



دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد ژئوفیزیک

مدل سازی عددی معکوس داده‌های مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی در
اکتشاف کانسار مس پرفیری در منطقه انار

دانشجو

مریم تلافیان

اساتید راهنما

دکتر علی مرادزاده

دکتر ایرج پیروز

مشاور

مهندس علی رضا عرب امیری

تیر ۱۳۸۷

چکیده

این پژوهش شامل انجام عملیات مدل سازی عددی وارون بر روی داده های برداشت شده در نزدیکی شهرستان انار در استان کرمان می باشد. روش ژئوفیزیکی منتخب برای اکتشاف مس در این ناحیه، روش مقاومت سنجی و قطبش القایی با به کار گیری آرایش دوقطبی-دوقطبی می باشد که در مجموع داده ها بر روی سه پروفیل تقریبا موازی برداشت گردیده اند. از آن جهت که از هر پروفیل اطلاعات محدودی به دست می آید و این اطلاعات باید به حجم وسیعی از منطقه تعمیم داده شوند، لذا هدف اصلی در این پروژه انجام عملیات مدل سازی و در نهایت ارائه یک مدل نهایی با توجه به توپوگرافی و زمین شناسی و سوابق معدنکاری قدیمی در منطقه مورد نظر در جهت اکتشاف مس پرفیری می باشد. در این تحقیق، عملیات مدل سازی معکوس توسط دو نرم افزار RES2DINV و RESIXIP2DI صورت گرفته است. با نرم افزار RES2DINV مدل سازی معکوس هموار و با RESIXIP2DI مدل سازی معکوس و به روش پارامتری انجام می گیرد. این پژوهش می کوشد با بررسی و مقایسه دو شیوه مذکور، در جهت درک بهتر از مزایا و معایب هر یک از روشهای مذکور و کمک به انتخاب درست در شرایط مختلف گام بردارد. پس از انجام عملیات مدل سازی بر روی سه پروفیل مقاومت ویژه و قطبش القایی و تهیه شبه مقاطع مربوط به مدل نهایی دو ناحیه امید بخش معرفی گردیدند که اولویت اول مربوط به یک آنومالی در ۲۰۰ متری از ابتدای پروفیل مهر ۲ می باشد و اولویت دوم مربوط به یک آنومالی با گسترش ۱۲۰ متر و ضخامت قابل ملاحظه در ابتدای پروفیل مهر ۳ می باشد.

فصل اول: کلیات

۲

۱-۱ مقدمه

۳

۱-۲ روش مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی

- ۴ ۳-۱ هدف پایان نامه و روش تحقیق
- ۴ ۴-۱ ساختار پایان نامه

فصل دوم: مبانی اندازه گیریهای مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی

- ۷ ۱-۲ مقدمه
- ۷ ۲-۲ اندازه گیری مقاومت ویژه الکتریکی زمین
- ۱۱ ۳-۲ پدیده و روش پلاریزاسیون القایی
- ۱۲ ۱-۳-۲ قطبش غشایی
- ۱۴ ۲-۳-۲ قطبش الکترودی
- ۱۵ ۳-۳-۲ انواع روش های IP
- ۱۷ ۴-۳-۲ روش های اندازه گیری پلاریزاسیون القایی در حوزه زمان
- ۱۹ ۵-۳-۲ تجهیزات مورد استفاده در IP
- ۱۹ ۴-۲ آرایش های مورد استفاده در عملیات صحرائی مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی
- ۲۱ ۱-۴-۲ روش دوقطبی - دوقطبی

فصل سوم: کلیات مدلسازی

- ۲۶ ۱-۳ مقدمه
- ۲۶ ۲-۳ روش های مدل سازی
- ۲۶ ۱-۲-۳ مدل سازی فیزیکی
- ۲۶ ۲-۲-۳ مدل سازی عددی
- ۲۷ ۳-۳ مدل سازی پیشرو
- ۲۸ ۴-۳ مدل سازی معکوس
- ۳۲ ۱-۴-۳ روش های عددی برای حل مسائل معکوس سازی
- ۳۳ ۲-۴-۳ روش کمترین مربعات

۳۵	۳-۴-۳ مدل سازی معکوس پارامتری
۳۷	۴-۴-۳ مدل سازی معکوس هموار
۴۰	۵-۳ معرفی نرم افزارهای به کار برده شده در پایان نامه

فصل چهارم: مدل سازی معکوس داده های مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی و تفسیر نتایج

حاصل

۴۶	۱-۴ مقدمه
۴۶	۲-۴ موقعیت جغرافیایی و راههای در دسترس
۴۸	۳-۴ زمین شناسی عمومی محدوده مورد مطالعه
۵۲	۴-۴ کانه زائی معدنی در منطقه انار
۵۳	۵-۴ سوابق بررسی ها و مطالعات انجام شده در ناحیه مورد مطالعه
۵۴	۶-۴ عملیات صحرایی
۵۶	۷-۴ ارائه داده های برداشت شده و تفسیر کیفی آنها
۶۲	۸-۴ مدل سازی معکوس دو بعدی و تفسیر کمی نتایج حاصل
۶۲	۱-۸-۴ مدل سازی داده های پروفیل مهر ۱
۷۱	۲-۸-۴ مدل سازی داده های پروفیل مهر ۲
۷۹	۳-۸-۴ مدل سازی داده های پروفیل مهر ۳

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۸۸	۱-۵ نتیجه گیری
۸۹	۲-۵ پیشنهادات
۹۱	فهرست منابع و مآخذ
۹۴	عنوان و چکیده پایان نامه به انگلیسی

فهرست اشکال

- شکل (۱-۲): چگونگی اندازه گیری مقاومت ویژه در روش ژئوالکتریک ۹
- شکل (۲-۲): شمائی از لایه ثابت ولایه غیر منسجم در سطح مشترک ۱۳

- شکل (۳-۲): اثرات پلاریزاسیون غشایی والکتروودی (الف) پراکندگی نرمال الکترونها در ماسه سنگ متخلخل
- (ب) شمایی کلی از قطبش غشایی در ماسه سنگ متخلخل (ج) پلاریزاسیون الکتروودی ۱۶
- شکل (۴-۲): مقایسه V_t با V_c در اندازه گیری اثر IP حوزه زمان ۱۷
- شکل (۵-۲): روش های تعیین انتگرال زمان واپاشی در اندازه گیری های IP در حوزه زمان ۱۸
- شکل (۶-۲): شمایی کلی از دستگاه SAS1000 (دستگاه مورد استفاده در برداشت داده های Resistivity و IP) ۲۱
- شکل (۷-۲): شمایی کلی از شبکه برداشت دوقطبی - دوقطبی ۲۴
- شکل (۱-۴): حدود قرار گیری منطقه مورد نظر و نقشه راه های دسترسی به منطقه شکل ۴۷
- شکل (۲-۴-الف): نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ منطقه انار و نمایش محدوده برداشت ۴۹
- شکل (۲-۴-ب): راهنمای نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ انار ۵۰
- شکل (۳-۴) نقشه توپوگرافی منطقه به همراه راستای پروفیل ها ۵۵
- شکل (۴-۴) شبه مقاطع داده های مشاهده شده پروفیل مهر ۱ تهیه شده توسط نرم افزار RESIXIP2DI، (الف) مقاومت ویژه، (ب) بار پذیری ۵۹
- شکل (۵-۴) شبه مقاطع داده های مشاهده شده پروفیل مهر ۲ تهیه شده توسط نرم افزار Resixip2di، (الف) مقاومت ویژه، (ب) بار پذیری ۶۰
- شکل (۶-۴) شبه مقاطع داده های مشاهده شده پروفیل مهر ۳ تهیه شده توسط نرم افزار RESIXIP2DI، (الف) مقاومت ویژه (ب) بار پذیری ۶۱
- شکل (۷-۴) نتایج مدل سازی هموار دوبعدی داده های مقاومت ویژه توسط نرم افزار RESIXIP2DI برای پروفیل مهر ۱ (الف)، شبه مقطع داده های مشاهده شده، (ب) شبه مقطع حاصل از مدل سازی، (ج) شبه مقطع حاصل از مدل سازی هموار (مدل زونگ) همراه با نمایش توپوگرافی ۶۳
- شکل (۸-۴) نتایج مدل سازی هموار دوبعدی داده های IP توسط نرم افزار RESIXIP2DI برای پروفیل مهر ۱، (الف) شبه مقطع داده های مشاهده شده، (ب) شبه مقطع حاصل از مدل سازی، (ج) شبه مقطع بارپذیری حاصل از مدل سازی هموار (مدل زونگ) همراه با نمایش توپوگرافی ۶۴

شکل (۹-۴) نتایج مدل سازی هموار داده های مقاومت ویژه توسط نرم افزار RES2DINV برای پروفیل مهر ۱، (الف) شبه مقطع داده های مشاهده شده، (ب) شبه مقطع حاصل از مدل سازی، (ج) شبه مقطع مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی معکوس

۶۷

شکل (۱۰-۴) نتایج مدل سازی هموار داده های IP توسط نرم افزار RES2DINV برای پروفیل مهر ۱ (الف) شبه مقطع داده های مشاهده شده، (ب) شبه مقطع حاصل از مدل سازی، (ج) شبه مقطع بارپذیری حاصل از مدل سازی معکوس

۶۸

شکل (۱۱-۴) نتایج مدل سازی هموار داده های (الف) مقاومت ویژه و (ب) IP توسط نرم افزار RES2DINV برای پروفیل مهر ۱ به همراه نمایش توپوگرافی پروفیل

۶۹

شکل (۱۲-۴) مدل پلیگون حاصل از مدل سازی پارامتری توسط نرم افزار RESIXIP2DI برای داده های مقاومت ویژه و IP پروفیل مهر ۱

۷۰

شکل (۱۳-۴) نتایج مدل سازی هموار دوبعدی داده های مقاومت ویژه توسط نرم افزار RESIXIP2DI برای پروفیل مهر ۲، (الف) شبه مقطع داده های مشاهده شده، (ب) شبه مقطع حاصل از مدل سازی (ج) شبه مقطع حاصل از مدل سازی هموار (مدل زونگ) همراه با نمایش توپوگرافی

۷۲

شکل (۱۴-۴) نتایج مدل سازی هموار دوبعدی داده های IP توسط نرم افزار RESIXIP2DI برای پروفیل مهر ۲، (الف) شبه مقطع داده های مشاهده شده، (ب) شبه مقطع حاصل از مدل سازی (ج) شبه مقطع بارپذیری حاصل از مدل سازی هموار (مدل زونگ) همراه با نمایش توپوگرافی

۷۳

شکل (۱۵-۴) نتایج مدل سازی هموار داده های مقاومت ویژه توسط نرم افزار RES2DINV برای پروفیل مهر ۲، (الف) شبه مقطع داده های مشاهده شده، (ب) شبه مقطع حاصل از مدل سازی، (ج) شبه مقطع مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی معکوس

۷۵

شکل (۱۶-۴) نتایج مدل سازی هموار داده های IP توسط نرم افزار RES2DINV برای پروفیل مهر ۲ (الف)، شبه مقطع داده های مشاهده شده (ب)، شبه مقطع حاصل از مدل سازی (ج) شبه مقطع بارپذیری حاصل از مدل سازی معکوس

۷۶

شکل (۱۷-۴) نتایج مدل سازی هموار داده های (الف) مقاومت ویژه و (ب) IP توسط نرم افزار RES2DINV برای پروفیل مهر ۲ به همراه نمایش توپوگرافی پروفیل

۷۷

شکل (۴-۱۸) مدل پلیگون حاصل از مدل سازی پارامتری توسط نرم افزار RESIXIP2DI برای داده های مقاومت ویژه و IP پروفیل مهر ۲

۷۸

شکل (۴-۱۹) نتایج مدل سازی هموار دوبعدی داده های مقاومت ویژه توسط نرم افزار RESIXIP2DI برای پروفیل مهر ۳، (الف) شبه مقطع داده های مشاهده شده، (ب) شبه مقطع حاصل از مدل سازی (ج) شبه مقطع حاصل از مدل سازی هموار (مدل زونگ) همراه با نمایش توپوگرافی

۸۰

شکل (۴-۲۰) نتایج مدل سازی هموار دوبعدی داده های IP توسط نرم افزار RESIXIP2DI برای پروفیل مهر ۳، (الف) شبه مقطع داده های مشاهده شده، (ب) شبه مقطع حاصل از مدل سازی، (ج) شبه مقطع بارپذیری حاصل از مدل سازی هموار (مدل زونگ)

۸۱

شکل (۴-۲۱) نتایج مدل سازی هموار داده های مقاومت ویژه توسط نرم افزار RES2DINV برای پروفیل مهر ۳، (الف) شبه مقطع داده های مشاهده شده، (ب) شبه مقطع حاصل از مدل سازی (ج) شبه مقطع مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی معکوس

۸۳

شکل (۴-۲۲) نتایج مدل سازی هموار داده های IP توسط نرم افزار RES2DINV برای پروفیل مهر ۳، (الف) شبه مقطع داده های مشاهده شده، (ب) شبه مقطع حاصل از مدل سازی، (ج) مقطع بارپذیری حاصل از مدل سازی معکوس

۸۴

شکل (۴-۲۳) نتایج مدل سازی هموار داده های (الف) مقاومت ویژه و (ب) IP توسط نرم افزار RES2DINV برای پروفیل مهر ۳ به همراه نمایش توپوگرافی پروفیل

۸۵

شکل (۴-۲۴) مدل پلیگون حاصل از مدل سازی پارامتری توسط نرم افزار RESIXIP2DI برای داده های مقاومت ویژه و IP پروفیل مهر ۳

۸۶

فهرست جداول

- جدول (۱-۲) مقاومت ویژه بر حسب (Ωm) بعضی از سنگ‌ها و کانی‌ها و مواد معدنی متداول ۱۰
- جدول (۲-۲): بارپذیری IP در مواد گوناگون ۲۰
- جدول (۱-۴): مختصات ناحیه ثبت شده ۴۸
- جدول (۲-۴): آنومالی های حاصل از مدل سازی پارامتری برای پروفیل مهر ۱ ۷۰
- جدول (۴-۶): آنومالی های حاصل از مدل سازی پارامتری برای پروفیل مهر ۲ ۷۸
- جدول (۴-۷) آنومالی های حاصل از مدل سازی پارامتری برای پروفیل مهر ۳ ۸۶

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه

ژئوفیزیک به معنای عام دربرگیرنده کاربرد فیزیک در بررسی و شناخت زمین و محیط اطراف آن است. از آنجا که این تعریف شامل هواشناسی، فیزیک یونسفر و دیگر شاخه های علوم جوی نیز می باشد، اغلب از مطالعات داخل زمین از سطح تا هسته داخلی به عنوان ژئوفیزیک زمین جامد یاد می شود. ژئوفیزیک مانند بسیاری از علوم به دو بخش محض و کاربردی تقسیم می شود که بخش محض شامل مطالعه فیزیکی تمام یا گستره وسیعی از کره زمین می باشد و بخش کاربردی که با استفاده از آن می توان پدیده های پیچیده طبیعی زمین، ساختمان های زمین شناسی و زمین ساخت منطقه را شناسایی نمود. روش های ژئوفیزیکی بر پایه ارزیابی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی زمین استوار است (Telford et al., 1991).

ژئوفیزیک کاربردی در گستره وسیعی به کار گرفته می شود و با متخصصان گوناگونی در زمینه های زمین شناسی، معدن و فیزیک و دیگر علوم همکاری دارد. از تعیین ضخامت پوسته در اکتشافات نفت، بررسی ساختارهای کم عمق برای مکان یابی محل مناسب برای سد و سازه های متوسط و عظیم، مخازن آب زیرزمینی، بررسی حفره ها، کابل ها و لوله ها در تاسیسات شهری، معادن و منابع اقتصادی زیرزمینی تا بررسی های باستان شناسی و زیست محیطی، ژئوفیزیک حضوری پررنگ و گاه محوری را ایفا می کند. در این میان ردیابی و مکان یابی کانسارها یکی از قدیمی ترین و آشناترین خدمات این علم است. ژئوفیزیک برای انجام طیف وسیع مأموریت هایش مجهز به روش های گوناگون بر پایه ویژگی های فیزیکی زمین است. روش های گرانی سنجی، مغناطیس سنجی، لرزه نگاری، ژئو الکتریک، و الکترومغناطیس و دیگر روش های جانبی، از آن جمله اند که هر یک درحوزه ای خاص به صورت منفرد یا ترکیبی با روش های دیگر کاربرد دارند (Telford et al., 1991).

در میان روش های مذکور، روش های الکتریکی و الکترومغناطیسی گستره ای وسیع از انواع تکنیک های متنوع را شامل می شوند که در نهایت اغلب به دنبال تعیین مقاومت الکتریکی سنگ ها می باشند.

روش های الکتریکی با تکیه بر شارش جریان پایای یک سویه یا سینوسی و روش های الکترومغناطیسی به کمک القای الکترومغناطیسی یا انتشار امواج الکترومغناطیس در سطح زمین مورد مطالعه و سپس مطالعه چگونگی رفتار امواج منتشر شده در راه شناخت زمین گام برمی دارند.

به طور کلی در میان روش های ژئوفیزیکی، روش های الکتریکی جزء مهمترین روش های به کار گرفته شده در اکتشاف ذخایر معدنی می باشند. سولفید های پراکنده معمولاً به کمک قطبش القایی^۱ IP مورد اکتشاف قرار می گیرند و سولفیدهای توده‌ای بوسیله روشی که آن را القا الکترومغناطیسی^۲ EMI می خوانند، به صورت زمینی و هوایی مورد اکتشاف قرار می گیرند. با توجه به این مطلب که در این پژوهش هدف مورد بررسی مس افشان (پرفیری) می باشد از دو روش مقاومت ویژه و IP به طور همزمان برای اکتشاف استفاده شده است.

همچنین باید در نظر داشت که داده های برداشتی حتی پس از رسم شبه مقاطع ظاهری اطلاعات چندانی از واقعیت زمین در اختیار ما قرار نمی دهند. روش های ساده تفسیر نیز کمک چندانی به ما نمی کنند. بنابراین لزوم انجام مدل سازی عددی منطبق بر داده های صحرائی بیش از پیش آشکار می گردد. از طرفی عدم شناخت و توجه به توانایی ها و محدودیت های روش های گوناگون مدل سازی از جمله هموار و پارامتری می تواند به ارائه مدل هایی موهوم بیانجامد. تحقیق حاضر تلاش می کند با ارائه تصویری واقعی از محدودیت های ذاتی و توانایی های نسبی وارون سازی و عملکرد نرم افزارهای تجاری معروف در این زمینه RES2DINV و RESIXIP2DI، راه را برای انجام تفسیری واقع بینانه و قدرتمند از داده های ژئوالکتریک بگشاید.

۱-۲ روش مقاومت ویژه و قطبش القایی

آزمایشات صحرائی کنراد شلومبرژه در سال ۱۹۱۲ منجر به ابداع روش مقاومت ویژه گشته و انتشار نتیجه تحقیقاتش در سال ۱۹۲۰ سبب افزایش کاربردهای اقتصادی اولیه این روش شد. در پی آن استفاده از این روش در سال ۱۹۲۳ منجر به کشف گاز در کشور رومانی گردید و همچنین با استفاده از این روش، گنبد های نمکی فرانسه در سال ۱۹۲۶ کشف گردید (فرزاد مهدوی، ۱۳۸۳).

هدف اصلی این روش، اندازه گیری مقاومت ویژه الکتریکی زمین می باشد. در این روش برای مشخص شدن ویژگی ساختار زیرسطحی، باید مقاومت ویژه الکتریکی آن متفاوت از محیط اطرافش باشد.

^۱Induced Polarization

^۲ Induction electromagnetic

روش قطبش القایی برای اکتشاف کانی های فلزات جلادار سولفیدی پراکنده (افشان) و کانی های رسی و زئولیت ها بسیار مناسب می باشد، این روش کاربرد وسیعی در اکتشاف فلزات پایه دارد و همچنین عمق نفوذ آن به طور تقریبی از عمق ۵۰ متری تا ۲۰۰ متری می باشد. این روش در آشکارسازی آنومالی های سولفیدی پراکنده نسبت به سولفیدهای توده ای بهتر عمل می نماید (Okan, 2002).

پدیده IP برای اولین بار توسط کنراد شولمبرژه گزارش شد، این روش اول بار در اواخر ۱۹۴۰ وسیعاً برای اکتشاف ذخایر سولفیدی افشان بکار گرفته شد تا سال ۱۹۵۰ اندازه گیری ها با استفاده از این روش در حوزه زمان صورت می گرفت (Siegel, 1959) در دهه ۱۹۶۰ از این روش بطور گسترده در اکتشافات ژئوفیزیکی معدنی زمین پایه استفاده شده است. روش قطبش القایی در صنعت معدنکاری از سال ۱۹۵۰ و در کاربردهای دیگر از سال ۱۹۷۰ استفاده شده است و اخیراً نیز جهت کاربردهای ژئو تکنیکی معروفیت و اهمیت پیدا نموده است (کلاگری، ۱۳۷۱).

۳-۱ هدف پایان نامه و روش تحقیق

هدف اصلی در این پایان نامه مدل سازی معکوس دوبعدی داده های مقاومت ویژه و قطبش القایی به دو روش هموار و پارامتری با نرم افزارهای RES2DINV و RESIXIP2DI برای یافتن محل قرارگیری آنومالی های مربوط به کانسار مس پرفیری در منطقه ای در نزدیکی شهرستان انار در استان کرمان می باشد که با توجه به ساخت و بافت کانسار ابتدا برای یافتن محل تقریبی قرارگیری آنومالی های مورد نظر مدل سازی معکوس هموار صورت گرفته و سپس برای تعیین بهتر هندسه آنومالی ها و محل های حفاری، مدل سازی پارامتری داده ها صورت خواهد گرفت.

۴-۱ ساختار پایان نامه

ابتدا در فصل دوم به ارائه کلیاتی از روش ژئوالکتریک و برداشت های صحرائی می پردازیم، همچنین در فصل سوم به ارائه نظریاتی در مورد روش های مدل سازی عددی پیشرو و وارون پرداخته می شود. اطلاعات زمین شناسی و کانی سازی منطقه همچنین تفسیر و ارائه مقاطع مدل سازی وارون داده های

صحرايي و نتايج حاصله در فصل چهارم ارائه مي گردد و همچنين در فصل پنجم نيز پيشنهاداتي در جهت هر چه دقيقتر شدن نتايج ارائه مي شود.

فصل دوم

مبانی مقاومت ویژه

و

قطبش القایی

۲-۱ مقدمه

به طور کلی برای اکتشاف ذخایر معدنی روش های متنوع ژئوفیزیکی موجود می باشند که بسته به شرایط موجود می توان از یک یا چند روش به طور همزمان برای اکتشاف استفاده کرد. بعضی از روش های الکتریکی مانند پتانسیل خودزا^۱ SP و مگنتوتلوریک از منابع انرژی الکتریکی طبیعی بهره می گیرند. روش SP عمق نفوذ چندانی ندارد و در اکتشاف کانسارهای معدنی کاربرد چندانی ندارد. از طرف دیگر، روش های الکتریکی دیگر مانند مقاومت ویژه و قطبش القایی، نیاز به جریان میدان الکتریکی مصنوعی دارند. روش های الکتریکی اغلب برای پی جویی کانی های فلزی و هادی به کار می روند و بیشتر این روش ها برای اکتشاف در اعماق کم مفید می باشند. به طور عمده شناسایی سولفیدهای فلزی بوسیله روش های الکتریکی انجام می گیرد. سولفیدهای پراکنده معمولاً به کمک قطبش القایی مورد اکتشاف قرار می گیرند و سولفیدهای توده ای به وسیله روش الکترومغناطیس القایی^۲ EMI، به صورت زمینی و یا هوابردی مورد اکتشاف قرار می گیرند. به طور معمول غالب روش های EMI برای یافتن رساناهایی که در عمق کم مدفون گردیده اند، طراحی شده اند (کلاگری، ۱۳۷۱ و حاجب حسینی و زمردیان، ۱۳۷۵). همچنین روش مقاومت ویژه به دلیل تغییرات وسیع مقاومت ویژه سنگ ها و کانی ها، به طور موثری برای اکتشاف منابع آب های زیر زمینی، بررسی آلودگی های زیست محیطی، اکتشاف کانسارهای معدنی، بررسی مسائل مهندسی برای تعیین محل حفره های زیر سطحی، گسل ها و مناطق خرد شده، درز و شکاف ها و چاه های معدنی و کاربردهای متنوع دیگر مورد استفاده قرار می گیرد. در این پروژه با توجه به اینکه کانسار مورد اکتشاف مربوط به یک سولفید فلزی از نوع افشان می باشد روش های مقاومت ویژه و قطبش القایی در حوزه زمان با آرایش دوقطبی- دوقطبی به صورت همزمان به کار گرفته شده اند. در ادامه در این فصل، به شرح این دو روش به کار گرفته شده، می پردازیم.

۲-۲ اندازه گیری مقاومت ویژه الکتریکی زمین

هدف اصلی بیشتر روش های الکتریکی، اندازه گیری مقاومت ویژه الکتریکی زمین است. در این روش ها، برای اینکه یک ویژگی زیرزمینی مشخص شود، باید مقاومت ویژه الکتریکی آن به طور بارزی

^۱ Spontaneous potential

^۲ Induction electromagnetic

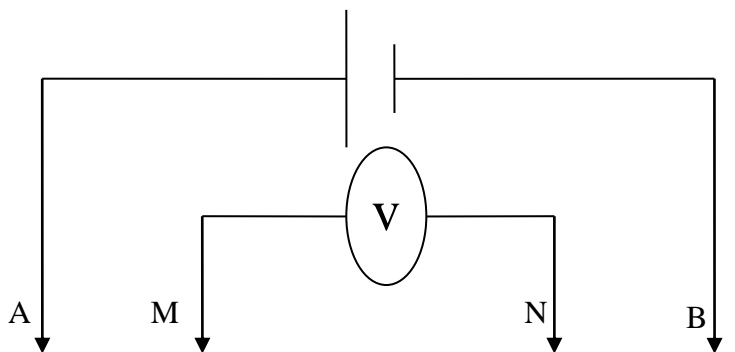
متفاوت از محیط اطرافش باشد. بنابراین، استفاده از روش های الکتریکی به حالت‌هایی که یک تباین مقاومت ویژه^۱ وجود داشته باشد، محدود می شود. در این روش ها، ویژگی های زمین شناسی و سایر خصوصیات موجود به طور مستقیم اندازه گیری نمی شود. این بدان معنا است که برای تفسیر مناسب داده های الکتریکی، نیاز به یک سری اطلاعات خارجی می باشد. در بعضی مواقع، داده های کمی بسیار پراکنده بوده و برای محدود کردن تفسیرهای ممکن برای داده های ژئوفیزیکی، مناسب نمی باشند. در بعضی موارد هم، اطلاعات کمی موجود به محدود کردن تفسیرها و انتخاب یک سری خصوصیات زمین شناسی با توجه به داده های الکتریکی کمک می کنند (حاجب حسینی، ۱۳۷۵).

هدف از برداشت های مقاومت ویژه، تعیین توزیع زیرزمینی مقاومت ویژه با استفاده از اندازه گیری های سطحی می باشد. مقاومت ویژه زمین، به پارامترهای مختلف زمین شناسی از قبیل کانی ها، سنگ ها و مواد معدنی موجود، محتوای سیالات درون حفره ای، تخلخل و درجه اشباع سنگ ها و غیره بستگی دارد.

این شیوه از نظر کاربردی دلالت بر جاری شدن جریان مستقیم در حالت پایدار (جریان DC) دارد، جریان مستقیم از طریق القاء نمی تواند به زمین اعمال شود، بلکه این کار توسط تماس فیزیکی الکترودها صورت گیرد. برای انجام این روش معمولاً جریان مستقیم DC که به طور متناوب جهتش عکس می شود و یا جریان AC با فرکانس خیلی کم (معمولاً کمتر از ۱ هرتز) را توسط الکترودهای جریان وارد زمین نموده و اختلاف پتانسیل را توسط یک جفت الکترودهای پتانسیل اندازه گیری می نمایند.

به طور کلی در روش ژئوالکتریک، اندازه گیری های مقاومت ویژه، با تزریق جریان به زمین از طریق دو الکتروود جریان و اندازه گیری اختلاف پتانسیل میان دو الکتروود پتانسیل انجام می شوند شکل (۱-۲). معادله (۱-۲) معادله اساسی برای محاسبه مقاومت ویژه ظاهری برای هر نوع آرایش الکتروودی است. در زمین های همگن و همسانگرد، مقاومت ویژه به دست آمده از این معادله ثابت و مستقل از فاصله الکتروودی و موقعیت الکترودها در سطح زمین است. در این حالت مقاومت ویژه به دست آمده، مقاومت ویژه واقعی یا حقیقی زمین مورد نظر را نشان می دهد. در صورت وجود ناهمگنی های زیر سطحی مقدار مقاومت ویژه اندازه گیری شده با تغییر موقعیت الکترودها تغییر می کند. در این صورت، مقادیر اندازه گیری شده مقاومت ویژه ظاهری هستند.

^۱ Resistivity contrast



شکل (۱-۲) چگونگی اندازه گیری مقاومت ویژه در روش ژئوالکترونیک

در شکل فوق، A و B الکترودهای جریان M و N الکترودهای پتانسیل می باشند. مقاومت ویژه ظاهری زمین با توجه به شکل فوق توسط رابطه زیر داده می شود (کلاگری، ۱۳۷۱).

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

در این رابطه، I شدت جریان ارسالی (برحسب آمپر) ΔV اختلاف پتانسیل قرائت شده (برحسب ولت) و ρ_a مقدار مقاومت ویژه ظاهری (برحسب اهم متر) می باشد (حاجب حسینی و زمردیان، ۱۳۷۵)

به منظور تبدیل مقادیر مقاومت ویژه به ساختارهای زمین شناسی، آگاهی از مقادیر مقاومت ویژه مربوط به انواع مواد مختلف زیر سطحی، و زمین شناسی مناطق مورد مطالعه، الزامی است. مقادیر مقاومت ویژه مربوط به برخی سنگ ها، کانی ها و مواد دیگر در جدول (۱-۲) ارائه شده است.

جریان مستقیم (DC) به دو طریق از میان مواد عبور می کند: حرکت الکترون های آزاد قسمت جامد، و یا یون های موجود در سیال درون حفره ای. حالت اول به ویژه هنگام بررسی انواع به خصوصی از مواد از قبیل گرافیت، مگنتیت، پیریت و ... و همچنین در پروژه حاضر اهمیت دارد. در بسیاری موارد و در بسیاری مطالعات مهندسی و هیدروژئولوژی حالت دوم غالب است.

جدول (۱-۲) مقاومت ویژه بعضی از سنگ ها و کانی ها و مواد معدنی متداول (Reynold, 1997)

مقاومت ویژه بر حسب اهم- متر	مواد زمین	مقاومت ویژه بر حسب اهم- متر	مواد زمین
	کانی های دیگر		فلزات
۱۰ ^{۱۲} -۱۰ ^{۱۳}	کلسیت	۱/۷×۱۰ ^{-۸}	مس
۱۰ ^{-۸} ×۱۰ ^۲	آرژیلیت	۲/۴×۱۰ ^{-۸}	طلا
۱۰ ^{-۱۱}	زغال	۱/۶×۱۰ ^{-۸}	نقره
	سنگ های بلورین	۱۰ ^{-۷}	آهن
۱۰ ^۲ -۱۰ ^۶	گرانیت	۲/۲×۱۰ ^{-۷}	سرب
۱۰ ^۴ -۱۰ ^۵	دیوریت	۷/۸×۱۰ ^{-۸}	نیکل
۱۰ ^۳ -۱۰ ^۶	گابرو	۱/۱×۱۰ ^{-۷}	قلع
۱۰ ^۲ -۱۰ ^۴	آندزیت	۵/۸×۱۰ ^{-۸}	روی
۱۰ ^{-۱۰}	شیست	مقاومت ویژه بر حسب اهم- متر	کانسارهای سولفیدی
۱۰ ^۴ -۱۰ ^۶	گنایس	۱۰ ^{-۴}	کالکوسیت
۱۰ ^{-۱۰}	کوارتزیت	۴×۱۰ ^{-۳}	کالکوپیریت
محدوده مقاومت ویژه	سنگ های رسوبی	۳×۱۰ ^{-۱}	پیریت
۱۰ ^{-۱۰}	شیل	۲×۱۰ ^{-۳}	گالن
۱-۱۰ ^۸	ماسه سنگ	۱۰ ^{-۳} -۳۰۰	کوپریت
۵۰-۱۰ ^۷	آهک	۱۰ ^{-۳} -۱۰ ^۷	هماتیت
۱۰ ^۲ -۱۰ ^۴	دولومیت	۱۰ ^{-۵} -۱۰ ^۴	مگنتیت

در سنگ ها و مواد آبدار با افزایش موارد زیر مقاومت ویژه کاهش می یابد:

- حجمی از سنگ که توسط آب اشغال شده است

- ارتباط فضاهای خالی (نفوذپذیری)

- درجه حرارت (Mooney, 1980)

- همچنین وجود کانی های فلزی که دارای الکترون های آزاد هستند باعث انتقال جریان در محیط جامد می شود.

به طور کلی فرآیندهای زمین شناسی بر روی مقاومت ویژه سنگ ها تأثیر می گذارند. انحلال، گسلش، برش و هوازدگی معمولاً باعث افزایش تخلخل و نفوذپذیری سیالات شده و در نتیجه باعث کاهش مقاومت ویژه می گردند. رسوب کربنات کلسیم و سیلیس باعث کاهش تخلخل و در نتیجه نفوذپذیری نسبت به سیالات و بنابراین افزایش مقاومت ویژه می گردند. نفوذ آب های شور باعث حضور یون های بیشتر برای هدایت جریان و در نتیجه کاهش مقاومت ویژه می شود (Ward, 1990).

برخی کانی ها مثل پیریت، گالن و مگنتیت معمولاً در حالت توده ای، رساناهای ضعیفی هستند در حالی که بلورهای مجزای آنها، بسیار رسانا می باشند. هماتیت و اسفالریت به طور خالص نارسانا هستند اما همراه با ناخالصی های مختلف، ممکن است به هادی های خوب (با مقادیر مقاومت ویژه حدود $0.1 \Omega m$) تبدیل شوند. حضور گرافیت به طور پراکنده در سرتاسر یک توده سنگ می تواند باعث کاهش مقاومت ویژه کلی گردد.

۲-۳ پدیده و روش قطبش القایی

این روش برای اکتشاف کانی های فلزی جلادار سولفیدی پرفیری و کانی های رسی و زئولیت ها بسیار مناسب می باشد و کاربرد وسیعی در اکتشاف فلزات پایه دارد. عمق نفوذ آن بطور تقریبی از عمق ۵۰ متری تا ۲۰۰ متری می باشد و در آشکارسازی آنومالی ها، سولفیدهای پراکنده نسبت به سولفیدهای توده ای، بهتر عمل می نماید. در بررسی های زیست محیطی و آشکار سازی زباله ها و آلودگی ناشی از معادن سولفیدی این روش جایگاه ویژه ای دارد (حسن زاده، ۱۳۸۲ و کثیری، ۱۳۸۶). تحقیق و پژوهش در رابطه با اصول این روش سبب توسعه انواع مختلفی از این روش شده است این روش ها شامل مقاومت ویژه مختلط^۱، قطبش طیفی^۲ و سیستم های فازی^۳ می گردد. البته کاربرد برخی از این روش ها مانند روش سنتی IP عمومیت

^۱Complex resistivity
^۲Spectral polarization
^۳Phasic system

ندارد، مگر در موارد خاص، بطور مثال روش مقاومت ویژه مختلط، در زمینه آشکار سازی آلودگی های مربوط به مواد آلی در آب و خاک کاربرد ویژه ای دارد.

طبق تعریفی که سامنر^۱ در سال ۱۹۷۶ برای قطبش القایی ارائه نمود، این پدیده الکتریکی در حقیقت تابعی از ولتاژ روبه زوال مواد مختلف درون زمین پس از قطع ولتاژ تزریقی، می باشد. نتایج حاصل از مطالعات و تحقیقات انجام شده بر روی پدیده IP حاکی از آن است که در زمان شارش جریان، مقداری انرژی درون جسم ذخیره و پس از قطع جریان تخلیه می گردد. ذخیره این انرژی در یک جسم، می تواند به صورت های مکانیکی، الکتریکی و شیمیایی انجام پذیرد. مطالعات آزمایشگاهی ثابت کرده است که ذخیره انرژی شیمیایی به مراتب مهم تر می باشد و علل اصلی ذخیره انرژی شیمیایی درون اجسام، تغییر تحرک یون ها در مایعات موجود در ساختار سنگ ها و تغییر در هدایت یونی و الکترونی (در صورت وجود کانی های فلزی درون جسم) می باشند (Sumner, 1976). اثر اول به نام قطبش غشایی^۲ یا الکترولیتی معروف است و اثر IP زمینه یا IP نرمال را به وجود می آورد. این اثر در سنگ هایی که دارای کانی های غیر فلزی هستند، روی می دهد. اثر دوم نیز که به نام قطبش الکترودی^۳ یا ولتاژ اضافی معروف می باشد، عموماً بزرگتر از IP نرمال بوده و با مقدار کانی های فلزی در سنگ ها، ارتباط دارد. این نوع قطبش که در اصل شبیه قطبش غشایی است، در صورتی اتفاق می افتد که در داخل سنگ مواد فلزی وجود داشته باشد و قسمتی از جریان به صورت الکترونی و قسمتی دیگر به صورت الکترولیتی عبور نماید.

لازم به ذکر است که این دو اثر با استفاده از روش IP، قابل تمیز از یکدیگر نبوده و مستقل از ساختار اتمی یا ملکولی سنگ ها و کانی ها هستند (Reynold, 1997). در ادامه به بررسی بیشتر دو نوع قطبش غشایی و الکترودی می پردازیم.

۲-۳-۱ قطبش غشایی

همانطور که می دانیم هنگامی که در زیر زمین فلزی وجود نداشته باشد و فرکانس جریان تزریقی به زمین هم پایین باشد، هدایت الکترولیتی تنها شکل هدایت خواهد بود. در اینگونه موارد ساختار سنگ ها باید تا حدودی متخلخل باشد تا شارش جریان به خوبی امکان پذیر باشد. در اغلب اوقات، مقداری بار منفی در

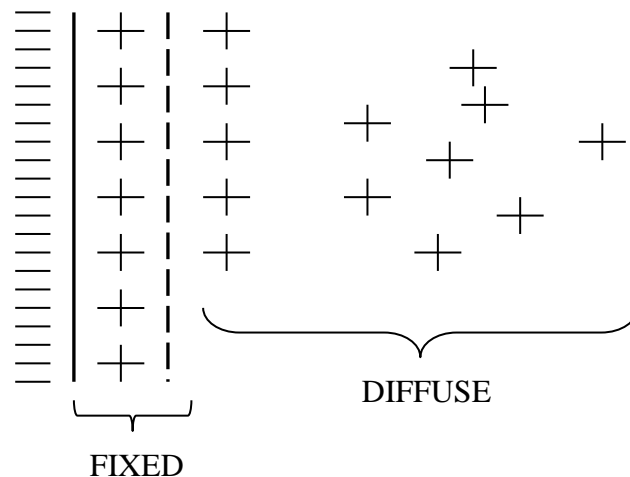
^۱Sumner

^۲Membrane polarization

^۳Electrode polarization

سطح مشترک بین رویه یک کانی و مایع داخل خلل و فرج موجود در محیط در بر گیرنده کانی وجود دارد. در نتیجه مطابق شکل (۲-۲)، یون های مثبت مربوط به مایع به این سطح مشترک جذب شده و باعث ایجاد لایه ای به نام لایه ثابت^۱ می شوند و در مقابل، یون های منفی از آن دور شده و لایه ای به نام لایه غیر منسجم^۲ را تشکیل می دهند. لازم به ذکر است که ضخامت لایه ثابت در داخل مایع گاهی از 10^{-6} سانتیمتر نیز فراتر می رود (Graham, 1974)

میزان آلودگی و ناخالصی های موجود در سیال، این ضخامت را تغییر می دهد. هرچه این ضخامت بیشتر باشد احتمال ایجاد سدهای کاتیونی-آنیونی در طول مسیر جریان زیادتر و در نتیجه میزان پدیده IP نیز زیادتر خواهد بود (Graham, 1974). در بعضی موارد ضخامت این لایه در حدود پهنای خلل و فرج می باشد مانند ساختارهای حاوی کانی رسی، که اگر یک جریان مستقیم به چنین ساختاری تزریق گردد، لایه ثابت مانند یک سد عمل نموده و باعث تجمع یون های مثبت و منفی در دو طرف آن می گردد و در نتیجه عبور جریان در مسیر مورد نظر، قطع می گردد. پس از قطع جریان تزریقی، یونها دوباره به محل اولیه خود بر می گردند و این باعث ایجاد یک اختلاف پتانسیل در ساختار مورد نظر شده و پس از مدتی این اختلاف پتانسیل صفر می گردد.



شکل (۲-۲): شمائی از لایه ثابت و لایه غیر منسجم در سطح مشترک (حسن زاده، ۱۳۸۲)

اثر IP غشایی، بیش از همه در کانی های رسی مشاهده می گردد، زیرا این کانی ها دارای خلل و

^۱Fixed Layer
^۲Diffuse Layer

فرج خیلی کوچک می باشند. لازم به ذکر است که IP غشایی حاصل از کانی های رسی مختلف یکسان نمی باشد. به عنوان مثال مونت موریلونیت دارای IP غشایی کم و کائولینیت دارای IP غشایی زیاد می باشد (حاجب حسینی و زمردیان، ۱۳۷۵). شیل همراه با درصد بالایی از کانی های رسی قطبش نسبتاً پایینی را داراست، در صورتی که مارن قطبش بالایی را از خود نشان می دهد. اثر قطبش غشایی با افزایش میزان شوری سیال داخل حفرات یک ساختار، کاهش می یابد. در کل قطبش غشایی در سنگ های حداکثر می باشد که دارای کانی های رسی با تراکم نسبتاً کم (کمتر از ۱۰٪) بوده و درصد نمک موجود در الکترولیت داخل آنها پایین باشد (حسن زاده، ۱۳۸۲).

۲-۳-۲ قطبش الکترودی یا اور ولتاژ^۱ و یا قطبش فلزی

هنگامی که ذرات فلزی در منطقه مورد مطالعه پراکنده باشند با اعمال میدان خارجی الکتریکی بارها در دو سوی این ذرات متمرکز می شوند و لایه های الکتریکی حاصل، باعث افزایش اختلاف پتانسیل بین الکترودهای پتانسیل می شوند (Telford et al., 1991). شکل (۲-۳-ج) یک کانی فلز دار را نشان می دهد که پس از تزریق جریان پدیده قطبش القایی الکترودی در آن اتفاق می افتد. موقعی که جریان الکتریکی داخل سنگ تزریق شود، ذرات فلزی هادی (به علت هدایت الکترونیکی) قطبیده خواهد شد و در نتیجه یون های مثبت برای گرفتن الکترون از ذره فلزی و یون های منفی برای دادن الکترون به آن، اطراف ذره فلزی را احاطه می کنند. معمولاً میزان سرعت هدایت الکترون ها از طریق ذره فلزی کمتر از سرعت تبادل الکترونی بین یون ها و ذره فلزی خواهد بود. در نتیجه در دو طرف ذره فلزی، یون های مثبت و منفی (که هنوز بار خود را از دست نداده اند) تجمع پیدا می کنند. هنگامی که جریان تزریقی ناگهان قطع شود، یون ها به آهستگی پراکنده شده و به محل اولیه خود مراجعت خواهند نمود و سبب پیدایش ولتاژ ضعیف و رو به زوال IP می شوند. تمام کانی هایی که قابلیت هدایت خوبی دارند (مثل سولفیدهای فلزی، اکسیدها، گرافیت و غیره) سهم بسزایی در این نوع IP دارند. طول مدت دوام ولتاژ روبه زوال IP در داخل زمین به عواملی مثل ساخت سنگ ها، تخلخل، نفوذ پذیری، قابلیت هدایت الکتریکی کانی های فلزی و قابلیت هدایت الکترولیت موجود در حفرات سنگ ها بستگی دارند (Okan, 2002). بزرگی و شدت IP فلزی (الکترودی) به مقدار ولتاژ

^۱Overvoltage

تزریقی، نوع ماده معدنی، درصد ماده معدنی، اندازه دانه ها، تخلخل، مقاومت و نوع الکترولیت، و مقاومت ویژه سنگ های دربرگیرنده بستگی دارد.

هر چه ماده معدنی هادی تر و درصد آن بیشتر باشد، IP بزرگتر، و هر چه کانی ها پراکنده تر در متن سنگ میزبان باشند IP برجسته تر خواهد بود زیرا در این حالت سطح تماس جهت تبادل الکترونی _ یونی به حداکثر خواهد رسید. با افزایش تخلخل مقدار IP کاهش می یابد زیرا مسیرها و معابر موجود برای هدایت یونی (به جای الکترونیکی) به اندازه کافی افزایش می یابند. واضح است در اکتشافات کانسارهای فلزی، IP فلزی از اهمیت زیادی برخوردار می باشد (Telford et al., 1991).

معمولاً در حین اندازه گیری IP نمی توان اثر قطبش غشایی را از قطبش فلزی تشخیص داد. در نتیجه قطبش غشایی در اندازه گیری های IP برای اکتشاف ذخایر فلزی هادی، نويز محسوب می شود که مقدار آن ممکن است به اندازه IP فلزی حاصل از یک سنگ حاوی ۰.۲٪ کانی فلزی باشد. اگر به جای جریان تزریقی DC از AC استفاده شود، مقدار IP فلزی با افزایش فرکانس جریان تزریقی، کاهش خواهد یافت. زیرا زمان لازم برای تشکیل ولتاژ IP، طولانی تر از جریان AC تزریقی می باشد (Telford et al., 1991).

۳-۳- انواع روش های IP

به طور معمول اندازه گیری قطبش القایی به یکی از صورت های زیر انجام می گیرد :

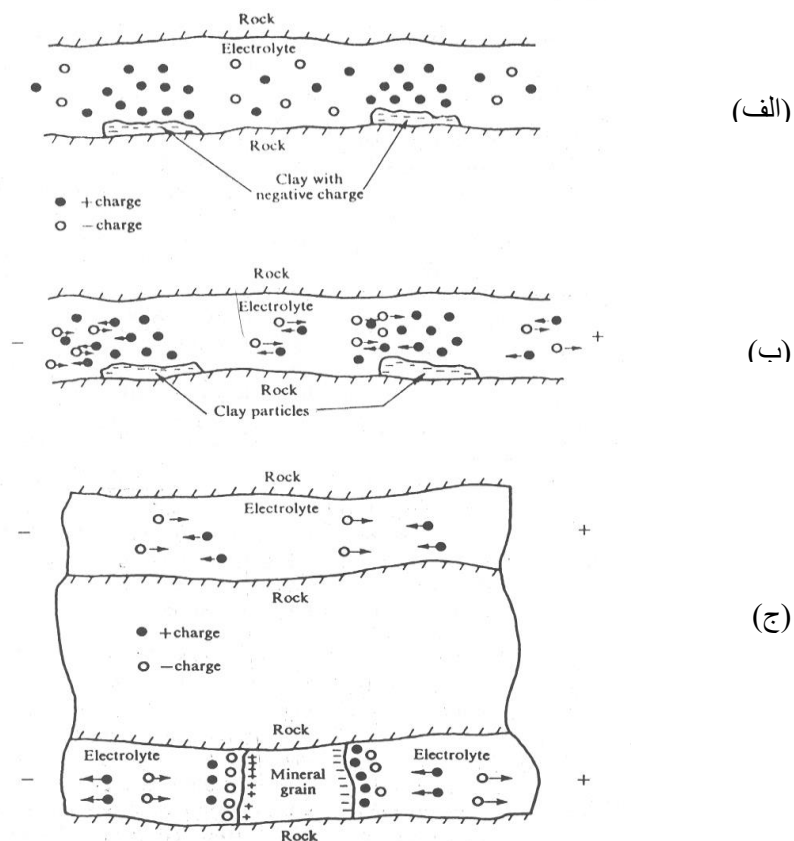
- روش حوزه زمان^۱، در این روش ولتاژ اضافی^۲ به عنوان تابعی از زمان اندازه گیری می شود.
- روش حوزه فرکانس^۳، در این روش مقاومت ویژه ظاهری در دو فرکانس خیلی متفاوت اندازه گیری می شود.
- روش حوزه فاز^۴، در این روش اختلاف فاز بین جریان به کار گرفته شده و ولتاژ اندازه گیری شده در مقیاس لگاریتمی اندازه گیری می شود. این اختلاف فاز به مشخصه طبیعی کانی های زیر سطحی بستگی دارد.

^۱Time domain IP(TDIP)

^۲Overvoltage

^۳Frequency domain IP

^۴Phase domain IP



شکل (۲-۳): اثرات قطبش غشایی و الکترودی (الف) پراکندگی نرمال الکترونها در ماسه سنگ متخلخل (ب) شمایی کلی از قطبش غشایی در ماسه سنگ متخلخل (ج) و قطبش الکترودی (Telford et al., 1991).

- روش قطبش القایی طیفی SP^1 ، این روش هم در حوزه زمان و هم حوزه فرکانس قابل اندازه گیری است. در این روش اختلاف فاز بین قسمت های حقیقی و موهومی ولتاژ و دامنه آن روی محدوده فرکانس 0.001 تا 4000 هرترز اندازه گیری می شود (Telford et al., 1991).

- یکی از روش های توسعه یافته قطبش القایی روش مقاومت ویژه مختلط^۲ می باشد. اما تفاوت این روش نسبت به قطبش القایی سنتی آن است که اندازه گیری های مقاومت ویژه مواد مختلف در بازه وسیعی از طیف های فرکانسی نسبت به روش قطبش القایی مرسوم صورت می گیرد. بنابراین این روش اطلاعات بیشتری از مواد زیر سطح زمین نسبت به روش مرسوم IP ارائه می دهد. اما تجهیزات برداشت صحرائی پیچیده تر و تحلیل و تفسیر داده های این روش نیز پیچیده تر و به مراتب گرانتر می باشد (Telford et al., 1991).

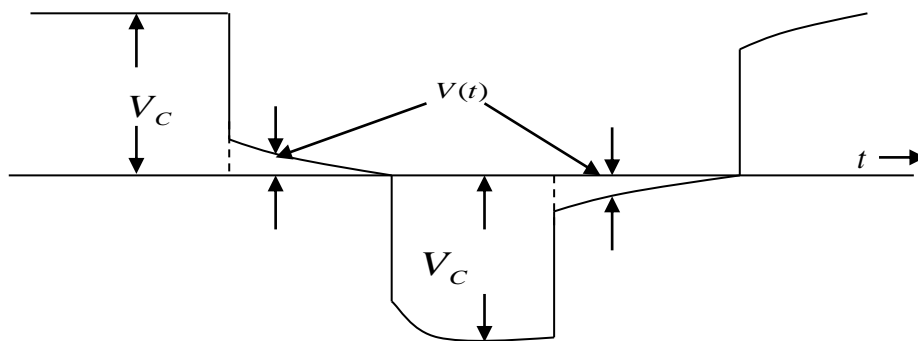
¹Spectrum IP
²Complex resistivity

در مطالعه حاضر از روش IP در حوزه زمان که ولتاژ اضافی را به صورت تابعی از زمان اندازه‌گیری می‌کند به منظور اکتشاف استفاده شده است و به همین دلیل در ادامه به توضیح بیشتر پیرامون این روش می‌پردازیم.

۲-۳-۴ روش‌های اندازه‌گیری قطبش القایی در حوزه زمان

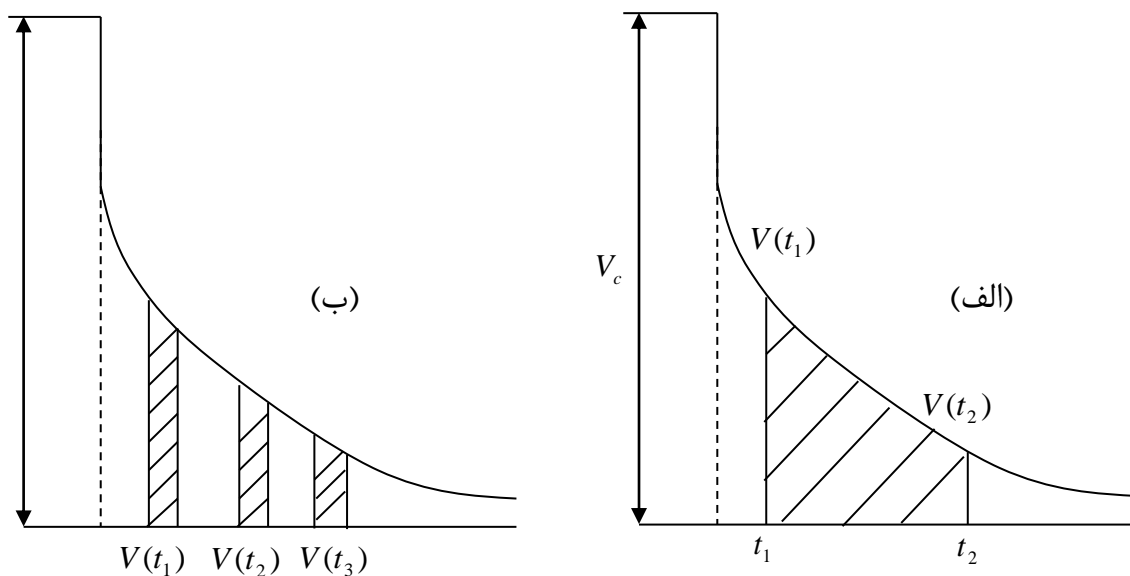
روش‌های اندازه‌گیری IP در واحد زمان عبارتند از:

الف) درصد IP: مطابق شکل (۲-۴) ساده‌ترین راه اندازه‌گیری اثر IP در حوزه زمان، عبارت است از مقایسه ولتاژ باقی مانده V_t در زمان t پس از قطع جریان، با ولتاژ V_c موجود در طول زمان شارش جریان، همچنین لازم به ذکر است که اندازه‌گیری پتانسیل در لحظه قطع جریان امکان‌پذیر نیست زیرا رویدادها پس از قطع مدار جریان بسیار زودگذرند و از طرف دیگر پتانسیل باقی مانده V_t ، قبل از اینکه به حد پارازیت برسد، باید اندازه‌گیری شود. از آنجا که V_t خیلی کوچک‌تر از V_c است، نسبت $\frac{V_t}{V_c}$ برحسب میلی‌ولت بر ولت، یا به صورت $(\frac{V_t}{V_c}) \cdot 100$ در نظر گرفته می‌شود، که هر دو مقدار برحسب میلی‌ولت هستند. زمان t نیز ممکن است بین ۱ و ۱۰ ثانیه تغییر کند.



شکل (۲-۴): مقایسه V_t با V_c در اندازه‌گیری اثر IP حوزه زمان (حسن زاده، ۱۳۸۲)

ب) انتگرال زمان واپاشی: دستگاه‌های اندازه‌گیری IP تجارتي، معمولاً پتانسیلی را که در طول زمان معینی از واپاشی گذرا، انتگرال‌گیری شده است، اندازه‌گیری می‌کنند (شکل ۲-۵).



شکل (۲-۵): روش های تعیین انتگرال زمان واپاشی دراندازه‌گیری‌های IP در حوزه زمان (حسن زاده، ۱۳۸۲)

در صورتی که عملیات انتگرال‌گیری در چند قسمت از منحنی میرایی و در زمان خیلی کوتاه انجام گیرد، مقادیر انتگرال، مقدار پتانسیل موجود در زمان‌های مختلف $(V(t_1), \dots, V(t_n))$ را به ما خواهد داد. در اندازه‌گیری‌های IP، به طور معمول، روش بیان شده در قسمت الف شکل مذکور مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ج) محاسبه مقدار بارپذیری: در این روش، دستگاه اندازه‌گیری مطابق شکل (۲-۵-الف) به طور اتوماتیک با اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل در بازه‌های زمانی مختلف و ترسیم منحنی ولتاژ بر حسب زمان، مقدار مساحت زیر منحنی را در بازه‌های زمانی خاص و با استفاده از معادله (۲-۲)، به دست آورده و از مقادیر به دست آمده میانگین گرفته و نتیجه را به صورت یک عدد نمایش می‌دهد که این عدد نشان دهنده میزان شارژ ابلیتیته^۱ یا بارپذیری لایه مربوط به یک عمق خاص بوده و بر حسب میلی‌ثانیه بیان می‌گردد. در جدول (۲-۲) بارپذیری مواد گوناگون جهت استفاده در تفسیر نتایج می‌آید.

$$M = \frac{1}{V_C} \int_{t_1}^{t_2} V(t) dt \quad (2-2)$$

^۱Chargability

با توجه به رابطه (۲-۲)، بارپذیری عبارت است از مساحت زیر منحنی افت پتانسیل حاصل از عملیات برداشت پس از قطع جریان به مقدار ولتاژ اندازه گیری شده، بلافاصله قبل از قطع جریان.

۲-۳-۵ تجهیزات مورد استفاده در IP

دستگاه هایی که برای اندازه گیری های IP مورد استفاده قرار می گیرند اساس کار ساده ای دارند ولی اخیراً به علت پیشرفت هایی که در زمینه ساخت تجهیزات الکترونیکی صورت گرفته است این دستگاه ها به صورت کاملاً پیچیده ای درآمده اند.

برای اندازه گیری IP در حوزه زمان جریان ثابت DC به طور خودکار بریده و معکوس می شود مثلاً دو ثانیه وصل، دو ثانیه قطع، دو ثانیه معکوس و دو ثانیه قطع و در نهایت با یک دوره تناوب ۸ ثانیه چنین جریانی به داخل زمین فرستاده می شود. معکوس سازی و انتگرال گیری بر روی شماری از چرخه ها نسبت سیگنال به نویز را بهتر می سازد (چاکری، ۱۳۸۴).

شکل (۲-۶) تصویر دستگاه SAS1000، که سازنده آن شرکت سوئدی ABEM می باشد را به نمایش می گذارد، در این پروژه از این دستگاه برای برداشت های IP و مقاومت ویژه استفاده شده است که قابلیت برداشت داده های IP و مقاومت ویژه را به طور همزمان داراست.

۲-۴ انواع روش های اندازه گیری مقاومت ویژه و قطبش القایی

سه روش مختلف برای عملیات صحرائی مقاومت ویژه و IP وجود دارد که عبارتند از:

۱. روش گمانه زنی الکتریکی

۲. روش پروفیل زنی یا ترانسه زنی الکتریکی

۳. روش ترکیبی سونداژ و پروفیل زنی الکتریکی

و همچنین کاربردی ترین آرایش ها در عملیات صحرائی ژئوالکتریک، آرایش های ونر، شولمبرگر، دو قطبی- دو قطبی، قطبی- دو قطبی، و گرادیان می باشند که بعضی از این آرایش ها برای سونداژ زنی و بعضی برای

جدول (۲-۲): بارپذیری در مواد گوناگون (Telford et al., 1984).

بارپذیری (میلی ثانیه)	ماده	بارپذیری (میلی ثانیه)	ماده
۵-۲۰	شیست	♦	آب زیرزمینی
۳-۱۲	ماسه سنگ	۱-۴	آبرفت
۳-۱۰	آرژیلیت	۳-۹	شن (گراول)
۵-۱۲	کوارتزیت	۸-۲۰	آذرین پرکامبرین
۵-۱۲	دولومیت	۶-۳۰	گنیس پرکامبرین
۶/۳	بورنیت	۱۳/۴	پیریت
۳/۷	گالن	۱۳/۲	کالکوکسیت
۲/۲	مگنتیت	۱۲/۳	مس
۰/۲	مالاکیت	۱۱/۲	گرافیت
۰	هماتیت	۹/۴	کالکوپیریت
۱۰۰-۵۰۰	سنگ های آتشفشانی چگال	۲۰۰۰-۳۰۰۰	سولفید ۲۰٪
۵۰-۱۰۰	شیل	۱۰۰۰-۲۰۰۰	سولفید ۲۰-۸٪
۱۰-۵۰	گرانیت و گرانودیوریت	۵۰۰-۱۰۰۰	سولفید ۲-۸٪
۱۰۰-۵۰۰	ماسه سنگ	۳۰۰-۸۰۰	توف آتشفشانی



شکل (۲-۶) شمایی کلی از دستگاه SAS1000 (www.abem.se)

بعضی برای پروفیل زنی و بعضی هم یک روش ترکیبی سونداژ و پروفیل زنی می باشند. تمامی آرایش های مذکور را می توان در روش مقاومت ویژه، مورد استفاده قرار داد، درحالیکه در روش IP، بیشتر از آرایش های دو قطبی-دو قطبی، دو قطبی - دو قطبی استفاده می گردد، زیرا با استفاده از این دو آرایش می توان میزان جفت شدگی الکترومغناطیسی بین الکترودهای جریان و پتانسیل را به حداقل میزان، کاهش داد. چون در این پروژه تنها از روش ترکیبی سونداژ و پروفیل استفاده شده است، تنها به بررسی برداشت داده ها با استفاده از آرایش دو قطبی - دو قطبی می پردازیم.

۲-۴-۱ برداشت با آرایش دو قطبی - دو قطبی

استفاده از آرایش های مختلف دو قطبی - دو قطبی در اکتشافات الکتریکی از سال ۱۹۵۰ گستردگی زیادی پیدا کرده است. در این روش، فاصله بین الکترودهای جریان و فاصله بین الکترودهای پتانسیل تقریباً ثابت است و به مقدار قابل ملاحظه ای کمتر از فاصله بین مراکز دو قطبی ها یعنی d خواهد بود (چاکری، ۱۳۸۴).

میدان الکتریکی حاصل از یک دوقطبی در نقطه ای معین با توان سوم فاصله یعنی d رابطه عکس دارد. آرایش مورد استفاده در این پروژه دوقطبی-دوقطبی محوری می باشد که در ادامه به توضیح آن می پردازیم.

در این روش فاصله بین الکترودهای جریان و همچنین الکترودهای پتانسیل با یکدیگر برابر بوده و a در نظر گرفته می شود و همانگونه که در شکل (۲-۷) ملاحظه می شود فاصله بین الکترودهای جریان و پتانسیل از a تا na تغییر می کند، که n را بین ۱ تا ۸ در نظر می گیرند، چرا که مقادیر بیش از این پتانسیل برداشتی را در حد نویز زمینه کاهش می دهد.

مطابق شکل (۲-۷) ابتدا تمام اندازه گیری ها برای $n=1$ صورت می گیرد و مقادیر پتانسیل برای نقاط ردیف اول به دست می آید و با $n=2$ ردیف دوم پروفیل جاروب می شود و به همین ترتیب ردیف های بعدی با افزایش n برداشت می گردد.

پس از عملیات صحرائی، شبه مقطع قائم^۱ که تصویری خام و تقریبی از زیر زمین ارائه می دهد رسم می گردد. برای آرایش دوقطبی-دوقطبی هر کدام از مقادیر برداشتی به نقطه میانی دو قطبی های جریان (C_1C_2) و دو قطبی های پتانسیل (P_1P_2) نسبت داده می شود که عمق این نقطه از سطح زمین را می توان از روی عمق قرارگیری محل تلاقی دو خطی که با زاویه ۴۵ درجه از مراکز الکترودهای پتانسیل و جریان رسم می شوند، به دست آورد.

شایان ذکر است که نقاط مذکور فقط یک نقطه انتسابی برای رسم شبه مقطع اولیه است و عمق واقعی بعد از تفسیر و وارون سازی تعیین می گردد. این نکته با کمال تاسف مورد غفلت بسیار واقع شده و بسیاری هنوز می پندارند که جریان الکتریکی با زاویه ۴۵ درجه با زمین حرکت می کند.

آرایش دوقطبی-دوقطبی که به دلیل جفت شدگی الکترومغناطیسی پایین کاربرد گسترده ای در برداشت های مقاومت ویژه و قطبش القایی دوبعدی دارد، دارای بیشترین حساسیت در زیر الکترودهای جریان و پتانسیل است.

با افزایش n یعنی افزایش فاصله جدایش الکترودهای جریان و پتانسیل از یکدیگر نسبت به a تمرکز حساسیت در نواحی فوق الذکر (اعماق مربوط به n های بالا) افزایش یافته والگوی کانتورها تقریباً عمودی می شود. به همین دلیل این آرایش به شدت به تغییرات افقی حساس بوده ولی در مورد تغییرات عمودی

^۱Pesudosection

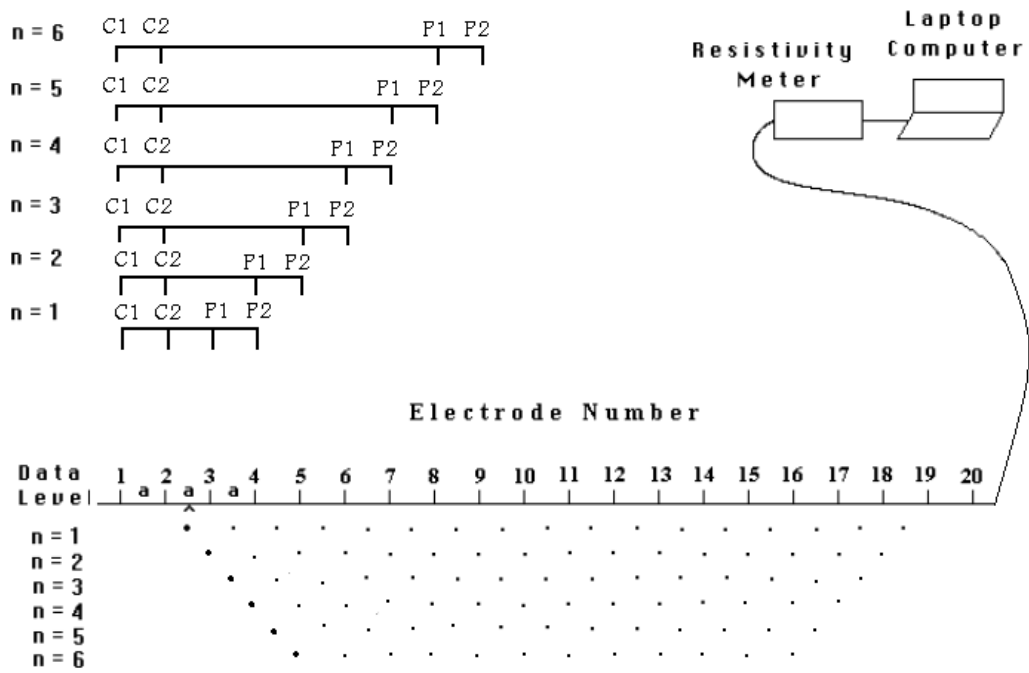
ضعیف عمل می کند. آرایش دوقطبی - دوقطبی برای دایک، گسل و حفره عملکردی قوی و برای رسوبات لایه ای عملکردی ضعیف را نشان می دهد (چاکری، ۱۳۸۴).

در این آرایش، عمق اکتشاف میانگین علاوه بر فاصله الکترودی a به عامل n نیز بستگی دارد و عموماً عمقی کمتر از n را می کاود. برای مقادیر n زیاد، تخمین عمق ساختارها با خطای زیاد همراه می باشد. یکی از عیوب این آرایش قدرت سیگنال پایین برای n بالاست، ولتاژ، متناسب با معکوس مکعب n می باشد. یک راه حل برای افزایش عمق نفوذ افزایش دادن a به جای n می باشد ولی در این حالت تفکیک پذیری جانبی نیز کاهش می یابد (جهان بین، ۱۳۸۶).

به دلایل فوق استفاده از دستگاه های دقیق اندازه گیری با مدارهای حذف نویز ودقت فراوان در برداشت های صحرائی به ویژه اتصال کامل الکترودها به زمین از شرایط جانبی کار با این روش می باشد و همچنین قابل ذکر است که برای جلوگیری از نویز باید الکترودها غیر قابل پلاریزه باشند.

نکته مهم دیگر آن است که آرایش دوقطبی - دوقطبی عملاً کمترین اطلاعات را از نواحی اطراف نقطه ترسیمی در این آرایش به دست می دهد و مقاومت ویژه ظاهری انتسابی به این نقطه در شبه مقطع در واقع بیانگر نواحی زیر دوقطبی ها و دیگر نواحی با حساسیت بالاست. از این رو شبه مقاطعی که توسط این آرایش رسم می شوند شباهت چندانی با توزیع واقعی مقاومت ویژه ندارد و به همین دلیل برای رسیدن به نتایج دقیق باید حتماً عملیات مدل سازی در روی آنها انجام شود (چاکری، ۱۳۸۴).

اکنون که با اصول و مبانی هر یک از روش های IP و مقاومت ویژه آشنا شدیم در فصل بعد شرح مختصری در مورد چگونگی مدل سازی آورده می شود تا فهم مدل سازی داده ها را آسانتر سازد.



شکل (۷-۲) شمایی کلی از شبکه برداشت دوقطبی دوقطبی (Loke, 2002)

فصل سوم

مروری بر کلیات مدل سازی

۳-۱ مقدمه

همانگونه که می دانیم داده های برداشتی یک سری داده خام می باشند که دارای نوفه های مختلفی هستند و تفسیر مستقیم آنها نتایج مطلوبی در پی نخواهد داشت و توجیه رفتار دقیق لایه های زمین از طریق آنها تقریباً غیر ممکن خواهد بود. بدین ترتیب تعیین رابطه بین داده های برداشتی و توزیع خواص فیزیکی زمین مورد مطالعه یا به عبارتی مدل سازی داده های خام، امری ضروری خواهد بود. در این فصل ضمن ارائه مطالبی در رابطه با مدل سازی و لزوم انجام آن برای دست یابی به تفسیرهای ژئوفیزیکی بهتر به صورت خلاصه به روش های مدل سازی مورد استفاده در این پایان نامه اشاره ای خواهیم کرد و همچنین نرم افزارهای مورد استفاده را معرفی می کنیم.

۳-۲ روش های مدل سازی

مدل سازی ژئوفیزیکی به دو دسته کلی مدل سازی فیزیکی و مدل سازی عددی تقسیم بندی می شود.

۳-۲-۱ مدل سازی فیزیکی

مدل سازی فیزیکی شبیه سازی ساختار زمین در مقیاس آزمایشگاهی است. که از آنجا که این روش مدل سازی بسیار وقت گیر و پر هزینه است و همچنین شرایط کنترل شده آزمایشگاهی به خوبی شرایط غیر قابل پیش بینی زمین را فراهم نمی کند، با پیشرفت علوم کامپیوتر این روش جای خود را به مدل سازی عددی توسط برنامه های کامپیوتری داده است.

۳-۲-۲ مدل سازی عددی

به منظور آشنایی با چگونگی عملیات مدل سازی در نرم افزارهای مورد استفاده در این پایان نامه تعاریف کلی و قابل درک از آن ارائه می شود و از بیان ریاضیات آن به دلیل پیچیده بودن اجتناب می شود. به طور کلی می توان مدل سازی عددی را به دو زیرشاخه مستقیم یا پیشرو و معکوس (وارون)^۱ تقسیم بندی نمود.

^۱ Inverse modeling

مدل سازی عددی معکوس خود به دو زیرشاخه هموار^۱ و پارامتری^۲ تقسیم بندی می شود. در این تحقیق از دو نرم افزار RES2DINV و RESIXIP2DI استفاده می شود که در RES2DINV از تکنیک مدل سازی معکوس هموار و در RESIXIP2DI از تکنیک مدل سازی معکوس پارامتری و هموار، هر دو استفاده می شود.

لذا در این مجموعه بیشتر به معرفی این دو روش خواهیم پرداخت ولی چون در هسته تمامی برنامه های معکوس سازی مدل سازی مستقیم نهفته است لذا این روش هم معرفی می شود.

۳-۳ مدل سازی پیشرو

روابط و معادلاتی که ارتباط خواص فیزیکی زمین و داده های مشاهده ای را بیان می کنند، تئوری مدل سازی پیشرو یا مستقیم نامیده می شود.

با یک نگاه کلی، مدل سازی پیشرو شامل مراحل زیر می باشد (Hedlin and Constable, 1990):

- ۱- حدس مدل اولیه
 - ۲- محاسبه پاسخ مدل فرضی با استفاده از تئوری پیشرو یا مستقیم
 - ۳- مقایسه پاسخ مدل فرضی (داده های مصنوعی) با داده های مشاهده ای و محاسبه مقدار خطای نسبی بین آنها و مقایسه آن با حد استاندارد (مطلوب)
 - ۴- تعدیل و اصلاح مدل فرضی و برگشت به مرحله ۲ در صورت زیاد بودن خطا
- مدلی که پاسخ آن بهترین برازش را با داده های مشاهده ای دارد، به عنوان مدل نهایی در نظر گرفته می شود.

از منظر ریاضی بیان مسئله مدل سازی پیشرو به صورت معادله (۱-۳) می باشد:

$$d_j = F_j[m] \quad j = 1, 2, \dots, M. \quad (1-3)$$

در رابطه فوق بردار d_j نمایانگر داده های محاسبه شده (پاسخ مدل) در فضای M بعدی است که می توان آن را با اعمال عملگر پیشروی F بر بردار مدل m در فضای N بعدی استنتاج نمود. این عملگر و

^۱ Smooth modeling

^۲ Parametric modeling

رابطه متناظر با آن تقریباً در تمامی موقعیت‌های واقعی غیر خطی می‌باشد. نکته دیگری که حائز اهمیت است آن است که مسائل پیشرو بهنجار^۱ بوده و دارای جواب تکین می‌باشند و یا به عبارتی با اعمال تغییرات کوچک در پارامتر مدل جواب بدست آمده دچار تغییرات محسوسی نمی‌گردد (Hedlin and Constable, 1990).

۳-۴ مدل سازی معکوس

ژئوفیزیک اکتشافی از این جهت دارای اهمیت ویژه ای است که می‌تواند تصویری مفید از زیر سطح زمین ارائه دهد، ولی از آنجایی که آنومالی قرار گرفته در زیر سطح زمین دارای ساختاری کاملاً پیچیده است، تلاش می‌شود که مدلی ارائه شود که با تعداد محدودی پارامتر، قابل کنترل باشد تا بتوان با تغییر این پارامترها، بهترین مدلی را که با داده‌های صحرایی و خصوصیات زمین شناسی و دیگر اطلاعات در دسترس از ناحیه مورد نظر مطابقت می‌کند، به دست آورد. یکی از روش‌های رسیدن به مدل مذکور انجام عملیات معکوس سازی (وارون سازی) می‌باشد. البته در اینجا لازم به یادآوری این مطلب است که انجام عملیات وارون سازی بر روی داده‌های موجود در تمامی شاخه‌های علمی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است.

این روش مدل سازی عکس مدل سازی مستقیم است و در هر مرحله از تکرار با اعمال یک سری عملیات ریاضی پیچیده روی داده‌های مشاهده‌ای، پارامترهای فیزیکی مدل را به دست می‌آوریم. برعکس عملیات ریاضی مدل سازی پیشرو که اغلب مستقیم، یک مرحله‌ای و بهنجار هستند، مدل سازی معکوس به علت وجود نویزهای زمین شناسی و همچنین ناقص بودن اطلاعات و خطا در اندازه‌گیری‌ها، اغلب غیرمستقیم، تکراری و نابهنجار^۲ می‌باشند. حل این گونه مسائل مشکل و در مواردی غیر ممکن می‌باشد (Hedlin and Constable, 1990).

البته به طور کلی می‌توان روند حل مسائل معکوس سازی را در مراحل زیر خلاصه نمود (Marquardt, 1970):

۱- پارامتری نمودن مدل

۲- خطی سازی و فرمول بندی مسئله با استفاده از قضیه بسط تیلور

¹ Well posed

² Ill posed

۳- فرمولاسیون مساله به شکل ماتریسی

۴- کنترل روند معکوس سازی و انتخاب مدل نهایی

در مسئله معکوس سازی مطابق معادله (۲-۳) هدف یافتن پارامترهای مدل m از روی داده های مشاهده شده d می باشد. با فرض خطی بودن تابع به عنوان عملگر پیشرو در مدل سازی پیشرو، می توان عملگر مترادف آن A را تعریف و مسئله معکوس سازی را با معادله (۳-۳) طرح نمود (چاکری، ۱۳۸۴).

$$F(m) = d \quad (2-3)$$

$$m = A^{-1}d \quad (3-3)$$

مسائل مدل سازی معکوس با توجه به تعداد داده های مشاهده ای (m) و پارامترهای مجهول (n) در ماتریس مشتقات جزئی از چهار حالت زیر خارج نمی باشد (Wtorek & Bujnowska, 2004).

۱- حالتی که $m > n$ ، در این حالت تعداد پارامترها کمتر از داده های مشاهده ای می باشد. در این حالت مسئله را بیش تعیین شده^۱ می گویند. اینگونه مسائل را می توان با استفاده از شیوه هایی که منجر به بهترین هماهنگی با داده ها می شود، حل نمود.

۲- حالتی که $m = n$ ؛ در این حالت که تعداد پارامترهای مدل، برابر با تعداد داده های مشاهده ای است، مسئله کاملاً تعیین شده^۲ نام دارد.

۳- $m < n$ ؛ این حالت زمانی رخ می دهد که تعداد پارامترهای مجهول بیشتر از داده های مشاهده ای می باشند. مسئله معکوس سازی در این حالت کمتر از نیاز تعیین شده^۳ می باشد.

۴- حالتی که تعداد داده ها (m) خیلی کم باشد، که در این صورت با میانگین گیری، مدلی متناسب با تعداد داده ها به دست می آید. ولی در این حالت این امکان وجود دارد که از تعدادی پارامترها صرف نظر گردد.

لازم به ذکر است که جهت تحلیل هر یک از این حالات، یک راه حل خاص وجود دارد که بررسی آنها از حوصله این بحث خارج است.

¹ Over determined

² Evenly determined

³ Under determined

در حل مسئله معکوس سازی جستجوی پاسخ چندین سوال مهم از ارکان اساسی حل مسئله می باشد. اولین سوال آن است که آیا مسئله جواب دارد یا خیر، برای یافتن پاسخ این سوال می توان از سیستم معادلات حاکم بر مسئله معکوس سازی به جواب رسید. دومین سوال در ارتباط با تکینگی^۱ جواب مسئله معکوس سازی مطرح می گردد. به طور خلاصه می توان گفت یکی از مشکلات اساسی مطرح در مسائل مربوط به معکوس سازی مربوط به چندگانگی ذاتی^۲ جواب مدل سازی معکوس می باشد. این چندگانگی ذاتی در هر روش مبتنی بر میدان پتانسیل استاتیک وجود دارد. بطور معمول، این چندگانگی ها در مسائل میدان پتانسیل، از دو منبع ناشی می شود که اولین دلیل مربوط به ابهام ذاتی ناشی از فیزیک مسئله می باشد که تعداد بیشماری جواب میدان پتانسیل برای یک آنومالی نتیجه می دهد (Hedlin and Constable, 1990) و دومین دلیل نتیجه به کارگیری تعداد محدودی داده آلوده به نویز است که ممکن است این داده ها شامل اطلاعات مناسبی برای وجود یک جواب یکتا نباشند (Marquardt, 1970). مسئله دیگری که در حل مسئله معکوس سازی مطرح می شود، مربوط به پایداری و یا عدم پایداری جواب مسئله است و پایداری جواب مسئله معکوس سازی به وجود نویز در داده های مشاهده شده مرتبط است. فرض کنید از دو سری داده صحرایی با اختلاف کمتر از نویز داده ها، دو مدل با اختلاف بسیار زیاد بدست آمده است، که در این صورت تفکیک مدل ها غیر ممکن می باشد (Alumbaugh and Newman 2000).

هر مسئله معکوس سازی شامل یک رابطه بین پارامترهای مدل و داده های محاسبه شده می باشد. بدین ترتیب چند حالت ممکن می توان برای مسئله معکوس سازی در نظر گرفت که به شرح زیر می باشد (چاکری، ۱۳۸۴).

- ۱- رابطه کاملاً خطی است، در این حالت چگالی احتمالی داده های ناپایدار از نوع تابع گاوسی است.
- ۲- رابطه خطی نیست، اما در همسایگی یک مدل اولیه x^0 ، به طور تقریبی خطی می شود:

$$F(x) = F(x^0) + A_0(x - x^0) \quad (4-3)$$

¹ Singularity

² inherent

که رابطه بین مدل و داده های مشاهده شده بدین صورت تعریف می گردد :

$$d = F(x) \quad (5-3)$$

که در آن F یک عملگر غیر خطی است که بر روی یک مدل عمل می کند تا داده های فضایی شکل گیرد و A_0 عملگر مشتق جزئی است و به صورت زیر ارائه می گردد :

$$A_0 = \left. \frac{\partial F}{\partial x} \right|_{x^0} \quad (6-3)$$

در این نمونه توابع، چگالی احتمال داده های بی ثبات تقریباً از نوع گاوسی است. این مورد به عنوان غیر خطی ضعیف شناخته شده است و رابطه غیر خطی گاوسی است. در این نمونه توابع، رابطه را می توان در مجاورت و همسایگی یک مدل اولیه با حداکثر احتمال خطی نمود. در این حالت یک تابع عدم انطباق¹ کمینه، بین داده های مشاهده شده و محاسبه شده وجود دارد.

$$f(x) = f(x_{ML}) + A_\infty (x - x_{ML}) \quad (7-3)$$

Q شبه تابع عدم انطباق است. A_∞ عملگر مشتق جزئی است و از رابطه زیر بدست می آید :

$$A_\infty = \left. \frac{\partial Q}{\partial x} \right|_{x_{ML}} \quad (8-3)$$

x_{ML} نقطه شامل بیشینه احتمال با حداقل عدم انطباق بدست می آید بنابراین مدل با این رابطه زیر بدست می آید:

$$x_{n+1} = x_n + \delta x_n \quad (9-3)$$

¹ Misfit function

که در آن x_n نقطه فعلی و x_{n+1} نقطه بعدی است. در این حالت روش های گرادیان برای رسیدن و تمرکز روی مدل بهینه اول و جهت حرکت پس از آن مورد استفاده قرار می گیرند. اشتباه و فروپاشی معکوس سازی در این نوع بیشتر از قبل است.

۳- رابطه به شدت غیر خطی است و امکان خطی شدن وجود ندارد. در این نمونه تابع چگالی احتمال عدم قطعیت داده ها از حالت گاوسی بسیار دور است. روش تحقیق تصادفی بر مبنای سعی و خطا را می توان در حل اینگونه مسائل به کار برد. به موجب آن که جوابی منحصر به فرد در تمامی حالت ها و با نقطه شروع متفاوت ارائه می دهند، در این روش ها، کامپیوتر با تولید داده های شبه تصادفی، مثلاً از طریق روش مونت کارلو مدل ها و داده مصنوعی حاصل از آن ها را ساخته و با داده صحرائی مقایسه می نماید. ولی تمامی روش های گرادیان به جای کمینه های کلی به سمت نقاط کمینه محلی و موضعی می روند که این امر حل مسئله را با مشکل مواجه می کند. اگر میزان خطا بیش از حد تعیین شده باشد، این عمل تکرار می شود. ممکن است این عمل بار ها تکرار شود. به همین دلیل روش پر هزینه ای است (Barker, 1997).

۳-۴-۱ روش های عددی برای حل مسائل معکوس سازی

روش های گوناگونی در حل مسائل مدل سازی معکوس وجود دارند که به عنوان مثال به چند روش زیر اشاره می کنیم (Graham, 1974).

- روش کمترین مربعات^۱
- گرادیان مزدوج^۲
- ماکسیموم آنترپی^۳
- تجزیه مقدار تکین^۴
- شبیه سازی گداخت^۵
- شبکه عصبی^۶

^۱ Least square

^۲ Conjugate-gradient

^۳ Maximum entropy

^۴ Singular value decomposition(SVD)

^۵ Simulated anealing

^۶ Artificial unreal network (ANN)

- روش گرادیان^۱

- روش های تصادفی^۲

بطور عموم روشی که برای معکوس سازی داده های مقاومت ویژه دو بعدی و سه بعدی بکار می رود بر مبنای، روش بهینه کمترین مربعات تعمیم داده شده می باشد (Smith and Vozoff, 1984). از میان روش های نامبرده شده، روش کمترین مربعات به دلیل سادگی ریاضی کار با نتایج آن از پر طرفدارترین روش هاست. همچنین به دلیل اینکه در الگوریتم نرم افزارهای مورد استفاده در این پایان نامه این روش به کار برده شده است به توضیح آن می پردازیم.

۳-۴-۲ روش کمترین مربعات

این روش به دنبال کمینه سازی مجموع مربعات خطاها است و فرض اساسی آن، پیروی خطا از توزیع گوسی است که در مواردی غیر از آن نتایج بسیار ضعیف و غیر قابل اعتمادی ارائه می دهد. حضور نقاط جدا افتاده و نقاطی که کاملاً از روند اصلی داده ها پرت افتاده اند و اغلب بر اثر اشتباهات فاحش در اندازه گیری حاصل می شوند به شدت، توزیع گوسی خطاها را متاثر می کند. یکی از عیوب این روش حذف داده های پرت و در نتیجه از دست دادن اطلاعات موجود در آنهاست که البته امروزه برای اجتناب از آن، به داده ها وزن می دهند تا بدین ترتیب شکل توزیع گوسی خطاها حفظ شود و استفاده از روش کمترین مربعات قابل توجیه باشد (Loke, 1996).

یک معادله خطی ساده را در نظر می گیریم:

$$d = Gm \quad (3-10)$$

که در آن d بردار داده، G ماتریس مدل، m بردار پارامتر می باشد.

برای داده های بدون نویز داریم:

$$m = G^{-1}d \quad (3-11)$$

اگر فرض کنیم که خطاها (نویزها) جمع پذیر باشند، رابطه زیر برقرار می باشد

$$d = Gm + e \quad (3-12)$$

^۱ Gradient

^۲ Random methods

مجموع خطاهای تجربی e در نظر گرفته می‌شود. بنابراین بهترین راه برای بدست آوردن جواب تکین، کمینه نمودن خطا با استفاده از روش کمترین مربعات می‌باشد. که Q شبه تابع عدم انطباق است. بدین ترتیب شبه تابع عدم انطباق را به صورت مجذور خطای تجمعی^۱ تعریف می‌نماییم.

معادله بالا را می‌توان به شکل ماتریسی نوشت، بدین ترتیب :

$$Q = (d - Gm)^T (d - Gm) \quad (۱۳-۳)$$

هدف آن است که Q را به کمترین مقدار برسانیم. بنابر این با مشتق گرفتن از Q نسبت به هر یک از پارامترهای مدل m_j به این مهم می‌توان دست یافت. در نتیجه یک سری معادلات بدست می‌آید:

$$GG^T m = G^T d \quad (۱۴-۳)$$

بنابراین حل کمترین مربعات بدین صورت دنبال می‌شود.

$$\hat{m} = (G^T G)^{-1} G^T d \quad (۱۵-۳)$$

حاصل $(G^T G)^{-1}$ اغلب معکوس تعمیم داده شده کمترین مربعات نامیده می‌شود (Sasaki, 1992). معکوس سازی توسط این روش بسته به اینکه نیاز به مدل اولیه داشته باشد یا خیر به دو روش کمترین مربعات غیرخطی و کمترین مربعات خطی تقسیم می‌شود.

روش کمترین مربعات غیر خطی : در این روش به یک مدل اولیه نیازمندیم که با توجه به زمین شناسی منطقه و اطلاعات جانبی در دسترس، تعیین می‌شود. اگر فرض کنیم که رابطه بین داده‌های مشاهده شده و پارامترهای مدل بطور ضعیفی غیر خطی باشد این رابطه را با استفاده از مدل اولیه پیشنهادی و به کمک بسط تیلور خطی می‌کنیم.

یکی از روش‌های معمول برای حل مسائل غیر خطی، روش بهینه سازی گوس- نیوتن است. این روش به طور گسترده ای در حل مسائل معکوس سازی منجمله در نرم‌افزار RES2DINV به کار می‌رود (Sasaki, 1992).

روش کمترین مربعات خطی: این روش به مدل اولیه بستگی ندارد ولی بسته به اینکه به همراه داده های برداشت شده اطلاعات اضافی از گمانه های حفر شده در منطقه تا گزارشات عملیات اکتشافی، وجود

^۱ Sum square error

داشته باشد یا خیر به دو روش نامقید^۱ و مقید^۲ تقسیم می شود و هر چه اطلاعات جانبی بیشتر باشد جواب های ممکن محدودتر شده و در رسیدن به نزدیک ترین مدل به مدل واقعی کمک بیشتری می کند.

روش نامقید: روش انتخابی که امروزه بطور عموم برای معکوس سازی داده های صحرایی مقاومت ویژه الکتریکی استفاده می شود، روش مدل سازی هموار نامقید کمترین مربعات می باشد که هم برای معکوس سازی داده های مقاومت ویژه و بارپذیری دوبعدی و سه بعدی بکار می رود.

روش مقید: در برخی از موقعیت ها، اطلاعات اضافی مانند اطلاعاتی که از اکتشافات پیشین بدست آمده است، در دسترس است. این اطلاعات را می توان از قوانین عمومی نیز بدست آورد. این اطلاعات اضافی را می توان در مسائل معکوس سازی تلفیق نمود. بدین ترتیب این اطلاعات، جواب های ممکن مسئله را محدود می کند و هر چه اطلاعات جانبی بیشتر باشد جواب های ممکن محدودتر شده و در رسیدن به نزدیک ترین مدل به مدل واقعی، کمک بیشتری می کند (چاکری، ۱۳۸۴).

۳-۴-۳ مدل سازی معکوس پارامتری

این روش به دلیل ریاضیات آن در مواجهه با داده های نادقیق، ناکافی و متناقض فوق العاده محبوب و پرکاربرد می باشد. برداشت و مطالعات فراوانی بر پایه آن در چهار دهه اخیر انجام پذیرفته است معکوس سازی پارامتری این قابلیت را دارد که مرزهای تیز را نشان دهد بنابراین، در مدل سازی گسل ها روش بسیار مناسبی می باشد (Oldenburg and Li, 1994).

برای به کار بردن این روش در مدل سازی معکوس، ابتدا باید مدلی با توجه به اطلاعات زمین شناسی و دیگر منابعی که می تواند اطلاعاتی در مورد توده معدنی یا آنومالی مورد نظر در اختیار قرار دهد، به عنوان مدل اولیه انتخاب کرد و سپس پارامترهای این مدل اولیه را آنقدر تغییر داد که داده هایی که از آن محاسبه می شود با داده های برداشتی که در واقع ناشی از مدل واقعی می باشد، بیشترین انطباق را داشته باشد، هر چه تفاوت داده های محاسبه ای و برداشتی کمتر شود مدل حاصل تطابق بیشتری با مدل واقعی حاصل کرده و در نتیجه از دقت بیشتری برخوردار است. مقدار تفاوت داده های برداشتی با داده های

^۱unconstrained
^۲constrained

محاسبه ای را خطای عدم انطباق می گویند. در معکوس سازی پارامتری رسیدن به مدل نهایی از دو طریق امکان پذیر است که در ادامه به معرفی آنها می پردازیم.

Under parameterization: این روش منجر به حذف بسیاری از اطلاعات واقعی موجود در داده ها می گردد. در صورتی که عارضه ای اضافه بر عوارض مدل اولیه در داده ها حضور داشته باشد درون عوارض مدل مستهلک می گردد. این شیوه به شدت مدل اولیه، نوع پارامتری سازی آن و دانش اولیه زمین شناسی در مورد منطقه متکی است (چاکری، ۱۳۸۴).

Over parameterization: در این شیوه مدل به واحدهای بسیار بیشتر از آزادی داده ها تقسیم می شود. این شیوه اغلب عوارض جعلی و اضافه بر داده ها تولید می کند. اگر چه این شیوه برای زمین با اجسام محدود و محیط همگن داخل هر یک از آنها که تغییرات مقاومت ویژه فقط در دو سوی مرزهای تیز اجسام رخ می دهد عملکرد قابل قبولی دارد ولی با افزایش پارامترها و برای ناهمگنی های ملایم مرزها و تغییرات نرم و هموار که واقعیت بسیاری از زمین ها است جواب هایی با نوسانات خارج از کنترل و عوارض جعلی بدست می دهد (چاکری، ۱۳۸۴).

طبیعت میدان های الکتریکی و الکترومغناطیسی به گونه ای است که نمی تواند اطلاعات کامل و دقیقی از مرزبندی ساختارها به دست دهد و اندازه گیری این میدان ها بدین منظور، منجر به آشکار سازی عوارض و مرزهای غیرواقعی می شود که بودن یا نبودن آنها به مقدار کمی بر روی تابع خطای عدم انطباق موثر است. به دلیل مذکور، طبیعت مسائل مدل سازی معکوس IP و مقاومت ویژه، غیرخطی می باشد که منجر به ناپایداری جواب های اینگونه مسائل می گردد زیرا تغییرات کوچک در داده های مشاهده شده، الگوریتم معکوس سازی را ناپایدار می نماید و عواملی مانند نوفه، این ناپایداری را افزایش می دهد.

برای رفع مشکل مذکور در مطالعه حاضر از نرم افزار RESIXIP2DI استفاده شده است که به دلیل استفاده از الگوریتم رگرسیون ریج در این نرم افزار مشکل ناپایداری معکوس سازی، تا حدود زیادی مرتفع می گردد. زیرا این نرم افزار در مواجهه با داده های نویزی و همچنین افزایش پایداری در مدل سازی معکوس با استفاده از روش کمترین مربعات غیرخطی میرا^۱، که در آن تعبیه شده است، بسیار قوی عمل می کند.

^۱Damped non linear least square

۳-۴-۴ مدل سازی معکوس هموار

قید هموارسازی در مسائل معکوس سازی برای کنترل ناپایداری در این گونه مسائل طراحی شده است و اعمال آن بر مسائل معکوس سازی را، روش معکوس سازی هموار گویند که توسط کانستبل و همکاران در سال ۱۹۸۷ ابداع شده است و آن را معکوس سازی اکام نامیده اند (Constable, et al., 1987). این روش را اولین بار برای معکوس سازی داده های یک بعدی مگنتوتلوریک و مقاومت ویژه به کار بردند. پیشنهاد جدید این بود که به جای کمینه کردن شبه تابع عدم انطباق بدون هیچ قید و شرطی مدلی انتخاب گردد که با کمترین ناهمواری ممکن مقدار شبه تابع مذکور را درون بازه قابل قبولی از خطا نگاه دارد. به این ترتیب تنها عوارض ژئوالکتریکی در مدل حضور خواهند داشت که بدون عمل آنها، مدل به شدت از داده ها فاصله می گیرد. در واقع با به کارگیری روش هموار اکام می توان ناپایداری مسائل معکوس سازی را رفع نمود. ابتدا شبکه مدل سازی پیشرو مثلا عنصر محدود به گونه ای بر روی شبکه مقاومت ویژه تعریف می شود تا حداقل یک گره آن روی هر کدام از مرزهای مقاومت ویژه قرار گیرد. پس ناهمواری بردار پارامتری مدل m دوبعدی با کمک ماتریس دیفرانسیل گیری به یکی از دو صورت زیر تعریف می شود (چاکری، ۱۳۸۴):

$$R_1 = \|\partial_y m\|^2 + \|\partial_z m\|^2 \quad (16-3)$$

$$R_2 = \|\partial_y^2 m\|^2 + \|\partial_z^2 m\|^2 \quad (17-3)$$

در صورتی که در مدل سازی پیشرو از شبکه ای با لایه های بی نهایت در گوشه ها و شبکه های بی نهایت در پایین استفاده کنیم مشتق اول R_1 بهترین انطباق را با شرایط مرزی مربوطه خواهد داشت، بنابراین تنها از آن استفاده می کنیم. با فرض شبکه ای با n عنصر که شامل P عدد به عرض h در جهت افقی و ۱ عدد به طول v_i ، در جهت عمودی می باشد، ماتریس های ناهمواری به شکل زیر تعریف می شوند.

$$\partial_z = \begin{bmatrix} -1 & 0 & \cdots & 0 & 1 & 0 & 0 & \cdots \\ 0 & -1 & 0 & \cdots & 0 & 1 & 0 & \cdots \\ & & \ddots & & & & \ddots & \\ & & & -1 & \cdots & 1 & & \\ & & & 0 & & & & \end{bmatrix} \quad (18-3)$$

∂_z ماتریس 0 صفر با ابعاد $p \times n$ است. پارامترهای واحدهای مجاور عمودی را مقایسه می کند.

$$\partial_{z(N \times N)} = \begin{bmatrix} \partial_{y_1} & & 0 \\ & \partial_{\sim y_z} & \\ 0 & & \partial_{\sim y_z} \end{bmatrix} \quad (19-3)$$

هر کدام از $\partial_{\sim y_i}$ ها یک ماتریس ناهمواری $P \times P$ به شکل زیر هستند.

$$\partial_{yi(P \times P)} = \begin{bmatrix} -\frac{V_i}{h} & \frac{V_i}{h} & \cdots & 0 \\ 0 & -\frac{V_i}{h} & \frac{V_i}{h} & 0 \\ & & -\frac{V_i}{h} & \frac{V_i}{h} \end{bmatrix} \quad (20-3)$$

هر کدام از $\hat{\theta}_{y_i}$ ها پارامترهای بین واحدهای مجاور افقی را مقایسه می کنند. معیار کمترین مربعات (به صورت کای اسکور¹) را به شکل زیر تعریف می کنیم (Oldenburg and Li, 1994).

$$\chi^2 = \|\underline{W}d - \underline{W}F[m]\|^2 \quad (21-3)$$

d بردار داده ها که هر یک دارای خطای تخمین δ_i می باشند. $F[m]$ تابع غیرخطی پاسخ مدل و \underline{W} ماتریس وزن دهی که با فرض استقلال خطاها به شکل قطری قابل تعریف می باشد، هستند.

$$\underline{W} = \text{diag}\left\{\frac{1}{\delta_1}, \frac{1}{\delta_2}, \dots, \frac{1}{\delta_m}\right\} \quad (22-3)$$

با فرض توزیع گوسی خطاها و ملاحظات آماری، مقدار معیار چشم داشتی مناسب و منطقی محاسبه می گردد که با علامت χ^{*2} نشان می دهیم. مقادیر چشم داشتی بسیار کوچک، مدل هایی با ناهمواری های اضافی نه چندان مفید تولید می کنند در حالیکه اختلاف خطای عدم انطباق را به مقادیر جزئی کاهش می دهند. حل مسئله در واقع پیدا کردن مدلی با کمترین ناهمواری ممکن است که در عین حال مقدار χ^{*2} را در حد χ^{*2} کوچک نگاه دارد. برای کمینه کردن مفید یک شبه تابع محاسبه به کمک روش ضرب کننده لاگرانژی (μ)، باید شبه تابع زیر را کمینه کرد (Hedlin and Constable, 2004).

$$U[m] = \|\underline{\partial}_y m\|^2 + \|\underline{\partial}_z\|^2 + \mu^{-1}(\|\underline{W}d - \underline{W}F[m]\|^2 - \chi^{*2}) \quad (23-3)$$

در مدل سازی پارامتری، سعی می شود که مدلی با بهترین انطباق با داده ها بدست آید اما در شیوه اکام بازه قابل قبول خطای عدم انطباق مدل با داده ها تعریف و معادله بالا برای مدلی با کمترین ناهمواری و عوارض، که در این بازه قرار گیرد، حل می شود. چون شبه تابع U غیرخطی است. ابتدا حول مدل اولیه m_1 خطی سازی می شود (Hedlin and Constable, 2004).

¹ Chi - square

$$F[m_1 + \Delta] = F[m_1] + J_1 \Delta \quad (24-3)$$

$$J = \nabla m F \quad (25-3)$$

$$\Delta = m_2 - m_1 \quad (26-3)$$

که J ژاکوبین مشتقات جزئی F نسبت به مدل همان مرحله است (J_1 برای m_1 است). پس با جایگزینی در U داریم:

$$U = \|\underline{\partial}_y m_2\|^2 + \|\underline{\partial}_z m_2\|^2 + \mu^{-1} \left(\|\underline{W} \hat{d}_1 - \underline{W} J_1 m_2\|^2 - \chi^{*2} \right) \quad (27-3)$$

$$\hat{d}_1 = d - F[m_1] + J_1 m_1 \quad (28-3)$$

اکنون U حول m_2 خطی است. با مشتق گیری و حل برای مدلی که U را کمینه کند و تکرار روند خواهیم داشت.

$$m_{i+1} = \left[\mu (\underline{\partial}_y^T \underline{\partial}_y + \underline{\partial}_z^T \underline{\partial}_z) + (\underline{W} J_i)^T \underline{W} J_i \right]^{-1} (\underline{W} J_i)^T \underline{W} \hat{d}_1 \quad (29-3)$$

در این شیوه پاسخ مستقل از مدل اولیه است. از این رو اغلب از نیم فضایی همگن با مقاومت ویژه میانگین داده ها به عنوان مدل اولیه می توان استفاده کرد. الگوریتم مدل هموار دوبعدی داده ها با نرم افزار RES2DINV به صورت فوق می باشد (Loke, 2000).

۳-۵ معرفی نرم افزارهای به کار برده شده در پایان نامه

نرم افزار RES2DINV : یک نرم افزار گرافیکی است که تحت ویندوز عمل می نماید. نرم افزار RES2DINV توسط لوک^۱ طراحی شده است؛ و بطور خودکار مدل دو بعدی داده های صحرائی مقاومت ویژه و قطبش القائی را بدست می آورد (چاکری، ۱۳۸۴). در این نرم افزار به طور معمول مدل سازی پیشرو عنصر محدود و تفاضل محدود برای محاسبه مقادیر مقاومت ویژه ظاهری به کار می رود و پس از آن شیوه بهینه کمترین مربعات برای معکوس سازی داده ها استفاده می شود. به منظور استفاده از این نرم افزار در ابتدا داده ها

^۱loke

طبق فرمت خاص برنامه، در یک فایل با پسوند txt ذخیره می‌گردد. مدل‌سازی پیش‌رو با استفاده از روش عنصر محدود یا تفاضل محدود، قابلیت مدل‌سازی داده‌های بدست آمده در عملیات صحرائی با تعداد تقریبی ۱۶۰۰۰ الکترو و ۲۱۰۰۰ داده را دارا می‌باشد. این برنامه را می‌توان برای مدل‌سازی داده‌های بدست آمده از آرایش‌های مختلفی مانند ونر، شولمبرژه، قطبی-قطبی، دوقطبی-دوقطبی، قطبی-دوقطبی، دوقطبی-دوقطبی-دوقطبی استوایی و گرادیان به کار گرفت. حتی می‌توان نرم‌افزار را برای آرایش‌های دیگر نیز برنامه‌ریزی نمود.

برای شروع، نرم‌افزار از مدلی با شبکه‌های مستطیلی استفاده می‌نماید که تعداد و چینش داده‌ها مطابق توزیع داده‌های صحرائی می‌باشد. به دلیل استفاده از شبکه‌های مستطیلی، امکان استفاده از تمامی روش‌های تصحیحات توپوگرافی روی شبکه وجود دارد. این برنامه قابلیت انجام مدل‌سازی داده‌های برداشتی دریایی و درون‌چاهی را نیز دارا می‌باشد. یکی از محاسن به کارگیری این نرم‌افزار عدم نیاز به دادن مدل آغازین، توسط کاربر، برای انجام مدل‌سازی معکوس هموار می‌باشد، زیرا نرم‌افزار به صورت پیش‌فرض مدل اولیه را یک زمین همگن در نظر می‌گیرد (Loke, 2004).

این نرم‌افزار تنها بر اساس الگوریتم هموار اکام عمل می‌نماید. در این نرم‌افزار، مدل‌سازی با استفاده از روش کمترین مربعات هموار مقید نیز، انجام می‌پذیرد. نرم‌افزار، مقاطع گوناگونی را تهیه و نمایش می‌دهد. علاوه بر مدل نهایی، مقاطع حساسیت و عدم قطعیت واحدها قابل محاسبه هستند. از دیگر ویژگی‌های این نرم‌افزار، امکان تغییر عرض واحدها به نصف فاصله الکترودی (الکترودهای جریان) است که بنابر تجربیات، نتایج بهتری با نوسانات حجمی کمتر مدل، به دست می‌دهد (حسن زاده، ۱۳۸۲). همچنین با افزایش عامل میرایی برای نواحی خاص در مدل، می‌توان میزان تغییرات مقاومت ویژه را با توجه به اطلاعات دقیق قبلی از آن نقاط، تقریباً ثابت نگه داشت. در مجموع این نرم‌افزار، اگر چه از انتخاب‌های گسترده تری نسبت به RESIXIP2DI برخوردار است، اما تکیه بیش از حد آن بر قید هموار بودن در الگوریتم پیشنهادی، همچنین استفاده از شبکه مستطیلی باعث شده تا مدل نهایی بسیار کلی بوده و قادر به تفکیک آنومالی‌های نزدیک به هم و ارائه مرزهای آشکار آنها نباشد (حسن زاده، ۱۳۸۲). یکی از مزایای این روش آن است که فاکتور میرایی و فیلترهای هموارسازی را می‌توان برای انواع مختلف از سری داده‌ها تنظیم نمود. هدف نرم‌افزار تعیین مقاومت ویژه شبکه‌های مستطیلی است که یک شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری را ایجاد می‌نمایند که با داده‌های خام مشاهده شده هماهنگ می‌باشد. برخی موارد برای آرایش‌های شولمبرژه و ونر،

ضخامت لایه اول شبکه ها را، نصف فاصله الکترودی (الکترودهای جریان) در نظر گرفته می شود. کاربرد می تواند عمق لایه ها را به طور دستی تغییر دهد. به طور اساسی ضخامت لایه ها برای آرایش های قطبی-قطبی و قطبی-دوقطبی و دوقطبی-دوقطبی حدود ۰/۶ و ۰/۳ و ۰/۹ برابر فاصله الکترودی (الکترودهای جریان) در نظر گرفته می شود. اما ضخامت لایه های عمیق تر بطور متوالی، با ۱۰٪ الی ۲۵٪ لایه های بالایی افزایش می یابد. در بهترین روش سعی بر آن است که تفاضل بین مقادیر مقاومت ویژه ظاهری و محاسبه شده با مرتبط نمودن مقاومت ویژه شبکه های مدل، به حداقل رسانده شود. سنجش این تفاضل توسط خطای RMS یا ریشه میانگین مربعات انجام می پذیرد. با توجه به اینکه مدل با کمترین خطا ممکن است که بهترین مدل نباشد، از این رو به طور معمول و از منظر زمین شناسی، بهترین مدل پس از هر تکرار خطای RMS نباید به طور قابل توجهی تغییر نماید. بطور معمول بهترین مدل بین تکرار ۳ و ۵ واقع می شود. در هر سری از مدل سازی داده های مدل مقاومت ویژه بدست آمده در آخرین تکرار با کمترین RMS، برای مدل سازی معکوس سری داده های قطبش القایی به کار می رود. اگر مدل مقاومت ویژه یک نمایش واقعی از مقاومت ویژه زیر سطحی زمین ارائه دهد، این شیوه موثرترین شیوه می باشد. در معکوس سازی سری داده ها اگر تعداد تکرارها برابر یا بیش از ۵ باشد، مدل محاسبه شده می تواند شامل انحرافات شود. این بدان علت است که معکوس سازی بر پایه تعداد محدودی از نقاط داده ای استوار می باشد. انحراف، زمانی بیشتر می گردد که داده شامل نویز باشد. بیشتر کاربرها تمایل به انجام بیشترین تکرار را دارند، تا خطای RMS را کاهش دهند. اگر یک مدل مقاومت ویژه، شامل انحراف، در مدل سازی معکوس داده های قطبش القایی به کار برود، این انحراف بر مدل قطبش القایی در تمام تکرار های بعدی اثر می گذارد. معکوس سازی به کار رفته در این برنامه بر مبنای یک روش گام به گام می باشد. معکوس سازی سری داده های مقاومت ویژه و قطبش القایی در این روش هنوز بطور جداگانه انجام می شود. هر چند که پس از یک تکرار معکوس سازی داده های مقاومت ویژه، فوراً یک تکرار معکوس سازی داده های قطبش القایی صورت می گیرد. و بدین ترتیب مدل مقاومت ویژه بدست آمده در یک تکرار مخصوص داده های مقاومت ویژه، برای معکوس سازی داده های قطبش القایی در همان تکرار به کار می رود، زیرا مدل های مقاومت ویژه در تکرارهای اولیه به سبب حضور نوفه در داده ها کمتر انحراف دارند و سبب می شوند مدل های قطبش القایی نیز کمتر تحت تاثیر نوفه واقع گردند و انحراف بین مدل داده های خام و محاسبه شده کمتر شود. یکی از

مشکلات عمومی در مدل سازی حضور نقاط داده ای بد (داده های خارج از ردیف)^۱، در سری داده ها می باشد. در این نرم افزار می توان مقادیر مقاومت ویژه ظاهری بالا و پایین را کنترل نمود و در صورت لزوم با حذف این مقادیر به رفع این مشکل کمک نمود. خطای مربوط به مقادیر بالا و پایین را می توان به خطای ابزار و تجهیزات اندازه گیری در طی برداشت های صحرائی و یا اتصال الکترونی ضعیف در زمین خشک و ماسه ای یا سنگی نسبت داد.

در معکوس سازی هموار، کاربر می تواند پارامترهای مدل را تغییر دهد و همچنین با استفاده از اطلاعات حاصل از منابع دیگر مانند زمین شناسی منطقه و حفاری های انجام شده در منطقه مورد مطالعه، می توان دقت مدل سازی را به کمک این نرم افزار افزایش داد.

نرم افزار RESIXIP2DI: این نرم افزار دارای یک محیط گرافیکی می باشد که علی رغم اینکه در تهیه آن از برنامه نویسی های کاملاً پیچیده استفاده شده است ولی کاربر با استفاده از این محیط گرافیکی و نمادهایی که در صفحه وجود دارد، بدون مواجهه با الگوریتم های پیچیده مدل سازی به راحتی می تواند از آن استفاده کند. این نرم افزار برای اجرا از سیستم عامل DOS استفاده می کند (چاکری، ۱۳۸۴).

این نرم افزار برای آرایش های معمول ژئوالکتریکی از جمله آرایش های ونر، شولمبرژه، قطبی - قطبی، دوقطبی-دوقطبی و قطبی-دوقطبی کاربرد دارد و همچنین قابلیت مدل سازی داده های مقاومت ویژه و IP را به طور همزمان دارا است. شبکه بندی آن شامل واحدهای مثلثی چهارگانه درون هر مستطیل می باشد که نه تنها سبب می شود در پی گیری انحنای توپوگرافی از نرم افزار RES2DINV بهتر عمل می نماید، بلکه مدل نهایی و آنومالی های آن، با قدرت تفکیک بیشتر ارائه می گردد. این نرم افزار قادر به انجام تصحیحات توپوگرافی بر روی شبکه مدل سازی نیز هست که به نام مدل زونگ ارائه شده است. این مدل سازی بر پایه الگوریتمی مشابه روش اصلاح شده هموار اولدنبرگ و لی عمل می کند (Interpex, 1999).

همچنین این نرم افزار قادر به انجام دو شیوه کلی مدل سازی معکوس می باشد. در شیوه اول بدون تعریف مدل اولیه با تقسیم مدل به شبکه ای با تعداد زیاد واحدهای مثلثی و انجام مدل سازی وارون بر مبنای روش برگشت مرزی یا هموار اکام به دلیل ایجاد پایداری در مدل به دست آمده، عمل می شود. در عملیات مدل سازی توسط این نرم افزار ابتدا داده ها با شیوه اول مدل سازی می شوند و همچنین

¹Out lier

تصحیحات توپوگرافی هم توسط مدل زونگ به صورت همزمان بر روی آنها انجام می شود و سپس در شیوه دوم مدل سازی معکوس، نرم افزار از تعداد محدودی چند ضلعی های دو بعدی (پلیگون) و لایه برای ساختن مدل و محاسبات پیشرو استفاده می کند. این مدل باید توسط کاربر تعریف شده و نزدیک به واقعیت زمین باشد، همچنین می توان برای ساختن مدل اولیه از نتایج مدل سازی هموار یا دیگر داده ها استفاده کرد. در صورتی که خواهان ارائه مدلی با آنومالی های برجسته و مرزهای کاملاً مشخص باشیم، این روش بسیار مطلوب می باشد. اغلب با راهنمایی مدل حاصل از شیوه قبلی، کار تعریف مدل چند ضلعی انجام می گیرد. سپس با آزاد گذاشتن بعضی پارامترهای مدل و ثابت کردن بعضی دیگر، به نرم افزار اجازه می دهیم که به دنبال پارامتری با کمترین خطای ممکن، در نزدیکی پارامترهای آزاد قبلی، باشد. پس از یافتن پارامتر جدید، محاسبات پیشرو دوباره انجام و نرم افزار در محدوده خاصی اطراف مقدار جدید، جستجو را ادامه می دهد. بدین ترتیب الگوریتم، با پرشهای کوچک روی مقادیر جدید در فضای پاسخ و جستجوی مدلی با خطای کمتر حول آن ادامه می یابد. کار با پارامترها، در این شیوه، ظریف و زمانبر است. آزاد کردن تعداد زیادی پارامتر، به معنی سردرگمی نرم افزار در انتخاب راه های بسیار، میان مدل ها، برای رسیدن به مدل بهینه است که باید از آن پرهیز شود. از این نظر کاربر نقشی اساسی در هدایت نرم افزار با تقدم و تاخر آزادسازی پارامترها دارد. نداشتن درک تقریبی قبلی از جواب نهایی و اطلاعات جانبی دیگر در این شیوه باعث گمراه شدن کاربر خواهد شد (Interpex, 1999).

حال که با تئوری مدل سازی عددی و طرز کار نرم افزارهای مورد استفاده و مزایا و معایب آنها آشنا شدیم در فصل بعد، داده های مورد نظر را به کمک نرم افزارهای فوق الذکر مورد مدل سازی قرار می دهیم تا محل های کانی سازی شده احتمالی بطور بارزتری مورد شناسایی قرار گیرند.

فصل چهارم

مدل سازی معکوس داده های مقاومت ویژه و قطبش
القایی و تفسیر نتایج حاصل

۴-۱ مقدمه

در این فصل ابتدا مطالبی در مورد موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی منطقه مورد نظر ارائه شده، سپس شبهه مقاطع IP و مقاومت ویژه مربوط به داده های خام بر روی سه پروفیل مهر ۱، مهر ۲ و مهر ۳ به همراه تفسیر کلی آنها ارائه می شوند. در ادامه نتایج مدل سازی معکوس هموار و پارامتری ارائه و مورد تفسیر کمی قرار گرفته و در نهایت محل هایی جهت حفر گمانه های اکتشافی برای بررسی های بیشتر معرفی خواهند شد.

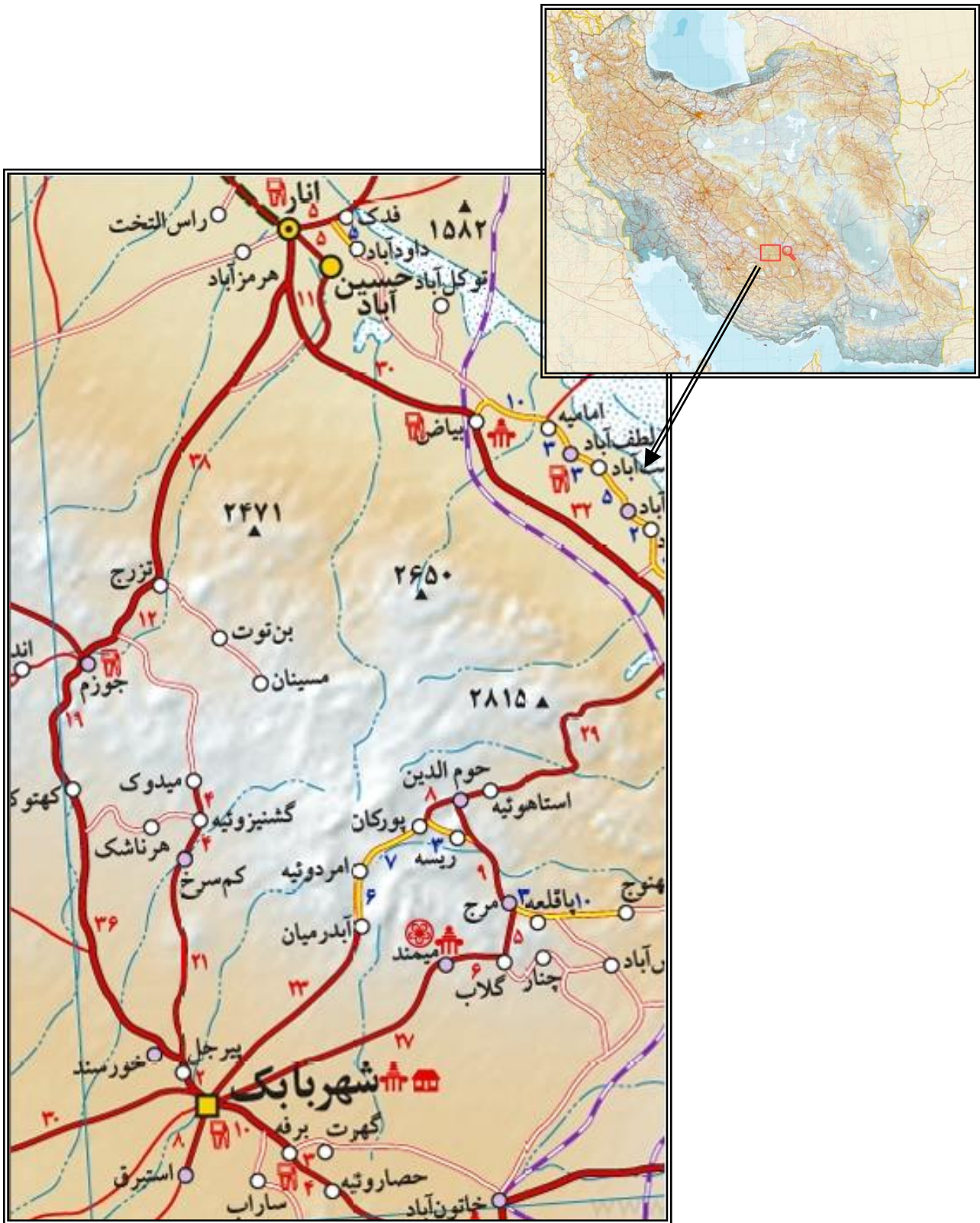
۴-۲ موقعیت جغرافیایی و راه های دسترسی

منطقه مورد مطالعه در این پایان نامه یک ناحیه معدنی واقع در منطقه ای کوهستانی است که در جنوب شرقی شهرستان انار قرار گرفته است. شکل (۴-۱) محل قرارگیری اندیس مورد مطالعه و نقشه راه های موجود در منطقه را، نشان می دهد.

برای دسترسی به محدوده مورد مطالعه دو راه اصلی وجود دارد. جاده اول در مسیر شوسه رفسنجان به انار واقع شده که پس از عبور از دهستان حسین آباد و طی مسیر ۲۷ کیلومتر در جاده خاکی جیپرو و در جهت جنوب غرب شهرستان انار، به اندیس مربوطه می رسیم. جاده دوم در مسیر آسفالتی انار به شهر بابک واقع شده که پس از طی ۴۰ کیلومتر از این مسیر به سمت چپ تغییر مسیر داده و با طی ۱۲ کیلومتر جاده خاکی به اندیس مورد نظر می رسیم (عرب امیری، ۱۳۸۴).

آب و هوای نواحی کوهستانی منطقه انار، آب و هوای معتدل کوهستانی است و تنها در یک یا دو ماه از فصل زمستان پوشیده از برف است. آب و هوای بلندی های واقع در شرق نقشه نسبتاً سرد و ارتفاعات ناحیه جنوب غربی نقشه معتدل گرم و تاحدودی خشک است و با بخش مرکزی و غربی نقشه قابل مقایسه نیست. نواحی کم ارتفاع و هموار که شامل نواحی کویری این منطقه نظیر نواحی اطراف بیاض و انار می باشد دارای آب و هوای گرم و خشک کویری است (عرب امیری، ۱۳۸۴).

برای اکتشاف آنومالی های مربوط به مس پرفیری (واقع در کمربند مس سنندج- سیرجان) یک تیم اکتشافی از دانشکده معدن و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود (عرب امیری، ۱۳۸۴) ناحیه مورد نظر را با برداشت های IP و مقاومت ویژه بررسی نمودند.



شکل (۴-۱): حدود قرارگیری منطقه مورد نظر و نقشه راه های دسترسی به منطقه (www.Iran view.com)

۳-۴ زمین شناسی عمومی محدوده مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بخشی از کمربند آتشفشانی ارومیه- دختر می باشد. مختصات ناحیه مورد مطالعه شده در نقشه (۲-۴)، در جدول (۱-۴) نشان داده شده است.

جدول ۱-۴- مختصات ناحیه ثبت شده

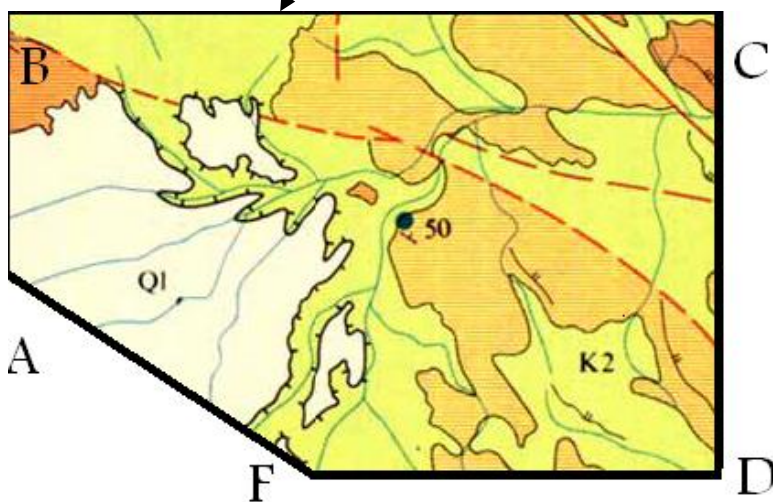
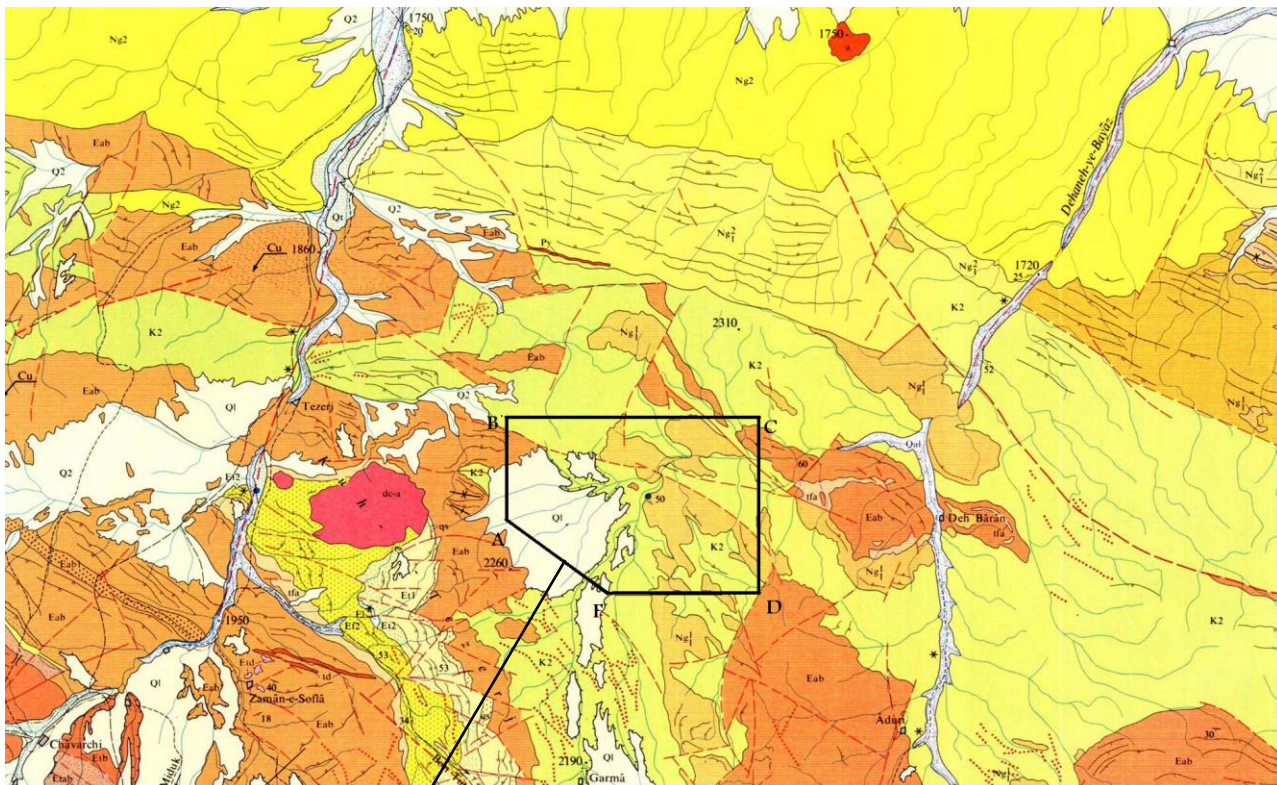
رئوس	A	B	C	D	F
طول جغرافیایی	۴۵۱۱۵۵	۴۵۱۱۵۵	۵۵ ۱۵ ۰۰	۵۵ ۱۵ ۰۰	۵۵ ۱۳ ۴۳
عرض جغرافیایی	۳۰ ۳۴ ۲۱	۳۰ ۳۵ ۴۶	۳۰ ۳۵ ۴۶	۳۰ ۳۳ ۴۸	۳۰ ۳۳ ۴۸

زمین شناسی محدوده مورد مطالعه بر اساس مشاهدات صحرائی و نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ انار (شکل ۲-۴) به ترتیب سن از قدیم به جدید بشرح آتی است:

فلیش های کرتاسه بالایی: رسوبات مربوط به بخش عمده ای از مناطق کوهستانی در جنوب و شمال شرقی چهارگوشه ۱:۱۰۰۰۰۰ انار شامل فلیش های کرتاسه بالایی است؛ که فسیل های متعددی نیز در آنها قابل رویت می باشد. در بخش جنوبی منطقه این فلیش ها شامل کالک آرنیت بسیار دانه ریز، بیو اسپاریت، گریوک های بسیار دانه ریز و مارن است. در این واحد زمین شناسی سنگ های دانه درشت تقریباً وجود ندارند و لایه بندی بندرت قابل تشخیص است. قسمت های پایین تر این واحد نشان دهنده ساختارهای رسوبی با منشا مکانیکی می باشند (سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۷۲)،

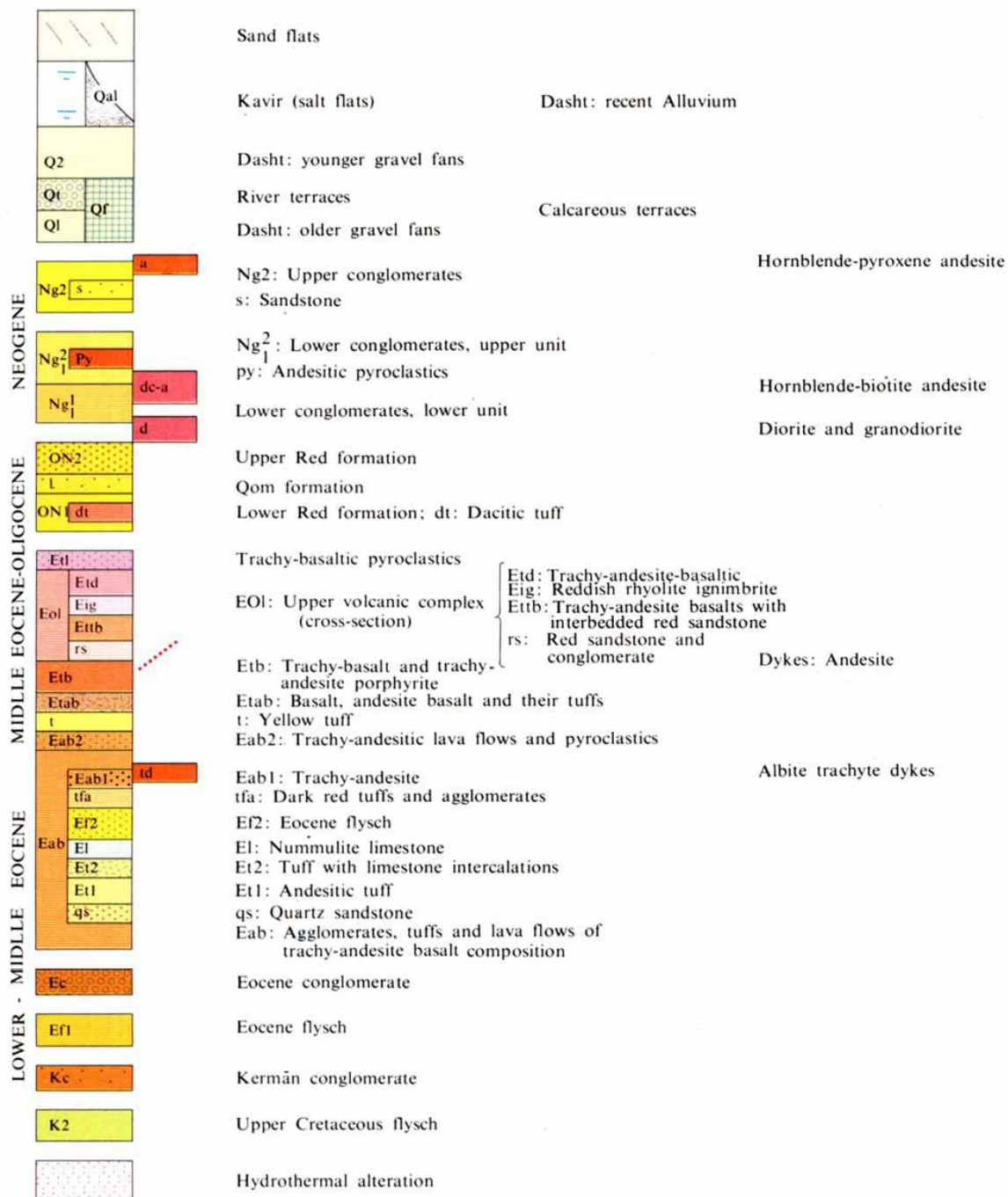
کنگولومرای کرمان: این واحد تنها در بخش شمال شرقی ناحیه مورد مطالعه به صورت غیردگرشیب بر روی فلیش های کرتاسه بالایی قرار دارد که این مجموعه توسط ولکانیک های ائوسن میانی پوشیده شده است. ضخامت این واحد در حدود صد متر تخمین زده می شود که بشکل توده ای بنظر می رسد. از نظر ابعاد قطعات کنگولومرا در ابعاد دو تا صد سانتیمتر است. که گردشگی دانه ها در بالاترین حد ممکن است و گردترین دانه ها در کنگولومرا قطعات آهک و قلوه سنگ می باشد. ترکیب شیمیایی این قطعات بیسار متغیر و متنوع می باشد.

کنگولومرای ائوسن: این واحد تنها در گوشه جنوب شرقی ناحیه مورد مطالعه دیده شده است. این کنگولومرا شامل قطعات فلیش با قلوه سنگ های فراوان آهکی حاوی فسیل های نومولیت و آلولینا می باشد.



شکل (۲-۴): (الف) نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ منطقه انار به همراه نمایش محدوده پروفیل های برداشت
(www.ngdir.ir)

L E G E N D



شکل (۴-۲-ب) راهنمای نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ انار (www.ngdir.ir)

مجموعه آتشفشانی - رسوبی ائوسن: این مجموعه بخش جنوب غربی ناحیه مورد مطالعه را دربر گرفته است؛ و به سه بخش عمده تقسیم می‌شود؛ پایین‌ترین بخش این مجموعه با کنگولومرایی که همراه با جریان گدازه‌ای نادر با ترکیب تراکی‌آندزیت-بازالت است، شروع می‌شود. در اطراف روستای تزرچ، جنوب غرب ناحیه مشخص شده در نقشه زمین‌شناسی، کنگولومراها با یک مجموعه رسوبات که در سایر نواحی دیده نمی‌شود؛ پوشیده می‌شود. ادامه این مجموعه با ماسه‌سنگی کوارتزی است که در حدود سی‌متر ضخامت دارد و یک افق راهنمای مناسب محسوب می‌شود. این واحدهای زمین‌شناسی در بالا با توفهای آندزیتی خاکستری تیره که در حدود دویست‌متر ضخامت دارند و توفهای آندزیتی با میان لایه‌های آهکی نازک که حدود صد متر ضخامت دارند؛ پوشیده می‌شوند. در قسمت بالاتر این مجموعه یک افق ناپیوسته آهک زرد نومولیتی با ضخامت اندک (چند متر) با سن ائوسن بالایی وجود دارد (عرب امیری ۱۳۸۴).

بخش میانی این مجموعه با رسوبات آذرآواری شروع می‌شود؛ که شامل افق‌های توفی زرد رنگ است. این توفها بوسیله بازالت و آندزیت-بازالت و در بالاتر تراکی-بازالت پوشیده می‌شود. رنگ این تشکیلات ارغوانی خاکستری و قرمز قهوه‌ای می‌باشد و دارای بافت پرفیری هولوکریستالین می‌باشد.

بخش بالای این مجموعه از نظر سنگ‌شناختی بسیار متغیّر است و با کنگولومرایی که عمدتاً از قلوه‌سنگ‌های آتشفشانی تشکیل شده؛ شروع می‌شود که در زیر آن، تراکی‌بازالت‌ها دیده می‌شوند و در بخش‌هایی این کنگولومراهای نازک با تراکی‌آندزیت-بازالت که از ماگمای بازیگ سرشار از آب منشا گرفته است؛ بوجود آمده‌اند. در نهایت این مجموعه با مواد آذرآواری تراکی‌بازالتی که در بالای آن جریان‌های اولیوین‌بازالت قرار دارد؛ خاتمه می‌یابد.

سازند قرمز پایینی: این واحد به صورت غیر دگرشیب بر روی سازندهای ائوسن قرار گرفته و در بخش جنوب غربی، در اطراف روستای توتا دیده می‌شود. در شمال غربی این ناحیه نیز این واحد در زیر رسوبات کواترنری دیده می‌شود. در محل‌های با رخنمون، ضخامت آن به بیش از هشتاد متر می‌رسد که شامل کنگولومرا و ماسه‌سنگ قهوه‌ای و قرمز و لایه‌های آذرآواری داسیت-آندزیت و آهکی است. این مجموعه توسط کنگولومرای سبز سست که در بالا با سنگ آهک سازند قم (با ضخامت ده متر) پوشیده شده، خاتمه می‌یابد.

آندزیت هورنبلند- بیوتیت: این مجموعه به عنوان باقیمانده‌های سری آتشفشانی سنگ های با سن ائوسن و کرتاسه بالایی شناخته می‌شوند و به صورت توده‌ای و بسیار تازه با رنگ خاکستری و سبز متمایل به خاکستری دیده می‌شوند.

کنگولومرای نئوژن پایینی: این واحد در یک سوی افتادگی انار و در سمت جنوب دیده می‌شود؛ که شامل کنگولومراهای ضخیم قرمز رنگ با تغییرات جانبی شدید می‌باشد. اندازه قلوه‌سنگ های این کنگولومرا ها بین دو تا پنجاه سانتیمتر متغیر است که این دانه‌ها دارای توزیعی نامنظم می‌باشند.

کنگولومرای نئوژن بالایی: این واحد به صورت غیر دگرشیب بر روی واحدهای قدیمی تر قرار گرفته و عمدتاً از افق‌های ماسه‌سنگی تشکیل شده است.

آندزیت‌های هورنبلند- پیروکسن: این مجموعه آتشفشانی شامل سنگ های جوان با رنگ خاکستری تیره با بافت میکروپورفیری است؛ که از فنوکریست های پلاژیوکلاز، هورنبلند بازالتی قهوه‌ای و ائوژیت تشکیل شده است.

رسوبات کواترنری: این رسوبات به شکل وسیعی در مرکز و شمال ناحیه مورد مطالعه دیده می‌شوند. تراست‌های آهکی این مجموعه، بخش وسیعی از دشت انار را در غرب و شمال غرب به خود اختصاص داده‌اند. رسوبات آبرفتی رودخانه‌ای تنها در طول رودخانه اصلی در دهانه بیاض، دهانه انار و رودخانه نمکی دیده می‌شوند (سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۷۲).

۴-۴ کانه زائی معدنی در منطقه انار

کانی سازی مس و بطور فرعی سرب و روی، در مناطق شرقی و تا حدودی مرکزی چهار گوشه انار صورت گرفته است. مهمترین ناحیه معدنی میدوک است، که شامل کانسارهای لاجاه، سارا، چاه مسی و چهل دختران می‌گردد. این ناحیه که در حدود ۳۴ کیلومتری شمال شهر بابک قرار داد، در زون آتشفشانی و نفوذی ارومیه دختر و کمر بند تکتونیکی زون فروراند^۱ کنار قاره ای واقع گردیده است. کانی سازی مس بطور عموم شامل مس پرفیری از نوع مونزونیتی است، که در پیوند با نفوذ توده های نیمه ژرف با ترکیب میکروگرانودیوریت پرفیری اواخر نئوژن بوجود آمده است. بهترین نمونه آن را می توان در معدن لاجاه

¹ Subduction

ملاحظه نمود. در این ناحیه دگرسانی های پتاسی و کوارتز سربستی در بخش مرکزی و نوع پروپلتیک در کناره قرار دارد و رگه های متعدد معدنی از نوع کالکوپیریت، پیریت، کربنات مس و گالن بخشهای دگرسان شده را قطع کرده اند. سنگ های دربرگیرنده معدن که زمینه را تشکیل می دهند، شامل ردیف سنگ های آتشفشانی، آذرآواری و در برخی نقاط رسوبی ائوسن است، که در این ناحیه به سمت جنوب غربی شیبدارند و مجموعاً تاقدیس بازی را تشکیل داده و فلیش های کرتاسه بالائی در مرکز آن قرار دارد.

جریانهای گدازه و گدازه های برشی همراه با سنگ های آذر آواری ائوسن با ترکیب عمومی تراکی آندزیت- تراکی بازالت است و توده های نفوذی با ترکیب اسیدی آنها را قطع کرده اند. محلول های گرمابی، آبهای ماگمائی و سولفورها باعث دگرسانی های متفاوتی گشته و کانه به صورت توده هائی بر روی سنگ های نفوذی تشکیل گردیده است. کانی سازی رگه ای در پیرامون توده های نفوذی بوجود آمده و نمونه ای از آنها در کانسار چاه مسی قابل مشاهده است. کانی سازی مس در این ناحیه با معدن فعال مس سرچشمه (در جنوب شرقی این ناحیه) همانندی بسیار دارد ولی به صورت دقیقتری نیز می توان ویژگی های آنرا مورد بررسی قرار داد (سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۷۲).

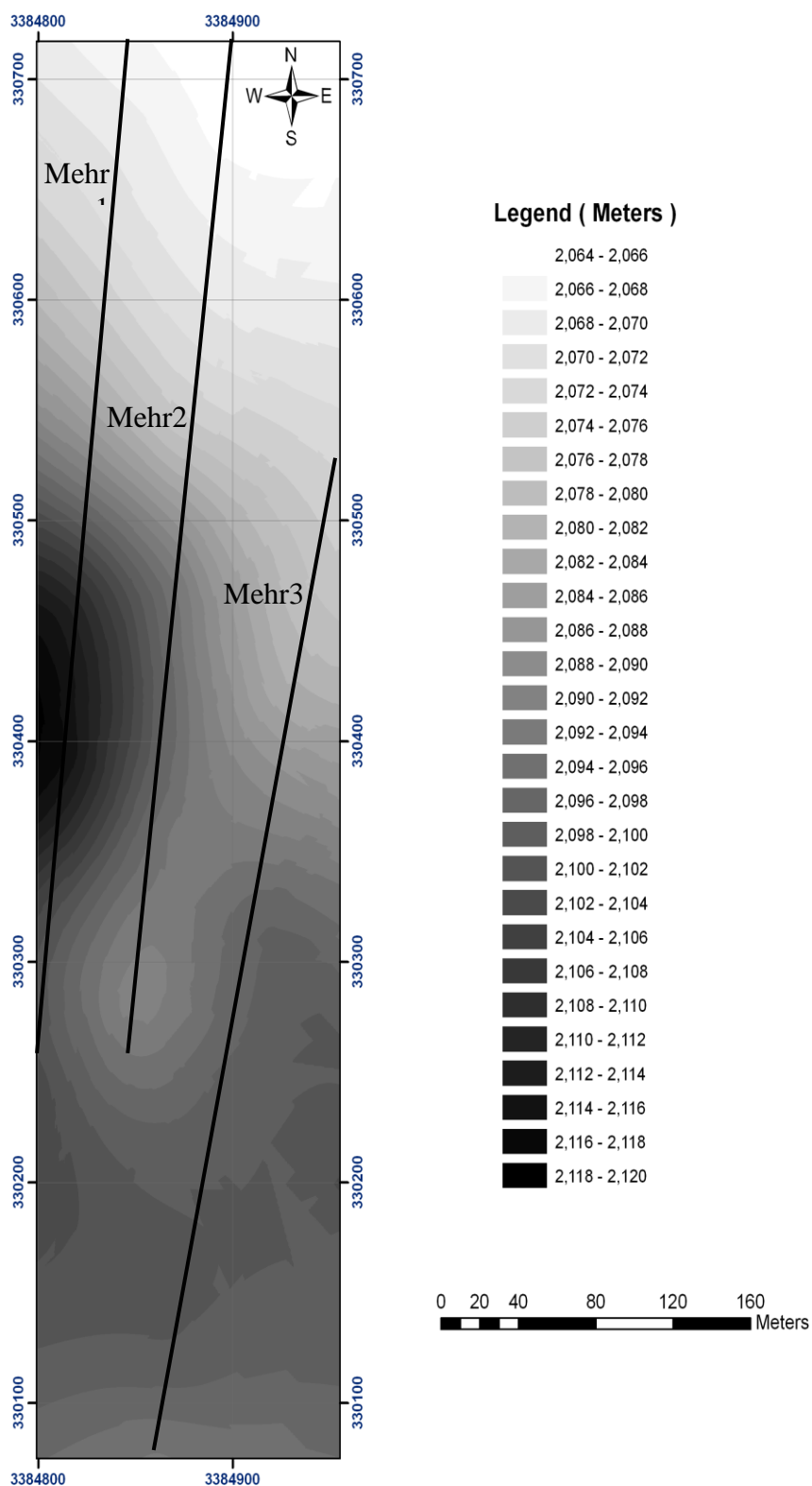
۴-۵ سوابق بررسی ها و مطالعات انجام شده در ناحیه مورد مطالعه

سابقه تحقیقات و مطالعات انجام شده در این منطقه به فعالیت های معدنکاری شدادی مس و فیروزه می رسد، چنانچه در محدوده برداشت های ژئوفیزیکی حاضر ۳ تا ۴ کوره ذوب مس و پراکندگی های وسیعی از سرباره مس دیده می شود. همچنین در همین منطقه آثار دو دهانه تونل زیرزمینی استخراج های شدادی ملاحظه می شود (عرب امیری، ۱۳۸۴).

اما در چهارگوشه ۱:۲۵۰۰۰۰ انار، خصوصا در مناطق شرقی و مرکزی، آثار کانه زایی مختلفی گزارش شده که از مهمترین آنها ناحیه معدنی میدوک است. این ناحیه شامل کانسارهای معدنی لاجاه و چهل- دختران است که تقریباً در فاصله ۳۴ کیلومتری شمال شهر بابک و در زون آتشفشانی و نفوذی ارومیه دختر واقع شده است، و احتمالاً در یک کمربند تکتونیکی فرو رانده حاشیه قاره ای قرار دارد (سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۷۲).

۴-۶ عملیات صحرائی

داده های IP و مقاومت ویژه توسط دستگاه SAS1000 متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود در منطقه انار و با استفاده از آرایش دو قطبی دو قطبی توسط عرب امیری و همکاران در راستای عمود بر روند زمین شناسی ناحیه برداشت شده است (عرب امیری، ۱۳۸۴). وضعیت پروفیل ها بر روی نقشه توپوگرافی در شکل (۴-۴) نمایش داده شده است، این ۳ پروفیل تقریبا موازی بوده و فاصله آنها از یکدیگر ۵۰ متر می باشد. این برداشت با فاصله جدایش الکترودی ۴۰ متر ($a=40$) و فاکتور عددی $N=8$ انجام شده است. در طول هرکدام از این سه پروفیل، ۵۲ داده برداشت شده است. اولین قرائت در فاصله افقی ۶۰ متر از ابتدای پروفیل و آخرین قرائت در فاصله ۵۰۰ متری از ابتدای پروفیل انجام گرفته و طول هر پروفیل ۵۶۰ متر است.



شکل (۳-۴): نقشه توپوگرافی منطقه همراه با پروفیل های برداشت داده های ژئوفیزیکی

۷-۴ ارائه داده های برداشت شده به صورت خام و تفسیر کیفی آنها

در این قسمت برای تفسیر کیفی و تعیین موقعیت تقریبی قرارگیری زون های آنومال شبه مقاطع داده های مقاومت ویژه و بارپذیری برای هر یک از پروفیل ها توسط نرم افزار RESIXIP2DI تهیه و سپس مورد مطالعه قرار می گیرند.

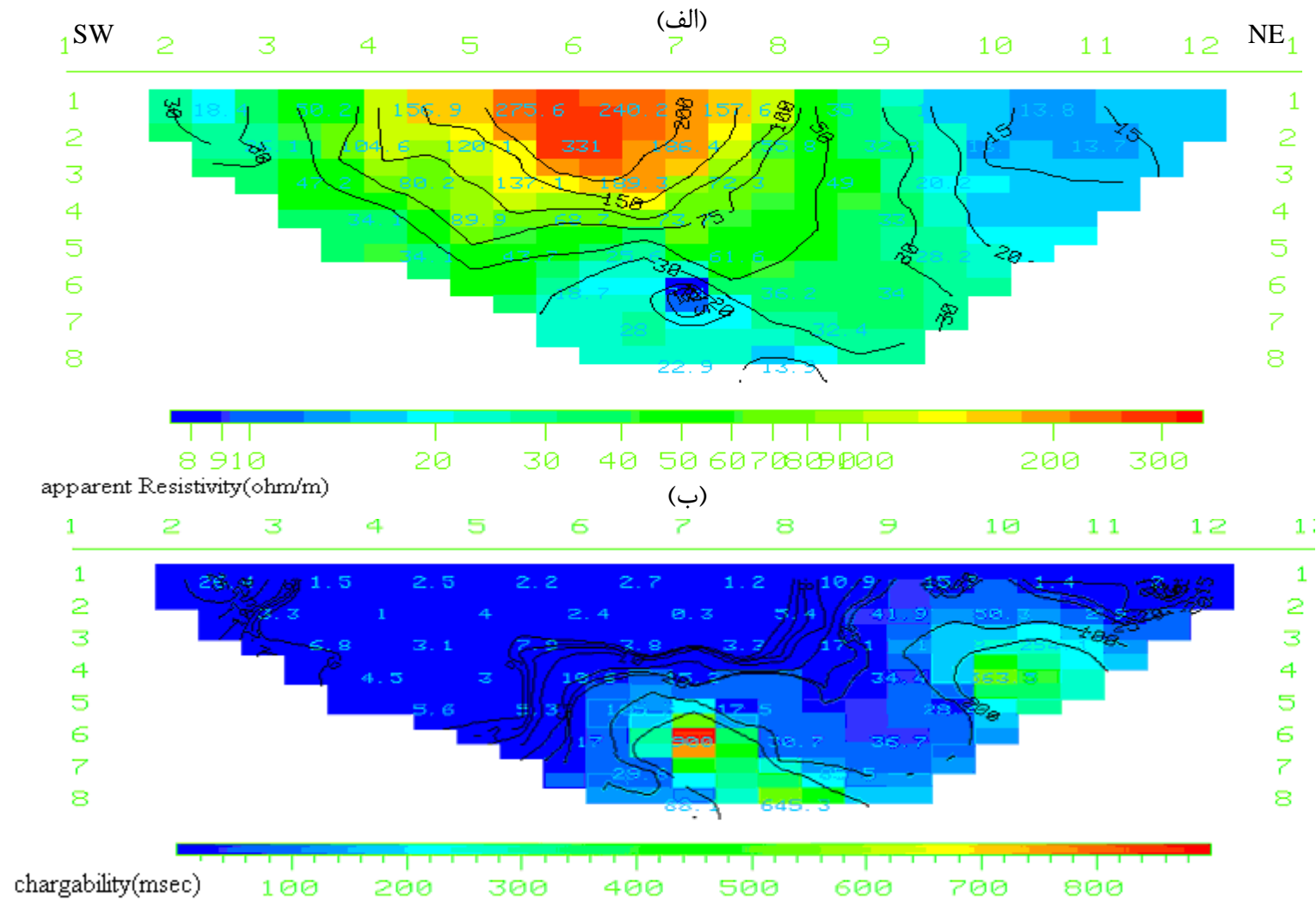
مهر ۱: با توجه به شکل (۴-۴) بر روی شبه مقطع داده های مقاومت ویژه، یک آنومالی با مقاومت ویژه کمتر از ۱۵ اهم-متر در حد فاصل الکترودهای ۱۱ و ۱۰ در بخش انتهایی پروفیل قرار دارد. این آنومالی از سطح شروع شده و تا عمق متناسب $N=4$ هم ادامه دارد که بر روی مقاطع بارپذیری این قسمت دارای یک آنومالی با بارپذیری بالاست ولی چون در گوشه راست پروفیل واقع شده است گستردگی این آنومالی به سمت راست و همچنین گسترش عمقی آن تا حدودی مبهم می باشد، آنومالی دیگری در عمق متناسب با $N=7$ بین الکترودهای ۶ و ۸ وجود دارد که مقاومت در آن تا ۲۰ اهم متر هم کاهش می یابد که بر روی شبه مقطع داده های مشاهده شده IP تهیه شده با نرم افزار RESIXIP2DI، این قسمت نشان دهنده یک آنومالی با شدت بارپذیری بسیار بالا است و به صورت شیبدار به طرف عمق ادامه پیدا می کند با توجه به زمین شناسی منطقه و نوع کانی سازی در این منطقه که از نوع مس پرفیری می باشد هر دو آنومالی، احتمالاً می توانند مربوط به کانی سازی مس پرفیری با عیار بسیار بالا باشند که البته با توجه به اینکه کانی سازی در این منطقه مرتبط با سنگ های منزونیتی و میکرو گرانودیوریتی می باشند نباید مقاومت ویژه تا این حد پایین باشد، البته احتمال دیگری هم وجود دارد که این مقاومت پایین مربوط به زون دگرسانی مرتبط با کانی سازی از نوع پتاسیک باشد که زون دگرسانی پتاسیک از نظر اینکه بخشی از ذخیره مس پرفیری در آن قرار دارد حائز اهمیت است، البته نتیجه گیری نهایی پس از مدل سازی ارائه می شود

مهر ۲: قبل از پرداختن به بیان نتایج در این قسمت لازم به ذکر است که با توجه به شواهد، داده ها در این برداشت به طور کلی از نویز بالایی برخوردارند که یکی از دلایل آن می تواند دست خوردگی و پراکندگی دستی مواد در سطح زمین باشد. با توجه به شکل (۴-۵) بر روی شبه مقطع داده های مقاومت ویژه، یک آنومالی با مقاومت ویژه کمتر از ۱۵ اهم-متر در حد فاصل الکترودهای ۱۲ و ۱۰ قرار دارد. این آنومالی از سطح شروع شده و تا عمق متناسب $N=3$ هم ادامه دارد که بر روی مقاطع بارپذیری این قسمت دارای یک آنومالی کوچک با بارپذیری بالاست که احتمالاً مربوط به دگرسانی مرتبط با کانی سازی باشد که همان گونه

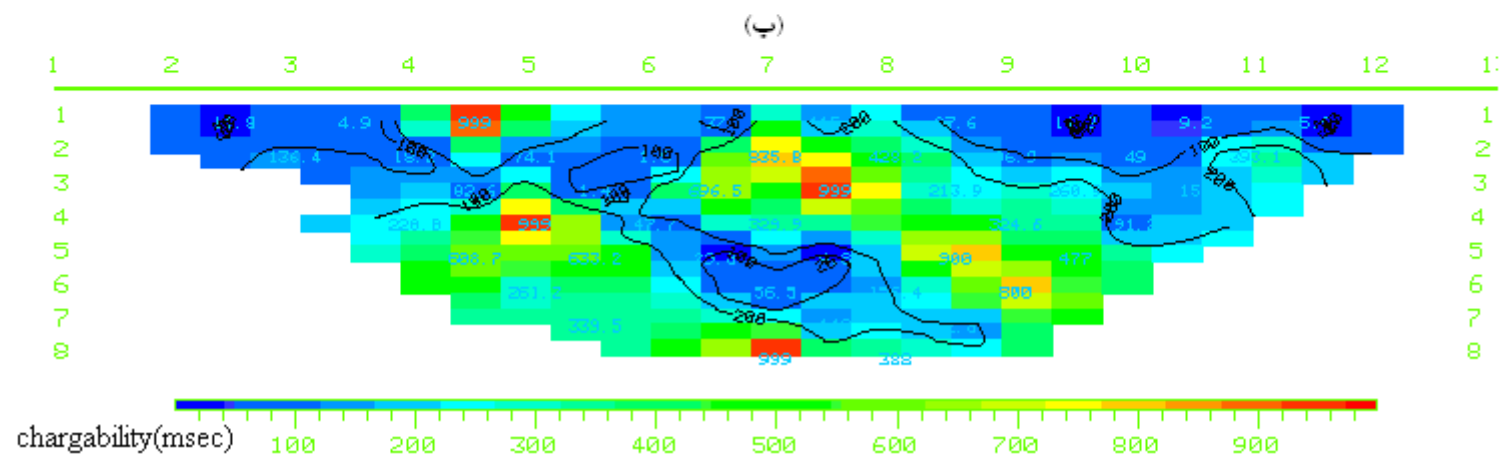
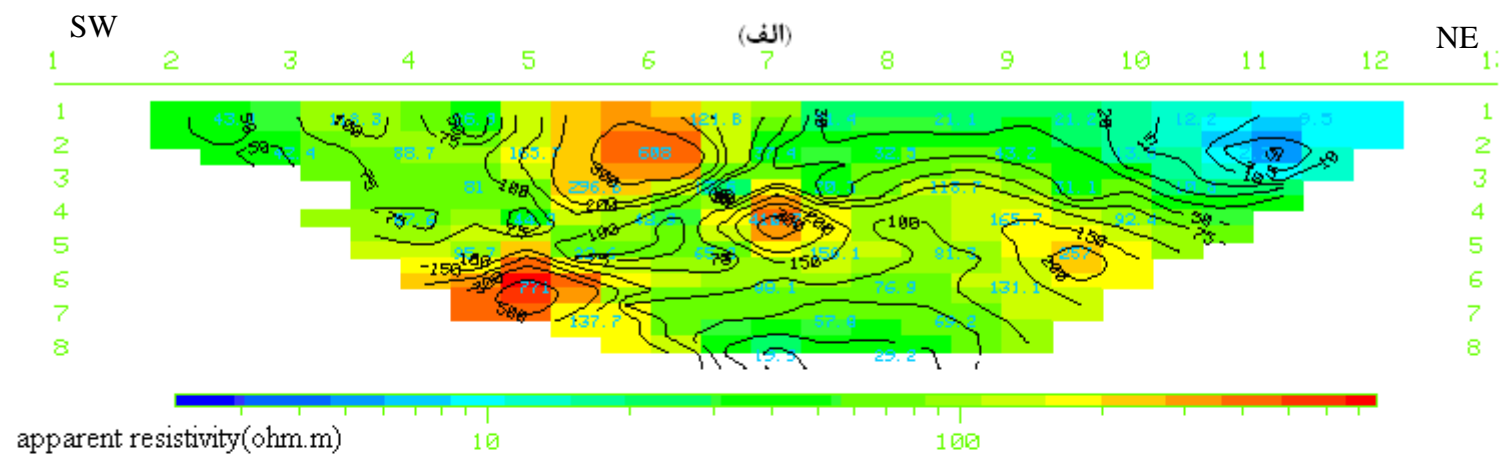
که گفته شد در ذخیره مس پرفیری بخشی از ذخیره با بافت پراکنده در زون دگرسانی پتاسیک اطراف تشکیل می شود. همانطور که در شبه مقطع مقاومت ویژه مشاهده می شود در میان الکترودهای ۳ تا ۸ یک سری آنومالی های ناپیوسته با مقاومت ویژه بالا مشاهده می شود که از سطح شروع شده به سمت عمق ادامه دارند و همچنین گسترش عمقی آنها مشخص نیست و بر روی شبه مقطع داده های مشاهده شده IP در همین قسمت آنومالی هایی با شدت بارپذیری بسیار بالا و به صورت ناپیوسته حضور دارند که به صورت شیبدار به طرف عمق ادامه پیدا می کنند که البته می توان گفت که این روند شیبدار در شبه مقطع مقاومت ویژه هم مشاهده می شود و با توجه به زمین شناسی و بالا بودن مقاومت ویژه می توان این آنومالی را به کانی سازی مس از نوع پرفیری در سنگ های منزونیتی با ترکیب میکرو گرانودیوریت پرفیری نسبت داد. همانگونه که در زمین شناسی منطقه اشاره شده است وجود توده های نیمه ژرف با ترکیب میکرو گرانودیوریت پرفیری و داسیتی سنگ های کهن تر از جمله سنگ های آتشفشانی نئوژن را قطع کرده است و برجستگی های روشن رنگی را در بخش های کوهستانی ایجاد کرده و نفوذ همین گونه سنگ های نیمه ژرف و دگر سانی های وابسته کانسارهای مس پرفیری ورگه ای و به طور فرعی سرب و روی را در این ناحیه ایجاد کرده است، البته این نتیجه گیری با توجه به داده های خام انجام شده است و نتیجه گیری نهایی با توجه به مدل سازی ها انجام می شود.

مهر ۳: با توجه به شکل (۴-۶) بر روی شبه مقطع داده های مقاومت ویژه ، یک آنومالی با مقاومت ویژه بالا در حدود ۲۵۰ اهم متر در حد فاصل الکترودهای ۷ و ۹ قرار دارد که این آنومالی از سطح شروع شده و تا عمق متناسب با $N=3$ هم ادامه دارد، بر روی مقاطع بارپذیری هم این قسمت دارای یک آنومالی با بارپذیری در حد زمینه است و با توجه به زمین شناسی احتمالا این مقاومت بالا مربوط به وجود سنگ های آندزیتی در سطح می باشد. همان گونه که در شکل ملاحظه می شود در گوشه سمت راست و همچنین در عمق، مقاومت ویژه رو به افزایش است که گستردگی آن به صورت شیبدار و به سمت عمق و به طرف راست مبهم است و همچنین مقطع بار پذیری هم از روند مشابهی پیروی کرده و به سمت عمق بار پذیری در حال افزایش است که احتمالا مربوط به زون کانی سازی و زون دگرسانی مرتبط با آن باشد. آنومالی با بارپذیری بالا در گوشه سمت راست پروفیل وجود دارد که از الکتروده ۹ شروع شده و به سمت انتهای پروفیل پیش می رود و میزان گسترش آن به سمت چپ و همچنین گسترش عمقی آن مشخص نیست که البته مقاومت ویژه

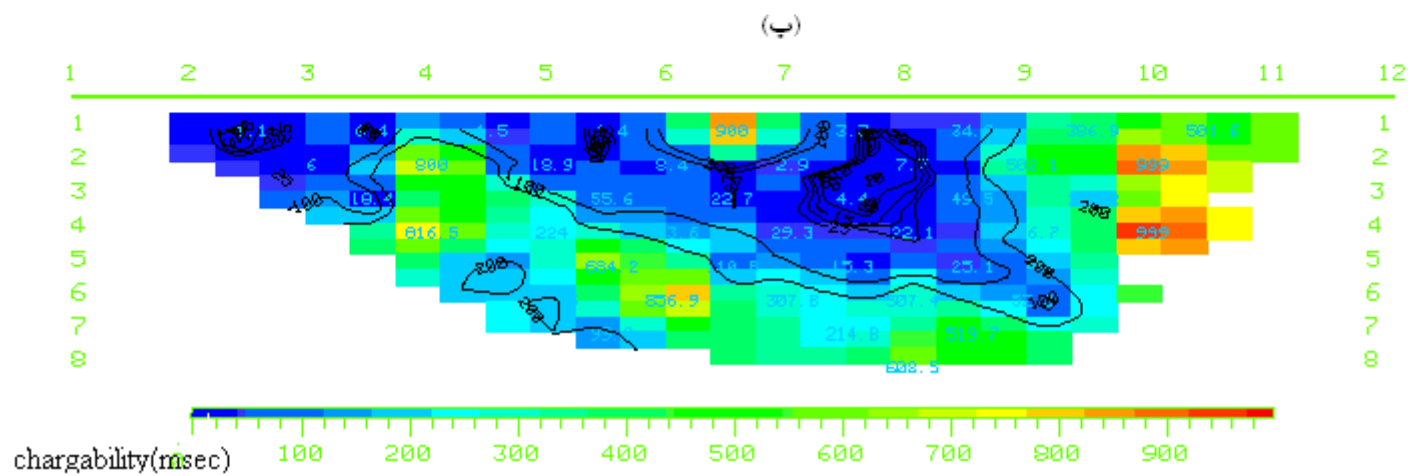
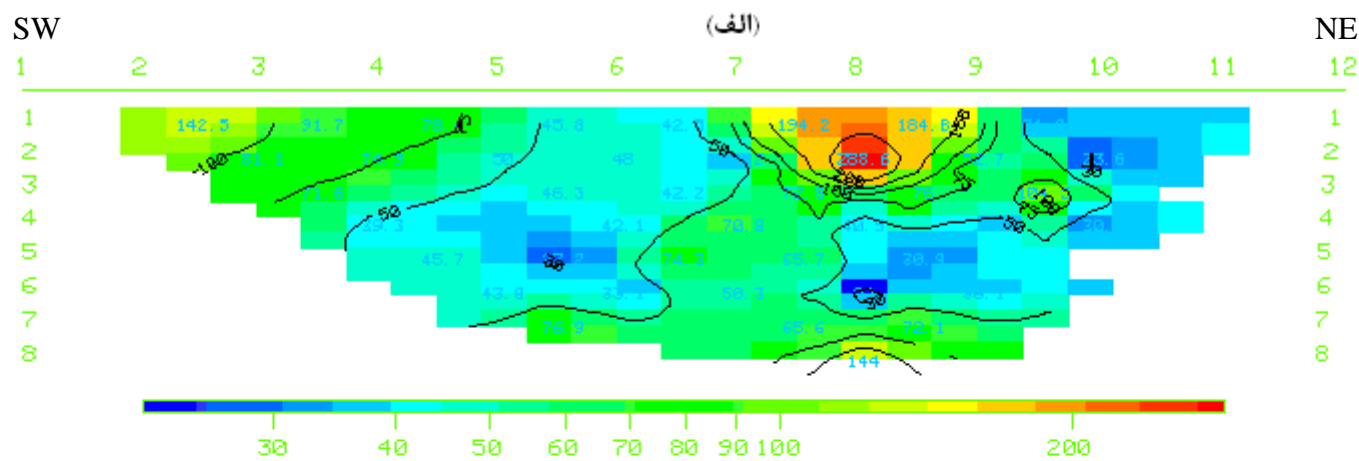
آن نیز پایین می باشد که احتمالاً مربوط به زون دگرسانی وابسته به کانی سازی باشد ، نتیجه گیری نهایی را به مدل سازی واگذار می کنیم.



شکل (۴-۴) شبه مقاطع داده های مشاهده شده پروفیل مهرا تهیه شده توسط نرم افزار RESIXIP2DI، (الف) مقاومت ویژه (اهم متر)، (ب) بار پذیری (میلی



شکل (۴-۵) شبه مقاطع داده های مشاهده شده پروفیل مهر ۲ تهیه شده توسط نرم افزار RESIXIP2DI، (الف) مقاومت ویژه (اهم متر)، (ب) بار پذیری (میلی ثانیه)



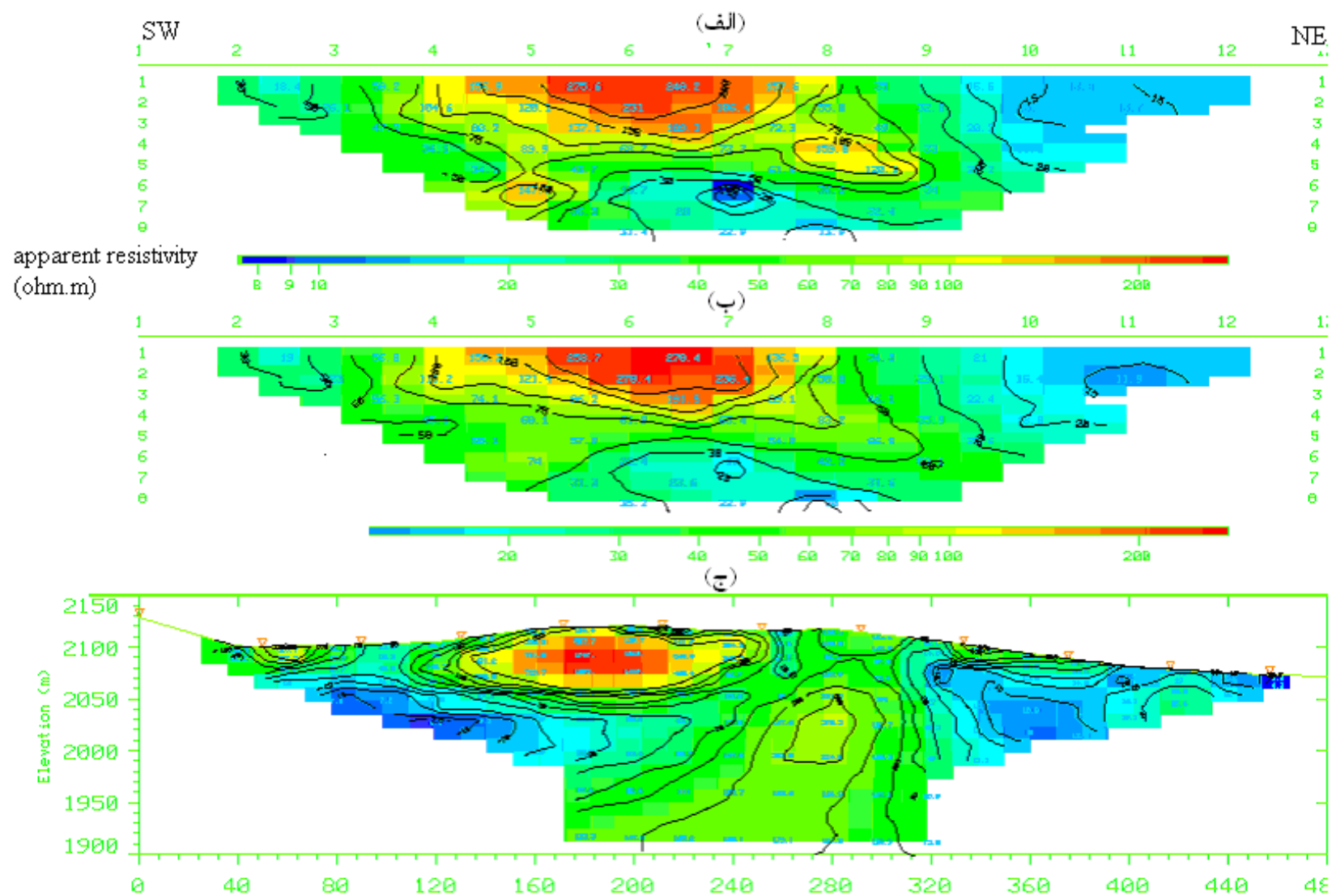
شکل (۴-۶) شبه مقاطع داده های مشاهده شده پروفیل مهر ۳ تهیه شده توسط نرم افزار RESIXIP2DI، (الف)مقاومت ویژه (اهم متر)، (ب) بار پذیری (میلی ثانیه)

۹-۴ مدل سازی معکوس دو بعدی و تفسیر کمی نتایج حاصل

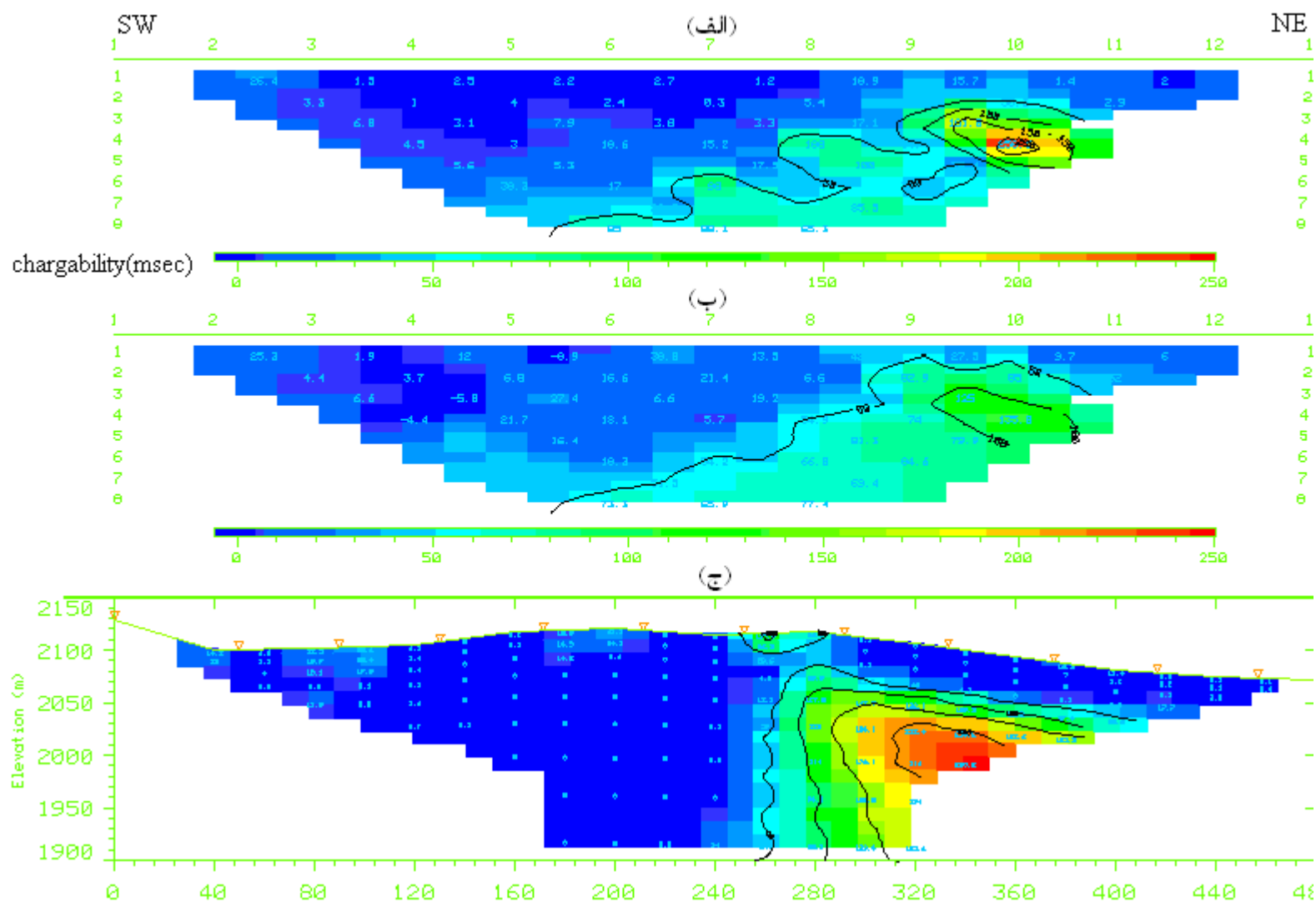
در این بخش برای تعیین مشخصات بیشتر زون های کانی سازی شده احتمالی و تعیین هندسه و شکل هر یک از آنها در زیر هر یک از پروفیل ها، مدل سازی عددی معکوس دو بعدی به صورت هموار و پارامتری با بهره گیری از نرم افزارهای RES2DINV و RESIXIP2DI همراه با تصحیح توپوگرافی صورت گرفته است و نتایج آن برای هر یک از داده های مقاومت ویژه و بارپذیری به صورت جداگانه برای هر پروفیل ارائه شده و ضمن مقایسه نتایج هر یک از روش های مدل سازی و بهره گیری از اطلاعات موجود زمین شناسی و معدنی، تفسیرهای لازم ارائه شده است.

۱-۹-۴ مدل سازی داده های پروفیل مهرا

کلیه داده های این پروفیل ابتدا به کمک نرم افزارهای فوق به صورت هموار مدل سازی معکوس شدند که نتایج مدل سازی هموار صورت گرفته توسط نرم افزار RESIXIP2DI که بنام مدل زونگ نامیده می شود همراه با نمایش توپوگرافی به ترتیب برای داده های مقاومت ویژه در شکل (۴-۷) و برای داده های بارپذیری در شکل (۴-۸) آورده شده اند. در هر دو شکل فوق با مقایسه شبه مقاطع داده های مشاهده ای و شبه مقاطع داده های محاسبه شده (پاسخ مدل) می توان دریافت که مدل سازی با دقت قابل قبولی صورت گرفته است. نتایج مدل حاصل از داده های مقاومت ویژه شکل (۴-۷-ج) نشان می دهد در حد فاصل ۳۳۰ تا ۴۰۰ متری از ابتدای پروفیل برداشت، زون کم مقاومتی با مقاومت ویژه در حدود ۲۵ اهم متر دیده می شود که از ارتفاع ۲۰۸۰ آغاز شده و گسترش آن در عمق مبهم می باشد. این آنومالی مشاهده شده از نظر شکل و گسترش توسط نتایج مدل سازی داده های شکل (۴-۱۰-ج) IP به خوبی مورد تأیید قرار می گیرد و احتمالاً مربوط به هاله آلتراسیون مرتبط با کانی سازی مس پرفیری در منطقه باشد زیرا تقریباً در همین قسمت مقادیر بارپذیری مدل شده نسبت به زمینه تفاوت چشمگیری داشته و تا ۲۵۰ میلی ثانیه هم مشاهده می شود. همانگونه که در شکل (۴-۷-ج) مشاهده می شود یک زون مقاوم بین ۱۲۰ تا ۲۴۰ متری در سطح وجود دارد که با توجه به شواهد زمین شناسی می تواند مربوط به سنگ های منزونیتی که در اینجا کانی سازی مس در آنها صورت می گیرد، باشد زیرا سنگ های منزونیتی که از سنگ های آذرین درونی هستند دارای مقاومت بالایی می باشند.



شکل (۴-۷) نتایج مدل سازی هموار دوبعدی داده های مقاومت ویژه توسط نرم افزار RESIXIP2DI برای پروفیل مهرا (الف)، شبه مقطع داده های مشاهده شده (ب)، شبه مقطع حاصل از مدل سازی (ج) مقطع مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی هموار (مدل زونگ) همراه با نمایش توپوگرافی



شکل (۴-۸) نتایج مدل سازی هموار دوعبدي داده های IP توسط نرم افزار RESIXIP2DI برای پروفیل مهرا (الف)، شبه مقطع داده های مشاهده شده (ب)، شبه مقطع حاصل از مدل سازی (ج) مقطع بارپذیری حاصل از مدل سازی هموار (مدل زونگ) همراه با نمایش توپوگرافی

برای تأیید نتایج فوق، داده های همین پروفیل با الگوریتم متفاوت توسط نرم افزار RES2DINV مورد مدل سازی هموار قرار گرفتند که نتایج آن برای داده های مقاومت ویژه در شکل (۹-۴) و برای داده های IP در شکل (۱۰-۴) نشان داده می شوند.

با مقایسه شبه مقطع داده های خام (قسمت الف)، در شکل‌های (۹-۴) و (۱۰-۴) با داده های محاسبه شده (قسمت ب)، در شکل‌های (۹-۴) و (۱۰-۴) می توان گفت که نتایج مدل سازی به خصوص برای داده های مقاومت ویژه از دقت خوبی برخوردار است. با توجه به مدل های حاصل از مدل سازی داده های مقاومت ویژه (شکل ۹-۴ ج) و داده های IP (شکل ۱۰-۴ ج) می توان گفت که آنومالی مشاهده شده در مدل زونگ که قبلاً مورد بحث قرار گرفت توسط مدل های به دست آمده با نرم افزار RES2DINV، نیز مورد تأیید قرار می گیرد در شکل (۱۱-۴) مدل های IP و مقاومت ویژه را به همراه توپوگرافی پروفیل مشاهده می کنیم.

همانگونه که در فصل سوم شرح داده شد با توجه به ناقص بودن نتایج مدل سازی هموار که مربوط به الگوریتم آنهاست و همچنین مشخص نبودن محل دقیق آنومالی ها و مرزهای آنها و وجود مغایرت در نتایج مدل های حاصل توسط داده های IP و مقاومت ویژه، در نتیجه با استفاده از روش مدل سازی معکوس پارامتری در جهت رفع این کاستی ها گام بر می داریم. در شیوه مدل سازی پارامتری به کمک هر دو سری داده های IP و مقاومت ویژه یک مدل ارائه می شود تا توجیه گر داده های برداشت شده باشد (مرادزاده، ۱۳۸۴ و ۱۳۸۶).

با توجه به توضیحات مذکور پس از انجام مدل سازی هموار با نرم افزارهای RES2DINV و RESIXIP2DI و آگاهی از محل های تقریبی زون های آنومالی و برای تعیین بهتر محل های کانی سازی شده و تعیین پارامترهای آنها از مدل سازی پارامتری به کمک نرم افزار RESIXIP2DI استفاده شده است. در این فرایند مدل سازی پس از تلاش زیاد و با استفاده از نتایج مدل سازی های قبلی در نهایت مدل پلیگونی پروفیل مهر ۱ حاصل و در شکل (۱۲-۴) آمده است، و همچنین جزئیات بیشتر نتایج حاصل از مدل سازی پارامتری و توده های به دست آمده برای پروفیل مهر ۱ به همراه مقادیر IP و مقاومت ویژه آنها در جدول (۲-۴) قابل مشاهده است.

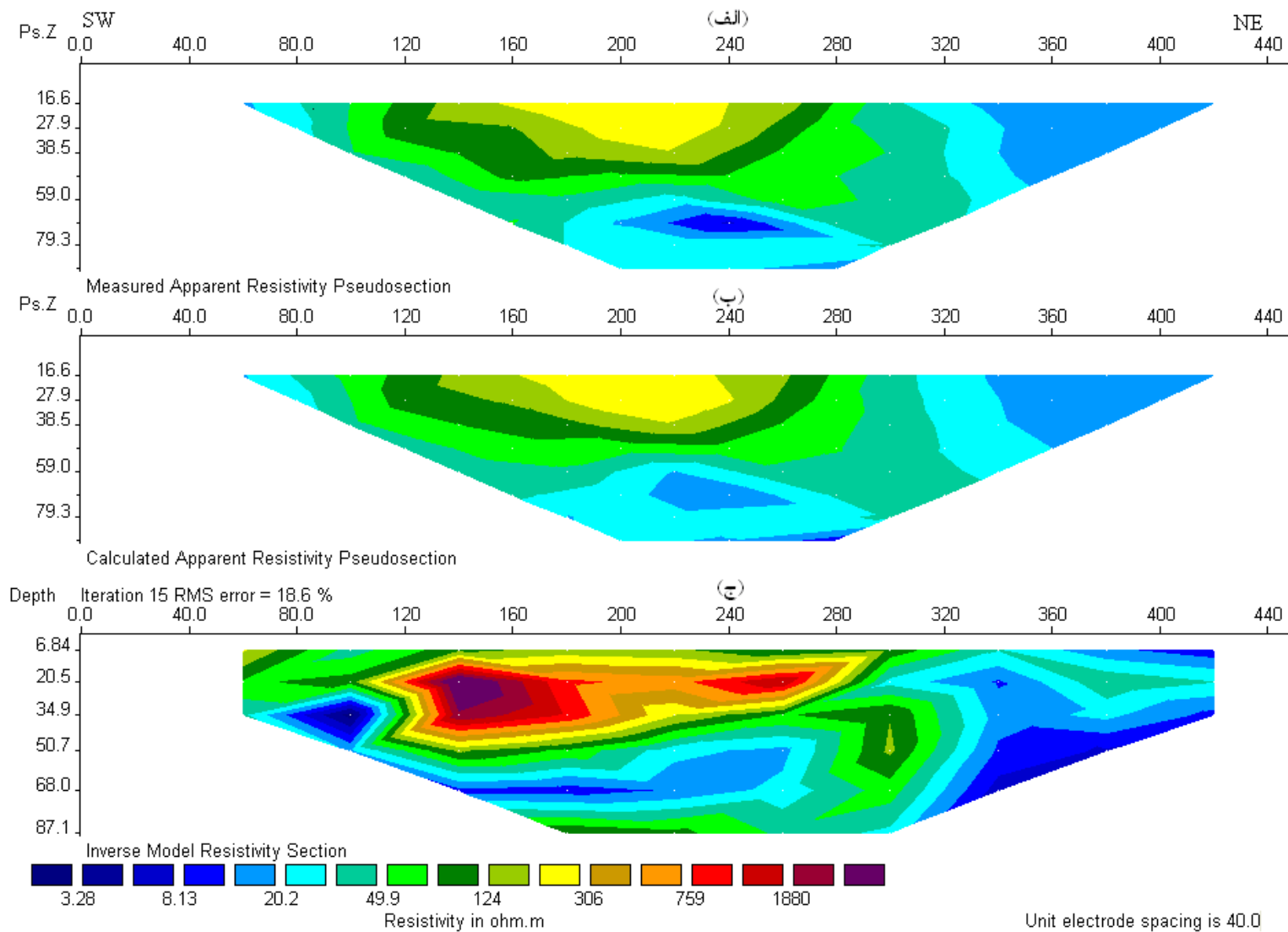
با توجه به شکل (۱۲-۴) در زیرسطح زمین مربوط به پروفیل مهر ۱، ۳ توده با خصوصیات الکتریکی متفاوت در یک زمینه نسبتاً همگن مدل شده اند. با مقایسه این مدل با دیگر مدل های حاصل توسط مدل

سازی هموار شکل های (۴-۷-ج، ۴-۸-ج، ۴-۹-ج و ۴-۱۰-ج) می توان نتیجه گرفت که نتایج حاصل در مدل سازی پارامتری با نرم افزار RESIXIP2DI در حد قابل توجهی با نتایج هر یک از شیوه های مدل سازی هموار در تطابق قابل قبول می باشد با این اختلاف که حدود هر یک از توده های (زون های) رسانا و یا مقاوم با وضوح و برجستگی بیشتری نمایان گشته اند.

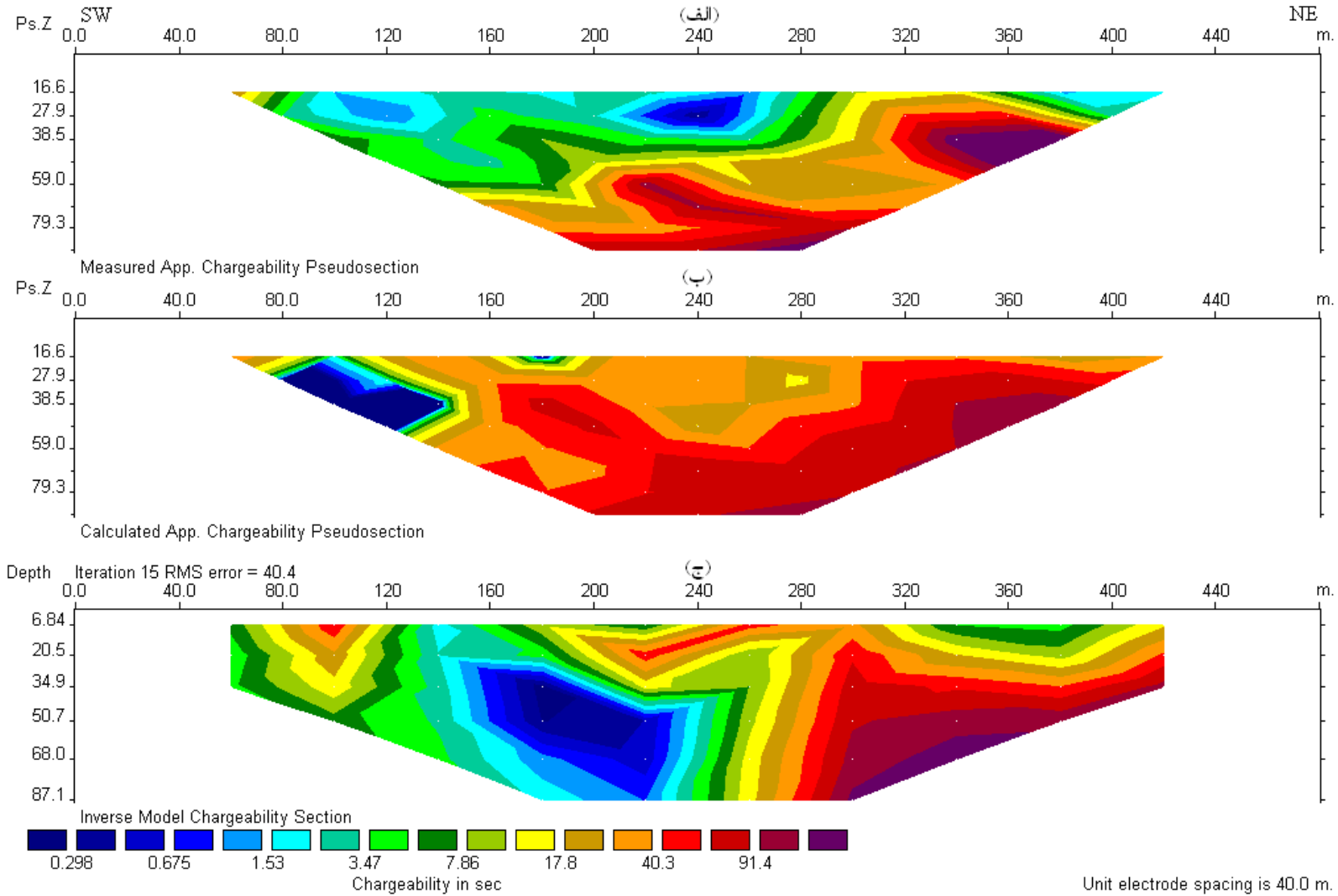
در این بخش با توجه به زمین شناسی و شواهد معدنی موجود در منطقه، هر یک از توده ها در شکل (۴-۱۲) به ترتیب زیر تعبیر و تفسیر می شوند .

توده ۱: این توده با مقاومت ویژه و بار پذیری کم از ارتفاع ۲۰۸۰ شروع شده و تا تراز عمقی ۱۹۷۰ متری امتداد می یابد و احتمالاً مربوط به زون آلتراسیون آرژیلیک مرتبط با کانی سازی مس پرفیری باشد. توده ۲: این توده با مقاومت ویژه زیاد و بارپذیری ناچیزی که دارد با توجه به زمین شناسی منطقه، ممکن است در ارتباط با سنگ های آذرین مانند سنگ های آندزیتی و تراکی آندزیت ها و توف های آندزیتی در منطقه باشد.

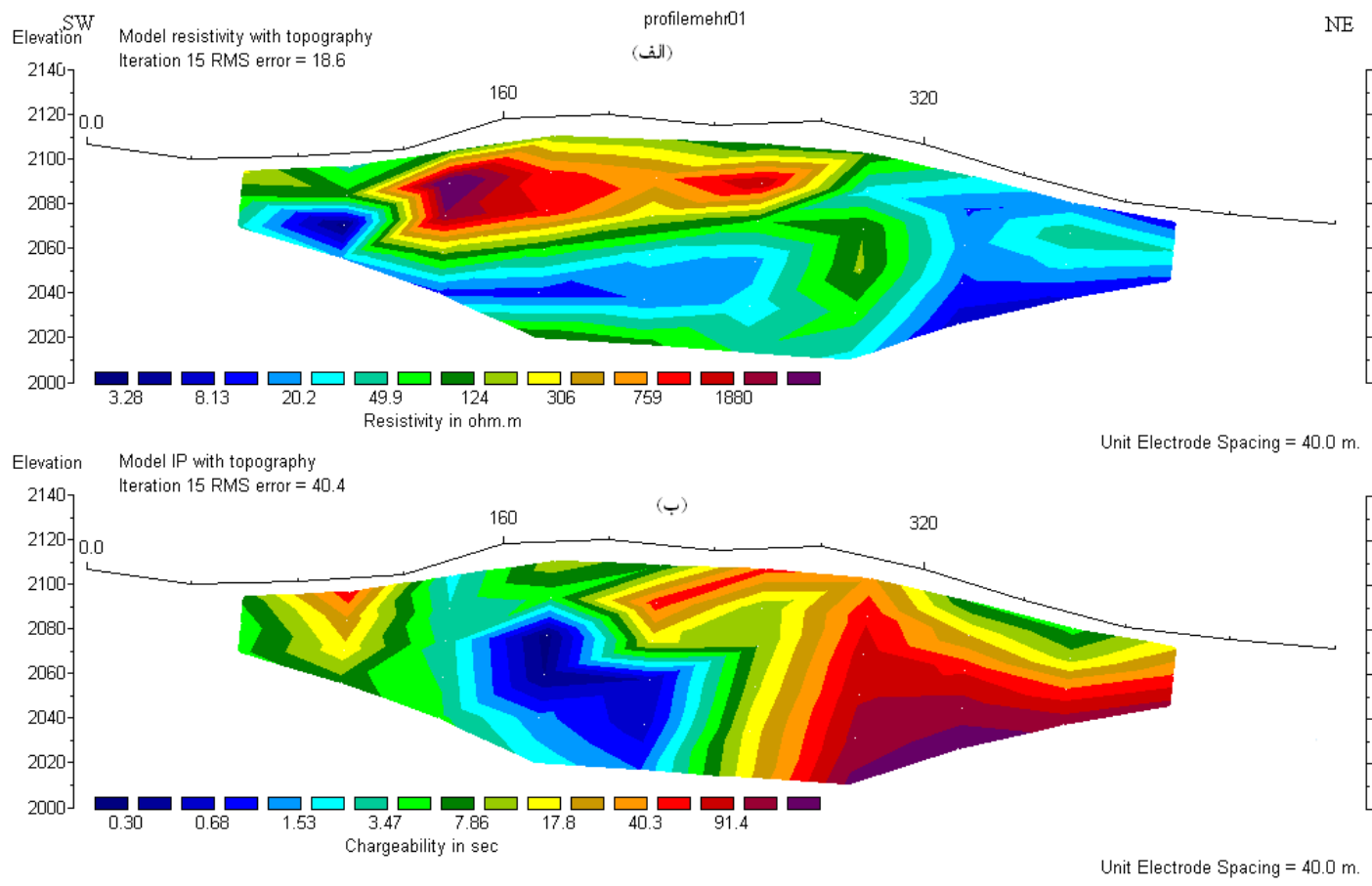
توده ۳: این توده سطحی در فاصله بین ۲۸۰ متر تا ۴۱۰ متری از ابتدای پروفیل مهر ۱، از تراز عمقی ۲۰۶۰ متری آغاز و تا عمق ۱۹۱۰ متری ادامه می یابد و با توجه به مقاومت ویژه تقریباً پایین و بار پذیری بالا ممکن است به احتمال زیاد مرتبط با آلتراسیون از نوع پتاسیک مرتبط به کانی سازی مس پرفیری در منطقه باشد که همانگونه که در مباحث قبل هم اشاره شد زون آلتراسیون پتاسیک بخشی از کانی سازی را در خود جای می دهد.



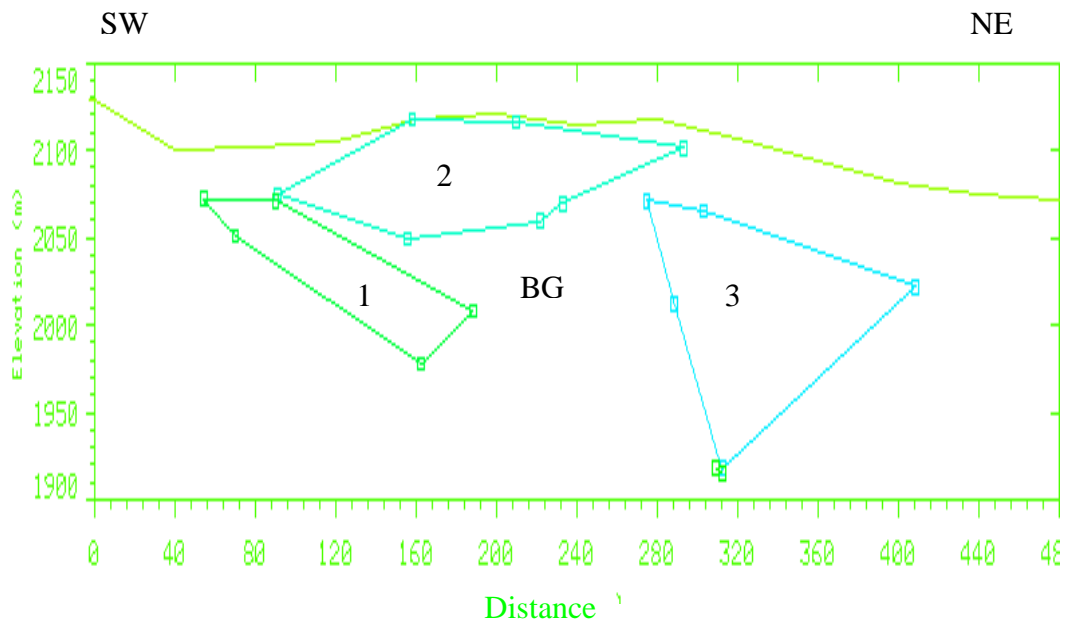
شکل (۴-۹) نتایج مدل سازی هموار دوبعدی داده های مقاومت ویژه توسط نرم افزار RES2DINV برای پروفیل مهرا (الف)، شبه مقطع داده های مشاهده شده (ب)، شبه مقطع حاصل از مدل سازی (ج) مقطع مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی هموار حاصل از معکوس سازی



شکل (۴-۱۰) نتایج مدل سازی هموار دوبعدی داده های IP توسط نرم افزار RES2DINV برای پروفیل مهر ۱ (الف)، شبه مقطع داده های مشاهده شده (ب)، شبه مقطع حاصل از مدل سازی (ج) مقطع IP حاصل از مدل سازی هموار حاصل از معکوس سازی



شکل (۴-۱۱) نتایج مدل سازی هموار داده های (الف) مقاومت ویژه و (ب) IP توسط نرم افزار RES2DINV برای پروفیل مهر ۱ به همراه نمایش توپوگرافی پروفیل



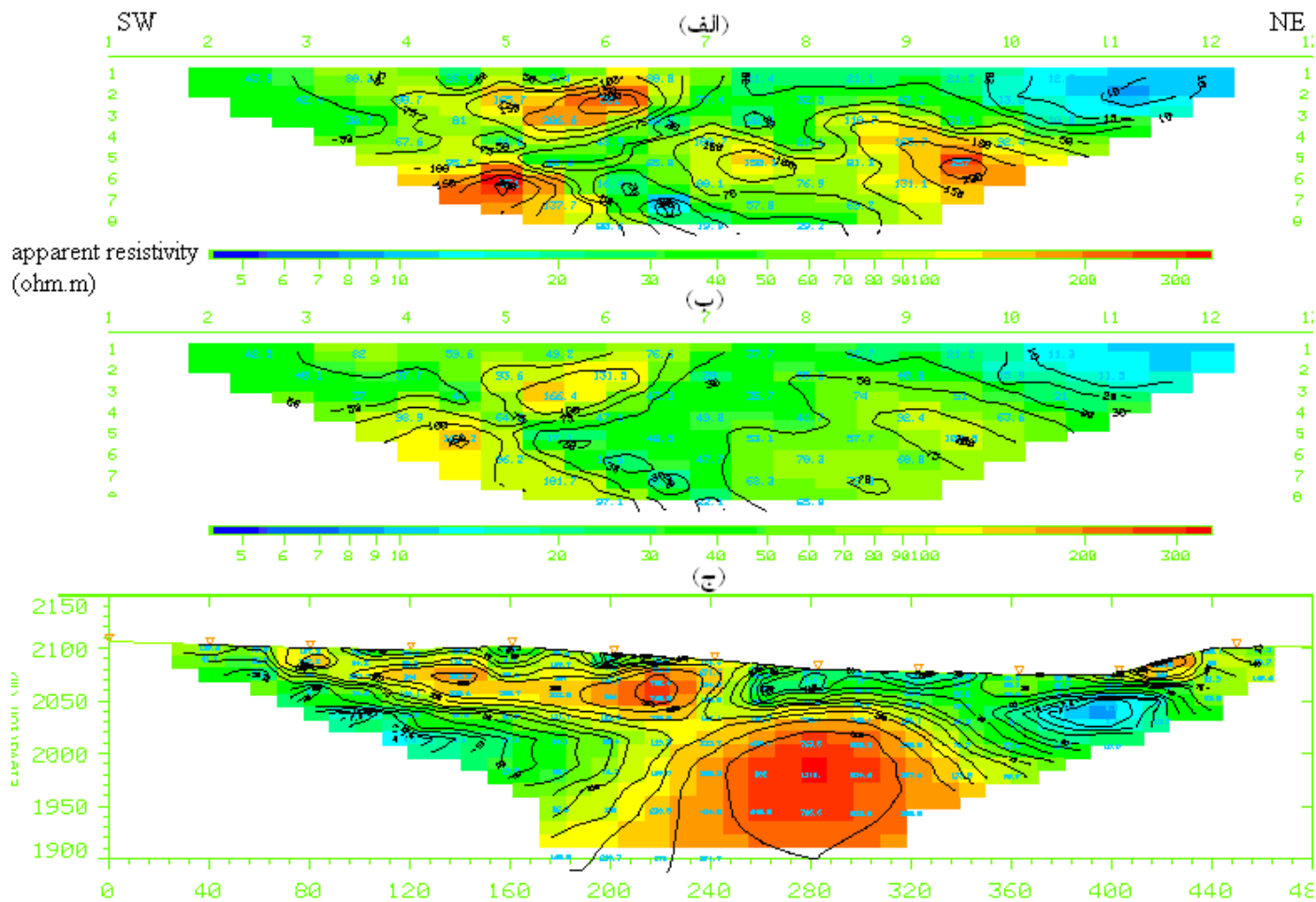
شکل (۴-۱۲) مدل پلیگون حاصل از مدل سازی پارامتری توسط نرم افزار RESIXIP2DI برای داده های مقاومت ویژه و IP پروفیل مهر ۱

نتایج مدل سازی		
توده	مقاومت ویژه ($\Omega - m$)	بارپذیری (msec)
۱	۶/۸۵	۳۶/۳۱۵۵
۲	۴۳۶/۹۷۵	۱/۱۷
۳	۱۵	۹۹۷
BG	۲۸	۹/۷

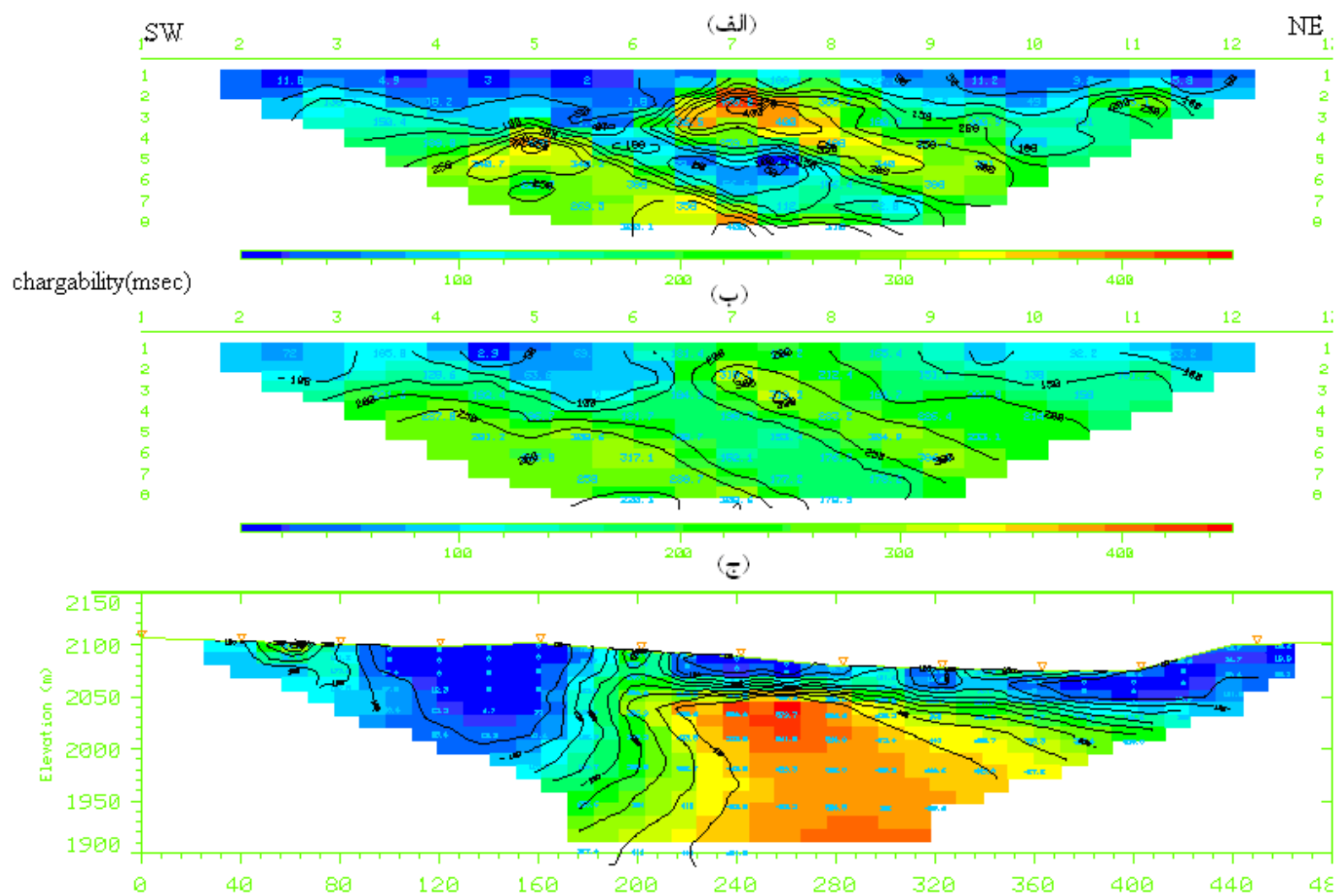
جدول ۴-۲- مشخصات آنومالی های حاصل از مدلسازی پارامتری برای پروفیل مهر ۱

۲-۹-۴ مدل سازی داده های پروفیل مهر ۲

نتایج حاصل از مدل سازی هموار داده های این پروفیل که با نرم افزار RESIXIP2DI تهیه شده است به صورت مدل زونگ و همراه با نمایش توپوگرافی مسیر پروفیل به ترتیب در شکل (۴-۱۳) برای داده های مقاومت ویژه و در شکل (۴-۱۴) برای داده های IP نشان داده شده است که همانگونه که مشاهده می شود از مقایسه شبه مقاطع داده های مشاهده ای و داده های محاسبه شده در شکل های ۴-۱۳ و ۴-۱۴ می توان نتیجه گرفت که خطای مدل سازی به دلیل وجود نویز نسبتاً بالاست. وجود نویز در این پروفیل به دلیل وجود روباره های هادی است که از حفاری های گذشته به جا مانده اند. با توجه به هر دو مدل (بخش ج هر دو شکل ۴-۱۳ و ۴-۱۴) می توان یک زون با مقاومت ویژه بالارا که بخش اعظم سطح زیر پروفیل را اشغال کرده است مشاهده نمود که البته در ۲۸۰ متری از ابتدای پروفیل و قبل و بعد از آن مقاومت ویژه و IP هر دو مقادیر بالایی را به خود اختصاص داده اند. در این محل بار پذیری ۶۰۰ میلی ثانیه را در اعماق زیر تراز ارتفاعی ۲۰۵۰ متر می توان ملاحظه نمود که به سمت عمق با آهنگ کمی رو به کاهش است. با توجه به مقطع مقاومت ویژه و IP شاید بتوان این مشاهدات را به حضور یک زون مربوط به کانی سازی از نوع مس پرفیری نسبت داد که با توجه به زمین شناسی و همچنین نوع کانی سازی مس در این منطقه به احتمال زیاد کانی سازی مس در سنگ های منزونیتی صورت گرفته و از نوع پرفیری می باشد.



شکل (۴-۱۳) نتایج مدل سازی هموار دوبعدی داده های مقاومت ویژه توسط نرم افزار RESIXIP2DI برای پروفیل مهر ۲ (الف) شبه مقطع داده های مشاهده شده (ب)، شبه مقطع حاصل از مدل سازی (ج) مقطع مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی هموار (مدل زونگ) همراه با نمایش توپوگرافی



شکل (۴-۱۴) نتایج مدل سازی هموار دوبعدی داده های IP توسط نرم افزار RESIXIP2DI برای پروفیل مهر ۲ (الف) شبه مقطع داده های مشاهده شده (ب)، شبه مقطع حاصل از مدل سازی (ج) مقطع IP حاصل از مدل سازی هموار (مدل زونگ) همراه با نمایش توپوگرافی

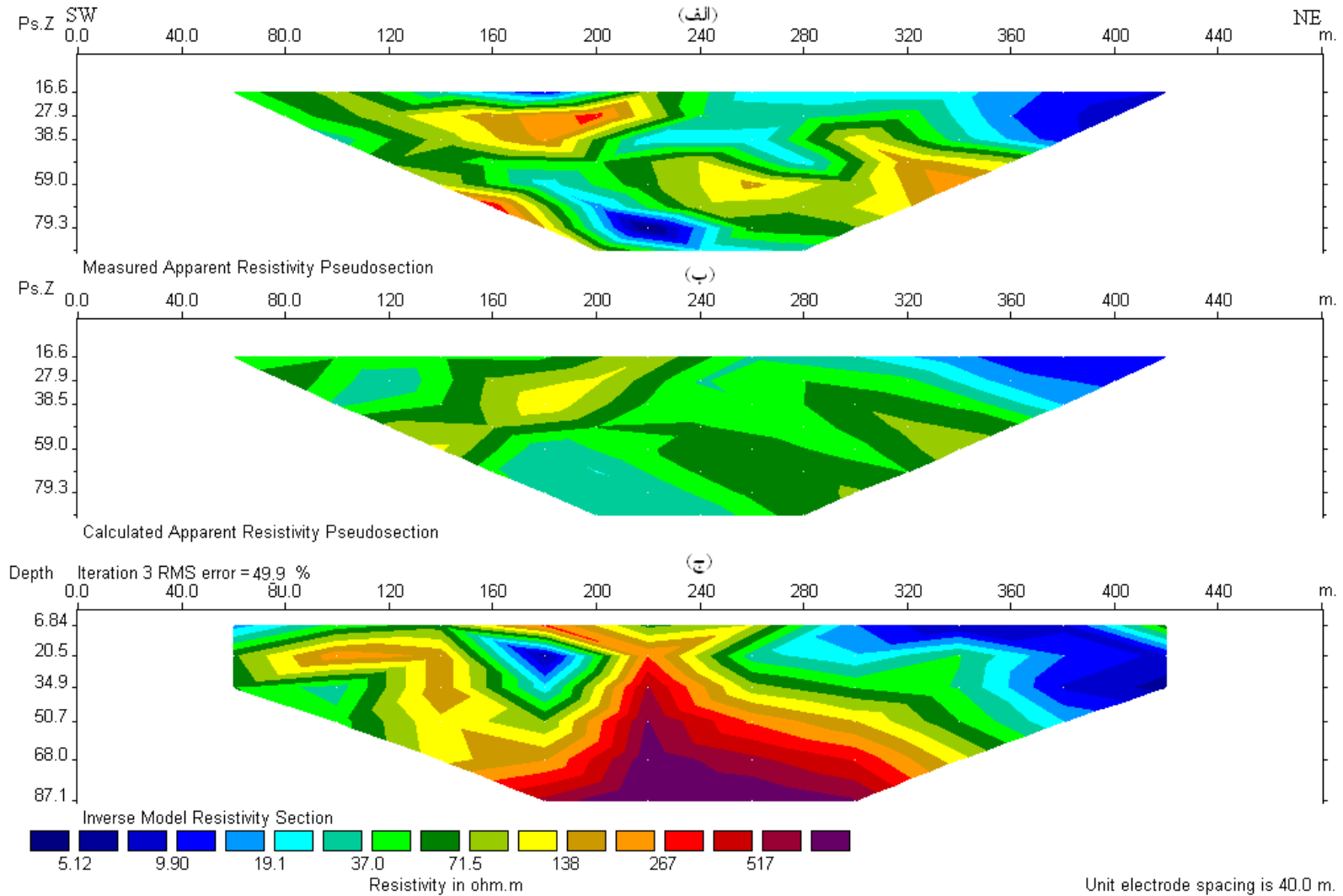
نتایج دیگر شیوه مدل سازی هموار داده های این پروفیل که با نرم افزار RES2DINV تهیه شده است برای مقایسه بهتر و تأیید نتایج، برای داده های مقاومت ویژه در شکل (۴-۱۵) و برای داده های روش IP در شکل (۴-۱۶) آمده است، که تا حدی نتیجه ارائه شده در پاراگراف قبل را تأیید می کند. در شکل (۴-۱۷) داده های IP و مقاومت ویژه به همراه توپوگرافی مسیر برداشت نمایش داده شده اند.

شکل (۴-۱۶) و جدول (۴-۳) نمایش دهنده نتایج حاصل از مدل سازی پارامتری توسط نرم افزار RESIXIP2DI می باشد که با توجه به اطلاعات زمین شناسی و شواهد معدنکاری در پروفیل ۲ می توان نتایج مدل سازی پارامتری را بشرح زیر تفسیر نمود:

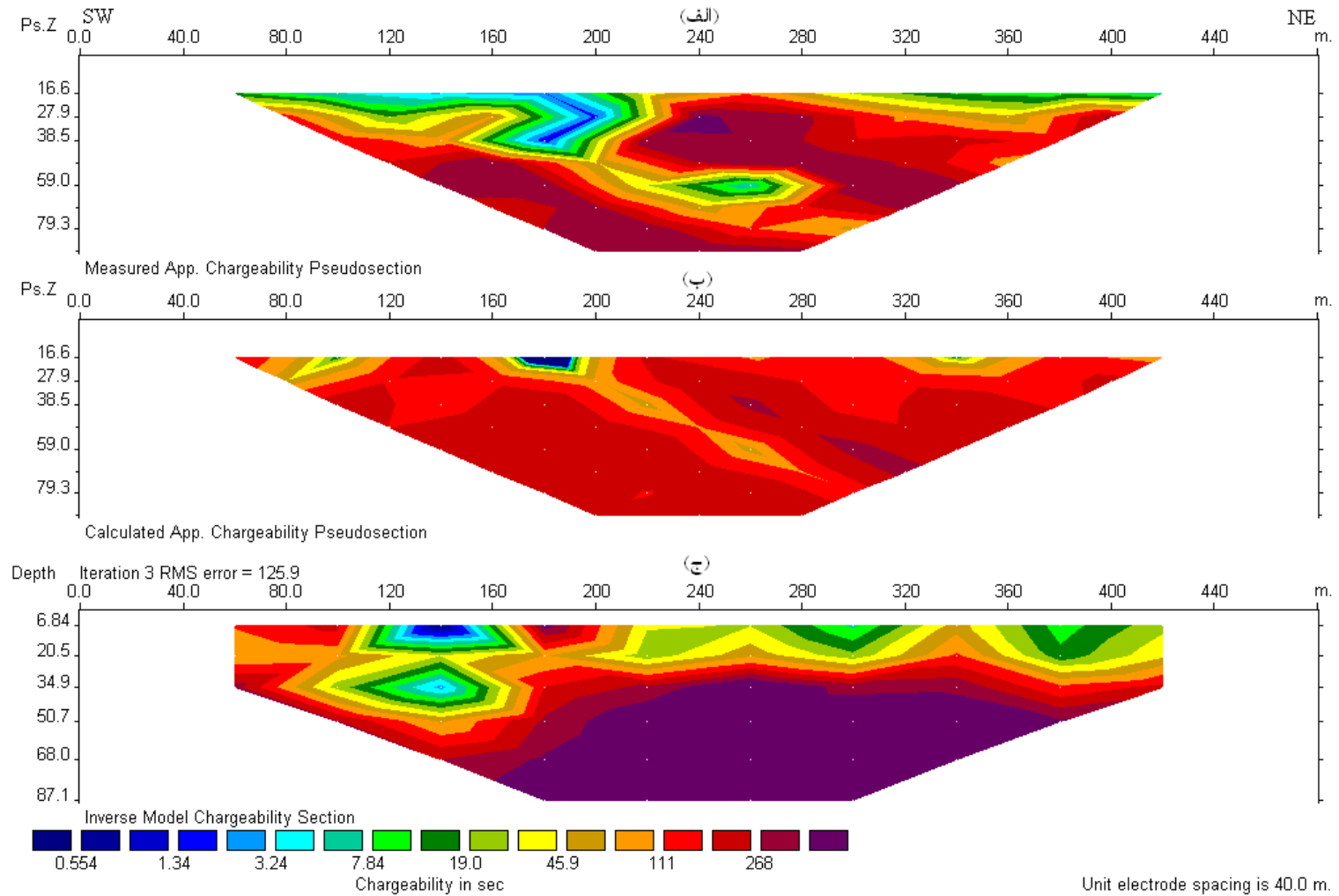
توده ۱: توده ای نزدیک به سطح با مقاومت ویژه ای در حد زمینه و بارپذیری بسیار پایین می باشد که با توجه به زمین شناسی منطقه و پارامترهای IP و مقاومت ویژه، این توده احتمالاً مربوط به سنگ های آندزیتی هوازده می باشد.

توده ۲: این توده در فاصله ۱۶۰ تا ۳۰۰ متری از ابتدای پروفیل قرار دارد و مقاومت ویژه آن در حدود ۱۱۰ اهم-متر و بارپذیری آن بسیار بالا است و از نظر عمقی تا تراز ارتفاع ۱۹۰۰ متری گسترش دارد. با توجه به این اطلاعات و زمین شناسی منطقه، این توده به احتمال زیاد مربوط به کانی سازی مس از نوع پرفیری می باشد. با توجه به نوع کانی سازی و بالا بودن مقادیر IP و همچنین پایین بودن مقادیر مقاومت ویژه نسبت به زمینه در این زون احتمالاً عیار ذخیره بالا می باشد.

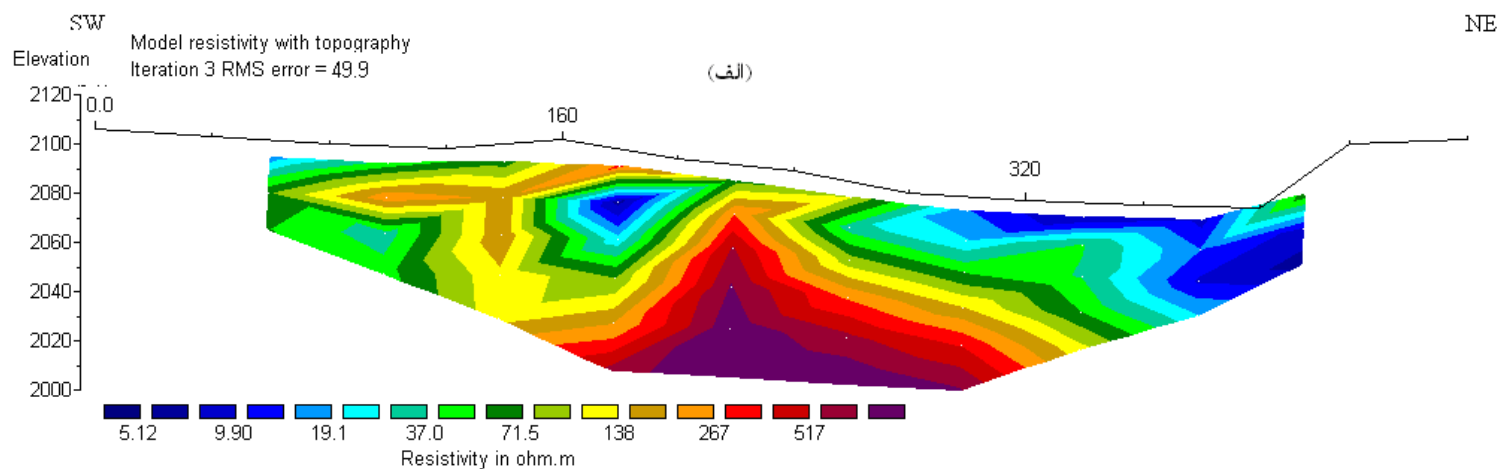
توده ۳: این توده با مقاومت ویژه بسیار بالا در حد ۹۰۰ اهم متر، احتمالاً توده ای مربوط به سنگ های نفوذی خرد (شکسته) و آلترا شده می باشد که با توجه به زمین شناسی منطقه می توانند دارای ترکیب گرانودیوریتی و منزونیتی باشند.



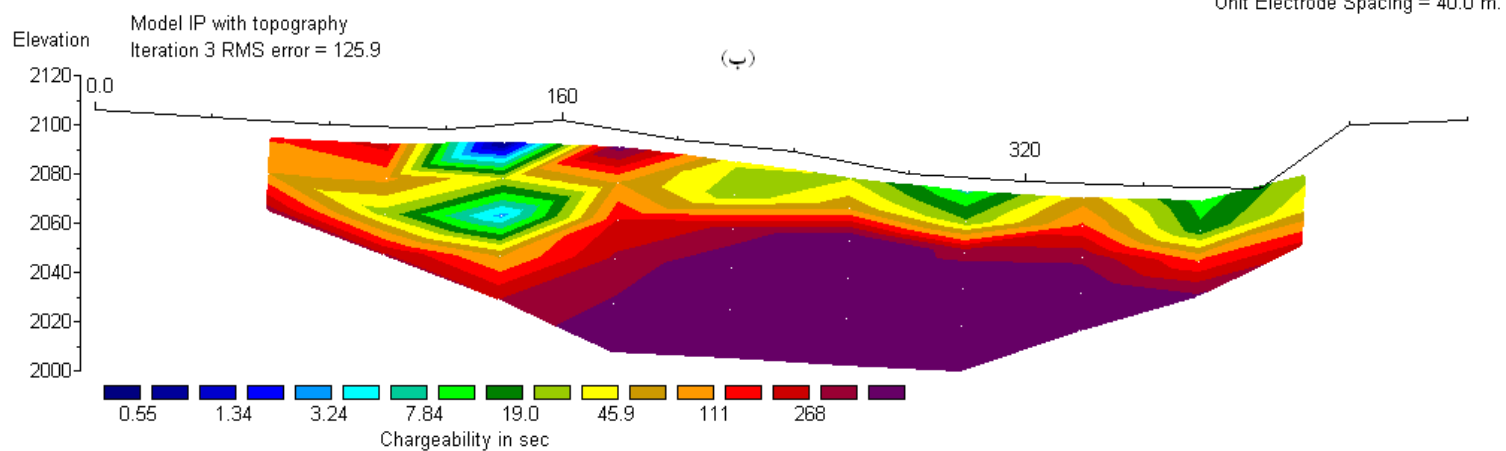
شکل (۴-۱۵) نتایج مدل سازی هموار دوبعدی داده های مقاومت ویژه توسط نرم افزار RESI2DINV برای پروفیل مهر ۲ (الف) شبه مقطع داده های مشاهده شده (ب)، شبه مقطع حاصل از مدل سازی (ج) مقطع مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی هموار



شکل (۴-۱۶) نتایج مدل سازی هموار دوبعدی داده های IP توسط نرم افزار RESIXIP2DI برای پروفیل مهر ۲ (الف) شبه مقطع داده های مشاهده شده (ب)، شبه مقطع حاصل از مدل سازی (ج) مقطع مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی هموار



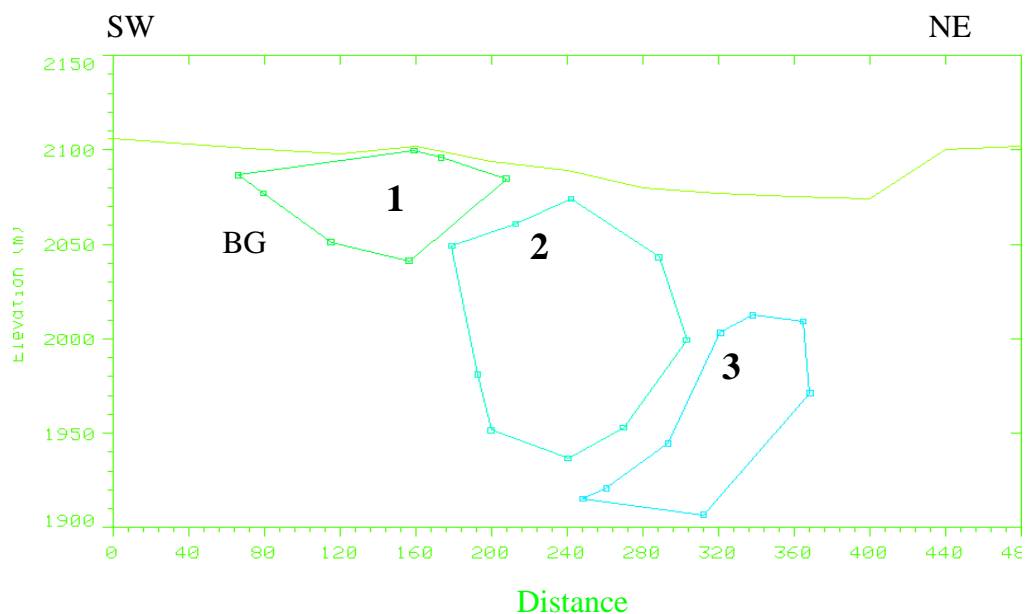
Unit Electrode Spacing = 40.0 m.



Unit Electrode Spacing = 40.0 m.

Horizontal scale is 78.58 pixels per unit spacing
Vertical exaggeration in model section display = 0.84
First electrode is located at 0.0 m.

شکل (۴-۱۷) نتایج مدل سازی هموار داده های (الف) مقاومت ویژه و (ب) IP توسط نرم افزار RES2DINV برای پروفیل مهر ۲ به همراه نمایش توپوگرافی پروفیل



شکل (۴-۱۸) مدل پلیگون حاصل از مدل سازی پارامتری توسط نرم افزار RESIXIP2DI برای داده های مقاومت ویژه و IP و پروفیل مهر ۲

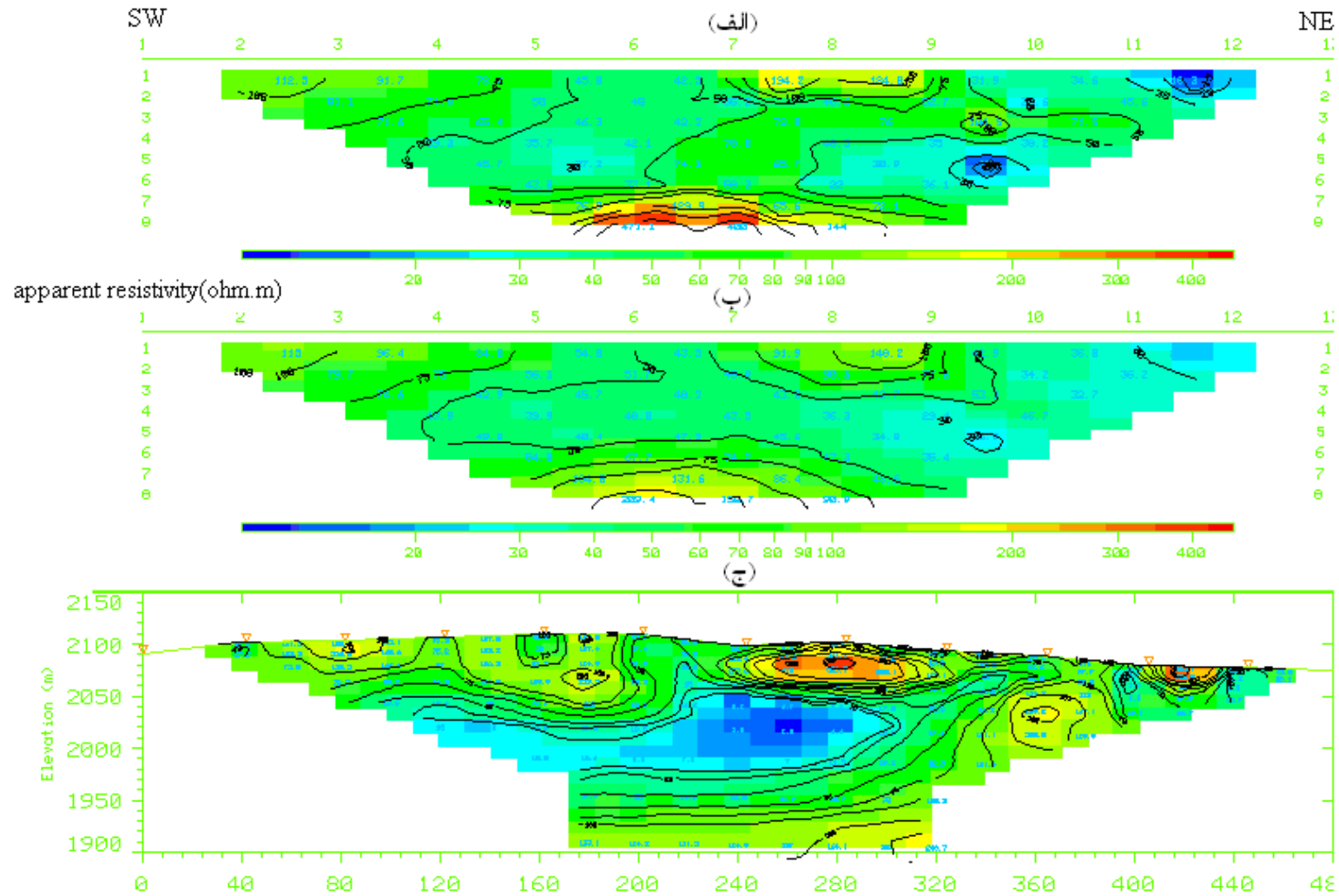
نتایج مدل سازی		
توده	مقاومت ویژه ($\Omega - m$)	بارپذیری (msec)
۱	۱۹۰/۳۵	۰/۹۴۱۱
۲	۱۱۰	۸۴۲
۳	۹۱۲	۲۳/۱۳
BG	۱۸۷/۳۱۲	۴۳/۲۱

جدول ۴-۳- مشخصات آنومالی های حاصل از مدل سازی پارامتری برای پروفیل مهر ۲

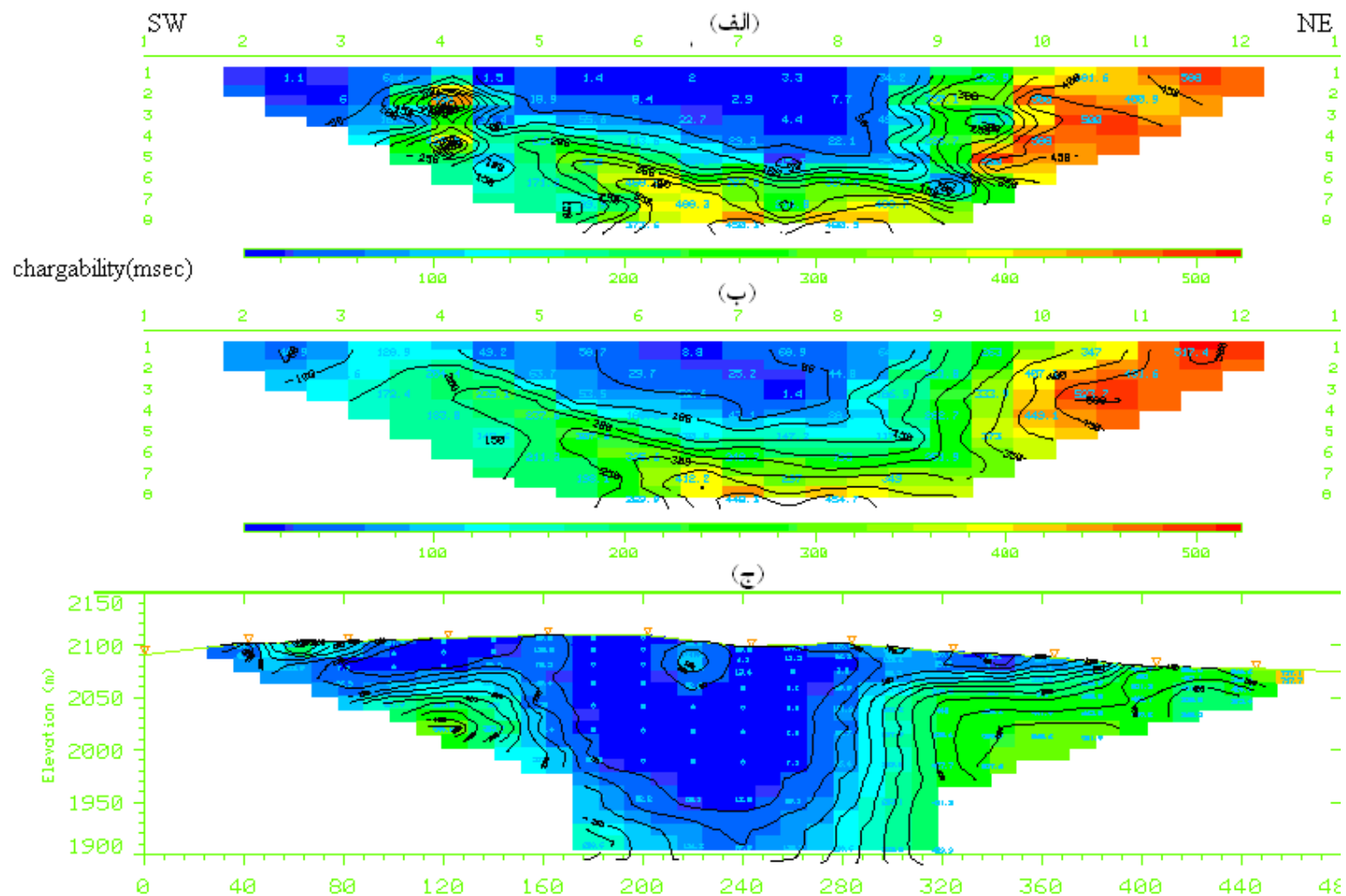
۳-۹-۴ مدل سازی داده های پروفیل مهر ۳

مطابق پروفیل های مهر ۱ و مهر ۲، داده های این پروفیل برای شناسایی محل های احتمالی کانی سازی شده در ابتدا توسط نرم افزار RESIXIP2DI به صورت هموار دو بعدی مدل سازی شدند و نتایج حاصل به صورت مدل زونگ همراه با توپوگرافی پروفیل در شکل (۴-۱۹) برای داده های مقاومت ویژه و در شکل (۴-۲۰) برای داده های روش IP نشان داده شده است.

با نگاهی اجمالی به شبه مقاطع داده های مشاهده ای و داده های محاسبه شده در شکل های (۴-۱۹) و (۴-۲۰) مقایسه آنها با یکدیگر می توان نتیجه گرفت که نتایج مدل سازی از دقت نسبتاً خوبی برخوردار است. مدل حاصل در شکل (۴-۱۹-ج) یک زون با بارپذیری بالاتر از ۳۰۰ میلی ثانیه را در انتهای راست پروفیل نشان می دهد که در مقطع مقاومت ویژه (۴-۱۹-ج)، مقاومت در این قسمت در حدود ۲۰۰ اهم متر و کمتر از آن می باشد که احتمالاً با کانی سازی مس در سنگ های منطقه مرتبط باشد که به دلیل وجود هاله آلتراسیون به همراه زون کانی سازی، مقاومت ویژه آن تا حدی کاهش یافته است. علاوه بر آن یک زون با IP بالا و مقاومت ویژه در حدود ۱۰۰ اهم متر در ابتدای سمت چپ پروفیل قابل مشاهده می باشد که احتمالاً این آنومالی مربوط به زون آلتراسیون مرتبط با کانی سازی مس می باشد.



شکل (۴-۱۹) نتایج مدل سازی هموار دوبعدی داده های مقاومت ویژه توسط نرم افزار RESIXIP2DI برای پروفیل مهر ۳ (الف)، شبه مقطع داده های مشاهده شده (ب)، شبه مقطع حاصل از مدل سازی (ج) مقطع حاصل از مدل سازی هموار (مدل زونگ) همرا با نمایش توپوگرافی



شکل (۴-۲۰) نتایج مدل سازی هموار دوبعدی داده های IP توسط نرم افزار RESIXIP2DI برای پروفیل مهر ۳ (الف) شبه مقطع داده های مشاهده شده (ب) شبه مقطع حاصل از مدل سازی (ج) مقطع بارپذیری حاصل از مدل سازی هموار (مدل زونگ)

در ادامه نتایج مدل سازی صورت گرفته به شیوه هموار را که توسط نرم افزار RES2DINV حاصل شده است را مورد بررسی قرار می دهیم. مدل حاصل برای داده های مقاومت ویژه در این روش در شکل (۴-۲۱) و مدل حاصل برای داده های IP در شکل (۴-۲۲) آمده است که نتایج به دست آمده از مدل های نرم افزار RESIXIP2DI را تایید می کند با این تفاوت که دونا حیه مذکور را به صورت پیوسته نشان می دهد و البته می توان دید که IP در تمام این مقطع بالا نشان می دهد که البته خطای مدل سازی برای مقطع IP بالاست. شکل (۴-۲۳) نمایش دهنده داده های IP و مقاومت ویژه به همراه توپوگرافی پروفیل مهر ۳ می باشد.

شکل (۴-۲۴) و جدول (۴-۴) نمایش دهنده نتایج حاصل از مدل سازی پارامتری توسط نرم افزار RESIXIP2DI می باشد که تفسیر نتایج مدل سازی صورت گرفته به لحاظ اطلاعات زمین شناسی و شواهد معدنکاری منطقه برای هر یک از توده های مدل شده به صورت زیر ارائه می گردد:

توده ۱: این توده کم عمق با مقاومت ویژه کمتر از زمینه و بارپذیری بسیار کم احتمالا مربوط به توده های آلتزه و هوازده سطحی است.

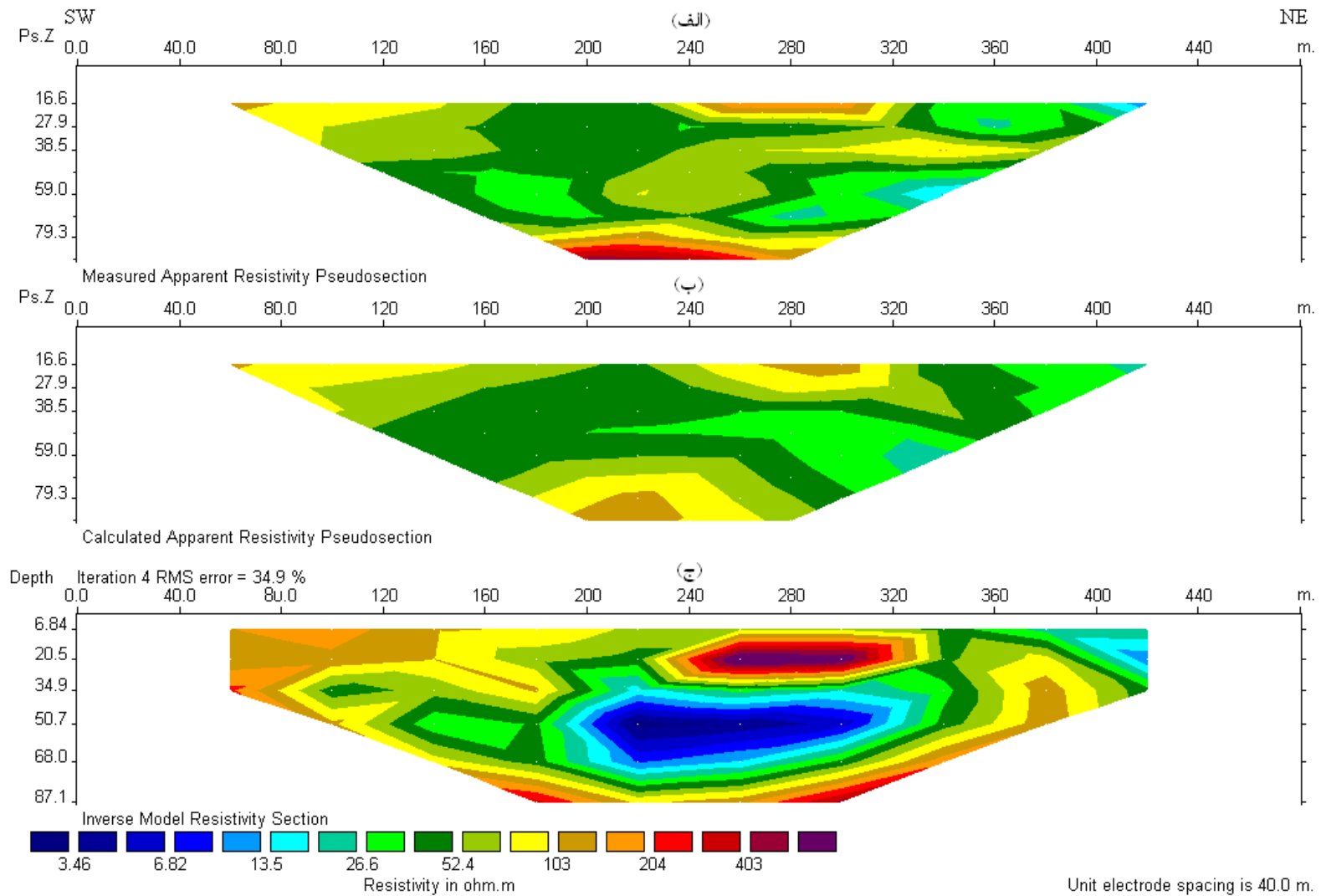
توده ۲: با توجه به آنکه در این توده بارپذیری بسیار بالاتر از زمینه (۵۹۸ در مقابل ۳۵ میلی ثانیه) است و مقاومت ویژه هم خیلی پایین (حدود ۱۲ اهم متر) است این زون به احتمال زیاد مرتبط با کانی سازی پرفیری است که در زون آلتراسیون شده است.

توده ۳: این توده در محدوده بخش میانی با مقاومت ویژه بسیار کم و بارپذیری بالاتر از حد زمینه، با توجه به اینکه در سطح قرار گرفته است احتمالا مربوط به یک زون آلتراسیون می باشد که احتمالا به دلیل وجود درصد کمی از کانی مس به صورت پرفیری مقدار IP در آن، کمی بالاتر از حد زمینه است.

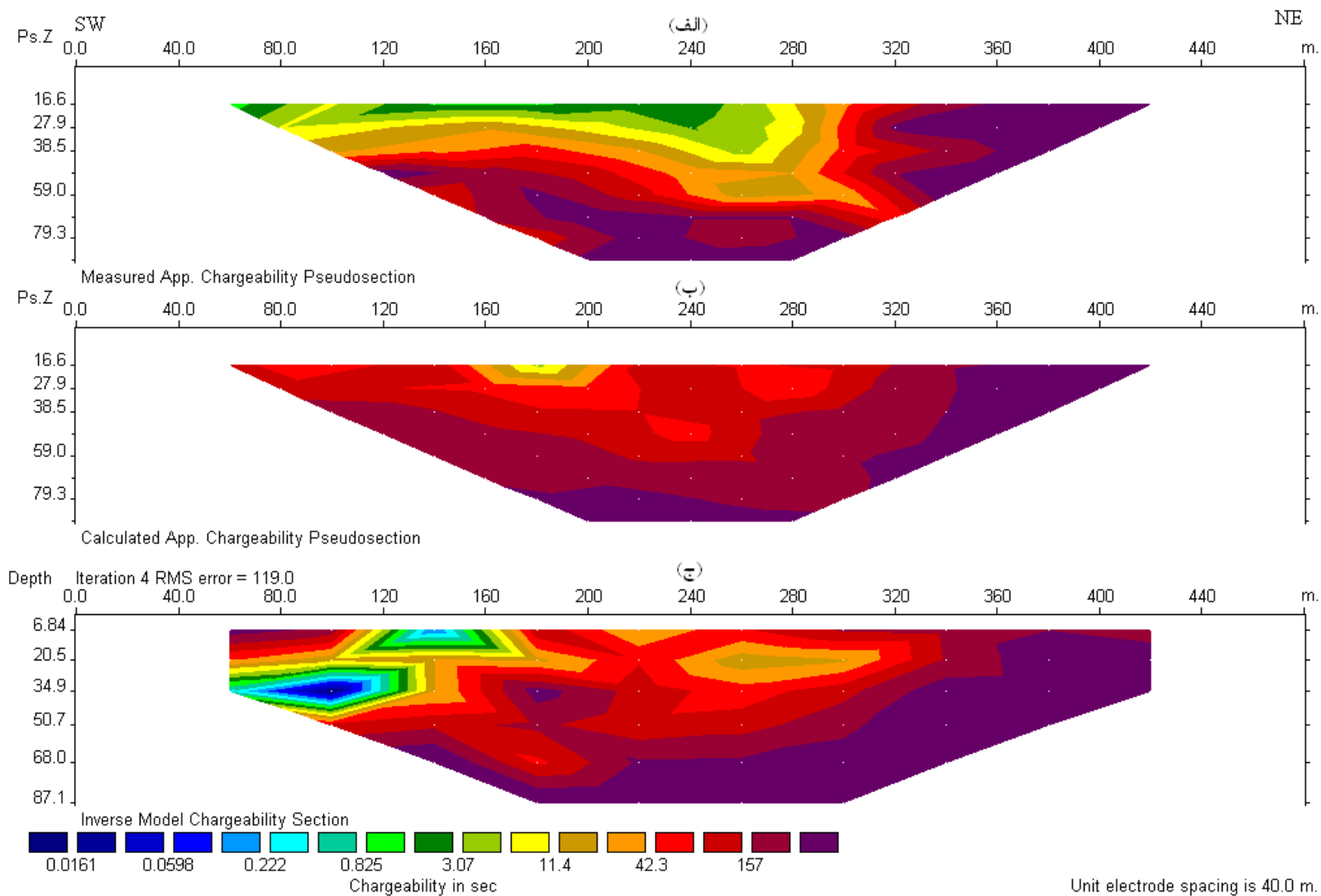
توده ۴: این زون با توجه به پایین بودن IP و مقاومت ویژه احتمالا مرتبط با زون آلتراسیون آرژیلیتی با عیار پایین مس پرفیری باشد.

توده ۵: این توده بارپذیری بالا و مقاومت ویژه کمی دارد که در گوشه راست پروفیل از سطح آغاز شده به سمت عمق ادامه می یابد و به احتمال زیاد مربوط به آلتراسیون مرتبط با کانی سازی است که از لحاظ ذخیره مس پرفیری نیز دارای اهمیت می باشد.

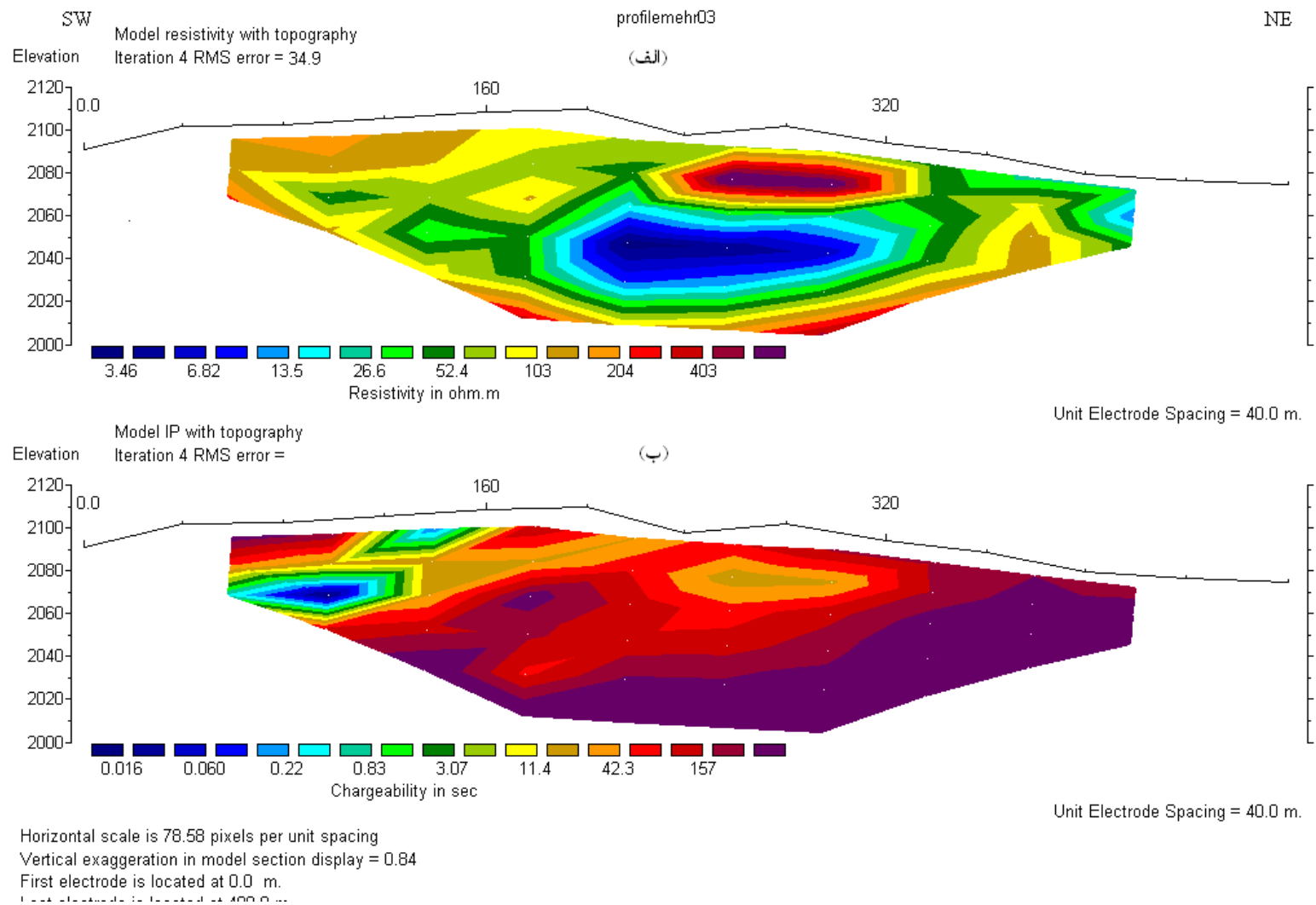
در مجموع می توان گفت که مدل حاصل در این شیوه مدل سازی در تطابق خوبی با نتایج مدل سازی های هموار ولی با نتیجه دقیقتر از نظر تعیین محل زون های آنومال است.



شکل (۴-۲۱) نتایج مدل سازی هموار دوبعدی داده های مقاومت ویژه توسط نرم افزار RES2DINV برای پروفیل مهر ۳ (الف) شبه مقطع داده های مشاهده شده (ب) شبه مقطع حاصل از مدل سازی (ج) مقطع مقاومت ویژه حاصل از مدل سازی هموار

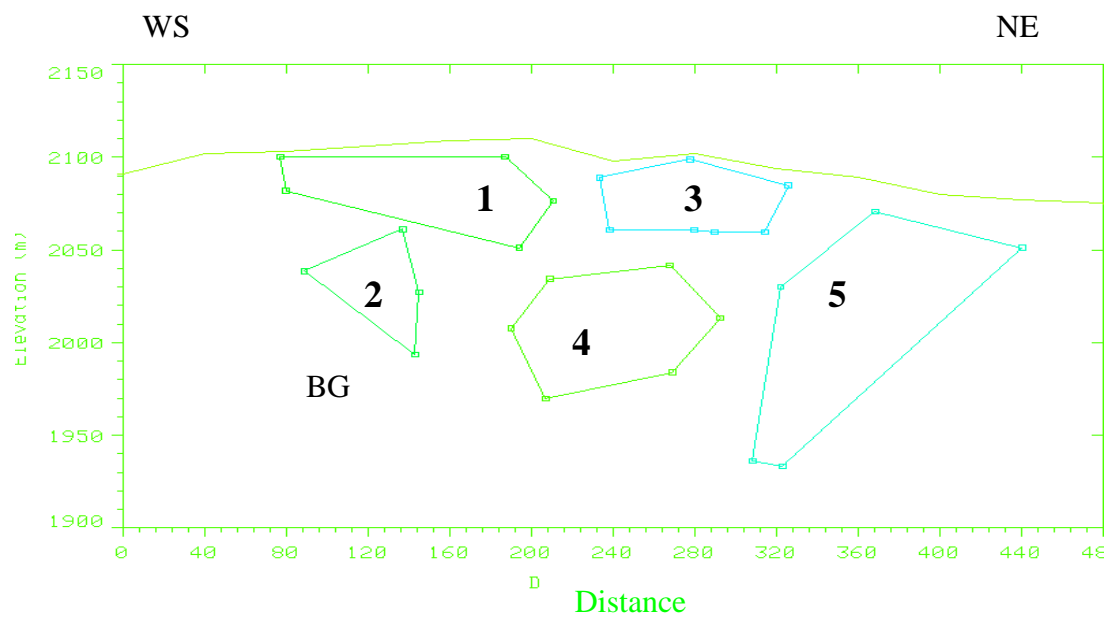


شکل (۴-۲۲) نتایج مدل سازی هموار دوبعدی داده های IP توسط نرم افزار در RES2DINV برای پروفیل مهر ۳ (الف)، شبه مقطع داده های مشاهده شده (ب)، شبه مقطع حاصل از مدل سازی (ج) مقطع بارپذیری حاصل از مدل سازی هموار



شکل (۴-۲۳) نتایج مدل سازی هموار داده های (الف) مقاومت ویژه و (ب) IP توسط نرم افزار RES2DINV برای پروفیل مهر ۳ به همراه نمایش

توپوگرافی پروفیل



شکل (۴-۲۴) مدل پلیگون حاصل از مدل سازی پارامتری توسط نرم افزار RESIXIP2DI برای داده های مقاومت ویژه و IP پروفیل مهر ۳

نتایج مدل سازی		
بارپذیری (msec)	مقاومت ویژه ($\Omega - m$)	توده
۵	۶۵/۹	۱
۵۹۸/۰۵	۱۱/۹۷۵	۲
۵۹/۰۰۱۶	۶/۲۱۷۷	۳
۱۰	۱۰	۴
۴۰۰	۲۱/۴۳	۵
۳۵/۶۷۴	۸۷/۳۴۷	BG

جدول ۴-۴- مشخصات آنومالی های حاصل از مدل سازی پارامتری برای پروفیل مهر ۳

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵-۱) نتیجه گیری

با توجه به نتایج مدل سازی معکوس هموار و پارامتری داده های مقاومت ویژه و بارپذیری هر یک از پروفیل ها و با در نظر گرفتن تئوری حاکم بر مسئله هر نوع مدل سازی عددی و آگاهی از نقاط قوت و ضعف هر یک از این نوع مدل سازی ها موارد زیر بطور خلاصه می تواند از بررسی های صورت گرفته نتیجه شود:

- با نگاه به نتایج مدل سازی های صورت گرفته بر روی داده های پروفیل مهر ۱ (توده ۳ در شکل ۴-۱۲) یک توده سطحی با مقاومت ویژه بسیار پایین و بارپذیری در حد ۱۰۰۰ میلی ثانیه، در فاصله بین ۲۸۰ متری تا ۴۱۰ متری از ابتدای پروفیل مهر ۱، از تراز عمقی ۲۰۶۰ متری آغاز شده و تا عمق ۱۹۱۰ متری ادامه می یابد و با توجه به مقاومت ویژه تقریباً پایین و بار پذیری بالا احتمالاً مربوط به زون آلتزه مرتبط با کانی سازی مس پرفیری باشد که از لحاظ کانی سازی قابل اهمیت است.
- از مجموع مدل سازی های صورت گرفته برای پروفیل مهر ۲ می توان نتیجه گرفت که یک زون آنومال با مقاومت ویژه حدود ۱۱۰ اهم متر و قابلیت بار پذیری بالا (در حدود ۸۰۰ میلی ثانیه) با گسترش جانبی حداقل ۱۴۰ متر از ۱۷۰ متری ابتدای پروفیل مهر ۲ آغاز شده و تا ۳۰۰ متری آن ادامه دارد همچنین این زون تقریباً از عمق ۲۰ متری آغاز شده و تا تراز عمقی ۱۹۴۰ متری ادامه دارد (نگاه به شکل ۴-۱۸). با توجه به مشخصات فیزیکی نتیجه شده برای این توده و تلفیق آنها با اطلاعات زمین شناسی می توان این آنومالی را به کانی سازی مس موجود در منطقه نسبت داد که با توجه به بارپذیری بالای آن احتمالاً از عیار خوبی نیز ممکن است برخوردار باشد.
- با نگاه به نتایج مدل سازی های صورت گرفته بر روی داده های پروفیل مهر ۳ می توان دو زون آنومال را شناسایی نمود طوری که آنومالی اصلی در بخش انتهایی پروفیل (توده ۵ در شکل ۴-۲۳) با گسترش جانبی حداقل ۱۶۰ متر و همچنین ضخامت قابل ملاحظه که از عمق ۲۰ متری آغاز شده و تا تراز ارتفاعی ۱۹۵۰ متری ادامه می یابد. با توجه به مقادیر بالای بارپذیری و مقاومت ویژه می توان آنرا با احتمال زیاد به کانی سازی مس موجود در منطقه نسبت داد. یک آنومالی کوچکتر نیز در فاصله ۱۲۰ متری از ابتدای پروفیل در عمق ۶۰ متری با گستردگی ۴۰ متر وجود دارد که با

توجه به IP بالا و مقاومت ویژه پایین احتمالا مربوط به زون آلتزه مرتبط با کانی سازی مس پرفیری باشد که از لحاظ کانی سازی قابل اهمیت است.

- نتایج نشان می دهند که لزوم دخالت دادن توپوگرافی پروفیل در فرآیند مدل سازی، در هر دو شیوه مدل سازی هموار و پارامتری، برای کسب نتایج دقیق تر، ضروری است.
- همانطوری که در این تحقیق ملاحظه شد مدل سازی هموار داده ها با هر دو نرم افزار RES2DINV و RESIXIP2DI به جز در موارد محدود، در تائید یکدیگر می باشند و به کارگیری آنها برای ارزیابی صحت نتایج مدل سازی هموار لازم است. اگر چه با مدل سازی های هموار زون های آنومال و محل قرارگیری آنها با دقت قابل قبولی شناسایی شدند ولی نتایج مطالعه نشان می دهد که تلفیق نتایج مدل سازی های هموار و استفاده از مدل سازی پارامتری (در قالب نرم افزار RESIXIP2DI) نتایج دقیق تری در مورد هندسه زون آنومال و مرزهای اطراف آن با سنگ میزبان نتیجه می دهد.
- انتخاب مدل آغازین در انجام پروسه معکوس سازی پارامتری با استفاده از نرم افزار RESIXIP2DI از نکات قابل توجه است. هر چه مدل آغازین با دقت بیشتری بر مبنای اطلاعات بدست آمده از سایر روش های مدل سازی و دیگر داده های موجود انتخاب شود روند معکوس سازی بهتر صورت می گیرد و همگرایی به مدل معکوس با خطای کمتری صورت می گیرد.
- با تلفیق روش های مختلف مدل سازی می توان تا حدودی ابهامات در تفسیر داده های صحرائی مربوط به داده های مقاومت ویژه و IP را تا حدود زیادی بر طرف نمود.

۵-۲) پیشنهادات

برای اکتشاف بهتر آنومالی های شناسایی شده در مطالعه حاضر پیشنهاداتی به شرح زیر ارائه می شوند:

- برای تعیین گسترش زون کانی سازی مس در حد فاصل پروفیل های مهر ۱ و ۲ و ۳ لازم است برداشت داده ها در امتداد این سه پروفیل آنقدر ادامه پیدا کند تا میزان گسترش جانبی آنومالی ها واقع در انتهای آنها کاملا مشخص گردد. علاوه بر آن برداشت داده های مقاومت ویژه و IP در روی پروفیل های دیگری عمود بر پروفیل های برداشت شده به طوری که محل تقاطع آنها مکان آنومالی های به دست آمده در

برداشت ابتدایی باشد به تعیین شکل آنومالی و بالاتر بردن دقت تفسیر و همچنین تخمین میزان ذخیره معدنی موجود کمک شایان توجهی خواهد کرد.

- در صورتی که ادامه برداشت داده ها در انتهای پروفیل مهر ۱، ۲ و ۳ و همچنین پروفیل های عمود بر این سه پروفیل و مدل سازی داده های آنها وجود کانی سازی در امتداد پروفیل مهر ۱ و ۲ و ۳ را تایید نماید، برای تائید زون اصلی کانی سازی شناسایی شده در زیر پروفیل مهر ۲ پیشنهاد می شود یک گمانه اکتشافی با توجه به مدل آورده شده در (شکل ۴-۱۸) به صورت عمود در فاصله ۲۴۰ متری از مبدا پروفیل مهر ۲ و با عمق حدود ۵۰ متر حفر گردد، علاوه بر آن پس از تائید نتایج به دست آمده توسط این گمانه بهتر است گمانه دیگری به عمق ۲۰ متر در ۳۶۰ فاصله متری مبدا پروفیل مهر ۳ (توده ۵ در شکل ۴-۲۴) حفر گردد تا نسبت به نتایج به دست آمده در این تحقیق اطمینان بیشتری حاصل شود.

مراجع

- ۱- چاکری، م (۱۳۸۴). پایان نامه کارشناسی ارشد، مدل سازی معکوس پارامتری و هموار دو بعدی داده های قطبش القایی و مقاومت ویژه، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ۲- حاجب حسینی، ح، زمردیان، ح، (۱۳۷۵)، ژئوفیزیک کاربردی [مولف : تلفورد و همکاران ۱۹۷۴]، انتشارات دانشگاه تهران، جلد دوم، چاپ دوم.
- ۳- حاجب حسینی، ح، (۱۳۷۵)، ژئوفیزیک کاربردی برای زمین شناسان و مهندسان [مولف : گریفیس و گینگ]، انتشارات دانشگاه تهران.
- ۴- حسن زاده، ح (۱۳۸۲). پایان نامه کارشناسی ارشد، مدل سازی توام داده های مقاومت ویژه و قطبش القایی، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ۵- بهروز امینی (۱۳۷۲)، شرح نقشه زمین شناسی چهارگوش انار در مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰.
- ۶- سازمان زمین شناسی کشور (۱۳۸۱)، نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ انار.
- ۷- عرب امیری، ع، طالبی، ک (۱۳۸۳) گزارش طرح پژوهشی، برداشت، مدلسازی و تفسیر داده های قطبش القایی و مقاومت ویژه اندیس معدنی انار.
- ۸- کثیری، ا (۱۳۸۶). پایان نامه کارشناسی ارشد، مدل سازی معکوس پارامتری و هموار دو بعدی داده های قطبش القایی و مقاومت ویژه منطقه تاش ومجن، دانشگاه صنعتی شاهرود
- ۹- کریم پور، م (۱۳۸۱) زمین شناسی اقتصادی کاربردی، انتشارات دانشگاه فردوسی.
- ۱۰- کلاگری، ع (۱۳۷۱). اصول اکتشافات ژئوفیزیکی، ناشر علی اصغر کلاگری.
- ۱۱- مرادزاده، ع، عرب امیری، ع، چاکری، م، (۱۳۸۴)، نگرشی آگاهانه بر کاربرد مدل سازی وارون هموار و پارامتری داده های مقاومت ویژه و قطبش القایی، بیست و چهارمین گرد همایی علوم زمین.

۱۲- مرادزاده، ع.، دولتی ارده جانی ف.،، کثیری، ا.، (۱۳۸۶)، مدل سازی وارون و تفسیر داده های مقاومت ویژه و قطبش القایی کانسار سرب و روی، بیست و ششمین گرد همایی علوم زمین.

۱۳- فرزاد مهدوی، ا (۱۳۸۳). روش های الکتریکی در اکتشافات ژئوفیزیکی حوزه های رسوبی عمیق [مؤلف: یانگل، ای]، با همکاری دانشگاه تهران.

14- ABEM, (1999). Instruction manual for Terameter SAS 1000. ABEM Instrument AB, 91.

15- Alumbaugh, D. L., and Newman, G. A., (2000), Image appraisal for 2-D and 3-D electromagnetic inversion: *Geophysics*, **65**, 1455–1467.

16- Constable, S., Parker, R. and Constable C., (1987), Occam's inversion: A practical algorithm for generating smooth models from electromagnetic sounding data,: *Geophysics*, **52**, 289-300.

17- Barker, R. D., (1997), Electrical imaging and its application in engineering

18- Graham, DC., (1974), The electrical double layer and theory of electrocapillarity, *CHEM.REV*,P,41,441-501.

19- Hedlin, C., and Constable, S., (1990), Occam's inversion to generate smooth, two-dimensional models from magnetotelluric data: *Geophysics*, **55**, 1613-1624.

20- Kearey, P., and Brooks M., (1991), An introduction to geophysical method in geophysical exploration. Second edition.

21- Lock, M.H., (2004). Res2dinv ver.3.54, Geotomo software.

22-Loke, M. H., (1999), Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies: A practical guide to 2-D and 3-D surveys

23-Loke M.H., and Barker, R., (1996), Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method:*Geophysical Prospecting*, **44**, 131-152.

24- Loke, M.H, (2000). Topographic modeling in Resistivity imaging inversion. 62 nd EAGE Conference & Technical Exhibition Extended Abstract. **45**, 124-126.

25-Marquardt, D., (1970), Generalized inverse, ridge regression, biased linear estimation and nonlinear estimation: *Technometrics*, 12,591–612.

26- Mooney,H. M, (1980), Hand book of Engineering Geophysics Electrical Resistivity , Bison Instruments, IncSan Diego, Academic Press.International Geophysics Series.

- 27- Okan, T., (2002), Interpretation of field observations in Induced Polarization, International Conference on earth Science and Electronic.
- 28- Oldenburg D., and Li Y., (1994), Inversion of induced polarization data: Geophysics, **59**, 1327-1341.
- 29- Pelton, W., Rijo, L., and Swift, J., (1978), Inversion of two dimensional resistivity and induced polarization data: Geophysics, **43**, 788-803.
- 30- Reynold, J. M. (1997) An Introduction to Applied and Environmental Geophysics, pp. 418-450.
- 31- Sasaki, Y., (1992), Resolution of resistivity tomography inferred from numerical simulation: Geophysical Prospecting, **40**, 453-464.
- 32- Smith, N., and Vozoff, K., (1984), Two-dimensional DC resistivity inversion for dipole-dipole data: IEEE Trans. Geosc, **22**, 21-28.
- 33- Siegel, H., (1959), Mathematical formulation and type curves for induced polarization: Geophysics, **24**, 547-565.
- 34- Stoyer, C., Zerilli, A. and Wilson, G., (1999). ResixIp2di, ver.4.08. user's manual for resistivity and induced polarization data interpretation software. Interpex Ltd.
- 35- Sumner, J.S., (1976), Principles of induced polarization for geophysical exploration: Elsevier, 277 p. Van Blaricom, Richard, 1980, Practical geophysics: Northwest Mining Association, 303 p.
- 36- Telford W.M., Geldart L.P. and Sheriff R.E., (1998), Applied geophysics, second edition, Cambridge university press, p 45-47 and 522-560.
- 37- Ward, S.H., (1990), Resistivity and induced Polarization Methods in Ward, S.H., ED., Geotechnical and Environmental Geophysics Soc. of Explor. Geophys, vol.1, pp.147-189.
- 38- Zong Engineering and Research Organization, (1994), The Application of Surface Electrical Geophysics to Groundwater Problem, Electrical Geophysics Seminar Notes, Inc., pp. 2-15.
- 39- www.iranview.com

عنوان و چکیده پایان نامه به انگلیسی:

Title

Inverse numerical modeling of resistivity and induced polarization data for exploration of porphyry copper deposit in anar area.

Abstract

In this study we benefited inversion techniques to obtain models using data which has been sampled near ANAR town in Kerman province. We used two geophysical methods for the copper exploration in the this zone; Resistivity and Induced Polarization (IP). sampling of this dataset was done by applying dipole-dipole array on three parallel profiles In this study the modeling operation has been done by RES2DINV and RESIXIP2DI softwares; the smoothed inverse modeling by RES2DINV and inverse modeling in parametric method by RESIXPI2DI. We compared the two methods for achieving better conclusion. Having done the modeling on three parallel profiles in resistivity and IP methods and producing the pseudo-section of the final model, two promising regions were introduced. The first priority is an anomaly in the right corner of Mehr1 profile, and the second one is related to an anomaly which expands 120 m along the Mehr3 profile with a significant thickness.