

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک
گروه اکتشاف

استفاده از داده‌های ژئوفیزیکی، حفاری و زمین‌شناسی تحت‌الارضی
در تهیه مدل کانسار سرب و روی تاش و مجن

دانشجو: زهرا محمدی

اساتید راهنما

دکتر علیرضا عرب امیری

دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی

استاد مشاور

مهندس حسین شاهی

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

بهمن ۱۳۹۲



دانشکده : مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک
گروه : اکتشاف معدن

پایان نامه کارشناسی ارشد خانم: زهرا محمدی
تحت عنوان: استفاده از داده‌های ژئوفیزیکی، حفاری و زمین‌شناسی تحت‌الارضی
در تهیه مدل کانسار سرب و روی تاش و مجن

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

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :

با احترام تقدیم به:

او که مرا آفرید...

تقدیم به:

عصا هادی خلقت و گلوازه های آفرینش، پدر و مادر عزیزم که وجودشان برایم همه عشق است و وجودم برایشان همه نجات، توانشان رفت تا به توانایی برسم و مویشان کرد سپیدی گرفت تا رویم سپید بماند و عاشقانه سوختند تا کرم بخش وجودم و روشنگر راهم باشند.

تقدیم به:

برادران و خواهران عزیزم که با همراهی بی دریغ خود یاور و حامی من بودند و فروغ کجایشان، گرمی کلامشان و روشنی رویشان سرلایه ی جاویدان زندگی من بوده است.

پاس خدای را که سخنران، دستور او بماند و شامندگان، شردن نعمت های او نماند و کوشندگان، حق او را کزاردن نتوانند. پاس سیکران برهدلی و بهرامی و بگامی پدر و مادر دلسوز و مهربانم که سجده می ایستادند گل محبت را در وجودم پروراند و دلمان گمبارشان مخطه های مهربانی را به من آموخت. جناب آقای دکتر علیرضا عرب امیری و جناب آقای دکتر ابوالقاسم کاکار روحانی شانه های روشنی بخش تاریکی جان هستند و ظلمت اندیشه را نور می بخشید. چگونه پاس گویم مهربانی و لطف شما را که سرشار از عشق و یقین است. چگونه پاس گویم تاثیر علم آموزی شما را که چراغ روشن هدایت را بر کلبه ی محقر وجودم فروزان ساخته است. آری در مقابل این همه عظمت و شکوه شام از توان پاس است و ز کلام وصف. آقای مهندس مادی بیاری از شما که با کرامتی چون خورشید، سرزمین دل را روشنی بخشید و گلشن سرای علم و دانش را با راهبانی های کارساز و سازنده بارور ساختید؛ تقدیر و تشکر میکنم. از مشاور گرامی آقای مهندس حسین شاهی که مشاوره این پیمان نامه را به عهده داشتند؛ تشکر میکنم. از جناب آقای دکتر ایرج پیروز و جناب آقای دکتر حمید آقا جانی که زحمت

داروی این پایان نامه را متقبل شدند؛ نهایت شکر را دارم. در نهایت از تمامی اساتید دانشکده و تمامی دوستانی که در کمال سعادت، با حسن خلق و فروتنی، از پیچ لگی در این عرصه بر

من دریغ نمودند؛ کمال شکر را دارم.

تعهد نامه

اینجانب زهرا محمدی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی معدن دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه " استفاده از داده‌های ژئوفیزیکی، حفاری و زمین‌شناسی تحت‌الارضی در تهیه مدل کانسار سرب و روی تاش و مچن " تحت راهنمایی دکتر علیرضا عرب‌امیری و دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی متعهد می‌شوم.

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

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

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

چکیده

یکی از اهداف اصلی عملیات اکتشاف منطقه‌ای تهیه مدلی از کانسار است که بتوان با کمک آن ذخیره کانسار را تخمین زد. تنها پس از این مرحله است که می‌توان در مورد یک کانسار قضاوت و امکان استخراج اقتصادی آن را بررسی نمود. از آنجا که تخمین ذخیره بر اساس اطلاعات محدودی انجام می‌گیرد، لذا معمولاً توأم با خطا خواهد بود. در واقع دقیق‌ترین مقدار برای ذخیره هنگامی بدست می‌آید که تمام ماده معدنی استخراج شده باشد. معمولاً در مراحل مختلف اکتشاف یک کانسار، ذخیره آن محاسبه می‌شود و بدیهی است که هم‌زمان با تکمیل عملیات اکتشاف، میزان ذخیره محاسبه شده تغییر کرده و دقت این محاسبه افزایش می‌یابد. هدف اصلی این تحقیق، که نکته نوآوری آن نیز در همین است؛ بهره‌گیری از داده‌های ژئوفیزیکی (پلاریزاسیون‌القایی و مقاومت‌ویژه) به منظور تعیین مدل و تخمین ذخیره کانسار سرب و روی پی‌چمتو است؛ که این مهم با استفاده از اطلاعات محدود حفاری‌های موجود در منطقه انجام شده و به کمک نرم‌افزار Rockworks صورت گرفته است؛ که بر اساس روش‌های دورن‌یابی مقادیری برای این کانسار تخمین زده شده است. با بررسی‌های آماری این نتیجه حاصل شد که رابطه خطی خاصی بین عناصر موجود در این کانسار حاکم نیست. همچنین بررسی‌های زمین‌شناسی و ژئوشیمی در این منطقه نشان داد که میزان غنی‌شدگی سرب در ماسه‌سنگ‌ها کمتر ولی در سنگ‌آهک بسیار بالاتر است؛ در حالی که در مورد عنصر روی غنی‌شدگی در هر دو سنگ تقریباً به یک نسبت می‌باشد. این امر می‌تواند ناشی از قابلیت تحرک بالاتر روی نسبت به سرب باشد. سرب به دلیل تحرک‌پذیری پایین‌تر، زودتر از روی تمایل به نهشته شدن دارد.

کلمات کلیدی: مدل‌سازی سه‌بعدی، تخمین ذخیره، کانسار سرب و روی پی‌چمتو، نرم‌افزار Rockworks، غنی‌شدگی، پلاریزاسیون القایی، مقاومت ویژه.

لیست مقالات مستخرج از پایان‌نامه

- ۱- تخمین ذخیره کانسار سرب و روی پی‌چمتو با استفاده از داده‌های ژئوفیزیکی
- ۲- مطالعات زمین‌شناسی و ژئوشیمی کانسار سرب و روی پی‌چمتو در شمال غرب شاهرود

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: کلیات	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۱-۲- سوابق مطالعات صورت گرفته در منطقه مورد مطالعه	۳
۱-۳- هدف و اهمیت تحقیق حاضر	۴
۱-۴- روش انجام تحقیق	۵
۱-۵- ساختار پایان نامه	۵
فصل دوم: روش‌های اکتشافی	۷
۲-۱- مقدمه	۸
۲-۲- مدل‌های ژئوفیزیکی و اکتشاف مواد معدنی	۹
۲-۲-۱- روش مقاومت ویژه	۱۰
۲-۲-۲- روش پلاریزاسیون القایی (IP)	۱۳
۲-۲-۳- آرایش‌های مورد استفاده در روش قطبش القایی و مقاومت ویژه	۱۶
۲-۳- حفاری	۱۹

۲۱	فصل سوم: معرفی کانسار سرب و روی پی چمتو.....
۲۲	۳-۱- مقدمه
۲۲	۳-۲- موقعیت جغرافیایی محدوده اکتشافی
۲۳	۳-۳- راه‌های ارتباطی به محدوده
۲۴	۳-۴- سوابق مطالعات و بررسی‌های انجام شده در ناحیه مورد مطالعه
۲۵	۳-۵- زمین‌شناسی عمومی منطقه
۲۶	۳-۶- ژنز کانسار
۲۸	۳-۷- توالی چین‌شده‌شناسی منطقه
۲۹	۳-۷-۱- سازند شمشک
۲۹	۳-۷-۲- سازند لار
۲۹	۳-۷-۳- سازند فجن
۳۱	۳-۸- مشخصات سنگ درون‌گیر
۳۲	۳-۹- کانی‌های تشکیل دهنده کانسار
۳۳	۳-۹-۱- اسمیت زونیت
۳۳	۳-۹-۲- همی مورفیت
۳۳	۳-۹-۳- گالن
۳۴	۳-۹-۴- سرروزیت
۳۴	۳-۹-۵- آنگلیت

۳۵	..... ۱۰-۳- خاستگاه کانسار
۳۶	..... ۱۱-۳- روش‌های عمده استخراج سرب و روی
۳۹	..... فصل چهارم: تهیه مدل و تخمین ذخیره کانسار سرب و روی پی‌چمتو
۴۰	..... ۱-۴- مقدمه
۴۰	..... ۲-۴- مدل‌های سه‌بعدی
۴۲	..... ۳-۴- طراحی شبکه برداشت
۴۴	..... ۴-۴- تخمین ذخیره
۴۷	..... ۵-۴- روش‌های مورد استفاده
۴۷	..... ۱-۵-۴- روش نزدیک‌ترین نقاط
۴۸	..... ۲-۵-۴- روش عکس فاصله وزنی
۵۰	..... ۳-۵-۴- روش عکس فاصله همسانگرد
۵۲	..... ۴-۵-۴- روش عکس فاصله ناهمسانگرد
۵۴	..... ۶-۴- تخمین ذخیره کانسار پی‌چمتو
۶۳	..... فصل پنجم: تجزیه و تحلیل آماری و مطالعات ژئوشیمیایی منطقه مورد مطالعه
۶۴	..... ۱-۵- مقدمه
۶۴	..... ۲-۵- ضریب همبستگی
۶۷	..... ۳-۵- رگرسیون خطی
۶۹	..... ۴-۵- ضریب تعیین

۷۱	۵-۵- ارتباط بین عناصر موجود در منطقه مورد مطالعه
۷۴	۵-۶- مطالعات ژئوشیمیایی و زمین‌شناسی منطقه
۷۷	فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۷۸	۶-۱- نتیجه‌گیری
۸۰	۶-۲- پیشنهادات
۸۳	پیوست ۱: معرفی نرم‌افزار Rockworks
۹۱	پیوست ۲: مقاطع تهیه شده با استفاده از نرم‌افزار Res2dinv
۹۵	پیوست ۳: نمودارهای رگرسیون خطی
۹۹	منابع

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲: نحوه قرارگیری الکترودها در آرایش دوقطبی- دوقطبی ۱۹
- شکل ۱-۳: محدوده معدنی در تصویر Google Earth ۲۳
- شکل ۲-۳: حدود قرارگیری کانسار مورد مطالعه در ایران ۲۴
- شکل ۳-۳: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه در نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ علی‌آباد ۲۸
- شکل ۴-۳: راهنمای نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه ۲۸
- شکل ۵-۳: تصویری از منطقه پی‌چمتو که سازندهای مختلف بر روی آن مشخص شده است ۳۰
- شکل ۱-۴: موقعیت پروفیل‌های برداشت ژئوفیزیکی و گمانه‌های اکتشافی در منطقه مورد مطالعه ۴۳
- شکل ۲-۴: موقعیت گمانه‌های اکتشافی منطقه پی‌چمتو ۴۶
- شکل ۳-۴: نمودار نرده‌ای مربوط به داده‌های Ip با استفاده از روش نزدیک‌ترین نقاط ۴۷
- شکل ۴-۴: نمودار نرده‌ای مربوط به داده‌های مقاومت‌ویژه با استفاده از روش نزدیک‌ترین نقاط ۴۸
- شکل ۵-۴: نمودار نرده‌ای مربوط به داده‌های Ip با استفاده از روش عکس فاصله وزنی ۴۹
- شکل ۶-۴: نمودار نرده‌ای مربوط به داده‌های مقاومت‌ویژه با استفاده از روش عکس فاصله وزنی ۵۰
- شکل ۷-۴: نمودار نرده‌ای مربوط به داده‌های IP با استفاده از روش عکس فاصله همسانگرد ۵۱
- شکل ۸-۴: نمودار نرده‌ای مربوط به داده‌های مقاومت‌ویژه با استفاده از روش عکس فاصله همسانگرد ۵۲
- شکل ۹-۴: نمودار نرده‌ای مربوط به داده‌های IP با استفاده از روش عکس فاصله ناهمسانگرد ۵۳
- شکل ۱۰-۴: نمودار نرده‌ای مربوط به داده‌های مقاومت‌ویژه با استفاده از روش عکس فاصله ناهمسانگرد ۵۴

- شکل ۴-۱۱: محل تلاقی پروفیل ۴ و گمانه‌های حفاری ۳-۳ ۵۵
- شکل ۴-۱۲: تخمین ذخیره براساس داده‌های Ip با استفاده از روش نزدیک‌ترین نقاط ۵۶
- شکل ۴-۱۳: تخمین ذخیره براساس داده‌های Ip با استفاده از روش‌های عکس فاصله وزنی و همسانگرد ۵۷
- شکل ۴-۱۴: تخمین ذخیره براساس داده‌های Ip با استفاده از روش عکس فاصله ناهمسانگرد ۵۸
- شکل ۴-۱۵: تخمین ذخیره بر اساس داده‌های مقاومت‌ویژه با استفاده از روش نزدیک‌ترین نقاط ۵۹
- شکل ۴-۱۶: تخمین ذخیره بر اساس داده‌های مقاومت‌ویژه با استفاده از روش‌های عکس فاصله وزنی و همسانگرد ۶۰
- شکل ۴-۱۷: تخمین ذخیره بر اساس داده‌های مقاومت‌ویژه با استفاده از روش عکس فاصله ناهمسانگرد ۶۱
- شکل ۵-۱: نمودار رابطه رگرسیون خطی بین عناصر Zn و Pb ۷۲
- شکل ۵-۲: نمودار رابطه رگرسیون خطی بین عناصر Ag و Pb ۷۲
- شکل ۵-۳: نمودار رابطه رگرسیون خطی بین عناصر Ag و Zn ۷۳
- شکل ۵-۴: الف) مقادیر عناصر مس، سرب، روی و نقره در ماسه‌سنگ شمشک. ب) مقادیر عناصر مس، سرب، روی و نقره در سنگ آهک لار ۷۵
- شکل پ-۱-۱: پنجره Borehole Manager ۸۶
- شکل پ-۱-۲: پنجره Geological utilities ۸۷
- شکل پ-۱-۳: پنجره Rockplot2D ۸۸
- شکل پ-۱-۴: پنجره Rockplot3D ۸۹

- شکل پ-۱-۵: پنجره Reportworks ۹۰
- شکل پ-۲-۱: مقطع تهیه شده برای پروفیل ۱ ۹۲
- شکل پ-۲-۲: مقطع تهیه شده برای پروفیل ۲ ۹۲
- شکل پ-۲-۳: مقطع تهیه شده برای پروفیل ۳ ۹۳
- شکل پ-۲-۴: مقطع تهیه شده برای پروفیل ۴ ۹۳
- شکل پ-۲-۵: مقطع تهیه شده برای پروفیل ۵ ۹۴
- شکل پ-۳-۱: نمودار رابطه رگرسیون خطی بین عناصر Cu و Pb ۹۶
- شکل پ-۳-۲: نمودار رابطه رگرسیون خطی بین عناصر Cu و Zn ۹۶
- شکل پ-۳-۳: نمودار رابطه رگرسیون خطی بین عناصر Co و Pb ۹۷
- شکل پ-۳-۴: نمودار رابطه رگرسیون خطی بین عناصر Co و Zn ۹۷
- شکل پ-۳-۵: نمودار رابطه رگرسیون خطی بین عناصر Ni و Pb ۹۸
- شکل پ-۳-۶: نمودار رابطه رگرسیون خطی بین عناصر Ni و Zn ۹۸

فهرست جداول

- جدول ۱-۳: مختصات جغرافیایی محدوده مورد مطالعه ۲۲
- جدول ۱-۴: اطلاعات گمانه‌های اکتشافی منطقه پی‌چمتو ۴۵
- جدول ۱-۵: رابطه رگرسین خطی بین عناصر مختلف ۷۳
- جدول ۲-۵: مقادیر میانگین عناصر سرب، روی، مس و نقره در گمانه‌های اکتشافی منطقه پی‌چمتو و میانگین جهانی آن در ماسه‌سنگ و آهک ۷۴
- جدول ۱-۶: مقادیر تخمین ذخیره کنسار سرب و روی تاش و مجن بر اساس داده‌های ژئوفیزیکی (IP) و مقاومت‌ویژه ۷۸

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

ذخایر معدنی هر کشور از موهبت‌های الهی است؛ که باعث توسعه اقتصادی و به دنبال آن توسعه سیاسی و اجتماعی آن می‌گردد. صنعت هر کشور بدون دسترسی به مواد خام اولیه کارایی اقتصادی خود را از دست می‌دهد و محکوم به پرداختن هزینه سنگین واردات است. لذا با شناختن معادن و پیشرفت کشورها در زمینه معدن و صنایع معدنی، نیاز کشور به این مواد برطرف شده و با اقتصاد پویاتر و پیشرفته‌تر، پا به عرصه‌های بین‌المللی و صنعتی دنیا می‌گذارد.

معادن سرب و روی در ایران به خصوص در نواحی مرکزی کشور دارای رخنمون‌های جالب و متعددی هستند. از دو فلز سرب و روی در ساخت آلیاژهای مختلف استفاده می‌شود. بیشترین مصرف سرب در ایران را باتری‌های تر به خود اختصاص داده‌اند. این فلز نرم و سنگین، در ساخت حروف چاپ، مهمات، لحیم‌کاری و غلاف کابل‌ها و با ۷۰ درصد مس در یاتاق موتورهای سنگین درون سوز به کار می‌رود. ولی کاربرد اصلی سرب در صنایع باطری‌سازی، ماشین‌سازی، رادیاتورسازی، رنگ‌سازی، لعاب و ساخت ورقه‌های عایق در مقابل اشعه ایکس است. فلز روی نیز از جمله پرمصرف‌ترین فلزات غیر آهنی محسوب می‌شود. خواص فیزیکی- شیمیایی، ترکیبات و آلیاژهای متنوع این فلز باعث شده تا در فهرست فلزات پر مصرف قرار گیرد. به طوری که در بین فلزات غیر آهنی، از لحاظ مصرف بعد از آلومینیوم و مس در رتبه سوم قرار دارد. از روی در صنعت گالوانیزه و ترکیبات شیمیایی آن در صنایع لاستیک‌سازی و رنگ استفاده می‌شود [۱، ۲، ۳].

برای شناسایی و استخراج معادن علاوه بر اطلاعات زمین‌شناسی، به اطلاعات ژئوفیزیکی، ژئوشیمیایی و حفاری گمانه‌های اکتشافی نیاز است. رسیدن به یک مدل دقیق از یک کانسار برای دستیابی به یک طراحی و استخراج بهینه ماده معدنی امری ضروری است. این مدل دقیق بدون استفاده از داده‌های اکتشافی متنوع و مختلف علی‌الخصوص در مناطق پیچیده زمین‌شناسی و معدنی ناممکن است.

در کانسار سرب و روی تاش و مجن که فعالیت‌های معدنی در آن بسیار قدیمی نیز می‌باشد؛ علی‌رغم بررسی‌های متعدد زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی، حفاری گمانه‌های اکتشافی، ترانشه‌ها و چندین تونل استخراجی، به دلیل عدم تهیه یک مدل کانساری در آن، همواره با مشکلات عدیده‌ای در شناسایی ماده معدنی به منظور استخراج مواجه بوده است.

۱-۲- سوابق مطالعات صورت گرفته در منطقه مورد مطالعه

سابقه فعالیت‌های نوین اکتشافی در این محدوده به سال ۱۳۸۲ و پس از آن برمی‌گردد. نقشه توپوگرافی و زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰ منطقه تهیه شده است؛ که با مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی انجام شده در این منطقه، این نتیجه حاصل شده که ماده معدنی به صورت عدسی‌ها و رگه‌های پراکنده در داخل آهک لار قرار گرفته است. روند عمومی ماده معدنی در محدوده نقشه، شمال غرب- جنوب شرق می‌باشد. با توجه به شواهدی از قبیل سنگ میزبان کربناته، تجمعات کوچک و پراکنده ماده معدنی، اپی‌ژنتیک و استراتاباند بودن کانسار، کانی‌سازی ساده و ... این نتیجه به دست آمده که کانسار مورد مطالعه در گروه کانسارهای سرب و روی با سنگ میزبان کربناته و دسته تیپ دره می‌سی‌سی‌پی^۱ (MVT)، نوع غنی از روی، قرار دارد [۱]. در سال ۱۳۸۵ برداشت‌های مقاومت‌ویژه الکتریکی و IP در دو زمان مجزا در منطقه مذکور انجام شده است. با استفاده از نرم‌افزار RES2DINV، مدل‌سازی معکوس هموار دو بعدی^۲ به صورت هم‌زمان و ترکیبی برای داده‌های مقاومت‌ویژه و IP هر یک از پروفیل‌ها صورت گرفت. بعد از مدل‌سازی و تفسیر این داده‌ها، محل‌هایی برای حفر گمانه‌های اکتشافی پیشنهاد شد [۴]. در سال ۱۳۸۶ با تلفیق اطلاعات زمین‌شناسی منطقه و داده‌های ژئوفیزیکی برداشت شده و پردازش آنها یک مدل مناسب ژئوفیزیکی برای کانسار مورد مطالعه ارائه و به این ترتیب گسترش و عمق آنومالی هدف که کانسار سرب و روی می‌باشد، تعیین شد [۵].

1 - Mississippi Vally- Type Deposits
2 - Two dimensional inverse modeling

در سال ۱۳۸۷ در قالب یک پروژه کارشناسی ارشد برداشت VLF نیز در منطقه یاد شده انجام شده است؛ که به کمک داده‌های برداشت شده به روش VLF کمیت دیگری به نام تیپر - که محل قرارگیری بی‌هنجاری‌های الکتریکی را بهتر مشخص می‌کند- استخراج شد و با مدل‌سازی عددی دو بعدی داده‌های آن، مقاطع واقعی ژئوالکتریک تهیه شد. با سنجش اعتبار و مقبولیت آنها از این روش همراه با داده‌های مقاومت‌ویژه و IP جهت آشکارسازی اثرات مخرب زیست‌محیطی مربوط به کانسار سرب و روی تاش و مجن استفاده شد. پس از برداشت و تصحیح داده‌ها با تهیه شبه مقاطعی در امتداد پروفیل‌ها، نتایج به دست آمده مورد تفسیر کیفی و نیمه کمی قرار گرفت و در ادامه برای تفسیر کمی همه داده‌های برداشت شده، با روش‌های عددی مناسب و با بهره‌مندی از نرم‌افزارهای INV2DVLF و RES2DINV مدل‌سازی شدند؛ که در نهایت محدوده آلوده شده احتمالی در مناطق پائین دست کانسار شناسایی شد [۶]. در سال ۱۳۸۹ به منظور ارائه مدل سه‌بعدی کانسار از تلفیق داده‌های اکتشافی منطقه پی‌چمتو با داده‌های حاصل از اندازه‌گیری‌های مقاومت‌ویژه الکتریکی و قطبش القایی استفاده شد [۷].

۱-۳- هدف و اهمیت تحقیق حاضر

در این تحقیق هدف نگاهی ویژه به داده‌های ژئوفیزیکی برای تعیین مدل احتمالی کانسار به منظور رفع برخی مشکلات استخراج ماده معدنی در کانسار سرب و روی تاش و مجن است؛ که این مهم با کمک داده‌های حفاری و زمین‌شناسی تحت‌الارضی و تلفیق آنها در نرم‌افزار Rockworks پیگیری شده است. دستیابی به نمایش‌های سه‌بعدی قابل قبول از کانسار مورد نظر از نتایج مهم این تحقیق است. با توجه به اطلاعات موجود اگر چه دستیابی به یک مدل سه‌بعدی دقیق از کانسار فوق امکان‌پذیر نیست؛ اما سعی شده تا در این تحقیق یک مدل سه بعدی هر چند تقریبی از این کانسار به صورت یک بلوک دیاگرام بر اساس اطلاعات ژئوفیزیکی موجود تهیه و ارائه گردد.

۱-۴- روش انجام تحقیق

- ◀ مطالعه و بررسی وضعیت زمین‌شناسی، موقعیت جغرافیایی و وضعیت توپوگرافی
- ◀ اخذ داده‌های ژئوفیزیکی، ژئوشیمی، حفاری و زمین‌شناسی
- ◀ وارد کردن داده‌ها در نرم‌افزار Rockworks، تهیه پروفیل در این نرم‌افزار
- ◀ مطالعه روش‌های ریاضی مورد استفاده در مدل‌سازی
- ◀ ارائه مدل‌سازی سه‌بعدی در نرم‌افزار Rockworks برای داده‌های برداشت شده با روش IP و مقاومت‌ویژه
- ◀ تخمین ذخیره برای این داده‌ها با استفاده از چند روش ریاضی
- ◀ تحلیل و تفسیر نتایج بدست آمده و انتخاب بهترین روش برای تخمین ذخیره
- ◀ تجزیه و تحلیل آماری برای تعیین روابط بین عناصر مختلف

۱-۵- ساختار پایان‌نامه

در فصل بعدی این پایان‌نامه توضیح مختصری در مورد روش‌های اکتشافی (روش‌های ژئوفیزیکی شامل روش پلاریزاسیون القایی و روش مقاومت‌ویژه و حفاری) ذکر شده است. در فصل سوم به معرفی کانسار سرب و روی تاش و مجن پرداخته شده است. نتایج حاصل از تهیه مدل سه‌بعدی، تهیه نمودارهای نرده‌ای^۱ و همچنین مقادیر تخمین زده شده در فصل چهارم مورد بررسی قرار گرفته؛ که برای تهیه مدل این کانسار و تخمین ذخیره از نرم‌افزار Rockworks استفاده شده است. در فصل پنجم هم به تجزیه و تحلیل آماری داده‌های حاصل از گمانه‌های اکتشافی پرداخته شده و در نهایت در فصل ششم نتیجه‌گیری و پیشنهادات حاصل از این تحقیق ذکر شده است.

1 - Fence diagram

فصل دوم

روش‌های اکتشافی

۲-۱- مقدمه

ایده اکتشاف مواد معدنی با کمک اندازه‌گیری‌های الکتریکی در حدود سال ۱۸۰۰ ارائه شد. برخی از روش‌های الکتریکی که با تزریق جریان برق به زمین انجام می‌شوند؛ برای اکتشاف مواد معدنی و همچنین آب‌های زیرزمینی کاربرد گسترده‌ای دارد [۸].

ژئوفیزیک را می‌توان جادوی فیزیک در زمین دانست. بدون آنکه از درون زمین پیچیده خبر دقیقی در دست باشد، با برداشت‌های نسبتاً ساده و به دنبال آن تفسیرهای اصولی، می‌توان اطلاعات بسیار مهم و ارزشمندی را با صرف هزینه و زمانی اندک، از زیرزمین به دست آورد. برای انتخاب روش ژئوفیزیکی مناسب در منطقه، آگاهی از خواص فیزیکی ماده معدنی مورد نظر و سنگ‌های درون‌گیر آن ضروری است. بدین ترتیب، در ضمن عملیات زمین‌شناسی ابتدایی باید اطلاعاتی در مورد وزن مخصوص، خواص مغناطیسی، الکتریکی، الاستیک و رادیواکتیویته سنگ‌ها نیز کسب کرد [۹].

از روش‌های ژئوفیزیکی که برای اکتشاف کانسار به کار می‌رود می‌توان به روش‌های مغناطیس‌سنجی، گرانی‌سنجی، رادیومتری، روش‌های الکتریکی و الکترومغناطیسی اشاره نمود. اکتشافات ژئوفیزیکی بر اساس روش‌های الکتریکی، از سه ویژگی بنیادی و مهم سنگ‌ها یعنی مقاومت ویژه، فعالیت الکتروشیمیایی و ثابت دی‌الکتریک^۱ بهره می‌گیرند و با توجه به اندازه‌گیری این ویژگی‌هاست که می‌توان تا حدودی ساختارهای زیرسطحی را شناسایی نمود.

استفاده از روش‌های الکتریکی به حالتی که یک تباین خاصیت الکتریکی مانند مقاومت ویژه وجود داشته باشد، محدود می‌شود. در این روش‌ها پارامترهای فیزیکی، زمین‌شناسی و سایر خصوصیات مورد نظر به صورت مستقیم اندازه‌گیری نمی‌شوند. این بدان معناست که جهت تفسیر مناسب داده‌های الکتریکی، نیاز به یک سری اطلاعات جانبی از جمله زمین‌شناسی می‌باشد [۸].

1- Dielectric Constant

۲-۲- مدل‌های ژئوفیزیکی و اکتشاف مواد معدنی

امروزه به کارگیری روش‌های ژئوفیزیکی در اکتشاف مواد معدنی و انتخاب محل‌های مناسب برای اکتشاف امری متداول به شمار می‌رود. در دو مرحله از اکتشاف از روش ژئوفیزیکی استفاده می‌شود:

۱- پی‌جویی یا گام‌های ابتدایی اکتشاف: که در این مرحله می‌توان از اطلاعات ژئوفیزیکی هوایی که در مقیاس ناحیه‌ای و کوچک در یک منطقه وسیع برداشت شده‌اند، برای پیدا کردن بی‌هنجاری‌ها استفاده کرد. گاهی بی‌هنجاری‌های مغناطیسی و یا گرانی‌سنجی نشان دهنده وجود کانی‌سازی خاصی در منطقه هستند [۱۰].

نکته مهمی که در مورد معیارهای ژئوفیزیکی باید در نظر داشت این است که بسیاری از بی‌هنجاری‌های ژئوفیزیکی واقعی نیست و به علت وجود کانسار نمی‌باشد؛ بنابراین قبل از آنکه این داده‌ها به عنوان معیار واقعی تلقی شوند؛ ابتدا باید آن‌ها را با استفاده از تمام اطلاعات زمین‌شناسی موجود ارزیابی و تعبیر و تفسیر کرد [۹].

۲- مراحل نیمه تفصیلی و تفصیلی اکتشاف: در این مرحله پس از استفاده از مدل‌های تکتونیکی، پترولوژیکی، آلتراسیون و غیره برای پیدا کردن محل دقیق ذخیره پنهان، شکل، گسترش و عمق آن می‌توان از روش یا روش‌های ژئوفیزیکی مناسب استفاده نمود [۱۰].

روش‌های ژئوفیزیکی متناسب با نوع کانی‌سازی و ابعاد تحت پوشش انجام می‌شوند. انتخاب روش ژئوفیزیکی بستگی به سیستم کانی‌سازی دارد. مناسب‌ترین روش برای تشخیص و مکان‌یابی ذخایر سولفوری و پراکنده، اندازه‌گیری پلاریزاسیون القایی (IP)^۱ است؛ که به دلیل وجود احتمالی ساختارهای پیوسته کانی‌سازی از روش مقاومت‌ویژه^۲ نیز به‌عنوان مکمل روش IP به‌طور هم‌زمان استفاده می‌شود [۴].

1 - Induced Polarization
2 - Resistivity

۲-۱-۲- روش مقاومت ویژه

روش مقاومت ویژه الکتریکی یکی از روش‌های ژئوالکتریکی می‌باشد که در آن از یک چشمه الکتریکی مصنوعی برای اندازه‌گیری مقاومت ویژه الکتریکی استفاده می‌شود. برای این کار از چهار الکتروود استفاده می‌شود که دو الکتروود برای فرستادن جریان الکتریکی و دو الکتروود دیگر، برای اندازه‌گیری اختلاف پتانسیل الکتریکی استفاده می‌شوند. در صورت ناهمگن و ناهمسانگرد بودن زمین، داده‌های حاصله از این روش، نشان دهنده مقادیر مقاومت ویژه‌های واقعی زمین نیستند. بلکه این مقادیر نشان دهنده مقادیر مقاومت ویژه‌های ظاهری^۱ زیر سطح زمین می‌باشند [۱۱].

بررسی مقاومت ویژه الکتریکی به روش‌های پروفیل زنی و سونداژ زنی انجام می‌شود. در روش پروفیل زنی فاصله بین الکتروودها معمولاً ثابت است و چندین اندازه‌گیری مقاومت ویژه ظاهری با حرکت این آرایش الکتروودی ثابت از جایی به جای دیگر در امتداد یک پروفیل انجام می‌شود.

روش سونداژ زنی فرآیندی است که با آن تغییرات عمقی مقاومت ویژه الکتریکی لایه‌های زیرسطحی مورد مطالعه قرار می‌گیرند [۱۳].

کانی‌های فلزی رساناهای خوبی برای جریان الکتریکی هستند و مقاومت ویژه کمی دارند؛ هر چند اغلب کانی‌ها عایق هستند. برای تفسیر اطلاعات برداشت شده از مقاومت ویژه الکتریکی باید از اطلاعات زمین‌شناسی، کانی‌سازی و آلتراسیون کمک گرفت.

کانی‌های سولفیدی فلزی (پیریت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت و ...) دارای مقاومت ویژه بسیار پایین‌تری (معمولاً کمتر از یک‌اوم) نسبت به سنگ‌های معمولی هستند. این خاصیت کانی‌های سولفیدی و فلزی استفاده از روش مقاومت ویژه را برای اکتشاف این ذخایر مناسب می‌کند. ولی تفسیر اطلاعات حاصل از این روش بسیار پیچیده است، لذا باید با اطلاعات دیگر ژئوفیزیکی (EM و IP) و زمین‌شناسی برای اکتشاف توأم باشد. با این وجود، مقدار مقاومت ویژه الکتریکی یک توده معدنی،

1 - Apparent Resistivity

متفاوت از مقاومت ویژه الکتریکی تک تک بلورهای^۱ تشکیل دهنده آن می باشد. مقدار مقاومت ویژه الکتریکی یک توده سنگی بستگی به فاکتورهایی مثل طبیعت توده سنگ^۲ (توده ای بودن یا افشان^۳ بودن آن در سنگ میزبان) دارد. وجود کانی های غیرفلزی رسانا در یک تجمع کانساری (نظیر گرافیت)، باعث ایجاد مشکل در اکتشاف کانسارهای فلزی می شود. به عنوان مثال، برداشت های مقاومت ویژه الکتریکی نمی توانند گرافیت و پیریت را از هم متمایز کنند [۱۰، ۱۱].

الف - کاربردهای روش مقاومت ویژه

از مهم ترین کاربردهای روش مقاومت ویژه، می توان به موارد زیر اشاره نمود [۱۳، ۱۴]:

- ۱- مطالعه آب های زیرزمینی به منظور تعیین سطح و عمق سفره آب های زیرزمینی، مرز آب شور و شیرین و محل کانال های رودخانه ای مدفون.
- ۲- در کارهای مهندسی عمران و راه، برای تعیین ضخامت آبرفت ها، عمق سطح سفره آبدار، عمق سنگ بستر، اکتشاف گسل ها و شناسایی حفره های زیرسطحی و لایه های رسی.
- ۳- در اکتشافات مواد معدنی (سولفیدها، اکسیدها و به طور کلی کانی هایی که دارای جلای فلزی باشند) و به ویژه در شناسایی زون های خرد شده و گسله که ارتباط نزدیکی با کانی سازی فلزی دارند.
- ۴- در مطالعات ژئوترمال، که به کمک نقشه های هم مقاومت ویژه می توان مسیر خطی گسلی را که معمولاً در امتداد آن چشمه های آب گرم و آب فشان ها خارج می شوند؛ مشخص نمود.
- ۵- در اکتشافات باستان شناسی که معمولاً برای اکتشاف و ترسیم پی دیواره ها به کار می رود.

1 - Crystal
2 - Nature of the ore body
3 - Disseminated

ب- مزایا و محدودیت‌های روش مقاومت‌ویژه

از مزایای روش مقاومت‌ویژه در مقایسه با سایر روش‌های ژئوفیزیکی (مانند لرزه‌شناسی، گرانی‌سنجی و ...) و یا روش‌های اکتشافی مستقیم (مانند حفاری) می‌توان به موارد زیر اشاره نمود [۱۴، ۱۵، ۱۶]:

- ۱- انعطاف پذیری (استفاده از آن در هر مرحله از اکتشاف مثل شناسایی اولیه و تعیین جزئیات).
- ۲- روشی نسبتاً سریع و آسان برای برداشت داده‌ها.
- ۳- تئوری ساده و روان دارد.
- ۴- در مقایسه با روش‌هایی همچون الکترومغناطیسی، کمتر به نویز حساس است.
- ۵- تفسیر کمی داده‌ها را می‌توان هم از طریق مدل‌سازی کامپیوتری و هم با استفاده از منحنی‌های استاندارد انجام داد. علاوه بر این تفسیر کیفی داده‌ها به طور مستقیم صورت می‌گیرد.
- ۶- در اکتشاف لایه‌های کم عمق یا ناپیوستگی‌های قائم که دارای تباین مقاومت‌ویژه قابل توجه با محیط اطراف هستند، عملکرد خوبی دارد.

از محدودیت‌های این روش می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [۸، ۱۴، ۱۷]:

- ۱- عمق نفوذ این روش محدود می‌باشد (به علت محدودیت در تزریق جریان الکتریکی و گسترش کابل‌های طویل بر روی زمین). علاوه بر این روباره‌های رسانا مثل رس‌ها و مارن‌ها نیز عمق نفوذ را کاهش می‌دهند.
- ۲- با توجه به گستردگی دامنه تغییرات مقاومت‌ویژه، تعبیر و تفسیرها قدری مبهم هستند؛ مخصوصاً در مناطق تکتونیزه این ابهام بیشتر است. هر چند مقایسه و تطبیق با نقشه زمین‌شناسی می‌تواند تا حدودی از این ابهام بکاهد.
- ۳- همانند عمده روش‌های ژئوفیزیکی دیگر، توپوگرافی تأثیر منفی بر روی داده‌های مقاومت‌ویژه دارد. توپوگرافی موجب پراکندگی موضعی و تمرکز توزیع جریان در نزدیک سطح می‌شود؛ که این موضوع

سبب تشکیل تمرکزهای کاذب مقاومت‌ویژه به علت وجود عوارض زمینی در داده‌های صحرایی می‌شود.

۴- این روش در اکتشاف مواد معدنی پراکنده کارایی ندارد.

۵- ابهام در تفسیر داده‌های مقاومت‌ویژه باعث می‌شود که چندین مدل زمین‌شناسی منطبق بر داده‌های برداشت شده؛ وجود داشته باشد، بنابراین اطلاعات جنبی مانند اطلاعات زمین‌شناسی برای تفسیر نتایج ضروری است.

۶- در برخی موارد، مدل‌های ژئوفیزیکی حاصل با مدل زمین‌شناسی مربوطه بسیار تفاوت دارد.

۷- دقت تخمین عمق این روش در مقایسه با روش‌هایی مثل لرزه‌نگاری یا حفاری کمتر است.

۲-۲-۲- روش پلاریزاسیون القایی (IP)

روش پلاریزاسیون القایی (IP) به‌طور گسترده برای اکتشاف توده‌های کانسنگی بالاخص برای سولفیدهای پراکنده مورد استفاده قرار می‌گیرد. کاربرد این روش برای اکتشاف آب‌های زیرزمینی نسبتاً محدود می‌باشد [۱۳]. این روش که یکی از پرکاربردترین روش‌ها در اکتشاف نهشته‌های فلزی است، در مراحل مختلف اکتشاف حتی در نواحی صعب‌العبور با ساختارهای زمین‌شناسی پیچیده، به کار می‌رود [۱۸].

روش IP بر اساس مطالعه میدان‌های الکتریکی ثانویه‌ای که توسط جریان الکتریکی در زمین تولید می‌شوند، استوار است و به‌طور گسترده بر اساس حساسیتش به رساناهای یونی و الکترونی به کار می‌رود. اندازه‌گیری‌های این روش در سه حوزه زمان (TDIP)^۱، فرکانس (FDIP)^۲ و فاز^۳ انجام می‌شود. در حوزه زمان، ولتاژ کاهشی به عنوان تابعی از زمان اندازه‌گیری می‌شود و معمولاً کمیت بارپذیری بر حسب میلی ثانیه ثبت می‌شود.

1 - Time Domain Induced Polarization

2 - Frequency Domain Induced Polarization

3 - Fuzzy Domain Induced Polarization

در حوزه فرکانس، مقاومت ویژه ظاهری (ρ_a) در دو یا چند فرکانس متفاوت، معمولاً زیر ۱۰ هرتز اندازه‌گیری می‌شود. در حوزه فاز، اختلاف فاز بین جریان تزریقی و ولتاژ اندازه‌گیری شده در مقیاس لگاریتمی اندازه‌گیری می‌شود؛ که این کمیت به مشخصه طبیعی کانی‌های زیرسطحی بستگی دارد [۸، ۱۹، ۲۰].

اساساً، قطبش القایی یک اثر جریانی است که به علت چندین مکانیسم الکتروشیمیایی مثل توزیع یونی نزدیک کانی‌های فلزی و در موارد کمتر، کانی‌های غیر فلزی، واکنش‌های اکسایشی-کاهشی بین الکترولیت‌ها و کانی‌ها و حرکت یونی درون الکترولیتی که خلل و فرج سنگ را پر کرده است، به وجود می‌آید [۲۱].

در این روش جریان الکتریکی به داخل زمین به وسیله الکتروود جریان حرکت می‌کند و تمرکز بارهای الکتریکی در جاهای مختلف ایجاد می‌شود. با قطع جریان، یون‌ها تلاش می‌کنند به حالت تعادل خود برگردند، که باعث می‌شوند جریانی که تدریجاً کاهش یابنده است، بوجود آید. جهت این جریان در داخل کانه مخالف و در خارج کانه موافق جریان اولیه ارسالی به درون زمین است. بنابراین یک اختلاف پتانسیل بر روی سطح زمین قابل اندازه‌گیری خواهد بود. این اختلاف پتانسیل به صورت ناگهانی به صفر نمی‌رسد؛ بلکه طی زمان محدودی (چند ثانیه یا چند دقیقه) به سمت صفر میل می‌کند. این پدیده بر اثر همان ذخیره‌سازی انرژی در زمان وصل جریان است. انرژی ذخیره شده از لحاظ نظری می‌تواند به اشکال گوناگون انرژی از جمله مکانیکی، الکتریکی و مهم‌تر از همه انرژی شیمیایی وجود داشته باشد. بنابراین، قطبش القایی تابعی از ویژگی‌های خازنی سنگ در فرکانس‌های پایین است؛ که از فرآیند پخش قطبش در مرز بین دانه‌های کانی و سیالات موجود در خلل و فرج سنگ‌ها حاصل می‌گردد [۲۰، ۲۲].

وقتی جریان الکتریکی به داخل زمین وارد می‌شود، تعادل طبیعی بین بارهای الکتریکی به هم می‌خورد. بارهای مثبت و منفی از هم جدا می‌شوند و زمین مانند یک باتری شارژ شده عمل می‌کند. مناطقی که مقاومت الکتریکی پایین‌تری دارند، معمولاً راحت‌ترین قابلیت شارژ مجدد را دارند.

از این خاصیت برای اکتشاف مواد معدنی مثل فلزات پایه استفاده می‌شود. در مناطقی که تمرکزی از کانی‌های فلزی و یا سولفیدی وجود داشته باشد، پتانسیل القایی بزرگی در این مناطق با ورود جریان به زمین ایجاد خواهد شد؛ که این مهم اساس اکتشاف خواهد بود [۱۰].

الف - قطبش القایی منفی

گاهی اوقات در اندازه‌گیری‌های قطبش القایی مقادیر منفی به دست می‌آید، به این معنی که بعد از قطع جریان، ولتاژ اندازه‌گیری شده بین الکترودهای پتانسیل دارای قطبش مخالف با ولتاژ اولیه قبل از قطع جریان است و این قضیه با توجه به مثبت بودن اختلاف پتانسیل‌ها، غیر عادی به نظر می‌رسد. عوامل چندی ممکن است سبب ایجاد این پدیده شوند، که عبارتند از [۲۰، ۲۳]:

- ۱- تغییرات رسانندگی زمین در ابعاد کوچک زیاد باشد.
- ۲- تأثیر خطوط تلفن، برق و ... باشد. این عوامل در برداشتهای مقاومت‌ویژه تنها ایجاد خطا می‌کنند.
- ۳- توده‌های مواد معدنی به خصوص سولفیدها، اگر در سطح رخنمون داشته باشند یا نزدیک سطح قرار گیرند، سبب ایجاد قطبش القایی منفی می‌شوند. اگر این توده‌ها با رولایه‌ی قطبش ناپذیر با ضخامت کافی پوشیده شوند، قطبش القایی منفی ایجاد نخواهد شد.

ب - مزایا و محدودیت‌های روش قطبش القایی

از مزایای این روش می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- ۱- اگر کانی‌ها به صورت ریز داخل سنگ‌ها پراکنده شده باشند؛ IP قوی‌تری ظاهر می‌کنند؛ زیرا در مواقعی که جریان در زمین برقرار می‌شود یون‌ها در موقع حرکت وقتی به یک دانه کانی می‌رسند؛ در دو طرف آن به صورت یون‌های مثبت و منفی جمع می‌شوند. در حقیقت در اثر جریان الکتریکی، کانی پلاریزه می‌شود و بعد از قطع جریان یون‌ها تخلیه شده و IP ظاهر می‌شود [۸].
- ۲- هادی بودن لایه‌های سطحی (روباره) ممکن است مانع آشکارسازی لایه‌های عمیق‌تر طی برداشتهای مقاومت‌ویژه و الکترومغناطیس (EM) شود. در چنین مواردی روش قطبش القایی موفقیت بیشتری نسبت به روش‌های مذکور دارد و کمتر تحت تأثیر روباره قرار می‌گیرد [۸].

۳- از بزرگترین مزایای روش IP، اکتشاف ذخایر سولفیدی افشان می‌باشد. زیرا این ذخایر از مقاومت ویژه متوسط تا بالایی برخوردارند؛ لذا روش‌های مقاومت ویژه و EM به تنهایی برای اکتشاف آن‌ها مناسب نمی‌باشند. اما روش قطبش القایی اطلاعات فوق العاده‌ای در اکتشاف این نوع کانسارهای ارزشمند به دست می‌دهد [۲۴].

۴- وجود پدیده‌ی پلاریزاسیون غشایی، استفاده از روش قطبش القایی را در اکتشافات آب‌های زیرزمینی ممکن می‌سازد. از آنجایی که کانی‌های رسی قطبش غشایی نسبتاً بالایی از خود نشان می‌دهند، لذا روش قطبش القایی برای اکتشاف لایه‌های غیرقابل نفوذ و سفره‌های آبدار بسیار سودمند است. همچنین این روش در زون‌های پرشی مملو از آب قطبش القایی نسبتاً بالایی از خود نشان می‌دهد [۲۴].

یکی از محدودیت‌ها و معایب این روش این است که در اغلب مواقع، منابع بی‌هنجاری‌های قطبش القایی ارزش اقتصادی ندارند و باعث ایجاد بی‌هنجاری‌های کاذب می‌شوند. به عنوان مثال، زون خرد شده حاوی آب و سنگ‌های حاوی گرافیت و پیریت و امثال آن‌ها، مقادیر قطبش القایی بالایی دارند. لازم به ذکر است که این مشکل تا حدودی به روش قطبش القایی طیفی (SIP)^۱ برطرف شده است [۲۴].

۲-۲-۳- آرایش‌های مورد استفاده در روش‌های قطبش القایی و مقاومت ویژه

انتخاب آرایش الکتروودی وابسته به چندین عامل مختلف است. سعی می‌شود با در نظر گرفتن تمام شرایط و اطلاع از جوانب کار بهترین آرایش انتخاب گردد. عواملی که در انتخاب آرایش الکتروودی مؤثر هستند عبارتند از:

1 - Spectral Induced Polarization

۱- نسبت سیگنال به نوفه^۱: هر چه قدر، مقدار این کمیت بیشتر باشد، تشخیص منابع زیرسطحی دقیق تر خواهد بود.

۲- اثر جفت‌شدگی الکترومغناطیسی: اگر الکترودهای پتانسیل خارج از مدار الکترودهای جریان باشند؛ اثر جفت‌شدگی الکترومغناطیسی کمتر خواهد بود و برای دستیابی به دقت بالاتر، این اثر باید به کمترین مقدار خود برسد.

۳- قدرت تفکیک: برای تفکیک بهتر منابع مختلف بی‌هنجاری زیرسطحی باید قدرت تفکیک آرایش بالا باشد. خصوصاً اگر در دو جهت تفکیک وجود داشته باشد، این عامل در انتخاب روش خیلی مهم است [۴].

انتخاب بهترین آرایش برای اندازه‌گیری، به وضعیت ساختارهای زیر سطح زمین (شکل، اندازه، عمق و ویژگی‌های ساختار هدف)، میزان حساسیت دستگاه اندازه‌گیری و سطح نوفه زمینه بستگی دارد [۲۵]. در برداشت‌های ژئوالکتریکی، آرایش‌های ونر^۲، شلومبرژه^۳، ونر- شلومبرژه^۴، لی پاریشنینگ^۵، دوقطبی- دوقطبی^۶، قطبی- دوقطبی^۷، قطبی- قطبی^۸ و مستطیلی^۹ بسیار رایج هستند. تمام این آرایش‌ها در روش مقاومت‌ویژه به کار می‌روند. اما در روش قطبش‌القایی با توجه به مطالب مذکور، بیشتر از آرایش‌های دوقطبی- دوقطبی و قطبی- دوقطبی استفاده می‌شود. زیرا با استفاده از این دو آرایش می‌توان میزان جفت‌شدگی الکترومغناطیسی بین سیم‌های جریان و سیم‌های پتانسیل را به حداقل کاهش داد، البته در بعضی مواقع از آرایش‌های ونر و شلومبرژه نیز استفاده می‌شود [۱۳].

1 - Noise

2 - Wenner Array

3 - Schlumberger Array

4 - Wenner- Schlumberger Array

5- Lee- Partitioning Array

6- Dipole- Dipole Array

7- Pole- Dipole Array

8- Pole-Pole Array

9- Rectangle Array

الف- آرایش الکترودی مناسب

با توجه به عوامل ذکر شده برای انتخاب آرایش الکترودی مناسب، بهترین آرایش برای برداشت داده‌های ژئوفیزیکی در منطقه مورد مطالعه آرایش دوقطبی- دوقطبی است. زیرا اثر جفت‌شدگی الکترومغناطیسی در این آرایش نسبت به سایر روش‌های الکترودی کمترین مقدار است و در جمع قدرت تفکیک آن از سایر روش‌های الکترودی بیشتر است؛ خصوصاً در مواقعی که لازم است شبه‌مقاطع زمین تهیه شود؛ چون در دو جهت تفکیک وجود دارد، آرایش دوقطبی- دوقطبی بهترین است. البته نسبت سیگنال به پارازیت در آرایش دوقطبی- دوقطبی بالاترین نیست؛ ولی با توجه به مزایای توصیف شده در برداشته‌ها از آن استفاده شد [۴].

لازم به ذکر است، با توجه به حداکثر عمق اکتشاف در نظر گرفته شده صد متر و همچنین تفکیک‌پذیری مناسب آنومالی‌های احتمالی سرب و روی، فاصله الکترودی (a) چهل متر در نظر گرفته شده است. تعداد استاندارد گام‌ها (جدایش دوقطبی‌ها) هم حداکثر هشت گام در نظر گرفته شده است. چرا که در گام‌های بالاتر از هشت، نسبت سیگنال به پارازیت خیلی کوچک شده و عملاً تنها پارازیت‌ها ثبت می‌شوند [۴].

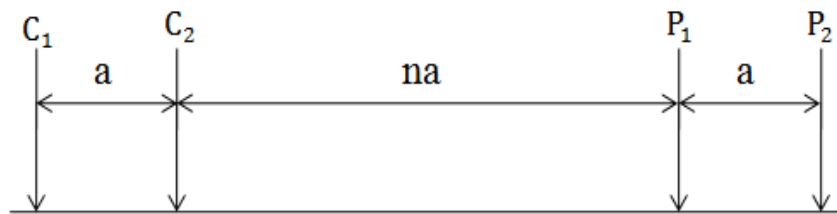
ب- آرایش دوقطبی- دوقطبی^۱

پایین بودن جفت‌شدگی الکترومغناطیسی بین مدارهای جریان و پتانسیل در آرایش دوقطبی- دوقطبی، این آرایش را به یک آرایش مفید برای برداشته‌های مقاومت ویژه الکتریکی و IP تبدیل کرده است [۱۱]. در اینجا به‌طور مختصر نحوه قرارگیری الکترودهای جریان و پتانسیل در آرایش به‌کار گرفته شده روی زمین ارائه می‌شود:

آرایش دوقطبی- دوقطبی از سال ۱۹۵۹ در اکتشافات ژئوفیزیکی به‌کار گرفته شد. در آرایش دوقطبی- دوقطبی خطی استاندارد، فاصله بین الکترودهای جریان (AB) و فاصله بین الکترودهای پتانسیل (MN) یکسان بوده و در حالت ایده‌آل به‌طور قابل ملاحظه‌ای کمتر از فاصله بین مراکز دو

1 - Dipole- Dipole

دایپل است. از بین آرایش‌های مختلف دوقطبی- دوقطبی، آرایش محوری^۱ و استوایی^۲ بیشتر از بقیه موارد مورد استفاده قرار می‌گیرند [۴، ۱۸]. این آرایش نسبت به تغییرات افقی مقاومت ویژه الکتریکی حساس بوده و قادر به شناسایی ساختارهای زمین‌شناسی قائم از جمله دایک‌ها و حفرات زیرسطحی می‌باشد [۱۱]. در شکل (۱-۲) نحوه قرارگیری الکترودها در آرایش دوقطبی- دوقطبی نشان داده شده است.



شکل (۱-۲): نحوه قرارگیری الکترودها در آرایش دوقطبی- دوقطبی

۳-۲- حفاری

در بسیاری از موارد، برای اکتشاف منابع معدنی مختلف، گمانه‌هایی در منطقه حفر می‌گردد. گمانه تنها وسیله دسترسی به سنگ‌های عمیق زیرسطحی می‌باشد. غالباً از گمانه‌ها نمونه‌گیری می‌شود و بنابراین با مطالعه آن‌ها می‌توان خصوصیات سنگ‌های زمین را در ناحیه‌ای که گمانه حفر شده است شناسایی کرد؛ اما به کمک روش‌هایی - که به نام چاه‌پیمایی معروف است- می‌توان اطلاعات بیشتری از این گمانه‌ها به دست آورد. هدف اصلی حفر گمانه، کسب اطلاعات از ماده معدنی در اعماق مختلف است [۹].

حفاری گاه به منظور اکتشاف و گاهی در مراحل نهایی اکتشاف به منظور تعیین ذخیره و عیارسنجی دقیق انجام می‌شود. نوع حفاری، محل حفاری، عمق حفاری و تعداد چاه‌ها بستگی به نوع کانی‌سازی و مرحله اکتشاف دارد. محل حفاری بستگی به نوع کانی‌سازی دارد. مثلاً در کانی‌سازی رگه‌ای حفاری در کمر بالای رگه انجام می‌شود. در بعضی ذخایر وجود حفاری به تنهایی برای عیارسنجی و

1 - Axial
2 - Equatorial

تعیین ذخیره کافی نیست و احتیاج به حفر تونل اکتشافی نیز هست؛ که طول آن به نوع و ابعاد کانی‌سازی بستگی دارد [۱۰].

در تعیین شبکه حفاری، هدف به‌دست آوردن حداکثر اطلاعات با کمترین هزینه ممکن است. به همین دلیل تلاش می‌شود که محل چاه در محل برخورد مقاطع تحت‌الارضی و ژئوفیزیکی تعیین گردد. بر این اساس، مقاطع تحت‌الارضی را طوری رسم می‌کنند؛ که عمود بر ساختارها باشد. در هر حال چاه‌ها بر روی مقاطع ژئوفیزیکی برداشت شده، تعیین خواهند گردید. مغزه‌های به‌دست آمده از عملیات مغزه‌گیری در حین حفاری، علی‌رغم تحمیل هزینه‌های گزاف، قابل اعتمادترین روش برای تعیین لیتولوژی‌های زیرزمینی می‌باشند.

داده‌های حاصل از مطالعه‌ی مغزه‌ها، نقش اساسی در تعیین مشخصات یک مخزن دارند. توصیف جزئیات مغزه اولین قدم برای تعیین مشخصات یک ذخیره می‌باشد. توصیف یک مغزه عموماً شامل: تعیین لیتولوژی، ضخامت لایه‌ها، شناخت ساخت‌های رسوبی، مطالعه شکستگی‌ها و تفسیر محیط رسوبی می‌باشند [۲۶].

فصل سوم

معرفی کانسار سرب و

روای پیچمنو

۳-۱- مقدمه

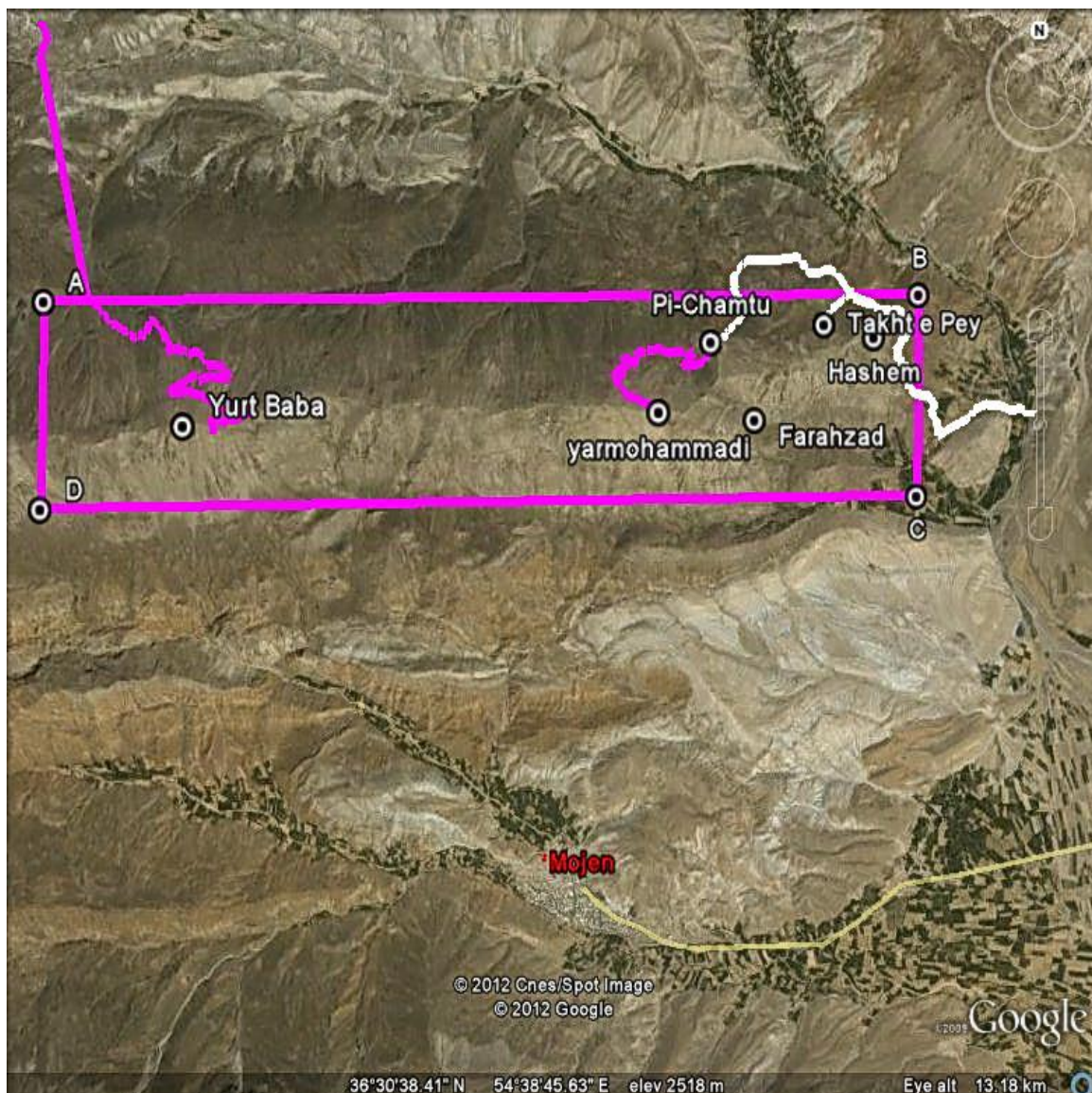
در این فصل پس از بیان موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه اکتشافی، سوابق مطالعات و بررسی‌های انجام شده در ناحیه مورد مطالعه شرح داده خواهد شد. سپس ویژگی‌های کانسار از قبیل وضعیت زمین‌شناسی عمومی منطقه، ژنز کانسار، توالی چینه‌شناسی، مشخصات سنگ دورن‌گیر خواهد آمد و در انتها شرح مختصری از کانی‌های تشکیل دهنده کانسار و خاستگاه آن ارائه خواهد شد.

۳-۲- موقعیت جغرافیایی محدوده اکتشافی

کانسار سرب و روی تاش و مجن در محدوده شهر شاهرود، در شمال شرق ایران، قبل از روستای تاش و در نزدیکی باغات منطقه‌ی فرحزاد واقع و شامل یک سری رخنمون از ماده معدنی در محدوده ذیل می‌باشد؛ که با یک چهارضلعی ABCD (بنفش رنگ) در شکل (۳-۱) مشخص می‌شود و مختصات چهارگوش آن یعنی A، B، C و D با طول و عرض جغرافیایی داده شده در جدول (۳-۱) می‌باشد. منطقه مورد مطالعه (پی‌چمتو) وسعتی حدود ۲۰ کیلومتر مربع دارد.

جدول (۳-۱): مختصات جغرافیایی محدوده مورد مطالعه [۲۷].

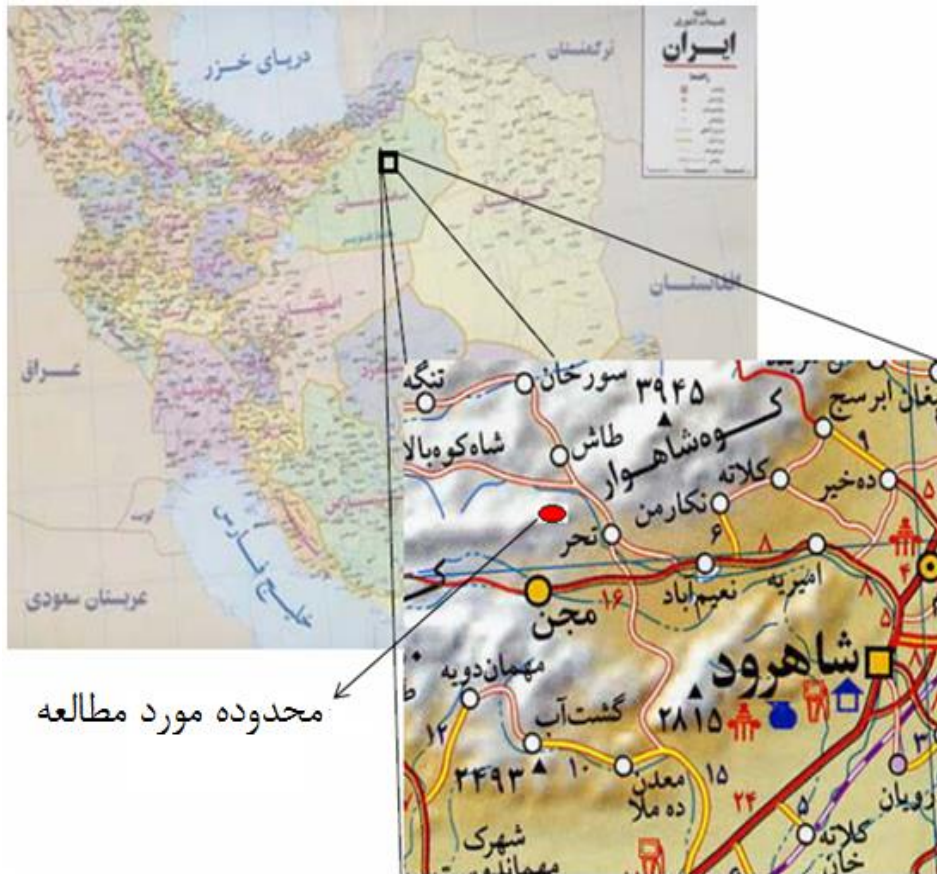
رئوس	A	B	C	D
طول جغرافیایی	۵۴° ۳۴' ۵۹/۴" E	۵۴° ۴۱' ۳۵/۹" E	۵۴° ۴۱' ۳۵/۹" E	۵۴° ۳۴' ۵۹/۴" E
عرض جغرافیایی	۳۶° ۳۲' ۳/۵" N	۳۶° ۳۲' ۳/۵" N	۳۶° ۳۰' ۵۸/۷" N	۳۶° ۳۰' ۵۸/۷" N



شکل (۳-۱): محدوده معدنی در تصویر Google Earth [۲۷].

۳-۳- راه‌های ارتباطی به محدوده

فاصله محدوده مورد مطالعه از شهر شاهرود بیش از ۴۰ کیلومتر است؛ که ۳۰ کیلومتر آن جاده آسفalte شاهرود- تاش و ۱۰ کیلومتر دیگر جاده خاکی متعلق به کانسار است. شکل (۳-۲) نمایانگر حدود قرارگیری کانسار مورد مطالعه در نقشه ایران و نقشه راه‌های موجود در منطقه است.



شکل (۳-۲): حدود قرارگیری کانسار مورد مطالعه در ایران [۴].

۳-۴- سوابق مطالعات و بررسی‌های انجام شده در ناحیه مورد مطالعه

سابقه تحقیقات و مطالعات اکتشافی در ناحیه‌ی مورد مطالعه به فعالیت‌های معدنکاری شدادی سرب و روی برمی‌گردد. از این محدوده در منابع معدنی ایران به عنوان پی‌چمتو و برفکه یاد شده است. قدمت فعالیت‌های معدنی در این محدوده به ۴۵ تا ۵۰ سال گذشته و جنگ جهانی دوم می‌رسد. بنا بر اقوال ساکنان محلی علی‌رغم بالا بودن عیار روی در این محدوده، به دلیل نیاز بالای تجهیزات جنگی روسیه به سرب برای ساخت گلوله، تنها سرب این منطقه استخراج و به سمت روسیه بارگیری می‌شده است. خاطر نشان می‌شود که در گذشته تنها جزئی از بخش‌های پرعیار کانسار استخراج شده و در حال حاضر بخش عمده‌ای از کانسار همچنان باقی مانده و قابل استخراج است. اما آنچه که به عنوان شواهد معدن‌کاری قدیمی در منطقه باقی است به شرح ذیل است:

منطقه کوه برفک: در این منطقه ۵ دهانه تونل قدیمی مورد شناسایی قرار گرفته‌اند؛ که طول مجموع آن‌ها به یک کیلومتر می‌رسد.

منطقه یورت بابا: در این منطقه فعالیت‌های اکتشافی قدیمی نظیر حفر ترانشه و تونل به تعداد زیاد وجود داشته؛ که آثار و شواهد آن‌ها نیز دیده می‌شود. اما به مرور زمان و تحت تأثیر شرایط محیطی این شواهد تا حد زیادی تخریب شده و از بین رفته است. از بین تمام این شواهد سه دهانه تونل با مجموع طول ۴۰۰ متر هنوز باقی است.

در بخش‌های دیگری از محدوده مورد مطالعه نیز آثاری از وجود اکلون‌ها، چاه‌ها و دوپیل‌های مختلف مشاهده می‌شود؛ که تقریباً تمامی آن‌ها تخریب شده و بررسی داخل آن‌ها تقریباً غیر ممکن است [۴].

۳-۵- زمین‌شناسی عمومی منطقه

کوه‌های البرز قسمتی از کمربند کوهزایی آلپ- هیمالایا است؛ که در شمال فلات ایران قرار گرفته است [۲۹]. زون البرز حداقل تا تریاس میانی جزئی از زون ایران مرکزی بوده است؛ به طوری که از کامبرین تا اواسط تریاس با رخساره پلاتفرمی در یک پهنه وسیع که سراسر ایران مرکزی و ناحیه فعلی البرز را در بر می‌گرفته، ته‌نشین شده است.

در اواخر تریاس پس از برخورد حواشی صفحات ایران و توران، زمین‌های هر دو قاره متحمل چین‌خوردگی، شکستگی و بالا آمدگی مهمی می‌شود؛ که به همراه این تغییرات ماگماتیسم گسترده‌ای نیز وجود دارد [۲۹].

رسوب سازند شمشک در هر دو ناحیه پیامد فرسایشی است که در برآمدگی‌های مزبور رخ داده است. وجود آثار گیاهی و ذخایر بزرگ زغال سنگ و شواهد دیگر نظیر سنگ‌شناسی و ساختمان‌های رسوبی نشان می‌دهد که محیط رسوبی سازند شمشک، یک حوضه رسوبی قاره‌ای گسترده در منطقه‌ای نزدیک به خط استوا بوده است [۳۰].

پس از آرامش نسبی و فرسایش زمین‌های بالا آمده، یک رژیم رسوب‌گذاری کربناته در ژوراسیک میانی بر قسمتی از البرز و ایران مرکزی حاکم می‌شود و تا پایان کرتاسه ادامه می‌یابد. با خروج ارتفاعات اولیه البرز از آب در اوایل پالئوسن در شمال و جنوب این ارتفاعات، دو حوضه رسوبی متفاوت تشکیل می‌شود که هر یک دارای سرگذشت زمین‌شناسی خاص خود هستند [۳۱].

منطقه مورد مطالعه به عنوان بخشی از البرز پیش از تریاس پسین مشابه سایر نقاط در حاشیه شمالی ایران، بخشی از یک حاشیه واگرا بوده است. با تصادم خرد قاره ایران و توران در تریاس پسین این حاشیه غیرفعال به یک حوضه فورلند^۱ حاشیه‌ای با رسوبگذاری دریایی تبدیل شده است. در این مرحله که تا ژوراسیک میانی ادامه داشته است، فرارانش مجموعه دگرگونی گرگان در منطقه مورد مطالعه بر روی رسوبات در حاشیه شمالی، اعمال تنش‌های خمشی، خمش لیتوسفر در این حاشیه را سبب شده است. تکمیل فرایند تصادم تدریجاً سبب الحاق ورقه‌هایی از پوشش رسوبی این حاشیه و جایگزینی مجموعه‌ای از ورقه‌های رورانده بر روی فلات قاره شده است. در نتیجه این انتقال برآمدگی حاشیه‌ای حاصل از خمش لیتوسفر به سمت بخش‌های داخلی ایران (به سمت جنوب) حرکت کرده است. در نتیجه این انتقال بخش‌هایی از فلات قاره، که تا این زمان مکان رسوبگذاری نهشته‌های دریایی پالئوزوئیک و تریاس بوده است، از آب خارج و تحت تاثیر فرسایش قرار گرفته‌اند. دگرشکلی فرسایشی در قاعده رسوبات شیلی و ماسه‌سنگی سازند شمشک در حاشیه شمالی ایران می‌تواند نتیجه چنین فرایند تکتونیکی فرسایش باشد [۲۷].

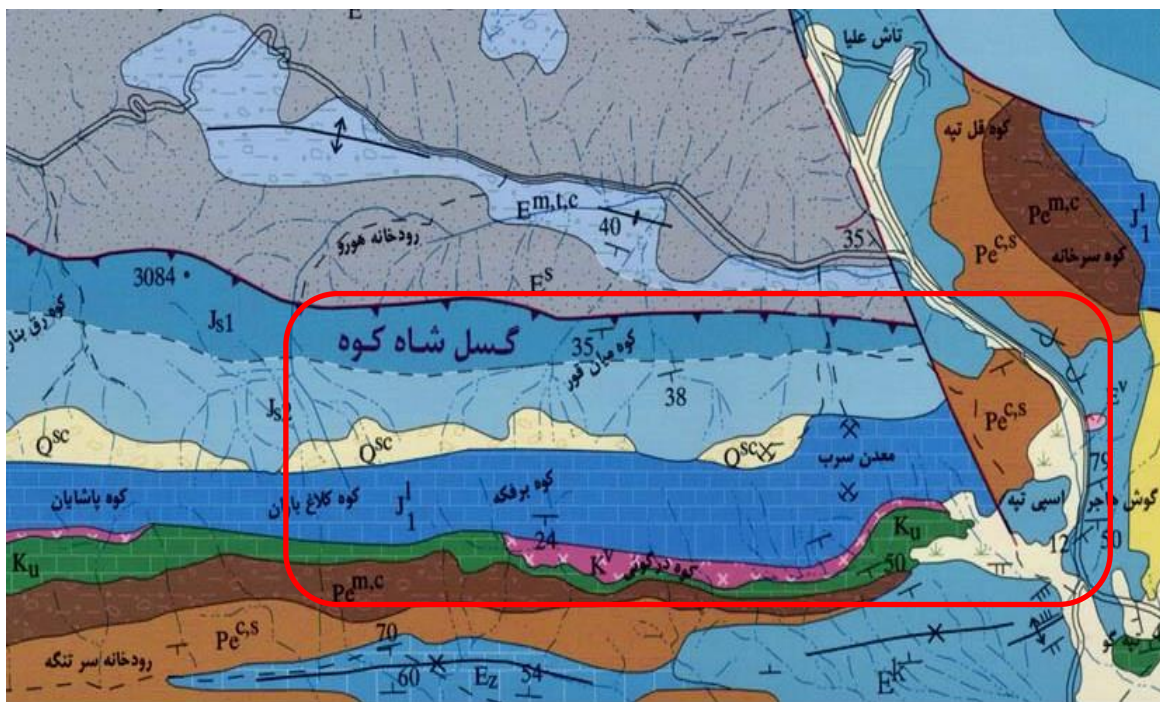
۳-۶- ژنز کانسار

با توجه به رده بندی نیگلی و اشنایدرمن، کانسار منطقه تاش و مجن در دسته کانسارهای نفوذی گرمابی و از نظر رده بندی اسمیرنوف جز کانسارهای گرمابی با خاستگاه درون (درونزا) می‌باشد [۴]. کانسار سرب و روی تاش و مجن حاصل کانه زایی سیال‌های کانه‌دار گرم است؛ که در زیر زمین جریان دارند و در چهره‌های گوناگون همراه آب به‌جای تجمع، حمل می‌شوند و ضمن همراه شدن

1 - Foreland Basin

تدریجی با آب در مسیر حرکت، سیال کانه‌دار را پدید می‌آورند و در نهایت تمرکز می‌یابند [۴]. همچنین ممکن است تمرکز به صورت پر کردن کاوک‌ها و فضاهای خالی درون سنگ‌ها باشد. که در اینصورت به صورت دیرزاد و پس از خروج بازالت‌ها شکل گرفته و این تبعیت از شکل فضاهای خالی و گسل‌ها به‌خوبی در داخل تونل‌ها، ترانشه‌ها و دوپل‌ها قابل مشاهده و بررسی است. به همین دلیل شکل انباشته‌های گرمابی تابعی از شکل کاوک‌های سنگ میزبان و چگونگی جانشینی در آن-هاست. از همین رو به شکل رگه‌ها و کانسارهای لایه‌ای و اشکال پیچیده درآمده است [۴].

بر اساس رده بندی لیندگرن کانسار مورد مطالعه از نوع اپی‌ترمال و کانسارهای نوع دره می‌سی‌سی‌پی می‌باشد. یکی از ویژگی‌های این کانسارها، تشکیل توده‌های عدسی شکل بزرگ و کوچک و رگه‌هایی با ابعاد و ضخامت کوچک تا متوسط ولی در تعداد زیاد و پراکنده در منطقه‌ای وسیع می‌باشد. مطالعات جدید حاکی از آن است که از لحاظ تکتونیکی، بیشتر کانسارهای تیپ دره می‌سی‌سی‌پی (MVT) (نه همه‌ی آنها) از محلول‌هایی نهشته شده‌اند که از حوضه‌های فورلند کوه‌زایی منشاء گرفته‌اند. یکی از عوامل مهم کنترل‌کننده‌ی کانی‌سازی در منطقه، گسل‌ها و شکستگی‌ها می‌باشند و نیز حفرات موجود در سنگ آهک از دیگر مکان‌های مناسب برای تجمع مواد معدنی است؛ که سنگ میزبان آن آهک و آهک‌های دولومیتی است. به همین لحاظ این کانسارها را به عنوان همراهی سنگ آهک با سرب و روی مورد بررسی قرار می‌دهند [۴]. در شکل (۳-۳) نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل (۳-۳): نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه در نقشه‌ی ۱/۱۰۰۰۰۰ علی‌آباد [۲۷].

MESOZOIC	JURASSIC	CRE.	PAL.		
			JL	JU	
			<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: #8B4513; margin-right: 5px;"></div> <div>Pe^{c,s}</div> </div>	Pe ^{c,s} : red to Orange thick bedded conglomerate, sandstone with intercalation of marl	] (FAJAN F.)
		<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: #8B4513; margin-right: 5px;"></div> <div>Pe^{m,c}</div> </div>	Pe ^{m,c} : Red sandy marl with intercalations of conglomerate and sandstone		
		L.CRE.	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: #228B22; margin-right: 5px;"></div> <div>K_u</div> </div>	K _u : Thick-bedded to massive limestone	
			<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: #800080; margin-right: 5px;"></div> <div>K^v</div> </div>	K ^v : Basalt, spilitic lava and conglomerate	
		JU	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: #4682B4; margin-right: 5px;"></div> <div>J₁¹</div> </div>	J ₁ ¹ : Thick-bedded to massive light grey to pinkish limestone (LAR F.)	
			<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: #4682B4; margin-right: 5px;"></div> <div>J_s</div> </div>	J _s : Sandstone, shale and conglomerate (SHEMSHAK F.)	
			<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: #4682B4; margin-right: 5px;"></div> <div>J₃</div> </div>	J ₃ : Marly shale with intercalations of sandstone, conglomeratic sandstone and calcareous sandstone	
			<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: #4682B4; margin-right: 5px;"></div> <div>J₂</div> </div>	J ₂ : Grey to dark grey and olive green shale with intercalations of sandstone and thin coal horizons	
			<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 20px; height: 20px; background-color: #4682B4; margin-right: 5px;"></div> <div>J₁</div> </div>	J ₁ : Dark brown to grey sandstone and shale	

شکل (۴-۳): راهنمای نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه [۲۷].

۷-۳- توالی چین‌شناسی منطقه

به طور کلی توالی چین‌شناسی منطقه شمال شاهرود از کامبرین پیشین شروع شده و به تشکیلات آتشفشانی- رسوبی ائوسن ختم می‌شود. مهمترین سازندهای تشکیل دهنده این توالی به ترتیب از قدیم به جدید عبارتند از: بایندور، سلطانیه، باروت، لالون و میلا که از کامبرین پیشین تا

اردو پسین را شامل می‌شوند و سازند جیروود نیز سن دونین را دارد. سازند الیکا، شمشک، دلیچای، لار و آهک کرتاسه سازندهای دوران دوم، و فجن، زیارت و کرج سازندهای پالئوسن و ائوسن را تشکیل می‌دهند؛ که مجموعاً در محدوده نزدیک به کانسار قرار گرفته‌اند [۲۷]. لذا در این پروژه تنها خصوصیات چینه‌شناسی سازندهایی که در منطقه مورد مطالعه وجود دارد، اندکی شرح داده خواهد شد.

۳-۷-۱- سازند شمشک (J_s)

سازند شمشک با سن تریاس بالایی- ژوراسیک پایین، شامل تناوبی از ماسه سنگ گریواکی، شیل سیلتی، شیل و شیل کربناته است. مقطع تیپ آن در البرز مرکزی، نزدیک روستای شمشک قرار گرفته که در اینجا به صورت هم‌شیب زیر سازند دلیچای قرار گرفته است. این سازند به دلیل وجود زغال در بخش میانی و فوقانی خود، از اهمیت اقتصادی زیادی برخوردار است. گسترش آن در منطقه نسبتاً زیاد است. این سازند در محل کانسار با دو سازند لار و کرج دارای مرز مشترک گسلی است [۲۷].

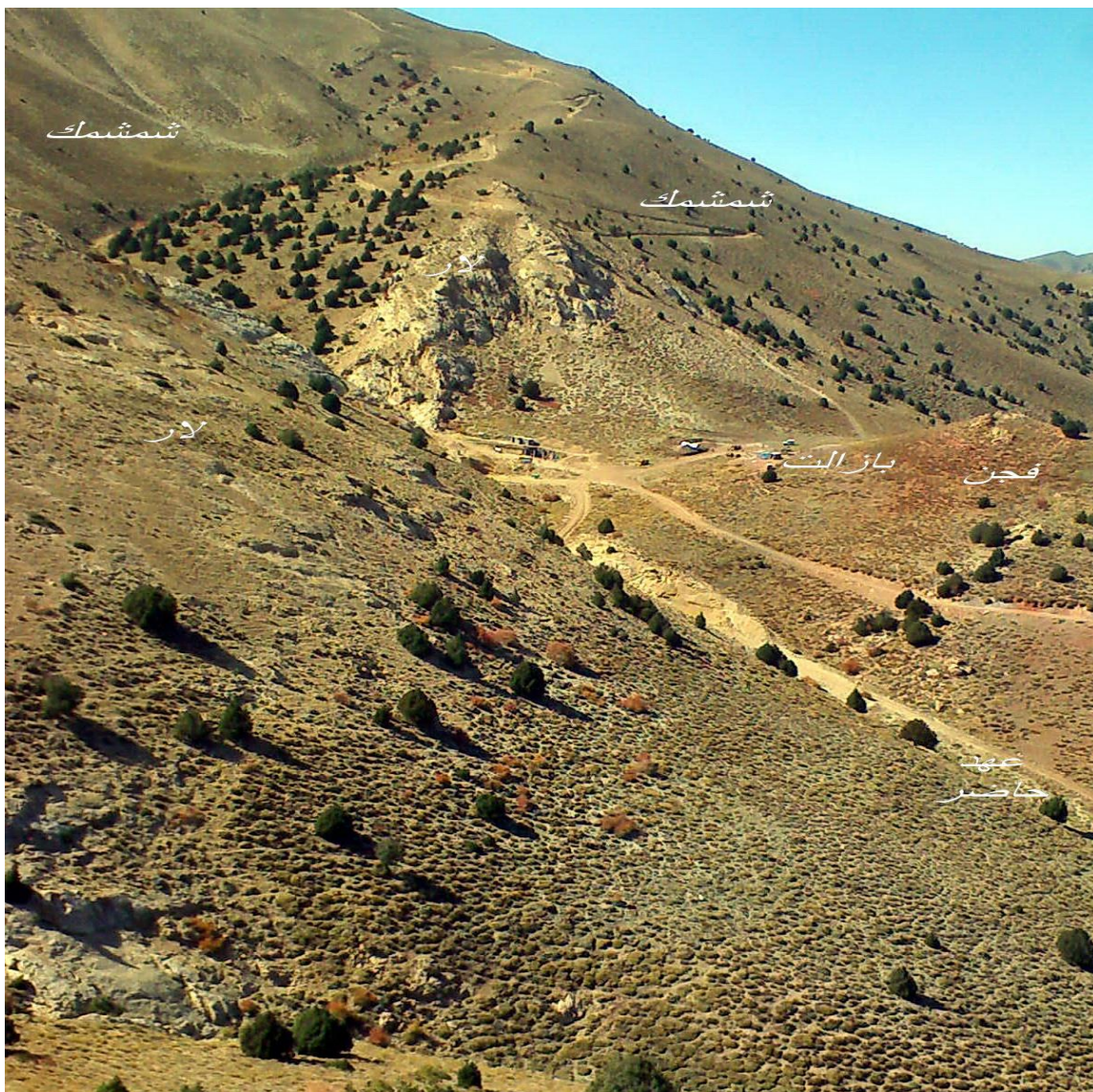
۳-۷-۲- سازند لار (J_l^I)

سازند لار اولین بار توسط آسرتو (۱۹۶۶) معرفی شد. مقطع تیپ آن واقع در دره لار (البرز مرکزی) به ضخامت ۲۵۰ تا ۳۵۰ متر، از آهک نازک لایه تا توده‌ای حاوی ندول‌ها و نوارهای نازک از چرت‌های سفید و بنفش تشکیل شده است. در مقطع تیپ سازند لار به صورت هم‌شیب و تدریجی روی سازند دلیچای و با یک ناپیوستگی فرسایشی زیر آهک کرتاسه قرار گرفته است. با توجه به فسیل‌های آمونیت گزارش شده در این واحد، سن آن آکسفوردین- کیمبریجین تعیین شده است، ولی تحقیقات جدید سن نئوکومین را پیشنهاد داده است. سازند لار در منطقه مورد مطالعه از گسترش زیادی برخوردار است و ماده معدنی در حفرات و فضاهای خالی موجود در آن تمرکز یافته است [۲۷].

۳-۷-۳- سازند فجن ($P_e^{C,S}$)

سازند فجن از رسوبات آواری قرمز رنگ همراه با میان لایه‌هایی از گدازه‌های آندزیتی و آگلومرایی تشکیل شده است. این سازند به صورت ناپیوسته روی رسوبات قدیمی‌تر و به طور هم‌شیب زیر سازند

زیارت قرار گرفته است. بر اساس موقعیت چینه‌شناسی سنی معادل لوتین تا پالئوسن را در بر می‌گیرد. سازند فجن در منطقه از رسوبات آواری قرمز رنگ، عمدتاً کنگلومرا و ماسه‌سنگ تشکیل شده و به سمت بالا ذرات دانه درشت‌تر و ضخیم‌تر می‌شود. با توجه به خصوصیات رخساره‌ای در این واحد می‌توان یک محیط با جریان توده‌ای، حمل به صورت بار بستری و ته‌نشینی از حالت معلق را متصور شد. این مدل با مدل‌های رخساره‌ای ارائه شده برای بادزن‌های آبرفتی و رودخانه‌ای بریده بریده، مطابقت دارد [۲۷]. شکل (۳-۵) نشان دهنده موقعیت این سازندها در منطقه مور مطالعه است.



شکل (۳-۵): تصویری از منطقه پی‌چمتو که سازندهای مختلف بر روی آن مشخص شده است (دید به سمت جنوب غرب) [۲۷].

۳-۸- مشخصات سنگ درون گیر

سنگ درون گیر کانسار شامل آهک و آهک دولومیتی سازند لار به سن ژوراسیک بالایی است. در نمونه دستی به رنگ کرم تا خاکستری بوده و حاوی باندها و ندول‌های چرت به رنگ قهوه‌ای تیره است و به ندرت قطعاتی از آمونیت در آن مشاهده می‌شود. ویژگی دیگر این سازند، لایه‌بندی متوسط تا ضخیم و تقریباً توده‌ای است به طوری که تعیین شیب و امتداد طبقات در آن بسیار مشکل است. ولی با توجه به وضعیت کلی قرارگیری این سازند می‌توان روند کلی آنرا مشخص نمود. روند عمومی سنگ درون گیر در محدوده نقشه شمال غرب- جنوب شرق و شیب عمومی به سمت شمال شرق می‌باشد (در بخش شرقی روند کلی آهک‌ها مقداری به سمت شمال غرب- جنوب شرق چرخش می‌کند که در نتیجه چین خوردگی است). خردشدگی و برشی شدن در امتداد گسل‌ها قابل مشاهده است، که در نتیجه حرکات تکتونیکی در طی فرایند کوه‌زایی حاصل شده است. خردشدگی علاوه بر مقیاس ماکروسکوپی، در مقیاس میکروسکوپی نیز وجود دارد؛ به طوری که گاهی به دلیل وجود درزه‌ها و شکستگی‌های میکروسکوپی تهیه مقاطع میکروسکوپی با مشکل مواجه می‌شود و ضمن برش، سنگ از هم می‌پاشد. در عین حال توده سنگ از مقاومت فرسایشی بالایی برخوردار است و در کل منطقه تشکیل ستیغ و پرتگاه‌های تند و مرتفع داده است [۱].

علاوه بر درزه‌ها و شکستگی‌های فراوان که در مهاجرت و جای‌گیری ماده معدنی نقش داشته‌اند، وجود حفرات کارستی، که در نتیجه انحلال آهک حاصل شده‌اند، نقش مهمی در تمرکز ماده معدنی داشته است؛ به طوری که بخش عمده ماده معدنی به شکل عدسی و توده‌ای در فضاهای انحلالی داخل آهک تجمع یافته است [۱].

ویژگی دیگر سنگ درون‌گیر، پدیده تبلور مجدد در آن است که به وفور در سطح زمین، در داخل تونل‌ها و سایر حفریات قابل مشاهده است. کانی‌های آراگونیت، کلسیت و دولومیت فضای خالی حفرات را پر کرده‌اند و یا در دیواره رگه‌های کانی‌سازی شده متبلور شده‌اند. در منطقه، وجود بخش‌های دارای تبلور مجدد می‌توانند به عنوان راهنما یا نشانه‌ای برای کانی‌سازی مورد استفاده قرار

گیرند، زیرا پدیده تبلور مجدد توسط محلول‌های کانی‌ساز و سازنده کانسار و در دیواره و یا داخل فضاهای خالی موجود صورت گرفته است و رابطه تنگاتنگی با تشکیلات ماده معدنی دارد [۱۱].

۳-۹- کانی‌های تشکیل دهنده کانسار

مواد معدنی مورد مطالعه در محدوده اکتشافی، سرب و روی است. کانی‌های سرب و روی غالباً بصورت پاراژنز در کانسار دیده می‌شوند. کانسارهای اصلی این دو فلز از نوع گرمابی بصورت اپی ترمال، مزوترمال و تله ترمال هستند. قسمت اعظم توده‌های سرب در حوزه حرارتی متوسط تا ضعیف تشکیل می‌شوند، بدین جهت در عموم کانسارهای سرب و روی، میزان سرب با افزایش عمق کاهش می‌یابد. تقسیم‌بندی کانسارها می‌تواند بر پایه‌های مختلف صورت گیرد، اما تقسیم بندی مورد قبول زمین‌شناسان براساس منشاء ژنز کانسارها است. بر این اساس کانسارهای سرب و روی به گروه‌های زیر تقسیم‌بندی می‌شوند: کانسارهای اسکارن، کانسارهای ماسیو- سولفاید، کانسارهای هیدروترمال، کانسارهای تیپ دره می‌سی‌سی‌پی و کانسارهای سرب و روی استراتی‌باند - استراتیفرم رسوبی [۳۲].

کانی‌های اصلی شامل گالن و سروزیت (کانی‌های سرب) و اسمیت‌زونیت و همی‌مورفیت یا کالامین (کانی‌های روی) می‌باشند. باطله‌های کانسار شامل آراگونیت، کلسیت، دولومیت، گوتیت، کوارتز و کانی‌های رسی هستند.

ذخیره سرب تاش و مجن غالباً از نوع سولفیدی و به صورت کانی گالن (PbS) است. لازم به ذکر است که در قسمت شرقی منطقه کانی‌سازی بیشتر به صورت روی به‌ویژه اسمیت‌زونیت و همی‌مورفیت است. در این بخش باطله، ماده معدنی کلسیت و در حد ۱ تا ۵ درصد باریت می‌باشد که با چشم غیر مسلح قابل رویت نیست [۱۱]. مشخصات هر یک از کانی‌های اصلی به ترتیب فراوانی در منطقه عبارت است از:

۳-۹-۱- اسمیت زونیت

عمده‌ترین کانی سازنده کانسار است؛ که به شکل عدسی و توده‌ای خیلی دانه‌ریز حفرات و فضاهای خالی موجود را پر کرده است. گاهی به صورت بلورهای دانه‌ریز و بافت گل کلمی و گاهی به صورت ریزلایه‌های خیلی ریز ظاهر می‌شود. اسمیت زونیت یک کانی کربناته است که دارای ۷۴/۸ درصد ZnO و ۳۵/۲ درصد CO₂ می‌باشد و گاهی عناصر آهن و منیزیم هم جانشین روی می‌گردند. در سیستم هگزاگونال متبلور می‌شود و به رنگ سفید و زرد دیده می‌شود. اسمیت زونیت یک کانی ثانویه روی است که در شرایط اکسیدان از دگرسانی اسفالریت به وجود می‌آید [۱، ۲۷].

۳-۹-۲- همی مورفیت

دومین کانی فراوان روی است؛ که به صورت خیلی دانه‌ریز، حتی پودر مانند و به رنگ سفید دیده می‌شود. نمونه‌های جمع‌آوری شده از افق‌های همی مورفیت تا ۴۰ درصد روی دارند. کانی همی مورفیت یک سیلیکات آبدار روی است که دارای ۶۷/۵ درصد ZnO، ۲۵ درصد SiO₂ و ۷/۵ درصد H₂O می‌باشد. در سیستم اورتورومبیک متبلور می‌شود. رنگ آن سفید ولی اگر ناخالصی آهن داشته باشد به رنگ قهوه‌ای، آبی یا سبز دیده می‌شود. دارای جلای شیشه‌ای، سختی ۴/۵ تا ۵ و وزن مخصوص ۳/۱۵ است. یک کانی ثانویه روی است که در منطقه اکسیدان از دگرسانی سایر کانی‌های روی به وجود می‌آید [۱، ۲۷].

۳-۹-۳- گالن

تنها کانی سولفور در این کانسار است و نسبت به اسمیت زونیت و همی مورفیت از فراوانی کمتری برخوردار است (در قسمت غربی منطقه، یعنی معدن یورت بابا، گالن فراوانی بالایی دارد و کانی اصلی کانسار است). بخشی از ذخیره سولفیدی سرب یا گالن در نزدیکی سطح زمین بر اثر هوازدگی به سروزیت (PbCO₃) و به صورت نادر به آنگلیزیت (PbSO₄) تبدیل شده است؛ ولی معمولاً گالن در برابر هوازدگی تا حد زیادی مقاومت می‌کند. زیرا قسمت اکسیده سطحی، بقیه آنرا محافظت

می‌کند. هر چند که در رخنمون‌ها به صورت غیر هوازده نیز دیده می‌شود. گالن به صورت بلورهای دانه‌ریز و گاهی خاک مانند است. به ندرت ذرات دانه درشت گالن مشاهده می‌شود و در اغلب آنها گالن از حاشیه‌ها توسط کانی‌های کربناته جانشین شده است. عدم وجود اسفالریت و فراوانی کم گالن احتمالاً به دلیل پدیده جانشینی است. گالن حاوی $86/6$ درصد سرب است و در سیستم مکعبی متبلور می‌شود. بیشتر به شکل توده‌ای، دانه‌ای و یا پراکنده تشکیل می‌شود. رنگ آن خاکستری روشن و دارای جلای فلزی، سختی $2/5$ و وزن مخصوص $7/5$ است و همواره مقداری نقره ($0/01$ تا 1 درصد) در ترکیب آن وجود دارد. اسفالریت در شرایط اکسیدان پایداری کمتری نسبت به گالن دارد، لذا احتمالاً به صورت اولیه وجود داشته ولی توسط اسمیت‌زونیت جانشین شده است [۱، ۲۷].

۳-۹-۴- سروزیت

نسبت به اسمیت‌زونیت و کالامین، فراوانی کمتری دارد و ظهور آن بیشتر به صورت تبلور در سطوح شکستگی‌ها و یا سطح کانی‌های دیگر و به حالت بافت گل کلمی است. این کانی کربنات سرب است که حاوی $5/77$ درصد سرب است و در سیستم اورتورومبیک متبلور می‌شود. بلورهای آن در فرم‌های گوناگون سیستم اورتورومبیک و یا ماکل سه‌تایی با شکل ظاهری هگزاگونال نمایان می‌شوند. این کانی به صورت توده‌های دانه‌ریز تا متراکم، ساقه‌ای و رشته‌ای با جلای ابریشمی پدید می‌آید. دارای شکستگی صدفی است و در صورت خالص بودن بی‌رنگ و شفاف، دارای جلای چرب و الماسی و در صورت وجود ناخالصی به رنگ سفید خاکستری یا قهوه‌ای مایل به زرد است. سختی آن 3 و وزن مخصوص آن $6/5$ است. سروزیت یک کانی ثانیه سرب است و در شرایط اکسیدان از دگرسانی گالن به وجود می‌آید [۱، ۲۷].

۳-۹-۵- انگلزیت

سولفات سرب است که در سیستم اورتورومبیک متبلور می‌شود. بلورهای آن دارای سطوح زیاد و به صورت منشورهای کوتاه و پهن و یا دو هرمی پدید می‌آیند. بی‌رنگ، شفاف تا نیمه‌شفاف، جلای

چرب تا الماسی، سختی ۳ و وزن مخصوص ۶/۳ دارد. از دگرسانی گالن در شرایط اکسیدان و در منطقه گوسن^۱ به وجود می‌آید [۲۷].

۳-۱۰- خاستگاه کانسار

کانسار سرب و روی پی‌چمتو را می‌توان یک کانسار تیپ دره می‌سی‌سی‌پی معرفی کرد [۱].

برخی از ویژگی‌های کانسارهای سرب و روی تیپ دره می‌سی‌سی‌پی عبارتند از [۳۳]:

- (۱) بیشتر ذخایر دارای سنگ میزبان دولومیتی هستند. آهک و ماسه‌سنگ کمتر معمول هستند.
- (۲) دیرزاد و استراتاباند هستند.
- (۳) با فعالیت‌های آذرین همراه نیستند.
- (۴) ذخایر انفرادی کوچک ولی تعداد زیاد و مساحتی بسیار زیاد (صدها کیلومتر مربع) را پوشش می‌دهند.
- (۵) در درجه حرارت ۵۰ تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد تشکیل می‌شوند.

(۶) کانی‌شناسی ساده دارند و عمدتاً شامل اسفالریت، گالن، پیریت، مارکازیت، کالکوپیریت، دولومیت، کلسیت و کوارتز است.

(۷) دگرسانی مرتبط با کانی‌سازی عمدتاً شامل دولومیتی شدن و سیلیسی شدن می‌باشد.

(۸) سیال کانی‌ساز در آن شامل شوره‌های چگالی است که دارای ۱۰ تا ۲۰ درصد وزنی نمک هستند.

(۹) داده‌های ایزوتوپی نشانگر منشأ پوسته‌ای برای سرب، روی و همچنین گوگرد با منشأ دریایی است.

(۱۰) بافت آن‌ها متغیر است و از دانه‌درشت، دانه‌ریز و توده‌ای تا پراکنده تغییر می‌کنند.

کربنات‌های دانه‌درشت مهم‌ترین میزبان برای کانسارهای MVT و مخازنی برای هیدروکربن‌ها

هستند. پلت فورم‌های کربناته با دانه‌بندی درشت و خرد شده و یا کربنات‌های کارستی شده همراه با

تخلخل ثانویه زیاد و نفوذپذیر، محل‌های مناسبی برای ته‌نشست سولفید می‌باشند. عمدتاً کانسارهای

MVT در دولومیت‌ها بیش از سنگ آهک‌ها جایگزین می‌شوند و کانسارهای با میزبانی دولومیت

1 - Gossan

معمولاً بزرگتر بوده و مقادیر بیشتری از سرب، روی و نقره نسبت به بقیه سنگ‌های میزبان، دارند. دولومیت به عنوان سنگ میزبان اولویت اول برای کانی‌زایی است؛ که احتمالاً علت نفوذپذیری بیشتر آن به جریان سیال در مقایسه با سنگ آهک می‌باشد. بیشتر کانسارهای MVT دارای یک کانی‌شناسی ساده متشکل از کانی‌های سولفیدی اولیه که غالباً با اسفالریت، گالن و سولفیدهای آهن همراه است، می‌باشند. پارامترهای مناسب اکتشاف این نوع کانی سازی عبارتند از [۲۷]:

- ✓ حضور ماسه‌سنگ قاعده‌ای اکسید شده در مقیاس ناحیه‌ای
- ✓ حضور آبخوان‌های ناحیه‌ای، به ویژه آبخوان‌هایی که ارتباط هیدرولوژیک با بخش جلویی کوهزایی دارند.
- ✓ حضور ریف و رخساره‌های سدی
- ✓ حضور آبخوان‌های ناحیه‌ای با قابلیت آبدهی پایین (شیل و سنگ آهک ریزدانه ناحیه‌ای) با آبخوان‌های زیرین و زبرین
- ✓ تغییر تدریجی سریع رسوبات حوضه‌ای به رسوبات در تماس با پی‌سنگ (یعنی برجستگی‌های پی‌سنگی) و تغییر رخساره‌ای (شیل به کربنات و رخساره‌های پشت ریفی به رخساره‌های جلوی ریفی)
- ✓ حضور دولومیت هیدروترمال^۱ اسپارای ناحیه‌ای
- ✓ نشانگرهای دمای ناحیه ناهنجار که با رخدادهای آذرین ارتباط ندارند.

۳-۱۱- روش‌های عمده‌ی استخراج سرب و روی

کانسارهای سرب و روی تقریباً به‌طور انحصاری به روش‌های زیرزمینی استخراج می‌شوند، اگر چه عملیات سطحی استخراج نیز به ندرت صورت می‌گیرد، معدن انگوران که بزرگترین معدن سرب و روی ایران می‌باشد به روش روباز استخراج می‌شوند. به‌طور کلی تصمیم‌گیری در مورد استفاده از روش‌های استخراج زیرزمینی و یا سطحی به عمق کانسار بستگی دارد و نوع روش استخراج توسط

1 - Sparry

خصوصیات هر کانسار مشخص می‌شود. در روش‌های استخراج زیرزمینی با حفر چاه اصلی و یا تونل‌های موازی لایه دسترسی به کانسار حاصل می‌شود که در ادامه جهت شروع عملیات استخراج کانسار، حفاری‌هایی در بخش‌ها و اعماق مختلف آن صورت می‌گیرد. مواد استخراج شده از طریق دو یا چند چاه به بیرون انتقال داده می‌شود.

در روش‌های استخراج روباز که ممکن است کانسار در بعضی از موارد رخنمون داشته باشد، اگر شرایط توپوگرافی اجازه دهد عملیات استخراج همیشه از جایی شروع می‌شود که برای دسترسی به ماده معدنی نیاز به کمترین باطله برداری وجود داشته باشد.

عیار حد کانسارهای سرب و روی بسیار متغیر است. این مقدار برای معادن سهل الوصول ۳ درصد، معادن کوچک زیرزمینی ۶ درصد و مناطق به شدت پرهزینه ۱۰ درصد فلز است. به عنوان مثال عیار سنگ معدن ارسالی به کارخانه فرآوری معدن سگ قرمز آلاسکا ۵ درصد سرب و ۱۷/۱ درصد روی است. عیار کم سرب و روی نیز در صورتی که این مواد به عنوان محصول جانبی عملیات استخراج مس محسوب شوند ممکن است اقتصادی باشد. همچنین هنگامی که امکان استحصال فلزات با ارزشی همچون نقره به عنوان محصول جانبی در عملیات وجود داشته باشد، در شرایط مشابه کاری عیار حد کانسار پایین می‌آید.

عمومی‌ترین روش استخراج زیرزمینی سرب روش اتاق و پایه است. این روش معمولاً برای استخراج کانسارهای لایه‌ای بزرگ و هموار، عدسی شکل و استراتاباند به کار برده می‌شود [۳۲].

فصل چہارم

تھیہ مدل و تخمین

ذخیرہ کانسار سرب و

روای پی چمنو

۴-۱- مقدمه

برای ایجاد یک مدل سه‌بعدی از کانسار به داده‌های حاصل از نقشه‌های زمین‌شناسی مختلف مقاطع عرضی، گمانه‌ها و داده‌های حاصل از برداشت‌های الکتریکی نیاز است [۳۴]؛ که با توجه به این مدل سه‌بعدی، می‌توان ذخیره کانسار را محاسبه نمود. بررسی ذخیره یک معدن، پارامترهای مهمی را به دنبال خود خواهد داشت، مانند اقتصادی بودن معدن، چگونگی طراحی معدن و مواردی از این دست که باعث تحول و کارکرد متناسب با ذخیره خواهد شد. در این فصل ابتدا مطالبی راجع به مدل‌های سه‌بعدی و روش‌های ریاضی که برای تهیه مدل به کار رفته است، توضیح داده می‌شود و سپس مدل‌های تهیه شده با استفاده از روش‌های ریاضی و حجم‌های به دست آمده از هر روش ارائه می‌شود؛ که در نهایت با ضرب کردن این حجم‌ها در وزن مخصوص ماده معدنی، تخمین ذخیره انجام می‌شود.

۴-۲- مدل‌های سه‌بعدی

نقشه‌های پتانسیل معدنی^۱ و ارزیابی منابع معدنی^۲ برای تخمین ذخیره کانسارهای معدنی کشف نشده مورد استفاده قرار می‌گیرند. برای نشان دادن کانسارهای معدنی که به‌طور صحیح کشف نشده‌اند پارامترهای کلیدی از قبیل موقعیت سه‌بعدی کانسار و حجم پتانسیل معدنی، مورد نیاز است. مدل‌های سه‌بعدی اطلاعاتی قابل توجه در تخمین ذخیره کانسار به کاربر می‌دهد [۳۴].

برای ایجاد یک مدل واقعی‌تر سه‌بعدی به داده‌های زمین‌شناسی از قبیل نقشه‌های زمین‌شناسی در مقیاس‌های مختلف، مقاطع و گمانه‌ها نیاز است. نقشه‌های زمین‌شناسی به همراه مقاطع زمین‌شناسی و گمانه‌های اکتشافی تفسیری جزئی‌تر از هندسه‌ی ساختارهای زمین‌شناسی در عمق و ارتباط آنها را ارائه می‌دهد. بنابراین مدل‌های سه‌بعدی اطلاعات اساسی درباره مکان، جهت و ارتباط ساختارهای زمین‌شناسی در عمق است. مدل‌های سه‌بعدی نه تنها برای تعیین ترکیب زمین‌شناسی

1 - Mineral potential mapping

2 - Mineral resource assessment

یا خصوصیات زمین‌شناسی استفاده می‌شود؛ بلکه برای پیش بینی پتانسیل معدنی و ارزیابی منابع معدنی نیز مفید است. اصولاً برای مدل‌سازی سه‌بعدی گام‌های زیر مورد بررسی قرار می‌گیرد [۳۴]:

۱- بررسی داده‌ها: تلفیقی از اطلاعات زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی، ژئوشیمی، توپوگرافی و استانداردهای واحدسازی و لیتولوژی برای سیستم مختصات سه‌بعدی، در این بخش قرار می‌گیرد.

۲- مدل‌های سه‌بعدی زمین‌شناسی: در این قسمت، ساخت و ادغام مقاطع زمین‌شناسی محلی که برای همگن‌سازی و ساده‌سازی از کنتاکت‌های منطقه‌ای زمین‌شناسی استفاده شده‌اند؛ مورد بحث قرار می‌گیرد. سطوح زمین‌شناسی از اتصال منحنی‌ها و شیب بردارهای ناشی از نقشه‌های زمین‌شناسی سطحی، مقاطع و مدل‌های ارتفاعی دیجیتالی ساخته شده است. داده‌های برداری برگرفته شده از نقشه‌های زمین‌شناسی و مقاطع برای شرح، بیان و مدل‌های هندسی استفاده می‌شوند. داده‌های ژئوفیزیکی برای عمق، شیب و مرزهایی از ماده معدنی، لایه‌ها، گسل‌ها و چین‌ها به کار گرفته می‌شود.

۳- تفسیر و ارزیابی: داده‌های گمانه برای کنترل و ارزیابی مقاطع زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی، ژئوشیمی و نشان دادن عمق‌هایی از مدل‌های سه‌بعدی زمین‌شناسی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

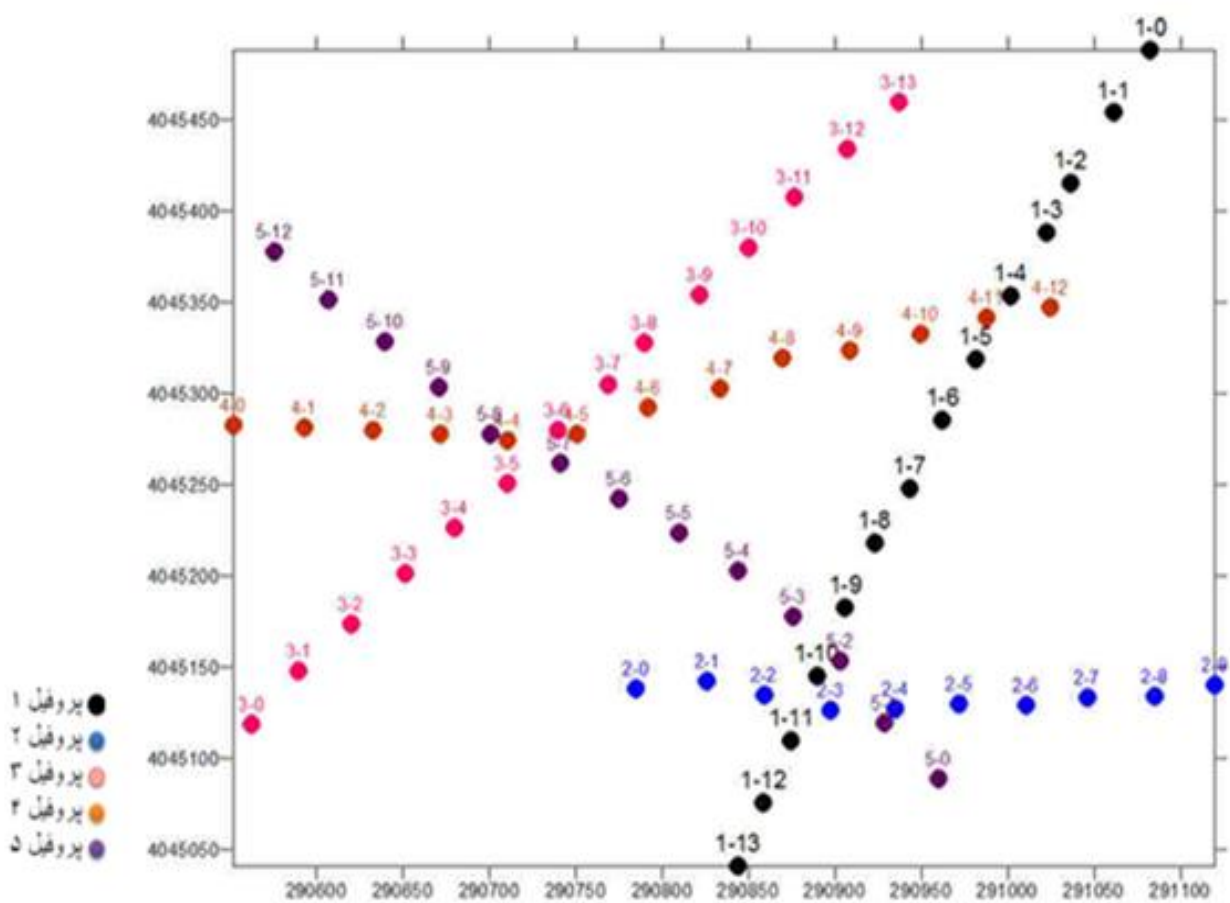
داده‌های زمین‌شناسی برای پیشرفت در اکتشاف مواد معدنی با استفاده از یک مدل سه‌بعدی زمین‌شناسی ارائه می‌شوند. ادغام داده‌های زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی و ژئوشیمی در سه بعد می‌تواند منجر به اکتشاف مواد معدنی و تعریف اطلاعات معنی‌دار زمین‌شناسی به ویژه اهداف اکتشافی شود. تکنولوژی سه‌بعدی، زمین‌شناسان را برای بررسی، تجزیه و تحلیل و تفسیر مدل سه‌بعدی زمین‌شناسی قادر می‌سازد [۳۴].

رسیدن به یک مدل دقیق از یک کانسار برای دستیابی به یک طرح و استخراج بهینه مواد معدنی امری ضروری است. این مدل دقیق بدون استفاده از داده‌های اکتشافی متنوع و مختلف به ویژه در مناطق پیچیده زمین‌شناسی و معدنی ناممکن است. مدل کانسار در تخمین ذخیره کانسار اهمیت

زیادی دارد. در کانسار سرب و روی پی‌چمتو که فعالیت‌های معدنی در آن قدیمی می‌باشد؛ علی‌رغم بررسی‌های متعدد زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی، حفاری گمانه‌های اکتشافی و ترانسه‌ها و چندین تونل استخراجی، به دلیل عدم تهیه یک مدل کانساری در آن، همواره با مشکلات عدیده‌ای در شناسایی ماده معدنی به منظور استخراج آن مواجه‌اند. با توجه به اطلاعات اندک موجود اگر چه دستیابی به یک مدل سه‌بعدی دقیق از کانسار فوق امکان‌پذیر نیست؛ اما سعی شده است تا در این تحقیق یک مدل سه‌بعدی هر چند تقریبی از این کانسار به صورت یک بلوک دیاگرام بر اساس اطلاعات اکتشافی موجود تهیه و ارائه گردد.

۳-۴- طراحی شبکه برداشت

برای طراحی شبکه برداشت، در نظر گرفتن عوامل زیر به انتخاب حالت بهینه شبکه کمک می‌کند. این عوامل شامل زمین‌شناسی، هندسه طبیعی کانسار، شیب، امتداد و عمق کانسار، عمق تجسس، عوامل اقتصادی و تکنولوژیکی و اطلاعات در اختیار از کانسار می‌باشد. با در نظر گرفتن عوامل فوق و با توجه به نبود سابقه مطالعات قبلی و با انجام بازدیدهای صحرایی از مناطق مورد مطالعه در این مرحله از اکتشاف پروفیل‌های برداشت ژئوفیزیکی عمود بر روند عمومی ساختارهای زمین‌شناسی منطقه و برونزد آثار کانی‌سازی انتخاب گردید [۳۵]. در شکل (۴-۱) موقعیت پروفیل‌های برداشت ژئوفیزیکی (IP و مقاومت‌ویژه) و گمانه‌های اکتشافی روی نقشه زمین‌شناسی نشان داده شده است.



شکل (۴-۱): موقعیت پروفیل‌های برداشت ژئوفیزیکی (IP و مقاومت‌ویژه) و گمانه‌های اکتشافی در منطقه مورد مطالعه

۴-۴- تخمین ذخیره

یک تخمین زمین آماری، محاسبه میانگین وزن دار مقادیر متغیر مورد نظر واقع در همسایگی بلوک مورد تخمین است. مهمترین مسئله در این تخمین، انتخاب صحیح اوزان داده‌های معلوم، برای تخمین عیار نقطه یا بلوک مجهول است. فاصله نقاط داده، تا بلوک مورد تخمین، یکی از پارامترهای مؤثر در خطای تخمین اکثر روش‌های تخمین و از جمله تخمین زمین آماری است؛ زیرا نقاطی که به هم نزدیک‌ترند دارای همبستگی بیشتری نسبت به نقاط دیگرند. دیگر عوامل مؤثر در اوزان تخمین، هم همگی بستگی به الگوی پراکندگی و توزیع نقاط داده، حول بلوک مورد تخمین دارند و به مقدار عیار بستگی ندارند [۳۶].

برای تعیین نقاطی که باید در تخمین یک نقطه مجهول شرکت کنند؛ از شعاع جستجو استفاده می‌شود. شعاع جستجو^۱ فاصله‌ای است که در محدوده‌ی آن، نقاط با یکدیگر، ارتباط فضایی دارند. در این صورت برای تخمین هر نقطه‌ی مجهول باید از نقاطی که در دایره‌ای به شعاع r (شعاع جستجو) از نقطه مورد تخمین قرار دارند، استفاده شود. شعاع جستجو بر اساس نظر کارشناس تعیین می‌شود. گاهی هم شعاع جستجوی معادل، بوسیله‌ی نرم‌افزار بطور پیش فرض انتخاب می‌شود. انتخاب شعاع جستجوی بزرگ موجب می‌شود تا نقاطی که ارتباط فضایی با نقطه مورد تخمین ندارند، در تخمین آن رأی دهند. از طرفی انتخاب شعاع جستجوی کوچک باعث می‌شود تعداد نقاط شرکت کننده در تخمین نقاط مجهول کم شود. این امر، اعتبار تخمین را کاهش می‌دهد. به علاوه تعدادی از نقاط به دلیل نبود داده در فاصله شعاع جستجو، تخمین نمی‌خورند. بنابراین شعاع جستجو، یکی از پارامترهای مهم تخمین است و باید به دقت تعیین شود [۳۶].

برای تخمین ذخیره کانسار پی‌چمتو با استفاده از داده‌های ژئوفیزیکی، از نرم‌افزار Rockworks استفاده شده است؛ که شعاع جستجو به صورت پیش فرض بوسیله نرم‌افزار انتخاب شده است. پیش از این، مدل‌سازی داده‌های پلاریزاسیون القایی و مقاومت‌ویژه توسط نرم‌افزار Res2Dinv انجام و مقاطع

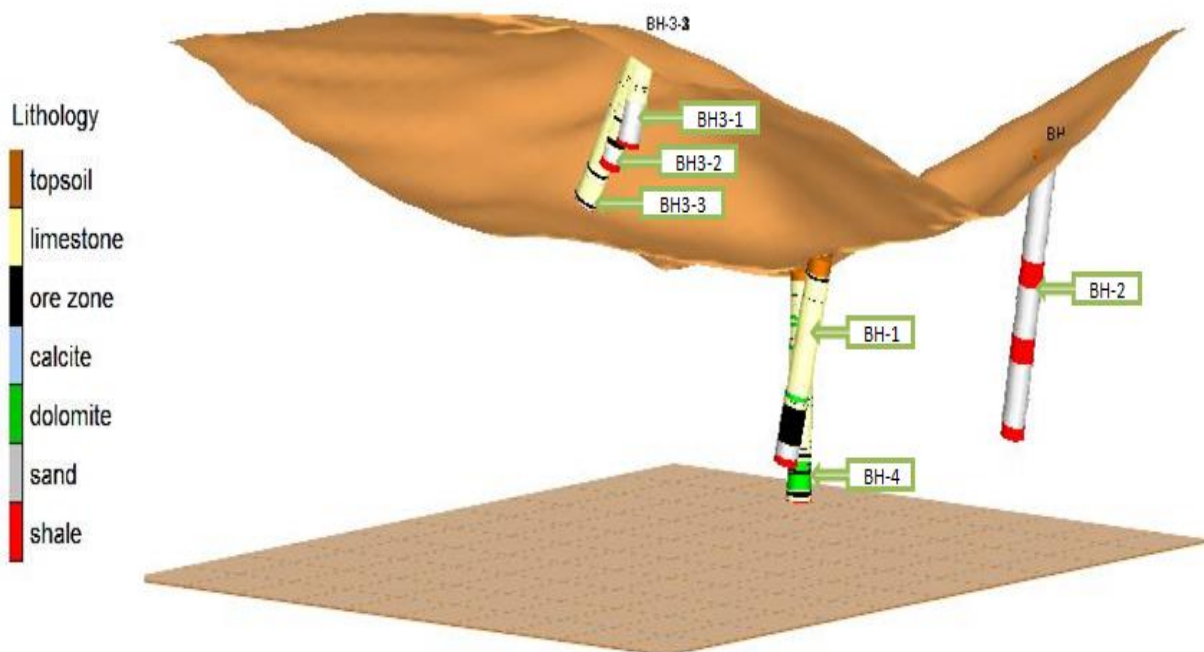
1 - Search Radius

مربوطه نیز تهیه شده است؛ که این مقاطع در پیوست ۲ ارائه شده است. اما برای آنکه بتوان نتیجه را به شکل پویا (غیرایستا) همراه با سایر اطلاعات زمین‌شناسی، حفاری، توپوگرافی و ... در قالب یک نرم‌افزار ارائه نمود، مناسب‌ترین فضا نرم‌افزار Rockworks تشخیص داده شد. برای این کار لازم است که مدل‌های دوبعدی مربوطه، به شکل نمودارهای نرده‌ای ارائه شود. داده‌های لازم برای رسم این نمودارهای نرده‌ای، از مقاطع تهیه شده با استفاده از نرم‌افزار Res2dinv بدست آمد. که برای تهیه نمودارهای نرده‌ای، داده‌ها وارد نرم‌افزار Rockworks شد.

برای بررسی‌های بیشتر اکتشافی و تأیید زون‌های کانی‌سازی حاصل از تفسیر نتایج ژئوفیزیکی در نقاطی که دارای اهمیت بیشتری بوده، ۶ گمانه حفاری با عمق‌های ۳۸ تا ۱۱۰ متر حفر گردید. بیش از ۱۰۰ نمونه از مناطق کانی‌سازی، سنگ میزبان کربناته (لار) و همچنین ماسه سنگ‌های شمشک برداشت و آنالیز شیمیایی گردید. داده‌های حاصل از برداشت ژئوفیزیکی همراه با داده‌های گمانه‌های اکتشافی وارد این نرم‌افزار شد. اطلاعات گمانه‌های اکتشافی در جدول (۴-۱) ارائه و موقعیت آنها در شکل (۴-۲) نشان داده شده است.

جدول (۴-۱): اطلاعات گمانه‌های اکتشافی منطقه پی‌چمتو

عمق	Z	Y	X	شماره گمانه
۷۹/۵۰	۲۴۸۷	۴۰۴۵۲۷۶/۳۰	۲۹۰۹۶۴/۰۹	BH-۱
۱۱۰	۲۵۳۳	۴۰۴۵۱۵۳/۶۵	۲۹۰۹۷۷/۱۱	BH-۲
۳۸	۲۵۸۲	۴۰۴۵۲۵۳/۵۱	۲۹۰۷۷۱/۹۲	BH۳-۱
۵۰	۲۵۸۲	۴۰۴۵۲۵۳/۵۱	۲۹۰۷۷۱/۹۲	BH۳-۲
۶۹/۴۰	۲۵۸۲	۴۰۴۵۲۵۳/۵۱	۲۹۰۷۷۱/۹۲	BH۳-۳
۸۳	۲۴۷۹	۴۰۴۵۲۹۴/۴۳	۲۹۰۹۷۴/۸۹	BH-۴



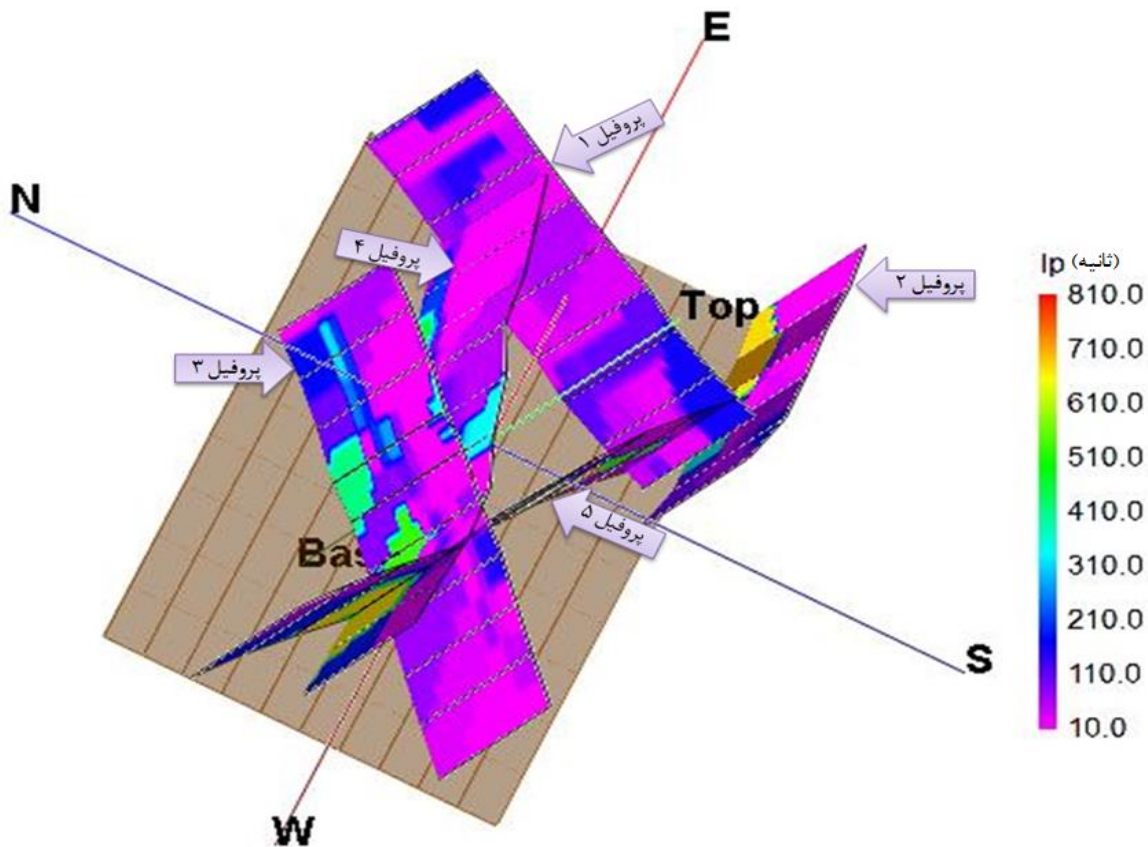
شکل (۴-۲): موقعیت گمانه‌های اکتشافی منطقه پی‌چمتو

۴-۵- روش‌های مورد استفاده

برای مدل‌سازی داده‌های IP و مقاومت‌ویژه و همچنین تهیه نمودارهای نرده‌ای برای هر پروفیل، با استفاده از نرم‌افزار Rockworks، از روش‌های ریاضی زیر استفاده شده است:

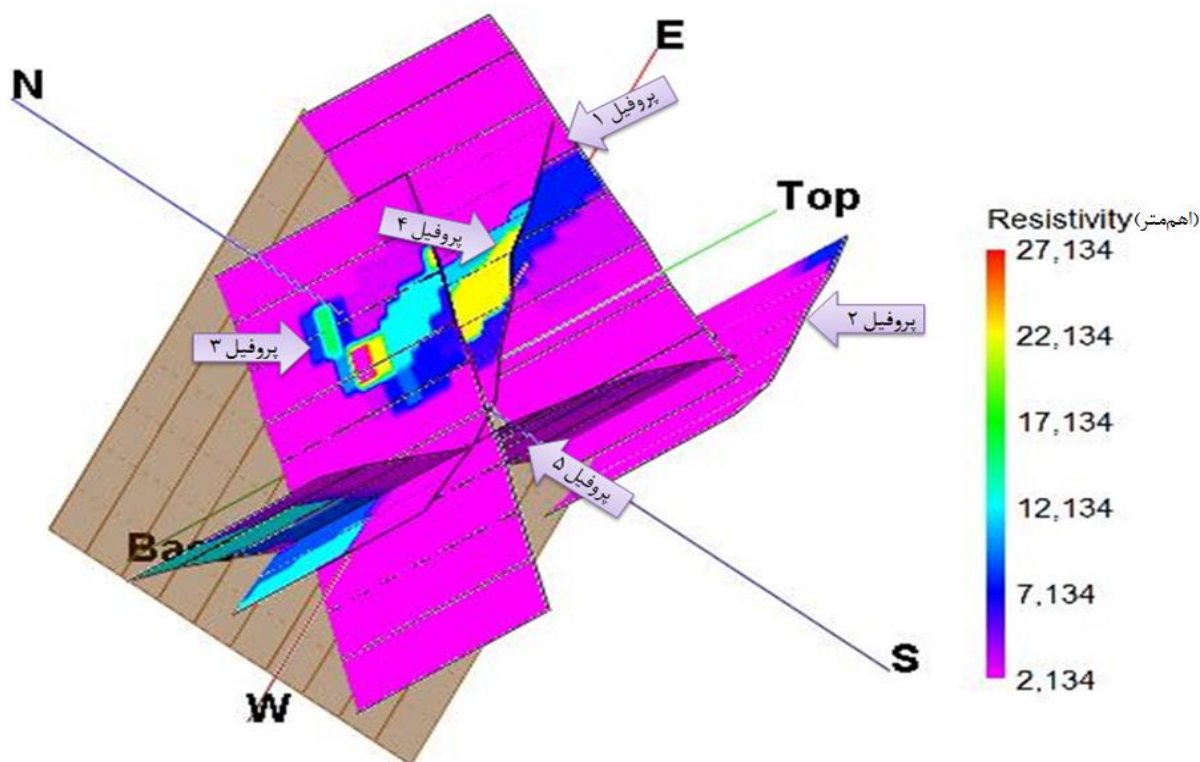
۴-۵-۱- روش نزدیک‌ترین نقاط^۱

روش نزدیک‌ترین نقاط، نزدیک‌ترین نقطه به هر گره یا نقطه تلاقی در شبکه را مشخص می‌کند. این روش زمانی سودمند است که داده‌ها با فواصل یکسان برداشت شده باشند [۳۷]. نمودارهای نرده‌ای تهیه شده برای داده‌های IP و مقاومت‌ویژه در شکل‌های (۴-۳) و (۴-۴) نشان داده شده است.



شکل (۴-۳): نمودار نرده‌ای مربوط به داده‌های IP با استفاده از روش نزدیک‌ترین نقاط

1 - Closest Point

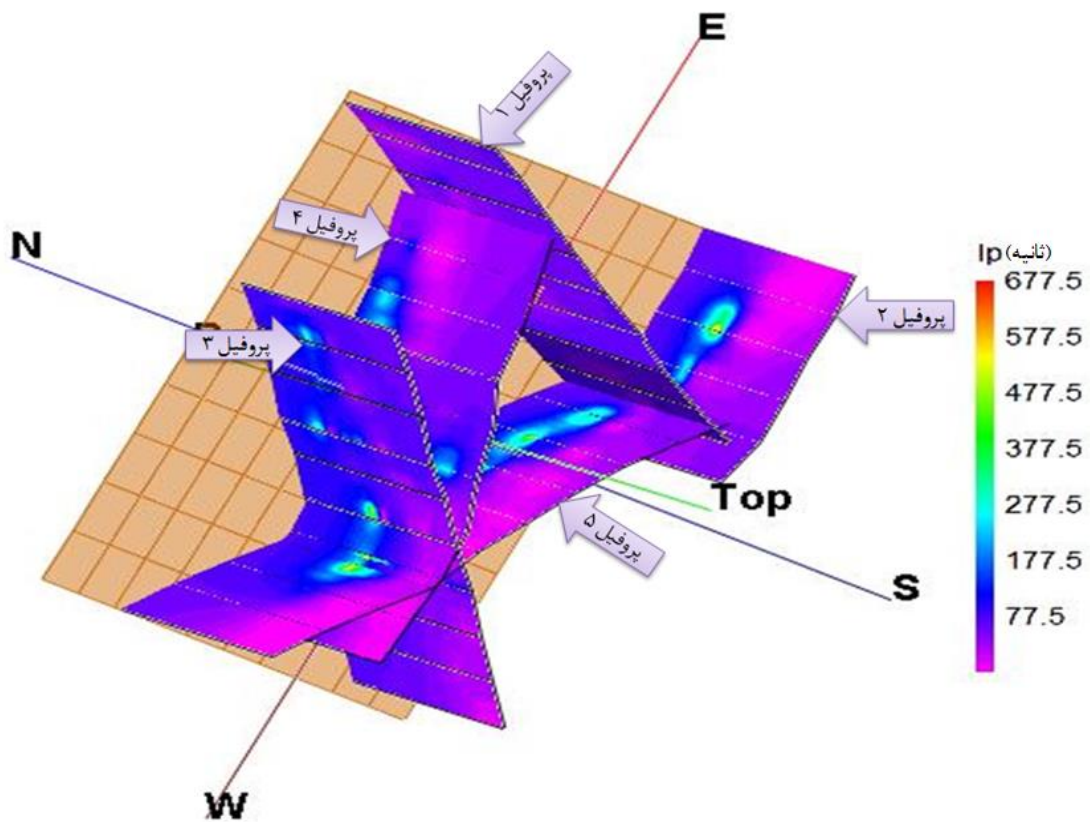


شکل (۴-۴): نمودار نرده‌ای مربوط به داده‌های مقاومت‌ویژه با استفاده از روش نزدیک‌ترین نقاط

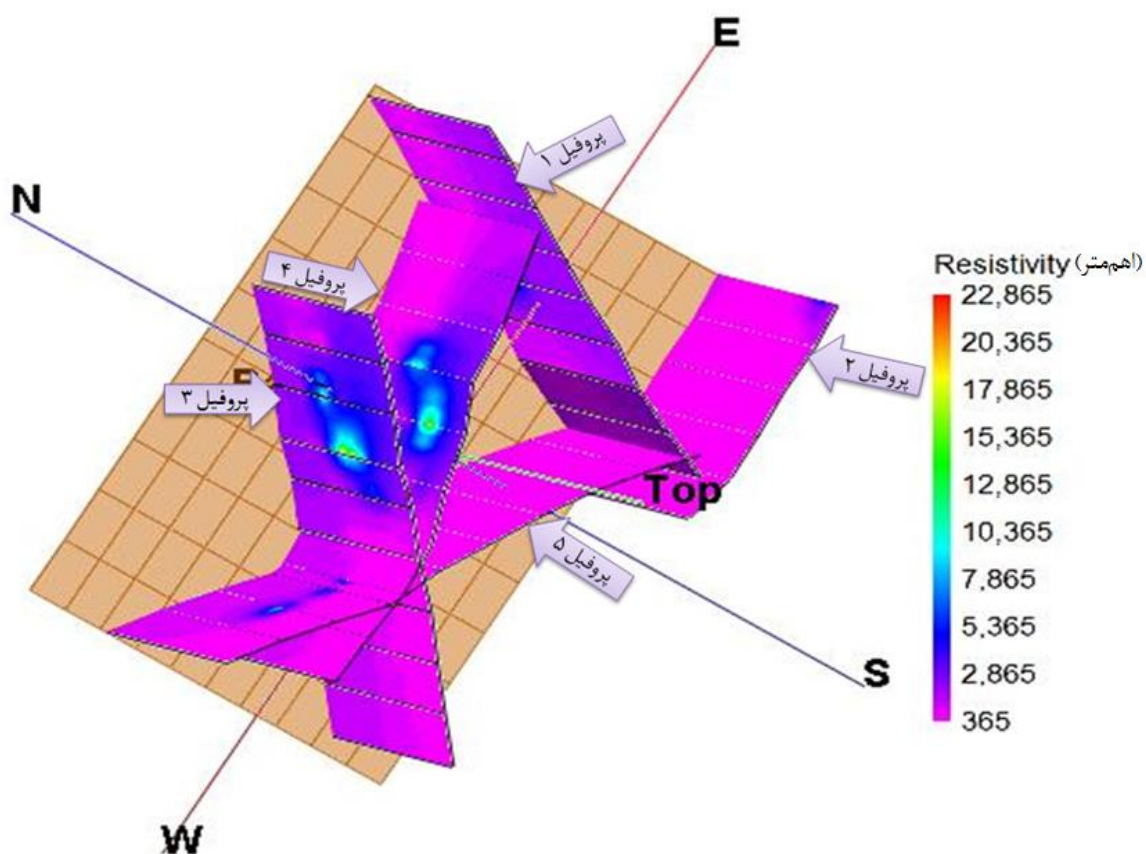
۴-۵-۲- روش عکس فاصله وزنی^۱

با استفاده از روش عکس فاصله مقدار اولیه نقاط بر اساس وزن متوسط از داده نقاط همسایه تعیین می‌شود و برای ارزش هر یک از داده‌های آن نقاط، توانی مطابق با عکس فاصله از آن نقطه داده می‌شود. هر چه توان بزرگتر باشد، کنترل و نفوذ نقاط دورتر در تعیین مقدار آن نقطه کمتر خواهد بود. این روش بر این فرض استوار است که تأثیر محلی هر نقطه با فاصله کاهش می‌یابد. وزن نقاط نزدیک به سلول پردازش نسبت به آن‌هایی که دورتر هستند، بیشتر است. تعداد مشخصی از نقاط یا همه نقاط در یک شعاع مشخص، برای تعیین مقدار خروجی از هر مکان استفاده می‌شوند. این الگوریتم برای داده‌هایی که تغییرپذیری زیادی دارند به کار می‌رود [۳۸]. نمودارهای نرده‌ای تهیه شده برای داده‌های IP و مقاومت‌ویژه در شکل‌های (۴-۵) و (۴-۶) نشان داده شده است.

1 - Inverse-Distance Weighting



شکل (۴-۵): نمودار نرده‌ای مربوط به داده‌های IP با استفاده از روش عکس فاصله وزنی

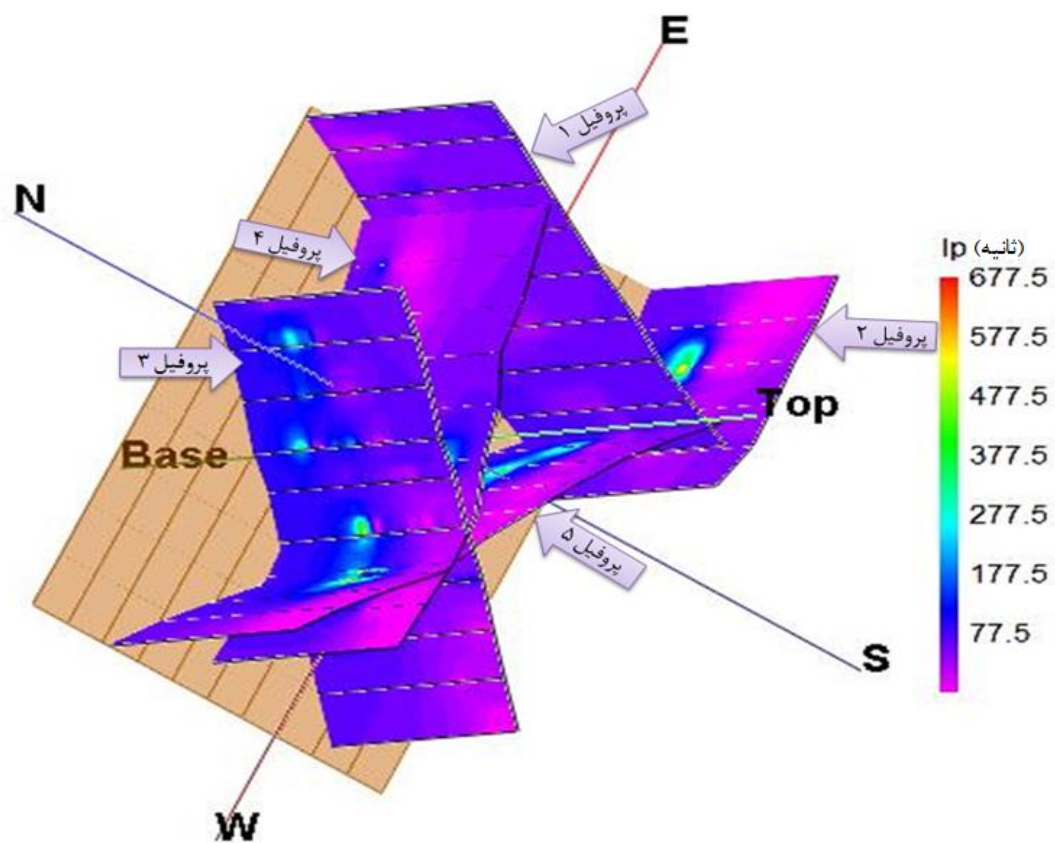


شکل (۴-۶): نمودار نرده‌ای مربوط به داده‌های مقاومت‌ویژه با استفاده از روش عکس فاصله وزنی

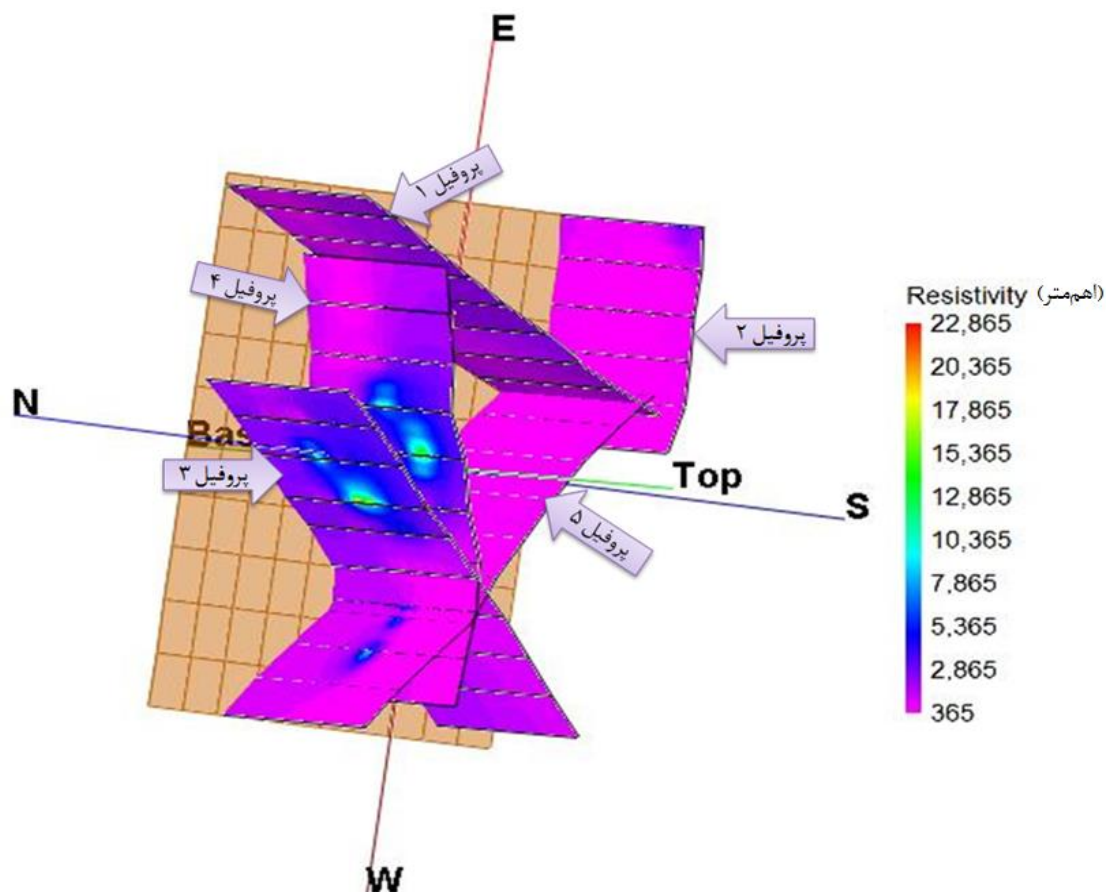
۴-۵-۳- روش عکس فاصله همسانگرد^۱

در روش عکس فاصله همسانگرد از تمام نقاط در دسترس در هنگام محاسبه ارزش یک نقطه استفاده می‌شود. وزن داده‌ها مطابق با مجذور عکس فاصله آن‌ها از نقاط دیگر تعیین می‌شود. این روش زمانی مفید است که داده‌ها به طور یکنواخت در محیط غیرچینه‌ای توزیع شده باشد [۳۸]. نمودارهای نرده‌ای تهیه شده برای داده‌های IP و مقاومت‌ویژه در شکل‌های (۴-۷) و (۴-۸) نشان داده شده است.

1 - Inverse-Distance Isotropic



شکل (۴-۷): نمودار نرده‌ای مربوط به داده‌های IP با استفاده از روش عکس فاصله همسانگرد

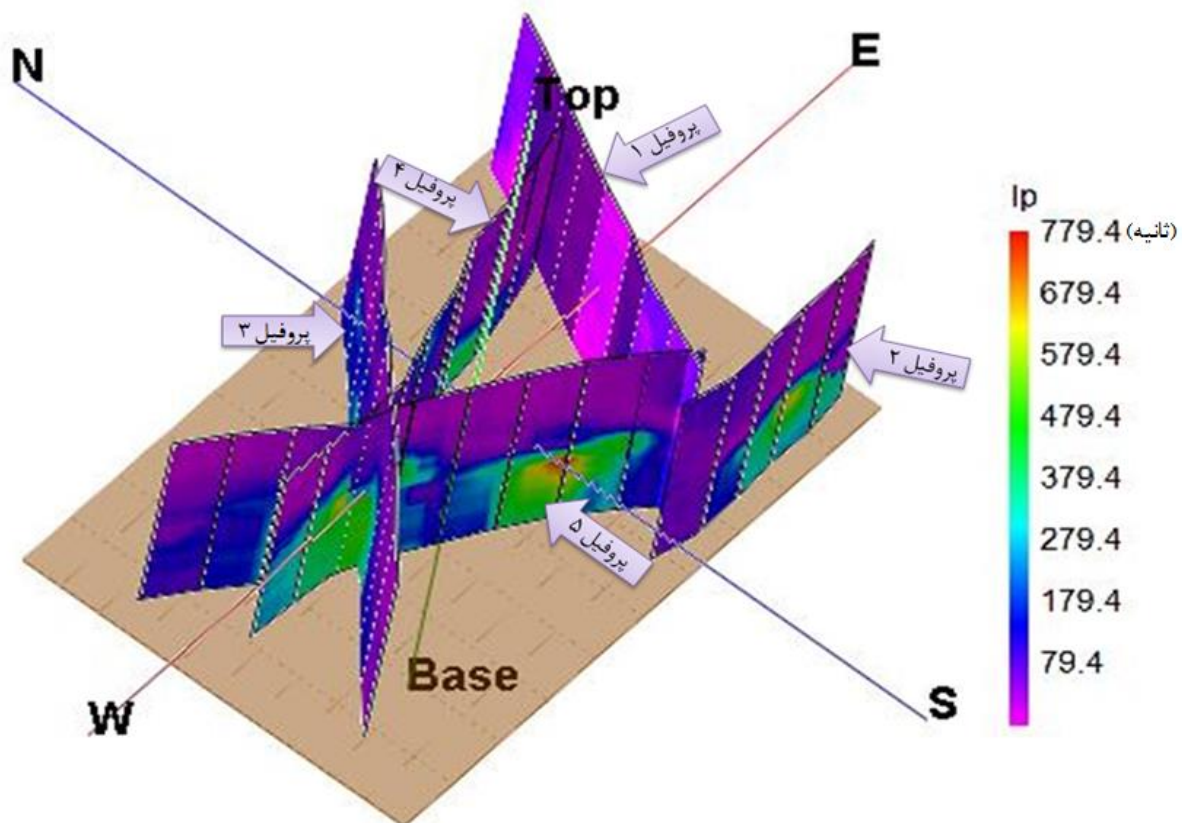


شکل (۴-۸): نمودار نرده‌ای مربوط به داده‌های مقاومت‌ویژه با استفاده از روش عکس فاصله همسانگرد

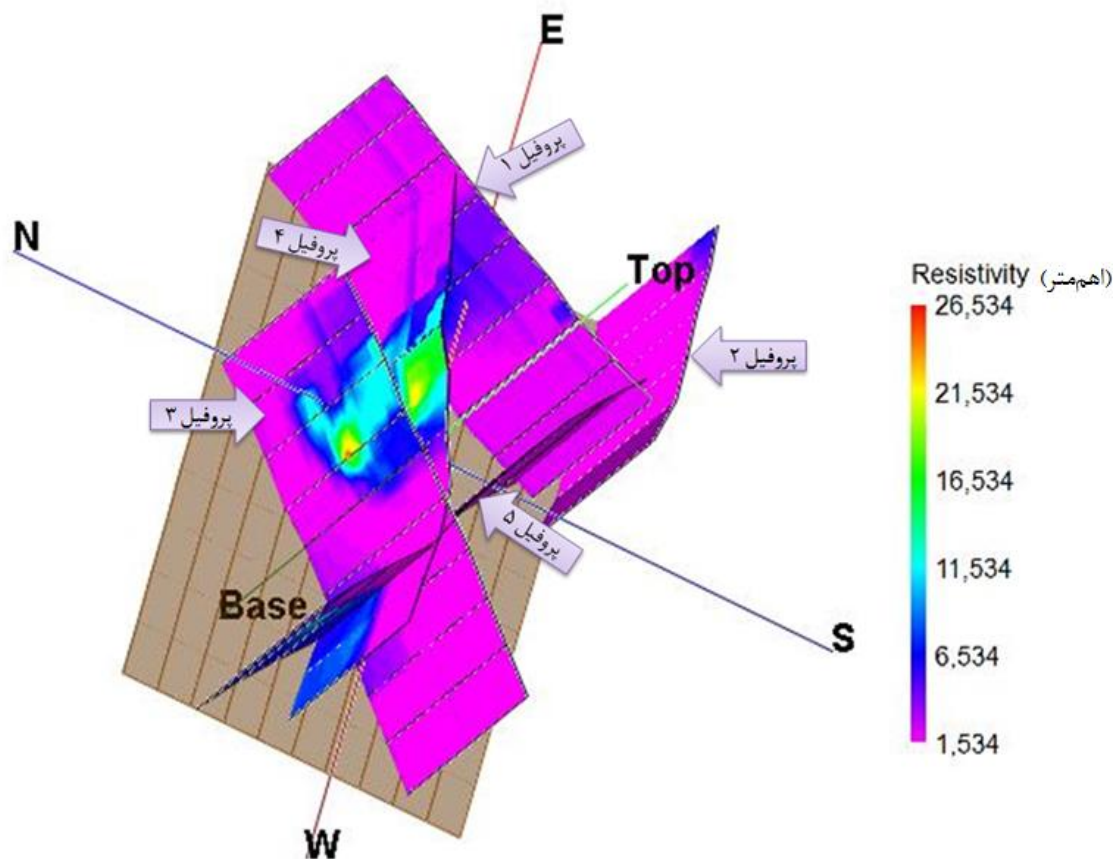
۴-۵-۴ روش عکس فاصله ناهمسانگرد^۱

در هنگام محاسبه ارزش یک نقطه از نقاط نزدیک به آن نقطه استفاده می‌کند؛ که این نقاط در زاویه‌ی جستجوی ۹۰ درجه در اطراف نقطه مورد نظر قرار دارند. این نوع جستجوی جهتی می‌تواند درونیابی ارزش نقاطی که بین داده‌ها قرار گرفته‌اند را بهبود بخشد [۳۸]. نمودارهای نرده‌ای تهیه شده برای داده‌های IP و مقاومت‌ویژه در شکل‌های (۴-۹) و (۴-۱۰) نشان داده شده است.

1 - Inverse-Distance Anisotropic



شکل (۴-۹): نمودار نرده‌ای مربوط به داده‌های IP با استفاده از روش عکس فاصله ناهمسانگرد

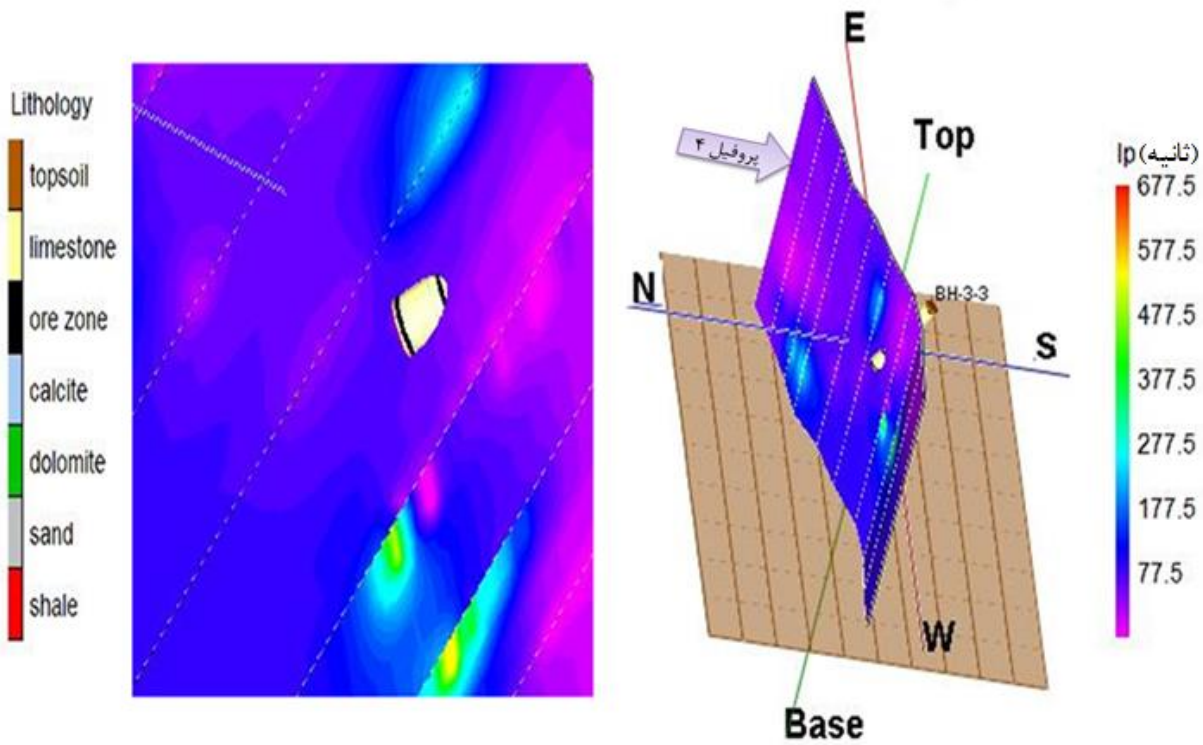


شکل (۴-۱۰): نمودار نرده‌ای مربوط به داده‌های مقاومت‌ویژه با استفاده از روش عکس فاصله ناهمسانگرد

۴-۶- تخمین ذخیره کانسار پی‌چمتو

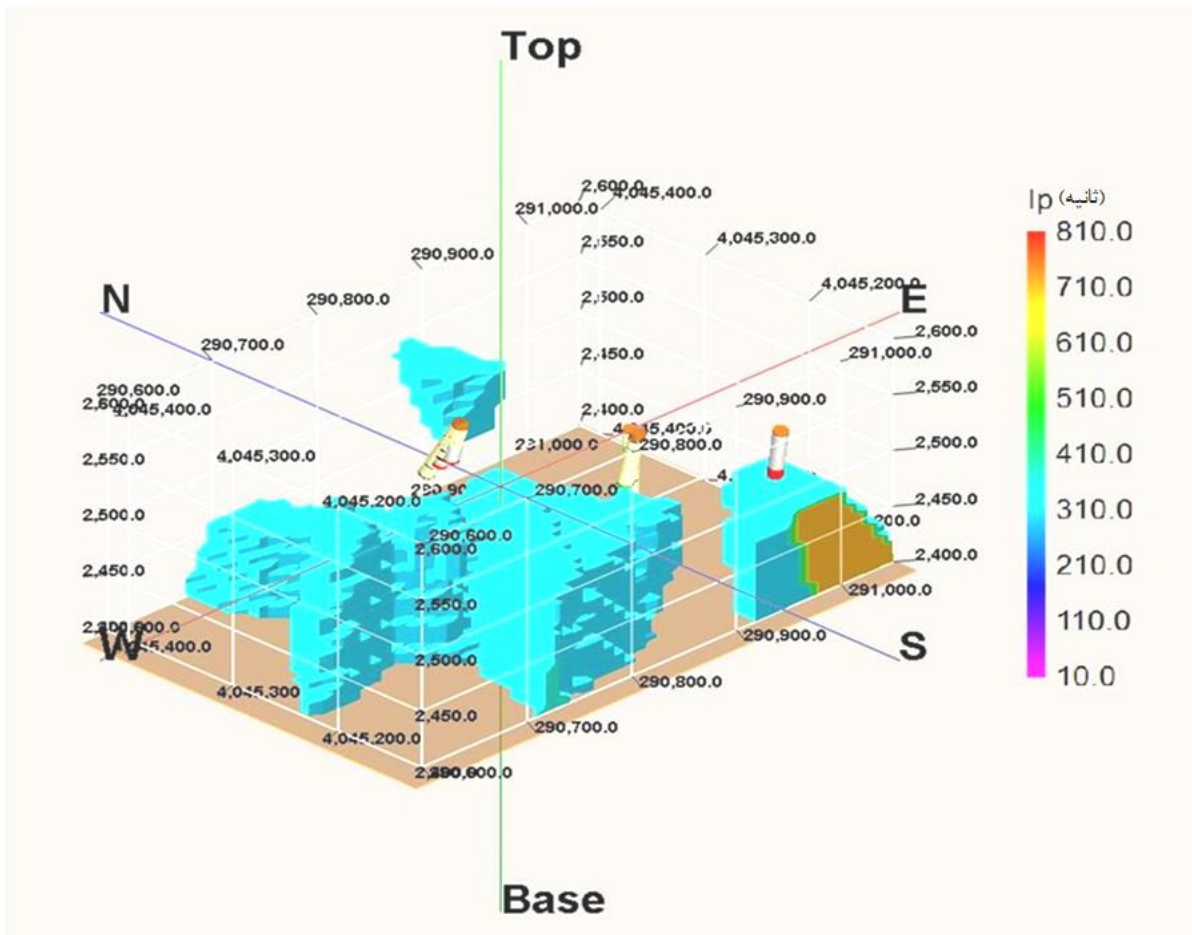
برای تهیه مدل کانسار سرب و روی پی‌چمتو بر اساس داده‌های IP و مقاومت‌ویژه از چهار روش ذکر شده استفاده شده است؛ که به منظور تخمین ذخیره‌ی کانسار، با استفاده از مدل‌های تهیه شده، از پروفیل‌های ژئوفیزیکی و گمانه‌های حفاری استفاده شد. با توجه به تقاطع پروفیل ۴ و گمانه اکتشافی ۳-۳ که در سمت راست شکل (۴-۱۱) و بزرگنمایی آن در سمت چپ نشان داده شده است، فقط در یک نقطه هست که وجود ماده معدنی به اثبات رسیده (با توجه به گمانه‌های حفاری)، که مقدار IP و مقاومت‌ویژه با توجه به داده‌های بدست آمده از مقاطع Res2dinv در این نقطه به ترتیب برابر با ۲۹۸/۹۳ (ثانیه) و ۳۶۱/۳۶ (اهم‌متر) به دست می‌آید. این مقادیر را در Iso-level مدل‌های تهیه شده بر اساس داده‌های IP و مقاومت‌ویژه قرار داده و حجم کانسار را از روی مقادیر یکسان IP و

مقاومت ویژه در نقاط مختلف کانسار به دست می‌آوریم. از ضرب حجم در وزن مخصوص کانسار که $2/8$ تن بر متر مکعب می‌باشد، ذخیره کانسار تخمین زده می‌شود.



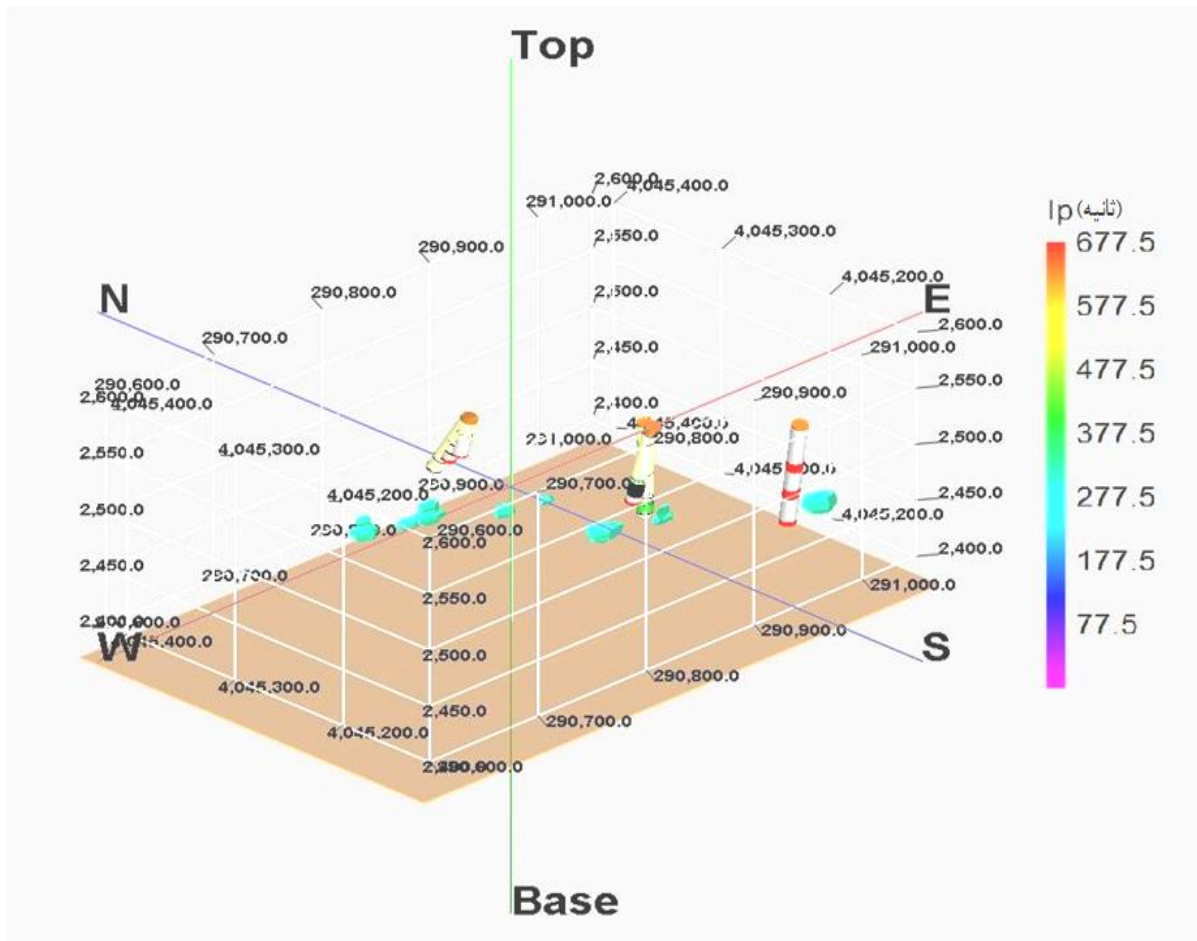
شکل (۴-۱۱): محل تلاقی پروفیل ۴ و گمانه حفاری ۳-۳

با استفاده از روش نزدیکترین نقاط، تخمین ذخیره بر اساس داده‌های IP برابر با $۹۷۱۸۸۰۰ * ۲/۸ = ۳۴۷۱۰۰۰$ تن به دست می‌آید (شکل ۴-۱۲).



شکل (۴-۱۲): مدل سه‌بعدی کانسار بر اساس داده‌های IP با استفاده از روش نزدیکترین نقاط

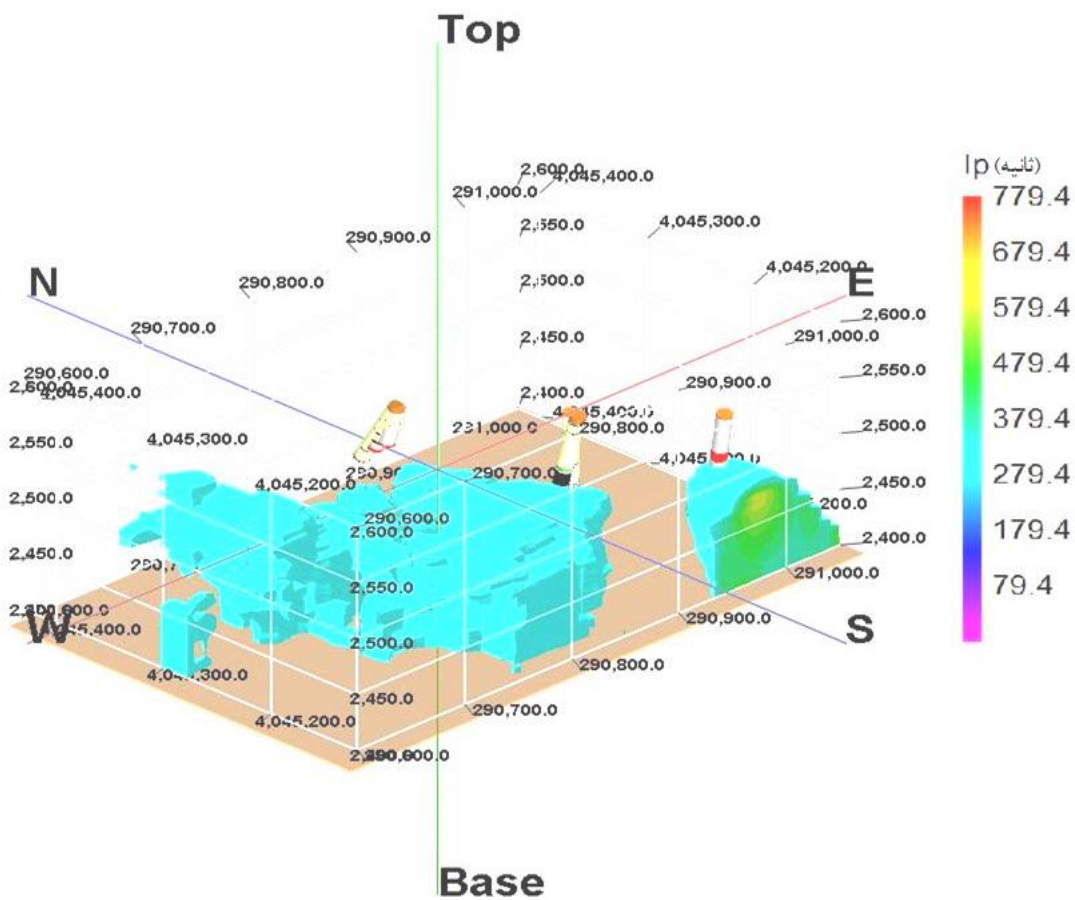
برای این داده‌ها ذخیره محاسبه شده با استفاده از روش‌های عکس فاصله وزنی و همسانگرد برابر با $۵۳۲۰۰ * ۲/۸ = ۱۹۰۰۰$ تن به دست می‌آید (شکل ۴-۱۳).



شکل (۴-۱۳): مدل سه‌بعدی کانسار بر اساس داده‌های IP با استفاده از روش‌های عکس فاصله وزنی و همسانگرد

تخمین ذخیره این کانسار بر اساس داده‌های IP با استفاده از روش عکس فاصله ناهمسانگرد برابر

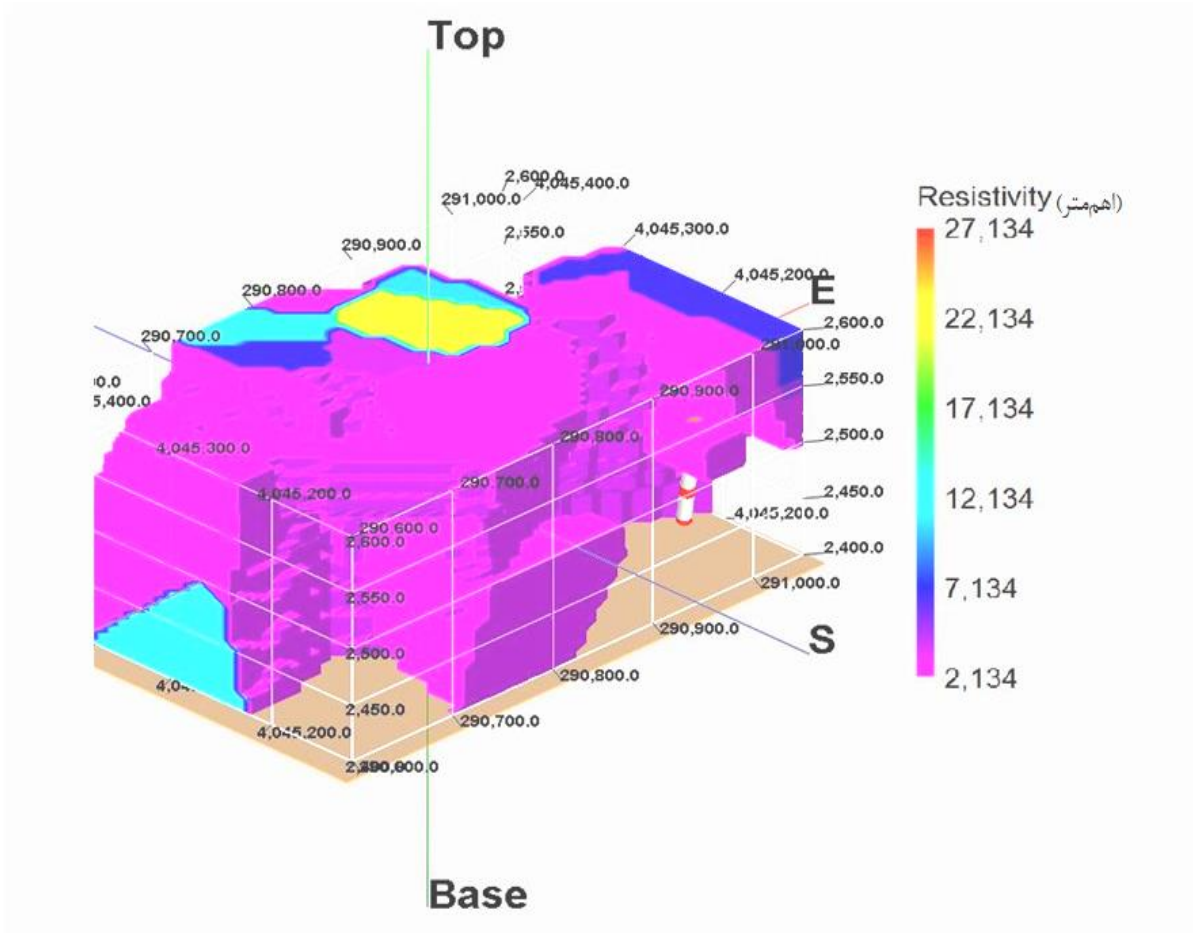
با $۶۴۸۴۸۰۰ = ۲۳۱۶۰۰۰ * ۲/۸$ تن به دست می‌آید (شکل ۴-۱۴).



شکل (۴-۱۴): مدل سه بعدی کانسار بر اساس داده‌های IP با استفاده از روش عکس فاصله ناهمسانگرد

بر اساس داده‌های مقاومت ویژه، مقدار ذخیره محاسبه شده با استفاده از روش نزدیک‌ترین نقاط

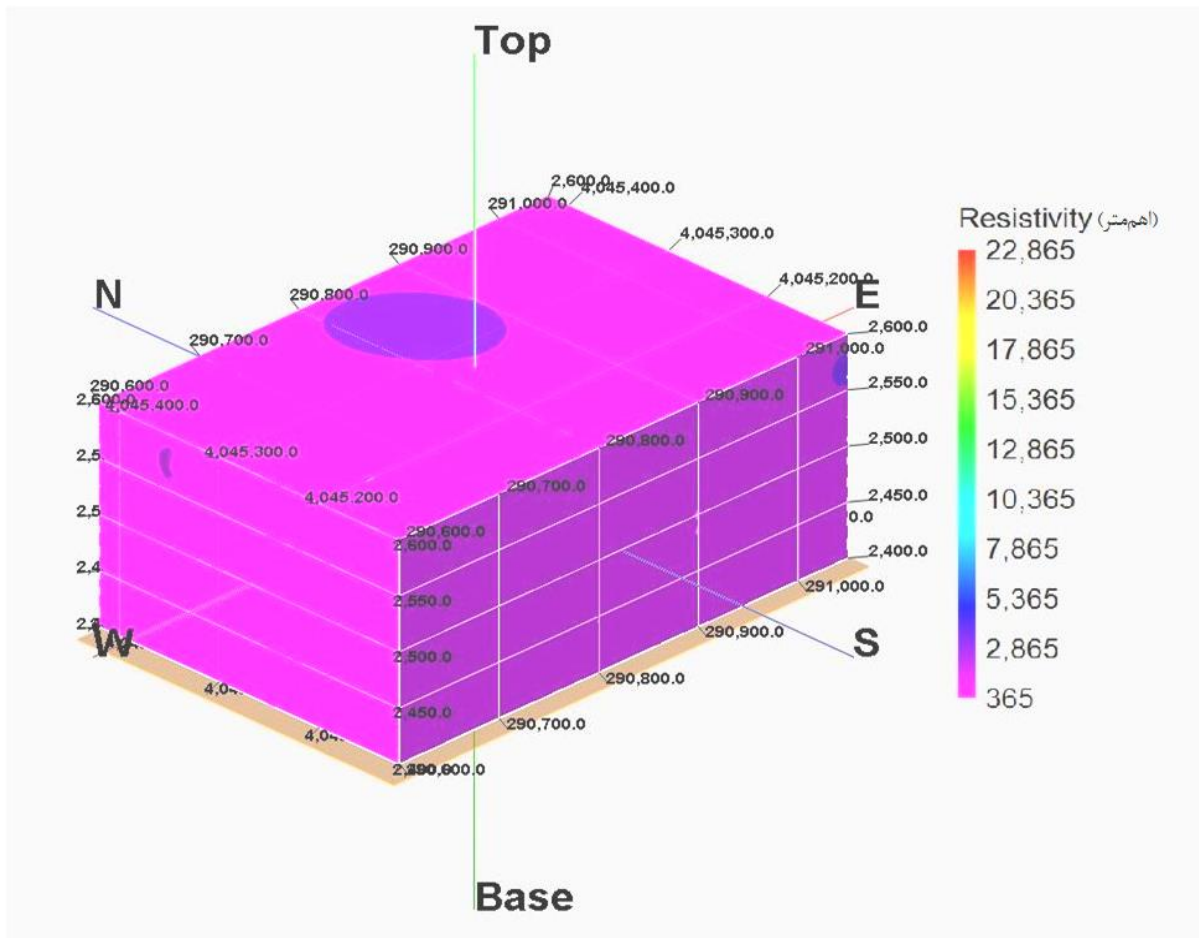
برابر با $38997000 \times \frac{2}{8} = 97492500$ تن به دست می‌آید (شکل ۴-۱۵).



شکل (۴-۱۵): مدل سه بعدی کانسار بر اساس داده‌های مقاومت ویژه با استفاده از روش نزدیکترین نقاط

بر اساس داده‌های مقاومت ویژه، ذخیره محاسبه شده با استفاده از روش‌های عکس فاصله وزنی و

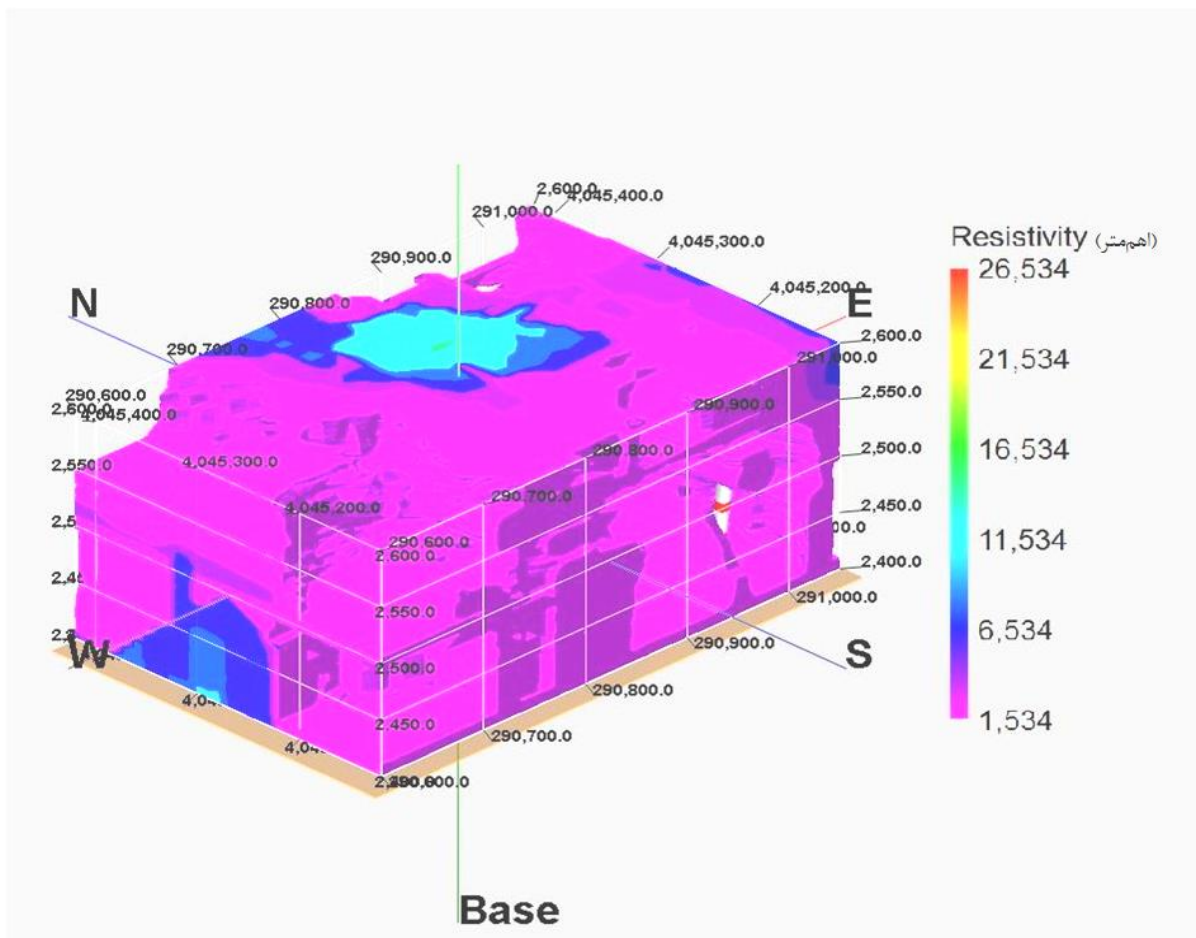
همسانگرد برابر با $81484200 = \frac{2}{8} * 29101500$ تن به دست می‌آید (شکل ۴-۱۶).



شکل (۴-۱۶): مدل سه بعدی کانسار بر اساس داده‌های مقاومت ویژه با استفاده از روش‌های عکس فاصله وزنی و همسانگرد

تخمین ذخیره این کانسار بر اساس داده‌های مقاومت ویژه با استفاده از روش عکس فاصله

ناهمسانگرد برابر با $55119400 \times \frac{2}{8} = 19685500$ تن به دست می‌آید (شکل ۴-۱۷).



شکل (۴-۱۷): مدل سه بعدی کانسار بر اساس داده‌های مقاومت ویژه با استفاده از روش عکس فاصله ناهمسانگرد

فصل پنجم

تجزیه و تحلیل آماری و

مطالعات ژنوشیمیایی

منطقه مورد مطالعه

۵-۱- مقدمه

یکی از اهداف اصلی اغلب بررسی‌های آماری، پیدا کردن روابطی است که به کمک آنها بتوان اندازه‌ی یک یا چند متغیر را بر حسب متغیرهای دیگر پیش‌بینی نمود. در رگرسیون دو متغیره، امکان برآزش یک خط یا منحنی به داده‌های مورد بررسی وجود دارد [۳۹]. در این فصل ابتدا مطالبی راجع به ضریب همبستگی^۱، رگرسیون خطی و ضریب تعیین، ارائه و از رگرسیون خطی برای تعیین روابط بین عناصر مختلف در کانسار سرب و روی تاش و مجن استفاده شده است. در انتهای این فصل به منظور شناسایی کانی‌سازی و بررسی ژئوشیمی عناصر در سنگ میزبان به بررسی زمین‌شناسی و ژئوشیمی کانی‌سازی در این منطقه پرداخته شده است.

۵-۲- ضریب همبستگی

ضریب همبستگی رابطه بین دو متغیری را نشان می‌دهد که هر دو تحت تأثیر عوامل مشترک، تغییرپذیری هم‌جهت و یا در جهت عکس از خود بروز می‌دهند. بنابراین در روابط علت و معلولی وجوه مشترک دارند. این گونه متغیرها دارای تغییرات تصادفی می‌باشند و در وقوع آنها عوامل شناخته شده و یا ناشناخته شده دیگری نیز ممکن است تأثیر بگذارند. بنابراین ضریب همبستگی آینه‌ای است که در آن نحوه ارتباط متقابل تغییرات دو متغیر تصادفی منعکس می‌شود. در محاسبه ضریب همبستگی نیز مانند بسیاری از پارامترهای آماری دیگر، فرض نرمال بودن داده‌ها، الزامی است. در شرایطی که این فرض برقرار نباشد، می‌توان داده‌ها را طوری تبدیل کرد که توزیع داده‌های تبدیل یافته، نرمال شود. البته در این گونه موارد تعبیر و تفسیر همبستگی متغیرها باید با دقت همراه باشد. بالاخره در حالتی که توزیع داده‌ها نرمال نباشد و نتوان داده‌ها را تبدیل کرد، برای محاسبه ضریب همبستگی باید از روش‌های ناپارامتری که به توزیع داده‌ها حساس نمی‌باشند؛ استفاده کرد [۳۶].

1 - correlation coefficient

مقدار ضریب همبستگی بین +1 و -1 قرار می‌گیرد. اگر دو متغیر همبستگی کاملاً خطی همسو، (افزایش یکی باعث افزایش دیگری شود) داشته باشند، ضریب همبستگی آنها +1 است. اگر دو متغیر دارای همبستگی کاملاً خطی غیرهمسو (افزایش یکی باعث کاهش دیگری شود) باشند، ضریب همبستگی آنها -1 و بالاخره در صورتی که دو متغیر غیر همبسته (افزایش یکی تأثیری روی دیگری نداشته باشد) باشند؛ ضریب همبستگی آنها صفر است.

در محاسبه ضریب همبستگی، باید به سطح معنی‌دار بودن آن نیز توجه شود. به عنوان مثال ممکن است در یک سطح اعتماد مشخص ضریب همبستگی 0/4 بین دو متغیر در یک جامعه دارای صد نمونه معنی‌دار باشد؛ ولی همین ضریب همبستگی برای این دو متغیر در یک جامعه دارای ده نمونه معنی‌دار نباشد [۳۶].

الف - تفسیر ضریب همبستگی

تفسیر ضریب همبستگی دو جنبه دارد؛ یکی جنبه توصیفی آن است و دیگری جنبه استنباط آماری آن. تفسیر توصیفی آن شامل شدت یا ضعف همبستگی همراه با جهت تبعیت تغییرات دو متغیر نسبت به هم می‌باشد. تفسیر استنباط آن که مهم‌تر نیز می‌باشد به معنی‌دار بودن و یا به عبارت دیگر به واقعی بودن آن برمی‌گردد. اگر همبستگی بین دو متغیر X و Y در سطح معینی از معنی‌داری بی اهمیت باشد؛ دلالت بر آن دارد که همبستگی محاسبه شده ممکن است ناشی از اثر عوامل تصادفی باشد. بنابراین در تفسیر استنباطی ضریب همبستگی، واقعی بودن همبستگی میان دو متغیر مطرح است نه سنجش مقدار آن. در بررسی‌های اکتشافی از یک ضریب همبستگی معین معلوم، ممکن است برداشت‌های متفاوتی را بر حسب شرایط بررسی به دست آورد. رتبه‌بندی شدت همبستگی دو متغیر و رده‌بندی آنها اکثراً به طور دلخواه صورت می‌گیرد؛ که برای مثال می‌توان از رده‌بندی آتی یاد نمود [۳۶]:

۱- $0/2 < r$: همبستگی بسیار ضعیف و ناچیز

۲- $0/4 < r < 0/2$: همبستگی ضعیف

۳- $0.4 < r < 0.6$: همبستگی متوسط

۴- $0.6 < r < 0.8$: همبستگی قوی

۵- $r > 0.8$: همبستگی بسیار قوی

نکات دیگری که در تفسیر ضریب همبستگی لازم است در نظر گرفته شود، به قرار زیر است

[۳۶]:

۱- ضریب همبستگی خطی معیاری از درجه تمایل دو متغیر به داشتن رابطه خطی است و ممکن است همبستگی کلی دو متغیر را نشان ندهد. بنابراین لازم است برای درک بهتر ضریب همبستگی، آن را همراه با نمودار پراکندگی مورد بررسی قرار داد.

۲- ضریب همبستگی ماهیت نسبی دارد، لذا نمی‌توان ضریب همبستگی یک گروه از داده‌ها را بدون در نظر گرفتن اختلافات دیگر آنها، با ضریب همبستگی گروه دیگری از داده‌ها مقایسه کرد. مقدار ضریب همبستگی نسبی است و نمی‌توان نتیجه گرفت که حتی در یک گروه داده، ضریب همبستگی ۰/۸ دو برابر قوی‌تر از ضریب همبستگی ۰/۴ است.

۳- از نظر تئوری فقط در شرایطی که دو متغیر مورد بررسی دارای توزیع نرمال دو متغیره باشند ضریب همبستگی معنی‌دار است. اگر ضریب همبستگی برای متغیرهای وابسته (غیر مستقل) تحت شرایط کنترل شده محاسبه شود می‌توان گفت که همبستگی مصنوعی و غیر واقعی است. بدیهی است در چنین حالتی ضریب همبستگی از نظر علمی بی‌اهمیت است.

۴- وجود مقادیر خارج از ردیف در بین داده‌ها باعث می‌شود که ضریب همبستگی غیرواقعی ارزیابی گردد، به عنوان مثال اگر مقادیر خارج از ردیف بزرگتر از داده‌ها باشند، ضریب همبستگی به طور غیرعادی بزرگتر از مقدار واقعی آن برآورد می‌شود.

۵- ضریب همبستگی داده‌های تبدیل یافته باید با دقت تفسیر شود.

برای تعیین روابط علت و معلولی بین تغییرات دو متغیر تصادفی که یکی از آنها به عنوان تابع و

دیگری به عنوان متغیر شناخته می‌شود از روش رگرسیون استفاده می‌شود. اگرچه ضریب همبستگی

نیز معیاری از همبستگی خطی دو متغیر است، ولی رگرسیون به دلایل زیر از اهمیت خاصی برخوردار است [۳۶]:

- ۱- علاوه بر برازش خط به داده‌ها، امکان برازش منحنی به داده‌ها نیز وجود دارد.
- ۲- بیان رابطه بین دو متغیر به وسیله رگرسیون از طریق ادامه‌ی معادله رگرسیون است و از این رو دقیق‌تر و مناسب‌تر از ضریب همبستگی است. این خصوصیت در مسائل معدنی بسیار با اهمیت است زیرا معادله رگرسیون به درک عمیق‌تر فرآیندهای کانی‌سازی و تخمین مقادیر اندازه‌گیری نشده مورد نیاز می‌تواند کمک کند.

۵-۳- رگرسیون خطی

از رگرسیون برای بیان یا به الگو درآوردن رابطه بین متغیرهای آماری استفاده می‌شود، زیرا هدف بیشتر تحقیق‌ها، ارزیابی روابط، میان مجموعه‌ای از متغیرهاست. تعیین روابط بین متغیرهای آماری را رگرسیون توصیفی و تحلیل این روابط را رگرسیون استنباطی می‌نامند. تحلیل رگرسیون یا استنباط رگرسیونی روشی ساده، برای بررسی و تعیین روابط تابعی میان متغیرهاست؛ که می‌تواند برای چندین هدف از جمله موارد آتی به کار رود [۴۰]:

- ۱- تخمین مشاهدات آینده.
 - ۲- ارزیابی اثر یا رابطه بین متغیرهای پیشگو و پاسخ.
 - ۳- توصیف کلی ساختار داده‌ها.
- مدل رگرسیون خطی ساده یعنی مدلی با یک متغیر رگرسیونی منفرد X که با یک متغیر پاسخ Y دارای ارتباطی به صورت خط مستقیم است، که به صورت زیر نوشته می‌شود.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X + \varepsilon \quad (1-5)$$

که در آن؛ β_0 : عرض از مبدأ، β_1 : شیب خط، ε : اختلاف بین مقدار مشاهده شده Y و خط مستقیم $(\beta_0 + \beta_1 X)$. که یک خطای آماری است، بدین معنی که متغیری است تصادفی که عدم برازش را بیان و اندازه ناتوانی مدل از برازش دقیق داده‌ها را برآورد می‌کند [۴۱].

بعد از اینکه خطی به داده‌ها برازش شد؛ باید ارزیابی شود که آیا خط براش شده واقعاً در تخمین Y مؤثر است یا خیر و اگر مؤثر است، این تأثیر به چه میزان است [۴۰]؟
برای این منظور اگر فرض کنیم:

$$x_i = X_i - \bar{X} \quad \text{انحراف از میانگین } X \text{ ها} \quad (۲-۵)$$

$$y_i = Y_i - \bar{Y} \quad \text{انحراف از میانگین } Y \text{ ها} \quad (۳-۵)$$

$$\hat{y}_i = \hat{Y}_i - \bar{Y} \quad \text{انحراف از میانگین } \bar{Y} \text{ ها} \quad (۴-۵)$$

می‌توان نوشت:

$$\sum_{i=1}^n x_i^2 = \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 = SS_x \quad (۵-۵)$$

$$\sum_{i=1}^n y_i^2 = \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2 = SS_y = SS_t \quad \text{پراکندگی کل} \quad (۶-۵)$$

$$\sum_{i=1}^n \hat{y}_i^2 = \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2 = SS_{\hat{y}} = SS_R \quad \text{پراکندگی تبیین شده} \quad (۷-۵)$$

$$\sum_{i=1}^n e_i^2 = SS_e = SS_{Res} \quad \text{پراکندگی تبیین نشده} \quad (۸-۵)$$

لذا با این نمادها نشان داده می‌شود که:

$$SS_y = SS_{\hat{y}} + SS_e \quad \text{یا} \quad SS_T = SS_R + SS_{Res} \quad (۹-۵)$$

ملاحظه شود که $SS_{\hat{y}}$ یکی از منابع پراکندگی SS_y است؛ که عامل این پراکندگی صرفاً متغیر پیشگوی X است. چون \hat{Y} یک تابع خطی از X است، لذا $SS_{\hat{y}}$ را می‌توان قسمتی از پراکندگی Y ، که به وسیله X قابل توجیه است، نامید. به همین دلیل $SS_{\hat{y}}$ را پراکندگی تبیین شده متغیر پاسخ می‌نامند [۴۰].

از طرفی با توجه به رابطه (۹-۵) پراکندگی Y به اندازه SS_e بیش از پراکندگی \hat{Y} است؛ بنابراین SS_e سهمی از پراکندگی Y است، که توسط تغییرات X قابل توجیه نمی‌باشد و معلول اثر متغیرهای دیگر

است؛ که بر Y مؤثرند و در الگو لحاظ نشده‌اند. به این دلیل SS_e پراکندگی تبیین نشده نامیده می‌شود [۴۰].

۵-۴- ضریب تعیین^۱

رابطه (۵-۹) به رابطه تجزیه واریانس موسوم است. واضح است که $0 \leq \frac{SS_{\hat{Y}}}{SS_Y} \leq 1$ و می‌تواند معیار خوبی برای میزان دقت رابطه خطی Y با X باشد و چون مثبت است، می‌توان آن را با R^2_{XY} نشان داد، که آن را ضریب تعیین می‌نامند. ضریب تعیین بر اساس رابطه زیر نمایش داده می‌شود [۴۰].

$$R^2 = \frac{SS_{\hat{Y}}}{SS_Y} = \frac{SS_R}{SS_T} = \frac{\text{پراکندگی بیان شده به وسیله X}}{\text{پراکندگی کل}} \quad (۵-۱۰)$$

R^2 اغلب نسبت به تغییرات توضیح داده به وسیله متغیر رگرسیونی بین X نامیده می‌شود؛ که مقدار آن بین $0 \leq R^2 \leq 1$ تغییر می‌کند [۴۲]. هر چه قدر مقدار R^2 به یک نزدیک‌تر باشد به معنای برآزش بهتر خط رگرسیون بوده و هر چه قدر مقدار R^2 به صفر نزدیک‌تر باشد دال بر خوب نبودن برآزش است. می‌توان گفت مقدار ضریب تعیین R^2 درصد تغییرات متغیر پاسخ Y است که به وسیله متغیر پیشگوی X تبیین و توجیه می‌شود. در مسأله‌ای اگر $R^2 = 0.9$ شود، به این مفهوم است که ۹۰ درصد از تغییرات متغیر پاسخ Y توسط متغیر پیشگوی X قابل توجیه است. ۱۰ درصد باقیمانده در واقع معلول عواملی است که در رگرسیون لحاظ نشده‌اند [۴۰].

R^2 از کمیت‌هایی است که به سهولت محاسبه می‌شود. این کمیت به مقیاس بستگی نداشته و شدت رابطه بین متغیرها را مشخص می‌کند. ضریب تعیین آماره‌ای بسیار مشهور است؛ زیرا آن را می‌توان به رگرسیون چندگانه که فقط بستگی به مجموع مربعات دارد، تعمیم داد، که تعبیر و تفسیرش آسان به نظر می‌رسد. R^2 همان توان دوم ضریب همبستگی بین متغیرها در نمونه است [۴۲].

1 - Coefficient of determination

آماره R^2 باید با احتیاط به کار رود. زیرا همواره امکان دارد R^2 را از طریق اضافه کردن جملات کافی به مدل بزرگ کرد. برای مثال اگر نقاط تکراری وجود نداشته باشد (چند Y برای یک X) یک چند جمله‌ای با درجه $n-1$ به نقاط داده‌ها، یک برازش کامل ($R^2 = 1$) خواهد بود. اگر نقاط تکراری وجود داشته باشد هرگز $R^2 = 1$ نخواهد شد. زیرا مدل نمی‌تواند تغییرپذیری مربوط به خطای محض را توضیح دهد [۴۱].

مقدار خوب R^2 بستگی به زمینه کاربرد دارد. در علوم زیستی و اجتماعی چون متغیرها همبستگی کمی دارند، لذا خطا زیاد است. در نتیجه در این زمینه‌ها مقدار $0/6$ برای ضریب مقدار مناسبی است. در فیزیک و مهندسی چون بیشتر داده‌ها از طریق آزمایش‌های کنترل شده به دست می‌آیند؛ انتظار یک ضریب تعیین بالا وجود دارد؛ در نتیجه مقدار $0/6$ اندک، تلقی می‌شود [۴۰]. نکات قابل توجه [۴۰]:

۱- ضریب تعیین R^2 مناسب بودن الگوی خطی را تعیین نمی‌کند. زیرا ممکن است رابطه X و Y غیرخطی باشد ولی ضریب تعیین بزرگ باشد.

۲- وقتی در مجموعه‌ای از داده‌ها نقاط دورافتاده وجود دارد، چون این نقاط تأثیر زیادی روی برازش کمترین توان‌های دوم دارد (شیب خط رگرسیون را تحت تأثیر قرار می‌دهد)، لذا R^2 نمی‌تواند دقت رابطه خطی را مشخص کند. در این قبیل موارد باید پارامترهای الگو را با روشی به جز کمترین توان‌های دوم برآورد کرد؛ که نسبت به نقاط دورافتاده کمتر حساس باشد، یا الگو را بدون در نظر گرفتن داده دور افتاده بازسازی کند.

۳- بزرگی R^2 به دامنه تغییرات متغیر پیشگو وابسته است. در صورت درست بودن الگوی مورد نظر مقدار ضریب تعیین با افزایش پراکندگی مقادیر X افزایش می‌یابد و با کاهش پراکندگی مقادیر X کاهش پیدا می‌کند.

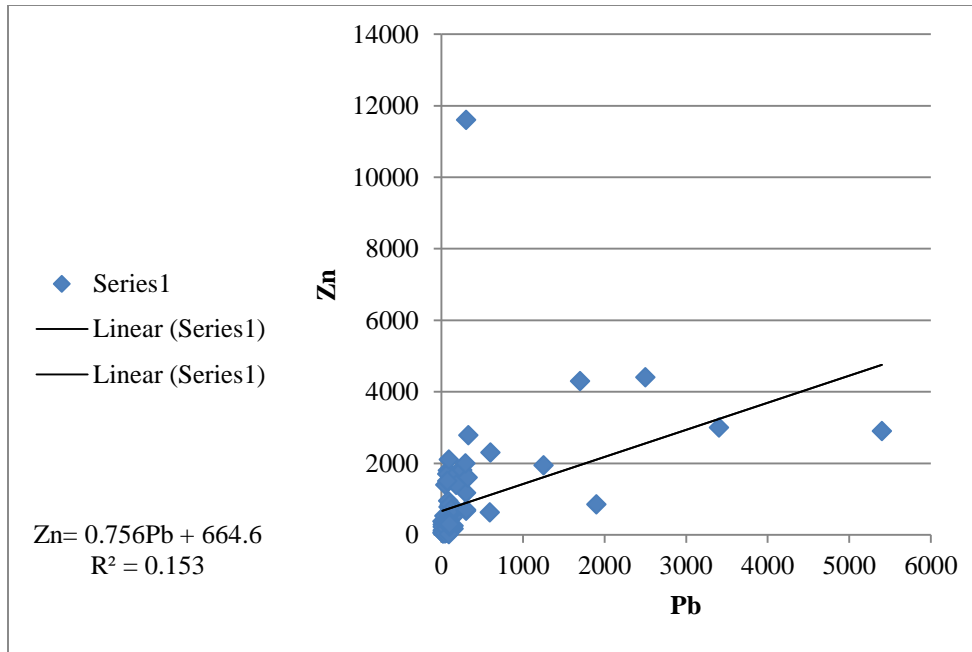
۴- یک ضریب تعیین بزرگ نتیجه‌اش شیب تند خط رگرسیون نیست، زیرا ضریب تعیین بزرگ معیاری برای بزرگ بودن شیب خط رگرسیون نیست.

۵- بزرگ بودن ضریب تعیین لزوماً به این معنی نیست که الگوی رگرسیون یک الگوی دقیق است. لازم به ذکر است که ضریب تعیین یا ضریب تشخیص، به عنوان ملاکی برای نکویی برازش به کار می‌رود و برابر نسبت واریانس تخمینگر به واریانس متغیر مورد تخمین است و در حالت رگرسیون خطی ساده با توان دوم ضریب همبستگی پیرسون برابر است [۴۳]. ضریب همبستگی پیرسون برای توصیف همبستگی بین دو متغیر که با استفاده از مقیاس فاصله‌ای یا نسبی اندازه‌گیری شده‌اند به کار برده می‌شود؛ که با نماد r نشان داده می‌شود. مقدار ضریب همبستگی پیرسون بین $+1$ و -1 می‌باشد. اگر مقدار به دست آمده مثبت باشد، به معنی این است که تغییرات دو متغیر به طور هم جهت اتفاق می‌افتد؛ یعنی با افزایش در هر متغیر، متغیر دیگر نیز افزایش می‌یابد و برعکس اگر مقدار r منفی شود، یعنی اینکه دو متغیر در جهت عکس هم عمل می‌کنند؛ یعنی با افزایش مقدار یک متغیر مقادیر متغیر دیگر کاهش می‌یابد و برعکس. اگر مقدار به دست آمده صفر شد، نشان می‌دهد که هیچ رابطه‌ای بین دو متغیر وجود ندارد. اگر $+1$ شود همبستگی مثبت کامل و اگر -1 شود همبستگی کامل و منفی است [۴۴، ۴۵].

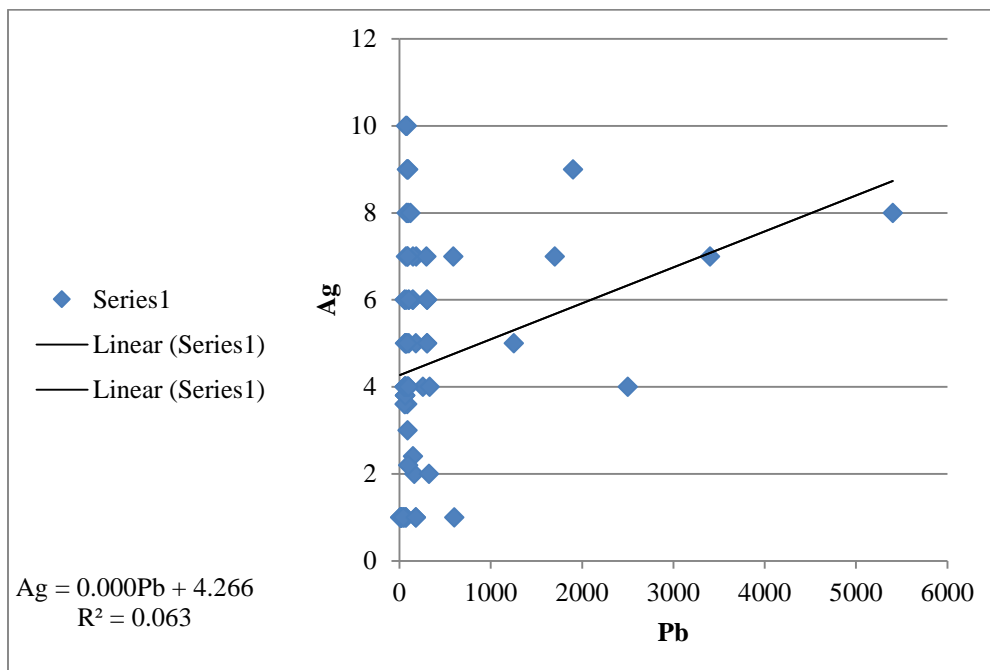
۵-۵- ارتباط بین عناصر موجود در منطقه مورد مطالعه

در منطقه مورد مطالعه ماده معدنی به صورت توده‌های عدسی شکل بزرگ و کوچک و رگه‌ای تشکیل شده است. ۶ گمانه به منظور پی بردن به ابعاد، شکل و ذخیره کانی‌سازی در منطقه حفر شده و بیش از ۱۰۰ آنالیز شیمیایی بر روی نمونه‌های گمانه‌ها انجام شده است. برای تعیین روابط بین عناصر در کانسار سرب و روی پی‌چمتو از نرم‌افزار Excel استفاده شده است. با استفاده از این نرم‌افزار، معادله رگرسیون خطی و ضریب تعیین بین عناصر مختلف در این منطقه تعیین شده است. در شکل‌های زیر، نمودار رابطه بین چند عنصر نشان داده شده، معادله خط رگرسیون و ضریب تعیین برای تمام عناصر در جدول (۵-۱) ارائه شده است. شکل (۵-۱)، رابطه بین

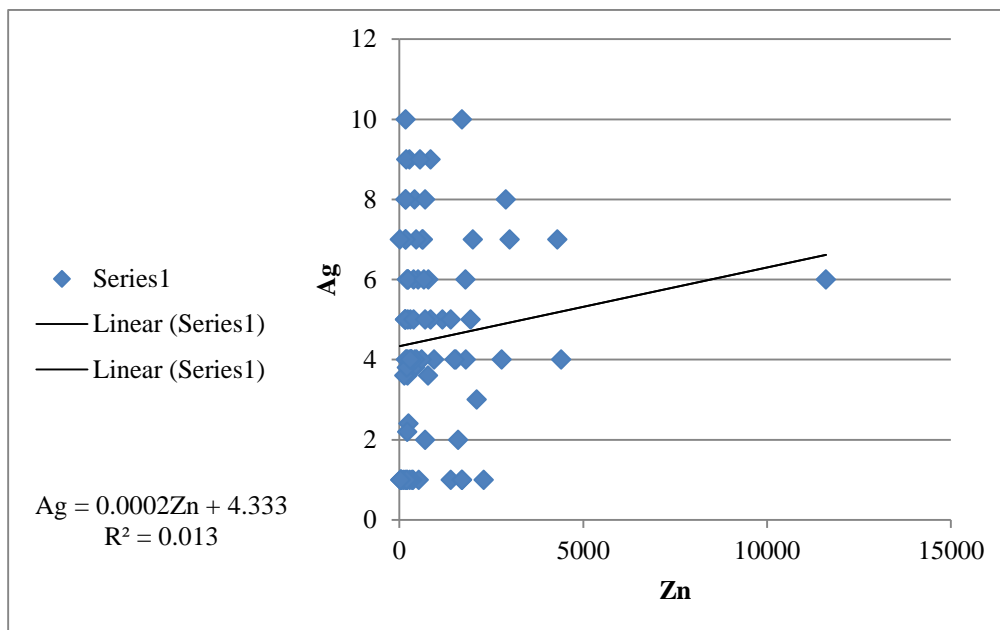
عنصر Zn و Pb را نشان می‌دهد. همچنین در شکل‌های (۲-۵) و (۳-۵)، رابطه بین عناصر Pb و Ag و رابطه بین عناصر Zn و Ag به ترتیب نشان داده شده‌اند.



شکل (۱-۵): نمودار رابطه رگرسیون خطی بین عناصر Zn و Pb



شکل (۲-۵): نمودار رابطه رگرسیون خطی بین عناصر Ag و Pb



شکل (۳-۵): نمودار رابطه رگرسیون خطی بین عناصر Zn و Ag

جدول (۱-۵): رابطه رگرسیون خطی بین عناصر مختلف

عناصر مورد بررسی	معادله خط رگرسیون	ضریب تعیین (R^2)
Pb&Zn	$Zn = 0.756Pb + 664.6$	0.153
Pb&Co	$Co = 0.001Pb + 16.50$	0.029
Zn&Co	$Co = 0.0002Zn + 16.25$	0.034
Pb&Ag	$Ag = 0.0008Pb + 4.266$	0.063
Zn&Ag	$Ag = 0.0002Zn + 4.333$	0.013
Pb&Cu	$Cu = 0.008Pb + 12.14$	0.183
Zn&Cu	$Cu = 0.002Zn + 12.91$	0.035
Pb&Ni	$Ni = 0.009Pb + 26.21$	0.297
Zn&Ni	$Ni = 0.004Zn + 25.27$	0.215

همان‌طور که نتایج نشان داده شده در جدول (۵-۱) و شکل‌های (۵-۱) تا (۵-۳) نشان می‌دهند؛ رابطه خطی خاصی بین عناصر موجود در کانسار سرب و روی پی‌چمتو وجود ندارد. بنابراین این کانسار مشابه تعدادی از کانسارهای دنیا، بسیار پیچیده می‌باشد. البته باید ذکر کرد که هر کانسار به-ویژه این کانسار پیچیده در حد خود در دنیا مشابه ندارد.

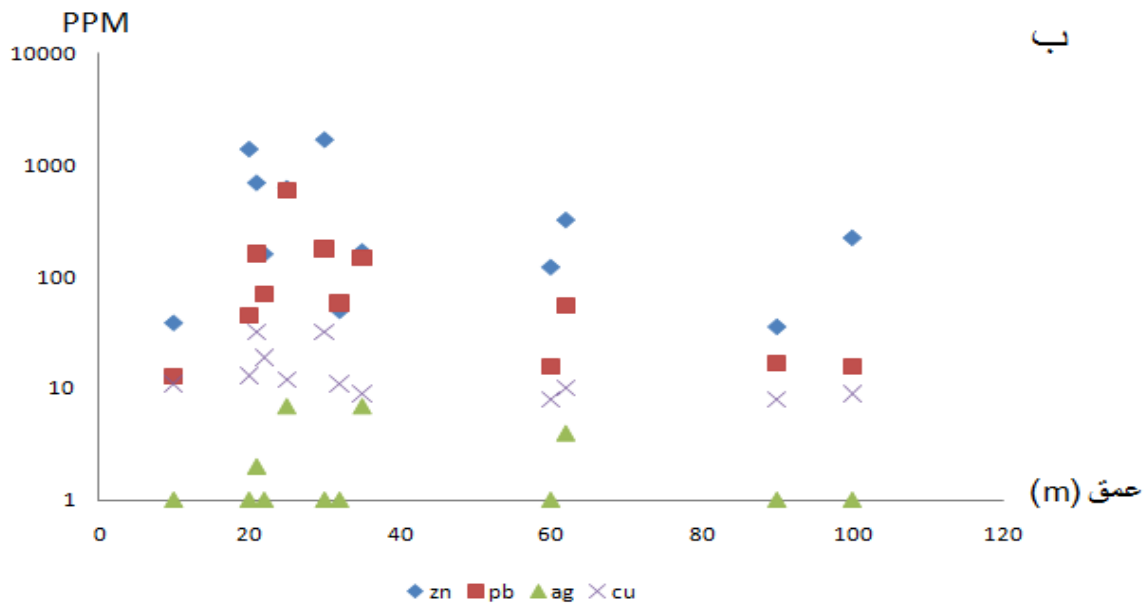
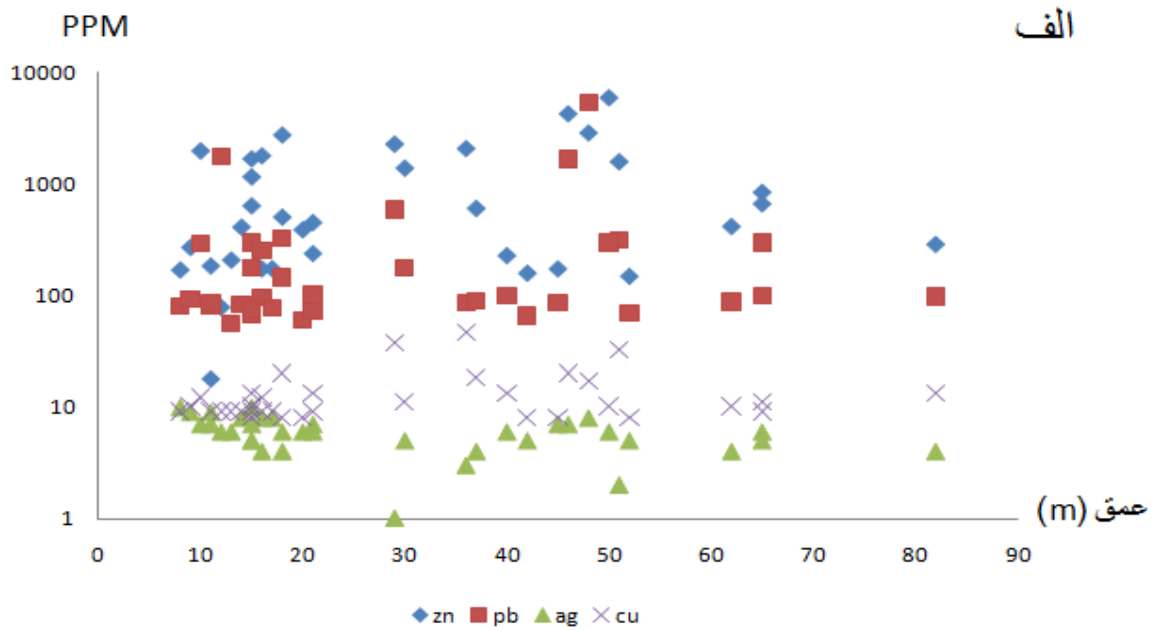
۵-۶- مطالعات ژئوشیمیایی و زمین‌شناسی منطقه

به منظور شناسایی کانی‌سازی، بررسی ژئوشیمی عناصر در سنگ میزبان و تا حدودی منشأ مواد به بررسی زمین‌شناسی و ژئوشیمی کانی‌سازی سرب و روی پی‌چمتو پرداخته شده است. همان‌طور که گفته شد کانی‌سازی سرب و روی پی‌چمتو به صورت توده‌های عدسی شکل و رگه‌ای در سنگ میزبان کربناته سازند لار واقع شده است. کانی‌سازی به خصوص در ریف‌ها و زون‌های درزه‌دار یا برش‌های فروریزی و در تغییرات رخساره‌ای سرب متمرکز شده است که نمایان‌گر کنترل و تمرکز ماده معدنی به درجه تغییرات و دگرگونی مربوط به چین‌خوردگی و رورانندگی است [۷]. جهت بررسی خصوصیات ژئوشیمیایی سنگ میزبان کربناته سازند لار و ماسه سنگ‌های ژوراسیک، ۳۵ نمونه از کربنات‌ها و ۱۳ نمونه از ماسه سنگ‌های فاقد ماده معدنی مورد بررسی قرار گرفت. مقادیر میانگین عناصر سرب، روی، نقره و مس در سنگ‌های منطقه و همچنین مقادیر میانگین جهانی ماسه سنگ و آهک در جدول (۵-۲) آورده شده است.

جدول (۵-۲): مقادیر میانگین عناصر سرب، روی، مس و نقره در گمانه‌های اکتشافی منطقه پی‌چمتو و میانگین جهانی آن در ماسه سنگ و آهک

Ag	Cu	Pb	Zn	مقادیر عناصر بر حسب ppm
۰/۰۰۱	۴	۹	۲۰	مقادیر میانگین جهانی عنصر در سنگ آهک
۰/۰۰۱	۱۰	۷	۱۶	مقادیر میانگین جهانی عنصر در ماسه سنگ
۶	۱۳/۲	۳۸۷	۱۰۵۱	مقادیر میانگین عنصر در سنگ آهک پی‌چمتو
۲/۳	۱۴/۵	۱۱۴	۴۶۲	مقادیر میانگین عنصر در ماسه سنگ پی‌چمتو

همان‌طور که ملاحظه می‌شود عنصر مس غنی‌شدگی خاصی را نشان نمی‌دهد؛ ولی عناصر سرب، روی و نقره غنی‌شدگی بسیار خوبی را نشان می‌دهد. جهت مقایسه غنی‌شدگی‌های این عناصر در ماسه سنگ‌ها و کربنات‌های منطقه، مقادیر آن در شکل (۴-۵) ترسیم شده است.



شکل (۴-۵): الف) مقادیر عناصر مس، سرب، روی و نقره در سنگ‌آهک لار. ب) مقادیر عناصر مس، سرب، روی و نقره در ماسه‌سنگ‌های شمشک.

مقایسه عنصر نقره در این دو نمودار غنی‌شدگی خوبی را نشان می‌دهد. این غنی‌شدگی در آهک بالاتر از ماسه‌سنگ می‌باشد؛ به طوری که بیشتر نمونه‌ها در ماسه‌سنگ مقادیری نزدیک به ۱ ppm دارند؛ در حالی که بیشتر نمونه‌ها در آهک مقادیری نزدیک به ۹ ppm را نشان می‌دهند. مقایسه عنصر مس همچنان که در جدول (۵-۲) نیز آمده است؛ غنی‌شدگی خاصی را نشان نداده و مقادیر آن در هر دو سنگ تفاوتی را نشان نمی‌دهد. در مورد عنصر سرب در ماسه‌سنگ، میزان غنی‌شدگی بسیار پایین‌تر از آهک است؛ بطوری که بیشتر نمونه‌ها در دامنه ۱۰ تا ۱۰۰ ppm قرار گرفته است؛ در حالی که غنی‌شدگی سرب در آهک بسیار بالاتر است؛ بطوری که بیشتر نمونه‌ها در دامنه ۱۰۰ ppm تا ۱۰۰۰ واقع شده است. عنصر روی نیز در هر دو نوع سنگ غنی‌شدگی نشان می‌دهد و بیشتر نمونه‌ها در ماسه‌سنگ و همچنین در آهک در دامنه ۱۰۰ ppm تا ۱۰۰۰ قرار گرفته است و تفاوت چشمگیری از غنی‌شدگی روی در ماسه‌سنگ و آهک را نشان نمی‌دهد.

مطالعات ژئوشیمی در ماسه‌سنگ شمشک و آهک لار نشان می‌دهد همبستگی خوبی بین عناصر سرب و نقره در هر دو نوع سنگ وجود دارد؛ در حالی که این همبستگی بین نقره و روی کمتر دیده می‌شود. همچنین مقادیر عنصر روی در هر دو نوع سنگ تقریباً به یک نسبت غنی‌شدگی نشان می‌دهد؛ که می‌تواند ناشی از قابلیت تحرک بالاتر روی نسبت به سرب باشد. از طرفی عنصر سرب در آهک مقادیر بالاتری را نسبت به ماسه‌سنگ نشان می‌دهد؛ و این امر ناشی از قابلیت تحرک پایین‌تر سرب نسبت به روی می‌باشد.

فصل ششم

نتیجه‌گیری و

پیشنهادات

۱-۶- نتیجه گیری

با توجه به مطالب بیان شده در فصل‌های قبل، موارد زیر را می‌توان به عنوان مهم‌ترین نتایج این تحقیق بیان نمود:

۱- مقدار ذخیره تخمین زده شده برای کانسار سرب و روی تاش و مجن با استفاده از داده‌های ژئوفیزیکی (IP و مقاومت‌ویژه) بر اساس روش‌های درون‌یابی در نرم‌افزار Rockworks با استفاده از چهار روش ریاضی مورد استفاده در این تحقیق، در جدول (۱-۶) آورده شده است.

جدول (۱-۶): مقادیر تخمین ذخیره کانسار سرب و روی تاش و مجن بر اساس داده‌های ژئوفیزیکی (IP و مقاومت‌ویژه)

روش‌های مورد استفاده	مقدار تخمینی برای داده‌های Ip	مقدار تخمینی برای داده‌های مقاومت‌ویژه
روش نزدیک‌ترین نقاط	۹۷۱۸۸۰۰	۳۸۹۹۷۰۰۰
روش عکس فاصله وزنی	۵۳۲۰۰	۸۱۴۸۴۲۰۰
روش عکس فاصله همسانگرد	۵۳۲۰۰	۸۱۴۸۴۲۰۰
روش عکس فاصله ناهمسانگرد	۶۴۸۴۸۰۰	۵۵۱۱۹۴۰۰

۲- روش نزدیک‌ترین نقاط، زمانی سودمند است که داده‌ها به‌طور یکنواخت فاصله‌گذاری شده باشند، با توجه به اینکه داده‌ها با فواصل یکسان برداشت شده‌اند و به‌طور یکنواخت توزیع شده‌اند، احتمالاً جوابی که از روش نزدیک‌ترین نقاط به دست می‌آید به واقعیت نزدیک‌تر باشد.

۳- در روش عکس فاصله وزنی که تأثیر ارزش نقاط با فاصله کاهش می‌یابد و همچنین در روش عکس فاصله همسانگرد که از تمام نقاط در دسترس در هنگام محاسبه ارزش یک نقطه استفاده می‌کند، مقدار ذخیره تخمین زده شده برای داده‌های IP بسیار کم است.

۴- در روش عکس فاصله ناهمسانگرد چون از زاویه جستجوی ۹۰ درجه استفاده می‌کند؛ امکان این که تعدادی از نقاط در تخمین ذخیره مورد استفاده قرار نگیرند؛ وجود دارد.

۵- کانسار سرب و روی پی‌چمتو کانساری پیچیده است، زیرا مقدار ضریب تعیین بین عناصر آن بسیار کم می‌باشد، بنابراین رابطه خطی خاصی بین عناصر موجود در این کانسار حاکم نیست.

۶- مطالعات ژئوشیمی در ماسه‌سنگ شمشک و آهک لار نشان می‌دهد که همبستگی خوبی بین عناصر سرب و نقره در هر دو نوع سنگ وجود دارد؛ در حالی که این همبستگی بین نقره و روی کمتر دیده می‌شود.

۷- کانی‌سازی در منطقه پی‌چمتو به صورت توده‌های عدسی شکل و رگه‌ای تشکیل شده است و شامل اسمیت‌زونیت، همی‌مورفیت، سرروزیت، کالامین، و مقادیر کمی گالن و اسفالریت است. مطالعات نشان می‌دهد، ماده معدنی به صورت اپی‌ژنتیک در داخل حفرات انحلالی و شکستگی‌های موجود در آهک دولومیتی لار جایگزین شده است. کانی‌سازی احتمالاً از نوع اپی‌ترمال و تیپ دره می‌سی‌سی‌پی می‌باشد. مطالعات ژئوشیمیایی حاصل از گمانه‌های حفاری در ماسه‌سنگ شمشک و آهک لار نشان می‌دهد میزان غنی‌شدگی سرب در ماسه‌سنگ‌ها کمتر ولی در آهک بسیار بالاتر است؛ در حالی که در مورد عنصر روی غنی‌شدگی در هر دو سنگ تقریباً به یک نسبت می‌باشد. این امر می‌تواند ناشی از قابلیت تحرک بالاتر روی نسبت به سرب باشد. سرب به دلیل قابلیت تحرک پایین، زودتر از روی تمایل به نهشته شدن دارد.

۸- این مطالعات می‌تواند بیانگر این مطلب باشد که احتمالاً سیال کانی‌ساز، عناصر سرب، روی و نقره را از یک منبع خارج از حوضه رسوبی تأمین کرده است و ابتدا سیال وارد گسل‌ها، درزه‌ها و شکستگی‌های موجود در آهک شده و مواد معدنی رسوب کرده است و سپس مقادیر کمتری از این سیال وارد ماسه‌سنگ شده و تا حدودی کانی‌سازی در ماسه‌سنگ انجام گرفته است و چون روی قابلیت تحرک بالاتری نسبت به سرب داشته، توانسته غنی‌شدگی بیشتری را در ماسه‌سنگ‌ها ایجاد نماید؛ در حالی که سرب و نقره در همان محیط اول (آهک) بیشتر ماده معدنی خود را رسوب داده‌اند.

۶-۲- پیشنهادات

۱- تخمین ذخیره با استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی IP و مقاومت‌ویژه به کمک روش‌های مختلف نزدیک‌ترین نقاط، عکس فاصله وزنی و ...، نتایج بسیار متفاوتی دربر داشته است که یکی از دلایل این امر، وجود داده‌های ژئوفیزیکی و حفاری است. لذا پیشنهاد می‌شود مطالعات بیشتر ژئوفیزیکی با پروفیل‌های برداشت متراکم‌تر به منظور رسیدن به یک ذخیره با دقت قابل قبول و نیز انجام تمامی حفاری‌های پیشنهاد شده بر روی پروفیل‌های ژئوفیزیکی به منظور رسیدن به مقادیر واقعی‌تر ذخیره سرب و روی در محدوده مطالعه، پیگیری شود.

۲- تلفیق داده‌های اکتشافی (ژئوفیزیکی، حفاری و غیره) در کانسار مورد مطالعه به روش‌های مدل‌سازی و تلفیق داده‌ها مانند منطق فازی، وزن‌های نشانگر و غیره می‌تواند نتایج بهتری در به‌دست آوردن مدل اکتشافی کانسار مورد مطالعه دربر داشته باشد.

۳- پیشنهاد می‌شود بررسی‌های ژئوفیزیکی آتی در منطقه مورد مطالعه به شکل پلاریزاسیون القایی طیفی نیز انجام شود؛ چرا که احتمال حضور کانی‌های سولفیدی نظیر پیریت، شیل و رس در این منطقه زیاد است و تنها روش مذکور قادر به تفکیک قابل ملاحظه منابع فلزی از غیر از آن است.

۴- از آنجا که احتمال رگه‌ای بودن بخشی از کانسار وجود دارد؛ پیشنهاد می‌شود طی مطالعات استخراجی اولیه در منطقه، ابتدا و انتهای رگه‌های معدنی موجود شناسایی و تخمین ذخیره صرفاً در همین مناطق برای رسیدن به نتایج دقیق‌تر خصوصاً برای بخش رگه‌ای کانسار انجام شود.

۵- پیشنهاد می‌شود اختصاصات مربوط به کانسارهای نوع اپی‌ترمال و تیپ دره می‌سی‌سی‌پی با انجام تحقیقات جامع زمین‌شناسی با ویژگی‌های موجود در محدوده مورد مطالعه مقایسه شود؛ تا با دقت بیشتری تیپ کانی‌سازی حاضر تعیین گردد.

۶- به منظور تشخیص دقیق‌تر اینکه سیال کانی‌ساز عناصر سرب، روی و نقره را از یک منبع رسوبی خارج از حوضه تأمین کرده یا خیر؛ پیشنهاد می‌شود مطالعات سیالات کانی‌ساز، با تهیه تیغه‌های نازک و مقاطع صیقلی متعدد و طی یک مطالعه جامع زمین‌شناسی اقتصادی در منطقه پیگیری شود.

۷- با توجه به اینکه محدوده مورد مطالعه در حال استخراج و بهره‌برداری است؛ لذا پیشنهاد می‌شود به منظور پرهیز از انجام هزینه‌های استخراجی کور حداقل اطلاعات مورد نیاز برای انجام استخراج یعنی نقشه زمین‌شناسی بزرگ مقیاس این محدوده توسط کارفرما تهیه شود.

۸- با توجه به نتایج ژئوشیمیایی حاصل از نمونه‌های برداشت شده در گمانه‌های اکتشافی پیشنهاد می‌شود در مرحله بعدی، مطالعات عناصر فوق کانساری و تحت کانساری تعیین گردند؛ تا از این راه‌یافت، نتایج دقیق‌تری در خصوص تیپ کانی‌سازی منطقه مورد مطالعه حاصل گردد.

پییوست ا

مصرفی نرم افزار Rockworks

معرفی نرم افزار RockWorks2004

برنامه Rockworks یکی از برنامه‌های بسیار محبوب و معروف علم زمین‌شناسی محسوب می‌شود. این برنامه که از چندین بخش اصلی تشکیل شده است، قابلیت آنالیز دیتاهای زیرسطحی را داراست و تقریباً در تمام شاخه‌های علم زمین‌شناسی بخصوص نفت و آب‌شناسی کاربرد بسیار فراوان دارد.

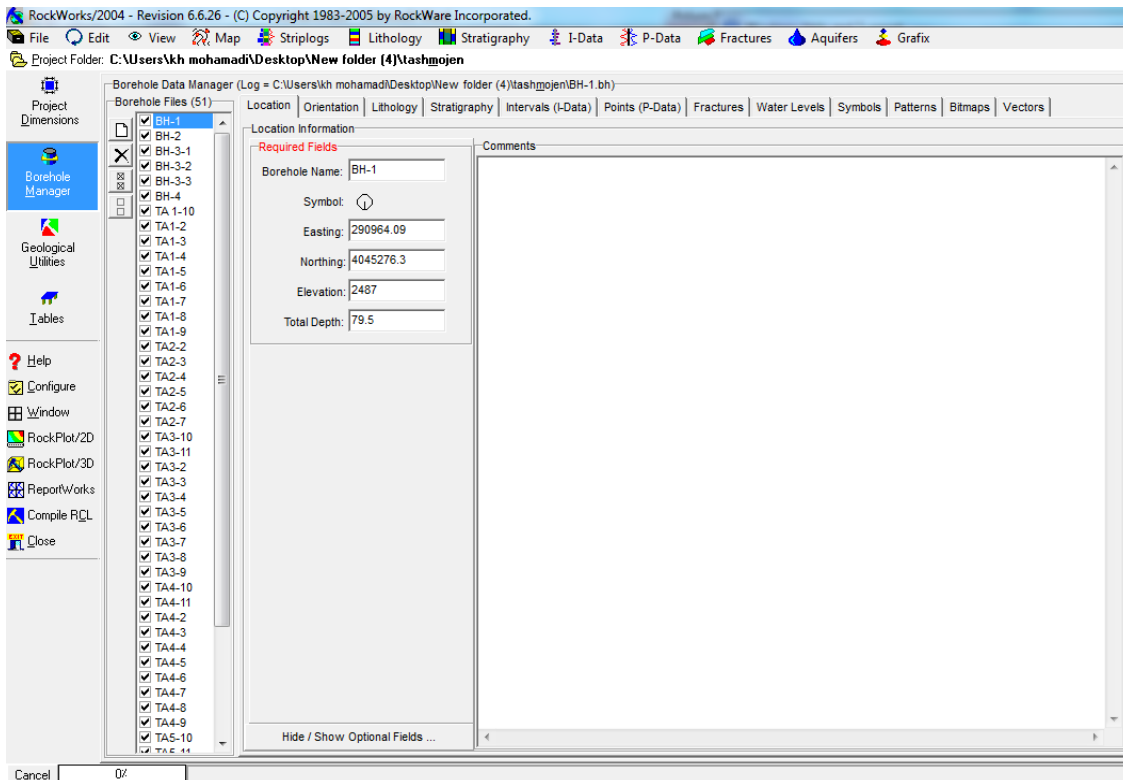
نرم افزار Rock Works شامل مجموعه‌ای از نرم‌افزارهای مختلف است که هر یک کار خاصی انجام می‌دهند. این نرم افزار توسط شرکت Rock Ware تهیه شده است و یکی از کامل‌ترین نرم‌افزارها در گروه خود است. این مجموعه تحت سیستم عامل Windows اجرا شده و از قابلیت‌های فراوانی برخوردار می‌باشد، به طوری که قادر است تقریباً تمام نیازها را در زمینه اکتشاف و زمین‌شناسی پاسخگو باشد. نرم‌افزار Strip Log برای ترسیم توالی سنگ‌شناسی، نرم‌افزار Cross Section جهت تطابق ستون چینه‌ای، نرم‌افزار Fence Diagram برای تهیه نمودار نرده‌ای، نرم‌افزار Grid-Based Map و EZ-Map جهت رسم نقشه‌های کنتوری، نرم‌افزار Stratigraphic Block Model/Diagram جهت تولید دیاگرام چینه‌ای سه‌بعدی، بخش Survey شامل برنامه‌های نقشه‌برداری و نیز بخش Multivariable Maps جهت تهیه نقشه‌های چند منظوره، نرم‌افزار 3-D-Modeling برای مدل‌سازی سه‌بعدی تغییرات یک متغیر، استفاده از مدل‌های حقیقت مجازی (Virtual Reality Modeling) جهت بهبود شرایط مطالعه مدل‌های مختلف، برنامه Azimuths، برنامه Lengths، نقشه‌های شیب و امتداد و ساختار داده‌های آنها (Dip Maps/Data Format & Strike)، برنامه Lineation Gridding جهت تحلیل وضعیت خطواره‌های روی نقشه‌ها، برنامه Diagram Rose جهت تهیه نمودار گلسرخی، برنامه Stereonet Diagram جهت رسم استریونت، برنامه Movement Analysis جهت مطالعه تغییرات پارامترهای مکانی (طول، عرض و ارتفاع)، برنامه Beta Pairs برای تعیین موقعیت خطواره حاصل از برخورد صفحات و نرم افزار Rotate Data جهت چرخش وضعیت عوارض ساختاری حول یک محور دوران بخش‌هایی از مجموعه RockWorks می‌باشند. از دیگر

بخش‌های این مجموعه می‌توان به نرم‌افزارهای Hydrogeology مربوط به مطالعات آب‌های زیرزمینی شامل نرم‌افزار Well ۱/Drawdown جهت تعیین میزان افت در یک چاه که بر اساس تئوری Theis کار می‌کند، نرم‌افزار Drawdown Surface جهت رسم مدل سه‌بعدی سطح پتانسیومتریک، برنامه‌های هیدروشیمی، برنامه‌های آماری (Statistics Software)، برنامه‌های رسم هیستوگرام و برنامه‌های گوناگون جهت تبدیل مختصات داده‌ها (Coordinates Conversion) اشاره نمود [۴۶، ۴۷].

برای وارد کردن اطلاعات در این نرم‌افزار دو منو وجود دارد:

۱- borehole manager

مدیریت گمانه‌ها یکی از دو منوی اصلی اطلاعات در Rockworks است که برای وارد کردن داده‌های گمانه از قبیل اندازه‌گیری‌های ژئوفیزیکی / ژئوتکنیکی / ژئوشیمیایی، مشاهده‌ی لیتولوژی، کنتاکت‌های چینه‌شناسی، سطح آب، ساختارها، اندازه‌گیری انحراف چاه و..... در صفحه گستره ویندوز مورد استفاده قرار می‌گیرد [۴۸]. که در شکل (پ-۱-۱) منو Borehole Manager نشان داده شده است.

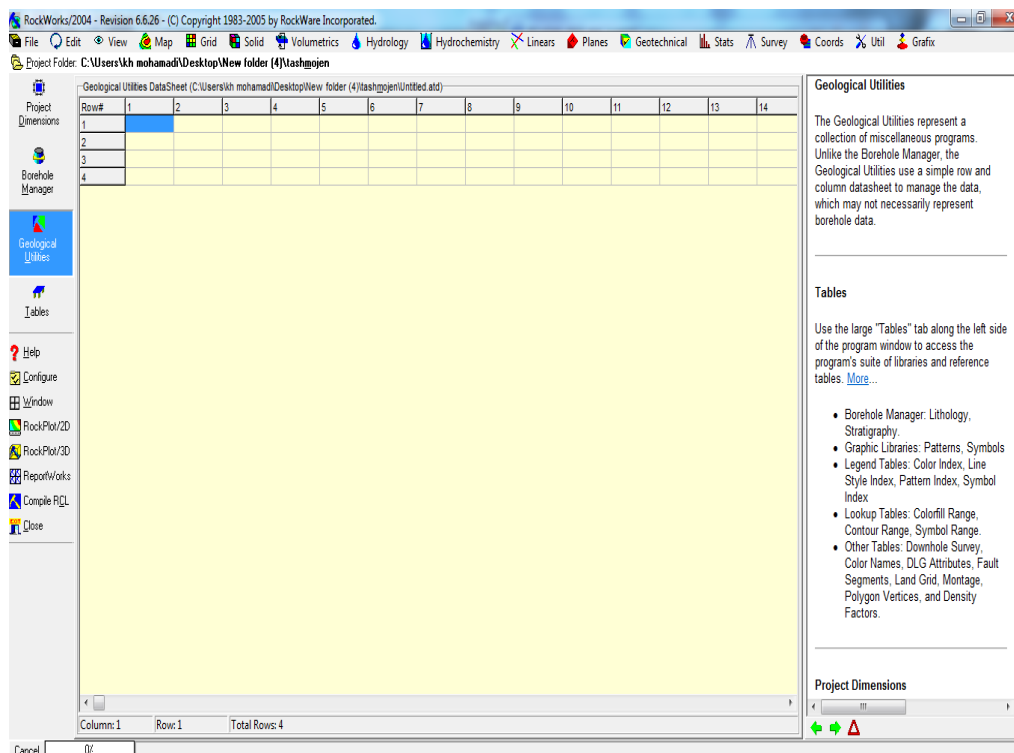


شکل (پ-۱-۱): پنجره Borehole Manager.

از این داده‌ها می‌توان نقطه، کنتور، نیمرخ پلان، نقشه‌های سطحی (زمین‌شناسی) لیتولوژی/چینه‌شناسی، لاگ‌ها، مقاطع و پروفیل را ایجاد کرد. علاوه بر این مجموعه‌ای از نمودارهای سه‌بعدی logs, surfaces, fence diagrams و solid models در این منو وجود دارد [۴۸].

۲- geological utilities

Rockworks همچنین شامل روش صفحه گستره مسطح (هموار) برای استفاده از برنامه‌های geological utilities است. geological utilities یکی از دو پنجره‌ی مهم ورود داده در Rockworks است. این بخش برای ورود انواع داده، مورد استفاده قرار می‌گیرد [۴۸]. در شکل (پ-۱-۲) پنجره geological utilities نشان داده شده است.



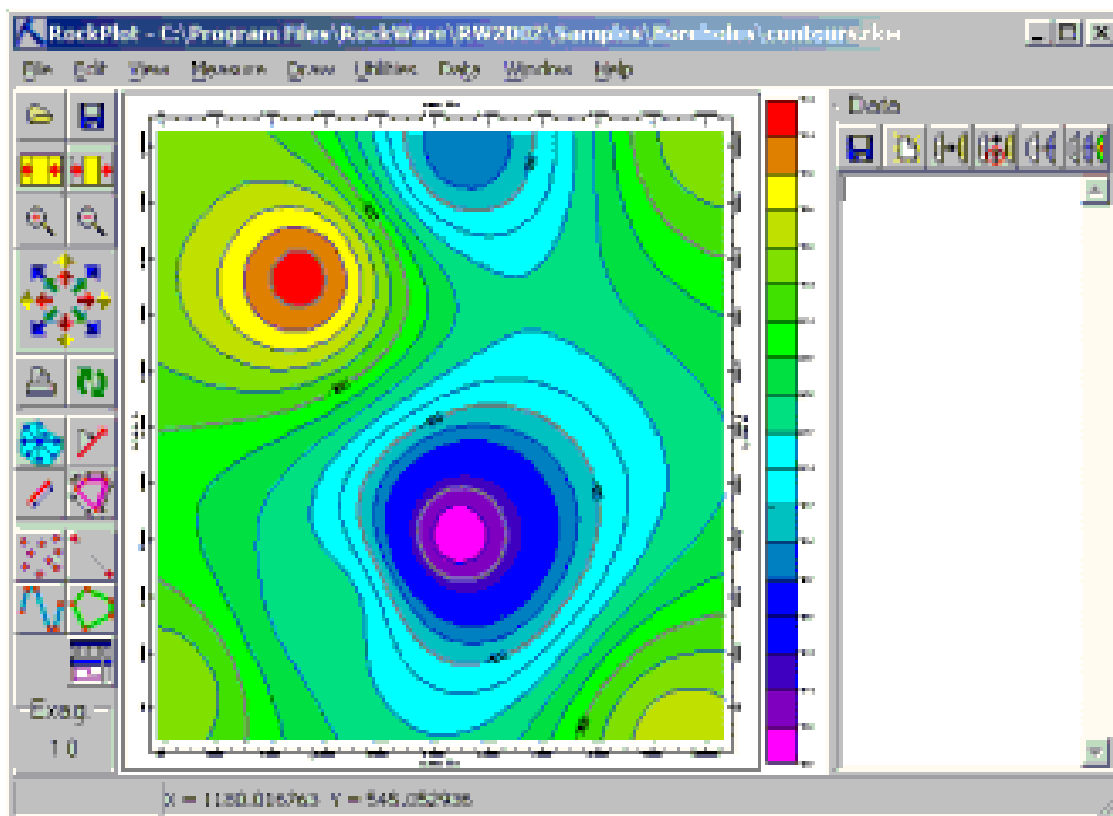
شکل (پ-۱-۲): پنجره geological utilities

این بخش می‌تواند برای ایجاد طرح و شبکه‌بندی اصلی، مدل‌سازی حجمی، حجم‌سنجی، آب-شناسی و ابزارهای شیمی نیروی محرکه آب (ارتفاع افت آب در چاه و نمودار جریان آب، نمودارهای Piper و Stiff)، ترکیب آنالیزهای دو بعدی و سه‌بعدی (نمودارهای rose و stereonet، نقشه‌های densities و lineation)، نمودارها و محاسبات آماری (هیستوگرام‌ها، نمودار پراکندگی، نمودار سه‌گانه)، ارزیابی نقشه‌برداری، تبدیل مختصات و.... مورد استفاده قرار گیرد [۴۸].

سه پنجره برای نمایش گرافیکی و آرایشی از گزارش‌ها در Rockworks وجود دارد:

RockPlot2D

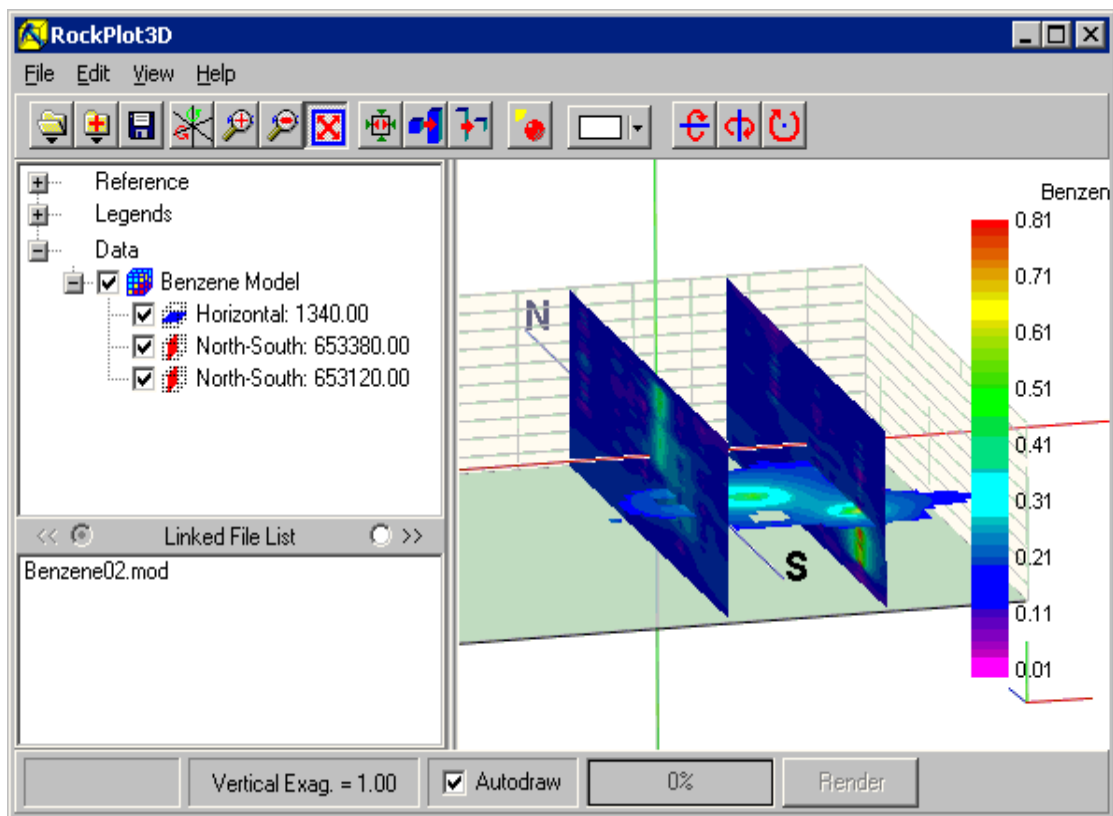
نمایشگر دوبعدی برای تصاویر مسطح از قبیل نقشه‌ها، لاگ‌ها و مقاطع است که ابزاری برای ذخیره کردن، صدور، چاپ نمودن و دیجیتالی‌سازی کردن و اندازه‌گیری را بر روی صفحه نمایش ارائه می‌دهد [۴۸]. در شکل (پ-۱-۳) پنجره RockPlot2D نشان داده شده است.



شکل (پ-۱-۳): پنجره RockPlot2D [۴۸].

RockPlot3D

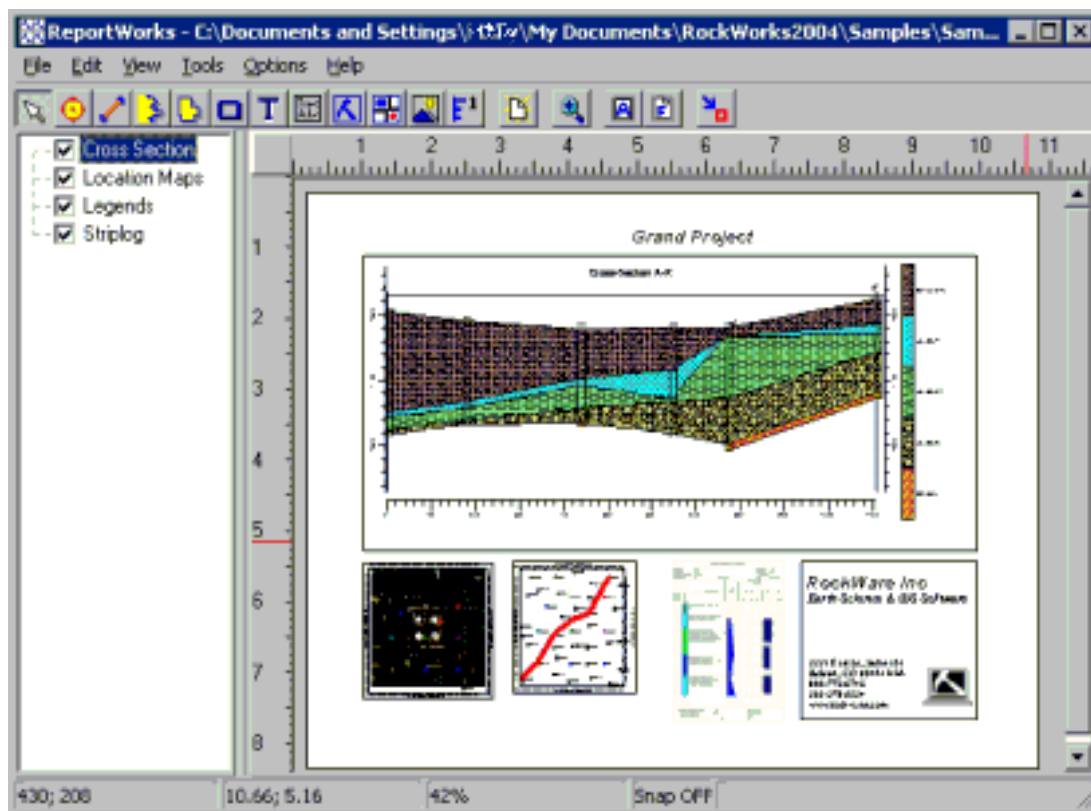
پنجره گرافیکی است که با بهره‌گیری از OpenGL برای تجسم آسان عکس‌های سه‌بعدی از قبیل logs, fence diagrams, solid models و 3D surfaces استفاده می‌شود. که اینها چرخش متقابل، حرکت افقی داده گرافیکی در عرض یک صفحه نمایش، بزرگ و کوچک کردن تصویر و لایه‌بندی از عکس‌های مختلف را میسر می‌سازد. تنظیم روشنایی، فیلتر کردن لکه، تنظیم رنگ و افزودن آسان سریع عکس‌ها روی این صفحه دیده می‌شود [۴۸]. در شکل (پ-۱-۴) پنجره RockPlot3D نشان داده شده است.



شکل (پ-۱-۴): پنجره RockPlot3D [۴۸].

Reportworks

جدیدترین ابزار گرافیکی است که در مرتب کردن صفحات (صفحه‌آرایی)، برای نمایش و چاپ کردن استفاده می‌شود. گرافیک‌های RockPlot (نقشه‌ها، مقاطع، لاگ‌ها، نمودارها و...)، عکس‌های رستری، رسم میله مقیاس و اشکال (طرح‌ها)، اضافه کردن نوشته و راهنما و... در این ابزار قرار دارد. قابلیت چاپ کردن و صدور عکس‌های Rockworks امکان ارائه سریع و آسان آن را به کاربر می‌دهد [۴۸]. شکل (پ-۱-۵) پنجره Reportworks را نشان می‌دهد.

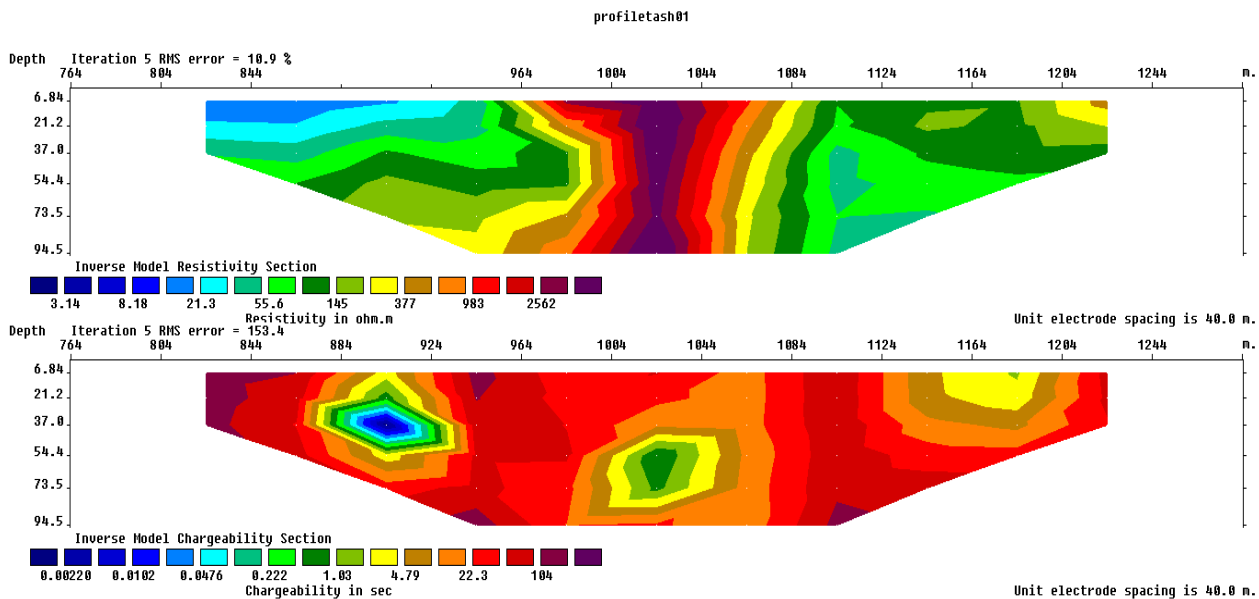


شکل (پ-۱-۵): پنجره Reportworks [۴۸].

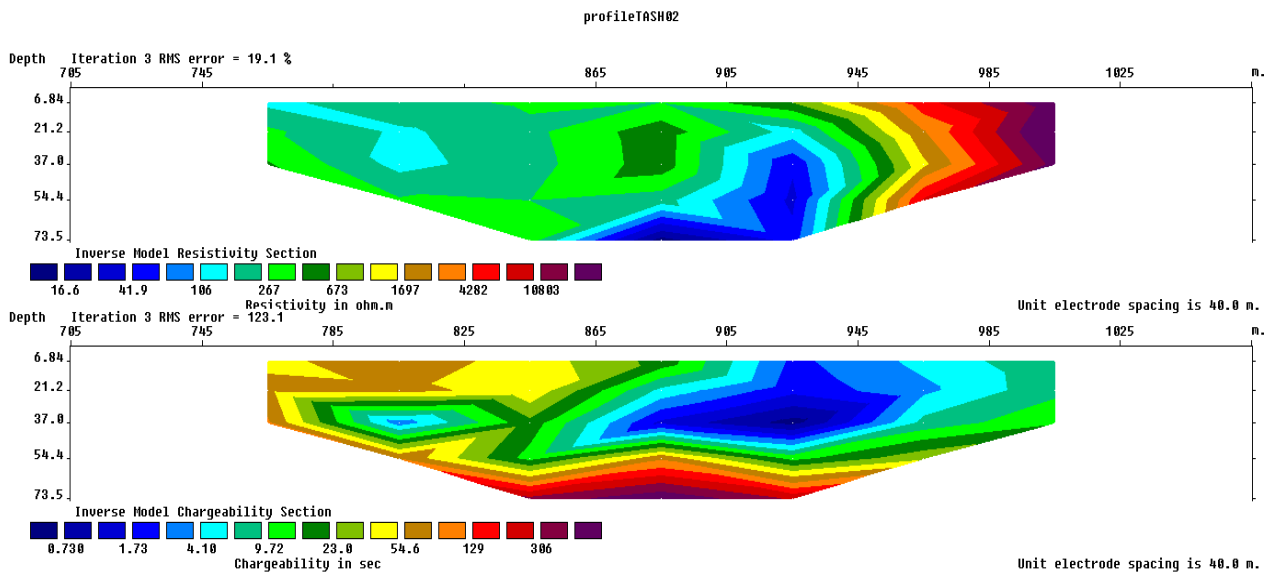
پیوست ۲

مقاطع تهیه شده با استفاده از

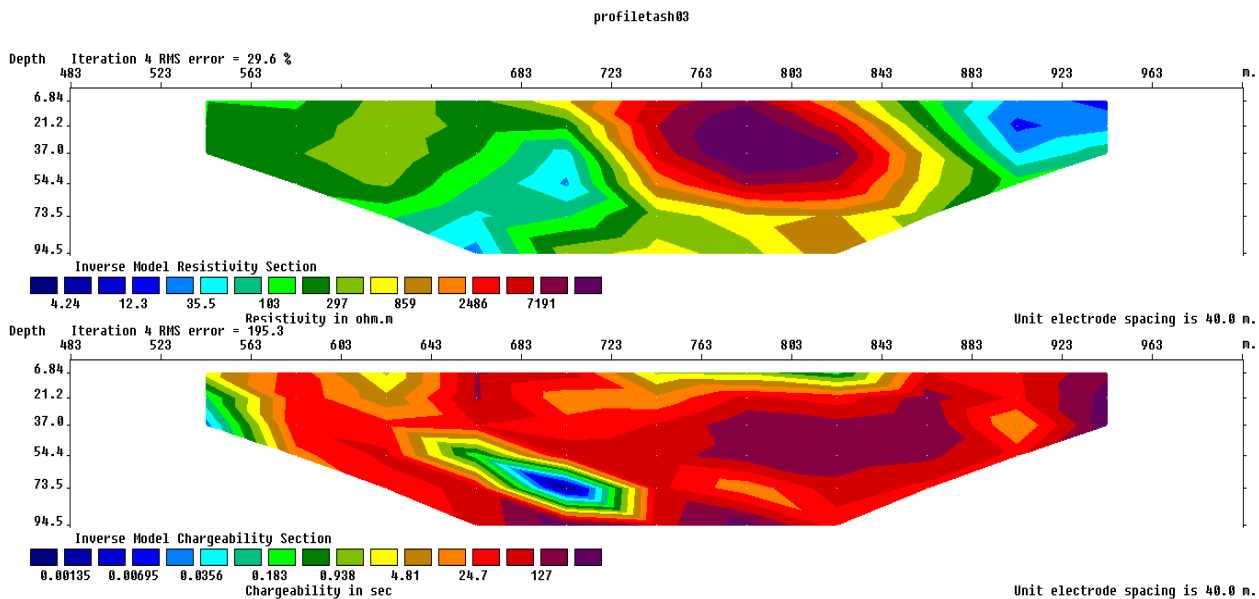
نرم افزار Res2dinve



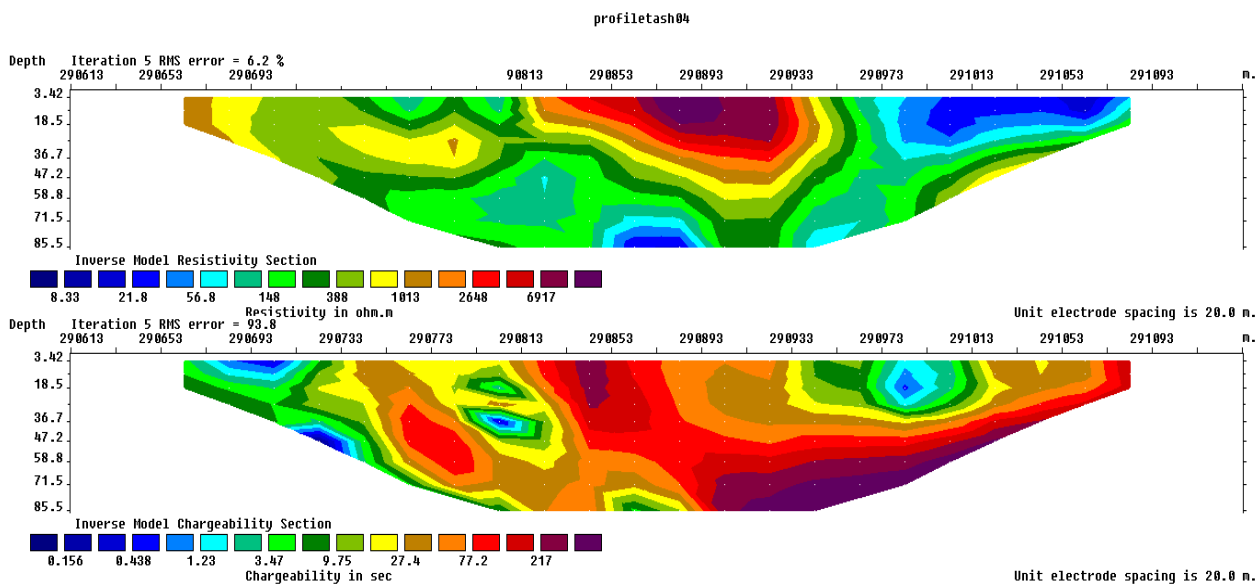
شکل (پ-۲-۱): مقطع تهیه شده برای پروفیل ۱



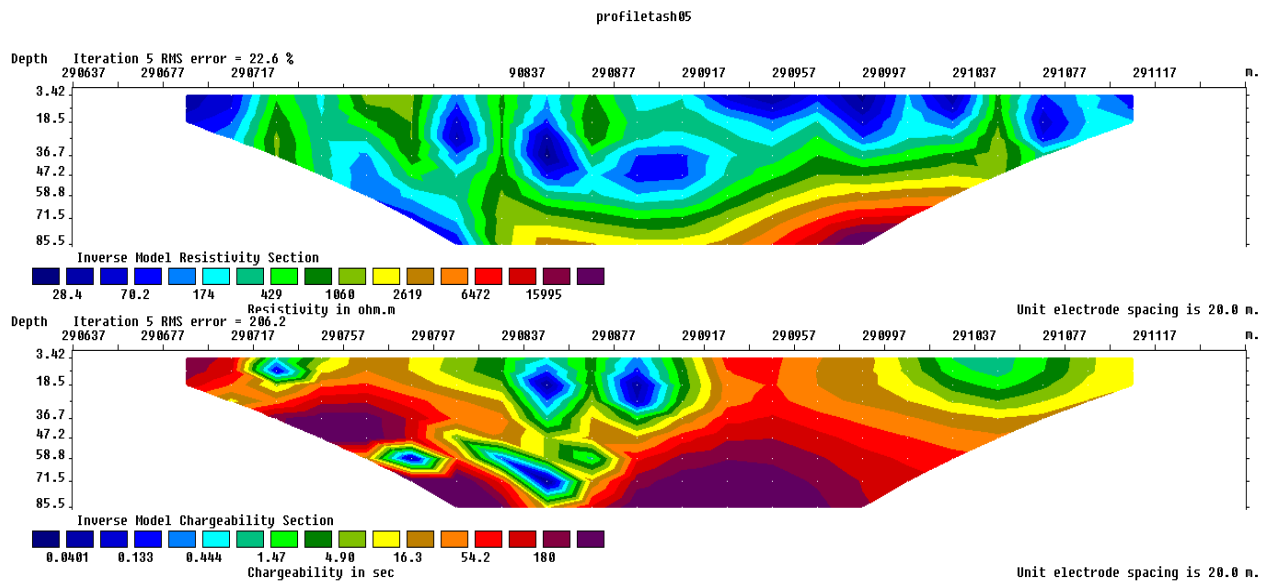
شکل (پ-۲-۲): مقطع تهیه شده برای پروفیل ۲



شکل (پ-۲-۳): مقطع تهیه شده برای پروفیل ۳



شکل (پ-۲-۴): مقطع تهیه شده برای پروفیل ۴

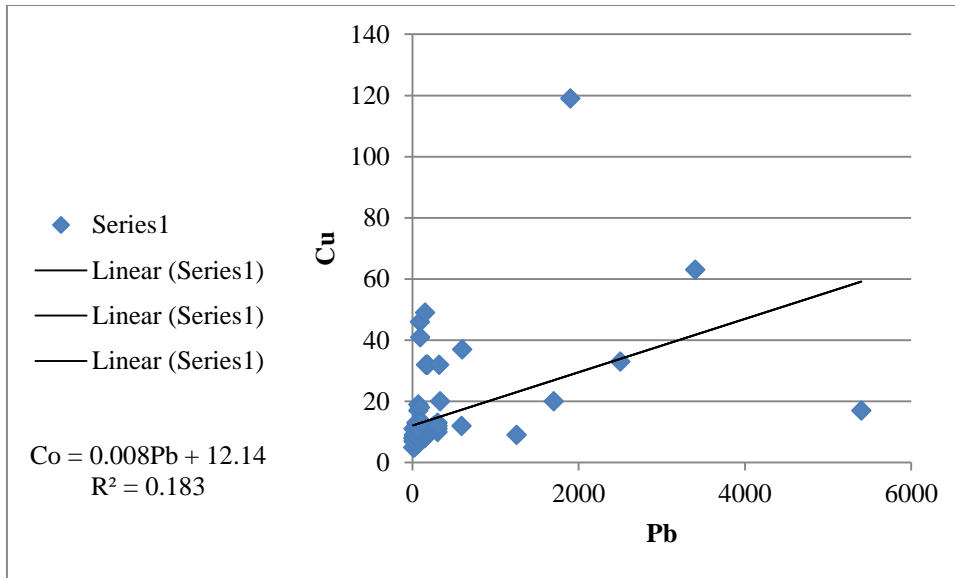


شکل (پ-۲-۵): مقطع تهیه شده برای پروفیل ۵

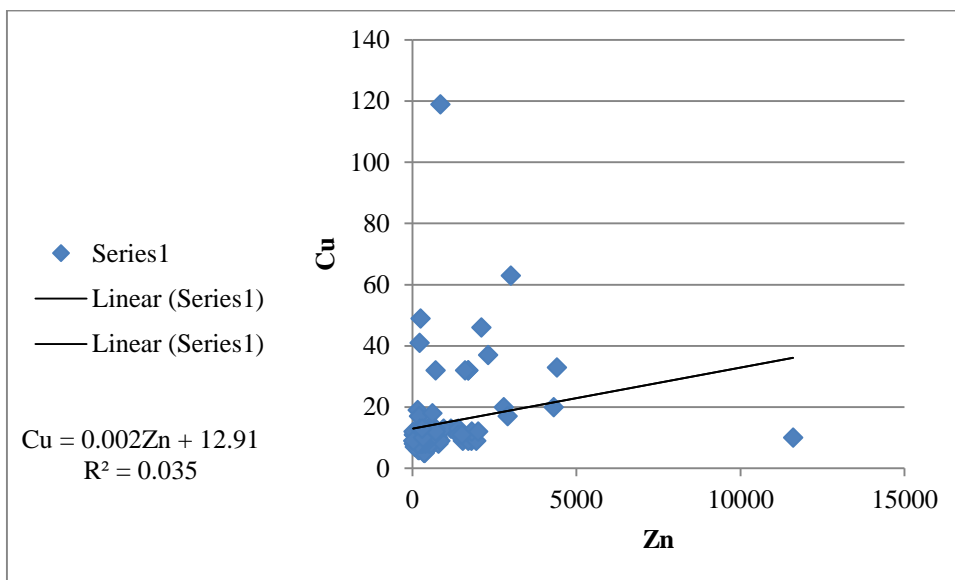
پیوست ۳

نمودارهای رگرسیون خطی

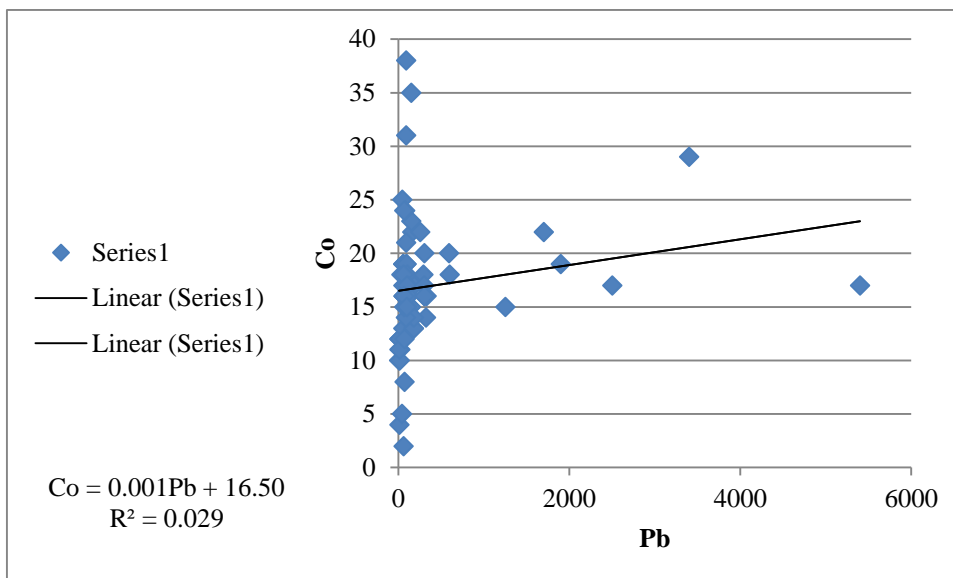
نمودارهای زیر نشان دهنده رابطه بین عناصر موجود در منطقه مورد مطالعه است، که معادله خط رگرسیون خطی و ضریب تعیین برای هر یک از آنها تعیین شده است.



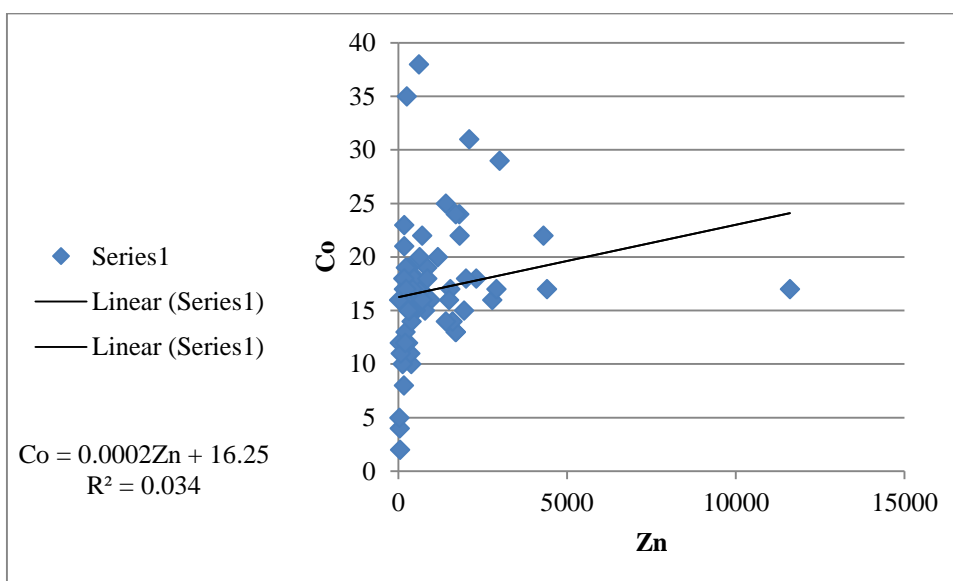
شکل (پ-۳-۱): نمودار رابطه رگرسیون خطی بین عناصر Cu و Pb



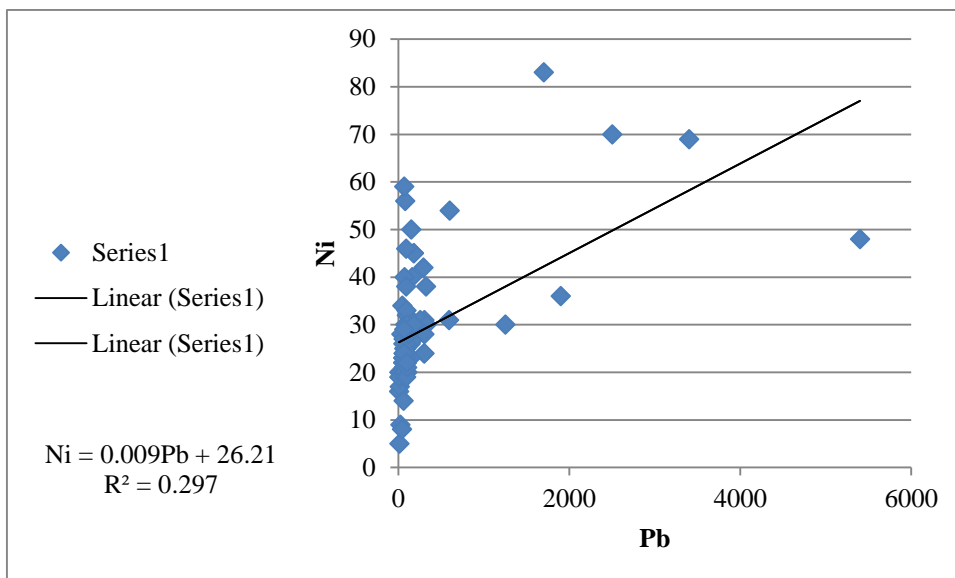
شکل (پ-۳-۲): نمودار رابطه رگرسیون خطی بین عناصر Cu و Zn



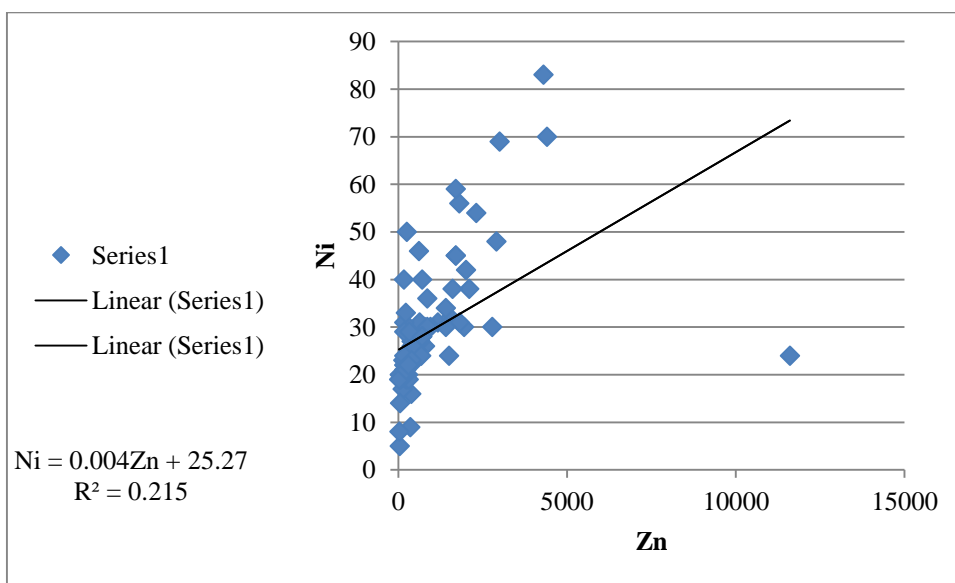
شکل (پ-۳-۳): نمودار رابطه رگرسیون خطی بین عناصر Co و Pb



شکل (پ-۳-۴): نمودار رابطه رگرسیون خطی بین عناصر Co و Zn



شکل (پ-۳-۵): نمودار رابطه رگرسیون خطی بین عناصر Ni و Pb



شکل (پ-۳-۶): نمودار رابطه رگرسیون خطی بین عناصر Ni و Zn

منابع

- ۱- فردوست ف.، (۱۳۸۶)، " گزارش زمین‌شناسی نقشه ۱/۱۰۰۰ معدن تاش و مجن "، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- 2- www. Gsi.ir
- 3- www. Izmdc.com
- ۴- عرب‌امیری ع، (۱۳۸۵)، گزارش قرارداد پژوهشی: " برداشت، مدل‌سازی و تفسیر داده‌های مقاومت‌ویژه و پلاریزاسیون القایی محدوده معدنی سرب و روی تاش و مجن "، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ۵- کثیری ا، (۱۳۸۶)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: " مدل‌سازی و تفسیر داده‌های پلاریزاسیون القایی و مقاومت‌ویژه به منظور اکتشاف سرب و روی در منطقه تاش و مجن "، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ۶- فلاح‌پیشه س، (۱۳۸۷)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: " مدل‌سازی عددی داده‌های تیپر روش VLF جهت شناسایی زون آلوده ناشی از معدن کاری (مطالعه موردی معدن سرب و روی تاش) "، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ۷- مهدی‌زاده ی، (۱۳۸۹)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: " تلفیق داده‌های اکتشافی منطقه پی‌چمتو با داده‌های حاصل از اندازه‌گیری‌های مقاومت‌ویژه و قطبش القایی به منظور ارائه مدل‌سازی سه‌بعدی کانسار "، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه شاهرود.
- 8- Telford W.M. and Geldart L.P. and Sheriff R.E. (1991), " **Applied Geophysics** ", Cambridge, University Press.
- ۹- مدنی ح، (۱۳۷۶)، " اصول پی‌جویی، اکتشاف و ارزیابی ذخایر معدنی "، چاپ سوم، انتشارات مؤسسه فرهنگی انتشاراتی خانه فرهنگ.
- ۱۰- کریم‌پور م. ح، ملک‌زاده آ، حیدریان م. ر، (۱۳۳۰)، " اکتشاف ذخایر معدنی، مدل‌های زمین‌شناسی، ژئوشیمی، ماهواره‌ای و ژئوفیزیکی "، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد.
- 11- Loke M. H, (2004 a), " **Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging survey** ".
- 12- Ward S. H, (1990), " **Resistivity and Induced polarization methods, in Geotechnical and Environmental Geophysics**", vol. 1, Soci, of Explor Geophys, pp. 147-189.
- ۱۳- کلاگری ع، (۱۳۷۱)، " اصول اکتشافات ژئوفیزیکی "، چاپ اول، انتشارات علی اصغر کلاگری.
- 14- Mooney H. M. (1980), " **Handbook of engineering geophysics** ", V. 2, First edition, Bison instrument, inc. and Minneapolis, Minnesota, p:1-31.

- 15- Donald B. and Klein D.P and Campbell D.C. (1990). " **Geophysical methods in Exploration and mineral environmental investigation** ", Society of Exploration Geophysicist.
- 16- Tezel O. (2002). " **Interpretation of the field observation in induced polarization** ", proceedings of international conference on earth sciences and electronics.
- 17- Fox R.C., Hohmann G.W., Killpack T.J. and Rijo L. (1980). " **Topographic effects in resistivity and induced polarization survey** ", Geophysics, 45, pp: 75- 93.
- 18- Sumner J.S. (1976). " **Principle of induced polarization for Geophysical Exploration**". Elsevier Scientific, Amsterdam.
- 19- Khesin B. and Alexeyer V. (1997). " **Rapid methods for interpretation of induced polarization anomalies** ", journal of applied geophysics, 37, 117- 130.
- ۲۰- کامکارروحانی ا، (۱۳۸۸)، جزوه درسی، " **اکتشافات به روش قطبش القایی** "، دانشگاه شاهرود.
- 21- Martinho E. and Almeida F. (2006). " **An experimental study of organic pollutant effect of time domain induced polarization measurements** ", journal of applied geophysics, 60, pp: 27- 40.
- ۲۲- دیلو- ام- تلفورد، ال- پی- جرارت، ار- ای- شریف، دی- ای- کینز، (۱۳۷۵)، جلد دوم، " **ژئوفیزیک کاربردی** "، مترجم: حاجب حسینی، زمردیان ح، انتشارات دانشگاه تهران.
- 23- Milson G. (1989). " **Field geophysics** ", Halsted press, London.
- 24- Roy K. K. (1980). " **Resistivity and IP survey for delineating saline water and fresh water zone** ", Geo exploration, 18, pp: 145- 162.
- 25- Loke M. H. (1999). " **Electrical imaging survey for environmental and engineering studies** ", A practical guide to 2-D and 3-D survey.
- ۲۶- صفری ح، امیری بختیار ح، فولادوند ر، (۱۳۳۸)، " **زمین شناسی تحت الارضی پایه** "، انتشارات دانشگاه صنعت نفت، آبادان.
- ۲۷- بیاری ه، (۱۳۹۰)، " **گزارش پایانی مرحله دوم عملیات اکتشاف معدن سرب و روی پیچمتو** "، شرکت صنعتی و معدنی تاش و مجن شاهرود.
- 28- Stockling J. (1968). " **Structural history and tectonic of Iran** ", Areview, AAPG Bull, V. 52. P: 1229-1258.
- 29- Berberian M. and King G.C.P. (1981). " **Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran** ". Can J. Earth. Sci.

- 30- Asserto R. (1966). " **Geological map of upper Djajerud and Lar valleys (central Alborz, Iran) with explanatory notes** ", Inst. Geo1. Univ. Milano, ser. G, p:232.
- ۳۱- یاسینی ا، (۱۳۶۰)، " **نگاهی به رسوبات نئوژن حوضه پاراتیتس جنوب دریای خزر در منطقه‌ی واقع بین علمده تا نکارود (شمال گسل شمال البرز)** "، وزارت نفت، امور پژوهش و خدمات علمی.
- 32- <http://sedimentology90.blogfa.com/post-29.aspx>
- ۳۳- شهاب پور، ج، (۱۳۸۰)، " **زمین‌شناسی اقتصادی** "، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- 34- Wang G, Zhang Sh, (2011). " **Mineral potential targeting and resource assessment based on 3D geological modeling in Luanchuan region** ", journal homepage ,china.
- ۳۵- دولتی ارده‌جانی ف، کامکارروحانی ا، عرب‌امیری ع، (۱۳۸۷)، گزارش قرداد پژوهشی، " **برداشت، مدل‌سازی و تفسیر داده‌های مقاومت‌ویژه و پلاریزاسیون القایی محدوده معدنی سرب و روی یورت‌بابا** "، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ۳۶- حسنی‌پاک ع.ا، شرف‌الدین م، (۱۳۸۰)، " **تحلیل داده‌های اکتشافی** "، چاپ اول، مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، زمستان (۱۳۸۰).
- 37- Chin-Shung y and Szu-Pyng k. (2000). " **Twelve different interpolation methods** "، A case study of Surfer 8.0
- 38- www.wikipedia.com
- ۳۹- بازرگان‌لاری ع، (۱۳۸۷)، " **آمار کاربردی** "، چاپ هشتم، انتشارات دانشگاه شیراز.
- ۴۰- نیرومند ح، (۱۳۸۷)، " **تحلیل رگرسیون خطی (ابزاری برای تحقیق)** "، چاپ اول، انتشارات ارسلان، چاپ: مؤسسه چاپ و انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- ۴۱- موننگمری د، (۱۳۸۲)، " **مقدمه‌ای بر تحلیل رگرسیون خطی** "، ترجمه سید ابراهیم رضوی پاریزی، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- ۴۲- وایزبرگ س، (۱۳۷۴)، " **رگرسیون خطی کاربردی** "، ترجمه دکتر حسینعلی نیرومند، چاپ اول، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- 43- Weiss N. A., E Weiss, (2006). " **Introductory Statistics** "، ACADEMIC INTERNET PUBL.
- 44- <http://parsmodir.com/db/research/correlation.php>
- 45- <http://www.spss-iran.ir>
- 46- www.madankavan.ir
- 47- www.arshadmadan91.ir
- 48- www.Rockware.com

Abstract

One of the main objectives of the regional exploration is to produce a model of the deposit, which can be used for reserve estimation of the deposit. It is only after this step that we can judge on the possibility of the economic exploitation of the deposit. Since the reserve estimation is carried out based on limited information, thus it is often associated with error. In fact, the exact reserve estimation of is obtained when all the mineral deposit is exploited. The reserve of a deposit is usually calculated in various stages of exploration, and it is obvious that the calculated reserve varies in different stages of exploration and its accuracy increases as the exploration stage progresses. The main goal of this research is the use of geophysical data (comprising induced polarization and resistivity data) to determine the model and estimate the Pichamtu lead and zinc deposit and the research innovation lies on this point. This goal is achieved using the limited drilling information from the area in the Rockworks software, in which the reserve estimation of the deposit has been made based on the interpolation methods. From statistical examination of the deposit data, it is concluded that there is no linear relationship between the elements in this deposit. Furthermore, the geological and geochemical investigation of the mineralization in the study area has shown that the amount of lead enriched in sandstone is lower, but it is higher in limestone. However, zinc enriched in the both rock units is approximately the same. This fact can be due to higher mobility of zinc in comparison with lead. Despite this, the deposition of lead, due to its lower mobility, occurs sooner.

Key words: Three-dimensional (3-D) Modeling, Reserve estimation, Lead and zinc deposit Pi-Chamtu, Rockworks Software, Enrichment, Induced Polarization, Resistivity.



Shahrood University of Technology
Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics

**Using geophysical, drilling and underground geological data
to create a model for Tash & Mojen Zn-Pb deposit**

Zahra Mohammadi

Supervisors:
Alireza Arab-Amiri
Abolghasem Kamkar-Rouhani

Advisor:
Hossein Shahi

February 2014