



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک پایان نامه کارشناسی ارشد اکتشاف مواد معدنی

مدلسازی و تفسیر دادههای پلاریزاسیونالقایی و مقاومتویژه به منظور اکتشاف طلا در محدوده معدن طلای زرشوران

نگارنده: سیامند فتحی بایزیدآباد

اساتید راهنما: دکتر علیرضا عرب امیری دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی

استاد مشاور:

دکتر اندیشه علی مرادی

تیر ۱۳۹۶

دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه اکتشاف معدن

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای سیامند فتحی بایزیدآباد به شماره دانشجویی ۹۴۱۳۱۴۴ تحت عنوان: مدلسازی و تفسیر دادههای پلاریزاسیونالقایی و مقاومتویژه به منظور اکتشاف طلا در محدوده معدن طلای زرشوران

در تاریخ ۱۳۹۶/۰۴/۲۰ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه عالی مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :
	دکتر اندیشه علی مرادی		دکتر علیرضا عرب امیری
			نام و نام خانوادگی :
			دكتر ابوالقاسم كامكار روحانى

امضاء	نماينده تحصيلات	امضاء	اساتيد داور
	تكميلى		
	نام و نام خانواد <i>گ</i> ی :		دکتر علی نجاتی کلاته
	دکتر مهرداد سلیمانی		
			دكتر سوسن ابراهيمي

تقدیر و تشکر

سرآغاز، حمد و سپاس پروردگار کریم را که یاریبخش این بنده حقیر بود. بر خود لازم میدانم از کلیه کسانی که بنده را در تدوین و نگارش این پایاننامه یاری نمودند صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم. به خصوص از اساتید فرزانه جناب آقای دکتر علیرضا عرب امیری و جناب آقای دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی که در کلیه مراحل انجام این پژوهش با خوشرویی، یاری و راهنماییم نمودند، صمیمانه تشکر و قدردانی مینمایم. همچنین مراتب سپاس گذاری خود را از جناب آقای دکتر اندیشه علی مرادی اعلام مینمایم.

در پایان از آقای دکتر علی نجاتی کلاته و خانم دکتر سوسن ابراهیمی به عنوان اساتید داور؛ که در به سرانجام رساندن این پایاننامه نقش بسزایی داشتهاند، کمال تشکر و قدردانی را دارم.

تقديم به

پدر، مادر و برادرانم.

تعهد نامه

اینجانب سیامند فتحی بایزیدآباد دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی اکتشاف معدن دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه مدلسازی و تفسیر داده-های پلاریزاسیونالقایی و مقاومتویژه به منظور اکتشاف طلا در محدوده معدن طلای زرشوران تحت راهنمائی دکتر علیرضا عرب امیری و دکتر ابوالقاسم کاکار روحانی متعهد می شوم.

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

تاريخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

 کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانهای، نرمافزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود. سنجش ازدور در مقایسه با دیگر روشهای اکتشافی به علت هزینههای پایین و در عین حال بازدهی بالا، میتواند در تعیین اهداف اکتشافی اولیه نقش مهمی داشته باشد و امکان پیجوییهای مقدماتی و اولیه کانسارها را فراهم آورد. روشهای ژئوفیزیکی نیز ازجمله روشهای مناسبی میباشند که در پیجویی و اکتشاف ذخایر معدنی کارایی بالایی دارند. این روشها اگر به درستی انتخاب شوند، اطلاعات ارزشمندی از کانیسازی در سطح و در عمق ارائه میدهند. در پژوهش حاضر، به منظور شناسایی دگرسانیهای محدوده معدن طلای زرشوران در شمال شهرستان تکاب، با استفاده از روشهای دورسنجی، تفسیر بصری و تجزیههای طیفی مختلفی بر روی دادههای سنجنده ASTER انجام گرفت. درنهایت به منظور شناسایی بخشهای پنهان کانیزایی با بررسی نتایج حاصل از دورسنجی و همچنین با توجه به شواهد و اطلاعات زمین شناسی موجود، برداشت دادههای صحرایی به روش مقاومت ویژه و با توجه به شواهد و اطلاعات زمین شناسی موجود، برداشت دادههای صحرایی به روش مقاومت ویژه و قطبش القایی (IP)، در شبکه ای مستطیلی با ابعاد ۱۶۵۰ ×۷۵۰ متر و با آرایش قطبی – دوقطبی در قالب شد.

در انجام مطالعات دورسنجی، ابتدا برای بررسی دگرسانیها با ایجاد تصاویر ترکیب رنگی کاذب از راه ترکیب باندهای مختلف، تعیین ضریب شاخص بهینه (OIF) و روش نسبت گیری باندها و با تفسیر بصری این تصاویر بهدست آمده، مناطق دگرسانی تا حدودی مشخص گردید. سپس بهمنظور تفسیر و استخراج پهنههای دگرسانی و واحدهای سنگی با دقت بالا در محدوده مورد مطالعه از روش تحلیل مؤلفههای اصلی انتخابی (PCA)، روش پیشبینی خطی باند با استفاده از برازش کمترین مربعات (-LS مؤلفههای اصلی انتخابی (PCA)، روش پیشبینی خطی باند با استفاده از برازش کمترین مربعات (-LS)، روش نقشهبردار زاویه طیفی (SAM) و روش طبقهبندی بیشترین شباهت (LM) استفاده شد. در هر یک از روش های مذکور تصاویری حاصل شد که اطلاعاتی از مناطق دگرسانی و واحدهای سنگی محدوده مورد مطالعه ارائه میدهند. همچنین دادههای صحرایی برداشتشده به روش مقاومتویژه و IP، پس از ورود به نرمافزار Res2dinv و ZondRes2d و انجام تصحیحات اولیه به روش وارونسازی کمترین مربعات، مدلسازی شده و نتایج حاصل به صورت مقاطع دوبعدی ارائه شد. در گام بعدی نتایج حاصل از مدلسازی و تفسیر مقاطع ژئوفیزیکی با اطلاعات به دست آمده از ترانشه ها و گمانه های حفر شده مقایسه و اعتبار سنجی شد. همچنین به منظور کاهش ریسک مطالعات بعدی و تعیین دقیق تر محدوده - های کانی سازی از مدل سازی وارون سه بعدی داده ها با استفاده از نرمافزار Res3dinv استفاده شد.

بهطورکلی و با توجه به بررسیهای صحرایی و همچنین مقایسه نتایج ترانشهها و حفاری چند مورد از گمانههای حفاری و حدود تغییرات مقاومتویژه و بارپذیری در مقاطع، میتوان گفت که مقادیر بارپذیری بالا منطبق بر کانیسازی شناسایی شده در حفاریها بوده و مطالعات ژئوفیزیک به روش IP و مقاومتویژه در این محدوده واحدهای زمینشناسی موجود را کامل از هم تفکیک کرده و اطلاعات ارزشمندی از کانیسازی در عمق در اختیار ما گذاشته است. در حالت کلی زون کانیسازی موجود در قسمت میانی محدوده گسترده شده و تا آخرین پروفیل برداشتشده ادامه پیدا کرده است؛ که نواحی با بارپذیری بالا در بین واحدهای آهکی مستعد مطالعات تفصیلیتر هستند. بر اساس اطلاعات موجود و تتایج حاصل از مطالعات دورسنجی، مدل سازیهای دوبعدی و سهبعدی دادههای مقاومتویژه و IP در محدوده مورد مطالعه، مناطق امیدبخش جهت حفر گمانههای اکتشافی شناسایی و معرفی گردید.

کلیدواژہ: سنجشازدور، مقاومتویژہ الکتریکی، قطبشالقایی (IP)، مدلسازی وارون دوبعدی و سەبدی، طلای زرشوران، تکاب.

لیست مقالات مستخرج از پایاننامه

کنفرانسی: اکتشافات ژئوفیزیکی طلا در محدوده معدن طلای زرشوران، دهمین همایش ملی زمینشناسی دانشگاه پیام نور، تبریز.

علمی پژوهشی: مطالعات سنجشازدور و اکتشافات ژئوفیزیکی به روش IP و مقاومت-ویژه در محدوده معدن طلای زرشوران، شمالغرب ایران، نشریه پژوهشهای ژئوفیزیک کاربردی، دانشگاه صنعتی شاهرود.

	لب	مطا	ست	فهر
--	----	-----	----	-----

ينوان	2
صل اول۱	ف
ليات۱	5
۱–۱ مقدمه	
۲-۱ مروری بر سوابق به کارگیری روشهای دورسنجی و ژئوالکتریکی در کاوشهای معدنی۳	
۱-۳ اهداف و ضرورت تحقیق	
۲-۱ روش انجام تحقيق۷	
۵-۱ ساختار پایاننامه	
صل دوم	ف
وقعیت جغرافیایی و زمینشناسی منطقه مورد مطالعه	م
۲-۱ موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه۲	
۲-۲ زمینشناسی محدوده معدن طلای زرشوران۱۳	
۲-۲-۱ زمینشناسی عمومی ۱۳	
۲-۲-۲ زمینشناسی اقتصادی ناحیهای	
۲-۲-۳ زمینشناسی محدوده مورد مطالعه۱۴	
۲-۳ واحدهای زمینشناسی موجود در نقشه ۱:۱۰۰۰ محدوده مورد مطالعه	
۲-۳-۱ واحد سریسیت،کلریت شیست میلونیتی (مجموعه ایمانخان) P€shb	
۲-۳-۲ واحد سرپانتین، سریسیت،کوارتز شیست (مجموعه ایمانخان) P€shb	
۲-۳-۳ واحدهای آهکی کریستالین چالداغ (مرمرچالداغ): واحد آهک کریستالین آلگدار و لامینه	
(P€1La) و واحد آهک روشن (P€1Lb)	
۲-۳-۲ واحد شیل سیاه کربندار (واحد زرشوران) P€bes	
۲–۳–۵ سازند قره داش ۱۷	
۲-۴ دگرسانی ۱۷	
۲-۴-۲ دگرسانی سیلیسی	
۲-۴-۲ دگرسانی سریسیتی - آرژیلیتی۱۸	

۲-۴-۲ دگرسانی آلونیتی
۲-۵ کانیسازی در معدن طلای زرشوران۲۰
۲-۶ ترانشههای حفر شده در محدوده۲۱
فصل سوم
طالعات سنجشازدور در منطقه مورد مطالعه۲۵
۲۶
٣-٢ طيف الكترومغناطيس
۳-۳ سکوها
۳–۴ سنجنده
۵-۳ ماهوارهها
۲۵-۳ ماهواره لندست، سنجنده +ETM
۳-۵-۲ ماهواره ترا، سنجنده آستر (ASTER)۲۹
۳-۶ آمادهسازی و پیشپردازش دادهها ۳۰
۳-۶-۲ موزائیک کردن دادهها۳
۳-۶-۲ برش تصویر
۳-۶-۳ تصحیح هندسی
۳-۶-۴ تصحیح رادیومتریک۲
۳-۷ پردازش تصاویر و اطلاعات ماهوارهای۳۲
۳-۷-۲ پردازش بصری
۳-۸ پردازش رقومی اطلاعات ماهوارهای۳۹
۳–۸–۱ نسبت گیری باندی۳
۳-۸-۲ تحلیل مؤلفههای اصلی (PCA)۴۲
۳–۹ آنالیز طیفی۴۵
۳-۹-۱ روش کمترین مربعات (LS-Fit)۴۶
۵۰-۳-۲ نقشهبرداری زاویه طیفی (SAM)۵۰
۳-۹-۳ روش طبقهبندی بیشترین شباهت (MLC)

۳-۹-۴ ارزیابی دقت طبقهبندی
۳-۱۰ آشکارسازی خطوارهها و عوارض ساختاری منطقه۵۹
۳-۱۱ جمعبندی و نتیجه گیری
فصل چهارم
بررسیهای مقاومتویژه و قطبشالقایی در منطقه مورد مطالعه
۶۴
۴–۲ روش مقاومتویژه الکتریکی۴
۴-۲-۲ تقسیمبندی مواد مختلف از لحاظ مقاومتویژه الکتریکی
۴-۲-۲ انتخاب آرایش الکترودی مناسب
۴-۲-۳ آرایش قطبی - دوقطبی۷۱
۴–۳ روش قطبشالقایی (IP) ۷۳
۴-۳-۴ روشهای اندازه گیری IP۹
۲-۳-۴ منشأ پديده IP منشأ پديده
۴-۴ مدلسازی و تفسیر دادههای مقاومتویژه و IP برداشتشده در منطقه مورد مطالعه ۷۸
۴-۴-۱ روشهای مدلسازی ژئوفیزیکی۷۸
۴-۵ روشهای عددی برای حل مسائل وارونسازی۸۳
۴-۵-۱ روش کمترین مربعات گوس - نیوتن۴
۴–۵–۲ روش شبهنیوتن
۴–۶ وارونسازی هموار دوبعدی بهوسیله نرمافزار Res2dinv
۷-۴ نرمافزار ZondRes2d نرمافزار ۷-۴
۴-۸ عملیات صحرایی برداشت دادههای مقاومتویژه و IP۹۰
۴–۹ تجهیزات برداشت۹۳
۴–۱۰ مدلسازی وارون دوبعدی و تفسیر مقاطع حاصل از مدلسازی دادههای IP و مقاومتویژه با نرمافزارهای Res2dinv و ZonRes2d
۴-۱۰-۱ تفسیر نتایج مدلسازی وارون پروفیل P1۹۶
۴-۱۰-۲ تفسیر نتایج مدلسازی وارون پروفیل P2

۴-۱۰-۳ تفسیر نتایج مدلسازی وارون پروفیل P3
۴–۱۰–۴ تفسیر نتایج مدلسازی وارون پروفیل P4
۴–۱۰–۵ تفسیر نتایج مدلسازی وارون پروفیل P5
۴-۱۰-۶ تفسیر نتایج مدلسازی وارون پروفیل P6
۴–۱۰–۷ تفسیر نتایج مدلسازی وارون پروفیل P7P7 تفسیر نتایج مدلسازی وارون پروفیل P7
۱۱-۴ مقاطع ۲/۵ بعدی دادههای IP و مقاومتویژه حاصل از نرمافزار ZondRes2d
۴-۱۲ مدلسازی سهبعدی دادههای مقاومتویژه و IP۱۲۸
۴–۱۳ وارونسازی سهبعدی دادههای مقاومتویژه و IP منطقه مورد مطالعه ۱۳۱
۴-۱۴ جمعبندی و نتیجهگیری۱۴۱
فصل پنجم
نتیجه گیری و پیشنهادات
۵-۱ نتیجه گیری
۲-۵ پیشنهادات
منابع و مآخذ

فهرست اشكال

ىفحە	عنوان
۱۲	شکل ۲-۱: موقعیت جغرافیایی و نقشه زمینشناسی کانسار طلای زرشوران
۱۷	شکل ۲-۲: واحد أهک روشن (سمت راست) و أهک کریستالین ألگدار و لامینه (سمت چپ)
۲۰	شکل ۲-۳: نمایی از گسترش دگرسانی آلونیتی در بالای زون کانیزایی
۲۳	شکل ۲-۴: شکل شماتیکی از ایستگاههای برداشتشده بر روی نقشه زمین شناسی
۲۳	شکل ۲-۵: موقعیت ترانشهها و گمانههای حفرشده نسبت به پروفیلهای IP و مقاومتویژه
۲۷	شکل ۳-۱: شمایی از فرآیند سنجشاز دور
۳۲	شکل ۳-۲: اعمال تصحیح رادیومتریک بر روی تصویر ASTER
۳۴	شکل ۳-۳: تصویر ترکیب رنگی کاذب استاندارد (۳۲۱) باندهای VNIR سنجنده ASTER
۳۷	شکل ۳-۴: تصویر حاصل از ترکیب باندی RGB:4,7,8 محدوده مورد مطالعه
۳۷	شکل ۳-۵: تصویر حاصل از ترکیب باندی RGB:4,6,8 محدوده مورد مطالعه
۳۸	شکل ۳-۶: تصویر حاصل از ترکیب باندی RGB:4,5,6 محدوده مورد مطالعه
۳۸	شکل ۳-۷: تصویر حاصل از ترکیب باندی RGB:14,12,10 محدوده مورد مطالعه
۴۰	شکل ۳-۸: تصویر ترکیب رنگی حاصل از نسبتهای باندی 7/(6+8) ,6/(5+7),5/(4+6)
۴۱	شکل ۳-۹: تصویر ترکیب رنگی حاصل از نسبتهای باندی 7/4, 1/2, [(5/3)+(5/3)
۴۱	شکل ۳–۱۰: تصویر نسبت باندی ۱۴/۱۲
۴۲	شکل ۳-۱۱: نمایش نموداری رابطه بین دو مؤلفه اصلی اول
۴۴	شکل ۳-۱۲: تصویر ترکیب رنگی حاصل از آنالیز مؤلفههای اصلی جهت یافته انتخابی
۴۸	شکل ۳-۱۳: تصویر حاصل از روش برازش کمترین مربعات باند ۶

۴۸	شکل ۳–۱۴: تصویر حاصل از روش برازش کمترین مربعات باند ۸
49	شکل ۳–۱۵: تصویر حاصل از روش برازش کمترین مربعات باند ۲
49	شکل ۳-۱۶: تصویر حاصل از ترکیب رنگی باقیمانده به روش کمترین مربعات باندهای۶، ۸ و ۲
۵١	شکل ۳-۱۷: دگرسانی آرژیلیک شناساییشده با استفاده از روش SAM
۵١	شکل ۳–۱۸: نقشه مواد معدنی استخراجشده از تصویر ASTER با استفاده از روش SAM
۵۵	شکل ۳-۱۹: تصویر حاصل از اعمال طبقهبندی بیشترین شباهت
۵۵	شکل ۳-۲۰: تفکیک واحد سنگی حاوی کانیزایی طلا با استفاده از طبقهبندی بیشترین شباهت
۵۶	شکل ۳-۲۱: واحد سنگی حاوی کانیزایی طلا همراه با موقعیت قرار گیری پروفیل های ژئوفیزیکی
۶.	شکل ۳-۲۲: گسلها و خطوارههای استخراجشده از تصویر ASTER
99	شکل ۴-۱: نحوه توزیع خطوط جریان و پتانسیل در یک آرایش چهار الکترودی
۶٩	شکل ۴-۲: مقادیر مقاومتویژه و رسانندگی الکتریکی برخی از سنگها و کانیهای متداول
۷١	شكل ۴-۳: آرايش قطبي - دوقطبي
۷۲	شکل ۴–۴: مقطع حساسیت آرایش قطبی – دوقطبی
۷٣	شکل ۴-۵: آرایش قطبی - دوقطبی متقارن
۷۵	شکل ۴-۶: اندازه گیری IP در روش حوزه زمان
۷۷	شکل ۴-۷: چگونگی گسترش IP غشایی
۷۸	شکل ۴-۸: قطبش الکترودی؛ قطبش دانه رسانا که در کانال ارتباطی سنگ قرار گرفته است
٨٩	شکل ۴-۹: مدل اولیه مورد استفاده در نرمافزار Res2dinv
۹١	شکل ۴-۱۰: موقعیت ایستگاههای برداشت ژئوفیزیکی بر روی نقشه زمینشناسی
٩٢	شکل ۴–۱۱: موقعیت ایستگاههای برداشت ژئوفیزیکی بر روی تصویر ماهوارهای
٩٢	شکل ۴–۱۲: موقعیت ترانشهها و گمانههای حفرشده در منطقه نسبت به پروفیلهای ژئوفیزیکی

۹۳	شکل ۴–۱۳: شیوه قرار دادن فویل آلومینیومی در زمین
۹۴	شکل ۴–۱۴: دستگاه گیرنده Scintrex IPR12 مورد استفاده
۹۴	شکل ۴–۱۵: تصویر امتداد یکی از پروفیلهای برداشت بر روی توده آهکی در منطقه مورد مطالعه
۹۵	شکل ۴–۱۶: تصویر گیرنده Scintrex IPR12 به همراه کابلهای برق و اتصالها
۹۵	شکل ۴–۱۷: تصویر الکترود غیرپلاریزه پتانسیل بر روی یکی از نقاط برداشت
٩٨	شکل ۴–۱۸: شبه مقاطع اندازه گیریشده، محاسبهشده و مدل مقاومتویژه پروفیل شماره یک
٩٨	شکل ۴–۱۹: شبه مقاطع اندازه گیریشده، محاسبهشده و مدل IP پروفیل شماره یک
٩٩	شکل ۴–۲۰: مدل مقاومتویژه (بالا) و IP (پایین) بر روی پروفیل شماره یک
٩٩	شکل ۴–۲۱: نتایج مدلسازی وارون پروفیل شماره یک با نرمافزار ZondRes2d
١٠٠.	شکل ۴-۲۲: نمودار ترسیمشده گمانه NE_01
۱۰۲	شکل ۴–۲۳: مدل مقاومتویژه (بالا) و IP (پایین) بر روی پروفیل شماره دو
۱۰۲	شکل ۴-۲۴: نتایج مدلسازی وارون پروفیل شماره دو با نرمافزار ZondRes2d
۱۰۴.	شکل ۴-۲۵: مدل مقاومتویژه (بالا) و IP (پایین) بر روی پروفیل شماره سه
۱۰۴.	شکل ۴–۲۶: مقطع مقاومتویژه (بالا) و IP (پایین) پروفیل شماره سه با نرمافزار ZondRes2d
۱۰۶.	شکل ۴–۲۷: مدل مقاومتویژه (بالا) و IP (پایین) بر روی پروفیل شماره چهار
۱۰۶	شکل ۴–۲۸: مقطع مقاومتویژه (بالا) و IP (پایین) پروفیل شماره چهار با نرمافزار ZondRes2d
۱۰۷	شکل ۴–۲۹: نمودار ترسیمشده گمانه YG_08
۱۰۹	شکل ۴-۳۰: مدل مقاومتویژه (بالا) و IP (پایین) بر روی پروفیل شماره پنج
۱۰۹	شکل ۴-۳۱: نتایج مدلسازی وارون پروفیل شماره پنج با نرمافزار ZondRes2d
۱۱۱.	شکل ۴–۳۲: نمودار ترسیمشده گمانه YG_02
۱۱۱.	شکل ۴–۳۳: نمودار تغییرات ژئوشیمیایی عناصر طلا و روی در طول ترانشه Y1-TR-01

117	شکل ۴-۳۴: نمودار تغییرات ژئوشیمیایی عناصر طلا و روی در طول ترانشه Y1-TR-02
۱۱۵	شکل ۴–۳۵: مدل مقاومتویژه (بالا) و IP (پایین) بر روی پروفیل شماره شش
۱۱۵	شکل ۴–۳۶: نتایج مدلسازی وارون پروفیل شماره شش با نرمافزار ZondRes2d
118	شکل ۴–۳۷: نمودار تغییرات ژئوشیمیایی عناصر طلا و روی در طول ترانشه Y1-TR-00
۱۱۹	شکل ۴–۳۸: مدل مقاومتویژه (بالا) و IP (پایین) بر روی پروفیل شماره هفت
۱۱۹	شکل ۴–۳۹: نتایج مدلسازی وارون پروفیل شماره هفت با نرمافزار ZondRes2d
۱۲۱	شکل ۴-۴۰: نمودار ترسیمشده گمانه YG_10
۱۲۱	شکل ۴-۴۱: نمودار تغییرات ژئوشیمیایی عناصر طلا و روی در طول ترانشه X1-TR-30
۱۲۳	شکل ۴–۴۲: نمای ۲/۵ بعدی مقاطع مقاومتویژه توسط نرمافزار ZondRes2d
174	شکل ۴–۴۳: مقطع افقی مقاومتویژه در عمق ۲۰ متر
174	شکل ۴-۴۴: مقطع افقی مقاومتویژه در عمق ۶۰ متر
۱۲۵	شکل ۴–۴۵: مقطع افقی مقاومتویژه در عمق ۱۰۰ متر
۱۲۵	شکل ۴–۴۶: مقطع افقی مقاومتویژه در عمق ۱۵۰ متر
175	شکل ۴-۴۷: نمای ۲/۵ بعدی مقاطع IP توسط نرمافزار ZondRes2d
۱۲۷	شکل ۴–۴۸: مقطع افقی IP در عمق ۲۰ متر
۱۲۷	شکل ۴–۴۹: مقطع افقی IP در عمق ۶۰ متر
۱۲۷	شکل ۴–۵۰: مقطع افقی IP در عمق ۱۰۰ متر
۱۲۸	شکل ۴–۵۱: مقطع افقی IP در عمق ۱۵۰ متر
۱۳۰	شکل ۴–۵۲: مدل سهبعدی زیر سطح زمین در نرمافزار Res3dinv
۱۳۲	شکل ۴–۵۳: مقاطع افقی حاصل از مدلسازی سهبعدی مقاومتویژه

شکل ۴–۵۴: مقاطع افقی حاصل از مدلسازی سهبعدی IP
شکل ۴-۵۵: مقاطع قائم مقاومتویژه (در امتداد محور y)
شکل ۴-۵۶: مقاطع قائم IP (در امتداد محور y)
شکل ۴–۵۷: نمایش سهبعدی نتایج وارونسازی دوبعدی دادههای IP با نرمافزار Voxler
شکل ۴–۵۸: نمایش سهبعدی نتایج وارونسازی دوبعدی دادههای مقاومتویژه
شکل ۴-۵۹: نمایش نتایج وارونسازی سهبعدی دادههای مقاومتویژه با نرمافزار Voxler
شکل ۴-۶۰: نمایش نتایج وارونسازی سهبعدی دادههای IP با نرمافزار Voxler
شکل ۴–۶۱: نتایج وارونسازی سهبعدی دادههای مقاومتویژه ه با مقادیر بالای ۵۰۰ اهممتر۱۳۹
شکل ۴-۶۲: نتایج وارونسازی سهبعدی دادههای IP با مقادیر بالای ۳۰ میلیثانیه
شکل ۴-۶۳: نتایج وارونسازی سهبعدی دادههای IP با نرمافزار RockworksRockworks
شکل ۴-۶۴: نتایج وارونسازی سهبعدی دادههای مقاومتویژه با نرمافزار Rockworks

نهرست جداول	اول	جد	ست	ئہر
-------------	-----	----	----	-----

صفحه	عنوان
۱۳	جدول ۲-۱: مختصات جغرافیایی گوشههای محدوده مورد مطالعه
۲۹	جدول ۳-۱: خصوصیات باندهای سنجنده ETM ماهواره لندست ۷
٣٠	جدول ۳-۲: خصوصیات باندهای سنجنده ASTER
۳۶	جدول ۳-۳: مقادیر OIF محاسبهشده برای ۲۰ ترکیب باندی
۴۰	جدول ۳-۴: نسبتهای باندی رایج در پردازش تصاویر ASTER
۴۴	جدول ۳–۵: مقادیر ویژه محاسبهشده برای باندهای انتخابی ۱،۴،۶،۷ (کائولینیت)
۴۴	جدول ۳-۶: مقادیر ویژه محاسبهشده برای باندهای انتخابی ۹، ۸، ۵، ۳ (اپیدوت-کلریت)
۴۴	جدول ۳-۷: مقادیر ویژه محاسبهشده برای باندهای انتخابی ۸، ۷، ۶ (آلونیت)
۵۸	جدول ۳-۸: دقت کلی و ضریب کاپای بهدست آمده از طبقهبندی دادههای ASTER منطقه .
۶۸	جدول ۴-۱: میانگین مقاومتویژه برخی از سنگها و کانیها
٧٠	جدول ۴-۲: خصوصيات مختلف چند آرايش الكترودي
117	جدول ۴-۳: نتایج حاصل از آنالیز نمونههای برداشتشده از ترانشه Y1-TR-01
117	جدول ۴-۴: نتایج حاصل از آنالیز نمونههای برداشتشده از ترانشه Y1-TR-02
۱۱۷	جدول ۴–۵: نتایج حاصل از آنالیز نمونههای برداشتشده از ترانشه Y1-TR-00
177	جدول ۴-۶: نتایج حاصل از آنالیز نمونههای برداشتشده از ترانشه Y1-TR-30
۱۴۷(جدول ۵-۱: موقعیت و مشخصات نقاط حفاری در منطقه (UTM_WGS 1984_Zone 38N



كليات

۱-۱ مقدمه

پیشرفت روزافزون در زمینههای صنعتی، نیاز دائمی به مواد اولیه مورد نیاز برای تولید را به همراه دارد. در این راستا، اکتشاف منابع فلزی برای تداوم صنعت و بسیاری از جنبههای زندگی بشر، بیشازپیش حائز اهمیت است. به دلیل تقاضای بالای مواد معدنی، استخراج مواد سطحی رو به افول نهادهاند؛ بنابراین بسیار ضروری است که منابع عمیقتر مورد اکتشاف و بهرهبرداری قرار گیرند.

سنجشازدور در مقایسه با دیگر روشهای اکتشافی به علت هزینههای پایین و در عینحال بازدهی بالا، میتواند در تعیین اهداف اکتشافی اولیه نقش مهمی داشته باشد و امکان پیجوییهای مقدماتی و اولیه کانسارها را فراهم آورد. از آنجا که دگرسانیهای موجود در مناطق اکتشافی در ارتباط نزدیک با رخدادهای تکتونیکی و فعالیتهای ماگمایی آن منطقه میباشد؛ لذا شناخت مناطق دگرسانی در ردیابی کانیسازی فلزی از اهمیت بالایی برخوردار است. بسیاری از نهشتههای معدنی همراه با مناطق گسترده دگرسانی هستند و به همین دلیل بهعنوان راهنما در پیجویی به کار میروند.

امروزه صرفاً با به کار گیری اطلاعات زمین شناسی سطحی، نمی توان به منابع مدفون دست یافت؛ بلکه باید از روش های مکمل مانند ژئوفیزیک اکتشافی نیز بهره برد. این روش ها ارزان و نسبتاً قابل اعتماد هستند [عرب امیری و فتحیان پور، ۱۳۷۹]. یکی از روش های مهم ژئوفیزیکی که به منظور کاهش ریسک عملیات اکتشافی و هزینه های حفاری به کار می رود، مدل سازی های پرقدرت و پر سرعت وارون سازی می باشد. وارون سازی داده های ژئوفیزیکی، یک روش مدل سازی است و از مهم ترین مراحل در تفسیر کمی داده های حاصل از این روش می باشد. مشکل اصلی این روش، عدم یکتایی پاسخ های آن هاست [Fedi and Rapolla, 1999].

روشهای ژئوالکتریکی یکی از مهمترین زیر مجموعهی روشهای ژئوفیزیک اکتشافی هستند؛ که بر مبنای مطالعه میدانهای الکتریکی زمین یا ویژگیهای الکتریکی پیکرههای زمینشناسی و معدنی استوارند. قطبش القایی (IP) یکی از روش های معمول و کارآمد در تشخیص کانی های سولفیدی و فلزی است. اندازه گیری های IP معمولاً در حوزه زمان یا فرکانس صورت می گیرد و بارپذیری، معمول ترین متغیر در اندازه گیری حوزه زمان محسوب می شود. از آن جا که مقاومت ویژه نیز از ویژگی های ذاتی سنگ و تشکیلات مختلف به شمار می رود و در شناخت وضعیت ساختاری و زمین شناسی منطقه مورد نیاز است؛ به عنوان روش مکمل IP در اکتشاف ذخایر فلزی به کار گرفته می شود [1994].

۲-۱ مروری بر سوابق به کارگیری روش های دورسنجی و ژئوالکتریکی در کاوش های معدنی

نقطه آغاز علم دورسنجی مدرن را میتوان از زمان توسعه پرواز دانست. در سال ۱۸۵۸، اولین عکسهای هوایی توسط گاسپار فیلیکس تورناکون^۲ از فراز شهر پاریس بهوسیله یک بالون تهیه شد. پس از آن، جنگ جهانی دوم نیز، عکسبرداری هوایی به همراه داشت؛ در این زمان بود که پیشرفتهای مهمی در صنعت عکسبرداری حاصل شد و استفاده از فیلمهای حساس مادونقرمز رایج شد. در سال ۱۹۷۲ اولین سری ماهوارههای لندست با دوربین و سنجندههای VBS، RBV و MT در چهار و هفت باند توسط آمریکا در مدار زمین قرار گرفته و تصاویر حاصل از آن در اختیار هزاران محقق قرار داده شد. از این مرحله که تصویربرداری از حالت آنالوگ خارج و بهصورت رقومی درآمد، دریچهای جدید برای پردازش تصاویر و درنهایت تعبیر و تفسیر آنها به روی بشر گشوده شد. شوروی سابق که در بهرهبرداری از ماهوارههای تصویربرداری بهصورت آنالوگ سابقه دیرینهای داشت، با پرتاب سری ماهوارههای بردازش تصاویر و درنهایت تعبیر و تفسیر آنها به روی بشر گشوده شد. شوروی سابق که در بهرهبرداری از ماهوارههای تصویربرداری بهصورت رقومی برآمد و بدین ترتیب بهطور اعجابانگیزی صحنه رقابت برای سایر ملل فراهم شد. فرانسه در سال ۱۹۸۶ اولین سری ماهوارههای Spot را با قدرت تفکیک ۱۰

¹ Induced Polarization (IP)

^r Gaspar Felix Tvrnakvn

[&]quot; Cosmos

MOS را در سال ۱۹۹۰، آژانس فضایی اروپا سری ماهوارههای ERS را در سال ۱۹۹۱ و کانادا سری ماهوارههای Radar_Sat را در سال ۱۹۹۵ در مدار زمین قراردادند [زبیری و مجد، ۱۳۸۸].

در کشور ما اولین فعالیت متمر کز برای وارد شدن در حوزه دورسنجی در سال ۱۳۵۳ به دنبال پرتاب اولین ماهواره منابع زمینی با تأسیس دفتر جمع آوری اطلاعات ماهوارهای در سازمان برنامه و بودجه صورت گرفت؛ که پس از مدتی دفتر مذکور به مرکز سنجش ازدور تغییر نام داد. از مطالعات انجام شده در زمینه سنجش ازدور در ایران می توان اثر کالیبراسیون داده های استر در بارزسازی های سنگ شناختی؛ مطالعه موردی کمپلکس افیولیتی نیریز [هاشمی تنگستانی و جعفری، ۱۳۸۹]، مقایسه روش های داده پایه و طیف مبنا برای نقشه برداری از مناطق دارای کائولینیت در آتشفشان مساحیم با استفاده از داده های هایپریون [بهرام بیگی و همکاران، ۱۳۹۱]، مطالعه پهنه های دگرسانی در شمال سراب با استفاده از داده های ماهواره ای، ژئوفیزیک هوایی و تجزیه نمونه های صحرایی [رفاهی و همکاران، ۱۳۹۱] و بررسی الگوهای اکتشافی ذخایر آهن اسکارنی با استفاده از تصاویر ماهواره ای HTTH در شمال شرق دلیجان [خادمی پارسا و مسعودی، ۱۳۹۵] را نام برد.

آزمایشهای صحرایی کنراد شلومبرژه^۱ در سال ۱۹۱۲ منجر به ابداع روش مقاومتسنجی و انتشار نتیجه تحقیقاتش در سال ۱۹۲۰ سبب افزایش کاربردهای اقتصادی 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، گنبدهای نمکی فرانسه در سال ۱۹۲۶ کشف شد [مهدوی، ۱۳۸۳].

پدیده IP نیز اولین بار توسط کنراد شلومبرژه در اوایل قرن بیستم گزارش شد. این روش اولین بار در اواخر سال ۱۹۴۰ بهطور گسترده برای اکتشاف ذخایر سولفیدی افشان به کار گرفته شد. تا سال ۱۹۵۰، اندازه گیری ها با استفاده از این روش در حوزه زمان^۲ صورت می گرفت [Seigel,1959]. در دهه

[\]Schlumberger

^r Time domain

۱۹۶۰، از این روش بهطور گسترده در اکتشافات ژئوفیزیکی مواد معدنی و فلزات پایه مدفون در زیر سطح زمین استفاده شده است.

یوچیدا^۱ و همکاران (۲۰۱۵) در ایالت نیشییاما^۲ ژاپن، بهمنظور دستیابی به اطلاعات جزئی تر از ساختارهای مقاومتویژه الکتریکی مخازن زمین گرمایی در سه بعد و انتخاب نقاط بهینه جهت حفاری و ایجاد چاههای تولید، برای اولین بار در منطقه مذکور توانستند با استفاده از مدلسازی وارون دادههای مقاومتویژه الکتریکی، به تصاویر واضحی از کلاهکهای رسی با مقاومتویژه پایین و مخازن هیدروترمال با مقاومتویژه بالا دستیافته و مرزهای با تباین مقاومتویژه الکتریکی را از یکدیگر تفکیک نمایند. همچنین، این تفسیرها با نتایج دادههای گمانهها سازگاری بالایی نشان داد.

ازجمله مطالعات ژئوفیزیکی در زمینه اکتشاف طلا میتوان به استفاده از روش VLF ، IP و VLF مرای اکتشاف طلا در سنگهای ولکانیکی و رسوبی کمربند مرکزی لاپلند گرین ستون در منطقه ایزوکوتکو⁷ در فنلاند در سال ۲۰۰۷ توسط سلمیریننه و تورونن[†] [Salmirinne and Turunen, 2007] و همچنین اکتشاف کانسار طلا و نقره در منطقه جولیتا^۵ واقع در کمربند کمربند Chukotka-Okhotsk در وسیه با استفاده از روش IP در حوزه زمان در سال ۲۰۱۵ توسط گورین^۶ و همکاران [Gurin, 2015]

در ایران از سال ۱۳۴۲شمسی از روشهای الکتریکی به خصوص مقاومت ویژه در مقیاس وسیعی برای مطالعات هیدروژئولوژی استفاده شد و به تدریج جای خود را در مطالعات معدنی نیز باز کرد. به طور مثال می توان به تفسیر داده های ژئوفیزیکی (IP/RS) محدوده معدنی طلای هیرد بر مبنای مطالعات زمین - ملا شناسی، دگرسانی و کانهزایی [عسکری و همکاران، ۱۳۹۱]، اکتشاف ژئوفیزیکی کانی سازی مس – طلا

[\] Uchida

^r Nishayama

^{*} Iso- Kuotko

^{*} Salmirinne and Turunen

^a Julietta

[°] Gurin

پورفیری ماهرآباد، شرق ایران [ملکزاده شفارودی و همکاران، ۱۳۸۸] و تلفیق دادههای زمینشناسی، کانیسازی و مطالعات ژئوفیزیکی IP/RS کانسار ماهور – شمال غرب دهسلم [گورابجیریپور و مباشری، ۱۳۹۳] اشاره کرد.

کانسار زرشوران از نظر فعالیت معدنی برای استخراج زرنیخ (ارپیمنت و رالگار) و طلا دارای سابقه بسیار طولانی است. اولین فعالیت اکتشافی هدفمند طلا به صورت رسمی در سال ۱۳۶۸ تحت عنوان اکتشاف طلای زرشوران آغاز شد. این اکتشافات تا سال ۱۳۷۳ ادامه داشته و در سال ۱۳۷۵ شرکت مینرال اکسپورت با شرکتی از آفریقای جنوبی (مینورکو) عملیات اکتشافی بر روی این کانسار را ادامه و شرکت لومار کانسار به عنوان مشاور ایرانی در این پروژه، همکاری نمود. نتایج طرح اکتشاف طلای زرشوران (۱۳۶۸–۱۳۷۳) به صورت کامل در دسترس نیست و اطلاعات پراکندهای در این زمینه وجود دارد. در سال ۱۳۷۹ سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور طی گزارشی تحت عنوان "پردازش و تعبیر و تفسیر داده های ژئوفیزیک هوایی به روش مغناطیس سنجی در برگه ۱۰۰،۰۰۰ تخت سلیمان" به بررسی داده های ژئوفیزیک این ناحیه ی معدنی پرداخته است [مهندسین مشاور کاوشگران،

1–۳ اهداف و ضرورت تحقيق

مواد معدنی، زیربنای اقتصاد و صنعت هر جامعه را تشکیل میدهند. بشر از همان آغاز آفرینش و در طول تاریخ، بر حسب نیازمندیها و شناخت، از مواد معدنی استفاده کرده است. اکنون نیز انسان، از مواد معدنی به شیوههای گوناگون بهرهبرداری مینماید. به بیانی دیگر همین مواد معدنی هستند که پایه و اساس تمدن را تشکیل میدهند. با توجه به نقش مواد معدنی در تأمین نیازهای اولیه صنایع مختلف، جستجوی آنها با روشهای کارآمد ضروری به نظر میرسد. از آنجا که جمعیت انسانها در حال افزایش است و میزان مواد معدنی نیز پیوسته افزایش مییابد؛ نیاز به علم معدنکاری بیشتر احساس طلا به خاطر زیبایی، کمیابی و پایداری در تمام طول تاریخ مورد توجه بشر بوده است. این ماده بهعنوان اصلی ترین مبنای مبادلات تجاری و پشتوانه رسمی یا غیررسمی برای پول ملل مختلف به شمار میرود [حسنی پاک، ۱۳۸۱]. منطقه تکاب یکی از مهم ترین نواحی معدنی طلادار ایران است؛ که وجود تعداد قابل توجهی کانسار طلا در این ناحیه گزارش شده است. این کانسارها اغلب از طریق برداشتهای زمین شناسی، نمونه برداری های سطحی (از رخنمون ها و مناطق دگرسان شده) و برداشت های عمقی به دنبال انجام حفاری های مختلف زیر سطحی شناسایی شده و یا مورد پی جویی و اکتشاف قرار گرفته اند.

وجود کانیسازی طلا در محدوه مورد مطالعه به اثبات رسیده است؛ لذا بهمنظور اکتشاف ارزان و سریع مناطق کانیسازی و با توجه به وضعیت زمینشناسی و همراهی کانیهای سولفیدی و فلزی خاص آن منطقه به همراه طلا، میتوان از مطالعات دورسنجی و عملیات ژئوفیزیکی به روشهای مقاومتویژه و IP استفاده نمود. هدف اصلی در این تحقیق، پردازش تصاویر سنجنده ASTER بهمنظور پیجویی ماده معدنی طلا بهطور غیرمستقیم، پهنهبندی نواحی دگرسانی، انجام برداشت یا عملیات صحرایی ژئوفیزیکی به روشهای مقاومتویژه و IP، مدلسازی معکوس دوبعدی و سهبعدی هموار و درنهایت، تفسیر دادههای برداشتشده توسط نرمافزارهای مربوطه بهمنظور یافتن امتداد کانیسازی طلا در عمق و همچنین تعیین وضعیت کانسار بهصورت سهبعدی در محدوده معدن طلای زرشوران میباشد.

۴-۱ روش انجام تحقیق

است.

از آنجا که نواحی دگرسانی گرمابی میتوانند ارتباط نزدیکی با مناطق کانیسازی داشته باشند؛ بر این پایه تفکیک محدودههای دگرسانی میتواند کلیدی برای پیجویی مواد معدنی با مقیاس ناحیهای باشد. دادههای سنجشازدور از پتانسیل بالایی برای شناسایی مناطق دگرسان شده مربوط به تودههای کانساری برخوردار هستند؛ دادههای ASTER نسبت به دادههای TM دارای قدرت تفکیک طیفی و مکانی بالاتری میباشند؛ به همین دلیل برای شناسایی و نقشهبرداری دقیق دگرسانیهای محدوده مورد مطالعه، با استفاده از روشهای دورسنجی، تفسیر بصری و تجزیههای طیفی مختلفی بر روی دادههای سنجنده ASTER انجام گرفت. درنهایت به منظور شناسایی بخشهای پنهان کانی زایی با بررسی نتایج حاصل از دورسنجی و همچنین با توجه به شواهد و اطلاعات زمین شناسی موجود، برداشت دادههای صحرایی به روش مقاومت ویژه و IP، در شبکه ای مستطیلی با ابعاد ۱۶۵۰×۷۵۰ متر و با آرایش قطبی – محرایی به روش مقاومت ویژه و IP، در شبکه ای مستطیلی با ابعاد ۱۶۵۰×۲۶۵ متر و با آرایش قطبی – دوقطبی^۱ در ۴۴۲ ایستگاه انجام و در قالب ۱۷ پروفیل موازی با یکدیگر، عمود بر امتداد ساختارهای زمین شناسی در جهت شمال شرق – جنوب غرب، به فاصله ۱۰۰ متر از یکدیگر (بهجز پروفیل ۱ و ۲ که با فاصله ۱۵۰ متری از همدیگر قرار گرفته اند) برای دو پارامتر بارپذیری بر حسب میلی ثانیه و مقاومت-ویژه ظاهری بر حسب اهم متر (مجموعاً ۳۳۱۵ نقطه) اندازه گیری شد. هر یک از این پروفیل ها دارای فاصله الکترودی ۳۰ متر و گام ۱ تا ۱۰ برای الکترودهای پتانسیل می باشند.

در انجام مطالعات دورسنجی از انواع روشهای پردازش تصویر مانند: نسبت گیری باندها^۲، تحلیل مؤلفههای اصلی^۲، روش پیش بینی خطی باند^۴، روش نقشه بردار زاویه طیفی^۵ و روش طبقه بندی بیشترین شباهت^۶ روی تصاویر ASTER، به منظور پهنه بندی نواحی دگرسانی استفاده شد. همچنین دادههای ژئوالکتریک برداشت شده، پس از ورود به نرم افزار Res2dinv و ZondRes2d و انجام تصحیحات اولیه به روش وارون سازی کمترین مربعات، مدل سازی شده و نتایج حاصل به صورت مقاطع دوبعدی ارائه شد. در گام بعدی نتایج حاصل از پردازش و تفسیر مقاطع ژئوفیزیکی با اطلاعات به دست آمده از ترانشه ها و گمانه های حفر شده مقایسه و اعتبار سنجی شد. همچنین به منظور کاهش ریسک مطالعات بعدی و تعیین دقیق تر محدوده های کانی سازی از مدل سازی وارون سه بعدی داده ها با استفاده از نرم-افزار Res3dinv استفاده شد. در انتها آنچه مدنظر است پیشنهاد نقاط مناسب برای انجام حفاری و

^{&#}x27; Pole-dipole

^r Band ratio

^r Principal component analysis (PCA)

^{*} Linear band prediction

^a Spectral angle mapping

^{&#}x27; Maximum likelihood classification

شناسایی مناطق امیدبخش میباشد.

۵-۱ ساختار پایاننامه

پژوهش حاضر مشتمل بر پنج فصل میباشد؛ که فصل جاری به بیان مقدمه، مروری بر مطالعات صورت گرفته، ضرورت و روش تحقیق میپردازد. در فصل دوم به زمین شناسی منطقه مورد مطالعه اشاره شده است. در فصل سوم پس از بیان تئوری روش دور سنجی، به پردازش دادههای ماهوارهای ASTER پرداخته شده است. در فصل چهارم پس از بیان تئوری مقاومت ویژه و IP، به تفسیر و مدل سازی دوبعدی و سه بعدی داده های مذکور پرداخته شد و درنهایت در فصل آخر نتیجه گیری و پیشهادات لازم ارائه گردید.

. فصل دوم

موقعيت جغرافيايي وزمين شناسي منطقه مورد مطالعه

۱-۲ موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

معدن طلای زرشوران در ۳۵ کیلومتری شمال شهرستان تکاب در کنار روستای زرشوران قرار گرفته است. محدوده معدنی زرشوران در ارتفاعات تاقدیس ایمانخان قرار گرفته است؛ که ارتفاع متوسط آن از سطح دریاهای آزاد، حدود ۲۳۰۰ متر میباشد. این محدوده از نظر تقسیمات ساختاری زمین شناسی در پهنه البرز – آذربایجان و در محل تلاقی آن با زونهای سنندج – سیرجان و ایران مرکزی واقع شده است. مسیر دسترسی از یک جاده آسفالته در شمال شهر تکاب در جاده تکاب تخت سلیمان قرار داشته و پس از عبور از روستاهای آلوچلو و زرشوران به معدن منتهی می شود (شکل ۲–۱). مختصات جغرافیایی گوشههای محدوده مورد مطالعه در جدول (۲–۱) آمده است [مهندسین مشاور کاوشگران، ۱۳۹۱].



شكل ۲-۱: موقعيت جغرافيايي و نقشه زمين شناسي كانسار طلاي زر شوران [Asadi harooni, 2000].

Х	Y
689000	4069000
697000	4069000
689000	4061000
697000	4061000

جدول ۲-۱: مختصات جغرافیایی گوشههای محدوده مورد مطالعه (UTM_WGS 1984_Zone 38N).

۲-۲ زمین شناسی محدوده معدن طلای زر شوران

۲-۲-۱ زمینشناسی عمومی

کانسار زرشوران در قسمت مرکزی برگه تکاب – شاهین دژ قرار داشته و بر اساس تقسیمات زمین شناسی ساختاری ایران بخشی از زون البرز – آذربایجان است. پیسنگ پرکامبرین پسین، رخنمون غالب ناحیه زرشوران را تشکیل می دهد و از کربناتها و سنگهای آتشفشانی اسیدی تا متوسط تشکیل شدهاند؛ که با یک دگرشیبی مشخص توسط لایه های قرمز الیگومیوسن پوشیده می شوند. در برخی نقاط توالی مذکور زیر تراور تنهای کواترنر قرار گرفته است. این منطقه بیشتر از سنگهای دگرگونی شیست، مرمر، گنایس و آمفیبولیت تشکیل شده است؛ که با روند شمال غرب – جنوب شرق در بخش میانی محدوده مورد نظر، بلندترین ارتفاعات (کوه بلقیس با ارتفاع ۳۳۳۰ متر و کوه قبله داغ با ارتفاع ۳۲۰۸ متر) را شکل می دهند.

ردیف چینهای سنگها در منطقه مورد بررسی به ترتیب از پایین به بالا شامل سنگهای دگرگونی پرکامبرین، سنگهای رسوبی پرکامبرین پسین – کامبرین پیشین و کامبرین – اردویسین، سنگهای دگرگونی پالئوزوئیک تودههای نفوذی دیوریتی، گرانودیوریتی و گرانیتی، سنگهای رسوبی و آتشفشانی الیگومیوسن و نهشتههای جوان پلیوسن و کواترنر میباشد. کهنترین واحد شناخته شده در منطقه مورد بررسی شامل یکسری سنگهای دگرگونی میکاشیست و کوارتزیت بهرنگ سبز – خاکستری است؛ که در زیر یک افق ۵۰ تا ۱۰۰ متری آهک و دولومیت مرمریشده (مرمر جان گوتاران) در هسته تاقدیسهایی در کوه لعلکان، کوه گورگور و تاقدیس چوگتی نمایان شدهاند.

۲-۲-۲ زمین شناسی اقتصادی ناحیه ای

منطقه مورد بررسی از نگاه ساختمانی دارای سه پهنه متفاوت قارهای، دگرگونی و اقیانوسی است؛ که با مرزهای گسله در کنار یکدیگر قرار گرفتهاند. پهنه قارهای با پوشش پلاتفرمی پرکامبرین – پالئوزوئیک در زون سـاختماني البـرز - آذربايجـان (سلطانيه - ميشو) قرار مي گيرد. پهنه دگر گـوني بخشـي از زون ساختمانی سنندج - سیرجان و شامل مجموعهای از سنگهای دگرگونی میکاشیست، کوارتزیت، گنایس و آمفیبولیت میباشد و پهنه اقیانوسی شامل مجموعهای از سنگ افیولیتی (دونیت، هارزبورژیت و لرزولیت) و سنگهای دگرگونی مرمر و آمفیبولیت است. تحلیل متالوژنی این ناحیه نشان میدهد که تمرکز کانههای فلزی در پیوند مستقیم با نوع پیسنگ و تحولات آن می باشد و به طور کلی به ۴ نوع اصلی قابل تقسیم است: الف) متالوژنی در کمپلکسهای افیولیتی (پهنه اقیانوسی) که از نظر کانی سازی کرومیت، کبالت، مس، سرب و روی، تیتان، طلا، جیوه و کانسارهای غیرفلزی آزبست، تالک، گرافیت و ... اهمیت دارد. ب) متالوژنی در پوسته قارهای (پهنه قارهای و دگرگونی) که از نظر کانیسازی آهن، فسفات، سیلیس، سرب و روی، فلدسیات و سنگهای تزئینی و نما، اهمیت دارد. ج) متالوژنی در گرانیتهای نوع برخوردی که از نظر کانیسازی قلع، تنگستن، نیوبیوم، زیرکنیم و فلدسپات اهمیت دارد و د) متالوژنی در روندهای تکتونیکی - ماگمایی ترسیر و جوان تر که از نظر کانیسازی طلا، آنتیموان، آرسنیک، جیوه و کانیهای فلزى اهميت دارد.

۲-۲-۳ زمین شناسی محدوده مورد مطالعه

محدوده معدنی زرشوران قسمتی از یال جنوب غربی تاقدیس موجود در برگه ۱:۱۰۰،۰۰۰ تخت سلیمان

است؛ که عمدتاً شامل ارتفاعات متوالی در کنار درههای تقریباً عمیق۷ شکل می باشد. محدوده طرح، تحت تأثیر تکتونیک منطقه، عملکرد سیالات کانیساز هیدروترمال و نیز فعالیتهای ولکانیک که عمدتاً بهصورت یک توده بزرگ کوارتز پورفیری تا ریولیتی در محدوده رخنمون دارد، درهمریختگی شدید پیداکرده و در کنار این عوامل، فرسایش شدید تودههای سنگی و ایجاد لایههای ضخیم خاک و نیز وجود یوشش گیاهی وسیع، عملاً سطح بسیاری از رخنمونهای منطقه را پوشانده است. به لحاظ سنی چنین بر می آید که مجموعه شیستهای ایمانخان، آهکهای چالداغ و واحد شیل سیاه (واحد زرشوران) مربوط به پر کامبرین است؛ که توسط نیرویی بالابرنده به سمت بالا کشیده شده باشند و روی آن ها را واحدهای جوان با سن نئوژن و با یک نبود چینهای طولانی مدت پوشانده باشند. ضخامت تمامی لایهها خصوصاً واحدهای قدیمی تر، تحت تـ أثیر تكتونیـک منطقـه و عملكرد گسلهای عمیق موجود در محدوده، فرسایش لایههای سنگی و نیز شیب و امتداد لایهها و چیدمان آنها با توپوگرافی محدوده، در قسمتهای مختلف تغییر پیدا کرده است. بهعنوان مثال واحد زرشوران به نظر در سمت جنوب شرق دارای گسترش بیشتری است؛ که این به دلیل عملکرد گسلهای شیبلغز موجود در این واحد است؛ که آن را به سمت پایین کشیده و بر ضخامت ظاهری آن افزودهاند. محدوده طرح با تأثیر آبهای جوّی و فرورو، تزریق توده نفوذی کوارتز پورفیری و نیز عملکرد فازهای کانیزایی در محلهای مختلف دچار دگرسانی شده که با شدت و ضعفهای متفاوت خصوصاً در حوالی ماده معدنی رخنمون پیدا کردهاند.

۳-۲ واحدهای زمینشناسی موجود در نقشه ۱:۱۰۰۰ محدوده مورد مطالعه

$P \in _{shb}$ (مجموعه ایمانخان) واحد سریسیت،کلریت شیست میلونیتی (مجموعه ایمانخان) ا

این واحد در انتهای دره معدن و به رنگ سبز پررنگ، رخنمون دارد؛ که آن را منسوب به رخساره شیست سبز (مجموعه ایمانخان) میدانند. در واقع این شیستها به همراه واحد شیستی بالایی خود هسته اصلی تاقدیس ایمانخان را تشکیل میدهند. روند عمومی این واحد شمالغرب - جنوب شرق بوده و شیب کلی آن معادل ۴۵ درجه و به سمت جنوب غرب است. مطالعه مقاطع نازک از این واحد نشان دهنده این است که کانیهای تشکیل دهنده سنگ شامل کلریت و کانیهای اوپاک بوده؛ که کلریت به صورت رشته ای، قالب اصلی سنگ را پدید آورده و بافت کلی سنگ به صورت میلونیتی می باشد.

$P \in _{shb}$ (مجموعه ایمانخان) وارتز شیست (مجموعه ایمانخان) T - T - T

این واحد نیز مانند واحد زیرین خود منسوب به رخساره شیست سبز میباشد. کنتاکت بالایی این واحد با واحد آهک کریستالین چالداغ بوده و در مرز بین این دو واحد براثر فشارهای تکتونیکی وارده و رانش ثقلی واحد آهکی بر روی این واحد، لنزهایی از کالک شیست مشاهده میشود. امتداد این واحد نیز مانند واحد زیرین خود شمال غرب – جنوب شرق بوده و شیب آن نیز در همان حد ۴۵ درجه و به سمت جنوب غرب میباشد. مطالعه مقاطع نازک از این واحد وجود کانی های کوارتز و فلدسپار همراه با مسکوویت را نشان میدهد؛ که در آن فلدسپارها دارای ماکل مشخص بوده و کاملاً سریسیتی (مسکوویتهای دانه ریز) شدهاند.

۲-۳-۳ واحدهای آهکی کریســتالین چالداغ (مرمر چالداغ) شــامل: واحد آهک کریســتالین آلگدار و لامینه (P€1_{La}) و واحد آهک روشن (P€1_{Lb})

واحد زیرین (P€1_{La})، یک آهک تیـرهرنـگ آلـگدار و لامینـه است؛ کـه بـر روی شیستهای سبز ایمانخان قرار دارد. کنتاکت آن با واحد زیرین خود بهصورت گسله بـوده و مرز مشخصی با هم ندارند. لامینههای موجـود در این واحد بهصورت تناوبی از باندهای تیره و روشن است که نشان از افـزایش و کـاهش مـواد کربنـی دارد. در مطالعه مقاطع نازک این واحـد، کـانی اصـلی، کلسـیت درشتبلور بـا ماکل-های مشخص است که رگههایی از کلسیت بهصورت متعدد این سنگها را قطع میکند. واحد 1_{La} نیز دارای رنـگ روشنتر بوده و در برخی نقاط باندهایی به رنگهای خاکستری روشن در تقابل با بانـدهـای
روشنتر دیده می شود (شکل ۲-۲).



شكل ۲-۲: نمونه دستي واحد آهك روشن (سمت راست) و آهك كريستالين آلگدار و لامينه (سمت چپ).

P€bes (واحد شیل سیاه کربندار (واحد زرشوران)

این واحد در واقع شامل شیلهای سیاه کربندار است؛ که در آن تناوبی از لایههای آهکی تبلور مجددیافته دیده میشود. این توالیهای آهکی دارای بهم پیوستگی خاصی نبوده و به صورت تکههای مجزا خصوصاً در قسمتهای پایینتر آن پراکندهاند؛ که با توجه به لاگ گمانههای حفرشده عموماً حالت دولومیتی و نخودی رنگ دارند.

۲-۳-۵ سازند قره داش

این واحد شامل توفهای ریولیتی، ریولیتها و کوارتز پورفیریهای حاوی بلورهای درشت کوارتز است؛ که همارز خروجی گرانیتوئیدهای دوران محسوب میشود. نمود این واحد در محدوده معدنی زرشوران شامل دو واحد با پایه آهکی و یک توده کوارتز پورفیری در وسط محدوده میباشد. واحدهای دولومیتی موجود در سازند قره داش بهصورت یک باند پهن روی واحد زرشوران قرار گرفتهاند و به راحتی میتوان در دره معدن رخنمون این واحدها را مشاهده نمود [مهندسین مشاور کاوشگران، ۱۳۹۱].

۲-۴ دگرسانی

زونهای دگرسانی در منطقه اکتشافی طلای زرشوران شامل زونهای سیلیسی، سریسیتی – آرژیلیتی و

آلونیتی میباشد؛ که در ادامه به شرح آنها پرداخته شده است.

۲-۴-۲ دگرسانی سیلیسی

دگرسانی سیلیسی در کانسارهای هیدروترمال بهصورت جریانی، برشی و جانشینی یافت شده و در بالای سیستم گرمابی واقع میشود و سیلیس آزادشده از زون سریسیتی و آرژیلیک بهصورت محلول در سطح و گاهی در مسیر با سنگها واکنش میدهد و آنها را سیلیسی میکند؛ که در واقع این خود نـوعی متاسوماتیزم است و رنگ کلی سنگ دربرگیرنده را به سمت روشن پیش میبرد. در کانسار زرشوران نیز گستردهترین دگرسانی از نوع سیلیسی است؛ که به خصوص در واحد شیلی و آهکی زرشوران حائز اهمیت میباشد. در اینجا عمدتاً سنگ بهصورت برشی سیلیسی شده است و در بعضی نقاط با کانیزایی باریت همراه می باشد. در سنگ آهکهای کریستالیزه واحد چالداغ در امتداد شکستگیها، سنگهای آهکی سیلیسی می باشد. در سنگ آهکهای کریستالیزه واحد چالداغ در امتداد شکستگیها، سنگهای آهکی سیلیسی می باشد. در سنگ آهکهای کریستالیزه واحد چالداغ در امتداد شکستگیها، سنگهای آهکی سیلیسی می باشد. در اینجا عمدتاً سنگ ماطق بافت اولیه سنگ عوض شده است؛ که نشاندهنده جانشینی سیلیس می می می در معنی مناطق بافت اولیه سنگ عوض شده است؛ که نشاندهنده جانشینی سیلیس بهجای کربنات کلسیم می باشد. در بعضی نقاط تودههای ژئودی از بلورهای کوارتز دیده می شود کـه عمدتاً در امتداد گسلها می باشند و به مرور زمان در اطراف آن پراکنده شده و سطح زیادی را پوشش دادهاند. علاوه بر این در قسمتهایی که تحت عنوان دگرسانی آلونیتی معرفی شده، بلورهای درشت و زیبایی از سیلیس را نیز می توان مشاهده نمود.

۲-۴-۲ دگرسانی سریسیتی – آرژیلیتی

در کانسار زرشوران این زون از کوارتز دانهریز، ایلیت، کائولینیت و سریسیت تشکیل شده است. در زون غنی شدهی سیلیسی از نوع سریسیتی – آرژیلیتی اون غنی شدهی سیلیسی از نوع سریسیتی – آرژیلیتی در است و حتی در قسمتهایی در درجه اول اهمیت قرار دارد. زون دگرسانی سریسیتی – آرژیلیتی در کانسار زرشوران حاوی کربن آزاد است؛ که رنگ سنگ را خاکستری تا سیاه میکند. این کربن به احتمال

زیاد مربوط به سنگ اولیه و از نوع آلی است. در واحد کربناتی، دگرسانی عمدتاً از نوع سیلیسی بوده و دگرسانی نوع سریسیتی – آرژیلیتی ناچیز میباشد. این حالتهای دگرسانی در تمام طول کمربند که سنگ میزبان آهک و شیل سیاه است، دیده میشود.

۲-۴-۲ دگرسانی آلونیتی

از دگرسانیهای مهمی که در محدوده رخنمون دارد دگرسانی آلونیتی میباشد. کانیهای مهم این نوع دگرسانی عبارتاند از: آلونیت، کوارتز، کلسدون، اپال و کانیهای فرعی آن کائولینیت، سریسیت، ژاروسیت، پیریت و هماتیت میباشد. محلـولهـای گرمـابی غنی از سولفات در شرایط اکسیدان و در دمای کمتر از ۳۰۰ درجه سانتی گراد موجب هیدرولیز سنگهای غنی از Al و K شده و درنتیجه آلونیت تشکیل می شود. آلونیت در بخش فوقانی کانسارهای اپی ترمال یافت می شود. افزایش غلظت SO4 عامل مهم و اساسی برای تشکیل آلونیت است. کاهش درجه حرارت، محدوده تشکیل آلونیت را گسترش میدهد. نظر به اینکه در زون آلونیت سیستم مربوطه اشباع از سیلیس است؛ بنابراین بلورهای سیلیس کریپتوکریستالین میتوانند تشکیل شوند. دگرسانی آلونیت در بیشتر کانسارهای طلا و نقره نوع اییترمال یافت می شود. این زون از بالا به زون سیلیسی و از اطراف و پایین به زون آرژیلیتی محدود می شود. به همین دلیـل راهنمـای خـوبی برای اکتشاف کانسارهای طلا و نقره نوع اپیترمال میباشد. در کانسار زرشوران این زون در بالای منطقه معدن زرشوران و تقریباً در مرز بین آهکهای روشـن و تیره چالداغ دیده شده است. در این مرز، میان لایه های ماسه ای واجد فلدسپات ها وجود دارد که احتمالاً با تأثیر سیالات هیدروترمال و چرخش آن در بین این میانلایهها؛ این دگرسانی را به وجود آورده است. از مشخصات مهم آن وجود تودههای کریپتوکریستالین ژاسپیروئید در آن است که با کائولینیت و ایلیت همراه می-ىاشد.



شکل ۲-۳: نمایی از گسترش دگرسانی آلونیتی در بالای زون کانیزایی [مهندسین مشاور کاوشگران، ۱۳۹۴].

۵–۲ کانیسازی در معدن طلای زرشوران

کانیسازی طلا در کانسار زرشوران از جهات مختلفی مشابه کانسار اپیترمال پراکنده در سنگهای رسوبی و بهخصوص کربناته (تیپ کارلین) میباشد. طلا یا بهصورت بسیار دانهریز در کانسار پراکنده بوده و میزان آرسنیک و سولفید در کانسار بسیار بالا است و یا با کربن آلی موجود در واحد زرشوران تشکیل کمپلکس طلا – کربن آلی داده که دارای عیار بالایی نیز میباشد. کانیسازی در این کانسار به سه شکل رگهای (در زونهای سیلیسی)، لایهای (در آهک کربندار زرشوران و آهک با رگچههای زرنیخ چالداغ) و تودهای (در محدوده مرکزی معدن زرنیخ) دیده میشود. در کل شباهتهای فراوانی بین کانسار زرشوران و کانسارهای تیپ کارلین وجود دارد؛ که می توان آن را از نوع کارلین توصیف کرد. در ادامه بهعنوان نمونه برخی از این شباهتها آورده شده است:

۱) در هر دو نوع کانسار، سنگ میزبان از نوع رسوبی و کربناته بوده و همراه با شیل و دولومیت میباشد. ۲) در هر دو نوع، گسلهای با شیب زیاد از کنترلکنندههای مهم کانسار میباشند. ۳) در کانسارهای تیپ کارلین تمرکز بالایی از سولفیدهای آرسنیکی وجود دارد که این تمرکز را میتوان بهوضوح خصوصاً در تونلهای زرنیخ در حال استخراج معدن زرشوران مشاهده نمود. ۴) در کانسار زرشوران بر طبق گزارشهای قبلی مانند تیپ کارلین بهصورت ذرات ریـز فلـزی و یـا درگیـر در شبکه مولکولی، رآلگار و اورپیمنت وجود دارد. ۵) کلیه کانسارهای تیپ کارلین مانند زرشوران دارای تمرکز بالایی از جیوه، آنتیموان، تالیوم و انـواع گسـتردهای از کانیهای سولفیدی و سولفاتی هستند. ۶) مطالعات کانیشناسی وجود کانی گچلیت را در کانسار زرشوران نشان داده است که مشابه کانسـار گچـل از کانسارهای تیپ کارلین است. ۲) در کانسارهای تیپ کارلین مشابه کانسار زرشوران، کانی آرسنو پیریـت کمیـاب بـوده و در عـوض کـانی پیریت به وفور دیده میشود که حاوی مقادیری پیروتیت است. ۸) آثار فعالیتهای چشمههای آب گرم که عامل انتقال و تهنشسـت کمـپلکسهـای فلـزی و طـلادار در کانسارهای تیپ کارلین تعیین گردیده است نیز در کانسار زرشوران حضور گستردهای دارد.

کانیهای همراه طلا عبارتاند از: اورپیمنت، رآلگار، استیبنیت، اسفالریت، گالن، گچلیت، سینابر و کانیهای گانگ کانسار عبارتاند از: کوارتز، فلورین، باریت و کلسیت [مهندسین مشاور کاوشگران، ۱۳۹۴].

۲-۶٪ ترانشههای حفرشده در محدوده

در محدوده مورد مطالعه تعداد ۱۱ ترانشه اکتشافی وجود دارد. از این میان، تعداد ۴ ترانشه، پروفیلهای ژئوفیزیکی برداشتشده در محدوده را قطع میکنند؛ و یا با فاصله نزدیکی به موازات آنها حفر شدهاند. کلیه ترانشههای حفرشده در محدوده طوری طراحی شدهاند که حتیالامکان واحدهای اصلی موجود در منطقه را شامل: الف) واحد زرشوران که دارای تناوبی از میکا شیستهای سیاه، سنگ آهک صورتی تا قهوهای، توفهای آهکی ماسهای، شیلهای توفی و شیلهایی همراه با دولومیت تا دولومیتهای آهکی میباشد، ب) واحد چالداغ که غالباً دارای توده سنگهای آهکی میباشد و ج) واحد ایمان خان که معادل سازند کهر بوده و دارای تناوبی از شیستهای سبز و لایههای آهکی میباشد و ج) واحد ایمان خان که معادل سازند کهر بوده تغییر عناصر در این واحدها بهدست آورد. لیتولوژی غالب این ترانشهها شامل سنگ آهک مربوط به واحد چالداغ و ماسهسنگهای موجود در واحد زرشوران میباشد. از مطالعه نمودارها و نتایج آنالیز عنصری حاصل از نمونههای برداشتشده از این ترانشهها میتوان به این نتیجه رسید که تقریباً در تمام طول ترانشهها آثار کانیسازی دیده میشود و تغییرات عناصر بسیار متغیر بوده و روند مشخصی ندارند. اگرچه آثار کانیسازی در سطح و در لیتولوژی مربوط به واحد زرشوران بهصورت قابل توجهی به چشم میخورد؛ اما بر اساس مطالعات قبلی انجامشده در محدوده بهطور قطع نمیتوان از واحد زرشوران بهعنوان عامل کانیزایی طلا یاد کرد. بیشترین گسترش کانیزایی را میتوان در واحدهای آهکی چالداغ دنبال کرد. لاگهای حاصل از حفاریهای گذشته که ظاهراً با دقت بسیار بالایی صورت گرفتهاند و درجه اطمینان به اطلاعات آنها بالا است، نشان از نفوذ سیال کانهساز در این واحد و ایجاد ساخت و بافت جانشینی به دلیل مناسب بودن آهک دارند؛ و این امر نشان از گسترش کانیسازی در زیـر سطح و در واحدهای آهکی چالداغ میباشد؛ که مقداری نیز در واحد زرشوران نفوذ کرده و کانیزایی را بر جای نهاده است. در فصل ۴ به مطالعات چاهنگاری این حفاریها پرداخته شده است. مورد مطالعه در فصل ۴ آورده شده است.

شکل شماتیکی از پروفیلهای برداشتشده بر روی نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰ منطقه و موقعیت ترانشه-ها و گمانههای حفرشده نسبت به پروفیلهای ژئوفیزیکی در شکل (۲-۴) و (۲-۵) نشان داده شده است.



شکل ۲-۴: شکل شماتیکی از ایستگاههای برداشتشده بر روی نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰ محدوده مورد مطالعه [مهندسین مشاور کاوشگران، ۱۳۹۱].



شکل ۲-۵: موقعیت ترانشهها و گمانههای حفرشده نسبت به پروفیلهای IP و مقاومتویژه.

. فصل سوم

مطالعات شخش ازدور درمنطقه مورد مطالعه

۲-۲ مقدمه

در چند دهه اخیر انجام مطالعات اکتشافی با استفاده از روشهای مدرن یکی از اولویتهای مطالعاتی در کشورهای مختلف جهان میباشد. امروزه علم سنجشازدور ^۱ بهواسطه قابلیتهای منحصر به فردی که دارا میباشد، جایگاه مهمی در مطالعات مرتبط با علوم زمین پیدا نموده است و در زمینههای مختلف اکتشاف معادن، شناسایی جنس سنگها، شناسایی گسلها، تهیه نقشه و مدل ارتفاعی رقومی زمین و غیره کاربرد دارد. مهمترین مزیت این روش دسترسی به اطلاعات محیطی در حداقل زمان ممکن و با دقت مورد نظر میباشد.

سنجشازدور، دانشی است که با اندازه گیری امواج الکترومغناطیس حاصل از انعکاس نور خورشید از یک شئ و با مشاهده آن از فاصله دور و بدون تماس فیزیکی با آن میتواند اطلاعات ارزندهای را ارائه نماید. با استفاده از این اطلاعات در مراحل بعدی و با تجزیه و تحلیل آنها میتوان نتایج مفیدی را از آن شئ استخراج کرد. به عبارتی دیگر سنجشازدور علم به دست آوردن اطلاعات، پردازش و تفسیر تصاویر و دادههای مرتبط و ثبت تعامل بین ماده و انرژی الکترومغناطیس میباشد [390].

۲-۳ طيف الكترومغناطيس

اطلاعاتی که میتوانند از دادههای دورسنجی استخراج شوند به نوع انرژیای که سنجندهها شناسایی می کنند، بستگی دارد. شکل اصلی انرژی دریافت شده توسط سیستمهای دورسنجی، انرژی الکترومغناطیس میباشد. نور مرئی، اشعه X، اشعه گاما، امواج ماوراءبنفش، امواج رادیویی، امواج راداری و حرارتی همگی بخشهای مختلف طیف الکترومغناطیس را تشکیل میدهند. شکل (۳–۱) یک شمای کلی از نحوه دریافت دادههای رقومی در رابطه با عوارض زمینی از طریق سنجنده ماهوارهای را نشان داده است

[\] Remote Sensing



شكل ٣-١: شمايى از فرآيند سنجشازدور [Crosta, 2003].

۳-۳ سکوها در سنجشازدور

وسایل حاملی هستند که سنجندهها بر آن نصب میشوند و شامل سکوهای زمینی (سهپایه)، سکوهای هوایی (هواپیما) و سکوهای فضایی (ماهواره) میباشند. سکوهای فضایی معمولاً در ارتفاع ۲۰۰ کیلومتری زمین قرار گرفته و سنجندههای مختلف را برای جمعآوری اطلاعات منابع زمینی و هواشناسی در خود جای میدهند [علیزاده ربیعی، ۱۳۸۲].

۴-۳ سنجنده

هر وسیلهای که اشعه الکترومغناطیس منعکسشده از پدیدههای مختلف یا سایر انرژیهای ساطعشده را جمعآوری نموده و به شکل مناسب، برای کسب اطلاعات محیط اطراف ارائه دهد، سنجنده نامیده می شود [Levin, 1999]. سنجندهها در سنجشازدور وظیفه اخذ و ثبت دادهها را بر عهده دارند. به طور کلی سنجندهها بر اساس منبع انرژی به دو نوع فعال^۲ و غیرفعال^۳ تقسیم می شوند، سنجندههای فعال خود دارای مولد انرژی الکترومغناطیس هستند. این انرژی به طرف پدیده مورد نظر فرستاده می شود. اما سنجندههای غیرفعال انرژی منعکس شده از پدیدههای مختلف زمین را که اشعه الکترومغناطیس خور شید به آن ها تابیده است را جمع آوری می کنند [علیزاده ربیعی، ۱۳۸۲].

^{&#}x27; Sensors

^r Active sensors

[&]quot; Passive sensors

۳-۵ ماهوارهها

ماهوارههایی که تا به امروز توسط بشر مورد استفاده قرار گرفته است بسیار زیاد است و بحث درباره همه آنها در اینجا ممکن نیست. با توجه به اینکه لندست یکی از کاربردی ترین و موفق ترین ماهوارهها در مطالعات زمین شناسی بوده و همچنین سنجنده ASTER، از جمله سنجندههایی است که در مطالعات زمین شناسی مورد استفاده قرار گرفته است و در منطقه مورد مطالعه در این پروژه تصاویر اخذ شده این سنجنده در دسترس است، در اینجا به صورت مختصر به بررسی خصوصیات این دو سنجنده پرداخته می شود [علیزاده ربیعی، ۱۳۸۲].

ETM⁺ ماهواره لندست¹، سنجنده +ETM

ماهواره لندست از قدیمی ترین ماهواره های مشاهده شده در زمین است، که توسط سازمان هوانوردی و فضانوردی آمریکا^۲ (NASA) طراحی و در مدار زمین قرار گرفته است. استفاده جهانی اطلاعات سنجش از دور، توسط ماهواره لندست در سال ۱۹۷۲ آغاز شد. این ماهواره شامل سه نسل است: نسل اول لندست ۱، ۲ و ۳ هستند که در طی سالهای ۱۹۷۲ تا ۱۹۸۵ مورد استفاده قرار گرفتند. نسل دوم لندست ۴، ۵ و ۷ و نسل سوم آن لندست ۸ است. لندست ۷ در سال ۱۹۹۹ پر تاب شد و در مدار زمین قرار گرفت. مشخصات لندست ۷ در جدول (۳–۱) ارائه شده است [علوی پناه، ۱۳۸۲].

¹ Enhanced thematic mapping

^r National Aeronautics and Space Administration

شماره باند	دامنه طیفی (میکرومتر)	رنگ یا مشخصه	قدرت تفکیک (متر)
١	•/4۵-•/۵۲	آبى	٣٠
٢	•/&۲-•/۶•	سبز	٣٠
٣	•/۶۳-•/۶٩	قرمز	٣٠
۴	۰/۲۵-۰/۹۰	مادونقرمز نزديك	٣٠
۵	١/۵۵-١/٧۵	مادونقرمز ميانى	٣٠
۶	۱۰/۴-۱۲/۵	مادونقرمز حرارتى	۶.
٧	۲/۰۸-۲/۳۵	مادونقرمز ميانى	٣٠
٨	۰/۵۲-۰/۹	پانكروماتيک	١۵

جدول ۳-۱: خصوصیات باندهای سنجنده ETM ماهواره لندست ۷ [علوی پناه، ۱۳۸۲].

۲−۵−۳ ماهواره ترا، سنجنده آستر^۱ (ASTER)

ماهواره ترا در سال ۱۹۹۸ توسط ناسا و با همکاری کشور ژاپن به فضا پرتاب شد. این ماهواره مرکب از ۳ سنجنده در سیستمهای مرئی و مادونقرمز نزدیک^۲، مادونقرمز طول موج کوتاه^۳ و مادونقرمز حرارتی^۴ است. ۱۴ ASTER باند دارد؛ که دامنه طول موجی ۵۲/. تا ۱۱/۶۵ میکرومتر را با سه محدوده طیفی شامل مرئی و مادونقرمز نزدیک (باندهای ۱ تا ۳)، ۶ باند مادونقرمز طول موج کوتاه (باندهای ۴ تا ۹) و ۵ باند

طیفی مادون قرمز حرارتی (باندهای ۱۰ تا ۱۴) پوشش میدهد [علیزاده ربیعی، ۱۳۸۰].

در این مطالعه از یک برگ داده ASTER که از نوع Level_1T و با شماره AST_L1T_0030714200080516_20150410090900_93203.HDR:ID و مربوط به تاریخ ۲۰۰۳ است، استفاده شد. تصاویر نوع Level_1T شامل تصویرهای برداشت شده توسط سنسور کالیبره شده هستند که از نظر هندسی تصحیح شده و در جهت شمال جغرافیایی در تصاویر UTM چرخانده شده اند. در جدول

¹ Advanced spaceborne thermal emission and reflection radiometer

^r Visible near nnfrared

[&]quot; Short wave infrared

^{*} Thermal infrared

(۲-۳) خصوصیات باندهای سنجنده ASTER ارائه شده است.

.•1 1 A	دامنه طيفي		قدرت تفکیک
شمارة بالك	(ميكرومتر)	رتک یا مسخصه	(متر)
١	•/&۲-•/۶•	سبز	۱۵
٢	•/۶٣-•/۶٩	سرخ	۱۵
٣	•/Y۶-•/X۶	NIR	۱۵
۴	۱ <i>/۶</i> –۱/۷	SWIR	۳.
۵	۲/۱۴۵-۲/۱۸۵	SWIR	۳.
۶	۲/۲۲۵-۲/۲۴۵	SWIR	۳.
٧	۲/۲۳۵-۲/۲۸۵	SWIR	۳.
٨	۲/۲۹۵-۲/۳۶۵	SWIR	٣.
٩	۲/۳۶۰-۲/۴۰۳	SWIR	۳.
١.	۸/۱۳-۸/۴۸	TIR	٩٠
))	$\lambda/\xi\lambda-\lambda/\lambda T$	TIR	٩٠
١٢	٨/٩٠-٩/٢۵	TIR	٩٠
١٣	۱ • /۲۵- ۱ • /۹۵	TIR	٩٠
14	۱۰/۹۵-۱۱/۶۵	TIR	٩٠

جدول ۳-۲: خصوصیات باندهای سنجنده ASTER [علوی پناه، ۱۳۸۲].

۶–۳ آمادهسازی و پیش پردازش دادههای ماهوارهای

۳-۶-۱ موزائیک کردن دادهها

چسباندن دو تصویر ماهوارهای کنار یکدیگر را موزائیک کردن می گویند و زمانی مورد استفاده قرار می گیرد که محدوده مورد مطالعه بین دو تصویر ماهوارهای قرار بگیرد. در این تحقیق از آن جایی که محدوده مورد مطالعه در یک صفحه اطلاعاتی قرار دارد، نیازی به موزائیک کردن دادهها نبوده است.

۳-۶-۲ برش تصویر

پس از موزائیک کردن تصاویر ماهوارهای، بهمنظور پردازش بهتر و دقیق تر و حذف محدودههای اضافی،

تصویر موزائیک شده با استفاده از نرمافزار ^۱ ENVI به اندازه محدوده دلخواه برش داده می شود.

۳-۶-۳ تصحیح هندسی^۲

در هنگام تصویربرداری عوامل متعددی باعث ایجاد خطای هندسی در تصاویر ماهوارهای میشوند؛ که بهطور مختصر عبارتاند از : کروی بودن زمین، انحنای زمین، عدم ثبات ماهواره حین تصویربرداری، خطاهای پانورامیک و ناهمواریها. تصحیح هندسی با هدف انطباق کامل سیستم مختصات تصویر با سیستم مختصات زمینی انجام می گیرد [Sabins, 1999]. در این مطالعه از دادههای ASTER سطح 1T برداشت شده در سال ۲۰۰۳ که تصحیحات هندسی در زون UTM38 با مبنای ارتفاعی WGS-84 بر روی آن صورت گرفته بود، استفاده شد.

۳-۶-۴ تصحیح رادیومتریک^۳

محدودههای مختلف امواج الکترومغناطیس در هنگام گذر از جو زمین رفتارهای گوناگونی دارند، بنابراین میزان بازتاب برگشتی پدیدهها در برخی از طول موجها بیانگر بازتاب حقیقی آنها نیست [Sabins, 1999]. در واقع، ارزش عددی هر پیکسل در دادههای ماهوارهای، میزان بازتابندگی واقعی آن پدیده در سطح زمین نبوده و از عواملی مانند جذب و پراکنش جوی، زاویه تابش خورشید، حساسیت سنجنده و سایه تأثیر پذیرفته است. به همان میزانی که تصاویر ماهوارهای به قدرت تفکیک طیفی بالاتر ارتقا مییابند، بیشتر تحت تأثیر اثرات اتمسفر قرار میگیرند و تصحیح اتمسفریک تصاویر امری ضروری است. این امر در مورد تصاویر ASTER که قدرت تفکیک طیفی نسبتاً بالاتری در مقایسه با تصاویر ⁺ارند نیز مصداق دارد. از آنجایی که امکان حذف کامل خطای رادیومتریک و ایجاد یک تصویر بازتابی^۶ دقیق مستلزم در اختیار

¹ Environment for visualizing images

^r Geometric correction

^r Radiometric correction

^{*} Reflectance image

داشتن پارامترهای محیطی و جوی زیادی است و این اطلاعات در مورد تصویر ASTER مورد استفاده در اختیار نبود؛ لذا بهمنظور بارزسازی عوارض طیفی از روش بازتابش متوسط نسبی داخلی^۱ (IARR) برای نرمالیزه کردن تصاویر، با استفاده از یک طیف میانگین برگه استفاده گردید. در این روش طیف میانگین برای صحنه ورودی محاسبه شده و این طیف بهعنوان طیف مرجع استفاده می گردد. سپس این طیف بر هر پیکسل تقسیم می شود و درنهایت طیف ظاهری پیکسل به دست می آید [نجفیان و همکاران، ۱۳۹۰]. همان طور که در شکل (۳–۲) مشاهده می شود، بعد از تصحیح رادیومتریک با این روش، شیب نمودار منحنی طیفی بیشتر شده و جذب و بازتاب های طیفی عمیق تر شده اند.



شکل۳-۲: اعمال تصحیح رادیومتریک بر روی تصویر ASTER ؛ سمت چپ قبل و سمت راست بعد از تصحیح. ۲-۳ پردازش تصاویر و اطلاعات ماهوارهای

با استفاده از پردازش اطلاعات ماهوارهای، میتوان دادهها و اطلاعات مختلف را شناسایی کرد. پردازش دادههای ماهوارهای به دو صورت پردازش بصری و رقومی صورت می گیرد. در پردازش بصری با توجه به ویژگیهای تصویر میتوان عوارض مختلف را استخراج کرد درحالیکه در پردازش رقومی الگوی مورد نیاز بهعنوان یک الگوی نمونه در نرمافزار مورد استفاده قرار می گیرد و بهطور خودکار این الگو در همه بخش های تصویر شناسایی می گردد. با تلفیق این دو روش، عوارض مورد نظر با دقت بیشتری از تصاویر ماهواره

¹ Internal average relative reflectance

ای قابل تشخیص هستند. روش های رقومی شامل: نسبت گیری باندها، آنالیز مؤلفه های اصلی، آنالیز طیفی^۱ و طبقه بندی تصویر^۲ می باشد؛ که بر اساس نوع اطلاعات مورد در خواست جهت استخراج داده ها از تصویر، یکی از روش های فوق انتخاب می شود [علوی پناه، ۱۳۸۲].

۳–۷–۱ پردازش بصری تصاویر ماهوارهای

روشهای سنجشازدور سالها در نقشهبرداری مناطق دگرسانی و شناسایی کانیها به کار رفتهاند و امروزه نیز روشهای متداول پردازش تصویر، در بارزسازی مناطق دگرسان شده قابل استفاده هستند. ایجاد تصاویر ترکیب رنگی با استفاده از باندهای مختلف و تفسیر بصری این تصاویر از روشهای متداول و معروف در شناسایی زونهای دگرسانی و کانیهای مرتبط با آنها میباشد [علوی پناه، ۱۳۸۲]. روش کار و مراحل تهیه نقشه دگرسانی منطقه مطالعاتی این طرح به صورت زیر میباشد:

الف) تهیه و تفسیر بصری ترکیبات رنگی مختلف تصاویر بهمنظور شناسایی و تشخیص مناطق هدف. ب) پردازش رقومی^۳ تصاویر.

ج) بازدید زمینی مناطق هدف شناسایی شده.

الف) تهیه تصاویر ترکیب رنگی

معمولاً سنجندههای مورد استفاده در سنجش ازدور در بخشهای مختلف طیف الکترومغناطیس به جمع-آوری اطلاعات می پردازند و این بخشها غالباً به قسمت مرئی طیف محدود نمی شوند. این مسئله به این علت است که قسمت عمده ای از اطلاعات مفید مربوط به اشیاء و پدیده های سطح زمین در بخش های غیر مرئی طیف نظیر مادون قرمز قرار دارند. از ترکیب ۳ باند مختلف و اختصاص هر رنگ از سه رنگ اصلی قرمز،

^{&#}x27; Spectral analysis

^r Image classification

[&]quot; Digital processing

سبز و آبی (RGB) به هر باند، تصویر ترکیب رنگی ساخته میشود. هر شئ در طبیعت در طول موجهای مختلف مقادیر بازتاب منحصر به فردی دارد. رنگهایی که چشم انسان میتواند ببیند، ترکیبی از بازتاب در بخشهای قرمز، سبز و آبی محدوده طول موج مرئی میباشد. ایده پشت این روش ترکیب اطلاعات چند طیفی با محدوده طول موجهای مرئی میباشد ایده پشت این روش ترکیب اطلاعات چند طیفی با محدوده طول موجهای مرئی میباشد تا برای پشم انسان قابل دید شوند [علوی پناه، ۱۳۸۲]. از نظر تکنیکی متداول ترین نوع نمایش رنگ در سیستمهای کامپیوتری، نمایش افزایشی میباشد. بدین معنی عنور سفید می واند از افزودن رنگهای افزایشی قرمز، سبز و آبی تهیه شود. ترکیب رنگیای که در آن که نور سفید میتواند از افزودن رنگهای افزایشی قرمز، سبز و آبی تهیه شود. ترکیب رنگیای که در آن عوارض را بسیار شبیه به آن چیزی که توسط چشم انسان در طبیعت دیده میشود به نمایش درآورد، ترکیب رنگی حقیقی^۱ گویند، مانند ترکیب رنگی 18.3 RCB, باندهای لندست ۷. انواع دیگر ترکیبات ترکیب رنگی کاذب رنگیای که در آن اباندی که بهصورت BCB نمایش داده میشوند ترکیب رنگی کاذب ^۲ نامیده میشوند [1997]. از ترکیب رنگی کاذب ^۲ نامیده میشوند [علوی پناه، ۲۰۵۲]. از باندی که بهصورت ACB نمایش رنگ در سیستمهای کامپیوتری، نمایش افزایشی میباشد. بدین معنی معاورض را بسیار شبیه به آن چیزی که توسط چشم انسان در طبیعت دیده میشود به نمایش درآورد، ترکیب رنگی کاذب^۲ باندهای لندست ۷. انواع دیگر ترکیبات ترکیب رنگی کاذب⁷ نامیده میشوند [1997].



شکل ۳-۳: تصویر ترکیب رنگی کاذب استاندارد (۳۲۱) باندهای VNIR سنجنده ASTER .

هدف از انتخاب باندهای مناسب برای ساخت تصاویر رنگی، به حداقل رساندن دادههای کم ارزش و

[\] True color composite

^r False color composite

استفاده حداکثر از اطلاعات مفید است. انتخاب ترکیب باندی به روشهای مختلف صورت میگیرد. یک روش، مقایسه چشمی تصاویر حاصل از ترکیبهای مختلف است؛ که بهطور معمول بسیار مشکل و وقت گیر است. راه دیگر مبتنی بر معیارهای آماری تصویر مورد استفاده در ساخت تصاویر رنگی است. روش شاخص فاکتور بهینه (OIF) از جمله این روشها میباشد [Chavez, 1982]. مقدار OIF بر اساس واریانس و همبستگی بین باندهای مختلف از طریق معادله (۳–۱) به دست میآید.

$$\text{OIF} = \sum_{k=1}^{3} S_k / \sum_{J=1}^{3} r_J \tag{1-7}$$

که در آن *S_k* انحراف معیار باند k و *r_J خر*یب همبستگی دو باند از ترکیب سه باند است. هر چه شاخص فاکتور بهینه بالاتر باشد، باندهای سه گانه ترکیب رنگی کاذب، برای تفکیک مناسب تر هستند. ترکیب باندی که دارای واریانس بالا و ضریب همبستگی کم بین باندها باشد؛ دارای مقدار (OIF) بیشتری خواهد بود؛ در مجموع بزرگترین OIF دارای اطلاعات تصویری زیادی، با کم ترین میزان تکرار می باشد.

در این مطالعه از باندهای طیفی بخش مادون قرمز کوتاه برای محاسبه OIF استفاده شد. با قرار دادن این ۶ باند در معادله (۳–۱)، ۲۰ ترکیب باندی به دست آمد؛ که مقادیر OIF مربوط به این ۲۰ ترکیب در جدول (۳–۳) آمده است. با توجه به این جدول از ترکیب باندی ۴۷۸ که دارای بالاترین مقدار OIF با مقدار ۲۱۷۸ می باشد، می توان جهت ساخت ترکیب رنگی کاذب استفاده کرد (شکل ۳–۴). در تصویر به دست آمده دگرسانی های رسی به رنگ صورتی و دگرسانی های پروپلیتیک به رنگ قهوه ای روشن به نمایش در آمده است. اما تحلیل های تجربی نشان داده است که تصویری با ترکیب باندی ۴۶۸ مناسب ترین ترکیب رنگی جهت شناسایی مناطق دگرسانی در اغلب کانسارها به ویژه طلای اپی ترمال و مس پورفیری می باشد. در این ترکیب باندی کانی های مربوط به زون پروپلیتیک به رنگ و کانی های رسی به رنگ صورتی مشاهده

¹ Optimum index factor

می شوند. این مسئله به دلیل بازتابندگی بالای کانی های آلونیت، کائولینیت و مسکوویت در باند ۴ نسبت به باند ۶ و ۸ است (شکل ۳–۵).

Number	Bands	$\sum Sk$	$\sum \mathbf{rJ} $	$OIF = \sum Sk / \sum rJ $
1	456	0.444	2.831	0.157
2	457	0.456	2.79	0.163
3	458	0.472	2.723	0.173
4	459	0.435	2.711	0.160
5	467	0.464	2.779	0.167
6	468	0.48	2.712	0.177
7	469	0.443	2.705	0.164
8	478	0.491	2.755	0.178
9	479	0.455	2.718	0.167
10	489	0.471	2.686	0.175
11	567	0.448	2.892	0.155
12	568	0.463	2.838	0.163
13	569	0.427	2.849	0.150
14	578	0.475	2.847	0.167
15	579	0.439	2.855	0.154
16	589	0.454	2.836	0.160
17	678	0.483	2.856	0.169
18	679	0.447	2.842	0.157
19	689	0.462	2.823	0.164
20	789	0.474	2.913	0.163

جدول ۳-۳: مقادیر OIF محاسبه شده برای ۲۰ ترکیب باندی.

ازجمله ترکیبات رنگی مطلوب دیگری که در زمینه شناسایی مناطق دگرسانی با استفاده از دادههای سنجنده از جمله ترکیبات رنگی ASTER کاربرد دارند؛ می توان ترکیب رنگی ۴٬۵٬۶ که در آن دگرسانی آرژیلیک به رنگ قرمز، دگرسانی آرژیلیک پیشرفته به رنگ صورتی و دگرسانی سریسیتی به رنگ نارنجی دیده می شود و ترکیب رنگی آرژیلیک یشرفته به رنگ صورتی دیده می شوند، را نام ۱۴٬۱۲٬۱۰ که در آن سیلیس به رنگ صورتی دیده می شوند، را نام برد (شکل ۳-۶ و ۳-۷).



شکل ۳-۴: تصویر حاصل از ترکیب باندی RGB:4,7,8 محدوده مورد مطالعه.



ASTER Photomap Of Zarshuran 692000 694000

شکل ۳-۵: تصویر حاصل از ترکیب باندی RGB:4,6,8 محدوده مورد مطالعه.



شکل ۳-۶: تصویر حاصل از ترکیب باندی RGB:4,5,6 محدوده مورد مطالعه.



ASTER Photomap Of Zarshuran 692000 694000

شكل ۳-۲: تصوير حاصل از تركيب باندى RGB:14,12,10 محدوده مورد مطالعه.

۸-۳ پردازش رقومی اطلاعات ماهوارهای

۳-۸-۱ نسبتگیری باندی

نسبت گیری باندی یک روش پردازش تصاویر چند طیفی است؛ که شامل تقسیم پیکسلهای یک تصویر یا یک باند طیفی به پیکسلهای متناظر آن در تصویر یا باند دیگر می باشد. نسبت گیری یکی از متداول ترین نوع تبدیل است که بر روی تصاویر سنجش ازدور اعمال می شود. این روش اثرات توپو گرافی و سایه ها را از بین برده، اختلاف بین درجات روشنایی را آشکارتر کرده و مرزها را مشخص تر می سازد. بنابراین، از این روش می توان برای جدا کردن مرز واحدهای سنگی استفاده کرد [Abrams, 1983]. اساس روش نسبت-گیری باندی بر تقسیم باند انعکاسی بر باند جذبی استوار است. به دلیل قرار گرفتن مقدار کم تر در مخرج کسر، حاصل تقسیم بزرگ تر شده و سبب یک بزرگنمایی در خصوصیات کانی هدف خواهد شد.

در جدول (۳–۴) تعدادی از نسبتهای باندی رایج ASTER آمده است و در شکلهای (۳–۸)، (۳–۹) و (۳–۱۰) که در ادامه آمده است، بعضی از این نسبتهای باندی و ترکیبات رنگی حاصل از آنها نمایش داده شده است. شکل (۳–۸) تصویر ترکیب رنگی حاصل از نسبتهای باندی ۷/(۸+۶)، ۶/(۷+۵) و ۵/(۶+۴) را نشان میدهد که در آن دگرسانی آرژیلیک به رنگ زرد و نارنجی، دگرسانی فیلیک به رنگ سبز و کانی دولومیت به رنگ آبی تیره مشاهده میشود. شکل (۳–۹) تصویر ترکیب رنگی حاصل از نسبت باندی ۲/۱، ۹/۵ و [(۲/۱)+(۳/۵)] را نشان میدهد که در آن آهن فرو (+Fe²) به رنگ زرد و آهن فریک (+Fe³) به رنگ آبی روشن مشاهده میشود. همچنین شکل (۳–۱۰) تصویر حاصل از نسبت باندی ۲/۱۴ را نشان میدهد

^{&#}x27; Band raito

مرجع	توضيحات	نسبت باندی	کانی
Hewson et al., 2001		۲/۱	آهن فريک (Fe ³⁺)
Hewson et al., 2001		۵/۳+۱/۲	آهن فرو (+Fe ²)
Hewson et al., 2001	دگرسانی اکسید آهن همراه با	۵/۴	فروسيليكاتها (بيوتيت، آمفيبول،
	کانیزایی طلا – مس		كلريت)
Rowan and Mars, 2003		(Y + 9)/ A	كربنات، كلريت، اپيدوت
Rowan and Mars, 2003		(۶+۸)/V	دولوميت
Rowan et al, 2006	دگرسانی آرژیلیک پیشرفته	۵/۶	فنژيت
Rowan et al, 2006; USGS	دگرسانی آرژیلیک پیشرفته	٧/۶	مسكوويت
Hewson et al., 2001	دگرسانی آرژیلیک پیشرفته	٧/۵	كائولينيت
Rowan et al, 2006; USGS	دگرسانی فیلیک	(∆+ V)/۶	سريسيت، مسكوويت، ايليت،
Rowan et al, 2006; USGS		(4+8)/2	آلونيت، كائولينيت، پيروفيليت
Rowan et al, 2006		14/17	سیلیکات (سنگهای غنی از کوارتز)

جدول ۳-۴: نسبتهای باندی رایج در پردازش تصاویر ASTER.



شکل ۳-۸: تصویر ترکیب رنگی حاصل از نسبتهای باندی 7/(6, (6+8), 6/(5+7), 5/(4+6).



شکل ۳-۹: تصویر ترکیب رنگی حاصل از نسبتهای باندی 5/4, 1/2], 5/4, ا((5/3)+(1/2))



شکل ۳-۱۰: تصویر نسبت باندی ۱۴/۱۲ (پیکسلهای روشن سنگهای غنی از سیلیس را نشان میدهند).

۲-۸-۳ تحلیل مؤلفههای اصلی^۱ (PCA)

تجزیه و تحلیل مؤلفههای اصلی که آنالیز مؤلفههای اصلی نیز خوانده می شود؛ بهویژه در تجزیه و تحلیل-هایی که معمولاً امکان استفاده از چند باند وجود ندارد و تنها یک باند مورد استفاده قرار می گیرد؛ کاربرد فراوانی می تواند داشته باشد. آنالیز مؤلفههای اصلی، در اصل جهت فشرده سازی داده ها به کار می رود؛ ولی در سنجش ازدور جهت حذف اطلاعات تکراری یا اضافی طیفی^۲ و متمرکز کردن اطلاعات چند باند که کم و بیش دارای همبستگی هستند در یک باند با واریانس بالا به کار می رود. تبدیل مؤلفههای اصلی یک تبدیل خطی است که در آن محورهای مختصات فضایی چند باندی به گونهای می چرخند؛ که اولین محور در راستای حداکثر واریانس ارزش های باندها و دومین محور عمود بر محور اول و در راستای واریانس باقی مانده قرار می گیرد. به این تر تیب از تعداد m باند شرکت کننده در این تبدیل، n باند جدید ایجاد می شود که فاقد همبستگی بالا با یکدیگر هستند و دو باند اول PC دارای حداکثر اطلاعات می باشند. به طوری که دیگر نیاز چندانی به استفاده از سایر باندهای PC در تجزیه و تحلیل ها نمی باشد. زیرا در PC پایین تر نویز نیز افزایش یافته و تصویر حالت از هم پاشیدگی پیدا می کند. شکل (۳–۱۱) چگونگی اعمال روش تجزیه و تحلیل یافته و تصویر حالت از هم پاشیدگی پیدا می کند. شکل (۳–۱۱) چگونگی اعمال روش تجزیه و تحلیل



شکل ۲۰۱۳: نمایش نموداری رابطه بین دو مؤلفه اصلی اول: A) پراکنش نقاط حاصل از ۲ باند به نامهای X₁ و X₂ با میانگین پراکنش U₁ و U₁ سیستم مختصات جدید، C) چرخش محور مختصات [علوی پناه، ۱۳۸۲].

¹ Principal component analysis (PCA)

^r Spectral redundancy

روش تجزیه و تحلیل مؤلفههای اصلی به دو دسته تقسیم می شود: الف) روش مؤلفههای استاندارد (PCA استاندارد)؛ که در این روش از تمامی باندهای اطلاعاتی استفاده می شود و ب) روش مؤلفههای اصلی جهت یافته انتخابی^۱ (FPCS)؛ در این روش از باندهای مناسب و شناخته شده که دارای اطلاعات مناسب هستند، استفاده می شود. [Prosta and Moore, 1989].

در جداول (۳–۵)، (۳–۶) و (۳–۷) مقادیر ویژه محاسبه شده برای تحلیل مؤلفه های اصلی باندهای مختلف ASTER آمده است. به عنوان نمونه برای مشخص کردن کانی کائولینیت که شاخصه اصلی دگرسانی آرژیلیک به حساب می آید؛ از باندهای ۱، ۴، ۶ و ۷ که نتایج مقادیر ویژه مؤلفه های اصلی باندهای ۱، ۴، ۶ و ۷ در جدول (۳–۵) آمده است، برای مشخص کردن اپیدوت و کلریت که شاخصه دگرسانی پروپلیتیک به حساب می آیند از باندهای ۳، ۵، ۸ و ۹ که نتایج مقادیر ویژه مؤلفه های اصلی باندهای ۳، ۸، ۸ و جدول (۳–۶) آمده است، برای مشخص کردن کانی آلونیت از باندهای ۶، ۷ و ۸ که نتایج مقادیر ویژه مؤلفه های اصلی باندهای ۳، ۵، ۸ و ۹ که نتایج مقادیر ویژه مؤلفه های اصلی باندهای ۳، ۵، ۸ و ۹ در مؤلفه های اصلی باندهای ۳، ۵، ۸ و ۹ که نتایج مقادیر ویژه مؤلفه های اصلی باندهای ۳، ۵، ۸ و ۹ در مؤلفه های اصلی باندهای ۳، ۵، ۸ و ۹ در جدول (۳–۷) آمده؛ استفاده شد. لازم به ذکر است که انتخاب باندهای مناسب برای تحلیل مؤلفه های اصلی بر اساس نمودار بازتاب طیفی آن کانی صورت گرفته و انتخاب باندهای مناسب برای بارزسازی کانی مورد نظر نیز بر اساس مقادیر ویژه محاسبه شده برای باندهای انتخابی می باشد. RGB:PC4-t1, -PC3-t1, انتخابی اصلی از تجزیه مؤلفه های اصلی انتخابی (۲–۲) ندهای اسلی انتخابی می باشد. اصویر ترکیب رنگی مجازی (RGB) حاصل از تجزیه مؤلفه های اصلی انتخابی (۲–۱۷) در ۲۰۱۲ ای در ۲۰ است که انتخاب می باشد. وی ویلیتیک به رنگ سبز دیده می شود.

¹ Feature-orientated principle component selection

Eigenvector	Band1	Band4	Band6	Band7
PC1	-0.995	0.095	-0.002	0.024
PC2	0.096	0.995	0.004	0.033
PC3	-0.002	-0.005	0.999	0.041
PC4	0.021	-0.035	-0.041	0.998

جدول ۳-۵: مقادیر ویژه محاسبه شده برای باندهای انتخابی ۱،۴،۶،۷ (کائولینیت).

جدول ۳-۶: مقادیر ویژه محاسبه شده برای باندهای انتخابی ۹، ۸، ۵، ۳ (اپیدوت-کلریت).

Eigenvector	Band3	Band5	Band8	Band9
PC1	0.994	0.016	-0.057	0.090
PC2	0.012	-0.999	-0.020	0.036
PC3	0.071	-0.024	0.986	-0.149
PC4	0.081	-0.032	-0.155	-0.984

جدول ۳-۷: مقادیر ویژه محاسبه شده برای باندهای انتخابی ۸، ۷، ۶ (آلونیت).

Eigenvector	Band6	Band7	Band8
PC1	0.997	-0.067	-0.026
PC2	-0.069	-0.996	-0.058
PC3	0.022	-0.06	0.998



شکل ۳-۱۲: تصویر ترکیب رنگی حاصل از آنالیز مؤلفه های اصلی جهت یافته انتخابی.

۹-۳ آنالیز طیفی^۱ تصاویر ماهوارهای

آنالیز طیفی تصاویر ASTER میتواند ابزار بسیار مفیدی در شناسایی انواع مختلف دگرسانی نظیر آرژیلیک، آرژیلیک پیشرفته، سریسیتیک، پروپلیتیک، سیلیسی شدن و اکسیدهای آهن باشد. در عمل، توانایی این ابزار به فاکتورهای زیادی وابسته است که تعدادی از این عوامل عبارتاند از:

- وجود پوشش گیاهی: پوشش گیاهی شدیداً بر خصوصیات طیفی مناطق دگرسانی تأثیر گذار می-باشد.
- اثر یا مقدار پوشش سطحی سیستم: سیستمهای کوچک نظیر رگههای مزوترمال و سیستمهای سولفیدی خفیف غالباً کوچکتر از قدرت تفکیک مکانی تصاویر ASTER میباشند.
- سنگ میزبان: آنالیز طیفی در سیستمهای ولکانیکی ابزار بسیار مفیدی بوده به طوری که در این سنگها مناطق دگرسان نسبت به سنگهای احاطه کننده مغایرت داشته و قابل تشخیص میباشند.
 در این سیستمها حتی مناطق هدف بسیار جزئی نیز قابل شناسایی هستند [علوی پناه، ۱۳۸۲].

[\] Spectral analysis

 $^{^{}r}$ Mapping method / Classification method

[&]quot; Unmixing

^{*} Spectral library

کتابخانه طیفی قابل دسترس میباشند. در کتابخانه طیفی ENVI نمودار طیف کانیها برای ۴۲۰ محدوده طیفی در بازه بین ۴/۰–۲/۵ میکرومتر تهیه شده است، بنابراین برای استفاده از کتابخانه طیفی ENVI جهت انجام آنالیز طیفی بایستی نمودار طیفی مجموعه کانیهای مورد نظر را به باندهای ASTER، بازنویسی^۱ نمود. لازم بهذکر است که تنها باندهای VNIR و SWIR سنجنده ASTER در محدوده ۴/۰-۲/۵ میکرومتر قرار دارند و باندهای TIR خارج از این محدوده میباشند. از آنجایی که یکی از اهداف مهم انجام این پروژه شناسایی و استخراج دگرسانیهای مرتبط با کانیزایی طلای اپیترمال در منطقه زرشوران میباشد، کانیهای مرتبط با این تیپ کانیزایی تعیین و کتابخانه طیفی بازنویسی شده آنها برای باندهای ASTER تهیه شد. سپس آنالیز طیفی آنها بر اساس روشهای طبقهبندی صورت گرفت که در ادامه روشهای به کار رفته و نتایج هر یک از آنها آمده است.

LS-Fit) روش کمترین مربعات^۲ (LS-Fit)

روش کمترین مربعات با استفاده از روش کمترین مربعات به تخمین یک باند بر اساس ترکیب خطی باندهای دیگر میپردازد. در این روش فرض بر این است که باندهای به کار گرفته شده بهعنوان مقادیر ورودی میتوانند رفتار سایر باندها را بهصورت یک عبارت خطی بیان کنند. این مقدار در واقع باند پیش گوئی شونده (باند مدل) نامیده شده و بهعنوان خروجی مدل در نظر گرفته میشود [شبانکاره، ۱۳۸۶].

کانیهایی که نسبت به یک باند خاص حساس هستند و اختلاف جذب و تشعشع خوبی در یک باند خاص نشان میدهند، با اختلاف مشاهدهای بین باند تخمین زدهشده و باند اصلی، قابل تفکیک هستند (تفاوت میان باند تخمینی و باند واقعی، باند باقیمانده را تشکیل میدهد). در این روش اگر در یک برازش خطی، فرکانس بالا (جذب) و فرکانسهای پایین باندها را داشته باشیم؛ اگر یک چندجملهای به آن برازش

^{&#}x27; Resample

^r Least squares fit

کنیم و نتیجه حاصل را از کل کم کنیم، در این صورت فقط فرکانسهای بالا میمانند و تصویری تولید می شود که فقط جذب دارد. خروجی این الگوریتم دو تصویر سیاه و سفید ٔ باقیمانده و پیشبینی شده میباشد. تصویر پیشبینی ٔ شده چون بر اساس پیشبینی سایر باندها بوده، بنابراین بیشترین شباهت را با سایر باندها دارد؛ اما در مقابل، تصویر باقیمانده^۳ چون خطای پیشبینی میباشد، نشاندهنده اختلاف باند مذکور با سایر باندها است. از این تصویر می توان برای بارزسازی و استخراج عوارض مشخص استفاده کرد. در این تصویر مناطق دارای خطای کمتر (پیکسلهای تیره)، مناطق هدف هستند. امتیاز این روش نسبت به سایر روشهای رقومی مانند نسبت باندی، تحلیل مؤلفههای اصلی و ... کاهش نویزها در تصویر است [شبانکاره، ۱۳۸۶]. با استفاده از روش LS-Fit، باند ۶ که دارای شاخص جذب بالایی در کانی های دارای بنیان هیدروکسیل است، بهعنوان باند مدل و بقیه باندها بهعنوان باندهای پیشبینیکننده انتخاب شدند. در تصویر حاصل، پیکسلهای باقیمانده تیره، نشانگر وجود کانیهای رسی هستند (شکل ۳–۱۳). همچنین باند ۸ که دارای شاخص جذب بالایی در کانیهای مربوط به زون دگرسانی پرویلیتیک بوده، بهعنوان باند مدل و بقیه باندها بهعنوان پیشبینی کننده تعریف شدند. در تصویر باقیمانده، پیکسلهای تیره نمایانگر دگرسانی پروپلیتیک هستند (شکل ۳–۱۴). باند ۲ بهعنوان باندی که شاخص انعکاس بالایی در کانیهای اکسید آهن است، باند مدل و سایر باندها بهعنوان باندهای پیشبینی کننده انتخاب شدند (شکل ۳-۱۵). در شکل (۳-۱۶) نیز تصویر حاصل از برازش کمترین مربعات باندهای ۶، ۸ و ۲ حاصل از تصویر ASTER در محیط RGB قرار گرفتند، که در آن محدودههای دگرسانی هیدروکسیل با رنگ زرد و نارنجی دیده می شود.

^{&#}x27; Grayscale

^r Predection

[&]quot; Residual



شکل ۳-۱۳: تصویر حاصل از روش برازش کمترین مربعات باند ۶ (پیکسلهای تیره نشانگر وجود کانیهای رسی هستند).



شکل ۳-۱۴: تصویر حاصل از روش برازش کمترین مربعات باند ۸ (پیکسل های تیره دگرسانی پروپلیتیک را نشان میدهند).



شکل ۳-۱۵: تصویر حاصل از روش برازش کمترین مربعات باند ۲ (پیکسلهای روشن دگرسانی اکسید آهن را نشان می-

دهند).



شکل ۳-۱۶: تصویر حاصل از ترکیب رنگی باقیمانده به روش کمترین مربعات باندهای۶، ۸ و ۲ به ترتیب در فیلترهای قرمز، سبز و آبی (دگرسانی هیدروکسیل با رنگ زرد و نارنجی دیده میشود).

۳-۹-۳ نقشهبرداری زاویه طیفی⁽ (SAM)

روش نقشهبردار زاویه طیفی اولین بار در سال ۱۹۹۳ توسط کروز و همکاران به کار برده شد. این روش بر اساس مشابهت بین طیف کانی مرجع و طیف کانی مورد آزمایش برای کانیهای کائولینیت و مسکوویت انجام گرفت. شباهت بین طیف مرجع و طیف پیکسل، بهوسیله محاسبه زاویه بین طیفها ارزیابی می شود. طیفها به شکل بردارهایی در یک فضای چندبعدی (که ابعاد فضا بستگی به تعداد باندها دارد) در نظر گرفته می شوند. زاویه بین طیف بازتابی مرجع و طیف بازتابیده از سطح پیکسل ها به عنوان معیار مشابهت ارائه می شود. این روش نسبت به اثرات سپیدایی و روشنایی متفاوت خواهد بود و تحت تأثیر عوامل روشنایی خورشید نیست. زیرا زاویه بین دو بردار، مستقل از طول آنهاست. در تصویر حاصل از روش نقشهبردار زاویه طیفی، هر پیکسل نمایش دهنده میزان اختلاف بازتاب در طیفهای تفکیکی الگوی طیفی بازتابیده از سطح با الگوی طیفی مرجع است. این اختلاف الگوی طیفی به صورت زاویه ای و در مقیاس رادیان، در بازه بین • تا $\frac{\pi}{2}$ نمایش داده می شود [Kruse et al, 1993; Van der Meer et al, 2003]. خروجی روش نقشهبردار زاویه طیفی، تخمینی کیفی از مشابهت طیف مورد نظر با هر طیف مرجع ارائه میدهد. در خروجی حاصل از روش نقشهبردار زاویه طیفی، پیکسل روشن تر معادل زاویه بزرگ تر و نشان از اختلاف بیشتر طیف مورد مطالعه با طيف مرجع و پيكسل تاريكتر معادل زاويه كوچكتر و نماد مشابهت بيشتر طيفها مي باشد. شکل (۳–۱۷) دگرسانی آرژیلیک شناساییشده با استفاده از روش SAM را نشان میدهد. همچنین شکل (۳–۱۸) نقشه مواد معدنی استخراجشده از تصویر ASTER با استفاده از روش SAM را نشان میدهد.

^{&#}x27; Spectral angle mapper



شکل ۳-۱۷: پیکسلهای تیره دگرسانی آرژیلیک شناساییشده با استفاده از روش SAM را نشان میدهند.



شکل ۳-۱۸: نقشه مواد معدنی استخراجشده از تصویر ASTER با استفاده از روش SAM.

۳-۹-۳ روش طبقهبندی بیشترین شباهت' (MLC)

برای تفکیک و نقشهبرداری واحدهای سنگشناختی با استفاده از دادههای چند طیفی مانند ASTER می توان از روشهای کلاسیک طبقهبندی مانند بیشترین شباهت استفاده کرد. نتایج تحقیقات و مطالعات نشان می دهد که روشهای ردهبندی طیف پایه مانند SAM در مقایسه با روشهای کلاسیک دقت بیشتری در نقشهبرداری واحدهای زمین شناختی دارند؛ ولی با توجه به اینکه در این تحقیق امکان تهیه طیف نمونه-های صحرایی با دستگاههای تجزیه طیفی نبود، به ناچار از روش کلاسیک بیشترین شباهت برای تفکیک واحدهای زمین شناختی در منطقه زرشوران استفاده شد.

یکی از روشهای آماری معروف، انعطافپذیر و قابل مدیریت طبقهبندی تصاویر ماهوارهایی، طبقهبندی بیشترین شباهت است که جزء روشهای بر اساس پیکسل قرار می گیرد. این روش یکی از رایجترین روش-های طبقهبندی میباشد. در این روش اصول کار بر اساس محاسبه مقدار احتمال انتساب یک پیکسل به یک کلاس خاص است و کلاسی که بیشترین احتمال را دارا است به پیکسل تعلق می گیرد. در این روش از تئوری احتمالات بیزین^۲ برای محاسبه احتمال تعلق هر پیکسل به کلاسهای گوناگون استفاده می شود. در این حالت برای توزیع دادهها از فرض توزیع نرمال چندبعدی استفاده می گردد، بدین معنی که هیستو گرام دادهها دارای توزیع نرمال میباشد. فرمول کلی محاسبه احتمال هر پیکسل را می توان این گونه بیان کرد:

$$P(W_i|X) = \frac{P(X|W_i)P(W_i)}{P(X)}$$
 (۲-۳)
که در اینجا W_i کلاس طیفی i ام، X بردار مقادیر طیفی پیکسل مورد نظر، $P(W_i|X)$ احتمال ثانویه،
 $P(X|W_i)$ احتمال یافتن پیکسل از کلاس W_i در موقعیت X در فضای چند طیفی، $P(W_i)$ احتمال اولیه

¹ Maximum likelihood classification

^r Bayesian probability theory

[&]quot; Priori probability
و (P(X) احتمال یافتن یک پیکسل کلاس طیفی i در موقعیت X میباشد. مراحل انجام این طبقهبندی به صورت زیر میباشد [Lillesand and Kiefer, 1994]:

$$P(X|W_i) = 2\pi^{\frac{-N}{2}} \left| \sum_{i} i \right|^{\frac{-1}{2}} \exp\{\frac{-1}{2} (x - m_i)^t\}$$
(۳-۳)
که در آن N تعداد باندها، m_i بردار میانگین کلاس W_i و $i \leq 1$ ماتریس کوواریانس دادههای کلاس کلاس میباشد.

۲- محاسبه احتمالات اولیه
$$P(W_i)$$
 : احتمال اولیه معمولاً از اطلاعات کلی در مورد منطقه بهدست میآید که در صورت عدم وجود اطلاعات اولیه کافی، احتمال اولیه همه کلاسها یکسان فرض می شود.

$$P(W_1) = P(W_2) = \dots = P(W_i) = \frac{1}{N}$$
 (۴-۳)
برای تعیین احتمال اولیه دقت بسیاری لازم است و وضعیت منطقه و کلاسها در تعیین مقدار احتمالات
نقش مهم و اساسی دارند.

- محاسبه احتمال (P(X): اگر مجموع تمام احتمالات ثانویه برابر با یک باشد آنگاه:

$$P(X) = \sum_{i=1}^{N} P(X|W_i) P(W_i)$$
(\Delta-\mathbf{v})

این احتمال بدون وابستگی به کلاس خاصی بوده و برای همه کلاس ها مساوی است. همچنین در مقایسه بین احتمالات نقشی نداشته و تنها بهمنظور نرمال کردن احتمالات ثانویه به کار میرود.

درنهایت پس از محاسبه احتمالات، کلاس با بیشترین احتمال بهعنوان کلاس پیکسل مجهول در نظر گرفته می شود. تابع تمایز این روش را می توان به صورت زیر بیان کرد:

$$\begin{array}{lll} X \in W_i & if & P(W_i | X) > P(W_j | X) & for & all \ i & (\mathcal{F}\text{-}\mathcal{T}) \\ \neq j & \end{array}$$

می توان از حد آستانه برای جلوگیری از انتساب کلاسهای ضعیف استفاده نمود؛ چون به دلیل همپوشانی طیفی، احتمالات محاسبه شده ممکن است نزدیک به هم باشند. لازم به ذکر است که استفاده از حد آستانه باعث بروز یکسری پیکسل های مجهول در خروجی می شود که باید در عملیات پس پردازش اصلاح گردند.

در این روش با در نظر گرفتن ماتریس کوواریانس آنالیز دقیق تر می شود و از شکل سطوح جداسازی در فضای چند طیفی بهره می برد. در این حالت تمایز بین کلاس ها دقیق تر نمایش داده می شود. در شکل (۳-۱۹) تصویر حاصل از اعمال طبقه بندی بیشترین شباهت بر روی داده های ASTER منطقه مطالعاتی آمده است. همچنین در شکل (۳–۲۰) و (۳–۲۱) واحد سنگ شناختی حاوی کانی زایی طلا حاصل از طبقه بندی بیشترین شباهت تفکیک شده و همراه با پروفیل های ژئوفیزیکی در منطقه، به صورت جداگانه نشان داده شده است.



شکل ۳-۱۹: تصویر حاصل از اعمال طبقهبندی بیشترین شباهت.



شکل ۳-۲۰: تفکیک واحد سنگی حاوی کانیزایی طلا با استفاده از طبقهبندی بیشترین شباهت.



شکل ۲۰-۳: واحد سنگی حاوی کانیزایی طلا همراه با موقعیت قرار گیری پروفیل های ژئوفیزیکی در منطقه مورد مطالعه. ۲-۹-۴ ارزیابی دقت طبقهبندی

یکی از مهم ترین کارهایی که بعد از هر طبقهبندی باید انجام گیرد ارزیابی دقت طبقهبندی میباشد. به منظور اطمینان از صحت نقشه های تعیین شده از طریق طبقهبندی رقومی، لازم است که پس از انجام مراحل طبقهبندی و تهیه نقشه خروجی، دقت آن ها با استفاده از اطلاعات زمینی یا مناطق آزمایشی که قبل از طبقهبندی با استفاده از مشاهدات میدانی، عکسهای هوایی و سایر منابع اطلاعاتی اقدام به انتخاب این نواحی می شود، ارزیابی شود. ارائه نتایج طبقهبندی بدون هیچ گونه پارامتری که کیفیت و یا صحت این نتایج را بیان کند از ارزش آن ها می کاهد و در بعضی مواقع آن ها را بدون استفاده می کند. راه های مختلفی برای ارزیابی دقت نتایج وجود دارد که از یک بررسی بصری شروع شده و می تواند ارزیابی های کمی دقیق را نیز شامل شود. سریعترین بیان رابطه بین کلاسهای مرجع و کلاسهای طبقهبندی شده را میتوان بهصورت ماتریسی نشان داد که در این ماتریس دادههای مرجع بهصورت ستونی و دادههای طبقهبندی بهصورت سطری نمایش داده میشوند. این ماتریس، ماتریس خطا یا ماتریس اغتشاش نامیده میشود. یکی از متداول ترین روشهای

بیان دقت طبقهبندی، استفاده از ماتریس خطای طبقهبندی است [Lillesand and Kiefer, 1994].

ماتریسهای خطا، رابطه بین دادههای مرجع زمینی و نتایج ذیربط یک طبقهبندی را بهصورت رده به رده مقایسه میکنند. یکی از سادهترین روشهای ارزیابی دقت، استفاده از قطر اصلی ماتریس خطا بهعنوان نمونههایی که درست طبقهبندی شدهاند، میباشد. از تقسیم مجموع عناصر قطری ماتریس خطا بر مجموع کل درایههای آن دقت کلی بهدست میآید که معادله آن بهصورت زیر میباشد:

$$OA = \frac{\sum_{i=1}^{i=m} N_{ii}}{\sum_{i=1}^{i=m} \sum_{j=1}^{j=n} N_{ij}}$$
(Y-• \mathcal{Y})

یکی از نکات اساسی قابل بیان در ماتریس خطا این است که کمیت دقت کلی نمی تواند نشانگر دقت تصویر باشد و مشکلی که وجود دارد دخیل بودن شانس در نتایج به دست آمده می باشد. لذا برای اجتناب از این مسئله می توان از شاخص توافقی کاپا^۱ استفاده نمود. با استفاده از این شاخص می توان نقش شانس را در دقت طبقه بندی کاهش داد [Lillesand and Kiefer, 1994]. شاخص کاپا را از رابطه زیر می توان محاسبه کرد:

$$K = \frac{\theta_1 - \theta_2}{1 - \theta_2}$$
 (۸-۰۳)
(۸-۰۳) (1-۰۳) (1-۰۳) (1-۰۳) (1-۰۳) (1-۰۳) (1-۰۳) (1-۰۳) (1-۰۳) (1-۰۳) (1-۰۳) (1-۰۳) (1-۰۳) (1-۰۳) (1-۰۳)

$$\theta_1 = \sum Xii/N \quad \& \quad \theta_2 = \sum (X_{i+}X_{+i})/N^2 \tag{9-17}$$

¹ Kappa coefficient

		Confusion (268x268x1)						
		Overall Accuracy		racy	88.772			
		Kappa Coefficient		cient	0.8495			
			Ground	Truth (F	vixels)			
Class		Unit1	Unit2	Unit3	Unit4	Unit5	Unit6	Total
Unclassified		0	0	0	0	0	0	0
Unit 1	Blue	30	0	0	0	6	0	36
Unit 2	Red	0	95	0	0	0	0	95
Unit 3	Magenta	0	0	148	0	17	0	165
Unit 4	Cyan	0	0	0	17	20	0	37
Unit 5	Yellow	0	0	0	0	17	0	17
Unit 6	Green	0	0	0	0	0	33	33
Total		30	95	148	17	60	33	383
Ground Truth (Percent)								
Class		Unit1	Unit2	Unit3	Unit4	Unit5	Unit6	Total
Uncl	assified	0	0	0	0	0	0	0
Unit 1	Blue	100	0	0	0	10	0	9.4
Unit 2	Red	0	100	0	0	0	0	24.8
Unit 3	Magenta	0	0	100	0	28.33	0	43.08
Unit 4	Cyan	0	0	0	100	33.33	0	9.66
Unit 5	Yellow	0	0	0	0	28.33	0	4.44
Unit 6	Green	0	0	0	0	0	100	8.62
Total		100	100	100	100	100	100	100
Class		Commission		Omission		Commission Omission		
	Class	(Percent)		(Percent)		(Pixels)		Pixels)
Unit 1	Blue	16	5/670	0)	6/360		0/30
			,	•		-,		,

جدول ۳-۸: دقت کلی و ضریب کاپای بهدست آمده از طبقهبندی دادههای ASTER منطقه مطالعاتی.

[\] Overall accuracy

Unit 3	Magenta	10.3	0	17/165	0/148
Unit 4	Cyan	54.05	0	20/37	0/17
Unit 5	Yellow	0	71.67	0/17	43/60
Unit 6	Green	0	0	0/33	0/33
Class		Prod. Acc.	User Acc.	Prod. Acc.	User Acc.
		(Percent)	(Percent)	(Pixels)	(Pixels)
Unit 1	Blue	100	83.33	30/30	30/36
Unit 2	Red	100	100	95/95	95/95
Unit 3	Magenta	100	89.7	148/148	148/165
Unit 4	Cyan	100	45.95	17/17	17/37
Unit 5	Yellow	28.33	100	17/60	17/17
Unit 6	Green	100	100	33/33	33/33

۱۰-۳ آشکارسازی خطوارهها و عوارض ساختاری منطقه

یکی از مهم ترین کاربردهای دادههای دورسنجی در زمین شناسی با توجه به پوشش وسیع این دادهها، در خصوص مطالعات زمین ساخت ناحیه ای و منطقه ای می باشد. هدف از مطالعات ساختاری شناسایی ناپیوستگیهای موجود بر روی زمین می باشد. این ناپیوستگیها یا به صورت ناپیوستگیهای اولیه (لایه بندی) و یا به صورت ناپیوستگیهای ثانویه (گسلها، درزهها، شکستگیها، مناطق برشی و بر گوارگیها) می باشند [علوی پناه، ۱۳۸۲].

ساختارها و شکستگیهای محلی در تصاویر ماهوارهای با استفاده از روشهای مختلف پردازش تصویر مانند تصاویر ترکیب رنگی، نسبتگیری باندی، PCA و استفاده از فیلترهای آشکارکننده عوارض خطی، قابلتشخیص و استخراج هستند. شکل (۳–۲۲) گسلها و خطوارههای استخراجشده منطقه مورد مطالعه را بر روی ترکیب رنگی ۳۲۱ تصویر ASTER نشان میدهد.



شكل ۲۰۱۱. نسلها و خطوارههای استخراج سده از تطویر ۸۲

۳-۱۱ جمعبندی و نتیجه گیری

در این فصل با استفاده از تصویر ماهوارهای سنجنده ASTER و پردازش آن در نرمافزار ENVI به شناسایی و مطالعه دگرسانیهای محدوده معدن طلای زرشوران پرداخته شد. به این منظور ابتدا برای بررسی دگرسانیها با ایجاد تصاویر ترکیب رنگی کاذب از راه ترکیب باندهای مختلف و با تفسیر بصری این تصاویر بهدست آمده (که از روشهای متداول در شناسایی مناطق دگرسانی است)؛ مناطق دگرسانی تا حدودی مشخص گردید. همچنین با تهیه تصاویر رنگی مجازی از طریق تعیین ضریب شاخص بهینه (OIF) و روش نسبت گیری باندها و با تعبیر و تفسیر این تصاویر، مناطق دگرسانی در محدوده مورد نظر مشخص شد. سپس بهمنظور تفسیر و استخراج پهنههای دگرسانی با دقت بالا در محدوده مورد مطالعه، از روش تحلیل مؤلفههای اصلی انتخابی (PCA)، روش پیشبینی خطی باند با استفاده از برازش کمترین مربعات (LS-Fit)، روش نقشهبردار زاویه طیفی (SAM) و روش طبقهبندی بیشترین شباهت (MLC) استفاده شد. در هر یک از روشهای مذکور تصاویری حاصل شد که اطلاعاتی از مناطق دگرسانی محدوده معدن طلای زرشوران ارائه میدهد. در حالت کلی تصاویر ASTER در تفکیک زونهای دگرسانی منطقه از دیگر واحدهای سنگی و زونهای دگرسانی رسی و پروپلیتیک از یکدیگر، بهطور چشم گیری موفق بوده است.

فصل جارم پ

بررسی ای مقاومت ویژه و قطبش القابی در منطقه مورد مطالعه

۱-۴ مقدمه

امروزه صرفاً با به کار گیری اطلاعات زمین شناسی سطحی نمی توان منابع معدنی را جستجو نمود. روش-های ژئوفیزیکی ازجمله روش های مناسبی هستند که در پیجویی منابع مذکور کارایی بالایی دارند. تقریباً در تمامی مراحل اکتشاف از این روش ها که ارزان، قابل اعتماد و در بسیاری موارد باعث کاهش ریسکهای بزرگ سرمایه گذاری می گردند، بهره گرفته می شود [Gautneb and Tveten, 2000].

از روشهای ژئوفیزیکی که برای اکتشاف کانسارها به کار میرود میتوان به روشهای مغناطیسسنجی، روشهای الکتریکی، الکترومغناطیس، ثقلسنجی و لرزهنگاری اشاره نمود. انتخاب روش یا روشهایی برای تعیین محل یک کانسار، با طبیعت کانیهای موجود در آن کانسار و سنگهای اطراف آن سر و کار دارد [کریمپور و همکاران، ۱۳۸۷]. ازجمله روشهای مورد استفاده در این پژوهش روش مقاومتویژه الکتریکی^۲ و همچنین قطبشالقایی^۲ (IP) میباشد؛ که بهمنظور شناسایی محدودههای کانیسازی طلا در منطقه مورد مطالعه مورد استفاده قرار گرفتند.

در این فصل، پس از بیان تئوری روشهای مقاومتویژه و IP ، بهمنظور تفسیر دادههای ژئوفیزیکی برداشتی به مدلسازی عددی دوبعدی و سهبعدی در نرمافزارهای Res2dinv، ZondRes2D و Voxler و پرداخته میشود؛ همچنین جهت نمایش مدلهای سهبعدی بهصورت گرافیکی تر از نرمافزارهای Voxler و RockWork استفاده شده است.

۲-۴ روش مقاومتویژه الکتریکی

روشهای مقاومتویژه الکتریکی در اوایل دهه ۱۹۰۰ ابداع شدند، اما از دهه ۱۹۷۰ و خصوصاً به دلیل

[\]Resistivity

^r Induced Polarization (IP)

دسترسی به کامپیوتر برای پردازش و تجزیه و تحلیل دادهها، کاربرد گستردهای پیدا کردند. این روشها بهطور مؤثری در اکتشاف منابع آب زیرزمینی، انواع آلودگی آبهای زیرزمینی، بررسی مسائل مهندسی برای تعیین محل حفرههای زیرسطحی، گسلها و مناطق خردشده، درز و شکافها، مناطق یخزده، چاههای معدنی، در بررسیهای باستانشناسی برای تعیین گسترش فضایی بقایای ساختارهای مدفون قدیمی، علاوه بر کاربردهای متنوع دیگر مورد استفاده قرار می گیرند [حجت و رنجبر، ۱۳۹۰].

در روشهای مقاومتویژه، جریان الکتریکی بهصورت مصنوعی به داخل زمین تزریق شده و اختلاف پتانسیل ایجادشده در سطح زمین اندازه گیری میشود. برای این منظور، معمولاً از چهار الکترود استفاده می گردد که از دوتای آنها برای فرستادن جریان الکتریکی و از دوتای دیگر، برای اندازه گیری اختلاف پتانسیل استفاده میشود. انحراف از الگوی اختلاف پتانسیلهایی که برای زمین همگن انتظار میرود، اطلاعاتی را در مورد ویژگیهای الکتریکی و ناهمگنیهای موجود در زیر سطح زمین فراهم مینماید [Keary اطلاعاتی را در صورت غیر همگن^۱ و غیر همسانگرد^۲ بودن زمین، دادههای حاصل از این روش، نشان-دهندهی مقادیر مقاومتویژههای واقعی زمین نیستند؛ بلکه این مقادیر نشاندهندهی مقاوتویژههای ظاهری زیر سطح زمین میباشند.

مقاومتویژه الکتریکی، اطلاعاتی از شکل و ویژگیهای الکتریکی ناهمگنیهای زیر سطح زمین را نشان میدهد. در مورد رسانایی مواد با مقاومت الکتریکی R، طول L و سطح مقطع A در زیر سطح زمین، رابطه (۴–۱) برقرار است:

$$\mathbf{R} = \rho \frac{L}{A} \tag{1-f}$$

¹ Inhomogeneous

^r Anisotropy

$$ho = rac{\Delta V.A}{I.L}$$

که در این رابطه، ho مقاومتویژه الکتریکی، I شدت جریان الکتریکی، ΔV اختلاف پتانسیل الکتریکی و
L طول یک استوانه فرضی میباشد. این رابطه برای تعیین مقاومتویژه یک محیط همگن^۱ و همسانگرد^۲
مناسب میباشد، اما برای یک محیط ناهمگن و ناهمسانگرد باید مقاومتویژه را در هر نقطه تعیین نمود
[Ozebo et al, 2008].

در شکل (۴–۱) نمونهای از یک آرایش چهار الکترودی نشان داده شده است. در این شکل الکترودهای C1 و C2 نشاندهنده الکترودهای جریان و الکترودهای P1 و P2 الکترودهای پتانسیل میباشند. در این آرایش چهار الکترودی، اختلاف پتانسیل الکترودی ایجادشده بین دو الکترود پتانسیل، طبق رابطهی (۴–۳) محاسبه می شود:



شكل ۴-۱: نحوه توزيع خطوط جريان و پتانسيل در يک آرايش چهار الكترودى [After Corvallis, 2000].

^{&#}x27; Homogeneous

^r Isotrop

$$\Delta V = \frac{\rho I}{2\pi r} \left(\frac{1}{rc_1 p_1} - \frac{1}{rc_2 p_1} - \frac{1}{rc_1 p_2} + \frac{1}{rc_2 p_2} \right)$$
(7-4)

$$\sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{1}{rc_1 p_1} - \frac{1}{rc_2 p_1} - \frac{1}{rc_1 p_2} + \frac{1}{rc_2 p_2} \right)$$

$$\sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{1}{rc_1 p_1} - \frac{1}{rc_2 p_1} - \frac{1}{rc_1 p_2} + \frac{1}{rc_2 p_2} \right)$$

$$\sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{1}{rc_1 p_1} - \frac{1}{rc_2 p_1} - \frac{1}{rc_1 p_2} + \frac{1}{rc_2 p_2} \right)$$

$$\sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{1}{rc_1 p_1} - \frac{1}{rc_2 p_1} - \frac{1}{rc_1 p_2} + \frac{1}{rc_2 p_2} \right)$$

$$\sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{1}{rc_1 p_1} - \frac{1}{rc_2 p_1} - \frac{1}{rc_1 p_2} + \frac{1}{rc_2 p_2} \right)$$

$$\sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{1}{rc_1 p_1} - \frac{1}{rc_2 p_1} - \frac{1}{rc_1 p_2} + \frac{1}{rc_2 p_2} \right)$$

$$\sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{1}{rc_1 p_1} - \frac{1}{rc_2 p_1} - \frac{1}{rc_2 p_1} + \frac{1}{rc_2 p_2} \right)$$

$$\sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{1}{rc_1 p_1} - \frac{1}{rc_2 p_1} - \frac{1}{rc_2 p_1} + \frac{1}{rc_2 p_2} \right)$$

$$\sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{1}{rc_1 p_1} - \frac{1}{rc_2 p_1} - \frac{1}{rc_2 p_1} + \frac{1}{rc_2 p_2} \right)$$

$$\sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{1}{rc_1 p_1} - \frac{1}{rc_2 p_1} + \frac{1}{rc_2 p_2} + \frac{1}{rc_2 p_2} \right)$$

$$\sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{1}{rc_1 p_1} - \frac{1}{rc_2 p_1} + \frac{1}{rc_2 p_1} + \frac{1}{rc_2 p_2} + \frac{1}{rc_2 p_2}$$

برداشتهای صحرایی بر روی زمینهای غیرهمگن که مقاومتویژه الکتریکی آنها در سه جهت محورهای مختصات متغیر است، صورت می گیرد و هدف از این برداشتها به دست آوردن اندازهی مقاومتویژهی الکتریکی زمین می باشد. بعد از اندازه گیری اختلاف پتانسیل می توان اندازهی مقاومتویژهی ظاهری زمین را طبق رابطه (۴-۴) محاسبه نمود [Loke, 2004]:

$$ho_{lpha} = k \frac{\Delta V}{I}$$
 (۴-۴)
که در این رابطه ho_{α} مقاومتویژه الکتریکی ظاهری زمین و k ضریب هندسی برای آرایش مورد استفاده
نامیده میشود و طبق رابطهی (۴–۵) بهدست میآید.

$$\rho_{\alpha} = KR \tag{9-4}$$

۲-۴ تقسیم بندی مواد مختلف از لحاظ مقاومت ویژه الکتریکی

به کمک برداشتهای ژئوالکتریک، توزیع مقاومتویژه در زیر زمین تعیین میشود. بهمنظور برقراری تناظر بین مقادیر مقاومتویژه و ساختارهای زمینشناسی، آگاهی از مقادیر مقاومتویژه مربوط به انواع مختلف مواد زیرسطحی و زمینشناسی مناطق مورد مطالعه، الزامی است. بهطور کلی، مقاومتویژه سنگها عمدتاً به میزان خردشدگی، درصد تخلخل و درصد شکستگیهای موجود در سنگ بستگی دارد. سنگهای رسوبی که عمدتاً متخلخل و دارای اشباعشدگی آب بالاتری میباشند، معمولاً از مقاومتویژهی کمتری برخوردارند. خاکهای رسی معمولاً مقاومتویژه پایینتری نسبت به خاکهای ماسهای دارند. اما نکته قابل توجه، همپوشانی مقادیر مقاومتویژهی سنگها و خاکها میباشد. این امر به این دلیل است که مقاومتویژه الکتریکی سنگ و یا نمونه ی خاک به عوامل دیگری مثل تخلخل، اشباع آب و غلظت نمکهای مقاومتویژه چند نوع

	مقاومتويژه		مقاومتويژه
نوع سنگ	الکتریکی بر حسب	نوع سنگ	الكتريكي برحسب
	اهممتر		اهممتر
طلا	2.44*10-8	مگنتیت	10 ⁻³ -50
روى	5.9*10-8	كوارتز	$4*10^{10}-2*10^{14}$
كالكوسيت	10-4	آهک	50-10000000
كالكوپيريت	4*10-3	دولوميت	350-5000
پيريت	3*10-1	كلسيت	2*10 ¹²
موليبدنيت	10	بيوتيت	$2*10^{2}-10^{6}$
هماتيت	3.5*10 ⁻³ -10 ⁷	ماسەسنگ آرژیلیکی	50-300
مارن	30-70	شیست آرژیلیتی	100-300
رس	1-100	شيست سالم	300-3000

جدول۴-۱: میانگین مقاومتویژه برخی از سنگها و کانیها [Telford et al, 1990].

 10^{6} 10^{7} 10^{6} 10^{5} 10^{4} 10^{3} 10^{2} 10^{1} 10^{0} 10^{-1} 10^{-2} 10^{-3} 10^{-4} 10^{-5} 10^{-6} 10^{-7} 10^{-8} 10^{-9} 10^{-11} 10^{-12} 10^{-13} 10^{-13} 10^{-14} 10^{-12} 10^{-13} 10^{-14} 10^{-15} 10^{-16} 10^{-17} 10^{-19} $10^$ Conductors Semiconductors Insulators Steel casing Serpentine Quartz, feldspars, pyroxenes, amphiboles, carbonate Rock-forming minerals Graphite Oxides lative metals Metallic minerals Sphalerite Sulphides (except sph) Water Ice Pore contents Fresh Hyper-saline Permafrost Clay Sand/gravel Glacial sediments Till Duricrust Regolith Saprolite Igneous/metamorphic Crystalline rocks Kimberlite Ironstones/cher Shale/mudrocks Clastics Sedimentary rocks (graphitic) Lignite/coal Carbonates Evaporites [-1.1110] + 1.1100] + 1.Resistivity (Qm)

شکل ۴-۲: مقادیر مقاومتویژه و رسانندگی الکتریکی برخی از سنگها و کانیهای متداول [Scott et al, 1990]. ۲-۲-۴ انتخاب آرایش الکترودی مناسب

موقعیت هندسی قرارگیری الکترودها نسبت به هم را آرایه گویند. آرایههای الکترودی دارای تنوع زیادی هستند؛ که هر کدام دارای مزایا و معایب خاص خود میباشند. انتخاب آرایه مناسب به فضای موجود برای گسترش آرایه مورد استفاده و سختی هر روش بستگی دارد [Reynolds, 1997]. انتخاب بهترین آرایش الکترودی برای اندازه گیریهای مقاومتویژه الکتریکی، به وضعیت ساختارهای زیر سطح زمین، حساسیت دستگاه اندازه گیری مقاومتویژه و به میزان نوفهی زمینه بستگی دارد. چهار مؤلفه اصلی یک آرایش عبارتاند از [Loke, 2004]:

۶٩

- عمق نفوذ
- ۲) حساسیت آرایش به تغییرات عمقی و جانبی مقاومتویژه الکتریکی در داخل زمین
 - ۳) پوشش افقی دادهها
 - ۴) نسبت سیگنال به نویز

برای اندازه گیری دادههای مقاومتویژه، آرایشهای الکترودی مختلفی پیشنهاد شده است. از متداول ترین آرایشهایی که در روش مقاومتویژه به کار برده میشوند، میتوان به آرایشهای ونر^۱، شلومبرژه^۲، دوقطبی - دوقطبی^۳، قطبی - دوقطبی^۴ و قطبی - قطبی^۵ اشاره کرد. جدول (۴-۲) مقایسهای بین مؤلفههای مذکور برای چند آرایش الکترودی را بهصورت تعداد * بیان میکند. هرچه تعداد * برای آرایشی بیشتر باشد، آرایش مذکور از نظر خصوصیات یا ویژگی مورد نظر بهتر خواهد بود.

قطبی – دوقطبی	قطبی – قطبی	دوقطبی – دوقطبی	شلومبرژه	ونر	
**	**	*	**	****	حساسیت آرایش به ساختارهای افقی
*	**	***	**	*	حساسیت آرایش به ساختارهای قائم
***	****	***	**	*	عمق نفوذ
***	****	***	**	*	پوشش افقی دادەھا
**	****	*	***	****	نسبت سيگنال به نويز

جدول ۴-۲: خصوصيات مختلف چند آرايش الكترودي [Samouelian et al., 2005].

Wenner

- ^r Shlumberger
- r Dipole-dipole
- * Pole-dipole
- $^{\scriptscriptstyle \Delta}$ Pole-pole

۲-۴- آرایش قطبی - دوقطبی

پوشش افقی مناسب، حساس نبودن به نوفههای تلوریک و همچنین بالا بودن قدرت سیگنال در این آرایه (در مقایسه با آرایه دوقطبی - دوقطبی) و نیز پایین بودن جفتشدگی الکترومغناطیسی، به دلیل جدا بودن مدار الکترودهای جریان و پتانسیل (در مقایسه با آرایه ونر و ونر – شلومبرژه)، منجر شده که برای کاوشهای IP، در انتخاب، مورد توجه قرار گیرد. در شکل (۴–۳) نحوه آرایش این آرایه نشان داده شده است. همچنین





شكل ۴-۳: آرايش قطبي - دوقطبي [Loke, 2004].

 $K = 2\pi n(n+1)a$

(7-4)

برای آرایه قطبی – دوقطبی لازم است که الکترود C₂ در فاصله مناسب دوری روی خط بررسی قرار گیرد. فاکتور n که در این آرایش اهمیت دارد برابر با نسبت فاصله بین C₁ و P₁ بر n است. استفاده از این آرایه برای مقادیر ضرایب n بیشتر از ۱۲ توصیه نمیشود. زیرا وقتی که از ضرایب بالاتر استفاده می کنیم موجب اشتباه در بررسیهای میدانی و کاهش نسبت سیگنال به نویز میشود؛ به طوری که مناطق با حساسیت مثبت در زیر خط مابین جفت دوقطبی پتانسیل P₁-P₂ خود را در مقاطع مدل سازی شده به صورت یکسری آنومالی با دامنه بسیار بالایی در سطح به اشتباه نمایان می کند؛ که غالباً پوششی بر بی هنجاری ساختارهای عمیق تر دارد. لذا فضای الکترودی (a) بین P₂ و P₁ برای دستیابی به شدت سیگنال قوی تر باید افزایش یابد مقطع حساسیت را برای این آرایش با اهای مختلف نشان میدهد. مقطع حساسیت نشان میدهد که نواحی با حساسیت بالا در زیر خط مابین جفت دوقطبی پتانسیل P1-P2 قرار دارد (خصوصاً برای ضرایب بزرگ n)؛ به طوری که برای مقادیر 4=n و بالاتر، مقادیر با حساسیت زیاد و مثبت در زیر دوقطبیهای P1-P2 به سمت قائم شدن پیش میروند. بنابراین مشابه آرایه دوقطبی – دوقطبی احتمالاً به ساختارهای قائم حساس است.



شكل ۴-۴: مقطع حساسيت آرايش قطبي - دوقطبي براي مقادير n=4 ،n=4 و n=1 [Loke,2004].

آرایهای که معرفی شد در واقع آرایه قطبی – دوقطبی مستقیم (پیشرو) نامیده میشود. بهعبارت دیگر زمانی که الکترودهای پتانسیل در طرف راست الکترود جریان قرار بگیرند آن را یک آرایش قطبی – دوقطبی مستقیم مینامند؛ اما اگر این الکترودها در طرف چپ الکترود جریان قرار بگیرند آن را آرایش قطبی – دوقطبی معکوس مینامند. با ترکیب اندازه گیریها به صورت مستقیم و معکوس در آرایش قطبی – دوقطبی، آرایش قطبی – دوقطبی متقارن به دست میآید [Karous and Pernu, 1985]. شکل (۴–۵) نحوه آرایش این آریه را نشان می دهد.



شکل ۴-۵: الف) آرایش قطبی - دوقطبی مستقیم، ب) آرایش قطبی - دوقطبی معکوس، ج) آرایش قطبی - دوقطبی متقارن [پیروز، ۱۳۸۲ب].

این آرایش در مقایسه با سایر آرایش های الکترودی متداول، مناسب ترین آرایش برای اکتشاف ناهمگنی-های جانبی واقع در زیر سطح زمین محسوب می شود [پیروز و همکاران، ۱۳۸۲ب؛ ۱۳۹۲].

4-۴ روش قطبش القایی (IP)

توجه به خاصیت IP زمین با برادران شلومبرژه آغاز شد. آنها مشاهده کردند که پس از قطع جریان در روشهای مقاومتویژه، ولتاژ برداشتی ناگهان به صفر نمیرسد؛ بلکه در طول زمانی محدود، به صفر نزدیک میگردد. این پدیده براثر ذخیرهسازی انرژی در زمان وصل جریان، به شکلهای مختلف مکانیکی، الکتریکی و بهویژه شیمیایی رخ میدهد. IP تابعی از ویژگیهای خازنی سنگ در فرکانس پایین است؛ که از فرآیندهای پخش قطبش در مرزهای بین دانههای کانی و سیالات موجود در خلل و فرج سنگها حاصل می گردد [Slater, 2002].

IP روشهای اندازه گیری IP

در روش IP، مشابه با روش مقاومتویژه یک آرایه الکترودی استاندارد (شامل دو الکترود جریان و دو الکترود غیرپلاریزه پتانسیل) مورد استفاده قرار می گیرد [Telford et al, 1990]. پدیده IP را می توان هم در حوزه فرکانس اندازه گیری کرد.

اندازه گیری در حوزه زمان

هنگام اندازه گیری IP، جریان مستقیم (DC) طی مدت کوتاهی به زمین تزریق می شود. اگر پس از شارژ شدن زمین جریان را قطع کنند، ولتاژ اضافی (V_p) ایجاد شده بعد از زمان کوتاهی به مقدار صفر می رسد (شکل ۴–۶) [Reynolds, 1997]. پتانسیل حالت شارژ زمین (V_0) دو قسمت است: یکی پتانسیل حقیقی مربوط به جریان تزریق شده و دیگری ولتاژ اضافی که از اثر قطبش زمین ایجاد شده است. پس از قطع کردن جریان، ولتاژ زمین ابتدا به میزان V به صورت لحظه ای کاهش پیدا می کند (شکل ۴–۶). در ادامه ولتاژ اضافی به صورت منحنی تخلیه می شود و به صفر می رسد. معمولاً اندازه گیری پتانسیل، روی منحنی زوال و در زمان کوتاهی پس از قطع جریان انجام می گیرد [نوروزی، ۱۳۹۲].



شکل ۴-۶: اندازه گیری IP در روش حوزه زمان، الف) منحنی تغییرات پتانسیل در حالت شارژ و تخلیه و تغییرات جریان تزریقی، ب) پارامتر قطبش ظاهری (سمت چپ) و بارپذیری (سمت راست) [Reynolds, 1997].

- قطبش پذیری: اگر اختلاف پتانسیل اندازه گیری شده در زمان t (پس از قطع جریان) برابر ΔV_t باشد، نسبت این اختلاف پتانسیل به مقدار اختلاف پتانسیل در حالت شارژ (۷۵) را IP یا قطبش پذیری ظاهری (ρ_{α}) مینامند [حجت و رنجبر، ۱۳۹۰؛ نوروزی، ۱۳۹۲].

$$ho_{lpha}=rac{\Delta V_t}{V_0}$$
 (۸-۴)
اگر ΔV بر حسب میلیولت و V بر حسب ولت باشد واحد قطبشپذیری ظاهری، میلیولت بر ولت
میباشد [کلاگری، ۱۳۷۱].

- بارپذیری: در بعضی مواقع، انتگرال زمانی نرمالیزه که نشاندهنده مساحت زیر منحنی زوال بین زمانهای t1 و t2 بعد از قطع جریان میباشد، برای بیان IP مورد استفاده قرار میگیرد. این پارامتر، بارپذیری ظاهری نامیده شده و با $(M_{t_1,t_2}^T)_a$ نشان داده میشود، بنابراین:

(
$$M_{t_1,t_2}^T)_a = (\frac{1}{V}) \int_{t_1}^{t_2} \Delta V_{IP} \, dt$$
 (۹-۴)
در صورتی که اگر $V \Delta$ بر حسب میلیولت، V بر حسب ولت و زمان بر حسب ثانیه اندازه گیری شود، واحد
بارپذیری میلیولت ثانیه بر ولت (⁻¹) و یا میلیثانیه (ms) میباشد [کلاگری، ۱۳۷۱].

IP منشأ پديده ۲-۳-۴

علت دقیق ایجاد پدید IP مشخص نیست. اما دو سازوکار اصلی برای توجیه این پدیده عبارتاند از: قطبشالکترودی^۱ (فلزی) و قطبشالکترولیتی^۲ (غشایی) که هر دو با پدیدههای الکتروشیمیایی در ارتباط هستند [نوروزی، ۱۳۹۲].

الف) قطبشالكتروليتي (غشايي)

رسانش الکترولیتی عامل غالب در بیشتر سنگها میباشد و وقتی فلزی وجود نداشته و فرکانس پایین است، این تنها شکل رسانش است که وجود دارد. لذا ساختار سنگها باید تا حدودی متخلخل باشد تا در جایی که کانیهای فلزی وجود ندارد، شارش جریان را ممکن سازد. در اکثر کانیهای سنگی مقداری بار منفی در سطح مشترک بین رویه سنگ و مایع داخل خلل و فرج وجود دارد. درنتیجه یونهای مثبت به این خلل و فرج جذب شده و یونهای منفی از آن دور میشوند. این تراکم یون ممکن است تا عمق حدود ۶ تا ۱۰ سانتیمتر در داخل مایع گسترش یابد. اگر این رقم حدود پهنای خلل و فرج باشد، وقتی که یک پتانسیل جریان مستقیم به دو سر آن وصل شود، یونهای منفی در یک طرف آن جمع شده و از طرف دیگر دور میشوند. درنتیجهی چنین توزیع قطبیدهای، جریان قطع میشود. با برقراری مجدد جریان، یونها به Telford et] (شکل ۴–۷) [

[\] Electrode (Grain) polarization

^r Electrolytic (Membrane) polarization

.[al, 1990



شکل ۴-۲: چگونگی گسترش IP غشایی، الف) تنگشدگی در قسمتی از یک کانال ارتباطی، ب) بار منفی ذرات رسی و المان رشتهای موجود در دیواره کانال ارتباطی [After Dentith and Mudge, 2014].

ب) قطبش الكترودى (فلزى)

این نوع قطبش هنگامی رخ میدهد که در داخل سنگ مواد فلزی وجود داشته و قسمتی از عبور جریان الکترولیتی و قسمتی دیگر الکترونی باشد؛ که سبب فعل و انفعال شیمیایی در سطح مشترک بین کانی و مایع می گردد. وقتی جریان عبور نماید، تبادل الکترون بین فلز و محلول یونها در سطح مشترک صورت می پذیرد و عمل الکترولیز انجام می شود. در شیمی فیزیک این اثر به نام ولتاژ اضافی موسوم است. چون سرعت شارش جریان در الکترولیت خیلی کندتر از داخل فلز است، تجمع یونها توسط ولتاژ خارجی صورت می گیرد و وقتی جریان قطع شود ولتاژ باقی مانده، با پخش یونها به عقب و به طرف حالت تعادل اولیه آنها، واپاشی می یابد (شکل ۴–۸) [Telford et al., 1990].



شکل ۴-۸: قطبش الکترودی؛ قطبش دانه رسانا که در کانال ارتباطی سنگ قرار گرفته است [After Dentith and Mudge, 2014].

۴-۴ مدلسازی و تفسیر دادههای مقاومتویژه و IP در منطقه مورد مطالعه

دادههای برداشتشده در عملیات صحرایی در حقیقت یکسری دادههای خام میباشند که توجیه دقیق رفتار لایههای زیرسطحی از روی این دادهها (بهطور مستقیم) غیرممکن است. بنابراین تعیین رابطه بین دادههای صحرایی بهدست آمده و توزیع خواص فیزیکی زمین مورد مطالعه و به عبارت دیگر، مدلسازی دادههای برداشتشده برای توجیه رفتار لایههای زیرسطحی، ضروری است. در مدلسازی ریاضی، روابط فیزیکی توسط یکسری معادلات دیفرانسیل و معادلات انتگرالی بیان میشوند، به گونهای که میتوان پارامترها و خواص فیزیکی مدل را با حل این نوع معادلات ریاضی تعیین نمود [1997].

۴–۴–۱ روشهای مدلسازی ژئوفیزیکی

مدلسازی ژئوفیزیکی به دو دسته کلی مدلسازی فیزیکی و مدلسازی عددی تقسیمبندی می شود [کلاگری، ۱۳۷۱].

الف) مدلسازی فیزیکی

مدلسازی فیزیکی، شبیهسازی ساختار زمین در مقیاس آزمایشگاهی است. این روش مدلسازی بسیار وقت گیر و پرهزینه است. همچنین شرایط کنترل شده آزمایشگاهی، به خوبی شرایط غیرقابل پیش بینی زمین را فراهم نمی کند. با پیشرفت علوم رایانه این روش عمدتاً جای خود را به مدل سازی عددی توسط برنامه های رایانه ای داده است [Dey and Morrison, 1997].

ب) مدلسازی عددی

اولین وظیفه یک ژئوفیزیست درک دادههای جمعآوریشده در صحرا و تفسیر آنها بهصورت یک مدل زمینشناسی قابلقبول، در حد توان روشهای مختلف ژئوفیزیک برای انجام این وظیفه است. ژئوفیزیستها برای درک این موضوع مسائل پیشرو را برای شاخههای مختلف ژئوفیزیک با استفاده از معادلات مربوطه حل میکنند. بنابراین تئوری روشهای مختلف ژئوفیزیکی مجهز به ابزارهای مختلف ریاضی، مبنای حل مسائل پیشرو را تشکیل میدهد. تئوری این روشها برای درک رفتار دادههای ژئوفیزیکی از اهمیت شایانی برخوردار است [Ward, 1990].

به دلیل پیشرفتهای خیلی سریع علوم رایانه، تکنولوژی نرمافزاری و روشهای عددی در مدلسازی ریاضی، بهره گیری از تئوری وارون فراهم گردیده است. توسعه چشمگیر علوم و تکنولوژی در این زمینه در طی سه دهه گذشته، قدرت درک ژئوفیزیستها را از داخل زمین بهبود بخشیده است [Ward, 1990].

– مدلسازی پیشرو (مستقیم): در مدلسازی پیشرو ورودی فرآیند مدلسازی یک مدل آزمون (فرضی) از زمین میباشد و در طی فرآیند با توجه به معادلات حاکم بر مسئله، دادههای (پاسخ) مربوط به این مدل محاسبه شده و بهعنوان خروجی مدل ارائه میشوند. این عمل با اصلاح مدل (تغییر پارامترها) آنقدر ادامه مییابد تا پاسخ مدل، برازش خوبی با دادههای صحرایی پیدا کند؛ یعنی از مدل، دادهها بهدست میآیند. مدلسازی پیشرو بر مبنای آزمون و خطا انجام میشود. در این روش یک توزیع خاص برای اجزای زیرسطحی در نظر گرفته میشود و در قدم اول فضای زیرسطحی به تعداد زیادی سلول تقسیم میشود؛ سپس پاسخ این مدل تحت آرایش الکترودی مورد نظر محاسبه میشود [1997 Dey and Morrison, ا

- مدلسازی معکوس (وارون): در مدلسازی وارون سعی میشود تا با توجه به دادهای برداشت شده، مدل تخمین زده شود. بقیه مراحل مدلسازی وارون همانند مدلسازی پیشرو است. در واقع تفاوت مدل سازی وارون با مدلسازی پیشرو در نحوه انتخاب مدل اولیه است. انتخاب مدل در روش وارون کمی سخت تر است، ولی پاسخهای حاصل به واقعیت نزدیکتر است. همچنین تعداد تکرارها برای کاهش خطا کمتر میباشد. به دلیل پیچیده تر بودن مدل در روش وارون، زمان لازم برای محاسبه پاسخهای مدل و حجم میباشد. به دلیل پیچیده تر وادن مدل در روش مقاومت ویژه است، ولی پاسخهای حاصل به واقعیت نزدیکتر است. همچنین تعداد تکرارها برای کاهش خطا کمتر میباشد. به دلیل پیچیده تر بودن مدل در روش وارون، زمان لازم برای محاسبه پاسخهای مدل و حجم اشغالی بیشتر است [Loke, 2004]. در روش مقاومت ویژه الکتریکی پارامترهای مدل، مقادیر مقاومت ویژه میباش محاسبه پاسخهای مدل و حجم میباشد. به دلیل پیچیده تر مقاومت ویژه ظاهری برداشت شده هستند. رابطه ریاضی بین پارامترهای مدل و پاسخ آنها از روشهای تفاصل محدود^۱ [Medlin and Constable, 1990] و یا اجزاء محدود^۲ [Okan, 2002] فراهم می شوند. در تمامی روشهای بهینه سازی، مدل اولیه در فرآیندی تکرارشونده طوری بهبود می یابد تا اختلاف بین داده های برداشت شده () کاسته شود.

^{&#}x27; Finite-defference

^r Finite-element

$$q = col(q_1, q_2, ..., q_n)$$
 (۱۲-۴)
 g که n تعداد پارامترهای مدل است. تفاوت بین دادههای برداشت شده و پاسخهای مدل از بردار تفاضل
که به صورت زیر است، محاسبه می شود.

$$g = y - f \tag{17-4}$$

در روش بهینهسازی کمترین مربعات، مدل اولیه طوری بهینه می شود که مجموع مربعات خطا (E)، که تفاضل بین مقادیر پاسخهای مدل و دادههای بر داشت شده است، کمینه می شود.

$$\mathbf{E} = \boldsymbol{g}^T \boldsymbol{g} = \sum_{i=1}^n \boldsymbol{g}_i^2 \tag{14-4}$$

برای کاهش خطا از معادله گوس - نیوتن استفاده می شود. بدین وسیله پارامترهایی از مدل که باید تغییر کند تا مجموع مربعات خطا (E) کاهش یابد، باید مشخص شوند [Loke and Barker, 1995]:

$$J^{T}J\Delta q_{i} = J^{T}g$$
 (۱۵-۴)
مستقات جزئی است. عناصر Δq بردار تغییرات پارامترهای مدل و J ماتریس ژاکوبین (با اندازه n×m) مشتقات جزئی است. عناصر ماتریس ژاکوبین بهصورت $\frac{\partial f_{i}}{\partial q_{j}} = J_{ij}$ هستند که تغییر در i امین پاسخ مدل به دلیل تغییر در j امین پارامتر مدل است. پس از محاسبه بردار تغییر پارامتر (Δq)، مدل جدید از معادله زیر محاسبه می شود:

$$q_{k+1}=q_k+\Delta q_k$$
 (۱۶-۴)
به دلیل کاستیهای معادله گوس – نیوتن، این روش کمتر مورد استفاده قرار گرفته و در عوض از

بهبوديافته آن با عنوان ماركوارت - لونبرگ' استفاده مىشود [Loke and Barker, 1995].

¹ Marquardt-levenberg

$$(J^T J + \lambda F) \Delta q = J^T g \tag{1Y-F}$$

در معادله فوق I ماتریس ژاکوبین ^۱ و Λ فاکتور تعدیل ^۲ است. این روش با عنوان رگرسیون ریج نیز شناخته میشود. در وارونسازی دادههای سونداژ که مدل از تعداد لایههای کمتری تشکیل شده است، این روش به خوبی پاسخ میدهد ولی در مواردی که پارامترهای مدل زیاد باشند، نظیر مدلهای دو و سهبعدی، مدل تولیدشده با روش رگرسیون ریج، توزیع مقاومتویژه نامنظم همراه با مناطقی با مقاومتویژه بسیار بالا یا پایین خواهد داشت. برای رفع این مشکل معادله کمترین مربعات گوس – نیوتن بار دیگر بهصورت معادله زیر بهینه شده، بهطوری که تغییرات فضایی در پارامترهای مدل را کمینه می کند [1995].

$$(J^T J + \lambda F) \Delta q = J^T - \lambda F q_k \tag{1.14}$$

$$F = \alpha_x \ C_x^T C_x + \alpha_y \ C_y^T C_y + \alpha_z \ C_z^T C_z \tag{19-f}$$

[\] Jacobwin

^r Damping factor

قابلقبول تری میدهد که به صورت زیر است [Loke and Barker, 1995]:

$$(J^{T}J + \lambda F)\Delta q = J^{T}R_{d}g - \lambda F_{R}q_{k}$$

$$(\Upsilon - \Upsilon)$$

$$F = \alpha_x \ C_x^T R_m C_x + \alpha_y \ C_y^T R_m C_y + \alpha_z \ C_z^T R_m C_z \tag{1-4}$$

R_a و *R_m* ماتریسهای وزنی هستند. برای محاسبه مقاومتویژه سه روش وجود دارد: روش تحلیلی، روش جز مرزی^۱ و روش اجزاء محدود و تفاضل محدود. روش تحلیلی دقیق ترین روش است ولی استفاده از این روش محدود به چند شکل هندسی ساده (کره و استوانه) است. روش جز مرزی از انعطاف پذیری بیشتری برخوردار است اما در این روش نیز تعداد نواحی با مقدار مقاومتویژه متفاوت محدود است (معمولاً کمتر از ۱۰ لایه). در بررسیهای مهندسی و زیست محیطی می توان توزیع مقاومتویژه در زیر سطح را به صورت اختیاری در نظر گرفت. درنتیجه روشهای اجزاء محدود و تفاضل محدود تنها گزینههای کاربردی هستند. 2004 دو روش مذکور می توانند زیر سطح را به هزاران سلول با مقاومتویژههای متفاوت تقسیم کنند [2004

4–6 روشهای عددی برای حل مسائل وارونسازی

از میان روشهای عددی حل مسائل وارونسازی، روش کمترین مربعات به دلیل سادگی ریاضی، از پرطرفدارترین روشها است. همچنین به دلیل اینکه در الگوریتم یکی از نرمافزارهای مورد استفاده در این پایاننامه، این روش به کار برده شده است، به توضیح آن پرداخته می شود. در این مدل سازی قبل از هر چیز به یک مدل فرضی اولیه برای انجام مدل سازی نیاز می باشد [Loke and Lane, 2004].

مدل اولیه در نرمافزار Res2dinv یک مدل همگن متناسب با دادههای مشاهدهای است، به گونهای که

¹ Bounary element method

منجر به تغییرات شدید در مراحل تکرار نشود. پس از تخمین مدل اولیه نوبت به تصحیح این مدل با هدف رسیدن به تطابق قابل قبول با داده های صحرایی می رسد. برای این منظور دو روش مورد استفاده قرار می گیرد که عبارتاند از روش کمترین مربعات گوس – نیوتن و روش شبه نیوتن ۲.

۴-۵-۱ روش کمترین مربعات گوس – نیوتن

یکی از روشهای معمول برای حل مسائل غیرخطی، روش بهینهسازی گوس – نیوتن میباشد. این روش بهطور گستردهای در حل مسائل وارونسازی ازجمله در نرمافزار Res2dinv به کار میرود [Sasaki, 1992]. روش مدلسازی وارون کمترین مربعات گوس – نیوتن در سه مرحله انجام میشود. مرحله اول، محاسبه مقادیر مقاومتویژه ظاهری برای مدل به کار گرفته شده میباشد. این مرحله با استفاده از روش تفاضل محدود یا روش اجزاء محدود انجام میشود. مرحله دوم، محاسبه ماتریس ژاکوبین (ماتریس مشتقات جزئی مرتبه اول) میباشد. این مراحل به ماتریس مشتقات جزئی مرتبه اول) میباشد. این مراحل به میباشد. این مرحله با استفاده از روش تفاضل محدود یا روش اجزاء محدود انجام میشود. مرحله دوم، محاسبه ماتریس ژاکوبین (ماتریس مشتقات جزئی مرتبه اول) میباشد. مرحله سوم حل سیستم معادلات خطی میباشد. این مراحل بهصورت تناوبی تکرار میشوند تا همخوانی مناسبی بین مدل فرض شده با مدل صحرایی ایجاد شود و یا برنامه به حداکثر تکرار تعریف شده خود برسد [Loke and Lane, 2004].

از مزایای این روش مدلسازی، نزدیک بودن مدل ساخته شده به وسیله نرمافزار با مدل زمینی در همان تکرارهای اولیه می باشد. اما به دلیل محاسبه ماتریس ژاکوبین در هر تکرار این روش زمان بر بوده و نیاز به حافظه زیادی برای مدل سازی دارد [Loke and Lane, 2004].

۲-۵-۴ روش شبهنیوتن

در روش گوس - نیوتن ماتریس ژاکوبین در هر بار تکرار محاسبه می شود [Loke and Lane, 2004].

^{&#}x27; Gauss- Newton

^r Quasi- Newton

روش شبهنیوتن از محاسبه دوباره ماتریس ژاکوبین بهوسیله استفاده از یک روش بهروزرسانی اجتناب می-کند. این روش برای تکرارهای بعدی، ماتریس ژاکوبین را ارزیابی میکند. اگر ماتریس ژاکوبین برای مدل اولیه در اولین تکرار موجود باشد، مشتقات جزئی میتوانند بهطور تحلیلی با استفاده از یک مدل زمین همگن بهعنوان مدل اولیه، محاسبه شوند. روش شبهنیوتن از معادله بهروزرسانی زیر استفاده میکند:

$$B_{i+1} = B_i + u_i P_i^t \tag{17-4}$$

$$B_{i+1}u_i = \frac{\Delta y_i - B_i P_i}{P_i P_i^t} B_i + u_i P_i^t \tag{(YT-f)}$$

$$\Delta y = y_{i+1} - y_i \tag{(7.6-6)}$$

در روابط بالا y_i پاسخ مدل برای i امین تکرار، B_{i+1} تقریب ماتریس ژاکوبین برای i+1 امین تکرار با استفاده از تقریب ماتریس ژاکوبین و P_i و B_i بردار انحراف پارامتر میباشند. لازم به ذکر است که روشهای دیگری نیز برای روش شبهنیوتن وجود دارد. مدلسازی وارون شبهنیوتن در چهار گام اصلی انجام میشود. درگام اول پارامترهایی که فرآیند وارونسازی را کنترل میکنند، باید انتخاب شوند. میرایی اولیه، میرایی کمینه و همچنین ماکزیمم تعداد تکرارها برای این روش مدلسازی تعیین میشوند. بررسیها نشان میدهد که مقادیر ۲/۰ و ۲۰/۰ برای دو عامل میرایی اولیه و میرایی کمینه نتایج رضایت بخشی را برای اکثر دادههای صحرایی ارائه میدهند [Loke and Lane, 2004].

بعضی معیارهای همگرایی مانند خطای RMS ^۱ کمینه باید مشخص شود. برای دادههای صحرایی که سطح دقیق نوفه در آنها مشخص نیست، مناسب تر آن است که از تغییر در خطای RMS استفاده شود که این امر با ضابطه زیر تعریف می شود:

^{&#}x27; Root mean squre

$$e_i = \frac{\varepsilon_i - \varepsilon_{i+1}}{\varepsilon_i} \tag{7\Delta-F}$$

که $\varepsilon_i = \varepsilon_i$ و ε_{i+1} ، خطای RMS برای i امین و i+1 امین تکرار و e_i میزان خطای کمینه میباشد. بهطور معمول فرآیند مدلسازی وارون زمانی که e_i کمتر از ۰/۰۵ است، متوقف میشود.

در گام دوم یک مدل زمین همگن به عنوان مدل اولیه برای اولین تکرار در نظر گرفته می شود. مقاومت ویژه این مدل متناسب با داده های صحرایی بر داشت شده می باشد. لگاریتم مقاومت ویژه این مدل به وسیله میانگین گرفتن از لگاریتم های مقاومت ویژه ظاهری اندازه گیری شده f_i به صورت زیر محاسبه می شود:

$$f(x) = r_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} f_i$$
 (19-4)

حال مقاومت ویژه ظاهری برای مدل جدید با استفاده از روش تفاضل محدود محاسبه می شود. در این رابطه n تعداد نقاط داده ها است. در این مرحله ماتریس ژاکوبین B_0 محاسبه شده و در حافظه رایانه ذخیره می شود. معادله کمترین مربعات نیز برای تعیین بردار انحراف پارامتر P_0 حل می شود. ارزیابی مقاومت ویژه بلوکها به وسیله رابطه (۲۷–۲۲) انجام می شود.

$$r_1 = r_0 + P_0 \tag{(YV-F)}$$

در گام سوم روش بهروزرسانی بیانشده در روش شبهنیوتن برای تقریب ماتریس ژاکوبین B_{i+1} برای تکرار بعدی مورد استفاده قرار می گیرد. به طور معمول اگر خطای RMS در تکرار قبلی کاهش پیدا کرده باشد، عامل میرایی نیز اگر هنوز بزرگتر از M در گام اول باشد، کاهش پیدا می کند. اگر خطای RMS از تکرار قبلی بزرگتر باشد، عامل میرایی نیز اگر هنوز بزرگتر از M در گام اول باشد، کاهش پیدا می کند. اگر خطای RMS از تکرار قبلی بزرگتر باشد، عامل میرایی نیز اگر هنوز بزرگتر از M در استفاده از درونیابی درجه دوم برای پیدا کردن اندازه گام به بینه برای بردار انحراف پردان اندازه ای تکرار قبلی بزرگتر باشد، عامل میرایی نیز اگر هنوز بزرگتر از M در گام اول باشد، کاهش پیدا می کند. اگر خطای RMS از RMS از RMS بیند، عامل میرایی بزرگتر باشد، جستجوی خطی با استفاده از درونیابی درجه دوم برای پیدا کردن اندازه گام به بینه برای بردار انحراف پارامتر P مورد استفاده قرار می گیرد. این مورد معمولاً در یک مدل با یک خطای RMS RMS کمتر رخ می دهد. اگر این روش بازهم مؤثر نباشد، عامل میرایی افزایش پیدا می کند و بردار P_1 دوباره

محاسبه میشود.

در گام چهارم بعد از آن یک مدل جدید بهدست میآید؛ بردار انحراف پارامتر *P_{i+1}، با استفاده از ماتریس* ژاکوبین اندازه گیری شده و *B_{i+1} اندازه گیری شده، محاسبه می شود. مراحل سوم و چهارم مرتباً تکرار می-*شوند تا اینکه برنامه همگرا شود، یا اینکه به ماکزیمم تعداد تکرارها برسد [Loke and Lane, 2004].

روش شبهنیوتن در مقایسه با روش گوس – نیوتن، روشی سریعتر است. زیرا ماتریس ژاکوبین در هر تکرار محاسبه نمی شود. همچنین حافظه کمتری از رایانه را نیز اشغال می کند. این مزایا باعث شده تا در وارون سازی بیشتر روش شبهنیوتن استفاده شود [Loke and Lane, 2004].

۶-۴ وارونسازی هموار دوبعدی بهوسیله نرمافزار Res2dinv

در مدلسازی دوبعدی هموار، از روش بهینهیابی حداقل مربعات استفاده می شود و یک زمین تک لایه همگن به عنوان مدل اولیه در نظر گرفته می شود [Loke and Barker, 1996]. معادله این روش عبارت است از [Loke, 2004]:

$$(J^T J + \lambda F)d = J^T g \tag{YA-F}$$

در این رابطه λ فاکتور تعدیل، J ماتریس ژاکوبین و d بردار آشفتگی مدل و g بردار همگرایی میباشد و F عبارت است از:

$$F = f_x f_x^T + f_z f_z^T \tag{79-F}$$

در این رابطه f_x فیلتر هموارسازی افقی و f_z فیلتر هموارسازی عمودی میباشد. میتوان فاکتور تعدیل و فیلترهای هموارسازی را برای انواع مختلف دادهها تنظیم نمود. برای انجام محاسبات فوق از روشهای تفاضل محدود و یا اجزاء محدود استفاده میشود. در مناطقی که تصحیح توپوگرافی نیاز نیست، نرمافزار بهطور پیش فرض از روش اجزاء محدود استفاده می کند. ابتدا فاکتور تعدیل، یک مقدار بزرگ انتخاب می شود (λ_m) سپس بعد از تکرار این مقدار کاهش می یابد تا به حد مینیمم برسد (λ_m) (که معمولاً ۰/۱ مقدار اولیه است).

$$F = \lambda_m = 0.1\lambda_0 \tag{(...,f)}$$

λ₀
 به سطح نوفه منطقه بستگی دارد. هرچه سطح نوفه بیشتر باشد، مقدار اولیه فاکتور تعدیل هم بیشتر
 است. نرمافزار Res2dinv برای انجام مدلسازی، از روش کمترین مربعات به همراه روش عددی گوس است. نرمافزار Icoke and Dahlin, 2002. برنامه در هر بار تکرار، خطای RMS را
 نیوتن یا شبهنیوتن استفاده می کند [Loke and Dahlin, 2002]. برنامه در هر بار تکرار، خطای RMS را
 محاسبه می کند و سعی در کاهش آن دارد. مقدار خطای جذر میانگین مربعات توسط معادله زیر تعریف می شود [Zohdy, 1989]:

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} \frac{(\rho_{0j} - \rho_{ej})^2}{\rho_{0j}}}{N} \times 100}$$
(٣١-٩)

که ρ_{0j} و ρ_{0j} امین مقاومتویژه مشاهدهشده، ρ_{ej} نیز j امین مقاومتویژه محاسبهشده و N تعداد دادهها است. عموماً روشی که برای وارونسازی دادههای مقاومتویژه دوبعدی و سهبعدی به کار میرود، بر مبنای روش بهینه کمترین مربعات تعمیم دادهشده میباشد [Smith and Vozoff, 1984].

برای مدلسازی دادههای IP و مقاومتویژه از نرمافزار Res2dinv و ZondRes2d استفاده شد. در نرمافزار Res2dinv مدل استفاده شده به عنوان مدل اولیه شامل یکسری بلوکهای مستطیلی دوبعدی می باشد که در شکل (۴–۹) نشان داده شده است. در این مدل تعداد بلوکها با تعداد نقاط دادهها در شبه مقطع مقاومت-ویژه ظاهری برابر است و به یک شیوه مشابه منظم شدهاند. همچنین عمق مراکز بلوکها در محاسبه عمق میانگین تحت بررسی برای بازههای الکترودی مختلف مورد استفاده قرار گرفتند [Loke and Lane, 2004].


شكل ۴-۹: مدل اوليه مورد استفاده در نرمافزار Res2dinv [Loke, 2004].

این نرمافزار، مدلسازی مقاومتویژه و IP را بهطور همزمان انجام میدهد. دادههای IP و مقاومتویژه حاصل از به کارگیری آرایشهای ونر، قطبی – قطبی، دوقطبی – دوقطبی و قطبی – دوقطبی در این نرمافزار قابل مدلسازیاند (امکان تعریف آرایشهای غیرمرسوم دیگری نیز وجود دارد). در این نرمافزار مدلسازی وارون با روش اجزاء محدود و تفاضل محدود برای تعداد زیادی از دادههای صحرایی قابل انجام است. امکان تصحیح توپوگرافی روی شبکه نیز مقدور میباشد. هدف از وارونسازی دادههای ژئوفیزیکی، ارائه مدلی است که بیشترین تطابق را با دادهای صحرایی داشته باشد. در حقیقت مدل بهدست آمده بیانگر یک پاسخ

پارامترهای مدل در مرحله تکرار در فرآیند وارونسازی، آنقدر تغییر میکنند تا بیشترین تطابق بین پاسخ مدل ارائه شده و دادههای صحرایی حاصل گردد. همچنین مدل بهدست آمده باید با دادههای زمین-شناسی تطبیق داده شود تا صحت آن نیز از نظر زمینشناسی مورد تأیید قرار گیرد [Loke, 2004].

۷-۴ نرمافزار ZondRes2d

نرمافزار ZondRes2d یک برنامه کامپیوتری برای مدلسازی دو و نیم بعدی دادههای برداشتشده با استفاده از روش تصویرنگاری الکتریکی است. مدلسازی دو و نیم بعدی یعنی، در حالی که ساختارهای زمین شناسی دوبعدی در نظر گرفته می شود؛ چشمه میدان سه بعدی است [Kaminsky, 2001-2013]. در این نرم افزار، روش اجزاء محدود به عنوان یک ابزار ریاضی جهت حل مسائل مستقیم استفاده می شود. همچنین معکوس سازی توسط روش حداقل مربعات با قید نظم دهی انجام می شود. قید نظم دهی پایداری در حل مسئله را افزایش می دهد و امکان دستیابی به مقادیر مقاومت ویژه و توزیع پتانسیل هموارتر را فراهم می آورد. از ویژگی های این نرم افزار می توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱) پشتیبانی از تمامی آرایشهای الکترودی. ۲) امکان مدلسازی مستقیم و معکوس دادههای مقاومتویژه و IP. ۳) امکان مدلسازی دادههای IP حوزه زمانی و حوزه فرکانسی و به دست آوردن پارامترهای مدل کُل را IP. ۳) امکان مدلسازی دادههای IP و مقاومتویژه، حذف نوفه و ویرایش دادهها در صورت لزوم. ۵) روشهای مختلف وارد کردن اطلاعات کمکی نظیر اطلاعات زمین شناسی، حفاری و سایر روشهای ژئولیکتریکی (به- مختلف وارد کردن اطلاعات کمکی نظیر اطلاعات زمین شناسی، حفاری و سایر روشهای ژئولیکتریکی (به- مختلف وارد کردن اطلاعات کمکی نظیر اطلاعات زمین شناسی، حفاری و سایر روشهای ژئولیکتریکی. ۶) مختلف وارد کردن اطلاعات کمکی نظیر اطلاعات زمین شناسی، حفاری و سایر روشهای ژئولیکتریکی. ۶) مختلف وارد کردن اطلاعات کمکی نظیر اطلاعات زمین شناسی، حفاری و سایر روشهای ژئولیکتریکی. ۶) منوان مثال مغناطیس سنجی و گرانی سنجی) جهت اعتبار سنجی و تفسیر دقیق تر مدلهای ژئولیکتریکی. ۶) به منطور بررسی دقیق تر مدلهای ژئولیکتریکی. ۸) منایش خطوط هم پتانسیل و خطوط جریان به منظور بررسی دقیق تر مدلهای ژئوالکتریکی. ۸) مدلی به منظور بررسی دقیق تر مدلهای ژئوالکتریکی. ۸) قابلیت انجام تکرارهای نامحدود برای دستیابی به مدلی به منظور برای کمتر.

IP عملیات صحرایی برداشت دادههای مقاومت ویژه و IP

به منظور برداشت داده های صحرایی مقاومت ویژه و IP، با توجه به شواهد و اطلاعات زمین شناسی موجود، شبکه ای مستطیلی با ابعاد ۱۶۵۰×۷۵۰ متر و با آرایش قطبی – دوقطبی در ۴۴۲ ایستگاه برداشت و در قالب ۱۷ پروفیل موازی با یکدیگر (شکل۴–۱۰ تا ۴–۱۲)، عمود بر امتداد ساختارهای زمین شناسی در جهت شمال شرق – جنوب غرب، به فاصله ۱۰۰ متر از یکدیگر (به جز پروفیل ۱ و ۲ که با فاصله ۱۵۰ متری از

[\]Cole-cole

همدیگر قرار گرفتهاند) برای دو پارامتر بارپذیری بر حسب میلی ثانیه و مقاومتویژه ظاهری بر حسب اهم متر (مجموعاً ۳۳۱۵ نقطه) اندازه گیری شد. هر یک از این پروفیل ها دارای فاصله الکترودی ۳۰ متر و گام ۱ تا ۱۰ برای الکترودهای غیرپلاریزه پتانسیل میباشند.



شکل ۴-۱۰: موقعیت ایستگاههای برداشت ژئوفیزیکی بر روی نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰ محدوده مورد مطالعه [مهندسین مشاور کاوشگران، ۱۳۹۱].



شکل ۴-۱۱: موقعیت ایستگاههای برداشت ژئوفیزیکی بر روی تصویر ماهوارهای محدوده مورد مطالعه.



شکل ۴-۱۲: موقعیت ترانشهها و گمانههای حفرشده در منطقه نسبت به پروفیلهای IP و مقاومتویژه.

۹-۴ تجهیزات برداشت

پس از بازدید اولیه از منطقه و طراحی پروفیلها، کار پیادهسازی نقاط در زمین و آمادهسازی آنها برای برداشت انجام شد. پیادهسازی نقاط با استفاده از دستگاه GPS Garmin XL انجام گرفت. در حالت کلی برای نقاطی که جریان به آنها وصل میشد در حدود نیم متر حفرشده و فویل آلومینیومی در داخل زمین قرار می گرفت (شکل ۴–۱۳). همچنین برای انتقال بهتر جریان و رسانندگی بیشتر، کلیه چالههای حفرشده با محلول آب و نمک به میزان حدود ۵ الی ۱۰ لیتر پر می شدند. تجهیزات برداشت شامل یک دستگاه گیرنده IP و مقاومتویژه Scintrex IPR12 ساخت کشور کانادا (شکل ۴–۱۴)، فرستنده 2000 P-V ولتی، ژنراتور ۳ کیلوواتی، قرقرههای سیم و الکترودهای برداشت بوده است. الکترودهای پتانسیل برداشت به صورت ظرفهای پلاستیکی بود که انتهای آنها بهمنظور داشتن خاصیت تراوایی از جنس سفال می باشد. درون الکترودها از محلول کات کبود (سولفات مس آبدار) پر شده و میله ای توپر مسی در داخل آن قرار گرفته و از طریق سیمهای برداشت به گیرنده متصل شدهاند.



شکل ۴-۱۳: شیوه قرار دادن فویل آلومینیومی در محلهایی که جریان برق به زمین متصل میشود.



شکل ۴-۱۴: دستگاه گیرنده Scintrex IPR12 مورد استفاده در برداشت دادههای IP و مقاومتویژه. عملیات برداشت مقاومتویژه و IP در محدوده معدن طلای زرشوران واقع در استان آذربایجان غربی به مدت ۳۰ روز در تابستان ۱۳۹۵ انجام گرفت. در شکلهای (۴–۱۵)، (۴–۱۶) و (۴–۱۷) تصاویری در مورد فاصله نقاط برداشت، توپوگرافی محدوده، دستگاه و چگونگی برداشت آورده شده است.



شکل ۴-۱۵: تصویر امتداد یکی از پروفیلهای برداشت بر روی توده آهکی و فاصله شماتیک (هوایی) دو نقطه برداشت در منطقه مورد مطالعه.



شکل ۴-۱۶: تصویر گیرنده Scintrex IPR12 به همراه کابلهای برق و اتصالها.



شکل ۴-۱۷: : تصویر الکترود غیرپلاریزه پتانسیل بر روی یکی از نقاط برداشت. همچنین فویل آلومینیومی اتصال جریان به داخل زمین در تصویر مشاهده میشود.

IP مدلسازی وارون دوبعدی و تفسیر مقاطع حاصل از مدلسازی دادههای IP و مقاومتویژه با نرمافزارهای Res2dinv و ZonRes2d

وارونسازی دادههای مقاومتویژه و IP، امکان تعیین موقعیت دقیق بیهنجاریها را فراهم میکند. این کار با وارونسازی مقادیر به روش وارونسازی هموار به کمک نرمافزار Res2dinv انجام میشود. این نرمافزار با به حداقل رساندن خطای RMS (جذر میانگین مربعات) بین مقادیر اندازه گیریشده و مقادیر محاسبهشده به یک مدل فیزیکی از زمین میرسد که با شرایط زمینشناسی انطباق دارد. این مدلها در واقع نمایش دوبعدی مقاومتویژه و IP هستند.

در مطالعه حاضر، تفسیر و مدلسازی وارون هموار دادههای مقاومتویژه و IP به همراه توپوگرافی، با استفاده از نرمافزار Res2dinv برای هفت پروفیل (به دلیل رعایت اختصار) که دادههای معتبری داشتند، صورت گرفت. همچنین بهمنظور مقایسه و اعتبارسنجی مدلهای بهدست آمده، از نرمافزار ZondRes2d استفاده شده است. دادههای این پروفیلها پس از ورود به نرمافزار و انجام تصحیحات اولیه ازجمله حذف دادههای پرت به روش وارونسازی کمترین مربعات، وارونسازی شده و نتایج حاصله بهصورت مقاطع حفرشده در منطقه، مورد بررسی قرار گرفت (به دلیل تغییرات شدید مقادیر مقاومتویژه در نزدیکی سطح، جهت دقت بیشتر در فرآیند مدلسازی وارون دوبعدی، از نصف آرایه الکترودی (۱۵ متر) استفاده گردید).

P1 تفسیر نتایج مدلسازی وارون پروفیل P1

پروفیل ۱ شمالی ترین پروفیل محدوده می باشد. فاصله نقاط برداشت در این پروفیل ۳۰ متر و طول پروفیل در حدود ۷۲۰ متر است. شروع این پروفیل با قرار دادن الکترود جریان بر روی ایستگاه 691400 = X و 4065225 = Y آغاز و اندازه گیری در جهت شمال شرق ادامه یافته، به طوری که آخرین الکترود پتانسیل بر روی ایستگاه 691804 ¥ و X= 4065857 ¥ قرار گرفته است. به این ترتیب ۱۰ گام برای الکترود جریان و جمعاً ۱۹۳ نقطه بر روی این پروفیل برای دو پارامتر بارپذیری ظاهری بر حسب میلی ثانیه و مقاومت ویژه ظاهری بر حسب اهممتر (Ω. *m*) اندازه گیری شده است. شکلهای (۴–۱۸) و (۴–۱۹) به ترتیب شبه مقاطع مقاومت ویژه و IP را بر روی پروفیل شماره یک به همراه مدل نشان می دهند. برای پروفیل های بعدی به دلیل رعایت اختصار از نشان دادن شبه مقاطع صرف نظر شده است. همچنین شکل های (۴–۲۰) و (۴–۲۰) دتایج مدل سازی وارون پروفیل شماره یک را به همراه توپوگرافی، به ترتیب با استفاده از نرم افزار Res2dinv و ZondRes2d

در بخش غربی این پروفیل با توجه به سنگشناسی محدوده، تناوبی از سنگ آهک، سنگ آهکهای دولومیتی و میکا شیست مشاهده میشود؛ که مقادیر بالای مقاومتویژه در ابتدای پروفیل میتواند ناشی از وجود سنگهای مقاوم منطقه باشد. بر روی نقشه IP این پروفیل، حداکثر مقادیر بارپذیری با رنگ بنفش نشان داده شده است. مقادیر بالای بارپذیری در ابتدای پروفیل احتمالاً میتواند به دلیل وجود شیل باشد. بیهنجاریای که در فاصله تقریبی ۵۲۰ متری از ابتدای پروفیل قرار دارد؛ احتمالاً در ارتباط با زون کانی-سازی موجود در منطقه است. عمق تقریبی ۵۲۰ متری از ابتدای پروفیل قرار دارد؛ احتمالاً در ارتباط با زون کانی-یهدنجاریای که در فاصله تقریبی ۵۲۰ متری از ابتدای پروفیل قرار دارد؛ احتمالاً در ارتباط با زون کانی-سازی موجود در منطقه است. عمق تقریبی این بیهنجاری از ۵۰ متری شروع شده و تا ۱۰۰ متری ادامه پیدا می کند (شکل ۴–۲۰). مدلهای دوبعدی مقاومتویژه و IP حاصل از این پروفیل با استفاده از نرمافزار پیدا می کند (شکل ۴–۲۰). مدلهای دوبعدی مقاومتویژه و IP حاصل از این پروفیل با استفاده از نرمافزار در میک (۴–۲۰) و (۴–۲۱) مشاهده میشود، مناطق با بارپذیری بالا و نسبتاً بالا تقریباً در هر دو نرمافزار با هم تطابق خوبی دارند.



شکل ۴-۱۸: شبه مقاطع اندازه گیری شده، محاسبه شده و مدل مقاومتویژه پروفیل شماره یک.



شکل ۴-۱۹: شبه مقاطع اندازه گیری شده، محاسبه شده و مدل IP پروفیل شماره یک.



شکل ۴-۲۰: مدل مقاومتویژه (بالا) و IP (پایین) به همراه توپوگرافی بر روی پروفیل شماره یک با نرمافزار Res2dinv.



شکل ۴-۲۱: نتایج مدلسازی وارون مقطع مقاومتویژه (بالا) و IP (پایین) پروفیل شماره یک با نرمافزار ZondRes2d.

به منظور مقایسه و اعتبارسنجی مدل های به دست آمده، پس از مطالعه دقیق نتایج آنالیز و لیتولوژی گمانه NE_01؛ که بر روی پروفیل شماره یک قرار دارد، نمودار گمانه آن ترسیم شد (شکل ۴-۲۲)؛ و درنهایت همخوانی نتایج ژئوفیزیک با نمودار ترسیم شده مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج آنالیز ژئوشیمیایی در گمانه NE_01 دو بازه ۲۰ تا ۱۶ متری و ۵۶ تا ۶۴ متری دارای بیشترین میزان بی هنجاری کانی سازی طلا و سایر عناصر می باشند. تقریباً انطباق خوبی بین نتایج ژئوفیزیک و گسترش کانی سازی فلزی موجود در منطقه وجود دارد. در مناطقی که انطباق چندانی بین نتایج ژئوفیزیک و حفاری وجود ندارد؛ به احتمال زیاد وجود پیریتهای موجود در کانی سازی سبب این امر می باشد. لیتولوژی غالب این گمانه شامل سنگ آهک مربوط به واحد چالداغ موجود در منطقه و به مقدار کمتر ماسه سنگهای موجود در واحد زر شوران می باشد.



شکل ۴-۲۲: نمودار ترسیم شده گمانه NE_01 .

P2 تفسیر نتایج مدلسازی وارون پروفیل P2

این پروفیل در فاصله ۱۵۰ متری جنوبشرق پروفیل ۱ قرار گرفته است. شروع این پروفیل با قرار دادن الکترود جریان بر روی ایستگاه 691525 =X و 4065143 =Y آغاز و اندازه گیری در جهت شمال شرق ادامه یافته، به طوری که آخرین الکترود پتانسیل بر روی ایستگاه 691930 =X و 4065774 =Y قرار گرفته است. به این ترتیب ۱۰ گام برای الکترود جریان و جمعاً ۱۸۴ نقطه بر روی این پروفیل برای دو پارامتر بارپذیری ظاهری بر حسب میلی ثانیه و مقاومتویژه ظاهری بر حسب اهم متر اندازه گیری شده است. شکل های (۴-نرمافزار ۲۰۱۲) و (۴–۲۴) نتایج مدل سازی وارون پروفیل شماره دو را به همراه توپوگرافی، به ترتیب با استفاده از نرمافزار Res2div و Res2div می دهند.

همان طور که از شکل (۴–۲۳) مشاهده می شود، بر روی نقشه مدل IP این پروفیل بی هنجاری هایی در قسمتهای میانی و انتهایی پروفیل دیده می شود. این بی هنجاری ها در قسمتهای مرکزی و انتهایی به نسبت قسمتهای ابتدایی پروفیل، دارای گستردگی بیشتری بوده و در عمق بیشتری قرار دارند. بی هنجاری-های مشاهده شده در قسمت میانی پروفیل، احتمالاً در ارتباط با واحد زر شوران (تناوبی از شیست، سنگ آهک، توف و شیل) هستند که بر روی نقشه زمین شناسی نیز رخنمون آن ها مشخص شده است. هرچند بی هنجاری اصلی که در قسمت انتهایی پروفیل قرار دارد، احتمالاً در ارتباط با کانی سازی ماده معدنی در بی هنجاری اصلی که در قسمت انتهایی پروفیل قرار دارد، احتمالاً در ارتباط با کانی سازی ماده معدنی در بی هنجاری اصلی که در قسمت انتهایی پروفیل قرار دارد، احتمالاً در ارتباط با کانی سازی ماده معدنی در بی هنجاری اصلی که در قسمت انتهایی پروفیل قرار دارد، احتمالاً در ارتباط با کانی سازی ماده معدنی در بی هنجاری اصلی که در قسمت انتهایی پروفیل قرار دارد، احتمالاً در ارتباط با کانی سازی ماده معدنی در بی هنجاری اصلی که در قسمت انتهایی پروفیل قرار دارد دارد احتمالاً در ارتباط با کانی سازی ماده معدنی در داخل سنگهای کربناته باشد. در نقشه مقاومتویژه این پروفیل در قسمتهای میانی به سمت انتهای پروفیل بیشترین مقادیر مقاومتویژه وجود دارد که مطابق با نواحی با بارپذیری بالا می باشد. این مقادیر بالای مقاومتویژه می تواند به دلیل واحدهای آهکی باشد که در واحد زر شوران وجود دارد. مرز بین لایه های اطراف و زون کانی دار در این پروفیل کاملاً مشهود است. همان طور که از شکل (۴–۲۴) مشاهده می شود، در مدل مقاومتویژه، نواحی سطحی در بخشهای ابتدایی پروفیل دارای مقاومتویژه پایینی هستند؛ اما با

مىشود.



شکل ۴-۲۳: مدل مقاومتویژه (بالا) و IP (پایین) به همراه توپوگرافی بر روی پروفیل شماره دو با نرمافزار Res2dinv.



شکل ۴-۲۴: نتایج مدلسازی وارون مقطع مقاومتویژه (بالا) و IP (پایین) پروفیل شماره دو با نرمافزار ZondRes2d.

P3 تفسیر نتایج مدلسازی وارون پروفیل

این پروفیل سومین پروفیل برداشتشده در محدوده است که در ۱۰۰ متری جنوب شرق پروفیل شماره ۲ قرار دارد. فاصله نقاط برداشت در این پروفیل ۳۰ متر و طول کلی پروفیل ۷۲۰ متر است. شروع این پروفیل با قرار دادن الکترود جریان بر روی ایستگاه 691606 = X و 4065088 = Y آغاز و اندازه گیری در جهت شمال شرق ادامه یافته، به طوری که آخرین الکترود پتانسیل بر روی ایستگاه 692013 = X و =Y موفیل با قرار گرفته است. به این ترتیب ۱۰ گام برای الکترود جریان و جمعاً ۱۹۵ نقطه بر روی این پروفیل برای دو پارامتر بارپذیری ظاهری بر حسب میلی ثانیه و مقاومتویژه ظاهری بر حسب اهم متر اندازه گیری شده است. شکلهای (۴–۲۵) و (۴–۲۶) نتایج مدل سازی وارون پروفیل شماره سه را به همراه توپوگرافی، به ترتیب با استفاده از نرمافزار Res2dinv و Res2dinv نشان می دهند.

همان طور که از شکل (۴–۲۵) مشاهده می شود، در نقشه بار پذیری این پروفیل در قسمتهای ابتدایی و مرکزی نواحی با بار پذیری بالاتری نسبت به سایر قسمتهای پروفیل دیده می شود. در فاصله ۳۹۰ متری از ابتدای پروفیل یک بی هنجاری مشاهده می شود که با توجه به مقادیر بار پذیری بالا و مقاومت ویژه متوسط آن، احتمالاً در ار تباط با لیتولوژی واحد زر شوران موجود در محدوده باشد؛ که در قسمت ابتدایی دو پروفیل قبل مشاهده شده است. این بی هنجاری تقریباً از سطح شروع شده و تا عمق بالای ۲۰۰ متری ادامه پیدا قبل مشاهده شده است. این بی هنجاری تقریباً از سطح شروع شده و تا عمق بالای ۲۰۰ متری ادامه پیدا قبل مشاهده شده است. این بی هنجاری تقریباً از سطح شروع شده و تا عمق بالای ۲۰۰ متری ادامه پیدا ان مشاهده شده است. این بی هنجاری تقریباً از سطح شروع شده و تا عمق بالای ۲۰۰ متری ادامه پیدا انتهای پروفیل که در عمق مرکزی و با عمق زیاد به بیشترین مقدار خود رسیده است. مقادیر بالای بار پذیری در موجود در زیر آهک ها هستند. در نقشه مقاومت ویژه این پروفیل مقادیر مقاومت ویژه نسبت به پروفیل قبلی مینرالیزه موجود در زیر آهک ها هستند. در نقشه مقاومت ویژه این پروفیل مقادیر مقاومت ویژه نسبت به پروفیل قبلی موجود در زیر آهک ها هستند. در نقشه مقاومت ویژه این پروفیل مقادیر مقاومت ویژه نسبت به پروفیل قبلی موجود در زیر آهک ها هستند. در نقشه مقاومت ویژه این پروفیل مقادیر مقاومت ویژه نسبت به پروفیل قبلی موجود در زیر آهک ها هستند. در نقشه مقاومت ویژه این پروفیل مقادیر مقاومت ویژه نسبت به پروفیل قبلی موجود در زیر آهک ها هستند. در نقشه مقاومت ویژه این پروفیل مقادیر مقاومت ویژه نسبت به پروفیل قبلی خمت مر شده است. با توجه به نقشه زمین شناسی و همچنین مشاهدات صحرایی در این پروفیل از شدت و مخامت توده های آهکی در قسمتهای ابتدایی پروفیل کمتر شده است. همان طور که از شکل (۴–۲۶) ضمت ها مخامت می مرده این مرده این پروفیل از شدت و ضخامت توده های آهکی در قسمت های آمرد و در مرافزار لایه بندی ها نور که از شکل (۴–۲۶)

شدهاند. با توجه به این که خطای مدلسازی^۱ توسط نرمافزار ZondRes2d (با توجه به قدرت بالای حذف نوفه توسط این نرمافزار) بهمراتب پایین تر از خطای RMS در نرمافزار Res2dinv است؛ اما نتایج حاصل از آنها تطابق قابل توجهی با همدیگر دارند.



شکل ۴-۲۵: مدل مقاومتویژه (بالا) و IP (پایین) به همراه توپوگرافی بر روی پروفیل شماره سه با نرمافزار Res2dinv.



شکل ۴-۲۶: مقطع مقاومتویژه (بالا) و IP (پایین) پروفیل شماره سه با نرمافزار ZondRes2d.

^{&#}x27; Misfit

P4 تفسیر نتایج مدلسازی وارون پروفیل P4

این پروفیل چهارمین پروفیل برداشتشده در محدوده است که در فاصله ۱۰۰ متری جنوب شرق پروفیل ۳ قرار دارد. فاصله نقاط برداشت در این پروفیل ۳۰ متر و طول کلی پروفیل ۷۲۰ متر است. شروع این پروفیل با قرار دادن الکترود جریان بر روی ایستگاه 691692 × و 4065033 = Y آغاز و اندازه گیری در جهت شمال شرق ادامه یافته، به طوری که آخرین الکترود پتانسیل بر روی ایستگاه 692096 = X و =Y مراق فرار گرفته است. به این ترتیب ۱۰ گام برای الکترود جریان و جمعاً ۱۹۵ نقطه بر روی این پروفیل برای دو پارامتر بارپذیری ظاهری بر حسب میلی ثانیه و مقاومتویژه ظاهری بر حسب اهم متر اندازه گیری شده است. شکلهای (۴–۲۷) و (۴–۲۸) نتایج مدل سازی وارون پروفیل شماره چهار را به همراه توپوگرافی، به ترتیب با استفاده از نرمافزار Res2dinv یا توری که تشان می دهند.

همان طور که از شکل (۴–۲۷) مشاهده می شود، در حالت کلی در نقشه بارپذیری این پروفیل در فاصله ۲۴۰ متری از ابتدای پروفیل، در عمق بالای ۱۰۰ متری و بخش های میانی پروفیل، نواحی با بارپذیری بالایی وجود دارد. این بی هنجاری ها که حداکثر مقادیر بارپذیری را از خود نشان می دهند، احتمالاً در ارتباط با شیل های موجود در واحد زر شوران هستند. اما بی هنجاری ای که در فاصله ۵۵۰ متری از ابتدای پروفیل با شیل های موجود در واحد زر شوران هستند. اما بی هنجاری ای که در فاصله ۵۵۰ متری از ابتدای پروفیل قرار دارد و از عمق ۶۰ متری تا عمق بالای ۱۵۰ متری گسترده شده است، احتمالاً در ارتباط با زون کانی سازی موجود در منطقه است. نقشه مقاومتویژه نیز بیشترین مقادیر مقاومتویژه را بر روی بی هنجاری با بارپذیری بالا از خود نشان می دهد. برای این بی هنجاری با مقادیر نسبتاً بالای بارپذیری و حداکثر مقدار مقاومتویژه، شیبی تقریبی به سمت جنوب غرب مشاهده می شود. نواحی ای که دارای بیشترین مقدار مقاومتویژه هستند و در قسمت انتهای پروفیل قرار دارند، احتمالاً در ارتباط با تودهای کلسیتی هستند. همان طور که از شکل (۴–۲۸) مشاهده می شود، محدوده های با مقادیر بالای مقاومتویژه با اندکی جابجایی همان طور که از شکل (۴–۲۸) مشاهده می شود، محدوده های با مقادیر بالای مقاومتویژه با اندکی جابجایی در راستای پروفیل، در مدل مقاومتویژه حاصل از نرمافزار ZondRe2d نیز شناسایی شده است. از طرفی به نظر میرسد در این مقطع نوفهها بهنسبت، بهتر از مقطع حاصل از نرمافزار Res2dinv حذف شده است. نکته قابلتوجه این است که در مدل IP حاصل از نرمافزار ZondRes2d، مقادیر با حداکثر مقدار بارپذیری در انتهای پروفیل و مقادیر با بارپذیری نسبتاً بالا، در ابتدای پروفیل قرار گرفتهاند (برعکس مدل بهدست آمده از نرمافزار Res2dinv).



شکل ۴-۲۷: مدل مقاومتویژه (بالا) و IP (پایین) به همراه توپوگرافی بر روی پروفیل شماره چهار با نرمافزار Res2dinv.



شکل ۴-۲۸: مقطع مقاومتویژه (بالا) و IP (پایین) پروفیل شماره چهار با نرمافزار ZondRes2d بهمنظور مقایسه و اعتبارسنجی مدلهای بهدست آمده، پس از مطالعه دقیق نتایج آنالیز و لیتولوژی

گمانه SG_9X؛ که در نزدیکی پروفیل شماره ۴ قرار دارد، نمودار گمانه آن ترسیم شد (شکل ۴-۲۹)؛ و درنهایت همخوانی نتایج ژئوفیزیک با نمودار ترسیمشده مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج آنالیز ژئوشیمیایی در گمانه YG_08، بازه ۱۶ تا ۸۰ متری دارای بیشترین میزان ناهنجاری کانیسازی طلا و سایر عناصر میباشد. بر اساس نتایج ژئوفیزیک نیز، یک بیهنجاری در فاصله ۵۴۰ متری از ابتدای پروفیل، از عمق ۶۰ متری تا عمق بالای ۱۵۰ متری گسترده شده است. انطباق نسبتاً خوبی بین نتایج ژئوفیزیک و گسترش کانیسازی فلزی موجود در منطقه وجود دارد. لیتولوژی غالب این گمانه شامل سنگ



شکل ۴-۲۹: نمودار ترسیم شده گمانه YG_08.

P5 تفسیر نتایج مدلسازی وارون پروفیل P5

این پروفیل پنجمین پروفیل برداشتشده در محدوده است که در ۱۰۰ متری جنوب شرق پروفیل شماره ۴ قرار دارد. فاصله نقاط برداشت در این پروفیل ۳۰ متر و طول کلی پروفیل ۷۲۰ متر است. شروع این پروفیل با قرار دادن الکترود جریان بر روی ایستگاه 691776 X = 4064978 و Y = 14064978 و X = 692180 جهت شمال شرق ادامه یافته، به طوری که آخرین الکترود پتانسیل بر روی ایستگاه 692180 X = 692180 جهت شمال شرق ادامه یافته، به طوری که آخرین الکترود پتانسیل بر روی ایستگاه 692180 این پروفیل 14065610 قرار گرفته است. به این ترتیب ۱۰ گام برای الکترود جریان و جمعاً ۱۸۷ نقطه بر روی این پروفیل برای دو پارامتر بارپذیری ظاهری بر حسب میلی ثانیه و مقاومت ویژه ظاهری بر حسب اهم متر اندازه گیری شده است. شکلهای (۴ – ۳۰) و (۴ – ۳۱) نتایج مدل سازی وارون پروفیل شماره پنج را به همراه توپوگرافی، به ترتیب با استفاده از نرم افزار Ne کرفته این ترتیب کره میلی ثانیه و مقاومت ویژه ظاهری بر حسب اهم متر اندازه گیری به مده است. شکلهای (۴ – ۳۰) و (۳ – ۳۱) نتایج مدل سازی وارون پروفیل شماره پنج را به همراه توپوگرافی، به ترتیب با استفاده از نرم افزار Ne کرفته کره کره کره کره کره کره در می می کره کره کره در می در می می کره کره کره در این می دهند.

همان طور که از شکل (۴–۳۰) مشاهده می شود، در این پروفیل در قسمت های میانی پروفیل نواحی با بالاترین شدت بارپذیری مشاهده می شود. در مقایسه با پروفیل های قبلی، بی هنجاری ها تقریباً در شرایط یکسانی با این پروفیل نیز قرار دارند، ولی نسبت به دو پروفیل قبلی دارای عمق بیشتری بوده و به سمت شمال شرق کشیده شده اند. در نقشه مقاومت ویژه این پروفیل نیز نواحی ای که دارای بیشترین مقدار مقاومت-ویژه هستند در قسمت های میانی و انتهایی پروفیل قرار گرفته اند؛ که بر اساس نقشه زمین شناسی منطقه، بخش های میانی پروفیل، منطبق بر آهک های موجود در واحد زر شوران هستند. همچنین از فاصله ۳۶۰ بخش های میانی پروفیل، منطبق بر آهک های موجود در واحد زر شوران هستند. همچنین از فاصله ۳۶۰ متری تا فاصله ۲۰۰ متری از ابتدای پروفیل، زون مینرالیزه موجود در منطقه قابل مشاهده است. بنابراین بی هنجاری ای که در فاصله تقریبی ۵۲۰ متری از ابتدای پروفیل قرار دارد؛ احتمالاً ناشی از همین زون مینرالیزه موجود در منطقه است؛ که مقادیر بارپذیری متوسط به بالایی را نشان می دهد. همان طور که از شکل (۴–۳۱) مشاهده می شود، مدل مقاومت ویژه به دست آمده از نرمافزار گرافتابق بالایی با مینرالیزه موجود در منطقه است؛ که مقادیر بارپذیری متوسط به بالایی را نشان می دهد. همان طور که از شکل (۴–۳۱) مشاهده می شود، مدل مقاومت ویژه به دست آمده از نرمافزار ZondRes2d توابر در از بایی با مدل به دست آمده از نرمافزار Res2din دارد؛ ولی در مدل IP آن، حداکثر مقادیر بارپذیری با وسعت



شکل ۴-۳۰: مدل مقاومتویژه (بالا) و IP (پایین) به همراه توپوگرافی بر روی پروفیل شماره پنج با نرمافزار Res2dinv.



شکل ۴-۳۱: نتایج مدلسازی وارون مقطع مقاومتویژه (بالا) و IP (پایین) پروفیل شماره پنج با نرمافزار ZondRes2d. به منظور مقایسه و اعتبار سنجی مدل های به دست آمده، پس از مطالعه دقیق نتایج آنالیز و لیتولوژی گمانه YG_02؛ که در نزدیکی پروفیل شماره ۵ قرار دارد، نمودار گمانه آن ترسیم شد (شکل ۴-۳۲).

همچنین نتایج حاصل از آنالیز عنصری نمونههای برداشتشده از ترانشه 01-TR-1Y؛ که در محل مختصات 4065420 =X، 4065420 =Y، به طول ۷۰ متر، عرض یک و نیم متر و عمق یک تا پنج متر و ترانشه -Y1 702 =X، 105420 =X، دمحل مختصات 4065433 =X، به طول ۱۳۶ متر، عرض دو متر و عمق یک تا شش متر، تقریباً به موازت پروفیل شماره پنج، بر روی زون مینرالیزه موجود در منطقه حفر شده، و درنهایت آن را قطع کرده بودند، بررسی؛ و نمودار مربوط به تغییرات عناصر طلا و روی در طول این ترانشه ترسیم شد (شکل ۴–۳۳ و ۴–۳۴). مشخصات و نتایج حاصل از آنالیز نمونههای برداشتشده از این ترانشهها در جدول (۴–۳) و (۴–۴) آمده است. درنهایت همخوانی نتایج ژئوفیزیک با نمودارهای ترسیم شده مورد بررسی قرار گرفت.

با توجه به نتایج آنالیز نمونههای برداشتشده از ترانشههای OT-TR-01 و Y1-TR-7R، تقریباً در تمام طول این دو ترانشه، آثار کانیسازی دیده میشود. همچنین نمودارهای رسم شده در شکلهای (۴–۳۳) و (۴–۴۳) بهخوبی تغییرات عنصر طلا و روی را در طول ترانشه نشان میدهند؛ که تصدیق کننده نتایج مدل-سازی ژئوفیزیکی در سطح هستند. همچنین بر اساس نتایج آنالیز ژئوشیمیایی عناصر در گمانه OL-YG، سازی ژئوفیزیکی در سطح هستند. همچنین بر اساس نتایج آنالیز ژئوشیمیایی عناصر در گمانه YG_02، در تمام طول گمانه، کانیسازی طلا و سایر عناصر مشاهده میشود؛ که در بازه ۹۵ تا ۱۳۰ متری، میزان این ناهنجاری به حداکثر مقدار خود میرسد؛ که تصدیق کننده مدلسازیهای ژئوفیزیکی در عمق مذکور هستند. در حالت کلی انطباق خوبی بین نتایج ژئوفیزیک و گسترش کانیسازی فلزی موجود در منطقه وجود دارد.



شكل ۴-۳۲: نمودار ترسيم شده گمانه YG_02.



شکل ۴-۳۳: نمودار ترسیم شده تغییرات ژئوشیمیایی عناصر طلا (سمت راست) و روی (سمت چپ) در طول ترانشه -Y1 TR-01.



شکل ۴-۳۴: نمودار ترسیمشده تغییرات ژئوشیمیایی عناصر طلا (سمت راست) و روی (سمت چپ) در طول ترانشه -Y1 TR-02.

Trenchs Name	Azimuth		Sample Position (m)	Au (ppb)	Zn (ppm)	As (ppm)	Cd (ppm)	Sb (ppm)	Sample Position (m)	Au (ppb)	Zn (ppm)	As (ppm)	Cd (ppm)	Sb (ppm)
	N100/20	0-2	0.5	161	2810	5806.9	98.5	37.2	22.5	677	1635	264.8	53.9	56.3
	N180/-20	(m)	2	205	2659	8751.8	155.1	55.1	23	572	1284	8134	32.4	24.2
Y1-TR- 01	NI400/40	2-4 (m)	3.5	309	4019	8199.8	240.8	68.2	24	385	735	2296.8	26.7	22.9
	N180/-10		5	118	7194	8130.3	122.9	75.1	25.5	519	2280	4871.6	69.8	41.3
	N200 (0	4-5 (m)	6.5	238	3511	8055.9	85	117	26.5	457	1004	2619	30.3	35.4
	N200/-8		7.5	307	2160	9082.7	85	69.8	27.5	772	450	1334.3	16.6	11.9
	N210/-10	5-	8.5	520	3180	8346.7	126	100	30	278	384	1605	24.7	13.8
		(m)	9.5	93	2707	8709.1	114.7	44.1	32.5	190	293	1192.6	30.2	9.6
	N210/-5	10-	10.5	318	2865	6908.6	72.9	105.9	35.5	286	344	6917.5	82.2	107.8
		(m)	11.5	239	3169	8406.6	100.8	110.4	39	187	480	5621.8	42.8	96.3
	N220/-2	12-	12.5	187	2748	8476.8	73.9	95.6	41	359	820	6588	70.9	147.3
		16 (m)	13.5	216	2276	6312.9	65.5	63.9	43	681	1143	4241.4	33	107
		16-	14.5	424	3680	8484.7	112.1	100.7	45	481	578	5107.8	35.3	153.6
	N230/-1	28 (m)	15.5	579	5428	2353.8	190.1	107.4	47	1045	1052	3333	25.8	38.4
		28-	16.5	216	3085	7715	75.9	84.9	49.5	894	367	2667	21	220.5
	N210/1	42 (m)	17.5	347	2504	5253	62.6	56.6	59	68	539	7759.7	90	145.7
	N250/4	42-	18.5	289	1762	6665.9	53	33.3	61	196	947	9213.3	124.4	176.3
	N250/1	50 (m)	19.5	708	1259	6097.6	49.2	56.3	63	1093	1374	5712.1	52	143.2
		50-	20.5	776	2490	7430.7	96.4	46.8	65	132	553	3881.6	43.3	92.5
	N220/1	70 (m)	21.5	490	2032	4855.2	60.7	47						

جدول۴-۳: نتایج حاصل از آنالیز نمونههای برداشتشده از ترانشه Y1-TR-01.

Trenchs Name	Azimuth		Sample Position (m)	Au (ppb)	Zn (ppm)	As (ppm)	Cd (ppm)	Sb (ppm)	Sample Position (m)	Au (ppb)	Zn (ppm)	As (ppm)	Cd (ppm)	Sb (ppm)
			1	1313	8011	14953.2	373.7	126.8	63.5	159	860	999.7	11.2	1.25
	N260/1.5	0-10 (m)	3	871	4338	5341.1	109.5	177.5	68	12	133	107	1.3	0.96
			5	717	5253	6571.4	117.2	79.9	71	204	873	1911.5	28	20.6
		10	7	1516	5321	5407.8	71	49.9	73	21	1393	1796.8	30.1	1.19
	N240/2	20	9	697	3101	4316.3	97.5	18.6	75	21	1693	1882.5	36.7	1.17
		(m)	11	600	3203	4648.1	88.6	36	77	19	325	1703.7	28.7	25.3
		20	13	624	4420	4507.7	74	33.7	85	73	1773	5475	56.6	302.2
	N230/2	20- 40	15	1066	2285	3233.3	48.7	25.7	87	99	552	6069.1	49	234.2
		(m)	17	1107	2956	4124.3	90.2	10.5	89	96	426	3744.7	40.5	247.5
		40	19	612	2311	4329	78.1	17.4	91.5	39	584	3055.6	38.7	225.6
	N230/1	40- 60	21	1081	3306	5271.1	90.8	21.2	94	53	859	4963.8	38.8	184.9
		(m)	23	439	5325	5608.2	86.2	38.2	95.5	61	2782	595.8	32	302
	N280/0	60- 61 (m)	25	193	3432	3419.8	63	18.6	96.5	42	945	2473.4	32.4	174.4
			27	225	1423	2770.9	47.6	15	97.5	73	397	717.6	14.6	106.9
			29	154	846	2341.3	41.8	44.5	98.5	36	1871	1762.9	73.5	425.2
	N240/0	61	31	374	1866	4120.9	45.6	17.1	99.5	49	3467	17866	134	786.9
Y1-TR-		98 (m)	33	315	2539	4336.6	46	24.7	100.5	37	3038	7609.2	76.5	304.9
02			34	211	1009	3205.9	31.1	1.19	101.5	147	586	6341.5	51.2	353.5
	N260/1.5	98- 100 (m)	35.5	311	3070	9150.7	67.2	17.3	103.5	22	57	896.8	6.3	1.2
			36.5	644	18572	3710	160.4	133	105.5	3.75	92	207.9	1.8	0.97
			37.5	3052	45563	1950	244.4	192.6	107	6	90	291.3	2.7	0.9
		100- 113 (m)	39	129	2280	12465	85.6	101.3	109.5	16	59	446.7	3	0.96
	N240/1		40	71	2870	3494.8	227.4	21.9	112.5	41	213	1069	7.5	1.21
			41	196	11763	8155	123.4	332.1	118.5	35	121	721.6	4.7	1.05
		113-	42	95	502	7862.5	53.1	402.9	121.5	62	323	972.9	6.7	1.14
	N210/1	113- 125 (m)	43	42	391	5865.8	31.7	32.9	123.5	34	131	513.9	3.9	0.96
			45	44	1963	4210.1	36.7	19.1	125.5	52	271	364.6	2.5	0.98
		125-	46.5	87	410	3827.5	23.9	33.9	127	12	122	115.9	1.5	1.03
	N220/-2	130	48	316	719	6191.7	45.4	129.3	129	19	272	194.9	2	1
		(11)	49.5	372	975	4857.1	41.1	76.6	131	24	65	143.7	1.1	1.09
			51	106	235	2133.7	12.1	10.7	133	20	119	230	2.1	1
	N220/1	130-	53.5	28	236	2560.4	13.1	1.04	135	12	86	342	2.5	1.02
	11230/-1	(m)	56.5	38	341	773.2	8.6	1.05						
			59.5	146	558	1260.2	8.9	1.08						

جدول ۴-۴: نتایج حاصل از آنالیز نمونههای برداشتشده از ترانشه Y1-TR-02.

P6 تفسیر نتایج مدلسازی وارون پروفیل **P6**

این پروفیل ششمین پروفیل برداشتشده در محدوده است که همامتداد و همروند با پروفیلهای قبلی میباشد. شروع این پروفیل با قرار دادن الکترود جریان بر روی ایستگاه 691859 =X و 4064923 =Y آغاز و اندازه گیری در جهت شمال شرق ادامه یافته است. به این ترتیب ۱۰ گام برای الکترود جریان و جمعاً ۱۹۰ نقطه بر روی این پروفیل برای دو پرامتر بارپذیری ظاهری بر حسب میلی ثانیه و مقاومت ویژه ظاهری بر حسب اهم متر اندازه گیری شده است. شکلهای (۴–۳۵) و (۴–۳۶) نتایج مدل سازی وارون پروفیل شماره شماره شماره تشکره تروفیل شاهری بر مسب اهم متر اندازه گیری شده است. شکلهای (۴–۳۵) و (۴–۳۶) نتایج مدل سازی وارون پروفیل شماره شش را به همراه توپوگرافی، به ترتیب با استفاده از نرمافزار Res2dinv و Res2dinv نشان میدهند.

همانطور که از شکل (۴–۳۵) مشاهده میشود، در نقشه بارپذیری این پروفیل در نواحی مرکزی و همچنین انتهایی، محدودههایی وجود دارد که دارای بارپذیری بالایی نسبت به دیگر قسمتهای پروفیل هستند. بیهنجاریهای مرکزی با توجه به حداکثر مقدار بارپذیریای که از خود نشان دادهاند، در ارتباط با واحد زرشوران هستند؛ ولی نواحیای که دارای بارپذیری بالایی بوده و در فاصله تقریبی ۶۰۰ متری از ابتدای پروفیل و در عمق ۵۰ تا ۱۰۰ متری قرار دارند، احتمالاً در ارتباط با مرز بین زون کربناته و واحد زرشوران هستند؛ که مستعد کانیسازی میباشد. در نقشه مقاومتویژه این پروفیل نیز نواحی با بیشترین مقادیر مقاومتویژه احتمالاً در ارتباط با سنگهای آهکی موجود در منطقه بهخصوص در ابتدا و انتهای پروفیل میباشند. با توجه به شکل (۴–۳۶)، مدلهای مقاومتویژه و IP بهدست آمده از نرمافزار پروفیل میباشند. با توجه به شکل (۴–۳۶)، مدلهای مقاومتویژه و IP بهدست آمده از نرمافزار پروفیل میباشند. با توجه به شکل (۴–۳۶)، مدلهای مقاومتویژه و IP بهدست آمده از نرمافزار پروفیل محاریهای نشان دادهشده در شکل (۴–۳۵) را تأیید میکنند. این بیهنجاریها هم ازلحاظ محل قرارگیری و هم ازلحاظ شدت بارپذیری و مقاومتویژه، انطباق خوبی با زونهای نشان دادهشده در مقطع IP و مقاومتویژه حاصل از نرمافزار Res2din دارند.



شکل ۴-۳۵: مدل مقاومتویژه (بالا) و IP (پایین) به همراه توپوگرافی بر روی پروفیل شماره شش با نرمافزار Res2dinv.



شکل ۴-۳۶: نتایج مدلسازی وارون مقطع مقاومتویژه (بالا) و IP (پایین) پروفیل شماره شش با نرمافزار ZondRes2d. به منظور مقایسه و اعتبار سنجی مدل های به دست آمده در قسمت های سطحی، پس از مطالعه دقیق

X = Xنتایج حاصل از آنالیز عنصری نمونههای برداشتشده از ترانشه 00-TR (عمق یک تا پنج متر در نزدیکی و از Y = 4065346, 692083 (4065346 با متر، عرض یک تا دو متر و عمق یک تا پنج متر در نزدیکی و از فاصله ۴۸۰ متری از ابتدای پروفیل، به موازت آن، در جهت عکس برداشت پروفیل مورد نظر، در منطقه حفر شده، بررسی؛ و نمودار مربوط به تغییرات عناصر طلا و روی در طول این ترانشه ترسیم شد (کل ۴ – مغر شده، بررسی و نتایج حاصل از آنالیز نمونههای برداشت شده از این ترانشه در جدول (۴ – ۵) آمده است. (۳۷). مشخصات و نتایج ژوفیزیک با نمودار ترسیم شده مورد بررسی قرار گرفت.

با توجه به نتایج آنالیز ژئوشیمیایی، تقریباً در تمام طول این ترانشه، آثار کانیسازی دیده میشود. همچنین نمودار ترسیمشده در شکل (۴–۳۷) بهخوبی تغییرات عنصر طلا و روی را در طول ترانشه نشان میدهد. مدل IP بهدست آمده از این پروفیل نیز، در حدفاصل ۳۵۰ تا ۴۸۰ متری از ابتدای پروفیل، سه زون بیهنجاری را از سطح تا عمق تقریبی ده متری نشان میدهد. بنابراین تطابق خوبی بین نتایج ژئوفیزیک با نتایج حاصل از آنالیز نمونههای برداشتشده از این ترانشه وجود دارد.



۲۱- شکل ۴-۳۷: نمودار ترسیم شده تغییرات ژئوشیمیایی عناصر طلا (سمت راست) و روی (سمت چپ) در طول ترانشه ۲۱-TR-00.

Trenchs Name	Azimuth		Sample Position (m)	Au (ppb)	Zn (ppm)	As (ppm)	Cd (ppm)	Sb (ppm)	Sample Position (m)	Au (ppb)	Zn (ppm)	As (ppm)	Cd (ppm)	Sb (ppm)
	N220/1	0-22 (m)	2.5	44	1041	2978.8	25.7	19.2	95.5	20	5	53.2	0.4	0.95
	N230/-1		7.5	3.75	63	181.5	1.1	1.03	98.5	14	16	82.4	0.6	0.91
	N230/-2	22-33 (m)	12.5	5	61	194.4	1.1	0.82	101.5	6	24	161.4	1	0.93
			17.5	7	92	99.2	0.6	0.99	104	3.75	12	160	1.3	1.09
	N210/ 2	33-63	22.5	31	62	85.8	0.4	0.96	108	9	44	244.8	1.4	1.01
	N210/-2	(m)	27.5	11	24	65.6	0.25	0.96	113	15	134	64.9	0.6	1.02
	N200/-2	63-84	31	9	18	217.2	1.3	0.9	117.5	10	130	97.2	0.9	0.94
		(m)	34.5	3.75	13	175.6	1.2	0.94	122.5	10	84	91.2	0.7	0.89
Y1-TR-	N220/-1	84-93 (m)	37.5	3.75	53	265.8	1.9	0.93	128	3.75	141	62.1	0.5	8.5
			40.5	3.75	34	118.2	0.7	0.9	132	47	1323	1621.1	20.5	21.4
	N230/1	93-100 (m)	43.5	15	73	177.5	1.5	0.97	135	57	237	384.4	7.1	1.1
			46.5	3.75	56	225.9	1.3	0.92	138	55	2200	2101.8	15.9	0.98
00	N210/1	100-120 (m)	49.5	3.75	4	56.3	0.5	0.88	140	18	1492	881.7	11.5	0.98
			54	6	6	239.6	1.5	0.92	142	13	416	423.9	4.6	1.21
	N240/1	120-134 (m)	58.5	19	34	342.4	2	0.97	144	5	1055	1009	12.4	11.6
	11240/1		62.5	53	155	155.2	1.6	1	146	3.75	781	1229	10.3	0.96
	N250/1	134-146	67.5	59	187	357.3	3.2	1.1	148	6	20	725	4.4	1.23
	11250/1	(m)	72.5	49	764	899.9	9	1.07	149.5	3.75	32	907.9	5.4	1.1
	N260/1	146-150	77	22	1029	809.8	6.3	1.05	150.5	5	83	1071.2	5.5	0.98
	11200/1	(m)	80	14	173	298.3	2.3	0.99	152	10	71	627.2	3.9	0.97
	N280/2	150-166	83	3.75	68	215.5	1.5	0.88	154	6	65	273.4	1.8	1.01
	1200/2	(m)	86	16	731	736.3	5.5	1.09	156	23	121	643.8	3.9	1.03
	N300/2	166-170	89.5	13	338	362.2	2.9	0.97	158.5	54	57	203.5	1.3	1.02
	N300/2	(m)	92.5	3.75	79	153.2	1.3	0.9						

جدول ۴-۵: نتایج حاصل از آنالیز نمونههای برداشت شده از ترانشه Y1-TR-00.

₽7 تفسیر نتایج مدلسازی وارون پروفیل P7

شروع این پروفیل با قرار دادن الکترود جریان بر روی ایستگاه 491943 X و X= 691943 اندازه گیری در جهت شمال شرق ادامه یافته است. به این ترتیب ۱۰ گام برای الکترود جریان و جمعاً ۱۹۰ نقطه بر روی این پروفیل برای دو پارامتر بارپذیری ظاهری بر حسب میلی ثانیه و مقاومتویژه ظاهری بر حسب اهم متر اندازه گیری شده است. شکل های (۴–۳۸) و (۴–۳۹) نتایج مدل سازی وارون پروفیل شماره هفت را به همراه توپوگرافی، به ترتیب با استفاده از نرمافزار Res2dinv و ZondRes2d نشان میدهند.

با توجه به شکل (۴–۳۸)، در نقشه بارپذیری این پروفیل، در قسمتهای مرکزی و عمقی یک بیهنجاری با شدت بارپذیری نسبتاً بالایی مشاهده میشود. همچنین در فاصله ۵۴۰ متری از ابتدای پروفیل، از نزدیکی سطح تا عمق بالای ۱۵۰ متری، یک بیهنجاری قابل مشاهده است؛ که رفتهرفته با افزایش عمق، میزان بارپذیری در آن افزایش پیدا می کند. بیهنجاری مربوط به قسمتهای مرکزی پروفیل، احتمالاً در ارتباط با لیتولوژی موجود در واحد زرشوران است؛ که در بالای تودههای آهکی قرار دارند. در نقشه مقاومتویژه این پروفیل نیز در انتهای پروفیل نواحیای که دارای بارپذیری بالایی هستند مقاومتویژه پایینی را از خود نشان می دهند؛ که این اثر در تمامی پروفیلهای قبلی مشاهده شده است. این خاصیت احتمالاً نشاندهنده کانیسازی در مرز بین کربناتها و واحد زرشوران در قسمتهای عمقی است. نواحی مرکزی و قسمتی از نواحی ابتدایی پروفیل نیز مقاومتویژه بالایی را نشان می دهند که در ارتباط با توده سنگهای تراورتن می هستند. مدلهای **P** و مقاومتویژه به دست آمده از نرمافزار ZondRes2d نیز، تأییدکننده بیهنجاریهای مشاهده شده در مقاطع حاصل از نرمافزار Res2d هستند. البته باید توجه داشت که بی هنجاریهای



شکل ۴-۳۸: مدل مقاومتویژه (بالا) و IP (پایین) به همراه توپوگرافی بر روی پروفیل شماره هفت با نرمافزار Res2dinv.



شکل ۴-۳۹: نتایج مدلسازی وارون مقطع مقاومتویژه (بالا) و IP (پایین) پروفیل شماره هفت با نرمافزار ZondRes2d. به منظور مقایسه و اعتبارسنجی مدل های به دست آمده در این پروفیل نیز، پس از مطالعه دقیق نتایج آنالیز و لیتولوژی گمانه 10_YG؛ که بر روی پروفیل و در فاصله ۴۸۰ متری از ابتدای آن قرار دارد، نمودار

گمانه آن ترسیم شد (شکل ۴–۴۰). همچنین نتایج حاصل از آنالیز عنصری نمونههای برداشتشده از ترانشه Y1-TR-30؛ که در محل مختصات 692261 = X، 4065345 به بطول ۵۰ متر، عرض دو متر و عمق چهار متر، بر روی پروفیل و در فاصله ۵۸۰ متری از ابتدای آن، در جهت برداشت پروفیل مورد نظر، در منطقه حفر شده، بررسی؛ و نمودار مربوط به تغییرات عناصر طلا و روی در طول این ترانشه ترسیم شد (شکل ۴–۴۱). مشخصات و نتایج حاصل از آنالیز نمونههای برداشتشده از این ترانشه در جدول (۴–۶) آمده است. درنهایت همخوانی نتایج ژئوفیزیک با نمودارهای ترسیم شده مورد بررسی قرار گرفت

با توجه به نتایج آنالیز ژئوشیمیایی ترانشه 30-Y1-TR، تقریباً در تمام طول این ترانشه، آثار کانیسازی دیده میشود. همچنین نمودار ترسیمشده در شکل (۴–۴۱) بهخوبی تغییرات عناصر طلا و روی را در طول ترانشه نشان میدهد. مدل IP بهدست آمده از این پروفیل نیز، در فاصله ۵۸۰ متری از ابتدای پروفیل، یک بیهنجاری را از سطح تا عمق بالای ۱۵۰ متری نشان داده است. همچنین بر اساس نتایج آنالیز ژئوشیمیایی عناصر در گمانه 10_YG، در بازه ۵۶ تا ۱۰۴ متری، بیشترین میزان بیهنجاری کانیسازی طلا و سایر عناصر مشاهده میشود؛ که تصدیق کننده مدل سازیهای ژئوفیزیکی در عمق مذکور هستند. در حالت کلی انطباق خوبی بین نتایج ژئوفیزیک و گسترش کانیسازی فلزی موجود در منطقه وجود دارد.

بهطور کلی با اعتبارسنجی نتایج مدلسازیهای ژئوفیزیکی با استفاده از حفاریهای انجامشده در منطقه، می توانیم به این نتیجه برسیم که با توجه به اینکه در محدوده مورد مطالعه، کانی سازی هم به صورت لایه ای و هم به صورت توده ای وجود دارد، مدل های حاصل از نرمافزار Res2dinv تطابق بیشتری با ساختارهای زیر سطحی نسبت به نرمافزار ZondRes2d دارند و از اعتبار بیشتری نیز بر خوردار هستند.



شكل ۴-۴۰: نمودار ترسيم شده گمانه YG_10.



۲۱-۴ ۲۰۰ نمودار ترسیم شده تغییرات ژئوشیمیایی عناصر طلا (سمت راست) و روی (سمت چپ) در طول ترانشه ۲۱-TR-30.

Trenchs Name	Azimuth	Sam Positic	ple n (m)	Au (ppb)	Zn (ppm)	As (ppm)	Cd (ppm)	Sb (ppm)	Sample Position (m)	Au (ppb)	Zn (ppm)	As (ppm)	Cd (ppm)	Sb (ppm)
Y1-TR- 30			1	2.5	953	302.4	9.5	16.8	24.5	17	168	540.5	4.8	191.9
			2	2.5	1451	386.2	16.8	16.2	26	18	6879	3665.2	54.9	256.3
		0-18 (m)	4.5	2.5	984	306.3	15	1.22	28	38	15613	6368.1	61	453
	N10/-5		8	110	956	807.4	12.9	112.7	30	2.5	1110	502.7	26.8	25.3
			11	28	3027	670.7	47.9	78.5	32	2.5	1059	463	25.9	24.3
			13.5	81	6651	1517.9	36.2	162.7	34	12	2166	713.7	36.7	27.9
		18-50	15	20	7765	2264.3	126.3	338.5	36	41	4998	3011.1	24.4	168.5
			16.5	63	19339	5409.5	53.5	536.3	38	20	1106	1742.4	44.7	257.4
	N40/ 0		18	75	20400	2932.6	55.3	269.4	41.5	10	2120	791.9	78.1	115.2
	N40/-9	(m)	19	122	650	8087.2	103.3	8799.3	47	35	128432	6683.9	157.7	934.6
			21	179	647	12637.2	182.8	15103	49	81	11103	13870.6	162.3	787.8
			23	14	6956	1321.5	27	238.6						

جدول ۴-۶: نتایج حاصل از آنالیز نمونههای برداشتشده از ترانشه Y1-TR-30.

II-4 مقاطع ۲/۵ بعدی دادههای IP و مقاومت ویژه حاصل از نرم افزار ZondRes2d

نمایش پروفیلهای دوبعدی در کنار هم میتواند شمای بهتری از روند تغییرات بیهنجاریها ارائه نماید. شکل (۴–۴۲) نمای ۲/۵ بعدی مقاطع مقاومتویژه حاصل از نرمافزار ZondRes2d را نشان میدهد. همان-طور که مشاهده میشود مقاومتویژه در نواحی سطحی نسبت به نواحی با عمق بیشتر، کمتر است و بخشهای ابتدایی عمده پروفیلها از مقاومتویژه بالایی برخوردار هستند. همان طور که دیده میشود نرم-افزار ZondRes2d قابلیت به نقشه درآوردن نمای ۲/۵ بعدی را دارد؛ که این یک مزیت بسیار مهم این نرمافزار نسبت به نرمافزار Res2dinv است؛ که باعث درک آسان و دقیقتر از زیر سطح زمین و همچنین موقعیت قرارگیری پروفیلها نسبت به همدیگر میشود.



شكل ۴-۴۲: نماى ۲/۵ بعدى مقاطع مقاومتويژه توسط نرمافزار ZondRes2d.

شکلهای (۴–۴۳) تا (۴–۴۶) مقاطع زدهشده در عمقهای ۲۰، ۶۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ متر را که توسط نرمافزار ZondRes2d بهدست آمده است نشان میدهند. این مقاطع در عمقهای مختلف نمایشی از تغییرات مقاومتویژه را نشان میدهند؛ که حسن بارز این کار پی بردن به پیوسته بودن یا نبودن زونهای کانیسازی مشخصشده در هر پروفیل میباشد. نمایش این مقاطع یکی دیگر از مزیتهای مهم نرمافزار ZondRes2d نسبت به نرمافزار Res2div میباشد. نمایش این مقاطع یکی دیگر از مزیتهای مهم نرمافزار ZondRes2d نسبت به نرمافزار Res2div میباشد. نمایش این مقاطع یکی دیگر از ابتدای پروفیلها تا فاصله ۳۵۰ متری، مقادیر مقاومتویژه با افزایش عمق روندی تقریباً افزایشی دارد. هوازدگی و وجود رطوبت در منطقه میتواند دلیل بارزی بر مقاومتویژه پایین در نواحی سطحی باشد؛ اما افزایش مقاومتویژه با افزایش عمق در حالت کلی با توجه به افزایش تراکم و به هم فشردگی بیشتر لایهها در عمق و کم شدن خلل و فرج و کانالهای ارتباطی در سنگها دور از انتظار نیست. همچنین با افزایش عمق قدرت سیگنالهای الکتریکی ارسالی ضعیف می شود؛ که این امر به صورت افزایش (افزایش ناچیز) مقاومت ویژه با عمق همراه خواهد بود. از طرفی با توجه به حضور لایه های آهکی در منطقه در صورت عدم وجود کانی سازی و رطوبت بالا در آن ها، انتظار مقاومت ویژه بالا در این لایه ها نسبت به لایه هایی که حاوی کانی سازی و رطوبت بیشتر هستند، می رود.



شکل ۴-۴۳: مقطع افقی مقاومتویژه در عمق ۲۰ متر.



شکل ۴-۴۴: مقطع افقی مقاومتویژه در عمق ۶۰ متر.


شکل ۴-۴۵: مقطع افقی مقاومتویژه در عمق ۱۰۰ متر.



شکل ۴-۴۶: مقطع افقی مقاومتویژه در عمق ۱۵۰ متر.

شکل (۴–۴۷) نمای ۲/۵ بعدی مقاطع IP حاصل از نرمافزار ZondRes2d را نشان میدهد. همان طور که مشاهده می شود مقاطع IP نیز حاکی از وجود یک بی هنجاری با بارپذیری متوسط به بالا در قسمتهای انتهایی پروفیل ها هستند؛ این بی هنجاری را می توان به کانیزایی ماده معدنی در مرز بین واحد زر شوران و واحد آهکی چالداغ نسبت داد.



شکل ۴-۴۷: نمای ۲/۵ بعدی مقاطع IP توسط نرمافزار ZondRes2d.

شکلهای (۴–۴۸) تا (۴–۵۱) مقاطع زدهشده در عمقهای ۲۰، ۶۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ متر را که توسط نرمافزار ZondRes2d بهدست آمده است، نشان میدهند. همانطور که مشاهده میشود، تغییرات بارپذیری نسب به عمق بهصورت بارزی در این مقاطع آشکار شدهاند، بهطوریکه با افزایش عمق مقدار بارپذیری افزایش پیدا کرده است؛ که میتواند در ارتباط با افزایش حجم، عیار و پراکندگی بیشتر کانیسازی باشد.



شکل ۴-۴۸: مقطع افقی IP در عمق ۲۰ متر.



شکل ۴-۴۹: مقطع افقی IP در عمق ۶۰ متر.



شکل ۴-۵۰: مقطع افقی IP در عمق ۱۰۰ متر.



شکل ۴-۵۱: مقطع افقی IP در عمق ۱۵۰ متر.

IP مدلسازی سهبعدی دادههای مقاومتویژه و IP

در مدلسازی وارون سهبعدی مقاومتویژههای مدل زیرسطحی طوری محاسبه میشوند که پاسخ مدل برابر مقاومتویژه ظاهری اندازه گیریشده در نقاط مشخص روی سطح زمین باشد [Sasaki, 1994; Santos] and Sultan, 2008].

از آنجاکه رابطه بین پارامترهای مدل و دادههای اندازه گیری شده رابطهای غیرخطی است از این رو به منظور وارون سازی، فرآیند تکرار محاسبات برای حل مسئله مورد نیاز است. وارون سازی دادههای مقاومت-ویژه به صورت زیر بیان می شود.

$$\Delta d = J \Delta p \tag{(27-4)}$$

که $\Delta d = d^c - d^{obs}$ بردار اختلاف بین پاسخ مدل و دادههای اندازه گیری شده، Δp بردار تصحیح پارامترهای مدل نسبت به مقدار اولیهاش p_0 و J ماتریس ژاکوبین یا ماتریس مشتقات جزئی پاسخ مدل نسبت به پارامترهای مدل ($J_{ij} = \partial d_i^c / \partial p_j$) است. برای پارامتری کردن مدل طبق رویه معمول، آن را به تعدادی بلوک با مقاومت ویژه ثابت و نامعلوم تقسیم میکنند. برای پایداری عملیات وارونسازی از لگاریتم

مقاومتویژه مدل و دادههای اندازه گیری شده استفاده می شود و سپس در صورتی که خطای دادههای اندازه-گیری شده در اختیار باشد، برای بر آورد صحیح Δp در هر فر آیند تکرار محاسبات تابع هدف زیر باید کمینه شود [Sasaki, 1994].

$$Q = || W_d(\Delta d - J\Delta p) ||^2 + \lambda || C\Delta p ||^2$$
 (۳۳-۴)
با کمینه کردن رابطه فوق، معادلات معمولی زیر نتیجه می شود.

$$(J^T W_d^T W_d J + \lambda C^T C) \Delta p = J^T W_d^T W_d \Delta d \tag{7.4}$$

که W_a ماتریس قطری وزنی است که عناصر آن را عکس مقدار خطای (انحراف معیار) دادهها تشکیل می دهند و عملگر C نیز ماتریس ناهمواری مدل است. پارامتر Λ یک ضریب لاگرانژ است که همواری مدل را حین فرآیند مدلسازی کنترل می کند. با حل دستگاه معادلات معمولی (۴–۳۴) با روشهای متفاوت مثل روش تجزیه مقادیر تکین و یا روش گرادیان مزدوج و با اضافه کردن بردار Δp به مقدار اولیه p_0 , پارامترهای مدل بههنگام می می می می در این فرآیند به صورت تکراری تا جایی ادامه پیدا می کند تا آنکه منطبق نبودن پاسخ مدل مدل به می از این فرآیند به صورت تکراری تا جایی ادامه پیدا می کند تا آنکه منطبق نبودن پاسخ مدل مورد نظر با دادههای اندازه گیری شده کاهش یابد و به حد قابل قبول تعیین شده برسد. به عبارت دیگر پاسخ مدل برازش خوبی با دادههای اندازه گیری شده کاهش یابد و به حد قابل قبول تعیین شده برسد.

در نرمافزار Res3dinv [Loke, 2002] به منظور مدل سازی وارون سه بعدی داده های مقاومت ویژه اندازه -گیری شده از روش کمترین مربعات هموار مقید شده^۲ استفاده می شود. در این روش با فرض اینکه خطای داده های اندازه گیری شده در اختیار نباشد، دستگاه معادلات معمولی داده شده در معادله (۴–۳۴) به صورت زیر اصلاح می شود.

^{&#}x27; Update

^r Smoothness constrained least squares

$$(J^T J + \lambda C^T C) \Delta p = J^T \Delta d$$
 (۳۵-۴)
در این نرمافزار $C^T C$ به صورت زیر تعریف می شود:

$$C^T C = f_x f_x^T + f_z f_z^T \tag{(\%-f)}$$

که f_z و f_z به ترتیب فیلتر هموارسازی افقی و عمودی در مدلسازی هستند. برای حل مسئله وارونسازی دادهها و پارامتری کردن مدل، ساختار زیرسطحی مدل مورد نظر مطابق شکل (۴–۵۲) به چندین لایه تقسیم بندی می شود و هر لایه نیز به تعدادی بلوکهای (سلولهای) مکعب مستطیل شکل که هریک از آنها دارای مقاومت ویژه متفاوت ولی مجهول هستند تقسیم می شود. با تقسیم این سلولها به اجزای کوچک تر، تعداد پارامترهای مدل و نیز زمان مورد نیاز برای وارونسازی این دسته از دادهها به نحو این سلولها به اجزای جم می شود. با تقسیم این سلولها به اجزای کوچک تر، تعداد پارامترهای مدل و نیز زمان مورد نیاز برای وارونسازی این دسته از دادهها به نحو پر می می شود. با تقسیم این سلولها به اجزای مع می شود. با تقسیم این سلولها ما به اجزای کوچک تر، تعداد پارامترهای مدل و نیز زمان مورد نیاز برای وارونسازی این دسته از دادهها مدل و به نحو پر می می شود. با مقاومت ویژه هر یک از سلولها به نحو پر می می شود. با تقسیم این دسته از دادهها ما به اجزای کوچک تر، تعداد پارامترهای مدل و نیز زمان مورد نیاز برای وارونسازی این دسته از دادهها به نحو پر می گوچک تر، تعداد پارامترهای مدل و نیز زمان مورد نیاز برای وارونسازی این دسته از دادهها به نحو پر می گری افزایش می یابد. در مدل ازی وارون هدف این است تا مقاومت ویژه هر یک از سلولهای مدل به طریقی تعیین شوند که پاسخ مدل در تطابق خوبی با دادههای اندازه گیری شده مقاومت ویژه باشد.



شکل ۴-۵۲: مدل سهبعدی زیر سطح زمین که توسط نرمافزار Res3dinv به تعدادی لایه و بلوکهای مکعبی شکل با مقادیر مقاومتویژه متفاوت تقسیم میشود [Loke, 2002].

این برنامه برای مدلسازی، روش کمترین مربعات و روش گوس – نیوتن را به کار میبرد. محاسبات

عددی در این نرمافزار با روشهای تفاوتهای محدود^۱ و اجزای محدود^۲ صورت می گیرد. در روش کمترین مجموع مربعات در هر بار تکرار، برخلاف روش گوس – نیوتن، ماتریس ژاکوبین ساخته نمی شود، بلکه ماتریس قبلی تصحیح می شود. این روش ده مرتبه سریع تر است و حافظه رایانه ای کمتری را برای محاسبات به خود اختصاص می دهد. در ضمن روش سنتی گوس – نیوتن را نیز می توان در این برنامه به کار برد؛ این روش دقیق تر است و حافظه رایانه ای کمتری را برای محاسبات به خود اختصاص می دهد. در ضمن روش سنتی گوس – نیوتن را نیز می توان در این برنامه به کار برد؛ این روش دقیق تر است و حافظه رایانه ای کمتری را برای محاسبات به خود اختصاص می دهد. در ضمن روش سنتی گوس – نیوتن را نیز می توان در این برنامه به کار برد؛ این روش دقیق تر است و برای نواحی ای که اختلاف مقاومت ویژه بین آنها زیاد است، جواب بهتری می دهد. این برنامه این قابلیت را نیز دارد که دو یا سه تکرار اول را با روش گوس – نیوتن انجام دهد [Loke, 2002]. مدل سازی های یا قابلیت را نیز دارد که دو یا سه تکرار اول را با روش گوس – نیوتن انجام دهد [Loke, 2002]. مدل سازی های قابلیت را نیز دارد که دو یا سه تکرار اول را با روش گوس – نیوتن انجام دهد [Loke, 2002]. مدل سازی های موازی و وارون سازی داده های برداشت مدل سازی های موازی و وارون سازی داده های برداشت سدیک می این قابلیت را نیز دارد که دو یا سه تکرار اول را با روش گوس – نیوتن انجام دهد [Loke, 2002]. مدل سازی های موازی و وارون سازی داده های برداشت بر می باشد و مورون یابی داده های پروفیل های موازی و وارون سازی داده های برداشت است. استفاده سه بعدی امکان پذیر می باشند [Zhou et al, 2001]. در این مطالعه از روش اول استفاده شده است. استفاده از پروفیل های دوبعدی موازی در تولید یک مجموعه داده سه بعدی مقاومت ویژه و IP، روشی سریع و مقرون به مرون از بروفیل های دوسی می از می وارونی و موازی و مرازی و موازی و مروز سر است. استفاده می باشد.

۴–۱۳ وارونسازی سهبعدی دادههای مقاومتویژه و IP منطقه مورد مطالعه

برداشتهای دوبعدی دادههای مقاومتویژه و IP با آرایش قطبی – دوقطبی در امتداد هفده پروفیل موازی با هم، با فاصله الکترودی ۳۰ متر و فاصله پروفیلی ۱۰۰ متر از یکدیگر انجام شد. دادههای حاصل از این برداشتها، بهوسیله نرمافزار Res2dinv و نرمافزار ZondRes2d مدلسازی وارون دوبعدی گردیدند. سپس توسط نرمافزار Res2dinv با یکدیگر تلفیق شدند و نهایتاً یک مجموعه داده سهبعدی ایجاد شد. این مجموعه داده، بهمنظور مدلسازی وارون سهبعدی به نرمافزار Res3dinv فراخوانی شد. مقاطع حاصل از مدلسازی وارون سهبعدی در شکلهای (۴–۵۲) تا (۴–۵۶) نشان داده شده است. درنهایت برای نمایش بهتر نتایج سهبعدی از نرمافزار Voxler و کرمافزار Res3dinv) استفاده شد. نتایج حاصله در شکلهای (۴–۵۷) تا

[\] Finite-deffrrence

^r Finite-element

(۴–۴۲) نشان داده شده است.



691400 4064319+ 691776 692110 692445 692779 691400



شکل ۴-۵۳: مقاطع افقی حاصل از مدلسازی سهبعدی مقاومتویژه (از سطح تا عمق ۱۴۶/۱ متر).







شکل ۴-۵۴: مقاطع افقی حاصل از مدلسازی سهبعدی IP (از سطح تا عمق ۱۴۶/۱ متر).

همانطور که در شکلهای (۴–۵۳) و (۴–۵۴) مشاهده میشود، نتایج مدلسازی وارون سهبعدی دادههای اندازه گیری شده بهصورت یازده مقطع افقی مقاومت ویژه و IP در بازههای متفاوت عمقی آورده شده است. با توجه به مقاطع بهدست آمده در شکل (۴–۵۳)، نواحی با مقاومت ویژه بالا که با رنگهای زرد و بنفش در قسمتهای ابتدایی و مرکزی هر مقطع وجود دارند، از اعماق سطحی تا عمق حدود ۸۰ متری قابل مشاهده میباشد و رفته رفته با افزایش عمق بر شدت مقاومت ویژه بخشهای ابتدایی افزوده و از شدت مقاومت ویژه بالا که با رنگهای زرد و بنفش در میباشند و رفته رفته با افزایش عمق بر شدت مقاومت ویژه بخشهای ابتدایی افزوده و از شدت مقاومت ویژه بخشهای میباشند و رفته رفته با افزایش عمق بر شدت مقاومت ویژه بخشهای ابتدایی افزوده و از شدت مقاومت ویژه بخشهای میباشند و رفته رفته با افزایش عمق بر شدت مقاومت ویژه بخشهای ابتدایی افزوده و از شدت مقاومت ویژه میباشده می مرکزی کاسته شده است. در این مقاطع چنین به نظر می رسد که توده با مقاومت ویژه بخشهای مرکزی کاسته شده است. در این مقاطع چنین به نظر می رسد که توده با مقاومت ویژه بالا (بیشتر از ۲۰۰۰ اهم متر)، از عمقهای بالا به سمت سطح کشیده شده و در نزدیکی سطح، از حجم آن کاسته شده است. همچنین در شکل (۴–۵۴) می توان ملاحظه نمود که بخشهای با مقادیر IP نسبتاً بالا (که اغلب در است. همچنین در شکل (۴–۵۴) می توان ملاحظه نمود که بخشهای با مقادیر IP نسبتاً بالا (که اغلب در محاورت و یا بر روی بخشهای با شدت مقاومت ویژه متوسط قرار گرفته اند)، از عمق تا سطح ادامه یافته است. با مقایسه مقطعهای افقی مقاومت ویژه و IP می توان دریافت، بخشهایی که بارپذیری متوسط تا زیاد و مقاومت ویژه متوسط یا زیاد (نه با می آیند) و مرز بین زون چالداغ و و مقاومت ویژه متوسطی دارند (که با توجه به ماهیت ماده معدنی و نواحی موجود در مرز بین زون چالداغ و زون زر و رون روز می مقاومت ویژه مقایی که بارپذیری متوسط تا زیاد و مقاومت ویژه متوسطی دارند (که با توجه به ماهیت ماده معدنی و نواحی موجود در مرز بین زون چالداغ و زون زرشوران موجود در منطقه، ویژگی شاخص برای مناطق هدف محسوب می شود) بر هم منطبق بوده و احمالاً جزه مناطق محتمل کانیسازی و اهداف اکت منه همار می آیند.

شکلهای (۴–۵۵) و (۴–۵۵) نتایج مدلسازی سهبعدی را به صورت مقاطع قائم در جهت y نشان می-دهند. در این مقاطع حضور نواحی با مقدار مقاومت ویژه متوسط (که با رنگ آبی کمرنگ تا سبز کمرنگ دیده می شود) منطبق بر نواحی با IP نسبتاً بالا می باشد. در تمامی مقاطع، بخشهای با IP نسبتاً بالا از ایستگاه ۲۰۶۵۰۹۸ تا ایستگاه ۴۰۶۵۵۷۳ از 691400 x شروع شده و تا ۶۰۶۵۹۲ تا ادامه پیدا کرده است. چنین به نظر می رسد که بیش ترین تمرکز ماده معدنی بین ایستگاه 691400 = x و ایستگاه x= 692361 باشد. شکلهای (۴–۵۷) تا (۴–۹۲) نمایش سهبعدی وارون سازی دوبعدی و سهبعدی دادههای مقاومت ویژه و IP منطقه مورد مطالعه را در محیط نرم افزار Voxler و Voxler نشان می دهند.



شكل ۴-۵۵: : مقاطع قائم مقاومتويژه (در امتداد محور y) از ايستگاه x= 691400 تا ايستگاه x= 692779.

3.00 16.9 35.2 59.5 74.4 91.5 111 134 z Y-Z plane 16,

 134 z
 Y-Z plane 16, X dist. :692696.0-692779.0 m.

 5.4
 14.5
 38.6
 103
 276
 738

5.4 14.5 38.6 103 276 738 1973 52 Resistivity in Ohm.m X Unit Electrode Spacing 83.0M. Y Unit Electrode Spacing 1.0M. Iteration 6 - RMS Error 66.0%

1973

5273





شکل ۴-۵۶: مقاطع قائم IP (در امتداد محور y) از ایستگاه x= 691400 تا ایستگاه x= 692779.



شکل ۴-۵۷: نمایش سهبعدی نتایج وارونسازی دوبعدی دادههای IP با نرمافزار Voxler.



شکل ۴-۵۸: نمایش سهبعدی نتایج وارونسازی دوبعدی دادههای مقاومتویژه با نرمافزار Voxler.



شکل ۴-۵۹: نمایش نتایج وارونسازی سهبعدی دادههای مقاومتویژه در منطقه مورد مطالعه با نرمافزار Voxler.



شکل ۴-۶۰: نمایش نتایج وارونسازی سهبعدی دادههای IP در منطقه مورد مطالعه با نرمافزار Voxler.



شکل ۴-۶۱: نمایش نتایج وارونسازی سهبعدی دادههای مقاومتویژه در منطقه مورد مطالعه با مقادیر بالای ۵۰۰ اهممتر.



شکل ۴-۶۲: نمایش نتایج وارونسازی سهبعدی دادههای IP در منطقه مورد مطالعه با مقادیر بالای ۳۰ میلی ثانیه.



شکل ۴-۶۳: نمایش نتایج وارونسازی سهبعدی دادههای IP در منطقه مورد مطالعه با نرمافزار Rockworks.



شکل ۴-۶۴: نمایش نتایج وارونسازی سهبعدی دادههای مقاومتویژه در منطقه مورد مطالعه با نرمافزار Rockworks.

۴-۴ جمع بندی و نتیجه گیری

از آنجاکه دادههای خام در اندازه گیریهای ژئوالکتریکی نمیتوانند هیچ گونه اطلاعات کمی درباره عمق حقیقی، ابعاد و یا توزیع مقاومتویژه حقیقی الکتریکی در زیر زمین بیان کنند، لذا مدلسازی دادهها، امری اجتناب ناپذیر است. در روشهای ژئوالکتریکی، تفسیرهای یک بعدی، خطا و عدم یکتایی بیشتری نسبت به تفسیرهای دوبعدی و متعاقباً سهبعدی دارند. بنابراین تفسیر صحیح بی هنجاریهای زیرسطحی نیز منوط به اندازه گیریهای دوبعدی و سهبعدی دادهها است. از آن جاکه الگوریتمهای مدل سازی دوبعدی به خوبی مورد بررسی قرار گرفتهاند، ژئوفیزیکدانها به دلیل سادگی و دقت قابل قبول این روش، برای مقاصد گوناگونی از آنها استفاده می کنند.

در بررسیهای ژئوفیزیکی بهمنظور افزایش دقت و حصول نتایج با صحت بالاتر، از ترکیب چند روش استفاده می شود. از این رو، در پژوهش حاضر، برداشتهای مقاومتسنجی و IP به وسیله آرایه قطبی – دوقطبی که پوشش افقی نسبی خوبی دارد و سیگنال آن قوی است، در منطقه مورد مطالعه انجام شد و دادههای برداشتی با مدلسازی معکوس دوبعدی هموار، توسط نرمافزار Res2dinv و ZondRes2d مدل-سازی شدند. همچنین به منظور مقایسه و اعتبار سنجی مدل های به دست آمده از نتایج آنالیز ترانشه ها و گمانه های حفر شده در منطقه استفاده شد.

بهمنظور ارتقای صحت و دقت در عملیات اکتشافی، وجود پارامترهای کلیدی از قبیل موقعیت سهبعدی کانسار و حجم پتانسیل معدنی بسیار مؤثر است و از طرفی، مدلهای سهبعدی اطلاعات قابلتوجهی در تخمین ذخیره کانسار به کارشناس میدهند. فرآیند مدلسازی وارون سهبعدی، علاوه براینکه تفسیری جزئیتر از هندسه ساختارهای زمینشناسی در عمق و ارتباط آنها ارائه میدهد؛ اطلاعات اساسی درباره مکان، شکل و جهت این ساختارها نیز نمایان میکند. همچنین این مدلها میتوانند برای پیشبینی پتانسیل معدنی و ارزیابی منابع معدنی مفید واقع شوند. به همین دلیل در این پژوهش نتایج حاصل از وارونسازی دوبعدی، توسط نرمافزار Res3dinv وارونسازی سهبعدی شدند و تا حدودی شکل و هندسه کانسار، عمق قرارگیری آن و دیگر خصوصیات توده زیرسطحی مشخص گردید؛ که بر اساس کلیه نتایج و اطلاعات بهدست آمده نقاط حفاری بر روی این پروفیلها در بخش پیشنهادات ارائه گردید.

فصل پنجم

بیر متیجه کسری و میشهادات

۵-۱ نتیجهگیری

از آنجاکه نواحی دگرسانی گرمابی میتوانند ارتباط نزدیکی با مناطق کانیسازی داشته باشند، بر این پایه تفکیک محدودههای دگرسانی میتواند کلیدی برای پیجویی مواد معدنی با مقیاس ناحیهای باشد. دگرسانی، فرایندهای پیچیده تغییرات کانیشناسی، شیمیایی، بافتی و حاصل از واکنش سیالهای داغ با سنگهای دربرگیرنده است. عبور این سیالها از واحدهای یادشده سبب تغییرات مهم و چشمگیری میشود که با توجه به ویژگیهای امواج الکترومغناطیسی، این مناطق دگرسانی قابل تفکیک در تصاویر ماهوارهای هستند. چراکه در طی فرایند دگرسانی مجموعه زیادی از کانیها به وجود میآیند که از مهم ترین این کانیها میتوان به کانیهای با بنیان OH اشاره کرد. هدف اصلی از این پژوهش پردازش تصاویر سنجنده معلیات IP و مقاومتویژه، مدلسازی و درنهایت، تفسیر دادهها به منظور یافتن محلهای دقیق، شیب و معلیات IP و مقاومتویژه، مدلسازی و درنهایت، تفسیر دادهها بهمنظور یافتن محلهای دقیق، شیب و امتداد کانیسازی در محدوده مورد مطالعه بود؛ که با استفاده از سنجش ازدور و روشهای پردازش تصویر تا و پیشنهادات لازم ارائه شده است.

منطقه شرایط همبستگی دادههای IP و مقاومتویژه متفاوت است. در واحد زرشوران معمولاً نواحی با بارپذیری بسیار بالایی مشاهده میشود که این نواحی دارای مقدار مقاومتویژه حد واسط تا بالایی هستند. اما در نواحی کانهدار موجود در مرز بین زون چالداغ با زون زرشوران آنومالی دارای بارپذیری متوسط تا زیادی بوده و مقاومت ویژه نسبتاً بالایی در این نواحی مشاهده میشود. وجود سیلیس داخل واحد چالداغ در برخی موارد باعث ایجاد تغییرات در نقشهها و مدلهای مقاومتویژه شده است.

- ۲- با توجه به بررسی نقشهها و مدلها و نتایج مدلسازیها، در حالت کلی مقدار زمینه مقاومتویژه واحد چالداغ بیشتر از واحد زرشوران است. در نقاط انتهایی آخرین پروفیلهای برداشتشده نیز که دارای واحد ایمانخان بوده، در برخی مواقع بارپذیری بالایی از خود نشان میدهند که غالباً دارای مقاومتویژه بالایی بهویژه در نواحی سطحی هستند.
- ۳- با توجه به خاصیت سنگهای شیل و شیست که غالباً در واحد زرشوران قرار دارند؛ این نواحی بارپذیری بالایی از خود نشان دادهاند؛ که نباید بهعنوان زون کانهدار تفسیر شوند. واحدهای شیستی و همچنین برخی نواحی از تودههای آهکی و نیز لایههای تراورتن باعث شدهاند که مقاومتویژه در اکثر پروفیلها زیاد باشد.
- ۴- با توجه به بررسیهای صحرایی و همچنین مقایسه نتایج ترانشهها و حفاری چند مورد از گمانههای اکتشافی، مطالعات ژئوفیزیک به روش IP و مقاومتویژه در این محدوده واحدهای زمین شناسی را کامل از هم تفکیک کرده و اطلاعات مفیدی از کانی سازی در عمق در اختیار ما گذاشته است. در حالت کلی زون کانی سازی موجود در قسمت میانی محدوده گسترده شده و تا آخرین پروفیل برداشت شده ادامه پیدا کرده است؛ که نواحی با بارپذیری بالا در بین واحدهای آهکی مستعد مطالعات مفالعات تفصیلی تر قستی معدوده واحدهای آهکی مستعد مطالعات توفیزیک به روش الاعات مفیدی از کانی محدوده گسترده شده و تا آخرین پروفیل حالت کلی زون کانی سازی موجود در قسمت میانی محدوده گسترده شده و تا آخرین پروفیل برداشت شده ادامه پیدا کرده است؛ که نواحی با بارپذیری بالا در بین واحدهای آهکی مستعد مطالعات تفصیلی تر هستند.

۲-۵ پیشنهادات

با توجه به نتایج بهدست آمده از مطالعات انجامشده در محدوده مورد مطالعه و سایر مطالعات، موارد زیر جهت مطالعات بیشتر در رابطه با این تحقیق پیشنهاد می شود:

- ۱- با توجه به اینکه در بخشهای پایانی پروفیلهای انتهایی، بیهنجاریها در برخی از پروفیلها ادامه
 دارد؛ لذا پیشنهاد میشود عملیات ژئوفیزیک در نقاط انتهایی این پروفیلها جهت مشاهده بهتر این
 بیهنجاریها صورت گیرد.
- ۲- پیشنهاد می شود برای داشتن دیدی بهتر از روند کانیزایی، برداشت دادههای IP و مقاومتویژه بر
 روی تعدادی پروفیل عمود بر پروفیلهای برداشت شده صورت گیرد.
- ۳- با توجه به اینکه مقادیر IP در پروفیلهای برداشت شده می تواند ناشی از کانیهای رسی و یا کانی-های فلزی موجود در منطقه باشد، لذا پیشنهاد می شود نمونه های برداشت شده از حفاری های انجام شده در منطقه، مورد آنالیز XRD قرار گیرند تا میزان و نوع کانی های رسی و فلزی تعیین گردد؛ تا بتوان در وهله اول نتایج مدل سازی داده های IP را به صورت دقیق تری تفسیر نمود و همچنین تطابق بیشتری با آنومالی های ژئوفیزیکی ایجاد کرد.
- ۴- به منظور حصول اطمینان از نتایج مدل سازی ها و تحلیل های صورت گرفته، توصیه می شود حفاری در نقاط پیشنهادی زیر صورت گیرد و نتایج حاصل از آن با نتایج حاصل از مدل سازی ها مقایسه گردد.

مطابق جدول (۵–۱) ایستگاههای زیر با توجه به مطالعات سنجش ازدور، برداشتهای مقاومتویژه و IP انجام شده در منطقه و اطلاعات حاصل از ترانشهها و گمانهها جهت حفاری پیشنهاد می گردند.

Name	X	Y	Azimuth	Slope	Depth(m)
BH_01	691681	4065664	0	90	130
BH_02	691852	4065656	0	90	120
BH_03	691917	4065569	0	90	150
BH_04	691988	4065496	0	90	150
BH_05	692056	4065416	0	90	150
BH_06	692183	4065428	0	90	100
BH_07	692232	4065324	0	90	150

جدول۵-۱: موقعیت و مشخصات نقاط حفاری در منطقه (UTM_WGS 1984_Zone 38N).

منابع ومآخذ

بهرامبیگی ب. رنجبر ح. شهاب پور ج، (۱۳۹۱)، "مقایسه روش های داده پایه و طیف مبنا جهت نقشه-برداری از مناطق دارای کائولینیت در آتشفشان مساحیم با استفاده از داده های هایپریون"، مجله زمین-شناسی اقتصادی، شماره ۲، ص ۱۹۹ تا ۲۱۵.

پیروز ا، (۱۳۸۲ب)، "استفاده از مدلهای ریاضی بهمنظور تعیین بهترین روش الکتریکی برای اکتشاف محل ناهمگنیهای جانبی"، یازدهمین کنفرانس ژئوفیزیک، تهران.

پیروز ا. جهان بین م. رفعت هراب ع. احمدزاده غ. فردوسی ح، (۱۳۹۲)، "به تصویر کشیدن ناهمگنی های جانبی واقع در زیر سطح زمین توسط به کارگیری آرایش الکترودی قطبی – دوقطبی متقارن و مدل سازی معکوس دوبعدی داده های اندازه گیری شده"، اولین کنفرانس ملی مهندسی اکتشاف منابع آب زیرزمینی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران.

حسنی پاک عا، (۱۳۸۱)، " اکتشاف ذخایر طلا"، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران، تهران. حجت آ، رنجبر ح، (۱۳۹۰)، "اصول ژئوالکتریک کاربردی"، چاپ اول، انتشارات ستایش، تهران. حمید ز، (۱۳۹۴)، پایاننامه کارشناسی ارشد: "تهیه نقشه پتانسیل مطلوب برای اکتشاف مس در محیط GIS با استفاده از پردازش دادههای ماهوارهای، ژئوفیزیکی و ژئوشیمی در ورقه یکصد هزارم هشترود"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

خادمیپارسا م. و مسعودی ف، (۱۳۹۵)، "بررسی الگوهای اکتشافی ذخایر آهن اسکارنی با استفاده از تصاویر ماهوارهای ETM+ در شمال شرق دلیجان"، **مجله پژوهشهای دانش زمین**، شماره ۲۷، ص ۱۸۹ تا ۱۸۴.

رفاهی د. خاکزاد ا. نظافتی ن. بهارفیروزی خ. بیاتانی ع، (۱۳۹۱)، "مطالعه پهنههای دگرسانی در شمال

سراب با استفاده از دادههای ماهوارهای، ژئوفیزیک هوایی و تجزیه نمونههای صحرایی"، **مجله علوم زمین،** شماره ۹۳، ص ۲۲۱ تا ۲۳۴.

شبانکاره م، (۱۳۸۶)، پایاننامه کارشناسی ارشد: "تهیه نقشههای پتانسیل معدنی زون متالوژنی کاشان - نائین در محیط GIS با استفاده از شبکه عصبی - فازی"، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان.

عرب امیری ع. و فتیحیان پور ن، (۱۳۷۹)، "تعیین مناطق کانیسازی با استفاده از پردازش دادههای قطبش القایی طیفی و مقاومتسنجی تپه سرخ ایرانکوه"، فصلنامه علوم زمین، شماره ۵۷ ،ص ۵۵.

علیزاده ربیعی ح، (۱۳۸۰)، "**سنجشازدور (اصول و کاربرد)"،** چاپ اول، سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاهها، تهران.

علوی پناه ک، (۱۳۸۲)، **"کاربرد سنجشازدور در علوم زمین"،** چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

عسکری ع. کریمپور مح. مظاهری سا. ملکزاده شفارودی آ، (۱۳۹۱)، " تفسیر دادههای ژئوفیزیکی (IP/RS) محدوده معدنی طلای هیرد بر مبنای مطالعات زمین شناسی، دگرسانی و کانهزایی"، **مجله علوم زمین**، شماره ۹۴، ص ۲۳۵ تا ۲۴۶.

کلاگری عا، (۱۳۷۱)، "اصول اکتشافات ژئوفیزیکی"، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تبریز، تبریز، ص ۱۸۰.

کریمپور مح، ملکزاده آ، حیدریان م، (۱۳۸۷)، " اکتشاف ذخایر معدنی"، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد. گورابجیریپور آ. و مباشری م، (۱۳۹۳)، " تلفیق دادههای زمین شناسی، کانی سازی و مطالعات ژئوفیزیکیIP/RS کانسار ماهور – شمال غرب ده سلم، بلوک لوت"، مجله زمین شناسی اقتصادی، شماره ۲، ص ۳۰۷ تا ۳۲۵.

مهدوی ف، (۱۳۸۳)، **"روشهای الکتریکی در اکتشاف ژئوفیزیکی حوضههای رسوبی عمیق"،** انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

ملکزاده شفارودی آ. حیدریان شهری م. کریمپور مح، (۱۳۸۸)، "کانیسازی و اکتشافات ژئوفیزیکی به روش IP/RS و مغناطیسسنجی زمینی در محدوده MA_I و اطراف آن، منطقه اکتشافی مس – طلا پورفیری ماهرآباد، شرق ایران"، **مجله زمینشناسی اقتصادی**، شماره ۱ ،ص ۱ تا ۱۲.

مهندسین مشاور کاوشگران، (۱۳۹۱)، "گزارش تهیه نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰ زر شوران"، ارائه شده به سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران.

مهندسین مشاور کاوشگران، (۱۳۹۴)، **"گزارش پیجویی و اکتشاف مقدماتی در اطراف معدن** زر شوران"، ارائهشده به سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران.

نجفیان ط، (۱۳۸۹)، پایاننامه کارشناسی ارشد: "نقشهبرداری از کانیهای مناطق دگرسان شده منطقه سرچشمه استان کرمان با استفاده از دادههای چند طیفی و ابر طیفی"، دانشکده معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

نوروزی غ، (۱۳۹۲)، **"روشهای الکتریکی در ژئوفیزیک اکتشافی"،** چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ص ۳۷۵.

هاشمی تنگستانی م. و جعفری ل، (۱۳۸۹)، "اثر کالیبراسیون دادههای استر در بارزسازیهای

Abrams M. J. Brown D. Lepley L. Sadowski R., (1983), "Remote sensing for porphyry copper deposits in Southern Arizona", **Economic Geology, V 78, 591-604.**

Asadi Harooni H., (2000), Ph.D.Thesis "The Zarshuran gold deposit model applied in a mineral exploration GIS in Iran", Delft university, the Netherlands.

Crosta A. and Moore M. (1989), "Enhancement of landsat thematic mapper imagery for residual soil mapping in SW Minais Gerais State, Brazil", A Prospecting Case History in Greenstone Belt Terrain.

Crosta C. R., (2003),"Targeting key alteration minerals in epithermal deposits in Patagonia- Argentina using ASTER imagery and Principal Component analysis", Geosciences Institute, University of Campinas.

Dey A. and Morrison H. F., (1997), "Resistivity modeling for arbitrarily shaped three - dimensional structures", **Geophysics**, 44(4), 753-780.

Dentith M. T. and Mudge S., (2014), "Geophysics for the mineral exploration", Geoscientist, Cambridge University Press, United States of America, 235-340.

Fedi M. and Antonio R., (1999), "3-D inversion of gravity and magnetic data with depth resolution", **Geophysics**, V 64, 452-60.

Gautneb H. and Tveten E., (2000), "The geology, exploration and characterization of graphite deposits in the Jennestand area, Vesteralen, northern Norway", **Geological Survey of Norway, V 436, 67-74.**

Gurin G. V. Tarasov A. V. Il'in Y. T. Titov K. V., (2015), "Application of the Debye decomposition approach to analysis of induced-polarization profiling data (Julietta gold-silver deposit, Magadan Region)", **Russian Geology and Geophysics, N 56, 1757–1771.**

Hewson R. D. and Cudahy T. J., (2001), "Geologic and alteration mapping at Mt Fitton S, Australia, using Aster satelliteborne data", **IEEE**, **724-726**.

Karous M. and Pernu T. K., (1985), "Combined Sounding Profiling Resistivity Measurement with the three electrode arrays", **Geophysical prospecting**, V 33, 447.

Kruse F. A. Lefkoff A. B. Boardman J. B. Heidebrecht K. B. Shapiro A. T. Barloon P. J. Goetz A. F. H., (1993), "The Spectral Image Processing System (SIPS) interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data", **Remote Sensing of Environment**, **Special issue on AVIRIS, V 44, 145 – 163.**

Kearey P. Brooks M. Hill L., (2002), "An introduction to geophysical exploration, third edition", **Blackwell Science Ltd**, UK, 281.

Kaminsky A., (2013), "Program for two - dimensional interpretation of data obtained by resistivity and induced polarization methods", Saint - Petersburg.

Lillesand T. M. and Kiefer R. W., (1994), "**Remote Sensing and Image Interpretation**", 3rd edition, New York, 650-675.

Loke M. H. and Barker R. D., (1995), "Least-squares deconvolution of apparent resistivity pseudosections", **Geophysics**, **60** (**6**), **1682-1690**.

Loke M. H. and Barker R. D., (1996), "Practical techniques for 3D resistivity surveys and data inversion", **Geophysical prospecting**, **44**(**3**), **499-523**.

Levin N., (1999), "**Fundamentals of Remote Sensing**", International Maritime Academy, Trieste, Italy, 223.

Loke M. H. and Dahlin T., (2002), "A comparison of the Gauss - Newton and quasi - Newton methods in resistivity imaging inversion", J. of Applied Geophysics, 49(3), 149-162.

Loke M. H., (2002), "RES3DINV ver. 2.11 for Windows 95/98 & NT-Rapid 3D Resistivity & IP inversion using the least squares method".

Loke M. H., (2004), "RES2DINV ver. 3.54 for Windows 98/Me/2000/NT/XP Rapid 2-D Resistivity & IP inversion using the least squares method".

Loke M. H., (2004), "2-D and 3-D electrical imaging surveys", University of Alberta.

Loke M. H. and Lane Jr. J. W., (2004), "Inversion of data from electrical resistivity

imaging surveys in water - covered areas", Exploration Geophysics, 35(4), 266-271.

Mikhail Z. S., (1994), "The geoelectrical methods in geophysical exploration", **Elsevier**, **873.**

Okan T., (2002), "Interpretation of field observation in induced polarization", international conference on earth science and electronic.

Ozebo V. Odunaike R. Balogun A., (2008), "Identification of depth to top of Limestone body within a concession at ibese", **J. of Earth Sciences**, V **3**, **99-107**.

Reynolds J. M., (1997), "**An introduction to applied and environmental geophysics**", John Wiley and Sona Ltd, Chichester, 418-459.

Rowan L. C. and Mars J. C., (2003), "Lithologic mapping in the mountain Pass, California area using advanced spaceborne emission and reflection radiometer (ASTER) data", **Remote Sensing of Environment**, V 82, 350-366.

Rowan L. C. Robert G. S. John C., (2006), "Distribution of hydrothermally altered rocks in the Peko Diq, Pakestan mineralized area based on spectralysis of ASTER data", **Remote Sensing of Environment, V 104, 74-87.**

Smith N. C. and Vozoff K., (1984). "Two - dimensional DC resistivity inversion for dipole - dipole data", **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, I1, 21-28.**

Seigel H. O., (1959), "Mathematical formulation and type curves for induced polarization", Society of exploration geophysics, V 24, I 3, 543-565.

Scott W. J. Sellmann P. V. Hunter J. A., (1990), "Geophysics in the study of permafrost Geotechnical and Environmental Geophysics, Review and Tutorial", **Society of Exploration Geophysicis, Investigations in Geophysics, V 1, I 5, 355–384.**

Sasaki Y., (1992). "Resolution of resistivity tomography inferred from numerical simulation", **Geophysical prospecting**, **40**(4), **453-463**.

Sasaki Y., (1994), "3-D resistivity inversion using the finite - element method", Geophysics, 59(12), 1839-1848.

Sabins F. F., (1997), "Remote Sensing principles and interpretation", W. H. Freeman,

3rd editon, New York, 494.

Sabins F. F., (1999). "Remote sensing for mineral exploration", New York, V 14, 157-183.

Slater L. D. and Lesmes D., (2002), "IP interpretation in environmental investigations Geophysics", **Society of Exploration Geophysicis**, **67**, **77-88**.

Salmirinne H. Turunen P., (2007), "Ground Geophysical Characteristics of Gold Targets in the Central Lapland Greenstone Belt", **Geological Survey of Finland, Special Paper 44**, **209-223**.

Santos M. F. A. and Sultan S. A., (2008), "One the 3-D inversion of vertical electrical soundings: Application to the south Ismailia area", **Cairo, Egypt, J. of applied geophysics**, 65(2), 97-110.

Telford W. W. M. and Sheriff R. E., (1990), "Applied geophysics", Cambridge University Press, UK, V 1, 340-380.

Uchida T. Takakura Sh. Ueda T. S. Abe Y., (2015), "Three _ dimensional resistivity structure of the Yanaizu-Nishiyama Geothermal Reservoir, Northern Japan", **Proceedings** Word Geothermal Congress, Melbourne, Australia, 19-25 April.

Vincent R. K., (1997), "Fundamentals of Geological and Environmental Remote Sensing", Prentice Hall, 370.

Van Der Meer F. De Jong S., (2003), "**Imaging spectrometery basic principles and prospective applications**", 4. Kluwer Achademic Publishers, Dordrecht/ Boston/ London, 35.

Ward S. H., (1990), "Resistivity and induced polarization method in geotechnical and environmental geophysics", **Society of exploration geophysics**, **V l**, **147-189**.

Zhou Q. Y. Shimada J. Sato A., (2001), "Three - dimensional spatial and temporal monitoring of soil water content using electrical resistivity tomography", Water Resour, Res. 37, 273-285.

In general, considering field surveys, and also, comparing the results of trenches and drilling of several boreholes and the ranges of resistivity and chargeability values in the sections, it can be said that the high chargeability levels coincide with mineralization zones known by drilling and geophysical studies made by IP and resistivity in the area could separate the existing geological units, and provide useful information from the depth. In general, the mineralization zone extends to the middle parts of the area and continues until the last survey line. As a result, areas with high chargeability in the limestone units are suitable for more detailed studies. Based on all the information and results of the remote sensing and 2D and 3D modeling of resistivity and IP data, promising areas for drilling exploratory boreholes were identified and introduced.

Key words: Remote sensing, Resistivity, Induced Polarization (IP), two-dimensional (2D) and three-dimensional (3D) inverse modeling, Zarshuran gold, Takab.

Abstract

Remote sensing compared to other exploration methods due to low cost and high efficiency, it can play an important role in determining initial exploration targets and providing preliminary and initial findings for deposits. Geophysical methods are amang those prospecting and exploration methods for mineral deposits that possess high efficiency. These methods, if chosen properly, will provide valuable information of mineralization in surface or depth. In the present study, in order to identify alterations in the Zarshuran gold mine in north of Takab, using remote sensing techniques, visual interpretation and various spectral analysis were performed on ASTER sensor data. Finally, in order to identify the hidden parts of the mineralization after examining the results of remote sensing as well as the available geological evidences, field data surveys using resistivity and induced polarization (IP) methods were carried out in a rectangular grid with dimensions of 1650×750 m and pole-dipole array along 17 parallel survey lines, in the direction of northeast-southwest and distancing 100 meters from each other.

In doing remote sensing studies, first, to investigate alterations by creating false color combinations using combining different bands the alteration areas were approximately determined, by determining the optimum index factor (OIF), and the method of band ratio, and with the help of visual interpretation of the images. Then, in order to interpret and extract alteration zones and rock units with high accuracy in the study area, the principal component analysis (PCA), linear prediction method using least squares fit (LS-Fit), spectral angle mapping (SAM) and maximum likelihood classification (MLC) methods were used. In each of the aforementioned methods, images were obtained that provide information about the alteration regions and rock units of the study area. Moreover, field data acquusition using resistivity and IP method was carried out and then, using Res2dinv and ZondRes2d software packages and performing initial corrections and least squares inversion, modeling was made, and the results were presented in two-dimensional (2D) sections. In the next step, the results of modeling and interpreting the geophysical sections were compared and validated using the information obtained from the trenches and drilled boreholes. Furthermore in order to reduce the risk of subsequent studies and more precise determination of the mineralization areas, three-dimensional (3D) data inversion modeling was carried out using Res3dinv software.



Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics Engineering M.Sc. Thesis in Mineral Exploration

Modeling and interpretation of Induced Polarization and Resistivity data for exploration of gold ore deposits in Zarshuran gold mine area

By: Siamand Fathi Bayazidabad

Supervisor:

Dr. Alireza Arab-Amiri

Dr. Abolqasem Kamkar Rouhani

Advisor:

Andisheh Ali Moradi

July 2017