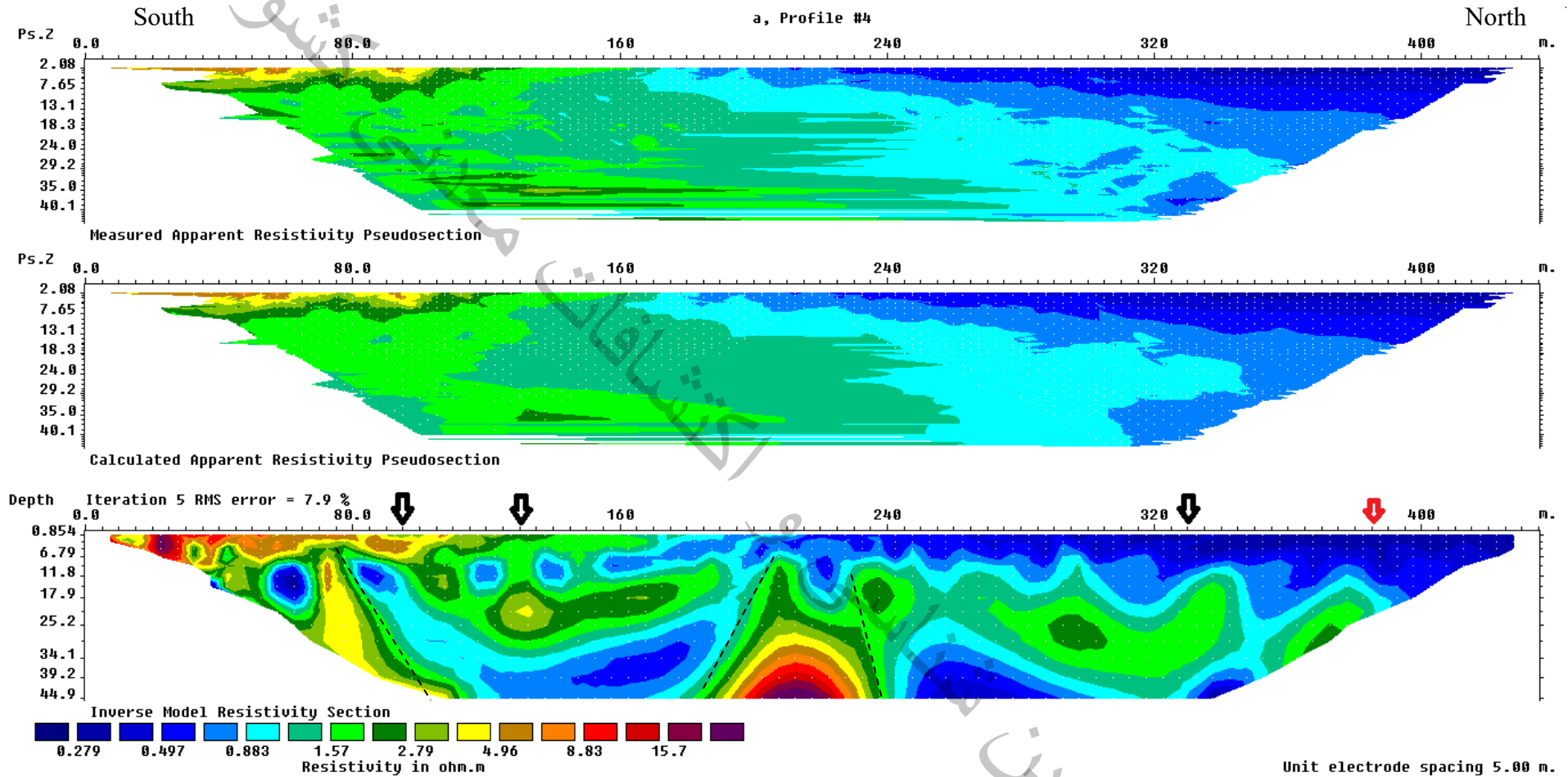
پروفیل ۱-۴

در شکل ۴-۱۲ شبه مقاطع مقاومت ویژه ظاهری اندازه گیری شده، پاسخ مدل وارون و مدل حاصل از وارون سازی دو بعدی داده های مقاومت ویژه در طول پروفیل ۱-۴ آورده شده است. کمینه و بیشینه مقادیر مقاومت ویژه اندازه گیری شده در طول این پروفیل به ترتیب ۰/۲۹ و ۸/۴ اهم متر می باشد. همانطور که از داده های اندازه گیری شده و مدل وارون (شکل ۴-۱۲ پایین) مشاهده می شود، گستره تغییرات مقاومت ویژه در طول این پروفیل نیز بسیار پایین است. با این حال، مقادیر مقاومت ویژه اندکی نسبت به پروفیل های ۱-۲ و ۱-۳ بالاتر بوده است. با مقایسه موقعیت پروفیل های مزبور در عکس هوایی منطقه (شکل ۳-۳) چنین مسئله ای مورد انتظار بوده است. در فواصل ابتدایی پروفیل (صفر تا ۱۶۰ متری) نهشته های سطحی از مقاومت ویژه بالاتری برخوردار می باشند. در فاصله ۱۶۰ متری پروفیل تا انتهای پروفیل، مقاومت ویژه نهشته های سطحی به صورت قابل توجهی پایین تر است (طیف رنگی آبی تیره). همانند پروفیل های قبلی، نواحی با مقاومت ویژه کمتر از ۰/۵ اهم متر در ارتباط یا کفه های رسی اشباع از آب و حاوی املاح زیاد تفسیر می شود. همانطور که در عکس هوایی (شکل ۳-۳) مشاهده می شود، فاصله ۱۰۰ متری پروفیل مرز مابین رسوبات مخروط افکنه ای نسبتاً درشت دانه تر و کفه های رسی می باشد. همانطور که مشاهده می شود، ضخامت نهشته های رسی (طیف رنگی آبی تیره) سطحی، در قسمتهای انتهایی پروفیل افزایش می یابد. به نحوی که در قسمت های انتهایی پروفیل تا عمق حدود ۱۵ متر نیز گسترش می یابند. با توجه به توپوگرافی محدوده و موقعیت رود شور، چنین مسئله ای مورد انتظار بوده است. علاوه بر این، از آنجا که عمق بررسی در طول این پروفیل افزایش یافته است، نواحی با مقاومت ویژه بالاتر در اعماق پروفیل قابل تشخیص می باشند. به عنوان مثال، یک ناحیه با مقاومت ویژه بالا (طیف رنگی قرمز تا بنفش) در فاصله ایستگاهی ۲۰۰ تا ۲۳۰ متری پروفیل و در اعماق بیش از ۳۵ متر قابل تشخیص است. همانند پروفیل های قبلی این عوارض در ارتباط با افزایش اندازه دانه های رسوبی تفسیر می شود. خطواره های مشاهده شده از مطالعات تکتونیک و مغناطیس سنجی (شکل ۴-۳) به ترتیب



معاونت اکتشاف - مدیریت اکتشافات ناحیه ای

با فلش های سیاه و قرمز رنگ در مدل وارون (شکل ۴-۱۲ پایین) مشخص شده اند. در محل خطواره های مذکور، تغییرات قابل توجهی در توزیع مقاومت ویژه قابل تشخیص نیست. با این حال، چند ناپیوستگی در این مدل مشاهده می شود که با خط چین سیاه رنگ مشخص شده اند. لذا با توجه به نتایج به دست آمده، حفر ترانشه و گمانه های رسوب شناسی ضروری به نظر می رسد.

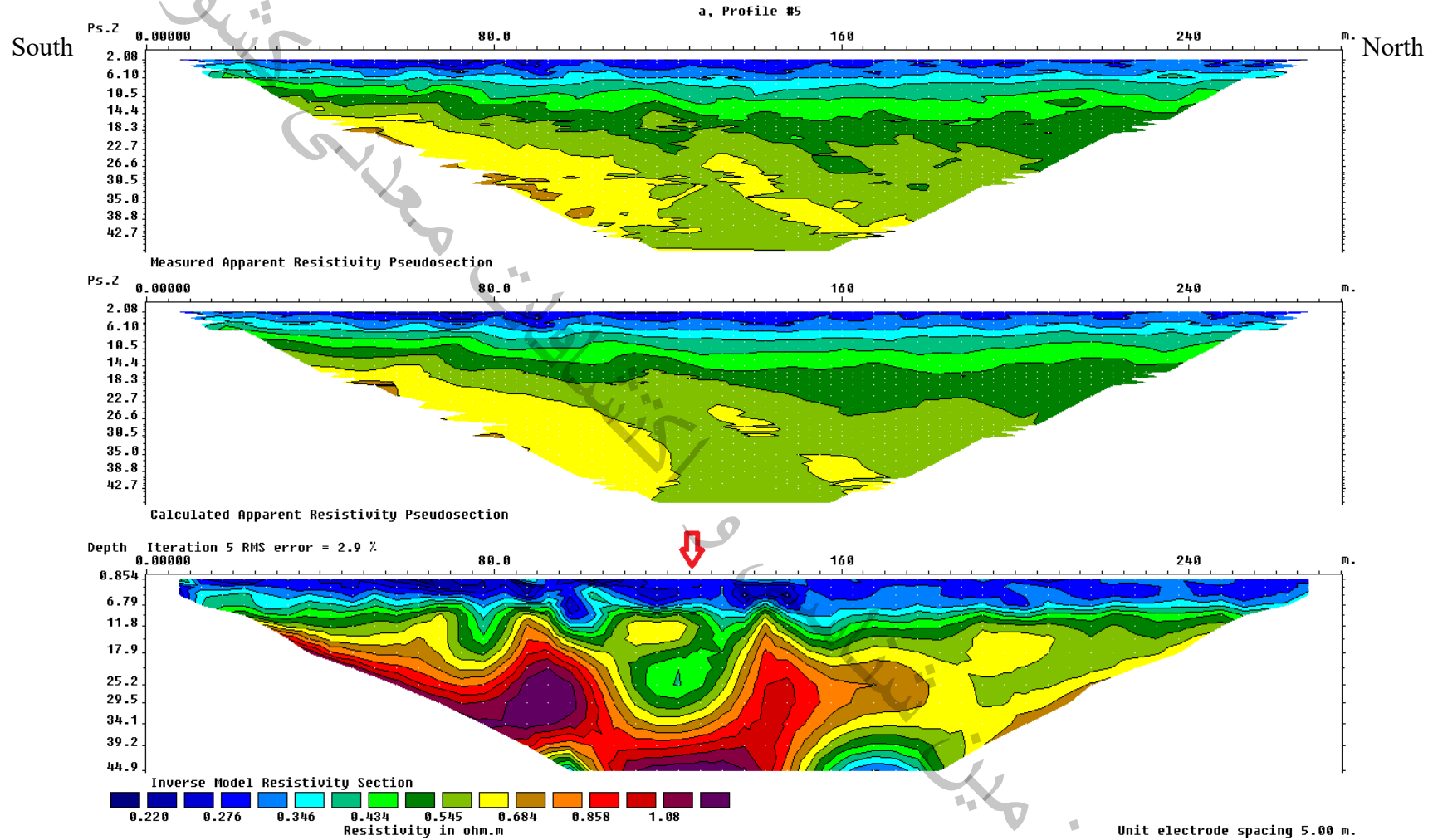


شکل ۴-۱۲: شبه مقاطع داده های اندازه گیری شده (شکل بالا)، پاسخ مدل وارون (شکل وسط) و مدل حاصل از وارون سازی دوبعدی داده ها (شکل پایین) در طول پروفیل ۴-۱. موقعیت خطواره های مشاهده شده از مطالعات تکتونیک و مغناطیس سنجی به ترتیب با فلش های مشکی و قرمز رنگ مشخص شده است.



پروفیل ۱-۵

در شکل ۴-۱۳ شبه مقاطع مقاومت ویژه ظاهری اندازه گیری شده، پاسخ مدل وارون و مدل حاصل از وارون سازی دو بعدی داده های مقاومت ویژه در طول پروفیل ۱-۵ آورده شده است. کمینه و بیشینه مقادیر مقاومت ویژه اندازه گیری شده در طول این پروفیل به ترتیب $0.23/0$ و $0.73/0$ اهم متر می باشد. همانطور که از داده های اندازه گیری شده و مدل وارون (شکل ۴-۱۳ پایین) مشاهده می شود، گستره تغییرات مقاومت ویژه در طول این پروفیل نیز بسیار پایین و مشابه پروفیل های ۱-۲ و ۱-۳ می باشد. با مقایسه موقعیت پروفیل ۱-۵ و پروفیل های مذکور در عکس هوایی منطقه (شکل ۳-۳) چنین مسئله ای مورد انتظار بوده است. این پروفیل نیز بر روی کفه های رسی اشباع از آب قرار دارد. همانند پروفیل های ۱-۲ و ۱-۳، مقاومت ویژه نهشته های سطحی تا اعماق حدودی ۱۰ الی ۱۵ متر، کمتر از $0.5/0$ اهم متر می باشد. این نواحی احتمالاً در ارتباط با کفه های رسی اشباع از آب و حاوی املاح زیاد هستند که در برخی نقاط تا اعماق بیشتر نیز گسترش می یابند. همانند پروفیل های قبلی، مقاومت ویژه نهشته های زیرسطحی با افزایش عمق، افزایش می یابد. یک ناحیه با مقاومت ویژه بالاتر از $1/5$ اهم متر (طیف رنگی قرمز تا بنفش) در فواصل ابتدایی تا ۱۵۰ متری پروفیل و در اعماق ۱۰ تا ۴۵ متری قابل تشخیص می باشد. همانند پروفیل های قبلی این عوارض در ارتباط با افزایش اندازه دانه های رسوبی تفسیر می شود. خطواره مشاهده شده از مطالعات مغناطیس سنجی (شکل ۴-۳) با فلش های قرمز رنگ در مدل وارون (شکل ۴-۱۳ پایین) مشخص شده است. در محل خطواره، تغییرات قابل توجهی در توزیع مقاومت ویژه قابل تشخیص می باشد. لذا با توجه به نتایج به دست آمده، حفر ترانشه یا گمانه های رسوب شناسی پیشنهاد می شود.



شکل ۴-۱۳: شبه مقاطع داده های اندازه گیری شده (شکل بالا)، پاسخ مدل وارون (شکل وسط) و مدل حاصل از وارون سازی دوبعدی داده ها (شکل پایین) در طول پروفیل ۱-۵. موقعیت خطواره مشاهده شده از مطالعه مغناطیس سنجی با فلش قرمز رنگ مشخص شده است.

ژئوفیزیک



۴-۲- محدودده ۲

همانطور که ذکر شد مطالعات مغناطیس سنجی و ژئوالکتریک نیز در محدودده ۲ (روستای مختار آباد) در طول دو پروفیل صورت گرفت (شکل های ۲-۳ و ۳-۴). در ادامه هر یک از این پروفیل ها که با نام های ۱-۲ و ۲-۲ نامگذاری شده اند، به صورت مجزا مورد بررسی قرار می گیرند.

۴-۲-۱- پروفیل ۱-۲

در شکل ۴-۱۴ شبه مقاطع مقاومت ویژه ظاهری اندازه گیری شده، پاسخ مدل وارون و مدل حاصل از وارون سازی دو بعدی داده های مقاومت ویژه در طول پروفیل ۱-۲ آورده شده است. کمینه و بیشینه مقادیر مقاومت ویژه اندازه گیری شده در طول این پروفیل به ترتیب ۰/۹۳ و ۸۴/۶ اهم متر می باشد. همانطور که از داده های اندازه گیری شده و مدل وارون (شکل ۴-۱۴ پایین) مشاهده می شود، گستره تغییرات مقاومت ویژه در طول این پروفیل بیشتر از پروفیل های ۱-۲ تا ۵-۱ می باشد. با این حال، نهشته های سطحی در محل این پروفیل نیز از مقاومت ویژه پایینی برخوردارند. به نحوی که نهشته های تا اعماق حدودی ۵ متری، عمدتاً دارای مقاومت ویژه کمتر از ۱ اهم متر می باشند. مقاومت ویژه نهشته های زیرسطحی در طول این پروفیل نیز با افزایش عمق، افزایش می یابد. این افزایش نسبی مقاومت ویژه با عمق همانند محدودده ۱، در ارتباط با افزایش اندازه دانه های رسوبی تفسیر می شود. علاوه بر این، یک ناحیه با مقاومت ویژه بالا (طیف رنگی سبز تا بنفش) در اعماق مدل و در فاصله ایستگاهی ۸۰ تا ۴۰۰ متری پروفیل مشاهده می شود. این بی هنجاری با مقاومت ویژه بالا مشابه یک تاقدیس در مرکز آن به سطح زمین نزدیک تر است. یک ناحیه با مقاومت ویژه پایین (طیف رنگی آبی) به شکل بارز در مرکز بی هنجاری مقاوم تاقدیسی شکل مشهود می باشد. این ناحیه با مقاومت ویژه کمتر از ۳ اهم متر در فاصله ایستگاهی ۲۴۰ تا ۲۶۰ متری پروفیل واقع شده و از نزدیک سطح تا اعماق مدل گسترش یافته است. این بی هنجاری می تواند منطبق بر یک شکستگی قابل توجه در



رسوبات دانه درشت متراکم و یا واحد سنگی عمیق در این ناحیه باشد. سایر تغییرات در توزیع مقاومت ویژه نهشته -

های زیرسطحی عمدتاً در ارتباط با تغییر اندازه دانه های رسوبی تفسیر می شود.

برای مقایسه بهتر، پروفیل شدت کل میدان مغناطیس در کنار مدل حاصل از وارون سازی دوبعدی داده های مقاومت

ویژه در شکل ۴-۱۵ به نمایش در آمده است. همانطور که مشاهده می شود، از سمت جنوب به شمال، شدت میدان

مغناطیس عمدتاً کاهش می یابد. این مسئله همانند محدوده ۱ احتمالاً در ارتباط با افزایش ضخامت رسوبات در

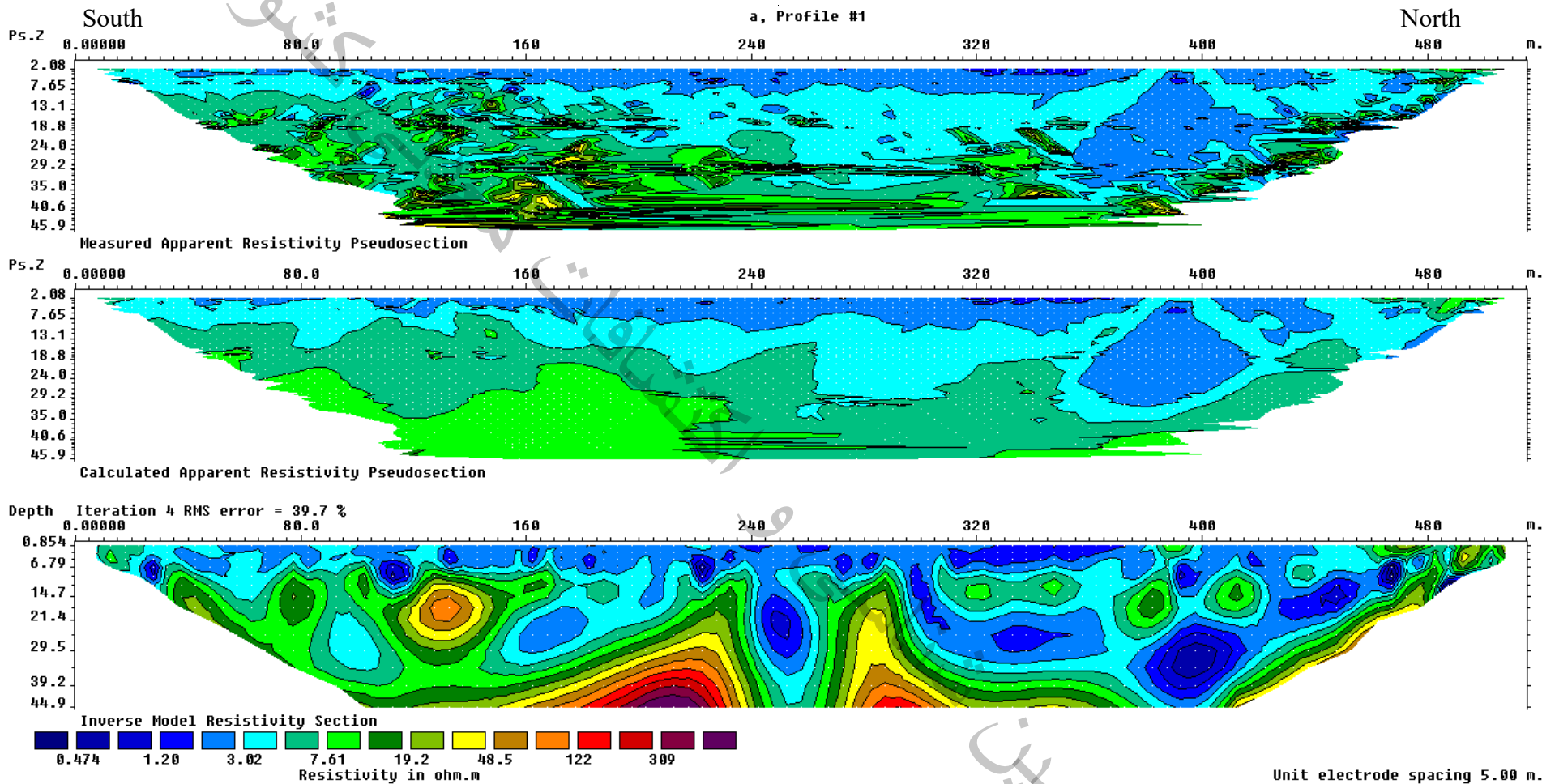
نواحی شمالی محدوده می باشد. با این حال در محل شکستگی احتمالی در مدل وارون مقاومت ویژه تغییراتی جزئی

در شدت میدان مغناطیس قابل تشخیص است. این ناحیه با فلش قرمز رنگ بر روی پروفیل شدت کل میدان مغناطیس

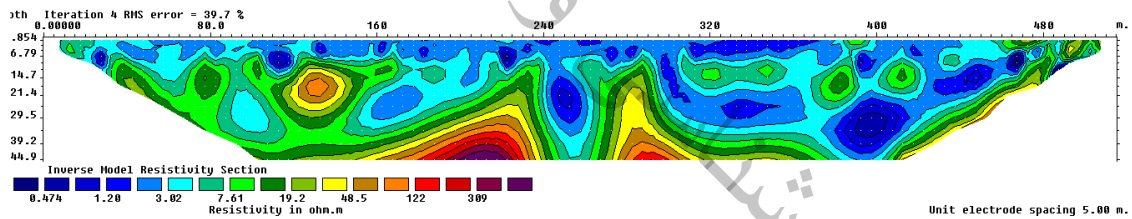
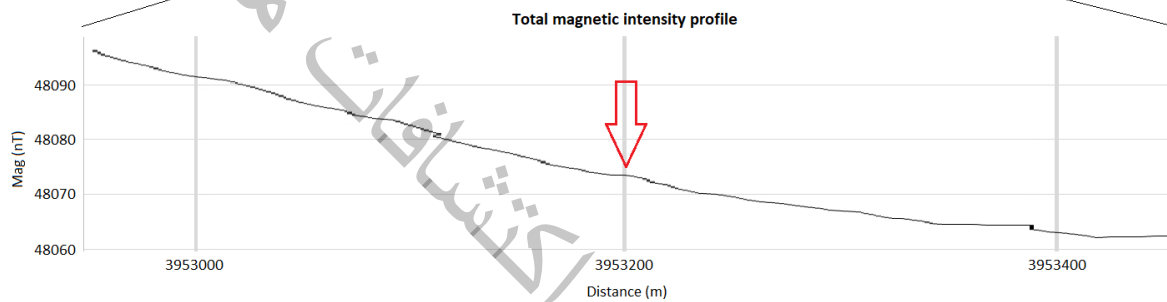
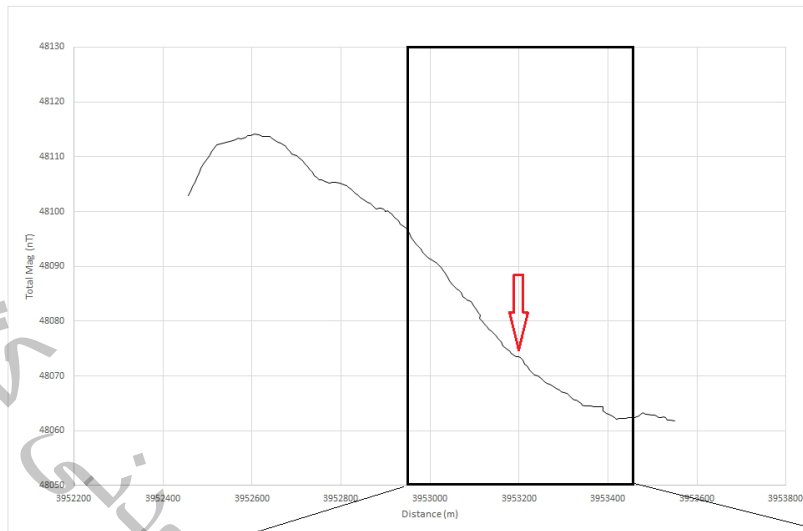
به نمایش در آمده است. هر چند که به منظور تفسیر دقیق تر، برداشت های تکمیلی مغناطیس سنجی در این محدوده

ضروری به نظر می رسد. با توجه به نتایج به دست آمده حفر ترانشه و گمانه های رسوب شناسی ضروری به نظر

می رسد.



شکل ۴-۱۴: شبه مقاطع داده های اندازه گیری شده (شکل بالا)، پاسخ مدل وارون (شکل وسط) و مدل حاصل از وارون سازی دوبعدی داده ها (شکل پایین) در طول پروفیل ۱-۲.



شکل ۴-۱۵: پروفیل شدت کل میدان مغناطیس (شکل بالا) همراه با بزرگنمایی آن در طول پروفیل مقاومت ویژه (شکل وسط) و مدل حاصل از وارون سازی دوبعدی داده های مقاومت ویژه (شکل پایین) در طول پروفیل ۲-۱. موقعیت شکستگی در مدل وارون مقاومت ویژه با فلش های قرمز رنگ در پروفیل های مغناطیس سنجی به نمایش در آمده است.

۴-۲-۲-۲ پروفیل ۲-۲

در شکل ۴-۱۶ شبه مقاطع مقاومت ویژه ظاهری اندازه گیری شده، پاسخ مدل وارون و مدل حاصل از وارون سازی دوبعدی داده های مقاومت ویژه در طول پروفیل ۲-۲ آورده شده است. کمینه و بیشینه مقادیر مقاومت ویژه اندازه گیری شده در طول این پروفیل به ترتیب $1/53$ و $18/63$ اهم متر می باشد. همانطور که از داده های اندازه گیری

ژئوفیزیک



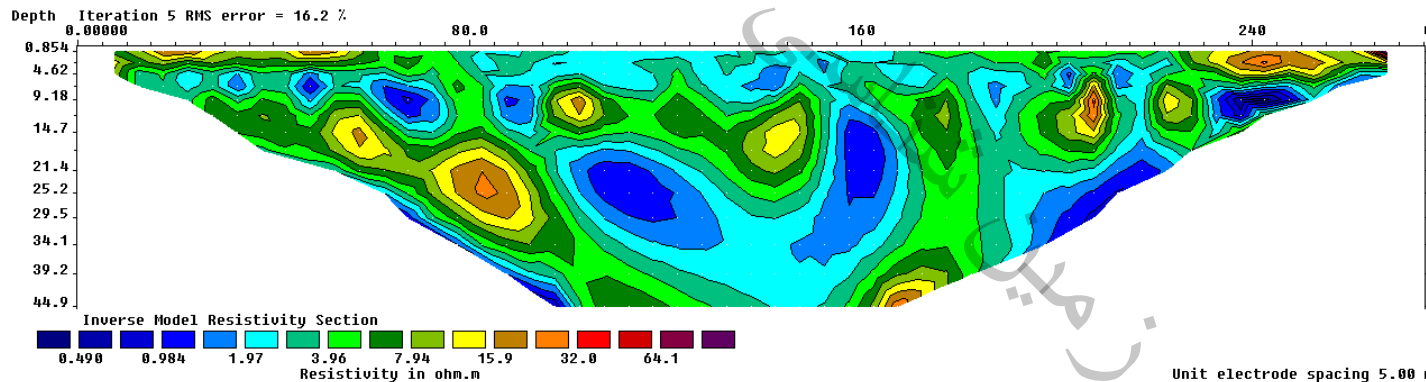
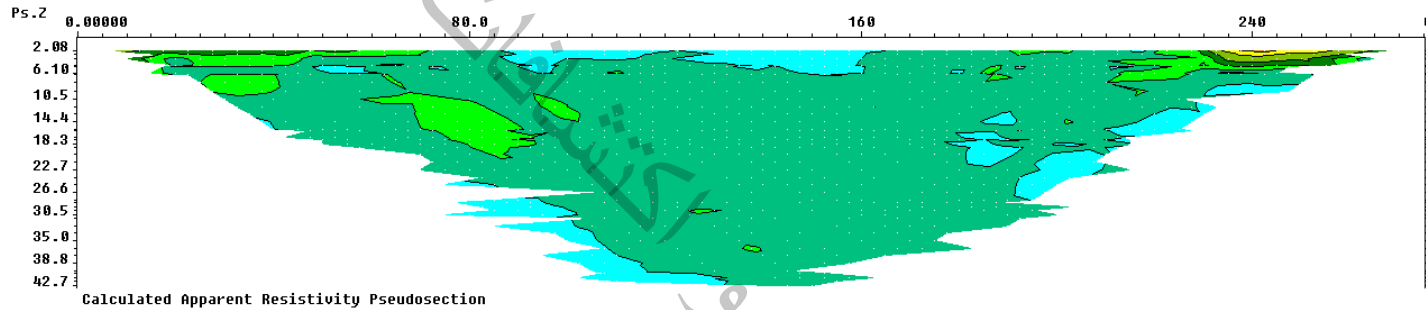
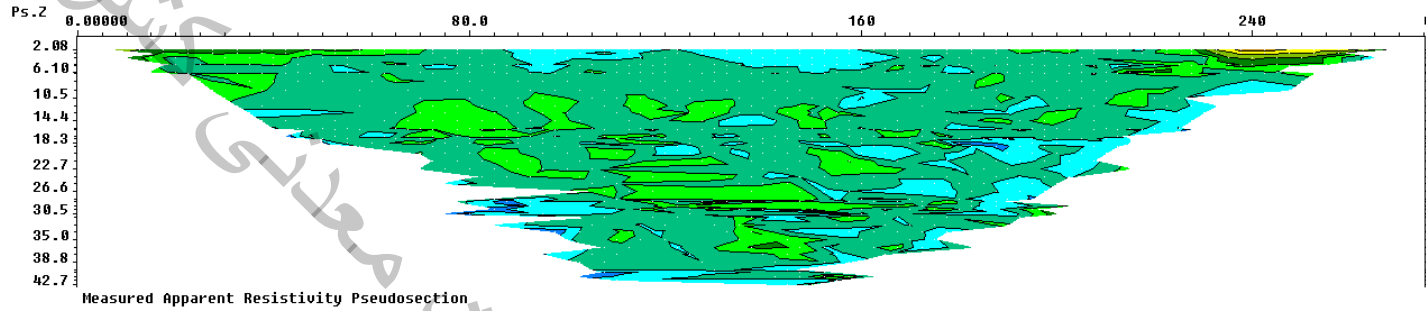
شده و مدل وارون (شکل ۴-۱۶) مشاهده می شود، گستره تغییرات مقاومت ویژه در طول این پروفیل کمتر از پروفیل ۲-۱ می باشد. با این حال، نهشته های سطحی در محل این پروفیل از مقاومت ویژه نسبی بالاتری برخوردارند. به نحوی که رسوبات واقع در اعماق کمتر از ۵ متر عمدتاً دارای مقاومت ویژه بیش از ۲ اهم متر می باشند. در طول این پروفیل نیز مقاومت ویژه نهشته های زیرسطحی با افزایش عمق، به صورت نسبی افزایش می یابد. با این حال، یک ناحیه با مقاومت ویژه پایین (طیف رنگی آبی) در فاصله ایستگاهی ۹۵ تا ۱۶۰ متری پروفیل و از اعماق ۱۰ تا ۴۵ متری مدل قابل تشخیص می باشد. علاوه بر این، تغییرات مقاومت ویژه در قسمت های مختلف مدل مشاهده می شوند. این تغییرات عمدتاً در ارتباط با تغییر اندازه در دانه های رسوبات آواری تفسیر می شوند.

برای مقایسه بهتر، پروفیل شدت کل میدان مغناطیس در کنار مدل حاصل از وارون سازی دوبعدی داده های مقاومت ویژه در شکل ۴-۱۷ به نمایش در آمده است. همانند پروفیل ۲-۱ از سمت جنوب به شمال، شدت میدان مغناطیس کاهش می یابد که احتمالاً در ارتباط با افزایش ضخامت رسوبات در نواحی شمالی است. با این حال، در محل بی‌هنجاری با مقاومت ویژه پایین (طیف رنگی آبی) تغییرات قابل توجهی در شدت میدان مغناطیس قابل تشخیص است. با توجه به نتایج به دست آمده حفر ترانشه و یا گمانه های رسوب شناسی توصیه می شود.

South

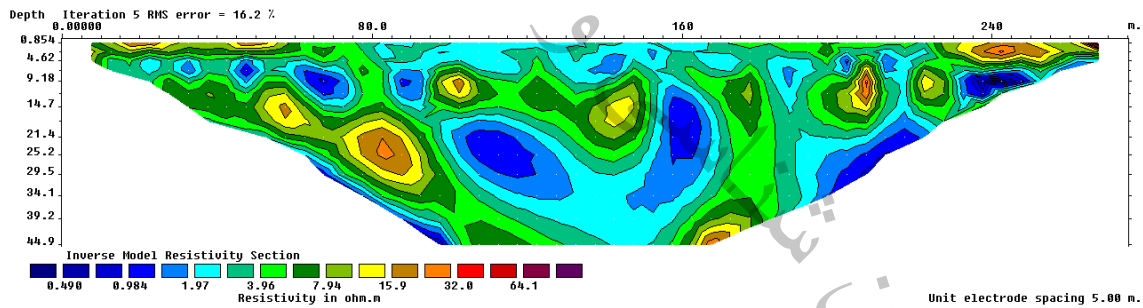
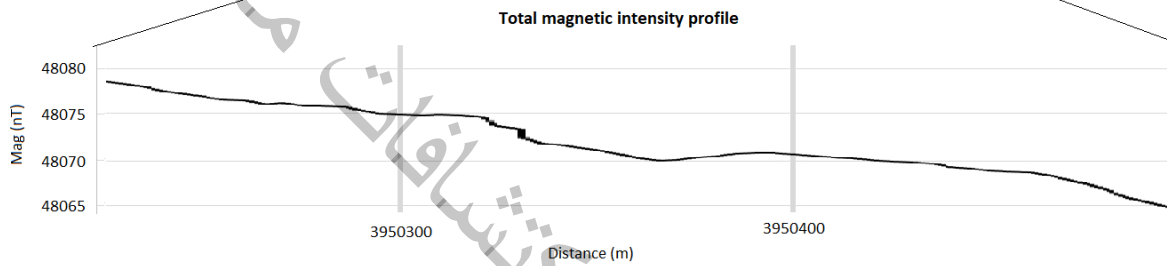
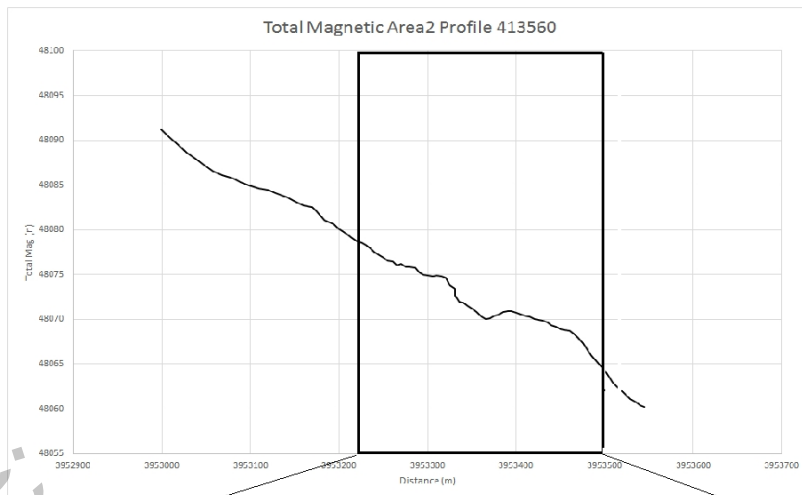
a, Profile #2

North



شکل ۴-۱۶: شبه مقاطع داده های اندازه گیری شده (شکل بالا)، پاسخ مدل وارون (شکل وسط) و مدل حاصل از وارون سازی دوبعدی داده ها (شکل پایین) در طول پروفیل ۲-۲.

ژئوفیزیک



شکل ۴-۱۷: پروفیل شدت کل میدان مغناطیس (شکل بالا) همراه با بزرگنمایی آن در طول پروفیل مقاومت ویژه (شکل وسط) و مدل حاصل از وارون سازی دوبعدی داده های مقاومت ویژه (شکل پایین) در طول پروفیل ۲-۲.

فصل پنجم

نتیجه گیری و پیشنهادات

مطالعات ژئوفیزیک به منظور آشکارسازی گسل مدفون اشتهاارد و شاخه های جوانتر آن، در فاصله رشته تا اشتهاارد و در مرز استانهای تهران و البرز صورت گرفت. بدین منظور مطالعات مغناطیس سنجی و مقاومت ویژه الکتریکی در دو محدوده انجام شد. محدوده های واقع در نزدیک رشته و مجاورت روستای مختار آباد (شکل ۱-۱) به ترتیب با شماره ۱ و ۲ نامگذاری شدند. با مشورت با کارشناس زمین شناس منطقه و در نظر گرفتن نتایج حاصل از مطالعه تکتونیک (عکس های هوایی، باز دیده های میدانی و ...)، محدوده ۱ مورد پوشش برداشت های مغناطیس سنجی قرار گرفت. نتایج حاصل از مطالعات مغناطیس سنجی چندین خطواره در این محدوده را نشان می دهد. این خطواره ها که بعضا خطواره های حاصل از مطالعات تکتونیک را تأیید می کند، می توانند در ارتباط با فعالیت های گسل اشتهاارد و شاخه های جوانتر آن باشند. بدین منظور برای ارزیابی های دقیق تر، مطالعات ژئوالکتریک بر روی خطواره های حاصل از مطالعات تکتونیک و مغناطیس سنجی صورت پذیرفت.

در محدوده ۱ برداشت داده های مقاومت ویژه بر روی پنج پروفیل با طول های ۲۳۵ متر تا ۴۰۰ متر صورت گرفت. نتایج حاصل از وارون سازی دو بعدی داده های مقاومت ویژه نشان دهنده مقاومت ویژه پایین ساختارهای زیر سطحی در محدوده مورد مطالعه است. تنها در طول پروفیل ۱-۱ (شکل ۴-۹) به دلیل حضور رسوبات آواری درشت دانه، مقداری مقاومت ویژه رسوبات سطحی افزایش یافته است. این مسئله عمدتاً ناشی از گسترش قابل توجه کفه های رسی اشباع از آب در نهشته های کم عمق محدوده مورد مطالعه می باشد. با توجه به اختلاف ارتفاع جزئی محدوده مورد مطالعه با رود شور (کمتر از ۳ متر)، به نظر می رسد که سطح ایستابی در عمق کمی

واقع است. لذا رطوبت قابل توجه رسوبات و حضور قابل توجه املاح در آب، دلیل اصلی مقاومت ویژه پایین مشاهده شده در طول پروفیل های ۱-۲ و ۱-۵ می باشد. این مسئله سبب شده است که آشکارسازی تغییرات مقاومت ویژه در رسوبات رسی محدوده به چالشی جدی تبدیل شود. تقریباً در همه پروفیل های برداشتی، مقاومت ویژه نهشته های زیرسطحی با افزایش عمق، افزایش می یابد. این مسئله در ارتباط با افزایش اندازه دانه های رسوبی و تغییر جنس آنها تفسیر شد. با این حال، چند ناحیه با تغییرات جزئی مقاومت ویژه در مدل های حاصل از وارون سازی داده های مقاومت ویژه مشاهده شد. این نواحی که عمدتاً از انطباق خوبی با خطواره های مغناطیس سنجی برخوردارند، احتمالاً در ارتباط با گسیختگی های موجود در نهشته های زیرسطحی هستند. فعالیت های جوان گسل اشتهارد می تواند چنین گسیختگی هایی را سبب شود.

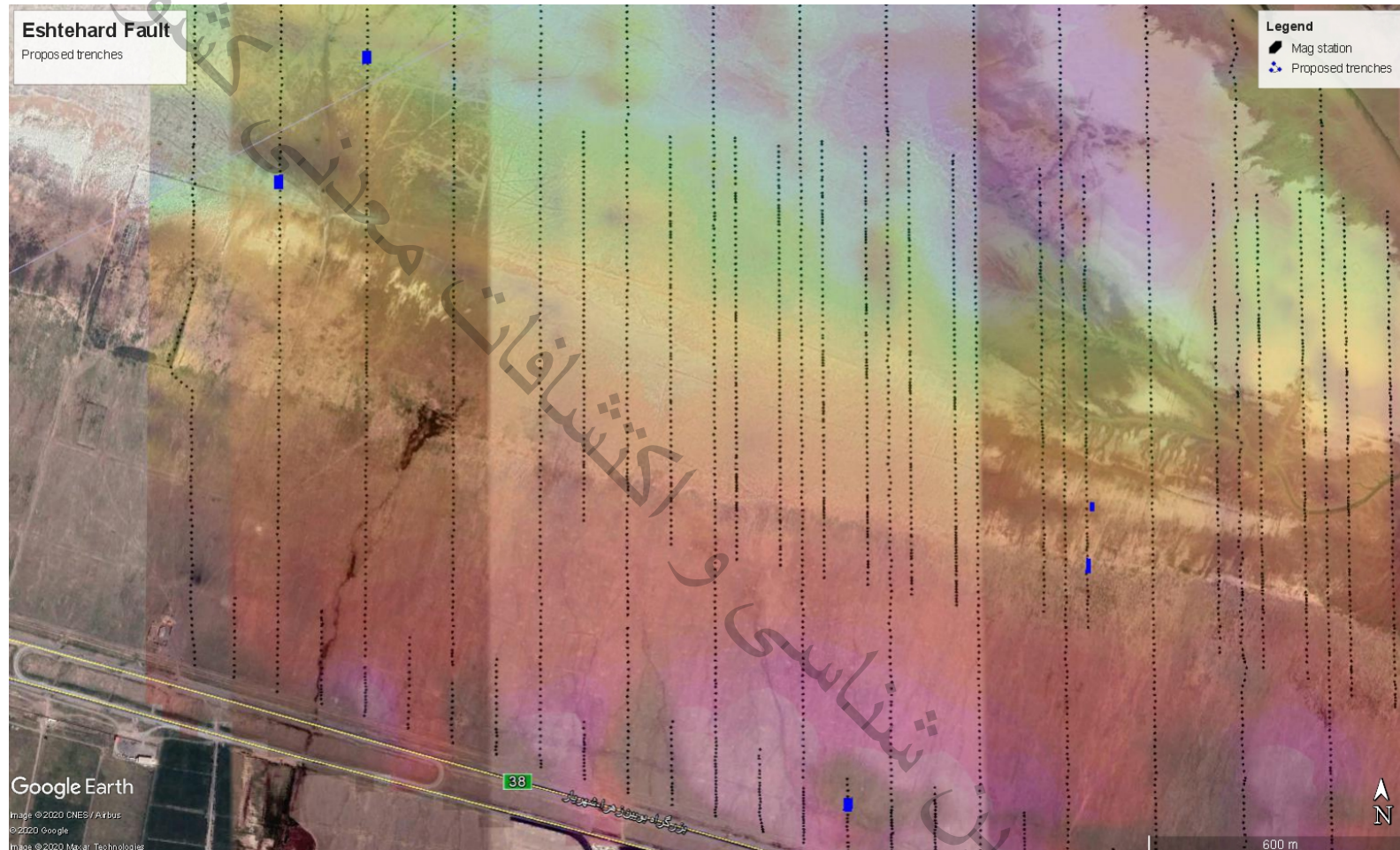
در محدوده ۲، دو پروفیل با روش های مقاومت ویژه و مغناطیس سنجی مورد مطالعه قرار گرفت. در مدل حاصل از وارون سازی داده های مقاومت ویژه در طول پروفیل ۱-۲ (شکل ۴-۱۵)، یک بی هنجاری با مقاومت ویژه پایین در مرکز یک ناحیه با مقاومت ویژه بالای تاقدیسی شکل مشاهده می شود. چنین بی هنجاری هایی می توانند در ارتباط با شکستگی های قابل توجه باشند که در نهشته های رسوبی و واحدهای سنگی ایجاد شده اند. با این حال، تغییرات شدت میدان مغناطیس در محل شکستگی مزبور، ناچیز بوده است.

به منظور تأیید نتایج حاصل از مطالعات ژئوفیزیک حفر چند ترانشه حفاری پیشنهاد می شود. مشخصات ترانشه های حفاری به ترتیب اولویت در جدول ۵-۱ آورده شده و موقعیت آنها بر روی عکس هوایی منطقه در شکل های ۱-۵ و ۲-۵ به نمایش در آمده اند. با توجه به عمق نسبتاً بالای گسیختگی های مشاهده شده در مدل های مقاومت ویژه، حد اقل عمق برای حفر ترانشه های مطالعاتی، پیشنهاد شده است. لذا با توجه به محدودیت احتمالی حفر ترانشه در چنین اعماقی، می توان از حفاری های رسوب شناسی به عنوان روش جایگزین استفاده کرد. با توجه به گسترش رسوبات رسی در این منطقه، حفاری های اینچینی بسیار کم هزینه تر خواهد بود.

لازم به توضیح است که عمق مطالعات ژئوالکتریک در این محدوده بیش از ۵۰ متر نبوده است. چنین عمقی به منظور آشکارسازی شکستگی و گسلش در واحد های سنگی کافی نیست. از این رو، به منظور دستیابی به نتایج جامع تر و تفسیر منطقی از ساختارهای زیر سطحی، ادامه مطالعات ژئوالکتریک به منظور مدل کردن اعماق بیشتر، ضروری به نظر می رسد. همچنین تکمیل مطالعات مغناطیس سنجی در محدوده ۲ نیز می تواند مد نظر قرار گیرد. به دلیل عمق نفوذ پایین امواج الکترومغناطیس در ساختارهای با مقاومت ویژه پایین محدوده مورد مطالعه، امکان استفاده از روش رادار نفوذی به زمین (GPR) در این مطالعه میسر نشد. لذا در صورت نیاز می توان از روش لرزه نگاری بازتابی با قدرت تفکیک بالا، به منظور تشخیص جابه جایی ها در لایه های رسوبی بهره برد.

جدول ۵-۲: مشخصات ترانشه های پیشنهادی همراه با موقعیت ابتدا و انتهای آنها در سیستم مختصات UTM با استاندارد WGS84

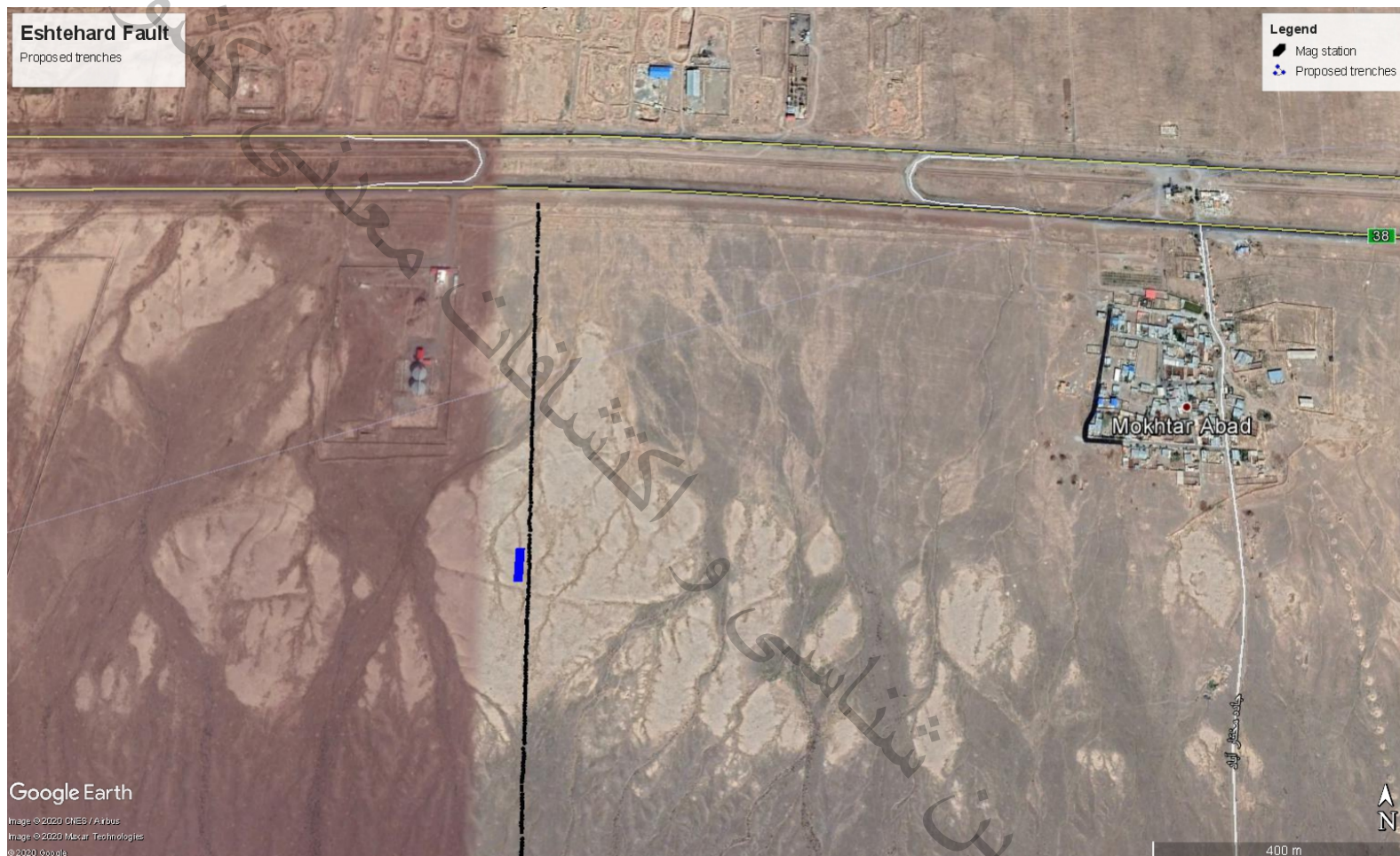
Profile	Stations	Start		End		Depth (m)	Priority
	Start-End	X (utm)	Y (utm)	X (utm)	Y (utm)		
1-1	130-160	472300	3953373	472300	3953403	10	5
1-2	70-100	470999	3954790	470999	3954820	10	6
1-3	60-90	471200	3955078	471200	3955108	10	7
1-4	60-90	472852	3953910	472853	3953940	10	4
1-4	200-220	472862	3954049	472863	3954069	15	2
1-5	70-150	472800	3954514	472800	3954594	15	3
2-1	230-280	451236	3953173	451238	3953223	15	1



شکل ۵-۱: محل ترانشه های پیشنهادی (خطوط آبی رنگ) همراه با ایستگاه های مغناطیس سنجی (نقاط سیاه رنگ) بر روی نقشه برگردان به قطب (با شفافیت ۷۰٪) و تصویر هوایی (برگرفته از نرم افزار

Google Earth) محدوده ۱

ژئوفیزیک



شکل ۵-۲: محل ترانشه های پیشنهادی (خطوط آبی رنگ) همراه با ایستگاه های مغناطیس سنجی (نقاط سیاه رنگ) بر روی تصویر هوایی (برگرفته از نرم افزار Google Earth) محدوده ۲

سپاسگزاری

از دکتر علیرضا عامری (مدیر کل دفتر اکتشافات ناحیه ای) به خاطر مساعدت در انجام مطالعه، مهندس فیروز جعفری (رئیس گروه ژئوفیزیک) و مهندس سپیده صمیمی (کارشناس ژئوفیزیک) بخاطر داوری گزارش حاضر و ارائه نقطه نظراتشان قدردانی می شود. در انجام این مطالعه، آقای مهندس ابراهیم ترک و مهندس حسام غلامی به عنوان کارشناس با گروه همکاری داشته اند که از ایشان صمیمانه سپاسگزاری می شود. همچنین از دکتر حمید نظری معاونت پژوهشکده علوم زمین که پیگیر انجام مطالعه حاضر بوده اند و همکاری مهندس محمود ناوور نویری (زمین شناس تکتونیک محدوده) سپاسگزاری می شود.