

## مطالعات ژئوفیزیک و ژئوشیمی زیست محیطی جهت بررسی اثرات آلاینده‌گی پساب کارخانه فراوری معدن مس قلعه زری، خراسان جنوبی

احمد آریافر<sup>۱\*</sup>، طاهره محمدقاسمی<sup>۲</sup>، احمد قربانی<sup>۳</sup>

۱- استادیار گروه مهندسی اکتشاف معدن، دانشگاه بیرجند، aaryafar@birjand.ac.ir  
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد اکتشاف معدن، دانشگاه بیرجند، t.mghasemi@yahoo.com  
۳- استادیار دانشکده معدن و متالورژی، دانشگاه یزد، aghorbani@yazduni.ac.ir

(دریافت ۱ مرداد ۱۳۹۲، پذیرش ۱۵ تیر ۱۳۹۳)

### چکیده

روش‌های ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی به طور چشمگیری برای کنترل و بررسی آلودگی‌های زیست محیطی به کار گرفته شده‌اند. هدف اصلی این تحقیق مطالعه نحوه انباشت فلزات سنگین در خاک و همچنین تعیین عمق نفوذ پساب کارخانه فرآوری معدن مس قلعه زری که در ۱۸۰ کیلومتری جنوب غربی بیرجند واقع شده می‌باشد. برای تعیین عمق نفوذ پساب روش توموگرافی دو بعدی بکار گرفته شده است. بر اساس این روش یک پروفیل به طول ۵۲۰ متر عمود بر منطقه تحت تاثیر پساب طراحی شد و تعداد ۲۱۰ نقطه برداشت گردید. تفسیر نقاط برداشت شده نشان می‌دهد که مقاومت الکتریکی منطقه متأثر از پساب تا حد کمتر از ۳ اهم متر نیز کاهش یافته است. درحالی که مقاومت ویژه تشکیلات خارج از منطقه تاثیر حدود ۲۰۰۰ اهم متر می‌باشد. همچنین مقاطع مختلف ژئوالکتریک نشان می‌دهد که عمق نفوذ پساب تا ۳۰ متری نیز ادامه می‌یابد. کاهش مقاومت ویژه سنگ کف می‌تواند ناشی از وجود درزه و شکستگی در داخل سنگ کف و در نتیجه نفوذ آب زیرزمینی و احتمالاً آلودگی ناشی از سد باطله باشد. مطالعات ژئوتکنیکی و آب شناسی منطقه بیانگر یک زون برشی کاملاً خرد شده در محل دفع باطله و مشارکت آب زیرزمینی در انتقال آلودگی ناشی از فلزات سنگین از طریق شکستگی‌ها می‌باشد. در ادامه مطالعات ژئوشیمی زیست محیطی با استفاده از شاخص‌های غنی شدگی، زمین انباشت و بار آلودگی در این منطقه صورت گرفته است. برای این منظور تعداد ۴ نمونه از خاک و پساب اخذ گردید. تحلیل داده‌ها توسط شاخص‌های فوق نشان می‌دهد که غلظت فلزات سنگین با افزایش عمق در خاک افزایش یافته و خاک منطقه در حد قابل توجهی آلوده می‌باشد که این مهم منجر به کاهش مقاومت ویژه تشکیلات گردیده است که توسط مطالعات توموگرافی تأیید شده است. چنین مطالعاتی می‌تواند جهت مدیریت زیست محیطی در معدن مورد استفاده قرار گیرد.

### کلمات کلیدی

ژئوفیزیک زیست محیطی - ژئوشیمی زیست محیطی - پساب - معدن مس قلعه زری - خراسان جنوبی

## ۱- مقدمه

تکنیک‌های ژئوفیزیکی یک ابزار مناسب جهت دست یافتن به هدف مطالعه است. نامبردگان ترکیبی از روش توموگرافی مقاومت ویژه الکتریکی، هدایت الکتریکی EM31 و برداشت‌های GPR را جهت بررسی ساختار داخلی قسمت بالایی دمپ باطله بکار گرفتند [۴]. گلاسر و همکاران (۲۰۰۹) به تعیین مسیر عبور فاضلاب سنگ اسیدی که مشکوک به آلوده کردن آب Seift Gulch بود با استفاده از روش مقاومت ویژه پرداختند [۵].

پلاسن‌سیاگومز و پارویاینن (۲۰۱۰) به بررسی مفید بودن روش توموگرافی مقاومت ویژه الکتریکی جهت عکس برداری ژئوالکتریکی ساختار داخلی تیلینگ‌ها و ویژگی‌های ساختاری خاک زیرین و سنگ کف در حوضچه تیلینگ پرداختند. آنها نشان دادند که روش مورد استفاده آنها در این مطالعه نه تنها برای تعیین ژئوالکتریکی ساختار داخلی تیلینگ‌ها بلکه برای نقشه در آوردن همبستگی کیفی با ویژگی‌های ژئوشیمیایی یک حوضچه پسماند نیز کاربرد دارد [۶]. یکی از مسایل مهندسی و زیست محیطی که در مورد آنها توانمندی روش توموگرافی مقاومت ویژه الکتریکی به اثبات رسیده است بررسی محل دفن باطله است که با استفاده از آن می‌توان به هندسه ی دمپ [۷]، [۸] تغییرات ترکیب دمپ [۹]، [۱۰] و آشکار سازی آلودگی سنگ کف [۱۴-۱۱] پرداخت.

همچنین جدیری و همکارانش (۲۰۱۳) بررسی‌های ژئوشیمیایی-ژئوالکتریکی را در یک دمپ باطله زغال در شمال شرق ایران انجام داده اند [۱۵]. در یک مطالعه دیگر امیر خانی و همکارانش (۲۰۱۳) جهت بررسی منبع گسترش پلوم آلودگی در پائین دست کارخانه زغال شویی البرز شرقی از روش‌های ژئوفیزیک VLF-EM استفاده نموده اند [۱۶].

معدن مس قلعه‌زری بعنوان تنها واحد معدنی استان که دارای پسماند مایع است، روزانه مقادیر قابل توجهی زهاب معدنی به صورت دوغاب تولید می‌نماید. دوغاب خروجی کارخانه حاوی مقادیری فلزات سنگین از جمله مس، سرب و روی می‌باشد. از آنجا که این پساب بدون انجام عمل آگیری، با دبی تقریبی ۳۵۰ لیتر بر دقیقه در دشت رها شده و محدوده‌ی وسیعی را تحت تأثیر خود قرار داده است امکان نفوذ آب به لایه‌های زیرین زمین و آلوده‌سازی آب‌های زیرزمینی در منطقه وجود دارد. از آنجا که نوشته‌های زیادی توانایی روش توموگرافی الکتریکی در مطالعه ی مناطق با توزیع مقاومت ویژه ی پیچیده (دو و سه بعدی) در مقیاس بزرگ (با عرض ۱۰ تا

معدنکاری مانند سایر فعالیت‌های صنعتی می‌تواند بر محیط زیست تأثیر منفی داشته باشد. استخراج و پردازش کانی، سنگ باطله و پساب‌های حاوی عناصر سمی تولید می‌کند که رها سازی این مواد در طبیعت خسارات زیست محیطی فراوانی را به بار می‌آورد. در سال‌های اخیر روش‌های ژئوفیزیکی بویژه روش‌های الکتریکی بدلیل خاصیت هادی اغلب آلاینده‌ها، بطور چشمگیری توسط محققان بعنوان یک روش غیرمستقیم برای کنترل و بررسی آلودگی‌های زیست محیطی بکار گرفته شده است. اولدنبرگ (۱۹۹۶) به بررسی قابلیت استفاده از روش‌های مقاومت ویژه DC و IP جهت بدست آوردن داده‌های کمی در مورد مقدار ذرات جامد معلق (TDS) در آب تیلینگ‌ها (باطله) و همچنین تخمین مقدار سولفید پرداخت. وی با ایجاد رابطه‌ای بین هدایت الکتریکی و مقدار TDS، مدل‌های هدایت الکتریکی را بعنوان مبنایی برای ایجاد نقشه‌های کیفی TDS بکار برد و دریافت که مدل بدست آمده به‌مراه روابط تجربی بین هدایت الکتریکی، TDS، شارژاییلیتی و مقدار سولفید، پتانسیل بالایی جهت بدست آوردن اطلاعات کمی در مورد خطرات زیست محیطی ناشی از پساب‌های معدن دارد [۱]. چامبرز و همکارانش (۲۰۰۶) روش توموگرافی مقاومت ویژه الکتریکی دو و سه بعدی را جهت بررسی یک معدن سنگ قدیمی که در حال حاضر محل دفن باطله است بکار گرفتند. نامبردگان با استفاده از این روش به تعیین هندسه‌ی معدن سنگ دفن شده، به نقشه در آوردن آلودگی سنگ بستر ناشی از دمپ و پارامتربندی زمین شناسی محل پرداختند [۲]. ماندلی و همکارانش (۲۰۰۷) تکنیک‌های ژئوزیست محیطی شامل برداشت ژئوفیزیکی resistivity و برداشت نمونه‌های خاک و آب را جهت ارزیابی آلودگی ناشی از محل دفن زباله جامد شهری بکار گرفتند. نامبردگان از روش ژئوالکتریک جهت بررسی حضور و جهت جریان شیرآبه و همچنین تعیین مناسب‌ترین مکان‌ها برای تست RCPTU و نمونه‌برداری از آب و خاک استفاده نمودند [۳].

پویسون و همکارانش (۲۰۰۹) به بررسی کاربرد تکنیک‌های ژئوفیزیکی جهت بدست آوردن ساختار داخلی دمپ باطله پرداختند. آنها خاطرنشان کردند از آنجا که جریان آب در داخل دمپ بوسیله ساختار داخلی آن کنترل می‌شود، نمایش جریان آب در طی آزمایشات تراوش با استفاده از

دارای تابستان‌های گرم و زمستان‌های نسبتاً معتدل می‌باشد. در این منطقه تغییرات درجه حرارت سالانه بسیار زیاد بوده و از ۱۰- درجه در فصل زمستان تا ۴۵+ درجه‌ی سانتی‌گراد در تابستان متغیر است.

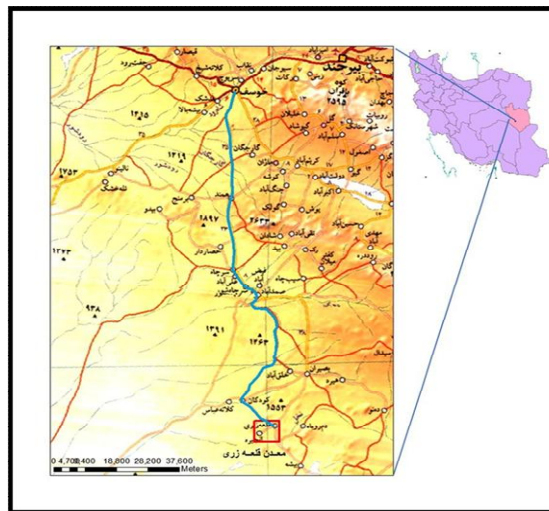
کانسار قلعه‌زری مهم‌ترین و بزرگ‌ترین معدن مس نوع رگه‌ای ایران است. غالب سنگ‌های دربرگیرنده از نوع آتشفشانی با ترکیب آندزیت تا بازالت است. در مرکز منطقه، شیل و ماسه‌سنگ‌های ژوراسیک رخنمون دارند. رگه‌ها دارای امتداد شمال غرب- جنوب شرق و شیب آن‌ها ۸۰ تا ۸۵ درجه به سمت شمال شرق است.

قدیمی‌ترین واحدهای سنگی که در منطقه رخنمون دارند، شیل و ماسه‌سنگ‌های ژوراسیک هستند. این واحد در جنوب و جنوب شرق رگه‌های اصلی واقع شده است. در ارتفاعات دم روباه (شرق روستای قلعه‌زری)، کنگلومرای قرمز رنگ کرتاسه فوقانی به صورت ناپیوسته روی شیل و ماسه‌سنگ‌های ژوراسیک قرار دارد. روی کنگلومرا آهک ماسه‌ای به ضخامت ۲۰۰ متر قرار گرفته که براساس نوع فسیل‌ها به کرتاسه فوقانی تعلق دارد. در جنوب ارتفاعات دم روباه آهک توده‌ای کرم رنگ با ضخامت ۱۳۰ متر و سن پالئوسن قرار دارد.

هزاران متر و عمق ۳۰ متر) را نشان داده اند. [۲۱-۱۷]. در این مقاله نیز روش توموگرافی دو بعدی جهت شناسایی عمق نفوذ پساب کارخانه فرآوری معدن مس قلعه زری بکار گرفته شده و پروفیل حاصله با توجه به تکنیک منطقه و اطلاعات مربوط به سطح آب زیرزمینی تفسیر شده است. بر اساس این روش یک پروفیل به طول ۵۲۰ متر در راستای شمال غرب- جنوب شرق و عمود بر منطقه تحت تاثیر پساب طراحی شد که در نتیجه آن تعداد ۲۱۰ نقطه برداشت گردید.

## ۲- موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی معدن قلعه زری

معدن و کارخانه فرآوری معدن مس قلعه‌زری در ۱۸۰ کیلومتری جنوب غربی شهرستان بیرجند واقع در استان خراسان جنوبی قرار دارد. شکل (۱) راه دسترسی معدن قلعه زری را نشان می‌دهد. از نظر موقعیت جغرافیایی این محل در طول جغرافیایی ۵۸ درجه و ۵۷ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۴۸ دقیقه و در ارتفاع ۱۴۲۰ متر از سطح دریا قرار دارد. شکل (۲) عکس هوایی منطقه، محدوده متأثر از پساب و مقطع ژئوفیزیکی را نشان می‌دهد. کارخانه قلعه‌زری در منطقه کویری و خشک مرکزی ایران واقع شده که از نظر آب و هوایی



شکل ۱: راه دسترسی معدن قلعه زری

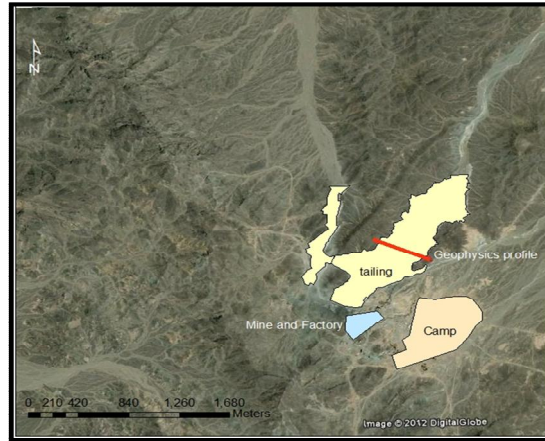
است و به طور محدود ترکیب داسیتی گزارش شده است. فعالیت‌های جوان تر عموماً از نوع بازالتی‌اند. آندزیت و آندزیت‌های بازالتی از نوع کالک‌آلکان تا کالک‌آلکان غنی از پتاسیم هستند. بازالت‌های جوان از نوع توله‌ایت می‌باشند.

فعالیت‌های آتشفشانی در این منطقه بعد از پالئوسن شروع شده و در چند مرحله تکرار شده است. انواع سنگ‌های پیروکلاستیکی و گدازه در این منطقه شناسایی شده است. ترکیب غالب سنگ‌های این منطقه آندزیت تا آندزیت بازالتی

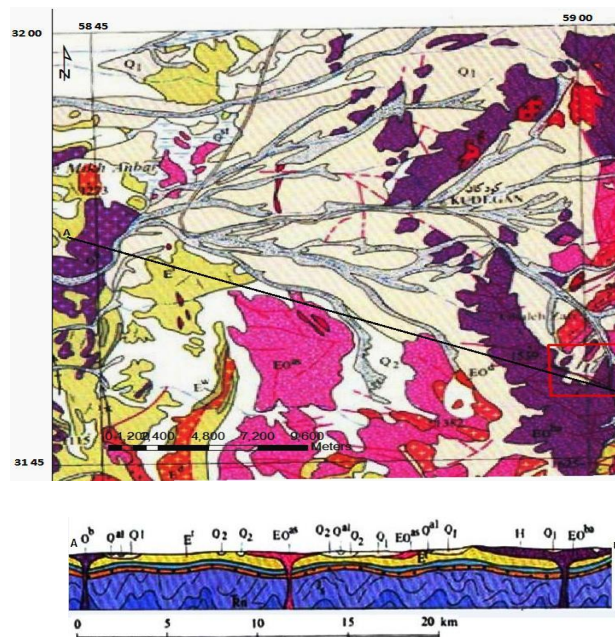
اندازیت بازالت و بازالت به رنگ سبز و خاکستری و نهشته‌های قدیمی پادگانه‌های آبرفتی و مخروط افکنه است. شکل (۳) برشی از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ ده سلم و مقطع زمین‌شناسی دربرگیرنده منطقه را نشان می‌دهد که حاکی از ساختار زمین‌شناسی ساده آن می‌باشد.

محیط تکتونیکی تشکیل آن‌ها کمر بند آتشفشانی زون فرورانش است. سن سنگ‌های آتشفشانی محدوده غربی کانسار قلعه‌زری به روش پتاسیم-آرگون، ۴۰/۵۲ میلیون سال گزارش شده است. [۲۰]

با توجه به نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ ده سلم و ۱:۵۰۰۰ معدن تشکیلات موجود در محل پروفیل از نوع



شکل ۲: عکس هوایی منطقه قلعه زری



شکل ۳: بر گرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ ده سلم و مقطع زمین‌شناسی دربرگیرنده منطقه قلعه‌زری

معدن پیشنهاد شده است که با حفر چندین چاه دستی از آب‌های سطحی موجود در بخش شرقی منطقه استفاده نمایند. اطلاعات موجود در سازمان آب منطقه‌ای استان نیز این مورد را تأیید می‌کند. با این وجود سطح آب در شش حلقه چاه موجود در منطقه که همگی دارای عمق کم (۳/۵-۱۷/۵ متر) هستند، جهت تعیین شیب هیدرولیک و عمق آب احتمالی در محل

### ۳- اطلاعات مربوط به آب‌شناسی و تکتونیک محدوده مورد مطالعه

گزارش آب‌شناسی معدن که در سال ۱۳۴۹ جهت شناسایی محل‌های مناسب حفر چاه به منظور تأمین آب مورد نیاز معدن تهیه شده است نشان دهنده عدم وجود سفره آب زیرزمینی قابل توجه در اعماق کم این منطقه بوده و طی آن به

دفع پساب کارخانه اندازه گیری شد.

در زمینه تکتونیک منطقه، با توجه به موقعیت قلعه زری در لوت شرقی ایران و قرار گرفتن این پهنه زمین ساختی- رسوبی در محدوده گسل های راست گرد نهبندان و نای بند، می توان گفت که منطقه قلعه زری متأثر از وقایع زمین ساختی شرق ایران می باشد و حرکت گسل های اصلی امتداد لغز منطقه در تکوین شرایط برش و کشش و در نهایت ایجاد شرایط مناسب برای خروج سنگ های آتش فشانی منطقه نقش داشته است [۲۳].

همچنین مطالعات مربوط به تکتونیک منطقه قلعه زری حاکی از وجود دو پهنه برشی شکنای فشارشی- برشی راست گرد است که توسط غضبانی (۱۳۸۸) شناسایی شده است.

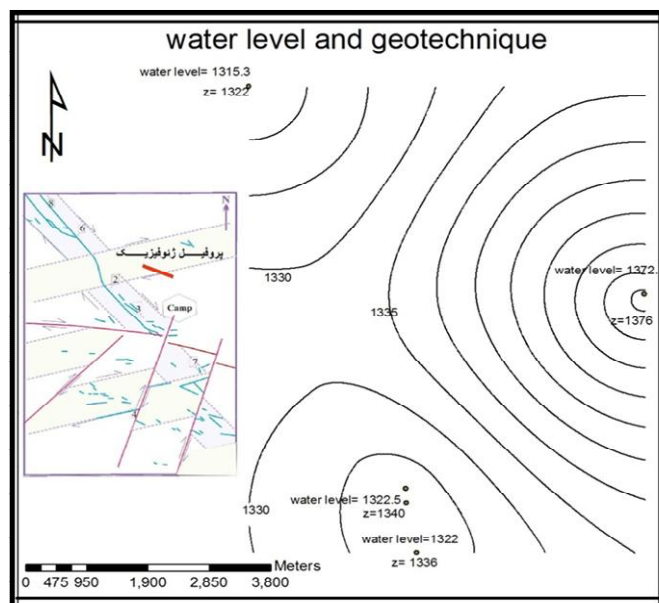
پهنه برشی شماره ۱، دارای آزیموت N135 و عرض ۳۰۰ متر است. در اثر عملکرد گسل های امتداد لغز راست گرد که اصلی ترین گسل های منطقه هستند، بوجود آمده و در نسل اول شکستگی ها ایجاد شده اند. این پهنه از نظر کانی سازی در

درجه اول اهمیت قرار دارد.

پهنه برشی شماره ۲، دارای آزیموت N75، عرض ۲۵۰ متر و عملکرد راست گرد است. گسل های تشکیل دهنده این پهنه، عناصر ساختاری موجود در پهنه های برشی شمال غرب- جنوب شرق را جابه جا کرده، بنابراین پس از آن تشکیل شده است.

نقشه در برگزیده زون های برشی و گسل های موجود در منطقه و همچنین نقشه هم تراز سطح آب در چاه ها در شکل (۴) آورده شده است

همان طور که مشاهده می شود پروفیل ژئوفیزیک ما در منطقه ی کاملاً برشی و خرد شده قرار دارد و شیب هیدرولیک نیز تبعیت جهت جریان آب موجود، از شکستگی ها را نشان می دهد. این موارد می تواند نشان دهنده احتمال نفوذ آلودگی ناشی از باطله کارخانه فرآوری به عمق توسط آب موجود و از طریق شکستگی ها باشد. همچنین سطح تراز آب در محل پروفیل ژئوفیزیک تقریباً در ۱۳۳۰ متر قرار گرفته است.



شکل ۴: نقشه هم تراز سطح آب و زون های برشی موجود در منطقه

معدن) تخلیه شده و در همان محل باقی می ماند. خاک های معدنی که بعنوان کانسار مرغوب وارد فرآیند کارخانه کانه آرایی می شوند، ابتدا تحت عملیات خردایش قرار گرفته و بصورت دوغاب (پودر کانسار همراه آب) وارد مرحله شناورسازی می گردد. در قسمت خردایش نیز بخشی از ماده معدنی که برای ادامه فرآیند مناسب نیست، بصورت پسماند جدا شده و

#### ۴- پسماندهای معدن مس قلعه زری

نخستین بخش پسماند جامد در معدن مس قلعه زری در مرحله استخراج تولید می گردد. خاک ها و سنگ های در برگزیده و بخش های کم عیار ماده معدنی در این مرحله بعنوان پسماند به محیط پذیرنده (اطراف چاه های استخراج

بالایی در برابر تغییرات افقی مقاومت ویژه می‌باشد، این بدین معناست که آرایه مورد نظر جهت به نقشه در آوردن ساختارهای عمودی مفید است. بطور کلی در جایی که وضوح افقی بالا و منطقه تحت پوشش مهم است و دستگاه اندازه‌گیری مقاومت ویژه از حساسیت کافی برخوردار می‌باشد و همچنین الکترودها با زمین ارتباط مناسبی دارند می‌توان از آرایه دوقطبی- دوقطبی بصورت مفید استفاده نمود [۲۶].

#### ۵-۲- مدل‌سازی و تفسیر

پس از اتمام مراحل برداشت داده‌ها با استفاده از نرم افزار Res2Dinv از جهت دارا بودن نوفه تصادفی و سیستماتیک مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت تعداد ۱۸۵ داده وارد مرحله وارون‌سازی شد.

در اینجا جهت وارون‌سازی و رسم مقطع مربوط به مقاومت ویژه زیر سطحی از روش Robust استفاده شده است، چرا که این روش در جایی که داده‌ها از کیفیت بالا برخوردار است و مرز تندی بین ساختارهای زیرسطحی هموزن و دارای مقاومت ویژه متفاوت وجود دارد، نتایج بهتری نسبت به روش حداقل مربعات نرم دوم نشان می‌دهد. روش وارون‌سازی نرم اول (Robust) قدرمطلق تغییرات در مقادیر مقاومت ویژه‌ی مدل را مینیمم می‌کند و جهت بهبود روش حداقل مربعات نرم دوم که مجموع مربعات را مینیمم می‌کند استفاده شده است [۲۵] و [۲].

روش وارون‌سازی حداقل مربعات سعی در مینیمم کردن مربع اختلاف بین مقادیر مقاومت ویژه ظاهری محاسبه شده و اندازه‌گیری شده دارد. این روش معمولاً در مواردی که داده‌ها دارای نوفه‌ی تصادفی Gaussian هستند نتایج قابل قبولی ارائه می‌کند. اما اگر مجموعه داده‌ها دارای مقادیر خارج از ردیف باشند (در جایی که نوفه دارای منشأ غیرتصادفی از قبیل اشتباهات انسانی یا مشکلات تجهیزات باشد) این معیار از مقبولیت کمتری برخوردار است. زیرا این قبیل داده‌های خارج از ردیف می‌توانند مدل وارون‌سازی شده نهایی را تا حد زیادی تحت تأثیر قرار دهند. جهت کاهش اثر این داده‌ها یک روش وارون‌سازی در جایی که قدرمطلق اختلاف بین مقادیر مقاومت ویژه ظاهری محاسبه شده و اندازه‌گیری شده مینیمم شود می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. در نرم افزار Res2Dinv اگر مدل بلوکی بر روش وارون‌سازی استفاده شده بر روی مقادیر مقاومت ویژه مدل، تحمیل شود برنامه سعی در مینیمم کردن

دفع می‌گردد. دوغاب حاصله با افزودن مقدار کمی ترکیبات شیمیایی وارد بخش فلوتاسیون شده و در آن جا به دو فاز سبک و سنگین تفکیک می‌گردد. بخش سبک تر دوغاب که غنی از کانی مس است پس از جداسازی از جریان، توسط فیلتردرام بزرگی، آبگیری شده و بعنوان کنسانتره مس و محصول نهایی کارخانه جمع‌آوری می‌شود. اما بخش سنگین تر که در لایه زیرین جریان دوغاب قرار می‌گیرد، بعنوان باطله فرایند به سد باطله هدایت می‌گردد.

لازم به ذکر است که پساب حاصل از فیلتر درام نیز پس از عمل زلال‌سازی در یک تیکنر بزرگ و حذف ذرات معلق، به همراه جریان باطله (به منظور رقیق‌سازی و سهولت عملیات پمپاژ) به سد باطله تخلیه می‌گردد.

بنابراین کارخانه مس قلعه‌زری بعنوان تنها واحد معدنی استان که دارای پسماند مایع است، روزانه مقادیر قابل توجهی زهاب معدنی به صورت دوغاب تولید می‌نماید. دوغاب خروجی کارخانه حاوی مقادیری فلزات سنگین از جمله مس، سرب و روی می‌باشد که در حال حاضر به دشت‌های اطراف کارخانه، تحت عنوان سد باطله، تخلیه می‌گردد. پسماند جامد نیز مستقیماً در اطراف کارخانه تخلیه و رها می‌شود. متأسفانه تاکنون در این واحد معدنی هیچگونه مدیریت پسمانداری در زمینه بازیافت یا دفن این مواد، برنامه‌ریزی و اجرا نگردیده است [۲۴].

#### ۵- عملیات صحرائی و برداشت داده‌ها

توموگرافی به معنی تشخیص یک توده بی‌هنجاری در زیر یک سطح است. توموگرافی در واقع روشی است که می‌توان با آن گسترش فضایی یک خاصیت را از راه عبور یک جریان الکتریکی در همان فضا تعیین کرد. بنابراین اولین مرحله توموگرافی الکتریکی، فرستادن یک جریان الکتریکی به درون زمین و اندازه‌گیری پاسخ زمین به این جریان است که معمولاً برحسب ولتاژ اندازه گرفته می‌شود [۲۵].

#### ۵-۱- آرایه الکترودی مورد استفاده

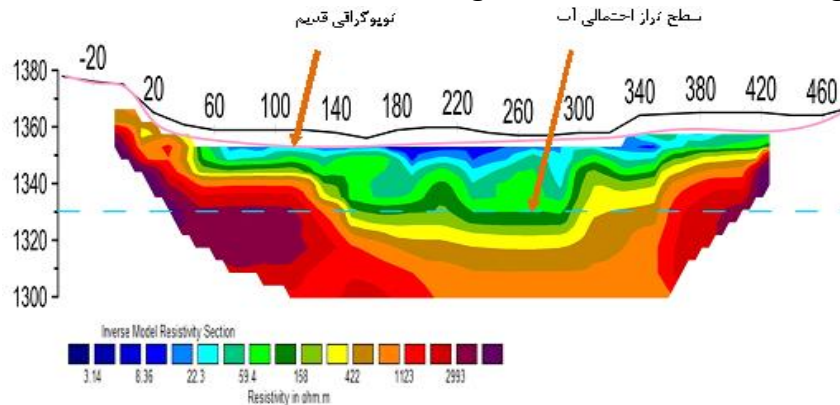
جهت برداشت داده‌ها در منطقه مورد مطالعه از آرایش دو قطبی- دو قطبی استفاده شده است. فواصل الکترودی ۲۰ متر در نظر گرفته شده است. دلیل انتخاب فاصله الکترودی بالا نفوذ به عمق بیشتر و بررسی روند تغییرات بوده است. آرایه دوقطبی- دوقطبی پرستفاده‌ترین روش در برداشت‌های مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی است و دارای حساسیت

نسبت به مناطق دیگر بیشتر است که این امر بدلیل رطوبت بیشتر در این قسمت می‌باشد. لازم به ذکر است که در ماه‌های اخیر انتقال پالپ از این بخش انجام می‌شود که در نقطه‌ی ۱۶۰ کانالی به عمق حدود یک متر بوجود آورده است. همانگونه که در شکل (۵) می‌شود مقاومت ویژه سنگ کف در عمق کاهش یافته است که علت این مورد با توجه به تکتونیک منطقه و وجود آب زیر زمینی در این عمق می‌تواند نفوذ پساب آلوده به فلزات سنگین، از لایه‌لای شکستگی‌های موجود در سنگ کف و به کمک آب زیرزمینی، باشد. در این مطالعه توپوگرافی قدیم نیز جهت تخمین ضخامت لایه رسی حاصل از پساب در منطقه مورد بررسی قرار گرفته است که حاصل آن ضخامت بیش از ۵ متر می‌باشد. توپوگرافی قدیم منطقه بر روی شکل (۵) با رنگ صورتی و سطح تراز احتمالی آب با رنگ آبی مشخص شده است.

قدرمطلق تغییرات در مقادیر مقاومت ویژه خواهد نمود. این محدودیت تمایل به تولید مدل‌هایی با مرز تند بین مناطق گوناگون دارای مقادیر مقاومت ویژه متفاوت که داخل هر ناحیه مقدار مقاومت ویژه تقریباً ثابت است دارد. این روش احتمالاً برای نواحی دارای چنین موقعیت زمین‌شناسی مناسب‌تر است. در جدول (۱) پارامترها و ویژگی‌های روش معکوس سازی Robust آورده شده است.

پروفیل مورد مطالعه به گونه‌ای طراحی شده است که ابتدا و انتهای آن با بازالت‌های موجود در منطقه تلاقی دارد. مقطع ژئوالکتریک ترسیم شده در نرم افزار Res2Dinv در شکل (۵) آمده است.

همانگونه که مشاهده می‌شود مقدار مقاومت ویژه در طول پروفیل از کم‌تر از ۳ اهم- مترتا بیش از ۲۰۰۰ اهم- متر متغیر است. مقاومت ویژه کم مربوط به سولفیدهای مرطوب انباشته شده در سطح منطقه و مقاومت ویژه بالا مربوط به بازالت‌های موجود می‌باشد. رسانایی در فاصله ۶۰-۲۶۰ متری در سطح



شکل ۵: مقطع ژئوالکتریک رسم شده در نرم افزار Res2Dinv با بزرگنمایی عمودی ۲

جدول ۱: پارامترها و ویژگی‌های روش معکوس سازی Robust

ویژگی‌های مدل	پارامترهای مدل
این روش کمتر به داده‌های نوفه دار (نقاط پرت) حساس است- با تاکید بر مرز بین خاک و سنگ کف	قدرمطلق اختلاف بین داده‌ها و مدل معیار است
کاهش خطای معیار تا ۵ درصد	0.05
مرز مشخصی (sharp) در منطقه آلوده وجود ندارد	استاندارد
---	مدل بلوکی استفاده شده
---	مدل زمین همگن با مقاومت ویژه ۱۰۰ اهم متر

## ۶- بررسی ژئوشیمی زیست محیطی پساب کارخانه فرآوری معدن قلعه زری

است که نمونه‌های خاک از اعماق مختلف ۰/۵، ۱ و ۱/۵ متری برداشته شده است. تمامی نمونه‌ها با روش ICP مورد آنالیز ۳۴ عنصری قرار گرفت. نتایج آنالیز برای فلزات سنگین در نمونه‌های خاک و پساب و همچنین حدود مجاز مربوط به آن‌ها در جدول (۲) آمده است. همانگونه که مشاهده می‌شود غلظت Mo, Mn, Co, Cu, Zn, Cd, Pb, Ag, As, Hg در نمونه‌های خاک بیش از استاندارد تعیین شده می‌باشد. در نمونه‌ی برداشت شده از پساب نیز غلظت تمامی فلزات بیش از حد مجاز است. از آن‌جا که میانگین غلظت شیل یک استاندارد متداول در جهان بعنوان مبنا برای رسوبات غیرآلوده می‌باشد که توسط Turekian and Wedepohl (1961) ابداع شده است در این مطالعه نیز حد مجاز عناصر در خاک مقدار این عناصر در شیل میانگین در نظر گرفته شده است [۲۹].

غلظت عناصر در نمونه‌های خاک بصورت نمودار میله ای در شکل (۶) آمده است، همانگونه که مشاهده می‌شود غلظت فلزات با افزایش عمق افزایش می‌یابد که این می‌تواند به دلیل دخالت آب‌های فرورو در انتقال عناصر باشد. دلیل کاهش مقاومت ویژه در سنگ بستر نیز می‌تواند نفوذ و تجمع غلظت بالایی از این عناصر از طریق شکستگی‌های موجود باشد.

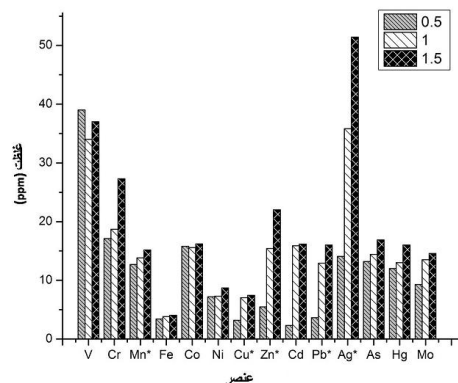
آلودگی خاک‌ها به فلزات سنگین بطور طبیعی یا در اثر فعالیت‌های انسانی مانند فعالیت‌های صنعتی و معدن‌کاری ایجاد می‌شود. فلزات سنگین از مهم‌ترین آلاینده‌های خاک می‌باشند. فلزات سنگین به فلزاتی گفته می‌شود که دارای چگالی نسبتاً بالا (عناصر فلزی با جرم اتمی بیشتر از آهن ( $55/8 \text{ g/mol}$  یا جرم حجمی بیشتر از  $5 \text{ g/cm}^3$ ) بوده و در غلظت‌های کم سمی باشند. این فلزات به طور طبیعی در غلظت‌های کم در خاک‌ها و سنگ‌ها یافت می‌شوند، اما فعالیت‌های انسانی سبب افزایش مقادیر رهاسازی و انتشار آن‌ها در محیط زیست می‌شود. انباشتگی فلزات سنگین در خاک چه به صورت طبیعی و چه از طریق فعالیت‌های انسانی، مشکلات و مسائلی را به همراه خواهد داشت [۲۸].

با توجه به مقاومت ویژه بسیار کم خاک در محل دفع پساب بررسی غلظت فلزات موجود در پساب و خاک منطقه ضروری می‌باشد، بدین منظور تعداد سه نمونه از خاک و یک نمونه از پساب کارخانه برداشت و جهت آنالیز برای فلزات سنگین به آزمایشگاه Acme کانادا ارسال گردید. لازم به ذکر

جدول ۲: غلظت تمامی فلزات سنگین در نمونه های خاک و پساب و حدود مجاز مربوط به آن ها برحسب (ppm) بجز نقره و جیوه (ppb)

Cu	Ni	Co	Fe	Mn	Cr	V	عنصر
۳۲۰/۲	۷/۲	۱۵/۸	۳۴۴۰۰	۱۲۷۱	۱۷/۱	۳۹	نمونه خاک از عمق ۰/۵
۷۰۳/۱	۷/۳	۱۵/۶	۳۸۱۰۰	۱۳۸۳	۱۸/۷	۳۴	نمونه خاک از عمق ۱
۷۴۴/۶	۸/۷	۱۶/۲	۴۰۲۰۰	۱۵۱۷	۲۷/۳	۳۷	نمونه خاک از عمق ۱/۵
۲۲۸۶	۷/۵	۱۳/۹	۳۸۷۰۰	۱۱۸۸	۲۳/۴	۲۷	نمونه از پساب
۴۵	۵۰	۱۹	۴۷۲۰۰	۸۵۰	۲۴	۱۳۰	غلظت شیل میانگین (ppm) [۲۹]
۱	۲	۰/۰۵	۳۰۰۰۰	۱	۱	۰/۱	حد مجاز عناصر در پساب (mg/lit) [۳۰]
Mo	Hg	As	Ag	Pb	Cd	Zn	عنصر
۹/۳۱	۱۲	۱۳/۲	۱۴۰۶	۳۶۳/۴	۲/۳۴	۵۴۹/۷	نمونه خاک از عمق ۰/۵
۱۳/۵۲	۱۳	۱۴/۴	۳۵۸۱	۱۲۹۳	۱۵/۹	۱۵۴۲	نمونه خاک از عمق ۱
۱۴/۵۸	۱۶	۱۶/۹	۵۱۴۲	۱۶۰۱	۱۶/۱۷	۲۲۰۳	نمونه خاک از عمق ۱/۵
۱۰/۶۱	۱۷	۱۷/۴	۸۵۳۴	۱۲۱۲	۵/۳۳	۸۳۴/۵	نمونه از پساب
۲/۶	۱۸۰	۱۳	۷۰	۲۰	۰/۳	۹۵	غلظت شیل میانگین (ppm)
۰/۰۱	۱۰	۰/۱	۱۰۰	۱	۰/۱	۲	حد مجاز عناصر در پساب (mg/lit)





شکل ۶: نمودار میله‌ای غلظت عناصر در نمونه‌ها، همه غلظت‌ها بجز Ag(ppb) و Hg(ppb) و Fe(%) بر حسب ppm و غلظت نمونه‌های ستاره دار در  $(10^{-2})$  ضرب شده است

که در این رابطه  $M_x$  و  $M_B$  میزان فلز در نمونه مورد مطالعه و مقدار زمینه است و  $Fe_x$  و  $Fe_B$  به ترتیب مقدار آهن در نمونه مورد مطالعه و مقدار زمینه است. دلیل انتخاب آهن برای نرمال‌سازی در این مطالعه منشأ طبیعی داشتن این عنصر است [۳۱]. از دلایل دیگر انتخاب این عنصر می‌توان تغییرپذیری کم آن در محیط را نام برد [۳۲]. مقدار زمینه نیز میانگین جهانی غلظت عناصر موجود در شیل می‌باشد. پنج رده آلودگی بر اساس شاخص غنی‌شدگی در جدول (۳) آورده شده است.

با توجه به تأثیر پساب بر روی خاک، آب، هوا، پوشش گیاهی و ...، اثر آلاینده‌گی آن بر روی خاک با استفاده از شاخص‌های تعریف شده در این زمینه مورد بررسی قرار گرفته است. در رابطه با بررسی آلودگی خاک پنج شاخص ضریب آلودگی، زمین‌انباشت، غنی‌شدگی، بار آلودگی و آلودگی رسوب (SPI) تعریف شده است که در ادامه به بررسی سه مورد از این شاخص‌ها می‌پردازیم.

#### ۶-۱- شاخص غنی‌شدگی

جهت ارزیابی دامنه آلودگی در محیط، فاکتور غنی‌شدگی تعریف شده است. این فاکتور بصورت نسبت فراوانی عناصر در خاک به فراوانی آن در پوسته زمین محاسبه می‌شود. این شاخص جهت اندازه‌گیری تمایلات ژئوشیمیایی نیز مناسب می‌باشد و برای مقایسه بین نواحی مختلف استفاده می‌شود. فاکتور غنی‌شدگی از رابطه (۱) بدست می‌آید.

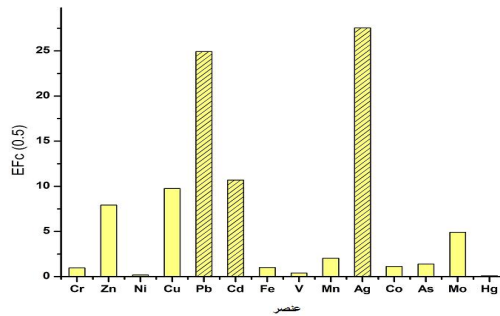
$$EFC = \frac{\frac{M_x}{Fe_x} (\text{رسوب})}{\frac{M_B}{Fe_B} (\text{زمین})} \quad (1)$$

جدول ۳: پنج رده آلودگی بر اساس شاخص غنی‌شدگی

EF	سطح آلودگی
<۲	تهی تا کمی غنی شده
۲-۵	نسبتاً غنی شده
۵-۲۰	غنی شدگی قابل توجه
۲۰-۴۰	شدیداً غنی شده
۴۰<	بی نهایت غنی شده

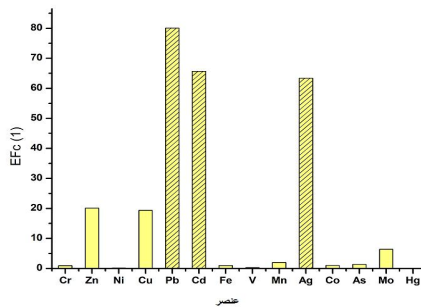
در اشکال (۷) تا (۹) نمایش داده شده است.

مقدار شاخص غنی‌شدگی برای نمونه‌های موجود محاسبه شده است. نتایج مربوط به این محاسبات بصورت نمودارهایی



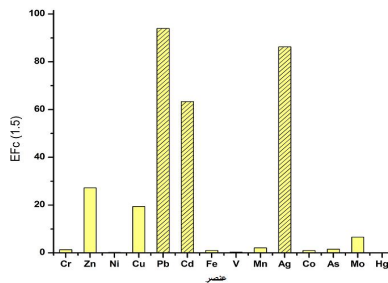
شکل ۷: شاخص غنی شدگی عناصر در عمق ۰/۵ متر

همانگونه که در شکل (۷) مشاهده می‌شود در عمق ۰/۵ متری عناصر نقره و سرب غنی‌شدگی شدید نشان می‌دهند. کادمیم، روی و مس نیز غنی‌شدگی قابل توجهی دارند.



شکل ۸: شاخص غنی شدگی عناصر در عمق ۱ متر

خاک موجود در عمق ۱ متری نسبت به عناصر سرب، کادمیم و نقره غنی‌شدگی بسیار شدید دارد، نسبت به عنصر روی شدیداً غنی شده می‌باشد و عناصر مس و مولیبدن در این عمق غنی‌شدگی قابل توجه نشان می‌دهند شکل (۸).



شکل ۹: شاخص غنی شدگی عناصر در عمق ۱/۵ متر

مواقعی که غلظت فلزات سنگین سمی حداقل ۱/۵ بار بزرگ‌تر از مقادیر زمینه آنها باشد مورد استفاده قرار می‌گیرد [۳۳]. این شاخص با استفاده از فرمول (۲) محاسبه می‌شود.

$$I_{geo} = \log_2 \left( \frac{C_n}{1.5B_n} \right) \quad (2)$$

که در این رابطه،  $I_{geo}$  شاخص زمین‌انباشت،  $\log_2$ ، لگاریتم برپایه ۲،  $C_n$  غلظت در رسوب و خاک و  $B_n$  غلظت زمینه می‌باشد. مولر براساس این شاخص‌ها، خاک‌ها را از نظر درجه آلودگی به شش گروه طبقه‌بندی نموده است. جدول (۴) طبقه‌بندی مذکور را نشان می‌دهد. برای غلظت زمینه از غلظت متوسط در شیل استفاده می‌شود.

همانگونه که در شکل (۹) مشاهده می‌شود غنی‌شدگی عناصر در عمق ۱/۵ متری مشابه با عمق ۱ متری می‌باشد با این تفاوت که مقدار شاخص برای همه‌ی عناصر بجز کبالت نسبت به عمق ۱ متری افزایش یافته است خاک موجود در منطقه در همه‌ی اعماق نسبت به عناصر کروم، نیکل، وانادیم، کبالت، آرسنیک و جیوه تهی تا کمی غنی شده می‌باشد.

#### ۶-۲- شاخص زمین‌انباشت

این شاخص که توسط مولر (۱۹۷۹) پیشنهاد شده است، اندازه‌گیری کمی آلودگی فلزات سنگین در رسوبات است و در

میانگین است شاخص زمین‌انباشت تنها بر روی این عناصر محاسبه شده است. جدول (۵) مقدار این شاخص را برای نمونه‌های مختلف نشان می‌دهد.

شاخص فوق در مورد نمونه‌های خاک در سه عمق متفاوت بکار گرفته شده است. از آنجا که تنها غلظت چند عنصر در نمونه‌های مذکور بیش از ۱/۵ برابر مقدار این عناصر در شیل

جدول ۴: مقادیر شاخص زمین‌انباشت در آلودگی خاک

شاخص زمین‌انباشت	درجه آلودگی خاک
کمتر از صفر	غیر آلوده
۱-۰	غیر آلوده تا کمی آلوده
۲-۱	کمی آلوده
۳-۲	کمی آلوده تا خیلی آلوده
۴-۳	خیلی آلوده
۵-۴	خیلی آلوده تا شدیداً آلوده
بزرگ تر از ۵	شدیداً آلوده

جدول ۵: مقدار شاخص زمین‌انباشت برای نمونه های خاک

عنصر	MAC	C(۰/۵)	C(۱)	C(۱/۵)	Igeo(۰/۵)	Igeo(۱)	Igeo(۱/۵)
Mn	۸۵۰	۱۲۷۱	۱۳۸۳	۱۵۷۱	۰/۰۴	۰/۱۲	۰/۲۵
Cu	۴۵	۳۲۰/۲	۷۰۳/۱	۷۴۴/۶	۲/۲۵	۳/۳۸	۳/۴۶
Zn	۹۵	۵۴۹/۷	۱۵۴۲	۲۲۰۳	۱/۹۵	۳/۴۴	۳/۹۵
Cd	۰/۳	۲/۳۴	۱۵/۹	۱۶/۱۷	۲/۳۸	۵/۱۴	۵/۱۷
Pb	۲۰	۳۶۳/۴	۱۲۹۳	۱۶۰۱	۳/۶۰	۵/۴۳	۵/۷۴
Ag	۷۰	۱۴۰/۶	۳۵۸۱	۵۱۴۲	۳/۷۴	۵/۰۹	۵/۶۱
Mo	۲/۶	۹/۳۱	۱۳/۵۲	۱۴/۵۸	۱/۲۶	۱/۷۹	۱/۹۰

عنصر سرب نیز مانند سایر عناصر در اعماق مختلف تجمع متفاوتی را نشان می‌دهد و این تجمع با افزایش عمق افزایش می‌یابد. خاک موجود در عمق ۰/۵ متری از نظر سرب خیلی آلوده ارزیابی شده است. در عمق ۱ متری به بعد شاخص زمین‌انباشت برای سرب بیش از ۵ می‌باشد که این نشان دهنده آلودگی شدید در این اعماق است. مقدار شاخص زمین‌انباشت برای این عنصر نسبت به سایرین بیشتر است که این موضوع با توجه به سمیت بالای فلز سرب باید مورد توجه قرار گیرد. عنصر نقره از نظر وضعیت تجمع وضعیتی مشابه با سرب دارد یعنی خاک موجود در عمق ۰/۵ متری از نظر نقره خیلی آلوده بوده و در عمق ۱ متری به بعد شاخص زمین‌انباشت برای آن بیش از ۵ می‌باشد که این نشان دهنده آلودگی شدید در این اعماق است. در مورد عنصر مولیبدن نیز مانند سایر عناصر روند افزایش شاخص زمین‌انباشت با افزایش عمق مشاهده می‌شود. اما این افزایش دارای نرخ کمی است و خاک‌های محدوده ۰/۵ تا ۱/۵ متری همگی از نظر این عنصر در رده‌ی خاک‌های کمی آلوده قرار می‌گیرند.

همانگونه که مشاهده می‌شود منگنز در نمونه مربوط به عمق ۰/۵ متری غلظتی کمتر از ۱/۵ برابر حد مجاز دارد و بکارگیری شاخص زمین‌انباشت در مورد این نمونه نادرست می‌باشد. این عنصر در دو نمونه دیگر دارای شاخص زمین‌انباشت کمتر از یک می‌باشد و آلودگی خاصی در خاک ایجاد نکرده است و از نظر این عنصر خاک در رده غیرآلوده تا کمی آلوده قرار می‌گیرد. عنصر مس در نمونه‌های مختلف تجمع متفاوتی را نشان داده که با افزایش عمق این تجمع افزایش یافته است. براساس جدول (۵) خاک از نظر فلز مس در عمق ۰/۵ متری در رده کمی آلوده تا خیلی آلوده و در عمق ۱ و ۱/۵ متری در رده خیلی آلوده قرار دارد. عنصر روی نیز با افزایش عمق، افزایش در شاخص زمین‌انباشت را نشان می‌دهد. از نظر این فلز نیز خاک در عمق ۰/۵ متری در رده کمی آلوده و در عمق ۱ و ۱/۵ متری در رده خیلی آلوده قرار دارد. عنصر کادمیم در عمق ۰/۵ متری در رده کمی آلوده تا خیلی آلوده قرار دارد. این عنصر در اعماق ۱ و ۱/۵ متری تجمع قابل توجهی نشان داده است و خاک این اعماق در رده شدیداً آلوده قرار دارد.

## ۳-۶- شاخص بار آلودگی

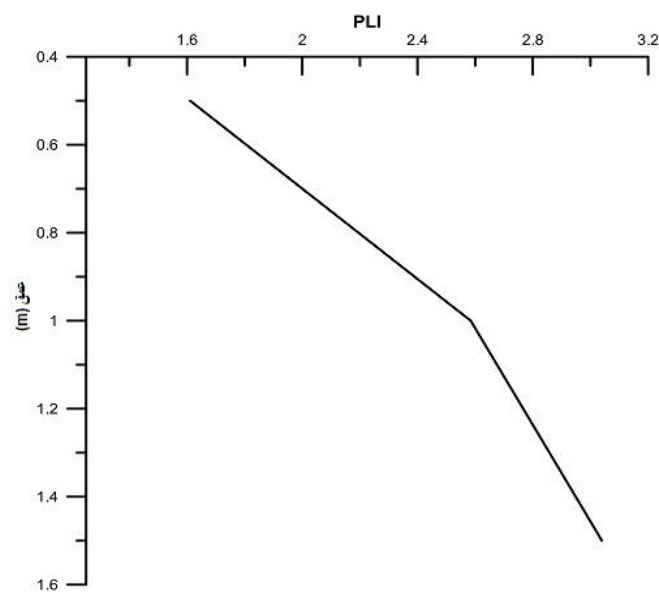
میزان آلودگی بوسیله‌ی فلزات ردیاب می‌تواند با استفاده از روش مبتنی بر شاخص بار آلودگی که توسط تامپلسون و همکاران (۱۹۸۰) ابداع شده است بدست آید. این شاخص از طریق رابطه‌ی (۳) تعریف می‌شود.

(۳)

$$PLI = \sqrt[n]{\text{product of } n \text{ number of CF values}}$$

که در آن CF: فاکتور آلودگی و n: تعداد عناصر فلزی است.

PLI ابزاری ساده و قابل مقایسه برای ارزیابی کیفیت خاک یک منطقه می‌باشد. مقدار PLI صفر نشان دهنده عدم وجود آلاینده، مقدار یک نشان دهنده حضور عناصر آلاینده به میزان مجاز و مقادیر بالای یک نشان دهنده کاهش کیفیت خاک می‌باشد [۳۱]. مقادیر این شاخص برای سه عمق مختلف خاک برحسب عمق در شکل (۱۰) ترسیم شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود مقدار PLI نیز با افزایش عمق افزایش یافته و برای هر سه نمونه دارای مقادیر بیش از یک می‌باشد که حاکی از آلودگی خاک منطقه به میزان قابل توجه می‌باشد.



شکل ۱۰: نمودار تغییرات شاخص بار آلودگی برحسب عمق

## ۷- نتیجه گیری و پیشنهادات

و پساب نشان دهنده غلظت بالای فلزات سنگین در پساب و خاک منطقه می‌باشد و این غلظت با افزایش عمق نمونه برداری افزایش یافته است. با توجه به شاخص زمین‌انباشت خاک در عمق ۰/۵ متری از نظر عناصر نقره و سرب خیلی آلوده می‌باشد. در عمق ۱ و ۱/۵ متری عناصر کادمیم، سرب و نقره تجمع زیاد و در نتیجه آلودگی شدید نشان می‌دهند. شاخص غنی‌شدگی در عمق ۰/۵ متری خاک برای عناصر نقره و سرب غنی‌شدگی شدید و برای کادمیم، روی و مس غنی‌شدگی قابل توجهی نشان می‌دهد. خاک موجود در عمق ۱ متری نسبت به عناصر سرب، کادمیم و نقره غنی‌شدگی بسیار شدید دارد، نسبت به عنصر روی شدیداً غنی شده می‌باشد و عناصر مس و مولیبدن در این عمق غنی‌شدگی قابل توجه نشان می‌دهند. غنی‌شدگی عناصر در عمق ۱/۵ متری مشابه با عمق ۱ متری می‌باشد با این

نوشته حاضر به بررسی احتمال نفوذ آلودگی ناشی از پساب باطله کارخانه فرآوری معدن قلعه‌زری با استفاده از روش توموگرافی الکتریکی و مطالعات ژئوتکنیکی پرداخته است. همانگونه که در مقطع وارون‌سازی شده مشاهده می‌شود آلودگی تا عمق ۳۰ متر در منطقه گسترش یافته است. با توجه به مقاومت ویژه بالای سنگ بستر در کناره‌های مقطع و کاهش چشمگیر آن در قسمت مرکزی که بارنگ نارنجی دیده می‌شود و نتایج حاصل از مطالعات ژئوتکنیکی منطقه که حاکی از وجود یک زون کاملاً خرد شده در محل است احتمال نفوذ آلودگی در سنگ بستر از طریق درز و شکاف‌های موجود و با مشارکت آب زیرزمینی وجود دارد. همچنین آنالیز شیمیایی نمونه‌های خاک

پیشنهاد می‌شود به منظور کسب اطلاعات بیشتر در مورد حجم مواد رسی انباشته شده در منطقه و بررسی اثرات زیست محیطی آن بر خاک مطالعات جامع‌تری از طریق توموگرافی با فاصله الکترودی کمتر و نمونه‌برداری از اعماق بیشتر خاک صورت گیرد.

تفاوت که مقدار شاخص برای همه‌ی عناصر بجز کبالت نسبت به عمق ۱ متری افزایش یافته است. مقدار شاخص بار آلودگی با افزایش عمق افزایش یافته و برای هرسه نمونه دارای مقادیر بیش از یک می‌باشد که حاکی از آلودگی خاک منطقه به میزان قابل توجه می‌باشد.

## ۸- مراجع

*waste disposal site and its environments*”, 2000, Journal of Applied Geophysics, 44, 275–302

[12] Yoon J. R., Lee K., Kwon B. D., Han W. S., “*Geoelectrical surveys of the Nanjido waste landfill in Seoul, Korea*”, 2003, Environmental Geology, 43, 654–666

[13] Abu-Zeid N., Bianchini G., Santarato G., and Vaccaro C., “*Geochemical characterisation and geophysical mapping of landfill leachates: The Marozzo Canal case study (NE Italy)*”, 2004, Environmental Geology, 45, 439–447

[14] Naudet V., Revil A., Rizzo E., Bottero J. Y., Begassat P., “*Groundwater redox conditions and conductivity in a contaminant plume from geoelectrical investigations*”, 2004, Hydrology and Earth System Sciences, 8, 8–22

[15] Jodeiri Shokri B., Ramazi H., Doulati Ardejani F., Moradzadeh A. “*Integrated Time-lapse Geoelectrical-geochemical Investigation at a Reactive Coal Washing Waste Pile in Northeastern Iran*”. 2013, Mine Water and the Environment (published on-line first, 22 March 2014).

[16] Amirkhani Shiraz F., Doulati Ardejani F., Moradzadeh A., Arab-Amiri A. R. “*Investigating the source of contaminated plumes downstream of the Alborz Sharghi coal washing plant using EM34 conductivity data, VLF-EM and DC-resistivity geophysical methods*”. 2013, Exploration Geophysics published on-line first, 2 January 2013.

[17] Buselli G., Lu K.L., “*Groundwater contamination monitoring with multichannel electrical and electromagnetic methods*”, 2001, Journal of Applied Geophysics, 48, 11–23.

[18] Binley A., Winship P., West L.J., Pokar M., Middleton R., “*Seasonal variation of moisture content in unsaturated sandstone inferred from borehole radar and resistivity profiles*”, 2002, Journal of Hydrology, 267, 160–172

[19] Day-Lewis F.D., Lane J.W., Harris J.M., Gorelick S.M., “*Time-lapse imaging of saline-tracer transport in fractured rock using difference-attenuation radar tomography*”, 2003, Water Resources Research, 39, 1740–1752

[20] Depountis N., Harris C., Davies M.C.R., Koukis G., Sabatakakis N., “*Application of electrical imaging to leachate plume evolution studies under in-situ and model conditions*”, 2005, Environmental Geology, 47, 907–914

[1] Yuval, Oldenburg D. W., “*DC resistivity and IP methods in acid mine drainage problems: Results from the Copper Cliff mine tailings impoundments*”, 1996, Journal of Applied Geophysics, 34, 187–198

[2] E. Chambers J., Kuras O., I. Meldrum P., D. Ogilvy R., Hollands J., 2006, “*Electrical resistivity tomography applied to geologic, hydrogeologic and engineering investigations at a former waste-disposal site*”, GEOPHYSICS, VOL. 71, NO. 6

[3] Mondelli G., Giacheti H.L., E.G. Boscov M., R. Elis V., Hamada J., 2007, “*Geoenvironmental site investigation using different techniques in a municipal solid waste disposal site in Brazil*”, Environ Geol, 52:871–887

[4] Poisson J., Chouteau M., Aubertin M., Campos D., 2009, “*Geophysical experiments to image the shallow internal structure and the moisture distribution of a mine waste rock pile*”, Journal of Applied Geophysics, 67:179–192

[5] F. Rucker D., R. Glaser D., Osborne T., C. Maehl W., 2009, “*Electrical Resistivity Characterization of a Reclaimed Gold Mine to Delineate Acid Rock Drainage Pathways*”, Mine Water Environ DOI 10.1007/s10230-009-0072-x

[6] Placencia-Gómez E., Parviaine A., Hokkanen T., Loukola-Ruskeeniemi K., 2010, “*Integrated geophysical and geochemical study on AMD generation at the Haveri Au-Cu mine tailings, SW Finland*”, Environ Earth Sci, 61:1435–1447

[7] Reynolds J. M., Taylor D. I., 1996, “*Use of geophysical surveys during the planning, construction and remediation of landfills*”, in S. P. Bentley, (ed.) Engineering geology of waste disposal: The Geological Society of London, 93–98.

[8] Bernstone C., Dahlin T., “*DC resistivity mapping of old landfills: Two case studies*”, 1997, European Journal of Environmental and Engineering Geophysics, 2, 121–136.

[9] Bernstone C., Dahlin T., Ohlsson T., Hogland W., “*DC-resistivity mapping of internal landfill structures: Two pre-excavation surveys*”, 2000, Environmental Geology, 39, 360–371

[10] Guerin R., Munoz M. L., Aran C., Laperrelle C., Hidra M., Drouart E., Grellier S., “*Leachate recirculation: Moisture content assessment by means of a geophysical technique*”, 2004, Waste Management, 24, 785–794447.

[11] Aristodemou E., Thomas-Betts A., “*DC resistivity and induced polarisation investigations at a*

- [21] Descloitres M., Ruiz L., Sekhar M., Legchenko A., Braun J.J., Kumar M.S.M., Subramanian S., "Characterization of seasonal local recharge using electrical resistivity tomography and magnetic resonance sounding", 2008b, *Hydrological Processes*, 22, 384–394
- [22] Kansar pichab Company; "final report of project of collection, processing of geological and exploration data of Ghaleh Zari copper ore deposit" (In Persian).
- [23] Ghazbani M., "Geometric investigation of joints in Ghaleh zari region", 2010, MSc Thesis. (In Persian).
- [24] Dousti M. R., "Project of Management of waste and environmental impacts in active mines in South Khrasan Province", 2010.(In Persian).
- [25] Hafizi M.K., " Investigation of land slides of Ardabil Saein Hill in order to provide the road safety using of 2D and 3D electrical tomography", 2011, *Journal of Earth and Space physic*, period 36, No. 1. (In Persian).
- [26] Loke M.H., "Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies", 1997-1999
- [27] Loke M.H., "Tutorial: 2-D and 3-D electrical imaging surveys", 2004
- [28] Madani E.S., Safieneian A.R., Mirghafari N.A., Khodakarami L., " Spatial distribution of heavy metals of Fe, Co and V in surfacial soils in Hamadan Province.
- [29] Singh M, Müller G., Singh I. B., "Heavy metals in freshly deposited stream sediments of rivers associated with urbanisation of Ganga plain, india" 2002
- [30] <http://www.soest.hawaii.edu/oceanography/faculty/yhli>
- [31] Harikumar, P.S., Jisha T.S., 2010," Distribution pattern of traces metal pollutants in the sediments of an urban wetland in the southwest coast of India". *International Journal of Engineering Science and Technology*. Vol. 2(5), 840-850
- [32] Teimouri A., Forghani G., Jafari H., " The evaluation of toxic metals concentration in stream sediment of Gorganrood in Gonbad City", 2012, 30<sup>th</sup> symposium of earth sciences.
- [33] K. Gaur V., K. Gupta S., S.D. Pandey, Gopal K., Misra V., 2005, "Distribution of heavy metals in sediment and water of river Gomti", *Environmental Monitoring and Assessment* 102: 419–433

