

دانشگاه صنعتی شاهرود  
انگهدهندسی معدن و ژئوفیزیک

گروه اکتشاف

پایان نامه کارشناسی ارشد

عنوان:

تلفیق مدل سازی ریاضی و مطالعات ژئوفیزیکی زیست محیطی مواد حاصل از شستشوی  
کارخانه زغالشویی البرز شرقی

دانشجو:

بهشاد جدیری شکری

اساتید راهنما:

دکتر فرامرز دولتی ارده جانی

دکتر علی مرادزاده

استاد مشاور:

دکتر مجید انصاری جعفری

تابستان ۱۳۸۵

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## تقديم :

به خانواده مهربان و عزيزم

که با تشويق، دلگرمی ها و سعه صدر خویش رنج حاصل از کار  
طولانی مدت و دور بودن از کانون گرم خانواده را بر من هموار کردند.

## تشکر و قدردانی:

سپاس یزدان پاک را که قلم را آفرید و به آن سوگند یاد فرمود. حق تعالی را بسی شکر گذاریم که توفیقمان داد تا در وادی بزرگترین معرفت بشری - علم - گامی هر چند ناچیز برداریم و در این مسیر از محضر انسانهایی عارف و عاشق پیشه فیض بریم که تمام زندگی خویش را عاشقانه صرف علم نموده‌اند.

برخود لازم می‌دانم از زحمات اساتید بزرگوایم جناب آقایان دکتر فرامرزی دولتی ارده جانی و دکتر علی مرادزاده که مسئولیت راهنمایی پایان‌نامه را به عهده داشتند و در طول اجرای این پژوهش با دانش و بینش عمیق خویش، بنده را یاری نمودند قدردانی کنم و معترف باشم که ایشان با صبر، معنویت و خلوصشان، مرا تحمل نمودند.

جا دارد از آقای دکتر مجید انصاری جعفری نیز کمال قدردانی و تشکر را بعمل آورم که به عنوان مشاور در همه مراحل کار صمیمانه مرا یاری نمودند.

از جناب آقای دکتر کاکائی ریاست محترم دانشکده معدن و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود تشکر می‌کنم که با حمایت‌های همه جانبه خویش موجبات دلگرمی بیشتر اینجانب را برای ادامه کار فراهم نمودند.

از اساتید محترم جناب آقایان دکتر ایرج پیروز و دکتر اسماعیل سلیمانی که علی‌رغم مشغله‌های فراوان خویش، زحمت داوری پایان‌نامه را قبول کردند کمال تشکر را دارم.

از جناب آقای مهندس جهانگیری مدیر عامل شرکت زغالسنگ البرز شرقی که با حمایت‌های علمی مرا در اجرای هرچه بهتر پایان‌نامه یاری نمودند کمال سپاسگزاری می‌نمایم. از سازمان فضایی ایران که در پشتیبانی داده‌های ماهواره ای مساعدت لازم را نمودند، تشکر می‌نمایم. از پژوهشکده

رنگ که در استفاده از نرم افزار همکاری لازم را به عمل آوردند، تشکر و سپاسگزاری می نمایم. از آقایان مهندس عباسی رئیس زغالشویی البرز شرقی، مهندس صالحی مسئول آزمایشگاه کیفیت زغال قدردانی و تشکر می نمایم. از جناب آقای دکتر کرمی که در انجام آزمایش نفوذ پذیری مساعدت لازم را به عمل آوردند تشکر می نمایم. از کمکهای جناب آقای دکتر منصور ضیائی در تصحیح داده های ماهواره ای و خانم دکتر آرزو عابدی در تهیه مقاطع صیقلی سپاسگزاری می نمایم.

همچنین از آقایان مهندس کبیریان مسئول آزمایشگاه کانه آرای و مهندس حمید سرخیل مسئول آزمایشگاه ژئوفیزیک و مهندس نادر زیاری مسئول سایت کارشناسی ارشد دانشکده معدن و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود، بخاطر زحمات بی شائبه این عزیزان کمال سپاسگزاری به عمل می آورم.

در پایان لازم می دانم از دوستان گرامیم آقایان مهندس مهرداد سلیمانی، مهندس فرشاسب جمشاسب و مهندس علی تبریزی و کلیه عزیزانی که در مراحل انجام عملیات صحرایی ژئوفیزیکی با اینجانب همکاری نموده اند مراتب سپاسگزاری خود را ابراز نمایم.

## چکیده

استفاده از منابع و معادن به منظور کسب انرژی بیشتر سبب بروز مشکلات عدیده زیست محیطی گردیده است. زغال یکی از مواد معدنی است که از آن بطور گسترده در تولید انرژی استفاده می‌گردد. برای کسب انرژی بیشتر نیاز به استفاده از زغال با کیفیت بالاتر است که ضرورت انجام مرحله فرآوری را ایجاب می‌کند. باطله های ایجاد شده از فرآوری سبب بروز مشکلات جدی زیست محیطی می‌گردد. قرارگیری محل انباشت باطله‌ها در مجاورت عواملی از قبیل هوازدهی و ریزشهای جوی سبب ایجاد پساب‌های اسیدی می‌گردند که در صورت راهیابی آنها به آب زیرزمینی خطرات زیست محیطی زیادی را به همراه خواهند داشت. در مطالعه حاضر آلودگی زیست محیطی ناشی از باطله های کارخانه البرز شرقی با استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی و مدلسازی ریاضی مورد بررسی قرار گرفته است. منطقه مورد مطالعه در ۱۱ کیلومتری منطقه رزمجا و در مسیر مهماندوست - طزره و با فاصله ای در حدود ۴۵ کیلومتری از جاده اصلی تهران - مشهد واقع شده است. پس از بازدید مقدماتی از منطقه و انتخاب دمپ باطله مناسب، برداشت های ژئوفیزیکی به کمک روش VLF روی ۶ پروفیل در پائین دست دمپ باطله انجام شد تا زون های آلوده احتمالی را مورد شناسایی قرار دهد. نتایج برداشت ها توسط نرم افزار RAMAG مورد تفسیر قرار گرفته و دو زون آلوده احتمالی مورد شناسایی قرار گرفت. در مرحله بعد به منظور بررسی آهنگ گسترش و انتقال تابع زمان آلودگی، روش ژئوالکتریک با آرایش دو قطبی - دوقطبی و به صورت Time Laps در یک پریود زمانی بالغ بر ۶ ماه مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج داده های حاصل از برداشت ژئوالکتریک توسط نرم افزار RES2DINV مورد تحلیل و تفسیر قرار گرفت. نتایج به دست آمده حاکی از انتقال آلودگی و گسترش تابع زمان آن در محدوده مورد بررسی می باشد. همزمان با مطالعات ژئوفیزیکی، به منظور مطالعه فرآیند اکسیداسیون پیریت و تولید آلودگی در سه نقطه متفاوت روی دمپ، در راستای قائم و در اعماق مختلف از باطله های دمپ نمونه برداری شد. جهت تعیین درصد پیریت باقیمانده در نمونه ها از روش تجزیه ای جذب اتمی استفاده شد. علاوه جهت مطالعات کیفی نمونه های برداشت شده، مقاطع صیقلی نیز از آنها تهیه شد. به کمک نرم افزار PHOENICS یک مدل عددی المان حجمی محدود ارائه شد تا فرآیند اکسیداسیون پیریت و تولید آلودگی را در دمپ باطله شبیه سازی نماید. در این مدل، اکسیداسیون پیریت توسط مفهوم مغزه انقباضی تشریح گردید. علاوه، فرآیند نفوذ یا پخش، مکانیزم اصلی برای تأمین اکسیژن در اعماق مختلف دمپ به منظور انجام واکنش های اکسیداسیون در نظر گرفته شد. نتایج مدلسازی ریاضی در تطابق مناسبی با نتایج آنالیز داده های صحرایی می باشند. همچنین جهت تأیید نتایج ژئوفیزیکی Time Laps مبنی بر انتقال آلودگی در پائین دست دمپ، از یک مدل ریاضی شامل فرآیندهای پراکندگی هیدرودینامیکی (نفوذ مولکولی علاوه پراکندگی مکانیکی) و پهنرفت (انتقال تابع سرعت جریان آب) استفاده شد و نتایج مشابه بین روش های مذکور به دست آمد. اگرچه فرآیند اکسیداسیون پیریت و تولید آلودگی در ارتباط با دمپ باطله کارخانه زغالشویی امری اجتناب ناپذیر است ولی نتایج حاصل از چنین مطالعاتی می تواند در ارائه یک برنامه مدیریت زیست محیطی مناسب جهت کنترل آلودگی متمر ثمر واقع گردد.

## فصل اول: کلیات

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| ۱-۱- مقدمه.....                                                        | ۲  |
| ۱-۲- مروری بر کارهای انجام شده.....                                    | ۳  |
| ۱-۲-۱- استفاده از روش های ژئوفیزیکی به منظور شناسایی زونهای آلوده..... | ۳  |
| ۱-۲-۲- مروری بر کارهای انجام شده در مدل سازی ریاضی آلودگی های          |    |
| پساب اسیدی.....                                                        | ۵  |
| ۱-۲-۳- بررسی نقش پیریت در ایجاد پساب های اسیدی در ایران.....           | ۹  |
| ۱-۳- اهداف پایان نامه و ضرورت انجام آن.....                            | ۱۰ |
| ۱-۴- سازماندهی پایان نامه.....                                         | ۱۲ |
| فصل دوم: زغال و مشکلات زیست محیطی ناشی از باطله های آن                 |    |
| ۱-۲- مقدمه.....                                                        | ۱۵ |
| ۱-۲-۲- منابع و ذخائر زغال سنگ در جهان.....                             | ۱۵ |
| ۱-۲-۲-۱- منابع و ذخائر زغال سنگ در ایران.....                          | ۱۶ |
| ۱-۲-۲-۲- ذخائر زغالی ناحیه البرز شرقی.....                             | ۱۷ |
| ۱-۲-۳- ترکیب زغال.....                                                 | ۱۷ |
| ۱-۳-۲- کربن و هیدروژن.....                                             | ۱۸ |

## فهرست مطالب

| <u>عنوان</u>                                              | <u>صفحه</u> |
|-----------------------------------------------------------|-------------|
| ۲-۳-۲- نیتروژن.....                                       | ۱۸          |
| ۳-۳-۲- اکسیژن.....                                        | ۱۸          |
| ۴-۳-۲- سولفور.....                                        | ۱۸          |
| ۱-۴-۳-۲- انواع سولفور در زغال.....                        | ۱۹          |
| ۲-۴-۳-۲- منشاء سولفور.....                                | ۲۰          |
| ۴-۲- نقش سولفور در آلودگی های زیست محیطی معادن زغال.....  | ۲۱          |
| ۱-۴-۲- بررسی مشکلات زیست محیطی ناشی از تولید پساب اسیدی   |             |
| در معادن.....                                             | ۲۲          |
| ۱-۱-۴-۲- تأثیر پساب اسیدی بر حیات آبریان.....             | ۲۳          |
| ۲-۱-۴-۲- تأثیر پساب اسیدی بر روی آب زیر زمینی و سطحی..... | ۲۵          |
| ۳-۱-۴-۲- مهاجرت.....                                      | ۲۵          |
| ۲-۴-۲- چگونگی تولید پساب اسیدی معدن.....                  | ۲۷          |
| ۱-۲-۴-۲- منابع و محل های تولید پساب اسیدی.....            | ۲۸          |
| ۲-۲-۴-۲- تشکیل پساب اسیدی و نقش کانی های سولفیدی آهن      |             |
| و بررسی کانی های خنثی کننده.....                          | ۳۰          |

۲-۴-۳- اکسیداسیون کانی های سولفیدی فلزی و فرآیند های

شیمیایی تولید کننده پساب اسیدی..... ۴۲

فصل سوم: موقعیت جغرافیایی، زمین شناسی منطقه و مشاهدات صحرایی

۳-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه..... ۴۴

۳-۲- تاریخچه اکتشاف زغال در منطقه..... ۴۵

۳-۳- زمین شناسی منطقه..... ۴۸

۳-۴- تکتونیک منطقه..... ۴۹

۳-۵- کارخانه زغالشویی البرزشرقی..... ۵۰

۳-۶- مشاهدات صحرایی..... ۵۲

۳-۷- نوع، محل انباشت باطله ها در کارخانه زغالشویی البرزشرقی..... ۵۲

۳-۸- روش انباشت باطله ها..... ۵۳

۳-۸-۱- نحوه انباشت باطله های جیگ ماشین..... ۵۳

۳-۸-۲- نحوه انباشت باطله های فلو تاسیون..... ۵۴

۳-۹- انتخاب محل انباشت باطله مورد نظر..... ۵۵

فصل چهارم: مطالعات ژئوفیزیکی در اکتشاف آلودگی باطله ها

۴-۱- مقدمه..... ۵۹

## فهرست مطالب

| <u>عنوان</u>                                                    | <u>صفحه</u> |
|-----------------------------------------------------------------|-------------|
| ۲-۴-۲- روش VLF.....                                             | ۵۹          |
| ۱-۲-۴- اساس اندازه گیری با استفاده از روش الکترومغناطیس.....    | ۶۰          |
| ۱-۱-۲-۴- روابط فاز و دامنه.....                                 | ۶۰          |
| ۲-۱-۲-۴- زاویه شیب.....                                         | ۶۳          |
| ۲-۲-۴- مشخصات و موقعیت ایستگاه های فرستنده VLF.....             | ۶۴          |
| ۳-۲-۴- گیرنده های VLF.....                                      | ۶۶          |
| ۱-۳-۲-۴- دستگاه WADI.....                                       | ۶۷          |
| ۴-۲-۴- تفسیر.....                                               | ۶۸          |
| ۱-۴-۲-۴- تفسیر عمومی.....                                       | ۶۸          |
| ۵-۲-۴- روشهای فیلتر کردن.....                                   | ۷۰          |
| ۶-۲-۴- منطقه مورد مطالعه و موقعیت پروفیلهای برداشت شده VLF..... | ۷۱          |
| ۷-۲-۴- برداشت داده های VLF.....                                 | ۷۱          |
| ۸-۲-۴- برداشت پروفیلها.....                                     | ۷۲          |
| ۹-۲-۴- تفسیر داده های VLF و ارائه مدل ها.....                   | ۷۴          |
| ۱۰-۲-۴- تفسیر پروفیل ۱.....                                     | ۷۴          |
| ۱۱-۲-۴- تفسیر پروفیل ۲.....                                     | ۷۶          |

## فهرست مطالب

صفحه

عنوان

|         |                                                             |
|---------|-------------------------------------------------------------|
| ۷۸..... | ۴-۲-۱۲- تفسیر پروفیل ۳.....                                 |
| ۸۰..... | ۴-۲-۱۳- تفسیر پروفیل ۴.....                                 |
| ۸۲..... | ۴-۲-۱۴- تفسیر پروفیل ۵.....                                 |
| ۸۴..... | ۴-۲-۱۵- تفسیر پروفیل ۶.....                                 |
| ۸۶..... | ۴-۲-۱۶- نتیجه گیری.....                                     |
| ۸۷..... | ۴-۳- روش مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی (IP).....         |
| ۸۹..... | ۴-۳-۱- روش دو قطبی - دوقطبی.....                            |
| ۹۰..... | ۴-۴- انواع روش های مدل سازی در ژئوفیزیک.....                |
|         | ۴-۴-۱- معکوس سازی داده های مقاومت ویژه با استفاده از        |
| ۹۲..... | Time-Laps روش.....                                          |
| ۹۳..... | ۴-۵- برداشت داده ها.....                                    |
| ۹۵..... | ۴-۵-۱- مشخصات دستگاه اندازه گیری.....                       |
| ۹۵..... | ۴-۶- معکوس سازی دو بعدی داده ها مقاومت ویژه ظاهری و IP..... |
| ۹۶..... | ۴-۷- تفسیر و ارائه مدل ها.....                              |
| ۹۶..... | ۴-۷-۱- پروفیل ۱، برداشت ۱.....                              |
| ۹۷..... | ۴-۷-۲- پروفیل ۱، برداشت دوم.....                            |

## فهرست مطالب

| <u>عنوان</u>                                                  | <u>صفحه</u> |
|---------------------------------------------------------------|-------------|
| ۴-۷-۳- پروفیل ۱، برداشت سوم.....                              | ۹۹          |
| ۴-۷-۴- پروفیل ۱، برداشت چهارم.....                            | ۱۰۰         |
| ۴-۷-۵- معکوس سازی داده های مقاومت ویژه پروفیل ۱ با استفاده از |             |
| روش Time-Laps.....                                            | ۱۰۱         |
| ۴-۸-۸- تفسیر و ارائه مدل های پروفیل ۲.....                    | ۱۰۶         |
| ۴-۸-۱- پروفیل ۲ برداشت اول.....                               | ۱۰۶         |
| ۴-۸-۲- پروفیل ۲ برداشت دوم.....                               | ۱۰۷         |
| ۴-۸-۳- معکوس سازی داده های مقاومت ویژه پروفیل ۲ با استفاده از |             |
| روش Time-Laps.....                                            | ۱۰۸         |
| فصل پنجم: نمونه برداری و تعیین درصد پیریت باقیمانده در باطله  |             |
| ۵-۱- نمونه برداری.....                                        | ۱۱۱         |
| ۵-۱-۱- آماده سازی نمونه ها.....                               | ۱۱۲         |
| ۵-۱-۱-۱- خشک کردن نمونه ها.....                               | ۱۱۲         |
| ۵-۱-۱-۲- تقسیم نمونه ها.....                                  | ۱۱۴         |
| ۵-۱-۱-۳- خردایش.....                                          | ۱۱۴         |
| ۵-۱-۱-۴- تجزیه سرندي.....                                     | ۱۱۴         |

## فهرست مطالب

| <u>عنوان</u>                                                    | <u>صفحه</u> |
|-----------------------------------------------------------------|-------------|
| ۵-۱-۱-۵- انتخاب نمونه جهت تعیین میزان پیریت باقیمانده.....      | ۱۱۶         |
| ۵-۲- روشهای تعیین میزان پیریت.....                              | ۱۱۶         |
| ۵-۲-۱- تعیین نوع سولفور.....                                    | ۱۱۶         |
| ۵-۲-۲- نحوه انجام آنالیز.....                                   | ۱۱۹         |
| ۵-۲-۲-۱- انتخاب نمونه.....                                      | ۱۱۹         |
| ۵-۲-۲-۲- آماده سازی محلولها.....                                | ۱۱۹         |
| ۵-۲-۳- اندازه گیری میزان آهن با استفاده از دستگاه جذب اتمی..... | ۱۲۰         |
| ۵-۲-۴- انجام آنالیز جذب اتمی.....                               | ۱۲۱         |
| ۵-۲-۵- تعیین میزان پیریت با استفاده از میزان آهن موجود          |             |
| در فاز گوگردی.....                                              | ۱۲۲         |
| ۵-۳- تهیه مقاطع صیقلی و مشاهده پیریت در زیر نور انعکاسی.....    | ۱۲۶         |
| ۵-۴- تعیین نفوذپذیری محل انباشت باطله.....                      | ۱۲۸         |
| ۵-۴-۱- نفوذپذیری.....                                           | ۱۲۸         |
| ۵-۴-۲- بیان توصیفی نفوذپذیری.....                               | ۱۳۰         |
| ۵-۴-۳- محل انجام آزمایش نفوذپذیری.....                          | ۱۳۱         |
| ۵-۴-۳-۱- روش انجام آزمایش نفوذپذیری.....                        | ۱۳۱         |

## فهرست مطالب

| <u>عنوان</u>                                                     | <u>صفحه</u> |
|------------------------------------------------------------------|-------------|
| ۵-۴-۳-۲- انجام محاسبات برای تعیین نفوذپذیری.....                 | ۱۳۳         |
| ۵-۵- میزان بارندگی.....                                          | ۱۳۶         |
| فصل ششم: مدلسازی ریاضی جهت بررسی اکسیداسیون پیریت و تولید آلودگی |             |
| ۶-۱- مقدمه.....                                                  | ۱۳۹         |
| ۶-۲- انواع مدل ها.....                                           | ۱۳۹         |
| ۶-۲-۱- مدل های مفهومی.....                                       | ۱۴۰         |
| ۶-۲-۲- مدل های فیزیکی.....                                       | ۱۴۱         |
| ۶-۲-۳- مدل های ریاضی.....                                        | ۱۴۱         |
| ۶-۲-۴- روش های عددی.....                                         | ۱۴۱         |
| ۶-۳- مراحل کلی در آنالیز های ( CFD ) و مدول های استفاده شده      |             |
| در نرم افزار PHOENICS.....                                       | ۱۴۲         |
| ۶-۴- معادله نفوذ اکسیژن در باطله های زغال.....                   | ۱۴۵         |
| ۶-۴-۱- معادله ریاضی مدل نفوذ اکسیژن در باطله ها.....             | ۱۴۶         |
| ۶-۵- مدل معادله اکسیداسیون پیریت در باطله های زغال.....          | ۱۴۷         |
| ۶-۶- پارامترهای ورودی مدل.....                                   | ۱۵۰         |
| ۶-۷- شرایط مرزی.....                                             | ۱۵۱         |

## فهرست مطالب

صفحه

عنوان

|     |                                                               |
|-----|---------------------------------------------------------------|
| ۱۵۱ | ۶-۷-۱- شرایط مرزی برای مدل اکسیژن.....                        |
| ۱۵۲ | ۶-۷-۲- شرایط مرزی و اولیه برای مدل اکسیداسیون پیریت.....      |
| ۱۵۳ | ۶-۸- نتایج مدلسازی نفوذ اکسیژن در باطله.....                  |
| ۱۵۴ | ۶-۹- نتایج به دست آمده مدلسازی اکسیداسیون پیریت باطله ها..... |
| ۱۵۴ | ۶-۹-۱- نتایج مدلسازی اکسیداسیون پیریت در نمونه ۱.....         |
| ۱۵۶ | ۶-۹-۲- نتایج مدلسازی اکسیداسیون پیریت در نمونه ۲.....         |
| ۱۵۹ | ۶-۹-۳- نتایج مدلسازی اکسیداسیون پیریت در نمونه ۳.....         |
| ۱۶۰ | ۶-۱۰- تعیین میزان و غلظت سولفات تولید شده در دمپ باطله.....   |
| ۱۶۳ | ۶-۱۱- تعیین PH دمپ باطله.....                                 |
| ۱۶۴ | ۶-۱۲- تلفیق نتایج مدل های ژئوالکتریک و مدلسازی ریاضی.....     |

## فصل هفتم: نتیجه گیری و پیشنهادات

|     |                                 |
|-----|---------------------------------|
| ۱۶۸ | ۷-۱- جمع بندی و نتیجه گیری..... |
| ۱۷۴ | ۷-۲- پیشنهادات.....             |

## منابع و مراجع

|     |                            |
|-----|----------------------------|
| ۱۷۹ | منابع و مراجع فارسی.....   |
| ۱۸۱ | منابع و مراجع انگلیسی..... |

## فهرست مطالب

| صفحه     | عنوان          |
|----------|----------------|
|          | پیوست‌ها       |
| ۱۸۶..... | پیوست الف..... |
| ۱۹۷..... | پیوست ب.....   |
| ۲۰۸..... | پیوست ج.....   |
| ۲۱۳..... | پیوست د.....   |
| ۲۱۶..... | پیوست ه.....   |
| ۲۱۹..... | پیوست و.....   |

## فصل اول

- ۱-۱- فلوچارت روش انجام کار و مراحل مختلف پروژه ..... ۱۲

## فصل دوم

- ۱-۲- اثر پساب اسیدی برروی آبهای سطحی ..... ۲۶

## فصل سوم

- ۱-۳- موقعیت منطقه مورد مطالعه و راههای دسترسی به آن ..... ۴۶

- ۲-۳- نمایی شماتیک از کروکی منطقه و موقعیت آن نسبت به جاده اصلی

- شاهرود - دامغان ..... ۴۶

- ۳-۳- عکس ماهواره ای منطقه مورد مطالعه ..... ۴۷

- ۳-۴- بخشی از نقشه زمین شناسی شاهرود با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ ..... ۴۸

- ۳-۵- نمایی از محل انباشت باطله های قدیمی جیگ ماشین ..... ۵۴

- ۳-۶- نمایی از کپه های انباشت باطله جدید جیگ ماشین ..... ۵۵

- ۳-۷- نمایی از رویش گیاهان در اطراف انباشت باطله های فلوتاسیون ..... ۵۶

- ۳-۸- نمایی از آلودگی در اطراف محل انباشت باطله ها ..... ۵۷

## فصل چهارم

- ۴-۱- روابط فاز و اندازه میدان اولیه و ثانویه و بردار منتج آنها ..... ۶۲

## فهرست اشکال

| <u>عنوان</u>                                             | <u>صفحه</u> |
|----------------------------------------------------------|-------------|
| ۲-۴- نحوه اندازه گیری متد زاویه تیلت.....                | ۶۳          |
| ۳-۴- موقعیت فرستنده های مهم جهان.....                    | ۶۴          |
| ۴-۴- نمایی از دستگاه WADI.....                           | ۶۸          |
| ۵-۴- پاسخ زون خرد شده به میدان VLF.                      |             |
| الف) نمودار خام. ب) نمودار فیلتر شده.....                | ۶۹          |
| ۴-۶- مقایسه آنومالی دو زون عمیق و کم عمق.....            | ۶۹          |
| ۴-۷- آنومالی یک زون مقاوم.....                           | ۷۰          |
| ۴-۸- آنومالی یک زون هادی.....                            | ۷۰          |
| ۴-۹- کروکی شماتیک محل و نحوه برداشت داده های VLF.....    | ۷۱          |
| ۴-۱۰- پروفیل داده خام، پروفیل داده فیلتر شده و مقطع عرضی |             |
| چگالی جریان، پروفیل .....                                | ۷۵          |
| ۴-۱۱- پروفیل داده خام، پروفیل داده فیلتر شده و مقطع عرضی |             |
| چگالی جریان، پروفیل ۲.....                               | ۷۷          |
| ۴-۱۲- پروفیل داده خام، پروفیل داده فیلتر شده و مقطع عرضی |             |
| چگالی جریان، پروفیل ۳.....                               | ۷۹          |
| ۴-۱۳- پروفیل داده خام، پروفیل داده فیلتر شده و مقطع عرضی |             |
| چگالی جریان، پروفیل ۱.....                               | ۸۴          |

|      |                                                                                                                              |     |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| ۴-۱۴ | پروفیل داده خام، پروفیل داده فیلتر شده و مقطع عرضی                                                                           |     |
| ۸۵   | چگالی جریان، پروفیل ۳                                                                                                        |     |
| ۴-۱۵ | پروفیل داده خام، پروفیل داده فیلتر شده و مقطع عرضی                                                                           |     |
| ۸۵   | چگالی جریان، پروفیل ۶                                                                                                        |     |
| ۴-۱۶ | نمودار مولفه هم فاز فیلتر شده پروفیل ها در منطقه مورد بررسی                                                                  | ۸۶  |
| ۴-۱۷ | ترتیب قرار گیری الکترودها در روش دو قطبی - دو قطبی                                                                           | ۸۹  |
| ۴-۱۸ | نمایش شماتیکی از محل برداشت پروفیل های ژئوالکتریک و VLF                                                                      | ۹۴  |
| ۴-۱۹ | تصویر دستگاه ABEM SAS 1000 C                                                                                                 | ۹۵  |
| ۴-۲۰ | شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری اندازه گیری شده، شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری محاسبه شده و مدل معکوس پروفیل ۱ مربوط به برداشت اول   | ۹۷  |
| ۴-۲۱ | شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری اندازه گیری شده، شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری محاسبه شده و مدل معکوس پروفیل ۱ مربوط به برداشت دوم   | ۹۹  |
| ۴-۲۲ | شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری اندازه گیری شده، شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری محاسبه شده و مدل معکوس پروفیل ۱ مربوط به برداشت سوم   | ۱۰۰ |
| ۴-۲۳ | شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری اندازه گیری شده، شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری محاسبه شده و مدل معکوس پروفیل ۱ مربوط به برداشت چهارم | ۱۰۱ |
| ۴-۲۴ | مدلهای معکوس مقاومت ویژه مربوط به زمانهای مختلف در پروفیل شماره ۱                                                            | ۱۰۲ |
| ۴-۲۵ | مدلهای تغییرات مقاومت ویژه در برداشت های مختلف نسبت به برداشت اول مربوط به پروفیل ۱                                          | ۱۰۵ |

- ۴-۲۶: شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری اندازه گیری شده، شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری محاسبه شده و مدل معکوس پروفیل ۲ مربوط به برداشت اول..... ۱۰۷
- ۴-۲۷: شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری اندازه گیری شده، شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری محاسبه شده و مدل معکوس پروفیل ۲ مربوط به برداشت اول..... ۱۰۸
- ۴-۲۸: مدل‌های معکوس مقاومت ویژه و درصد تغییرات مقاومت ویژه در مدل دوم نسبت به برداشت اول..... ۱۰۹

### فصل پنجم

- ۵-۱- فلوجارت مراحل آماده سازی نمونه ها و آنالیز پیریت موجود در آنها..... ۱۱۳
- ۵-۲- نمودار خطی غلظت - جذب آهن جهت تجزیه پیریت با دستگاه جذب اتمی..... ۱۲۱
- ۵-۳- تغییرات درصد پیریت باقیمانده نسبت به عمق در نمونه ۱..... ۱۲۳
- ۵-۴- تغییرات درصد پیریت باقیمانده نسبت به عمق در نمونه ۲..... ۱۲۴
- ۵-۵- تغییرات درصد پیریت باقیمانده نسبت به عمق در نمونه ۳..... ۱۲۴
- ۵-۶- تصویر مقطع صیقلی مربوط به نمونه ۳ که از سطح تهیه شده است..... ۱۲۶
- ۵-۷- تصویر مقطع صیقلی مربوط به نمونه ۳ که از عمق ۰/۵ متر تهیه شده است..... ۱۲۷
- ۵-۸- تصویر مقطع صیقلی مربوط به نمونه ۳ که از عمق ۱/۵ متر تهیه شده است..... ۱۲۷
- ۵-۹- نمایی از استوانه مضاعف..... ۱۳۲
- ۵-۱۰- تغییرات نفوذ تجمعی نسبت به زمان جهت آزمایش نفوذپذیری دمپ باطله در نقطه ۱..... ۱۳۳

۵-۱۱- تغییرات نفوذ تجمعی نسبت به زمان جهت آزمایش نفوذپذیری خاک در

محدوده بررسی ژئوفیزیک ..... ۱۳۵

### فصل ششم

۶-۱- مدل مفهومی برای فرآیند اکسیداسیون پیریت و تولید پساب اسیدی معدن و انتقال

آلودگی در معادن نواری بکفیل شده استرالیا..... ۱۴۰

۶-۲- فلوجارت انجام مراحل اصلی در آنالیزهای CFD..... ۱۴۳

۶-۳- مراحل حل مسئله توسط نرم افزار PHOENICS..... ۱۴۴

۶-۴- تصویر شماتیک از اکسیداسیون پیریت و نشت آلاینده در باطله های معادن روباز..... ۱۴۷

۶-۵- نمایی از مدل یک بعدی باطله های زغال..... ۱۵۱

۶-۶- تغییرات درصد اکسیژن در طول مدل با ضرایب نفوذ مؤثر مختلف..... ۱۵۴

۶-۷- مقایسه داده های صحرایی و نتایج مدل برای تعیین درصد پیریت باقیمانده نسبت

به عمق باطله در نمونه اول..... ۱۵۵

۶-۸- مقایسه داده های صحرایی و نتایج مدل عددی برای تعیین درصد پیریت باقیمانده

نسبت به عمق باطله در زمانهای متفاوت مربوط به نمونه اول..... ۱۵۶

۶-۹- مقایسه داده های صحرایی و پیش بینی مدل برای تعیین درصد پیریت باقیمانده

نسبت به عمق باطله مربوط به نمونه دوم..... ۱۵۸

## فهرست اشکال

صفحه

عنوان

- ۱۰-۶- مقایسه داده های صحرایی و پیش بینی های مدل برای تعیین درصد پیریت باقیمانده  
نسبت به عمق باطله در زمانهای مختلف مربوط به نمونه دوم..... ۱۵۸
- ۱۱-۶- مقایسه داده های صحرایی و پیش بینی های مدل برای تعیین درصد پیریت باقیمانده  
نسبت به عمق باطله ها به صورت تابعی از ضریب نفوذ مؤثر اکسیژن در باطله ها، مربوط  
به نمونه دوم..... ۱۵۹
- ۱۲-۶- مقایسه مقادیر اندازه گیری شده و مدل به دست آمده از درصد بخش پیریت باقیمانده  
در نمونه سوم..... ۱۵۹
- ۱۳-۶- مدل تغییرات مقاومت ویژه برداشت سوم نسبت به برداشت اول در پروفیل اول..... ۱۶۵

# فصل اول

## کلیات

## ۱-۱- مقدمه

نیاز روزافزون بشر به انرژی سبب پیدایش دانش های مرتبط با دستیابی به منابع از قبیل معدنکاری شده است. منابع متداول انرژی شامل سوخته های فسیلی، انرژی اتمی و انرژی های نو (انرژی خورشیدی، هیدرولیکی و بادی) می باشند، که از این میان سوخته های فسیلی حجم عمده ای از مصرف انرژی جهان را تشکیل می دهند. سوخته های فسیلی بطور عمده شامل فرآورده های نفت، گاز و زغالسنگ هستند. به دلیل قیمت بالای جهانی نفت و گاز و همچنین محدودیت و رو به اتمام بودن ذخائر آنها، استفاده از زغالسنگ در برخی از صنایع زیرساختی کشور از قبیل کارخانجات تولید فولاد و ذوب آهن اهمیت بیشتری پیدا می کند. ایران کشوری است که بدلیل داشتن ذخائر و معادن زغالسنگ زیاد از قبیل معادن البرزشرقی، شمال، زرنند کرمان و طبس می تواند سوخت لازم در برخی از صنایع زیر ساختی کشور را به راحتی تأمین نماید. برای دستیابی به انرژی بیشتر نیاز به زغالی مرغوب تر است که همین امر ضرورت انجام مرحله ای تحت عنوان فرآوری و شستشوی آن را ایجاب می کند. انجام این پروسه می تواند زمینه ساز آلودگی های زیست محیطی گردد. یکی از مهمترین محصول فرعی در معدنکاری و فرآوری

زغال، تشکیل پساب های اسیدی<sup>۱</sup> معدن است. تولید پساب های اسیدی در معادن زغال به خاطر وجود کانی پیریت همراه زغال است. اکسیداسیون پیریت در مجاورت هوا و رطوبت و تشکیل پساب اسیدی می تواند اثرات زیان آور و مخربی در زندگی موجودات زنده، آبهای سطحی و زیرزمینی ایجاد نماید. به همین جهت شناسایی و نحوه گسترش چنین زونهای آلوده کننده با بهره گیری روش های گوناگون از اهمیت وافری برخوردار است که در ادامه به شرح کارهای انجام شده در این زمینه پرداخته می شود.

## ۱-۲- مروری بر کارهای انجام شده

### ۱-۲-۱- استفاده از روش های ژئوفیزیکی به منظور شناسایی زونهای آلوده

سالیان متمادی است که روش های مقاومت ویژه جریان مستقیم (DC<sup>۲</sup>) به منظور تعیین و شناسایی آلودگی های ناشی از محل های دفن زباله و اسیدهای معدنی مورد استفاده قرار گرفته است. افرادی همچون استالر<sup>۳</sup> و رونکس<sup>۴</sup> در سال ۱۹۷۵، کلی<sup>۵</sup> ۱۹۷۶، اوریش<sup>۶</sup> ۱۹۸۳، کارپنتر<sup>۷</sup> در ۱۹۹۰ با استفاده از روش فوق آلودگی ناشی از محل های دفن زباله و مرکل<sup>۸</sup> ۱۹۷۲ و ابراهیم<sup>۹</sup> ۱۹۹۰ آلودگی ناشی از اسیدهای معدنی را مورد بررسی قرار داده اند [یوآل<sup>۱۰</sup> و الدنبرگ<sup>۱۱</sup>، ۱۹۹۵]. در اکثر موارد با استفاده از

1- Acid mine drainage

2 -Direct Current

3- Stollar

4- Ronx

5- Kelly

6- Urish

7- Carpenter

8- Merkel

9- Ebraheem

10 - Yuval

11 - Oldenburg

روش پروفیل زنی برای تعیین گسترش جانبی آلودگی و از روش سونداژ زنی قائم به منظور کسب اطلاعات راجع به نفوذ عمقی آلودگی استفاده شده است. تفسیر داده ها، معمولاً به صورت مستقیم از نقشه های هدایت ظاهری و با استفاده از تکنیکهای متفاوت امکان پذیر است. کارپنتر در سال ۱۹۹۰ با استفاده از روش معکوس سازی، منحنی های به دست آمده را با داده های سونداژ الکتریکی مطابقت داده است ولی مدل ارائه شده دارای نقاط ضعف زیادی بوده است که از جمله آن موارد می توان به یک بعدی بودن مدل و مورد بررسی قرار دادن تعداد محدودی از لایه ها اشاره نمود [کارپنتر و همکاران، ۱۹۹۰]. در سال ۱۹۹۴ فرانگوس<sup>۱</sup>، آندرزیل<sup>۲</sup> و دراسکونتس<sup>۳</sup> با اندازه گیری قطبش القایی (IP) آلودگی ناشی از دمپ های باطله درشت دانه مس شرق اروپا را مورد بررسی قرار داده اند [یوآل و الدنبرگ، ۱۹۹۵]. همان سال با بکارگیری روشی مشابه، واگنر<sup>۴</sup> و ردلاو<sup>۵</sup> در شمال آمریکا، گسترش آلودگی قسمت های زیرین محل انباشت باطله مس را مورد مطالعه قرار دادند [یوآل و الدنبرگ، ۱۹۹۵]. آنها در نهایت نشان دادند که با استفاده از اندازه گیری مقاومت ویژه و قطبش القایی می توان آلودگی ناشی از محل های انباشت باطله را به خوبی نشان داد. یوآل و الدنبرگ در ۱۹۹۵ با تلفیق مدلهای حاصل از اندازه گیری مقاومت ویژه و قطبش القایی و مقایسه آنها با اطلاعات کیفی آب مانند میزان ذرات جامد معلق (TDS)<sup>۶</sup> آلودگی ناشی از دمپ های باطله مس را در شمال آمریکا به خوبی نشان دادند [یوآل و الدنبرگ، ۱۹۹۵]. بنسون<sup>۷</sup>، با

1- Frangones

2- Andrezal

3- Draskonts

4- Wagner

5- Wradlaw

6- Total dissolved solids

7- Benson

بکارگیری و تلفیق نتایج به دست آمده از روش های مقاومت ویژه و VLF آلودگی ناشی از نشت فرآورده های نفتی را در شمال آمریکا مورد بررسی قرار دادند [بنسون و همکاران، ۱۹۹۷]. در سال ۲۰۰۱ کامکار روحانی، آلودگی های ناشی از باطله های تر کارخانه بوکسیت را با استفاده از روش های پروفیل زنی دوقطبی - دوقطبی با فواصل مختلف در ایالت استرالیای غربی مورد بررسی قرار داده است [کامکار روحانی، ۲۰۰۱]. فارینگر<sup>۱</sup> در سال ۲۰۰۲ با استفاده از روش الکترومغناطیس کم عمق<sup>۲</sup>، آلودگی ناشی از تشکیل پساب های اسیدی معدن (AMD) در لایه های زیرین معدن زغال زیرزمینی در ایالت ویرجینیا را مورد بررسی قرار داده است [فارینگر، ۲۰۰۲].

اگرچه ریاحی و همکاران در سال ۱۳۷۵ آلودگی نفتی و گسترش آن در منطقه ده شیخ کهریزک را با استفاده از روش ژئوالکتریک مورد بررسی قرار دادند [زارع و همکار، ۱۳۸۲] ولی متأسفانه در ایران کارهای زیادی در زمینه بررسی های آلودگی زیست محیطی با استفاده از روش های ژئوفیزیکی انجام نشده است.

### ۱-۲-۲- مروری بر کارهای انجام شده در مدل سازی ریاضی آلودگی های پساب اسیدی

پساب های اسیدی شاید به عنوان بدترین مشکل زیست محیطی شناخته شده است و به صورت جدی تأثیرات نامطلوبی بر روی محیط پیرامون خود می گذارد [گری<sup>۳</sup> و همکار، ۱۹۷۴]. تولید اسید از معادن متروکه و دمپ های باطله زغال سبب نگرانی زیادی در انگلستان شده است و نشت اسید حاصل از

1- Fahringer  
2 -Shallow EM  
3- Gray

آنها به عنوان مهمترین دلیل آلودگی منابع آبها در مرکز اسکاتلند به شمار می‌رود [والتر<sup>۱</sup> و همکاران، ۱۹۹۴]. همچنین پساب اسیدی سبب ایجاد مشکلات اساسی در قسمت های مرکزی، غربی و شمال غربی استرالیا، در مناطقی از Tasmania، دشت Captin در بخش Hunter نیوسالت ولز و جنگل Rum در سرزمین های شمالی استرالیا به شمار می رود [دیویس<sup>۲</sup>، ۱۹۸۳].

در ایران نیز با توجه به تعداد زیاد معادن، تشکیل پساب های اسیدی در آینده مشکلات زیست محیطی زیادی را به همراه خواهد داشت. یکی از مهمترین مشکلات این پساب ها به دلیل وجود معادن زغالی می باشد و از آنجایی که زغال یکی از مهمترین منابع تأمین انرژی بعد از نفت می باشد، ممکن است در آینده نزدیک متروکه شدن معادن و همچنین محل انباشت باطله های آنها سبب بروز مشکلات زیست محیطی زیادی در محیط پیرامون خود گردد.

همانطور که قبلاً اشاره گردید، مهمترین دلیل آلودگی ناشی از پساب های اسیدی، اکسیداسیون پیریت و حمل و نقل آلاینده های ناشی از آنها به محیط اطراف دمپ های ذخیره باطله های حاوی پیریت می باشد. استفاده از شبیه سازی و مدل سازی های ریاضی مکانیزم های مؤثر در اکسیداسیون پیریت و تولید آلودگی می تواند اطلاعات مطلوبی در راستای طراحی راهکارهای مؤثر در مقابله با آلودگی را فراهم نماید.

تلاش های زیادی در ارائه مدل مناسب برای اکسیداسیون پیریت و کانی های سولفیدی دیگر

1- Walter

2- Davis

توسط اشخاصی نظیر روگونسکی<sup>۱</sup>، جینز<sup>۲</sup> ۱۹۸۴ صورت گرفته است [روگونسکی و همکاران، ۱۹۷۷ و جینز و همکاران، ۱۹۸۴]. در این مدل ها اکسیداسیون پیریت و لیچینگ اسید در دمپهای باطله مورد بررسی قرار گرفته است. از نقایص این مدل ها می توان به این نکته اشاره کرد که به فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی حمل آلاینده های ناشی از اکسیداسیون پیریت کمتر پرداخته شده است. بعلاوه اینکه این مدل ها تنها در ارتباط با بکفیل<sup>۳</sup> های معادن روباز نواری می باشند. باید توجه کرد که کارهای بسیار کمی به منظور کنترل مکانیزم های نرخ اکسیداسیون پیریت و نشت فرآورده های واکنشی حاصل از معادن زغال انجام شده است. کاتلس<sup>۴</sup> و آپس<sup>۵</sup> در سال ۱۹۷۵ مدل یک بعدی از فرآیندهای اکسیداسیون و لیچینگ را با در نظر گرفتن دما، توازن اکسیژن و انتقال هوا ارائه نمودند [کاتلس و آپس، ۱۹۷۵]. این مدل از پدیده همرفت هوا به عنوان مهمترین مکانیزم حمل و نقل اکسیژن در اکسید کردن آهن دو ظرفیتی در حضور باکتری های اکسید کننده تیوباسیلوس فرو اکسیدان در دمپ ها به شمار می رود. جینز در سال ۱۹۸۳ مدلی برای اکسیداسیون پیریت و لیچینگ بعدی فرآورده های اکسیداسیون آن در معادن زغال روباز نواری ارائه نموده است [جینز، ۱۹۸۳]. در این مدل عامل های اکسید کننده اکسیژن و آهن سه ظرفیتی می باشند. مدل با این فرض ارائه گشته است که اکسیداسیون پیریت توسط میزان نفوذ<sup>۶</sup> (پخش) عامل اکسید کننده در ذرات واکنشی کنترل می گردد. یون فریک (آهن سه ظرفیتی

1- Rogowski

2- Jaynes

۳- باطله های پر کتنبه حفره های نواری

4- Cathles

5- Apps

6- Diffusion

فریک) نیز با فرض اینکه حاصل از اکسیداسیون شیمیایی و فعالیت باکتریها بر روی یون آهن دو ظرفیتی می باشد، در مدل وارد شده است. دیویس و ریچی<sup>۱</sup> در سال ۱۹۸۶ مدل یک بعدی اکسیداسیون پیریت در دمپ های سنگ باطله درشت دانه<sup>۲</sup> مس را با در نظر گرفتن نفوذ اکسیژن ارائه نموده اند. مدل ارائه شده از دو بخش اصلی تشکیل شده است [دیویس و همکار، ۱۹۸۶]:

#### ۱- نفوذ اکسیژن در فضاهای خالی دمپ

۲- مدل مغزه منقبض شده<sup>۳</sup> برای توصیف نفوذ اکسیژن در ذرات حاوی پیریت جدا که در آن زون اکسید شده به صورت پوشش یا کیک در اطراف مغزه ذرات واکنش نداده، قرار گرفته اند. این مدل که اولین بار توسط لونسپیل ارائه شده بسیار مورد توجه قرار گرفته شده و دارای کارائی بالایی می باشد. در این مدل، نقش باکتریها در اکسیداسیون پیریت و حمل بعدی فرآورده های اکسیژن در نظر گرفته نشده است. در سالهای اخیر استفاده از نرم افزارهای دینامیک سیالات محاسباتی<sup>۴</sup> (CFD)، تبدیل به ابزار مهمی در مطالعات زیست محیطی ناشی از فعالیت های معدنی شده است. اخیراً با استفاده از نرم افزار تجاری PHOENICS که در زمره نرم افزارهای CFD مهم می باشد، پیش بینی فرآیندهای اکسیداسیون و تولید آلودگی معادن امکانپذیر شده است و حساسیت تعدادی از پارامترهای اصلی بر روی میزان آلودگی مورد آنالیز قرار گرفته اند [دولتی و سینگ<sup>۵</sup>، ۲۰۰۴، سینگ و دولتی، ۲۰۰۴، دولتی و

1- Ritchie

2- Waste Rock

3- Shrinking Core

2- Computational Fluid Dynamic

5- Singh

همکاران، ۲۰۰۲، دولتی و همکاران، ۲۰۰۴ و سینگ و دولتی ۲۰۰۳]. در ایران روش های مدل سازی ریاضی جهت تشریح فرآیندهای اکسیداسیون پیریت و گسترش آلودگی ها در ارتباط با معادن زغال چندان مورد توجه قرار نگرفته است و برای اولین بار در این پایان نامه سعی شده است تا با استفاده از نرم افزار PHOENICS (چم<sup>۱</sup>، ۲۰۰۲) نحوه انتشار آلودگی در اطراف سد باطله حاصل از جیگ ماشین کارخانه زغالشویی مورد بررسی قرار گیرد.

### ۱-۲-۳- بررسی نقش پیریت در ایجاد پساب های اسیدی در ایران

متأسفانه در ایران کارهای زیادی در جهت اندازه گیری پیریت و نقش آن در ایجاد پساب های اسیدی انجام نشده است. اصائلو و همکاران در سال ۱۳۸۳ نقش پیریت در ایجاد آلودگی دمپ های باطله معدن مس سرچشمه را با استفاده از روش ذره شماری به منظور تعیین عیار پیریت مطالعه کردند و نقش هوازدهی و بارندگی را در ایجاد اسید در سد باطله مورد بررسی قرار دادند [اصائلو و همکاران، ۱۳۸۳]. سهرابی و همکاران در سال ۱۳۸۲ با استفاده از آزمایشهای استاتیکی<sup>۲</sup> ABA اصلاح شده پتانسیل تولید پساب های اسیدی حاصل از کارخانه زغالشویی البرز شرقی را مورد مطالعه و آزمایش قرار داده اند. آنها نشان داده اند که باطله های قدیمی جیگ ماشین در محل کارخانه زغالشویی البرز شرقی دارای قابلیت تولید پساب اسیدی بوده و باطله های دیگر از لحاظ تولید اسید وضعیت نامشخصی دارند [سهرابی و همکاران، ۱۳۸۳]. به تازگی به بررسی میزان پیریت در زغال سنگ طبس پرداخته شده است و استفاده از

1- Cham

2- Static test

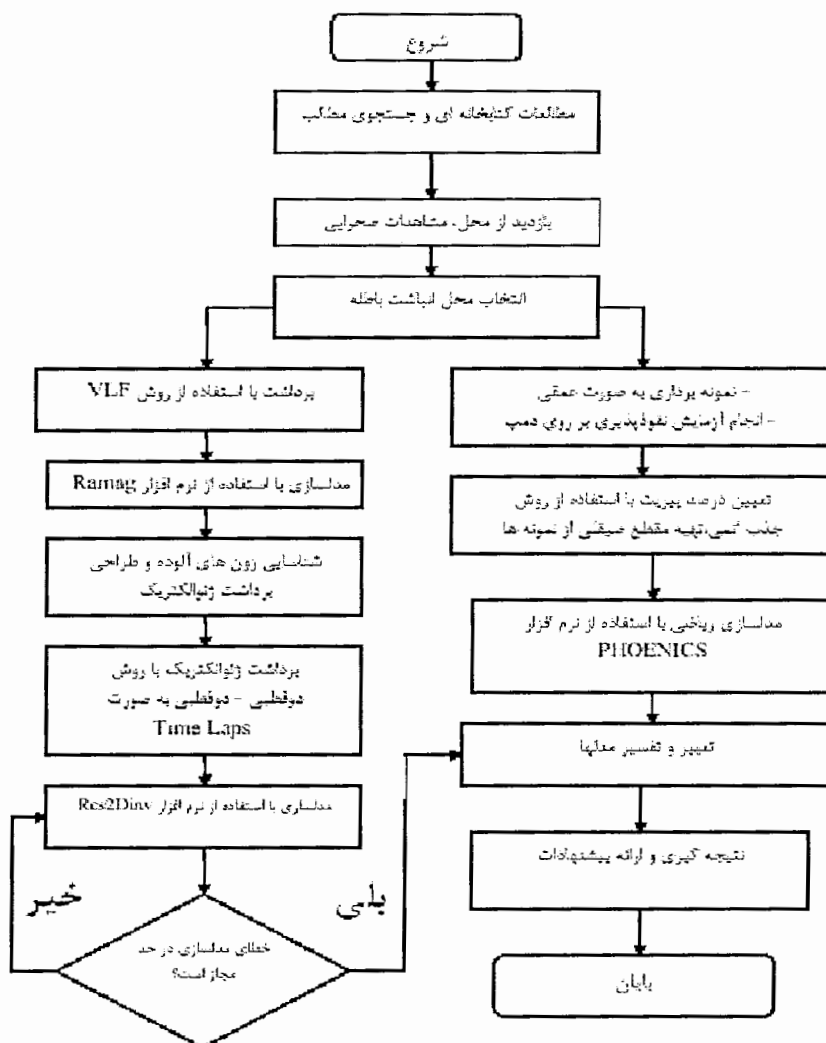
روش‌های جدایش مغناطیسی‌تر و خشک برای حذف پیریت پیشنهاد گردیده است [عبدالهی و همکاران، ۱۳۸۳].

### ۱-۳- اهداف پایان نامه و ضرورت انجام آن

با انجام فرآیند فرآوری، مقداری از مواد معدنی باعیار و کیفیت پایین تر به صورت باطله جدا می‌گردند. معمولاً محل‌های انباشت باطله ها در مجاورت کارخانجات فرآوری و کانه آرای می‌باشد. قرار گرفتن باطله های انباشت شده در برابر عواملی نظیر بارندگی های جوی و هوازگی باعث تغییر ترکیبات آنها و راه پیدا کردن مواد سمی و خطرناک موجود در باطله‌ها به محیط پیرامون خود می‌گردند. همانطور که اشاره گردید، یکی از مهمترین مشکلات زیست محیطی ناشی از محل انباشت باطله ها تولید پساب های اسیدی می باشد از این رو مطالعه و شناسایی زونهای با پتانسیل آلودگی بالا و نحوه انتشار آلاینده ها و پساب های اسیدی حاصل از آنها می تواند در ارائه راهکارهای مؤثر برای جلوگیری از انتشار و کنترل آنها مفید واقع گردد. در این پایان نامه سعی شده است تا با بهره گیری از اندازه گیری های ژئوفیزیکی و انجام مدل سازی های لازم زونهای آلوده کننده و آهنگ گسترش آنها در پائین دست دپوهای معدنی مورد شناسایی قرار گیرند و همچنین با بکارگیری روش های مدلسازی ریاضی فرآیندهای اکسیداسیون پیریت و تولید آلودگی در پیرامون سدهای باطله کارخانه زغالشویی البرز شرقی مورد مطالعه قرار گیرند.

فرآیندهای فرآوری زغال با ایجاد حجم زیادی از باطله های حاوی کانی های سولفیدی همراه

است. این مواد باطله نه تنها سبب اشغال فضاهای اطراف کارخانه فرآوری و از بین رفتن مناظر طبیعی زمین ها می گردند، موجب تخریب زیستگاه های طبیعی شده و مهمتر از همه سبب آلودگی منابع آب زیرزمینی با تخلیه اجسام و جامدات محلول شامل فلزات سنگین به داخل آنها می گردند. آلودگی منابع آبی برای مناطق مسکونی همجوار در پایین دست ممکن است سبب مشکلات عدیده ای گردد. لذا انجام تحقیقاتی از این دست می تواند در کم کردن و کنترل آلودگی، مؤثر واقع گردد. البته باید توجه داشت که مشابه این تحقیق کم و بیش بصورت پراکنده در دنیا انجام شده ولی سابقه چنین مطالعات در کشورمان زیاد نمی باشد. لذا ضرورت انجام مطالعات و طرحهایی از این دست احساس می گردد. ضمناً از نتایج چنین بررسی هایی می توان برای سایر موارد مشابه و توسعه یک استراتژی کنترل زیست محیطی استفاده کرد. شکل ۱-۱ روش انجام کار و مراحل مختلف تحقیق حاضر را بصورت یک فلوچارت نشان می دهد.



شکل ۱-۱- فلوچارت روش انجام کار و مراحل مختلف پروژه

#### ۴-۱- سازماندهی پایان نامه

پایان نامه حاضر مشتمل بر هفت فصل می باشد. فصل اول شامل: مقدمه، مروری بر کارهای

انجام شده، اهداف پایان نامه، ضرورت انجام طرح و سازماندهی پایان نامه می باشد. در فصل دوم مطالبی

در مورد زغال و ترکیبات آن، مشکلات زیست محیطی ناشی از زغال، واکنشهای اکسیداسیون پیریت و

آثار مخرب پساب های اسیدی مورد بررسی قرار گرفته است. فصل سوم به تشریح موقعیت جغرافیایی منطقه، راههای دسترسی، مشاهدات صحرایی، زمین شناسی و تکتونیک منطقه می پردازد. فصل چهارم بررسی های ژئوفیزیکی با روشهای VLF و ژئوالکتریک را همراه با چگونگی مدل سازی و تفسیر داده های حاصل در برمی گیرد. فصل پنجم ابتدا چگونگی نمونه برداری از باطله ها و آنالیز آنها را برای تعیین درصد پیریت موجود همراه با تعیین نفوذپذیری تشریح می کند و سپس به مطالعات میکروسکوپی مقاطع تهیه شده می پردازد. در فصل ششم با توجه به نمونه های آنالیز شده، یک مدل ریاضی یک بعدی جهت تشریح فرآیندهای اکسیداسیون پیریت، نفوذ اکسیژن و تولید آلودگی در محل دمپ باطله ارائه می شود. در فصل هفتم نتایج بدست آمده مورد بررسی دقیقتر قرار گرفته و با توجه به نتایج حاصله پیشنهاداتی برای جلوگیری از آلودگی از محل انباشت باطله و مواردی برای انجام مطالعه و بررسی بیشتر ارائه شده است.

## فصل دوم

زغال و مشکلات زیست محیطی ناشی از باطله های آن

## ۲-۱- مقدمه

در این فصل به معرفی زغال، منابع و ذخائر آن در ایران، ترکیبات و عوامل تأثیر گذار موجود در ترکیبات زغال بر روی آلودگی های زیست محیطی پرداخته شده است. همچنین در ادامه چگونگی تولید پساب اسیدی، نقش کانیهای سولفیدی آهن در شکل گیری پساب اسیدی، بررسی اکسیداسیون کانی های سولفیدی فلزی و تأثیر مخرب پساب اسیدی بر روی محیط پیرامون آن به تفصیل مورد بررسی قرار گرفته است.

## ۲-۲- منابع و ذخائر زغال سنگ در جهان

کل منابع زغال سنگ در جهان ۱۰۱۳۰ بلیون تن تخمین زده شده است که بر اساس مطالعات انجام شده در سال ۱۹۹۷ مقدار ذخائر قطعی زغال سنگ ۱۰۳/۶۱۱ بلیون تن می باشد تشکیل می دهد [اصانلو، ۱۳۷۸]. عمده ترین کشورهای تولید کننده زغال سنگ، آمریکا با ۲۲/۷ درصد، شوروی سابق ۸/۸ درصد، کشورهای اروپائی که عضو سازمان همکاریهای اقتصادی و توسعه ای<sup>۱</sup> (OECD) هستند

1- Organization of Economic Cooperation and Development

مقدار ۵۱۰/۲۱۴ میلیون تن ذخیره قطعی، ۱۸۳/۵۴ میلیون تن ذخیره احتمالی و حدود ۱۲۴ میلیون تن ذخیره ممکن اعلام شده است. بر اساس این مطالعات، مناطق زغال خیز ایران شامل پنج منطقه و به ترتیب اهمیت از نظر کمیت عبارتند از: منطقه طبس، البرز مرکزی، کرمان، البرز شرقی و البرز غربی که کل ذخیره آنها ۱۶۹۳/۵۲۶۹ میلیون تن می باشد [اصانلو، ۱۳۷۸].

### ۲-۲-۲- ذخائر زغالی ناحیه البرز شرقی

میزان ذخائر و نوع زغال سنگ در البرز شرقی در جدول ذیل آمده است:

جدول ۲-۲- میزان ذخیره و نوع زغال سنگ در البرز شرقی تا سال ۱۳۷۴ [اصانلو، ۱۳۷۸]

| نام ناحیه  | نام معدن یا منطقه اکتشافی               | نوع زغال براساس استاندارد شوروی سابق | میزان ذخیره (میلیون تن) | مرحله عملیات       |
|------------|-----------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|--------------------|
| البرز شرقی | معدن ممدویه                             | چرب                                  | -                       | در حال بهره برداری |
|            | معدن گرجه                               | کک شو چرب                            | -                       |                    |
|            | رزمجا                                   | کک شو-کک شو                          | ۱۱/۱۱۲                  |                    |
|            | پشکلات                                  | کک شو-گازی چرب و لاغر                | ۱۴/۳                    |                    |
|            | نرگس چاه                                | کک شو-گازی چرب                       | -                       |                    |
|            | کلاریز                                  | کک شو-گازی چرب                       | ۵/۱۵۱                   |                    |
|            | کلات                                    | گازی چرب                             | ۰/۵۱۸                   |                    |
|            | وطن                                     | گازی چرب                             | ۰/۰۰۰۲                  |                    |
|            | رضی                                     | کک شو-گازی چرب                       | ۲/۰۴۷                   |                    |
|            | ملج آرام بالائی                         | کک شو-گازی چرب                       | ۰/۸۶                    |                    |
|            | میزان کل زغال در البرز شرقی (میلیون تن) |                                      | ۳۸/۹۸۸۲                 |                    |

### ۲-۳- ترکیب زغال

عناصری که به طور معمول در ترکیب همه زغال سنگ ها مشخص می شود، عبارتند از:

کربن (C)، هیدروژن (H)، نیتروژن (N)، اکسیژن (O) و سولفور.

### ۲-۳-۱- کربن و هیدروژن

کربن و هیدروژن عناصر اصلی زغال سنگ ها می باشند. مقدار کربن و هیدروژن موجود در زغال سنگ به درجه متامورفیزم (تکامل) و نوع زغال سنگ بستگی دارد. هرچقدر درجه متامورفیزم (تکامل) زغال زیاد و نوع زغال مرغوبتر گردد، درصد کربن افزایش و درصد هیدروژن کاهش خواهد یافت.

### ۲-۳-۲- نیتروژن

نیتروژن به مقدار بسیار کم در زغال سنگ ها وجود دارد و مقدار آن بین ۰/۵ تا حداکثر ۲ درصد وزن کل زغال را تشکیل می دهد.

### ۲-۳-۳- اکسیژن

میزان اکسیژن در زغال سنگ ها دارای طیف گسترده ای است. بر حسب درجه تکامل زغال می تواند تا ۳۰ درصد وزن آنها را به خود اختصاص دهد. هر چقدر زغال از تکامل کمتری برخوردار باشد به همان نسبت میزان اکسیژن بیشتری در آن وجود دارد.

### ۲-۳-۴- سولفور

سولفور همواره به عنوان عنصری مزاحم در زغال شناخته شده است. مهمترین مشکلاتی که می تواند ایجاد نماید به قرار زیر است:

۱- باعث کاهش ارزش حرارتی زغال سنگ می گردد.

۲- باعث تاثیر منفی در کیفیت و افزایش هزینه می گردد.

۳- با توجه به اینکه زغال مصرفی عمدتاً در صنایع تولید الکتریسیته، صنعت فولاد به منظور تولید کک و تولید نفت و گاز به کار می‌رود از این رو سولفور موجود در آن ممکن است حجم زیادی گازهای  $SO_2$  و  $H_2S$  تولید نماید که سبب بروز آلودگی هوا و محیط زیست گردد.

#### ۲-۳-۴-۱- انواع سولفور در زغال

سولفور در زغال به سه شکل می‌تواند وجود داشته باشد:

۱- به صورت ارگانیکی

۲- به صورت پیریت ( $FeS_2$ ) و مارکاسیت

۳- به صورت سولفات مانند سولفات کلسیم ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ )

سولفورهای ارگانیکی ۳۰ تا ۶۰ درصد سولفورهای زغال را تشکیل می‌دهند. از نظر کمی غالباً مقدارشان از ۳ درصد وزن زغال تجاوز نمی‌کند.

پیریت و مارکاسیت دو کانی مختلف از ( $FeS_2$ ) هستند با این تفاوت که کانی های پیریت مکعبی شکل و مارکاسیت به صورت ارتورومبیک<sup>۱</sup> است. معمولاً تشخیص و تفکیک این دو از یکدیگر مشکل می‌باشد و غالباً هر دو را به عنوان پیریت می‌شناسند. در مقیاس ماکروسکوپی پیریت به چهار شکل در زغال پدید می‌آید:

۱- رگه ای<sup>۲</sup>، در این حالت پیریت معمولاً نازک و به صورت فیلم مانند در داخل درزه های عمودی

1- Orthombic

2 - Veins

که ممکن است پهنای آن به چند سانتیمتر برسد، پدید آید.

۲- به صورت عدسی<sup>۱</sup>، در این حالت پیریت از نظر شکل و اندازه بسیار متغیر است.

۳- ندول مانند<sup>۲</sup>، در این حالت کم و بیش پیریت شکلی کروی دارد.

۴- پیریت با منشاء گیاهی، در این حالت شامل کانی های کربناته می باشد و گیاه به طور کامل

مراحل زغالی زائی را طی نکرده است.

سولفور که به شکل سولفات کلسیم قرار دارد معمولاً از اهمیت کمی برخوردار است. این شکل از سولفور

معمولاً به همراه آهن در زغال مشاهده می شود و مقدار آن بسیار ناچیز و در حد چند صدم درصد آن هم

در زغال های به شدت هوازده یا اکسید شده است [اصانلو، ۱۳۷۸].

#### ۲-۳-۴-۲- منشاء سولفور

منشاء سولفور در زغال، گیاهانی هستند که ترکیب اولیه زغال را تشکیل می دهند و معمولاً ۰/۲

تا ۰/۵ درصد سولفور دارند. بعدها در اثر فعالیت میکرو ارگانیسم ها خصوصاً باکتری ها در گیاهان بر

مقدار سولفور افزوده می گردد. در اثر بالآ آمدن سطح دریا و پیشروی، این مواد به قعر دریا منتقل

می شوند. در قعر دریا و اقیانوس ها مقدار کمی سولفور به صورت سولفات کلسیم ( $CaSO_4$ ) وجود دارد که

میکرو ارگانیسم ها از اکسیژن سولفات کلسیم به عنوان منبع اکسیژن خود استفاده می کنند. با توجه به

حضور سولفور و آهن در دریاها و فعالیت موجودات تک سلولی به تدریج شرایط برای تشکیل پیریت

1 - Lenses

2 - Nodoules

در چرخه زندگی جانداران قرار گرفته و موجبات مسمومیت و یا حتی مرگ آنها می شود [سین ماؤس<sup>۱</sup>، ۲۰۰۶]. در آمریکا پساب اسیدی و دیگر مواد سمی حاصل از معادن متروک ۱۸۰۰۰ جریب زمین و دریاچه و ۱۲۰۰۰ مایل از رودخانه ها و جریانهای آبی را آلوده کرده است. در کشور کانادا بطور تقریبی ۳۵۱ میلیون تن سنگ باطله، ۵۱۰ میلیون تن باطله های سولفیدی و بیش از ۵۵ میلیون تن دیگر منابع معدنکاری وجود دارد که دارای پتانسیل تولید اسید هستند. برای مثال خنثی کردن پساب اسیدی در کشور آمریکا هزینه ای بین ۳۲ تا ۷۲ بلیون دلار و در کانادا هزینه ای بین ۲ تا ۵ بلیون دلار داشته است [دیز، ۱۹۹۸].

#### ۲-۴-۱- بررسی مشکلات زیست محیطی ناشی از تولید پساب اسیدی در معادن

عملیات معدنکاری محیط اطراف خود را دچار یکسری تغییرات می کند که در نوع خود آلودگی محسوب می شود. جابجایی افقی لایه بالایی خاک و یا دفع باطله ها در رودخانه ها، دریاچه ها و ایجاد سر و صدا توسط تجهیزات و ماشین آلات معدنی و پدیده نشست زمین، انواع مختلف آلودگی می باشند. آلودگی آب از خروج پسابهای معدنی و راهیابی آن به آبهای جاری منطقه و یا نفوذ آن به درون زمین و راه یافتن آن به چشمه ها و سفره های آبی زیرزمینی ناشی می شود. چهار شکل مختلف آلودگی در ارتباط با فعالیت های معدنی که تأثیر زیادی بر روی کیفیت آب منطقه معدنی دارند، به شرح زیر می باشند:

1 - Seinmaus

### ۱- پساب اسیدی معدن (AMD) یا پساب اسیدی سنگ<sup>۱</sup> (ARD)

این پساب ها بعلت اسیدی بودن باعث پایین رفتن pH آب می شوند و در عین حال فلزات را در خود حل کرده و با انتقال فلزات بصورت محلول باعث تجمعات غیر طبیعی آنها در محیط زیست می گردند.

### ۲- آلودگی ناشی از فلزات سنگین

در این حالت سنگ های محتوی فلزات آرسنیک، کبالت، مس، کادمیوم، سرب، نقره و روی پس از استخراج و در تماس با آب و با انجام لیچینگ توسط آب و انحلال این فلزات، به منابع آبی منطقه راه می یابند.

### ۳- آلودگی حاصل از فرآیندهای شیمیایی

این نوع آلودگی زمانی رخ می دهد که مواد شیمیایی مانند سیانید یا اسید سولفوریک برای شستشو و لیچینگ ماده معدنی بکار رود.

### ۴- فرسایش و رسوبگذاری

در این حالت بعلت نبودن کنترل کافی، جاده ها و معادن روباز تحت عمل فرسایش قرار می گیرند و مقداری مواد را به دریاچه ها، رودخانه ها و جریان های آبی اطراف وارد می کنند [سین ماؤس، ۲۰۰۶].

### ۲-۴-۱-۱- تأثیر پساب اسیدی بر حیات آبریان

پساب اسیدی دارای اجزای مختلفی است که اثرات متفاوتی بر زندگی آبریان می گذارد و تفکیک جداگانه این اثرات مشکل می باشد. میزان سمی بودن پساب اسیدی به نرخ جریان، pH، خاصیت اسیدی و

1- Acid Rock Drainage

تمرکز عناصر غیر محلول بستگی دارد. مهمترین عامل مؤثر pH می باشد. هرچه pH کمتر باشد، تاثیرات خطرناکتری در زندگی آبزیان دارد. البته تاثیرات عمومی پساب اسیدی علاوه بر موارد بالا به نرخ جریان و میزان قلیایی بودن رودخانه دریافت کننده نیز وابسته است. هرچه میزان یونهای کربنات و بی کربنات در رودخانه دریافت کننده بیشتر باشد، ظرفیت خنثی سازی رودخانه بیشتر بوده و محافظت بیشتری از زندگی آبزیان در مقابل اثرات مخرب پساب اسیدی به عمل می آید.

پسابهایی که دارای غلظت بالای فلزات هستند و به آنها و رودخانه هایی با قابلیت خنثی سازی کم وارد می شوند، به احتمال زیاد آبزیان را از بین خواهند برد. بیشتر آبزیان در محدوده ای خاص از pH زنده هستند و خارج از این محدوده جان خود را از دست خواهند داد. pH کم باعث اختلال در موازنه یونهای کلر و سدیم در خون موجودات آبی می گردد. در pH های کم یونهای هیدروژن درون سلول قرار می گیرند و یونهای سدیم به خارج سلول رانده می شوند و باعث مرگ آبزیان می شوند.

فلزات سنگین خاصیت سمی پساب اسیدی را افزایش می دهند و به عنوان سم متابولیک عمل می کنند. آهن، آلومینیم و منگنز مهمترین فلزاتی هستند که ترکیبات آنها اثرات مخربی را بوجود می آورد. همچنین فلزات دیگری مثل روی، کادمیم و مس که در پساب اسیدی وجود دارند، در مقادیر بسیار کم نیز سمی هستند. آهن در pH های بیشتر از ۳/۵ رسوب می کند. بنابراین تأثیر مخرب آهن بیشتر در pH های پایین بوده که در این حالت زندگی موجودات آبی به خطر افتاده و نابود می شود

[جدیری، ۱۳۸۵].

## ۲-۴-۱-۲- تأثیر پساب اسیدی بر روی آب زیر زمینی و سطحی

پساب های معدنی شامل یک سیستم آبی ناپایدار هستند که پیوسته تغییر می کنند. ترکیب پساب اسیدی فقط بواسطه منشاء نیست، بلکه مسیری که پساب اسیدی از آن عبور می کند یا سیستمهای خنثی سازی که بر آن اثر می کنند نیز در ترکیب آن مؤثر هستند. در مناطقی که آبهای سطحی و زیرزمینی بوسیله پساب اسیدی آلوده شده باشد، خنثی سازی آب جهت مصارف آشامیدنی و صنعتی بسیار مشکل و پرهزینه است. در اثر پساب اسیدی عوامل زیر در آبهای زیرزمینی تغییر می کنند: آهن، pH، سولفات، ذرات ریز معلق و منگنز. اگر مقدار آهن از ۰/۱ میلیگرم بر لیتر (با منشاء سولفات) و ۰/۲ میلی گرم (با منشاء کلرید) بیشتر شود، مزه آب را تغییر می دهد. آهن فرو با غلظت ۰/۱ میلیگرم بر لیتر و آهن فریک با غلظت ۰/۲ میلیگرم بر لیتر مزه آب را تغییر می دهد. pH نیز می تواند مزه آب را تغییر دهد. اگر pH آب پایین بیاید، آب ترش مزه می شود. اگر pH خیلی پایین باشد، باکتریهای موثر در خنثی سازی پساب اسیدی از بین خواهند رفت. آبهایی که pH زیر ۷ دارند دارای خاصیت خوردگی بوده و می توانند بخشهایی از لوله ها و شیرها را که از جنس مس، روی، کادمیم و سرب هستند، بسرعت در خود حل کنند. غلظت بالای سولفات مزه و بوی آب را تغییر می دهد. ذرات جامد معلق در آب آشامیدنی نیز ناخوشایند بوده و مزه آب را تغییر می دهد. در تصویر ۱-۲ اثر پساب اسیدی بر روی آبهای سطحی آورده شده است. همانطور که دیده می شود، تغییر رنگ در آب وجود آلودگی را تأیید می نماید.



شکل ۲-۱- اثر پساب اسیدی بر روی آبهای سطحی [دنيس<sup>۱</sup>، ۲۰۰۱]

## ۲-۴-۱-۳- مهاجرت<sup>۲</sup>

مهاجرت و جابجایی یونهای فلزی نیز مشکل دیگر ایجاد پساب اسیدی می باشد. با توجه به پایین بودن pH پساب (معمولاً کمتر از ۳ می باشد)، حلالیت فلزاتی مثل مس، سرب، آرسنیک، جیوه، نیکل و کادمیوم افزایش می یابد. همه این فلزات برای رشد گیاهان و حیات حیوانات مضر می باشند. عوامل مؤثر در رسوب گونه های آهن شامل غلظت آهن، پتانسیل Eh-pH، غلظت آنیونهای کمپلکس کننده (مانند کربنات، سولفات و سولفید) و فشار جزئی  $CO_2$  و  $O_2$  می باشد. برای مثال،  $Fe^{3+}$  حتی در یک pH نسبتاً پایین سرعت هیدرولیز می شوند و باعث تشکیل هیدروکسید آهن می گردد. بطور مشابه هیدرو اکسید آلومینیوم، در جذب و رسوبگذاری دیگر فلزات نقش مهمی را بازی می کند. در محیط های نسبتاً خشک، سولفاتهای آهن، سولفاتهای فلزات پایه و هیدروکسیدها، تشکیل می شوند. در محیط هایی با غلظت سولفات بالا و pH پایین، جاروسیت<sup>۳</sup> ( $KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$ ) تشکیل می شود، در

1- Dennis

2- Migration

3 - Jarosite

حالی که در pH های بالاتر و غلظتهای پایین تر سولفات، رکیبانی مثل گوتیت، اکسیدهای آهن و هیدرو اکسیدها، رسوب می کنند. البته در مسئله مهاجرت یونهای فلزی نقش کانی های خنثی کننده مانند کربناتها، سیلیکاتها و گاهی اوقات اکسیدها از اهمیت ویژه ای برخوردار است. نرخ خنثی سازی کانی های خنثی کننده به pH، فشار جزئی CO<sub>2</sub>، دما، ترکیب و ساختمان کانی شرایط اکسیداسیون احیاء و وجود ناخالصی های در شبکه کانی ساز بستگی دارد [میشل<sup>۱</sup>، ۲۰۰۰].

فلزاتی که در باطله های معدن وجود دارند با توجه به عوامل زمین شناسی شامل موارد زیر می باشند:

آرسنیک، کبالت، مس، کادمیوم، کرومیوم، طلا، آهن، سرب، نقره و روی.

اگرچه غلظت فلزات در مقادیر خیلی کم<sup>۲</sup> برای زندگی ممکن است مهم باشد ولی در غلظت های بالا می تواند حالت سمی پیدا کند. بنابراین انحلال بعضی از آنها در پساب و سپس تجمع پیدا کردن آنها در نقطه ای دیگر از جنبه زیست محیطی بسیار با اهمیت می باشد.

## ۲-۴-۲- چگونگی تولید پساب اسیدی معدن

با توجه به آلودگی های زیست محیطی ناشی از تولید پساب اسیدی در معادن و هزینه های زیاد جهت خنثی سازی آن، بررسی شرایط و چگونگی تولید آن اهمیت ویژه ای می یابد که در موارد بعدی به آن پرداخته می شود.

1- Mitchell

2-Trace

## ۲-۴-۱- منابع و محل های تولید پساب اسیدی

این منابع و محل ها شامل موارد زیر در معادن می باشد:

۱- سولفیدهای موجود در گانگ یا کانسنگ های ناشی از عملیات معدنکاری و یا سایر عملیات غیر معدنی مانند راه سازی و سد سازی، که از حالت برجا و طبیعی خارج می گردند در معرض هوازدگی و اکسیداسیون قرار می گیرند. در معدنکاری زیر زمینی نیز مسئله آلودگی می تواند جدی تلقی گردد. متروک شدن این معادن منجر به رها شدن مقادیر زیادی از نمکهای فلزی و سولفیدها می شود که در معرض اکسیژن و رطوبت قرار می گیرند و چون در زیر زمین قرار دارد آب به راحتی به درون آنها جریان پیدا می کند. در مورد معدن کاری روباز نواحی خیلی وسیعی از سنگهای محتوی سولفید در معرض هوا و آب قرار می گیرد که همزمان با اکسیداسیون سولفیدها، خرد شدن سنگ های حاوی آنها، سولفیدهای جدیدی را در معرض آب و هوا قرار می دهد که تولید پساب اسیدی را استمرار می بخشد.

۲- در محل آسیا کردن و کارخانه فرآوری، با توجه به کاهش ابعاد ذرات در این محل و بالا رفتن فعالیت کانی ها (به علت افزایش سطح) و همچنین استفاده از مواد شیمیایی مختلف (مانند مواد مورد استفاده در فلوئتاسیون) که باعث اکسیداسیون مواد می گردد، این نواحی هم از جهت تولید پساب اسیدی اهمیت پیدا می کند.

۳- محل دمپ های باطله حاصل از فرآوری<sup>۱</sup> یا باطله<sup>۲</sup> حاصل از عملیات استخراج و معدنکاری، که این

1- Tailings

2- Waste

محل بیشترین امکان را جهت تولید پساب اسیدی دارد و مسئله مدیریت باطله<sup>۱</sup> در این مورد اهمیت بسیار دارد. در مورد دمپهای باطله چون سنگهای باطله درشت هستند (از ۱۰ تا بیش از ۲۰ سانتیمتر)، کپه های سنگ باطله اغلب خیلی نفوذپذیر هستند و اکسیداسیون سولفیدها سرعت رخ می دهد. دمپ های باطله فرآوری، اغلب حاوی غلظت های بالای سولفیدی می باشد که عمدتاً بشکل پیریت، مارکازیت و پیروتیت می باشند و بسیار ریزتر از سنگ باطله هستند (برای مثال کوچکتر از ۰/۲ میلیمتر) و دارای سطوح ویژه خیلی زیادی است، اما بعلت یک شکل بودن ذرات و اندازه ریز آنها نسبت به سنگهای باطله نفوذپذیری (در ارتباط با نفوذ آب و اکسیژن) آن خیلی کم می باشد. بنابراین میزان تولید پساب اسیدی در باطله های فرآوری نسبت به باطله های معدنی عموماً آرام تر می باشد [میشل، ۲۰۰۰]. در جدول ۲-۳ مقایسه ای بین فاکتورهای مؤثر در تولید اسید در باطله های حاصل از معدنکاری و باطله های فرآوری صورت گرفته که در زیر به آن اشاره شده است.

---

1- Waste Management

جدول ۲-۳- مقایسه فاکتورهای مؤثر در تولید ارد در باطله های حاصل از معدنکاری و حوضچه های باطله فرآوری [انجمن حمایت از محیط زیست آمریکا (EPA)<sup>۱</sup>، ۱۹۹۴]

| سد های باطله فرآوری                                              | کپه های سنگ باطله معدنکاری                                   | فاکتورهای مؤثر در تولید اسید |
|------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------------------|
| محتوی سولفید آنها بالا است                                       | غلظت های متفاوت از کانی سولفیدی                              | منبع سولفید                  |
| ۱۰۰ درصد کمتر از ۲۰ سانتی متر                                    | بطور متوسط بزرگتر از ۲۰ سانتی متر                            | اندازه قطعات                 |
| در سطوح افقی بصورت یکنواخت تغییر می کند                          | با توجه به فاصله، فرق می کند                                 | تغییرات pH                   |
| معمولاً بعد از جابجایی باطله ها و در انتهای عمر معدن شروع می شود | معمولاً بلافاصله بعد از جابجایی سنگ رخ می دهد                | آغاز اکسیداسیون              |
| چون بین ذرات خلل و فرج نیست، نفوذ اکسیژن اندک است                | بعثت وجود خلل و فرج نفوذ اکسیژن زیاد است                     | نفوذ اکسیژن                  |
| میزان نفوذ ارد به محیط های اطراف، کم است                         | میزان نفوذ ارد به آب های زیرزمینی یا مکان های اطراف زیاد است | آزاد شدن پساب اسیدی سنگ      |

## ۲-۲-۴-۲- تشکیل پساب اسیدی و نقش کانی های سولفیدی آهن و بررسی کانی های

### خنثی کننده

تشکیل پساب اسیدی در مورد معادنی مطرح می باشد که بنحوی با کانیهای سولفیدی و بالاخص پیریت ( $\text{FeS}_2$ ) در ارتباط هستند و فرقی ندارد که معدن زغالی و یا فلزی باشد. زمانیکه کانی های سولفیدی بعثت انجام عملیات معدنکاری در معرض آب و اکسیژن قرار می گیرند، سولفیدها توسط اکسیژن هوا اکسید می شوند و در تماس با آب باعث ایجاد پساب اسیدی می شوند. در این میان باکتریها نقش تسریع کنندگی را ایفا می کنند و نرخ واکنش اکسیداسیون را تا چندین ده برابر تسریع می نمایند. رنگ پساب معمولاً قرمز و یا نارنجی رنگ می باشد که علت آن وجود  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  می باشد. در

1 - U.S. Environmental Protection Agency Office

واقع رنگ پساب اسیدی ناشی از رسوبات تشکیل شده، می باشد [مک گینس، ۱۹۹۹]. در جدول ۴-۲ تأثیر گذاری عوامل موجود در پساب اسیدی بر خواصی که پساب ها از خود نشان می دهند به اختصار مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول ۴-۲- تأثیر عوامل موجود در پساب اسیدی بر خواص پساب [سالمون<sup>۱</sup>، ۲۰۰۱]

| تأثیر                                      | دامنه تغییرات                 | ترکیبات شیمیایی همراه                        | عامل          |
|--------------------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------|---------------|
| متحرک کردن یون های فلزی                    | pH ۲ تا ۴                     | $H_2SO_4$ , $Fe^{+2}$ , $Fe^{+3}$<br>اکسیدها | اسیدیته       |
| ایجاد تغییر رنگ و دادن حالت گل آلودی به آب | ۱۰۰ تا ۳۰۰ میلی گرم در لیتر   | هیدروکسید فریک، جاروسیت                      | آهن           |
| سمی شدن اکوسیستم و کاهش دادن کیفیت آب      | ۱ تا ۲۰۰ میلی گرم در لیتر     | Pb, Hg, Cu, Cd, Mg, Zn, As                   | فلزات سنگین   |
| کاهش دادن کیفیت آب                         | ۱۰۰ تا ۳۰۰۰۰ میلی گرم در لیتر | Mg, Al, $SO_4^{-2}$ , $Ca^{+2}$              | نمک های محلول |

بطور کلی تولید پساب های اسیدی و رها سازی آلاینده ها به محیط زیست توسط یک معدن، به عوامل و شرایط فیزیکی - شیمیایی متعددی بستگی دارد فرگوسن و اریکسون<sup>۲</sup> عواملی که باعث تولید پساب های اسیدی در معادن می شوند را بر اساس نوع رخداد فرآیند های فیزیکی - شیمیایی به سه عامل طبقه بندی کرده و معتقد هستند که این عوامل در کنترل پساب اسیدی، نقش مهمی دارد [سالمون، ۲۰۰۱]. این عوامل عبارتند از:

۱- فرآیندهایی که باعث تولید اسید می شوند، مانند واکنشهای اکسیداسیون.

1-Salmone

2-Ferguson and Erickson

۲- عواملی که به عنوان کنترل کننده های محصولات واکنشهای اکسیداسیون معرفی می شوند مانند واکنشهای سایر کانی ها با پساب که باعث خنثی سازی پساب اسیدی می شود.

۳- عواملی که به جنبه های فیزیکی مدیریت باطله برمی گردد (مانند دیواره های پیت، کپه های سنگ باطله، حوضچه های باطله فرآوری) که بر واکنش اکسیداسیون، مهاجرت اسید و خنثی سازی اسید اثر می گذارد.

عوامل دسته اول که سبب تولید اسید می گردند شامل کانیهای سولفیدی آهن، آب، اکسیژن برای تولید پساب و یون فریک ( $Fe^{3+}$ )، باکتری جهت تسريع واکنش اکسیداسیون و گرمای تولید شده می باشند. بعضی کانیهای سولفیدی براحتی اکسید می شوند (برای مثال پیریت، مارکازیت و پیروتیت) و بنابراین نسبت به دیگر سولفیدهای فلزی اثر مهمتری در تولید پساب اسیدی دارند. کانی های شکل دار<sup>۱</sup> ناحیه سطحی کوچکتری دارند که در معرض اکسیژن هوا و آب قرار دهند و در نتیجه اکسیداسیون آنها آرام تر می باشد. از سوی دیگر آب و اکسیژن برای تولید اسید لازم هستند. آب هم یک واکنش گر و هم یک واسطه برای فرآیند اکسیداسیون (توسط باکتری) است. در ضمن، محصولات اکسیداسیون توسط آن منتقل می شوند. اکسیژن برای انجام اکسیداسیون لازم است، مخصوصاً برای واکنشهایی که در pH زیر ۳/۵ توسط باکتری تسريع می شوند. باکتریهای مختلف با توجه به میزان pH و شرایط دمایی مختلف در فرآیند اکسیداسیون نقش دارند. در جدول ۲-۵ برخی از باکتریهای تسريع کننده واکنش اکسیداسیون و شرایط رشد آنها نشان داده شده است [سالمون، ۲۰۰۱].

1 - Euhedral

جدول ۲-۵- بعضی از باکتری های تسريع کننده فرآيند اكسيداسيون و شرايط مورد نياز براي رشد آنها  
[انجمن حمايت از محيط زيست آمريكا (EPA)، ۱۹۹۴]

| نحوه تغذيه  | هوازی | دما (درجه سانتیگراد) | pH      | میکروارگانیسم                    |
|-------------|-------|----------------------|---------|----------------------------------|
| Autotrophic | +     | ۱۰-۳۷                | ۴/۵-۱۰  | <b>Thiobacillus</b>              |
| "           | +     | ۱۵-۲۵                | ۰/۵-۶   | <b>T.ferrooxidans</b>            |
| "           | +     | ۱۰-۳۷                | ۰/۵-۶   | <b>T.thiooxidans</b>             |
| "           | +     | ۸-۳۷                 | ۳-۸/۵   | <b>T.neapolitanus</b>            |
| "           | -/+   | ۱۰-۳۷                | ۴-۹/۵   | <b>T.denitrificant</b>           |
| "           | +     | ۲۵-۳۵                | ۱/۹-۷   | <b>T.intermedius</b>             |
| "           | +     | ۲۵-۳۵                | ۲/۸-۶/۸ | <b>T.perometabolis</b>           |
| "           | +     | ۵۵-۸۵                | ۲-۵     | <b>Sulfolobus acidocalderius</b> |

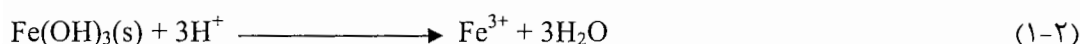
عوامل دسته دوم به دو صورت عمل می نمایند: یا خنثی کننده اسید هستند و یا با اضافه کردن یونهای فلزی محلول، مشخصه پساب خروجی را تغییر می دهند. مهم ترین کانیهای خنثی کننده اسید، کلسیت، دولومیت، آنکرایت ( $(Ca(Fe,Mg)(CO_3)_2)$ )، سیدریت منگنزدار ( $(Fe,Mn)CO_3$ ) و سیدریت ( $FeCO_3$ ) می باشد. کلسیت بیشترین قابلیت خنثی سازی را دارد. این کانی ها در واکنش با اسید حاصل از اکسیداسیون سولفیدها، باعث خنثی شدن حالت اسیدی پساب و ایجاد رسوبات مختلف و حتی تغییر رنگ پساب می گردند. محصولات واکنش اکسیداسیون (یونهای هیدروژن، یونهای فلزی و غیره)

می توانند با دیگر کانیها که خنثی کننده نیستند، هم واکنش دهند. این واکنش ها شامل تبادل یونی<sup>۱</sup> در

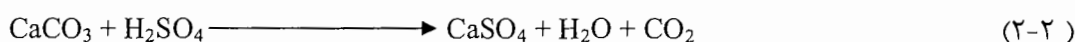
ذرات رس، رسوب گذاری ژئوپس و انحلال سایر کانی ها می باشند [میلز<sup>۲</sup>، ۲۰۰۲].

در زیر برخی از واکنشهای کانی های مختلف خنثی کننده با اسید آمده است.

۱- واکنش هیدروکسید آهن با اسید



۲- واکنش کلسیت با اسید



۳- واکنش دولومیت با اسید



انحلال کانی ها باعث آلوده شدن پساب اسیدی به فلزاتی مانند آلومینیوم، منگنز، مس، سرب و روی

می گردد [میلز، ۲۰۰۲].

عوامل دسته سوم که بر روی پساب اسیدی اثر می گذارد، مشخصات فیزیکی مواد، چگونگی

تولید اسید، مشخصات باطله و رژیم هیدرولوژی منطقه می باشد. مشخصات فیزیکی مواد مثل اندازه

ذرات، نفوذپذیری و مشخصات فیزیکی هوازدهی، در پتانسیل تولید اسید با اهمیت هستند. اندازه ذرات

بدین جهت خیلی مهم است که بر میزان سطحی که در معرض هوازدهی و اکسیداسیون قرار می گیرد،

1 - Ion – exchange reaction

2- Mills

اثر می گذارند.

## ۲-۴-۲-۳- اکسیداسیون کانی های سولفیدی فلزی و فرآیند های شیمیایی تولید کننده

### پساب اسیدی

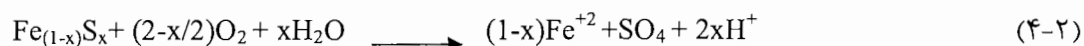
اکسیداسیون کانی های سولفید فلزی که با سنگ میزبان همراه می باشند، موجب تولید اسید در مناطق معدنی می گردد. اکسیداسیون کانی ها و تولید اسید سولفوریک، قبل از متأثر شدن از فعالیت معدنی، تابعی از فرآیندهای طبیعی هوازدگی می باشد. عملیات استخراج و فرآوری نرخ واکنشهای شیمیایی را افزایش می دهد که علت آن قرار گرفتن مواد سولفیدی در مجاورت هوا، آب و افزایش سطح ویژه آن کانیها می باشد. فرآیند اکسیداسیون، شامل چندین واکنش است که هر کانی سولفیدی نرخ اکسیداسیون مربوط به خود را دارد. برای مثال مارکاسیت و پیریت فرامبوئیدال سریعاً اکسید می گردند، در حالی که پیریت کریستالی به آرامی اکسید می شود. در جدول ۲-۶ لیستی از کانیهای سولفید فلزی ارائه شده است [انجمن حمایت از محیط زیست آمریکا (EPA)، ۱۹۹۴].

جدول ۲-۶- بعضی کانی های سولفید فلزی که می توانند پساب اسید را ایجاد نمایند  
[انجمن حمایت از محیط زیست آمریکا (EPA)، ۱۹۹۴]

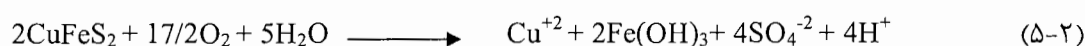
| ترکیب               | کانی       |
|---------------------|------------|
| FeS <sub>2</sub>    | پیریت      |
| FeS <sub>2</sub>    | مارکازیت   |
| CuFeS <sub>2</sub>  | کالکوپیریت |
| Cu <sub>2</sub> S   | کالکوسیت   |
| ZnS                 | اسفالریت   |
| PbS                 | گالن       |
| NiS                 | میلریت     |
| Fe <sub>1-x</sub> S | پیروتیت    |
| FeAsS               | آرسنوپیریت |
| HgS                 | سینابر     |

کانی های سولفیدی مهم در امر تولید پساب اسیدی، پیریت (FeS<sub>2</sub>)، مارکاسیت (FeS<sub>2</sub>) و پیروتیت (FeS<sub>1-x</sub>) می باشند. مارکاسیت شکل اورتورومبیک پیریت می باشد که فرمولی مشابه با پیریت دارد ولی نرخ تولید اسید و اکسیداسیون آن نسبت به پیریت سریع تر است که این امر مربوط به مورفولوژی گرد شده این کانی و اندازه ابعادی کوچک آن می باشد، نرخ اکسیداسیون اولیه پیروتیت ۲۰ تا ۱۰۰ برابر بیشتر از پیریت است و استیکیومتری پیروتیت تاثیر نسبی بر تولید اسید دارد. در فرمول پیروتیت مقدار x بین صفر تا ۰/۲۵ می باشد، زمانی که مقدار x، صفر است یعنی فرمول پیروتیت (FeS) می باشد، اسید تولید نمی شود [کتاب جامع پاکسازی و تعیین مشخصه مناطق معدنی متروک، ۲۰۰۱]. اگر کانی مورد نظر پیروتیت باشد طبق رابطه ۲-۴ در فرآیند اکسیداسیون و تولید اسید

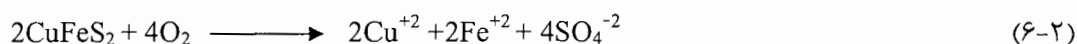
حاصل از پساب ها شرکت می کند.



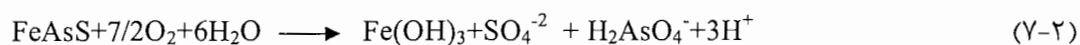
کانی های کالکوپیریت و مولیبدنیت، مقاوم ترین کانیهای سولفیدی در مقابل اکسیداسیون می باشند. البته اکسیداسیون کالکوپیریت، اسید تولید نمی کند و اکسیداسیون آهن دو ظرفیتی و هیدرولیز هیدراتهای آهن سه ظرفیتی در ادامه منجر به تولید اسید خواهد شد.



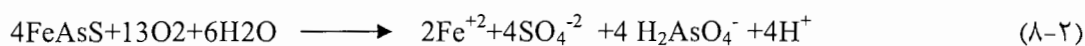
اکسیداسیون کالکوپیریت



در فرآیند اکسیداسیون آرسنوپیریت اگر آهن سه ظرفیتی اکسید کننده باشد، نرخ اکسیداسیون مانند نرخ اکسیداسیون پیریت می شود و اگر اکسیژن اکسید کننده باشد، نرخ اکسیداسیون آرسنوپیریت تا اندازه ای کمتر از پیریت است [کلینمن<sup>۱</sup>، ۲۰۰۱].



اکسیداسیون آرسنوپیریت



در جدول ۷-۲ کانی های سولفیدی و تعداد مولهای  $\text{H}^+$  آورده شده است.

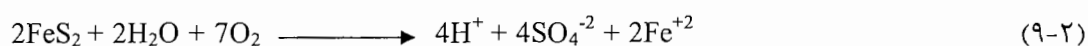
1- Kleinmann

جدول ۲-۷- لیست کانی های سولفیدی و تعداد مولهای  $H^+$  حاصل از اکسیداسیون آنها [برهارد<sup>۱</sup>، ۲۰۰۰]

| کانی       | ترکیب       | تعداد مولهای $H^+$ بر مول کانی |
|------------|-------------|--------------------------------|
| پیریت      | $FeS_2$     | ۴                              |
| مارکازیت   | $FeS_2$     | ۴                              |
| کالکوپیریت | $CuFeS_2$   | ۲                              |
| اسفالریت   | $ZnS$       | -                              |
| گالن       | $PbS$       | -                              |
| میلریت     | $NiS$       | -                              |
| پروتیت     | $Fe_{1-x}S$ | ۰ تا ۲                         |
| آرسنوپیریت | $FeAsS$     | ۲                              |

اکسیداسیون پیریت و مارکاسیت شامل واکنش ها و فرآیندهایی می باشند که در ذیل مورد

بررسی قرار می گیرند.



در واکنش بالا که بیانگر اکسیداسیون پیریت می باشد، به ازاء هر مول پیریت، دو مول اسید تولید

می شود. یون  $S_2^{2-}$  به یونهای هیدروژن و سولفات اکسید می شود. برای ادامه واکنش اکسیژن مصرف

شده باید جایگزین شود که گاهی این اکسیژن از آبهای سطحی یا زیرزمینی تأمین می شود. البته گاهی

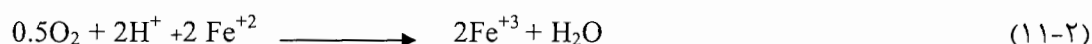
یون فریک  $Fe^{3+}$  نقش اکسید کننده را بازی می کند و کانی پیریت را طبق واکنش زیر اکسید می کند:



1- Berhard

این واکنش نسبت به واکنش اکسید شدن پیریت توسط اکسیژن، اسید بیشتری تولید می کند.

یون فریک  $Fe^{3+}$  از واکنش زیر حاصل شده است:



در اینجا یون آهن دو ظرفیتی ( $Fe^{2+}$ ) حاصل از اکسیداسیون پیریت توسط اکسیژن، بوسیله اکسیداسیون

مجدد به  $Fe^{3+}$  تبدیل می شود. این واکنش بوسیله باکتری تسريع می شود [میشل، ۲۰۰۰].

اکسیداسیون پیریت توسط یون  $Fe^{3+}$  در شرایط عادی به آرامی انجام می گیرد، اما در حضور باکتریهای

اکسید کننده یون  $Fe^{2+}$ ، بویژه باکتری تیوباسیلوس فرواکسیدان<sup>۱</sup> (که یون  $Fe^{2+}$  را به  $Fe^{3+}$  اکسید

می کند)، نرخ واکنش اکسیداسیون ۵ تا ۲۰ برابر افزایش می یابد [میشل، ۲۰۰۰]. بهترین دما و pH

برای فعالیت باکتری تیوباسیلوس فرواکسیدان، دمای حدود ۳۰ درجه سانتیگراد و pH حدود ۳/۲

می باشد. مشخصات باکتری تیوباسیلوس فرواکسیدان به قرار زیر است:

۱- هوازی است

۲- لیتوتروپیک است (یعنی انرژی مورد نیاز خود را با اکسیداسیون یک ماده غیر ارگانیکی که در این

حالت  $Fe^{2+}$  می باشد، به دست می آورد).

۳- اتوتروپیک است (یعنی  $CO_2$  را به عنوان منبع کربن استفاده می کند).

۴- در pH کمتر از ۳/۵ رشد می نماید.

<sup>1</sup>-Thiobacillus Ferrooxidans

فرآیند شیمیایی بعدی رسوب گذاری هیدروکسیدفریک موسوم به پسرزرد<sup>۱</sup> طبق واکنش زیر می باشد [میشل، ۲۰۰۰]:



در اینجا به ازاء رسوب یک مول هیدروکسید، سه مول اسید تولید می شود.  $\text{Fe(OH)}_3$  آمورفی شکل و به رنگ زرد، نارنجی و قرمز می باشد.

آخرین فرآیند، بی آب شدن هیدروکسید فریک می باشد.



مشخصات انجام این واکنش ایجاد پوشش اکسید آهن نارنجی رنگ یا لجن نارنجی رنگ می باشد [میشل، ۲۰۰۰].

نرخ انجام واکنش اکسیداسیون پیریت توسط اکسیژن به صورت زیر می باشد [گزارش تکنیکی دفن باطله های فرآوری زیردرا، ۲۰۰۳]:

$$\text{Rate}\left(\frac{\text{mol}}{\text{s}}\right) = \frac{K(T)m[\text{O}_{2(aq)}]^{0.5}[\text{H}^+]^{-0.11}}{A_{S,pyr}} \quad (14-2)$$

که در رابطه بالا:

m: جرم سنگ باطله یا ماده مورد نظر به گرم

K(T): ثابت نرخ واکنش

1-Yellow boy

2 - Submarine tailing disposal

T: دما

 $A_{s,pyr}$ : ناحیه سطحی پیریت ( $m^2/g^2$ )

این رابطه نشان می دهد، نرخ واکنش با غلظت اکسیژن رابطه مستقیم و با سطح مواد رابطه عکس دارد.  $O_2$  و  $Fe^{3+}$  در اکسیداسیون پیریت نقش واسطه را دارند. واکنشهای انجام شده در سطح پیریت، با توجه به سطح ذرات کنترل می شوند. طبق قانون Herin، رابطه بین نرخ اکسیداسیون پیریت و غلظت اکسیژن بصورت زیر می باشد [گزارش تکنیکی دفن باطله های فرآوری زیردريا، ۲۰۰۳]:

$$Rate = 10^{-6.77} [O_2]^{0.5} \quad (۱۵-۲)$$

نرخ اکسیداسیون پیریت در غیاب اکسیژن و توسط یون فریک بصورت زیر می باشد [گزارش تکنیکی- دفن باطله های فرآوری زیردريا، ۲۰۰۳]:

$$Rate = 10^{-9.74} \frac{[Fe^{3+}]^{0.5}}{[H^+]^{0.5}} \quad (۱۶-۲)$$

که  $[Fe^{3+}]$  و  $[H^+]$  بصورت غلظت مولی می باشند. نرخ اکسیداسیون به مقدار زیاد به غلظت  $[Fe^{3+}]$  بستگی دارد.  $Fe^{3+}$  نسبت به  $O_2$ ، پیریت را سریعتر اکسید می کند، زیرا بطور شیمیایی به سطح پیریت می پیوندد. در غیاب باکتری، نرخ اکسیداسیون پیریت با افزایش غلظت  $CO_3^{2-}$ ، افزایش می یابد، زیرا تشکیل کمپلکس بی کربنات آهن بر روی سطح پیریت موجب اکسیداسیون سریع  $Fe^{2+}$  می شود [سالمون، ۲۰۰۱]

مسأله مهم در مدیریت باطله جلوگیری از انجام واکنشهای اکسیداسیون مجدد می باشد. واکنش مجدد پیریت به کانی شناسی کانسنگ وابسته می باشد که آنهم به اثرات ناشی از وجود ناخالصی های سولفیدی همراه پیریت، بر می گردد. وجود سولفیدهای دیگر در تماس با پیریت، در شروع فرآیند هوازدگی، مهمترین پارامتری است که بر فعالیت مجدد پیریت اثر می گذارد. کمی ناخالصی های همراه با پیریت معمولاً، باعث افزایش فعالیت مجدد پیریت می شود. پیریت به این علت که بیشترین میزان ناخالصی را دارد، کمترین فعالیت مجدد را دارا می باشد [کروز<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۰].

---

1 -Cruz

# فصل سوم

موقعیت جغرافیایی، زمین شناسی منطقه و مشاهدات صحرایی

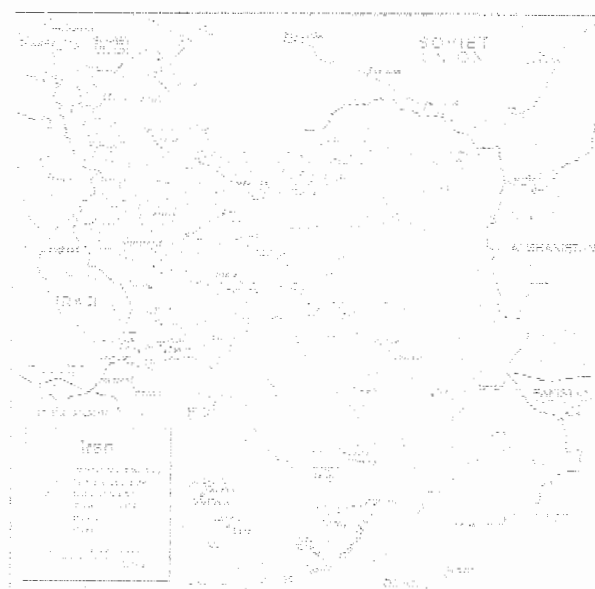
### ۳-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه

منطقه زغالی البرز شرقی بخش از ناحیه البرز است که حفاصل بین جاده های سمنان- ساری و شاهرود - آزاد شهر را در بر می گیرد و دارای دو حوضه زغالی مهم شاهرود- دامغان و قشلاق می باشد. فاصله این محدوده از جاده اصلی تهران - مشهد در حدود ۴۵ کیلومتر است. محدوده البرز شرقی دارای چهار بخش اصلی زغالی کلاریز، پشکلات، رزمجا و ممدویه است که در شمال منطقه مهماندوست قرار دارند. مهماندوست و طزره نزدیکترین روستاها به این مناطق زغالی هستند. مهماندوست پایگاه صنعتی البرزشرقی بوده که تعمیرگاه، انبار و نیروگاه اصلی برق مجتمع البرزشرقی در آن قرار دارد. مهماندوست در ۱۰ کیلومتری جنوب شرقی منطقه زغالی رزمجا واقع شده است. کارخانه زغال‌شوئی البرزشرقی در مسیر روستای مهماندوست - طزره، بعد از روستای مهماندوست و در حدود ۱۱ کیلومتری منطقه رزمجا قرار دارد. شکل ۳-۱ نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه و راههای دسترسی به منطقه را نشان می دهد. شکل ۳-۲ نیز کروکی منطقه و موقعیت آنرا نسبت به جاده اصلی شاهرود به دامغان را نشان می دهد (بدون مقیاس). در شکل ۳-۳ نیز وضعیت مورفولوژی محدوده مورد مطالعه، کارخانه زغالشویی،

دپوی باطله و پروفیل های ژئوفیزیک که در عکس ماهواره ای منطقه مشخص شده اند را نشان می دهد. این منطقه دارای آب و هوای کوهستانی و حداکثر ارتفاع ۲۶۰۰ متر است که دارای زمستانی سرد و تابستانی معتدل و گرم است. متوسط بارندگی در ۱۰ سال گذشته ۲۵۳ میلیمتر بوده است [سالنامه آماری اداره هواشناسی، ۱۳۸۵].

### ۲-۳ تاریخچه اکتشاف زغال در منطقه

مطالعات پی جویی رسوبات زغالدار در منطقه سال ۱۳۴۹ شروع شد و اکتشاف تفصیلی در سال ۱۳۵۵ به اتمام رسید. عملیات بهره برداری برای اولین بار در سال ۱۳۵۱ در منطقه پشکلات از تونل ۶ روی لایه P<sub>10</sub> آغاز گردید و در سال ۱۳۵۳ پروژه استخراج از تونل بزرگ انجام شد. رسوبات زغالی مربوط به دوره تریاس بالایی و ژوراسیک پایینی می باشند و این سری رسوبات بین دو طبقه آهکی دولومیتی الیکا در قسمت تحتانی و آهکهای ضخیم لار در قسمت فوقانی قرار گرفته است. سنگهایی که در این رسوبات یافت می شود شامل دولومیت، آهکهای تریاس و ژوراسیک فوقانی و سری گچ دار که در نزدیکی دره رزمجا دیده می شود [اکتشاف تفصیلی رزمجا، ۱۳۶۰].



در این نقشه، مرزهای ایران با کشورهای همسایه و همچنین مرزهای استان مکران با استان‌های همسایه آن مشخص شده است. این نقشه به منظور نمایش موقعیت جغرافیایی استان مکران در ایران تهیه شده است.

شکل ۴-۱: مرزهای استان مکران با کشورهای همسایه و استان‌های همسایه آن (بر اساس نقشه جغرافیایی ایران، ۱۳۸۰)



شکل ۴-۲: مرزهای استان مکران با کشورهای همسایه و استان‌های همسایه آن (بر اساس نقشه جغرافیایی ایران، ۱۳۸۰)



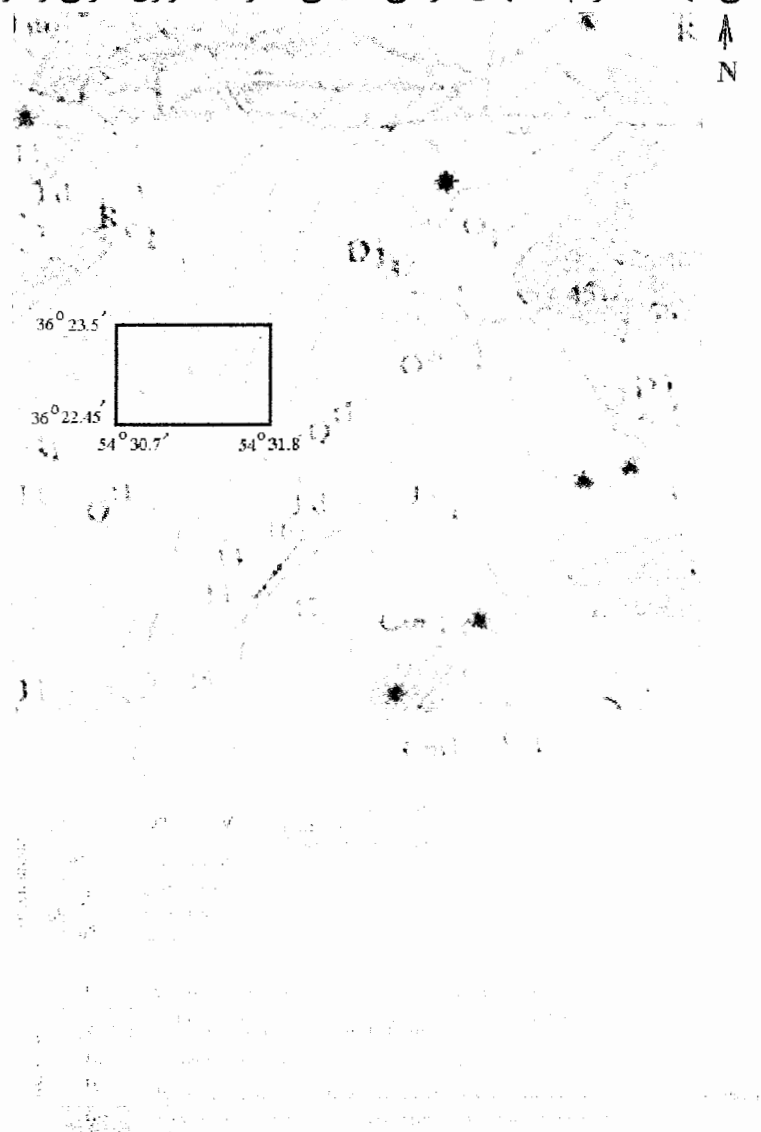
شکل ۳-۳- عکس ماهواره ای منطقه مورد مطالعه که در آن دیوی زغال و پروفیل های ژئوفیزیک مشخص شده است [سازمان فضایی ایران، ۱۳۸۵].

## ۳-۳- زمین شناسی منطقه

از نظر موقعیت زمین شناسی منطقه زغال خیز طزره در نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ شاهرود

قرار می گیرد. سنگهای رخنمون یافته در منطقه شامل ماسه سنگ و شیلهای زغال دار مربوط به سازند

شمشک، رسوبات آبرفتی عهد حاضر، پادگانهای آبرفتی قدیمی همراه با گراول مارنی و کوارتز می باشند.



شکل ۳-۴- بخشی از نقشه زمین شناسی شاهرود با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، ناحیه محدوده مورد مطالعه بصورت کادر مستطیلی مشخص شده است [سازمان زمین شناسی، ۱۳۸۰]

شکل ۳-۴ نقشه زمین شناسی منطقه را نشان می دهد. مهمترین و فراوان ترین ماده ماده معدنی منطقه زغال سنگ می باشد که در تناوبهای شیلی سازند شمشک در سرتاسر منطقه بصورت رگه ها و عدسیهای گسترش دارد. این زغالسنگ ها از انواع چرب و کک شو بوده که توسط شرکت زغالسنگ البرز شرقی مورد بهره برداری قرار می گیرد.

### ۳-۴- تکتونیک منطقه

مجتمع زغالدار طزره قسمت جنوبی یال ناودیس میاناب را تشکیل می دهد و منطقه رزمجا در قسمت مرکزی این مجتمع قرار گرفته است. ساختمان کلی مجتمع زغالدار طزره به صورت منوکلینال می باشد. شیب رسوبات در شمال و شمال شرقی از ۲۰-۲۵ درجه و گاهی به ۵۵ درجه افزایش می یابد. جهت شیب طبقات از ۳۴۰ درجه در غرب منطقه تا ۲۰ درجه در شرق منطقه تغییر می کند. ساختمان منطقه در اکثر جاها در اثر عملکرد گسلهای متعدد خرد شده و بصورت فرسایش یافته مشاهده می گردد و جابجایی این گسلها متغیر بوده و از ۱ تا دهها متر تغییر می نماید.

بطور کلی نیروها و فشارهای تکتونیکی چین خوردگیهای اصلی و عوارض بسیار دیگری از جمله چین های فرعی، گسلها و درزه هایی در این منطقه ایجاد نموده اند و همچنین در کنار این اتفاقات این روراندگی ها و فروریختگیهای زیادی در لایه های سست و لغزنده ایجاد شده است.

در این منطقه اکثر گسلها نرمال بوده و همچنین چند گسل رورانده در ضمن مرحله بوجود آمدن گسلهای نرمال در یک زون گسلی قابل مشاهده است ولی میزان جابجایی آن کم است. در منطقه ۱۸

گسل اصلی با جابجایی و شکستگی زیاد قابل مشاهده می باشد [اکتشاف تفصیلی رزمجا، ۱۳۶۰].

### ۳-۵- کارخانه زغالشویی البرز شرقی

کارخانه زغالشویی البرز شرقی دارای قدمتی در حدود ۳۰ سال می باشد. کارخانه زغالشویی در مسیر جاده مهماندوست - دامغان و در حدود ۱۱ کیلومتری منطقه رزمجا قرار دارد. فرآیند مورد استفاده در این کارخانه، تغلیظ زغال های استخراج شده از معدن زغال طزره، قشلاق و در واقع البرز شرقی و حتی در برخی موارد معدن زغال طبس می باشد. این کارخانه سوخت مورد نیاز کارخانه ذوب آهن اصفهان را تامین می کند. خوراک ورودی کارخانه در حدود ۶۰۰ هزارتن در سال می باشد و بازیابی میزان زغال در آن حدود ۵۰ درصد است، یعنی چیزی در حدود نیمی از خوراک ورودی که حدود ۳۰۰ هزار تن می باشد شسته شده و بقیه خوراک به باطله تبدیل می شود [آرشیو البرز شرقی، ۱۳۸۵]. این خوراک قبل از ورود به کارخانه، بایستی توسط آزمایشگاه کیفیت زغال مورد بررسی قرار گرفته تا پس از تأیید و در زمان مناسب به کارخانه فرستاده شود. البته قبل از ورود به کارخانه در محوطه آن دپو می گردد، تا در زمان مناسب به کارخانه فرستاده شود. در کارخانه زغالشویی هیچگونه خردایشی بر روی زغال انجام نمی شود، بلکه زغال های ورودی دسته بندی شده و وارد جیگ می شود. پس از ورود خوراک به درون جیگ، زغال درشت تا ابعاد ۱۰ میلیمتر از باطله جدا شده و باطله های درشت توسط الواتور به بیرون کارخانه حمل شده و سپس توسط کامیون های در نظر گرفته شده برای انباشت منتقل می گردند. بخش زیر ۱ میلیمتر (اسلاری جیگ ماشین) به کلاسیفایر منتقل شده، دانه بندی گشته و سپس فلوتاسیون می شود.

در تانک های آماده سازی فلوئاسیون، مواد بوسیله روغن کاج و گازوئیل آماده سازی شده و پس از آن وارد سلول های فلوئاسیون می گردد. در سلول های فلوئاسیون زغال دانه ریز از خاکستر جدا شده و باطله پس از آگیری در تیکنر بوسیله کانالهایی به سد باطله فرستاده می شود.

بنابراین فرآیند مورد استفاده شده در کارخانه دو نوع باطله های تولید می شود:

۱- باطله تولید شده از جیگ ماشین

۲- باطله های تولید شده از فرآیند فلوئاسیون

همانطور که اشاره شد بازیابی زغال، ۵۰ درصد می باشد، یعنی در حدود نیمی از خوراک ایجاد باطله می کند که از این مقدار باطله تولید شده ۸۰ درصد مربوط به جیگ ماشین و ۲۰ درصد مربوط به فلوئاسیون می باشد. با توجه به مدت زمان طولانی از انجام فعالیت کارخانه زغالشویی طزره در حدود ۳ میلیون باطله در اطراف کارخانه انباشت شده است [آرشیو البرز شرقی، ۱۳۸۵].

باید توجه کرد که جیگ با روش ثقلی کار تغلیظ زغال را انجام می دهد. البته به علت اینکه معمولاً زغال دارای چگالی پایینی نسبت به مواد بی ارزش همراه (باطله) است، از این رو موادی با چگالی بالاتر همانند پیریت با چگالی ۵۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب به جیگ وارد می شوند. از طرفی به دلیل اینکه سختی پیریت در مقایسه با کانیهای موجود در باطله بیشتر است و به سبب عدم وجود سیستم خردایش در کارخانه، ابعاد باطله های پیریت درشت تر بوده و بخش اعظم آن در باطله جیگ قرار می گیرد.

## ۳-۶- مشاهدات صحرایی

همانطور که در فصل قبل اشاره شد، مهمترین آلودگی زغال ایجاد پساب اسیدی می‌باشد. اثرات زیست محیطی پساب اسیدی ناشی از زغال به گونه ای است که اغلب به صورت بصری قابل درک و مشاهده است. به همین دلیل در مطالعات پیش بینی و بررسی قابلیت تولید پساب اسیدی، مشاهدات صحرایی یکی از پارامترهای مهم به شمار می‌رود. در صورتی که معدن بدون پیش بینی قابلیت تولید پساب اسیدی ایجاد شده باشد و اکنون تصمیم به انجام مطالعات پیش بینی، جلوگیری و یا کنترل پساب اسیدی اتخاذ گردد، بازدید از منطقه و ثبت مشاهدات یکی از بهترین راههای بررسی قابلیت تولید پساب اسیدی و اثرات آن در طول زمان است. از آنجا که حدود ۳۰ سال از افتتاح اولین معدن و همچنین کارخانه زغالشویی البرزشرقی می‌گذرد، بدیهی است که در صورت وجود پساب اسیدی، اثرات تشکیل آن بایستی قابل مشاهده و شناسایی باشد. شکل در حقیقت از مطالعات صحرایی به عنوان مقدمه‌ای جهت شناسایی منابع آلودگی، ثبت اثرات احتمالی و در نهایت نمونه برداری صحیح و برداشت های ژئوفیزیکی پس از تشخیص منابع آلودگی استفاده شده است.

## ۳-۷- نوع، محل انباشت باطله ها در کارخانه زغالشویی البرزشرقی

همانطور که اشاره گردید دو نوع باطله در اطراف کارخانه شناسایی شده است:

۱- باطله های جیگ ماشین

۲- باطله های فلوتاسیون

باطله ها در ۵ منطقه اصلی در اطراف کارخانه زغالشویی انباشت شده اند. باطله های انباشت شده، هر کدام مربوط به نوع و قدمت خاصی هستند. در جدول ۳-۱ محل، نوع و مدت زمان انباشت آورده شده است.

جدول ۳-۱- محل، نوع و مدت زمان انباشت باطله ها در کارخانه زغالشویی البرزشرقی  
[اصلاح شده از سهرابی و همکاران، ۱۳۸۳]

| نوع باطله              | زمان انباشت (سال) | موقعیت انباشت نسبت به کارخانه |
|------------------------|-------------------|-------------------------------|
| جیگ جدید               | ۰ تا ۲            | شمال شرقی                     |
| جیگ قدیمی              | ۰ تا ۱۰           | شمال شرقی                     |
| فلوتاسیون              | ۰ تا ۲            | سد باطله فلوتاسیون            |
| فلوتاسیون با عمر متوسط | ۴ تا ۱۰           | جنوب شرقی                     |
| فلوتاسیون قدیمی        | بیشتر از ۱۰       | جنوب غربی                     |

### ۳-۸- روش انباشت باطله ها

روش انباشت باطله ها در احتمال تولید اسید آنها موثر می باشد. در حقیقت روش انباشت، میزان دسترسی به رطوبت و اکسیژن که عوامل اصلی جهت تشکیل پساب اسیدی هستند را تحت تأثیر قرار می دهند.

#### ۳-۸-۱- نحوه انباشت باطله های جیگ ماشین

در منطقه البرزشرقی باطله های جیگ پس از خروج از کارخانه توسط کامیون ها به محل دپو حمل و به صورت کپه هایی انباشته می شوند. پس از زیاد شدن و تجمع کپه ها و کاهش رطوبت، باطله ها بوسیله بلدوزر پخش و سپس به کمک گریدر مسطح می شوند و دوباره باطله های جدید با همان شیوه

قبلی روی آنها انباشت می شود. در محل انباشت باطله ای جیگ هیچ گیاهی رشد نکرده است و منطقه عاری از پوشش گیاهی است. البته لازم به ذکر است که در نزدیکی مکان انباشت باطله های قدیمی جیگ درخت دیده می شود. همانطور که ذکر شد، وجود کانی های سولفیدی پیریت مهمترین عامل تولید اسید است و غالباً به دلیل چگالی زیاد در باطله های جیگ قرار می گیرد. به همین سبب پیریت هایی به رنگ برنجی در چنین باطله هایی مشاهده شد. شکل ۳-۵ محل قرارگیری دپوی باطله های قدیمی جیگ ماشین را نشان می دهد. در شکل ۳-۶ نمایی از کپه های باطله جدید جیگ ماشین نشان داده شده است.



شکل ۳-۵- نمایی از محل انباشت باطله های قدیمی جیگ ماشین



شکل ۳-۶- نمایی از کپه های انباشت باطله جدید جیگ ماشین

### ۳-۸-۲- نحوه انباشت باطله های فلوتاسیون

باطله های فلوتاسیون ابتدا بوسیله کاناهایی از کارخانه به سد باطله ای که در جنوب کارخانه احداث شده، منتقل می گردد. در این منطقه دو سد باطله وجود دارد که همواره یکی فعال و دیگری در حال خشک اندازی و سپس تخلیه است. نکته قابل ذکر این است که سد های باطله در محل های انباشت باطله دارای زیر سازی نمی باشند و به راحتی می توانند آب زیر زمینی را آلوده کنند. حجم هر یک از سد ها در حدود ۱۰۰ هزار تن است [آرشیو البرز شرقی، ۱۳۸۵]. البته سد شماره ۱ کمی از سد شماره ۲ بزرگتر است. همانگونه که ذکر شد پس از پر شدن سد ۱ جریان پالپ باطله به سد ۲ هدایت و سد باطله پرشده، خشک اندازی می گردد. پس از گذشت چندین ماه و کاهش رطوبت باطله های سد، این باطله ها بوسیله کامیون به محل های انباشت دائمی که در شرق و جنوب شرقی کارخانه قرار دارند، منتقل می گردند.

در محل انباشت باطله های فلوتاسیون گیاه رشد نموده که به نظر می رسد حاکی از آلودگی کمتر خاک در آن محل باشد. شکل ۳-۷ تصویری از رویش گیاهان را در اطراف سد فلوتاسیون نشان می دهد. آب مورد استفاده در فرآیند کارخانه و آب موجود در سد باطله تنها آب های قابل مشاهده منطقه هستند.  $pH$  آب در ورود به کارخانه و آب سد باطله فلوتاسیون خنثی می باشند. آبهای زیرزمینی- دامغان، ۱۳۸۵]، در نتیجه نرخ نفوذ اکسیژن در این باطله ها کمتر بوده که این امر به نوبه خود سرعت اکسیداسیون پیریت و نرخ تولید اسید کمتری را به همراه خواهد داشت.



شکل ۳-۷- نمایی از رویش گیاهان در اطراف انباشت باطله های فلوتاسیون

### ۳-۹- انتخاب محل انباشت باطله مورد نظر

با توجه به بازدید صحرایی از محل و همچنین جمع آوری اطلاعات موجود و از آنجایی که در آزمایشات اولیه دپوی جیگ قدیمی به عنوان مولد تولید پساب اسیدی شناخته شده است

## فصل چهارم

مطالعات ژئوفیزیکی در اکتشاف آلودگی  
باطله ها

## ۴-۱- مقدمه

در این فصل به بررسی مشکلات ناشی از آلودگی‌های باطله‌های فراوری زغال طزره با استفاده از روش‌های ژئوفیزیک پرداخته می‌شود. به دلیل سرعت و کارایی بالا ابتدا با استفاده از روش <sup>۱</sup>VLF زونهای آلوده ناشی از باطله‌ها در منطقه مورد بررسی شناسایی گردید و سپس در مرحله بعد با استفاده از نتایج به دست آمده از مرحله قبل موقعیت پروفیل‌های ژئوالکتریک مشخص شدند تا با بکارگیری روش ژئوالکتریک در مراحل زمانی مختلف نحوه گسترش جانبی و عمقی زونهای آلوده مشخص شود.

## ۴-۲- روش VLF

روش VLF یکی از انواع روش‌های الکترومغناطیسی<sup>۲</sup> است. امواج به کار برده شده در این روش دارای فرکانس بیشتری نسبت به سایر روشهای ژئوفیزیکی می‌باشند، که امکان انجام برداشت‌های EM را بدون استفاده از فرستنده‌های محلی فراهم می‌نماید. در این روش از فرستنده‌های رادیویی که برای مصارف نظامی تحت فرکانس‌های با باند ۵-۲۵ کیلو هرتز، که در سراسر جهان پراکنده‌اند، استفاده

1- Very low frequency

2 - Electromagnetic (EM)

می شود [تلفورد و همکاران، ۱۹۹۸]. گیرنده‌های این روش زاویه شیب، فاز یا مؤلفه‌های حقیقی و مجازی میدان‌های ثانویه القاء شده از امواج رادیویی، در اثر رسانه‌های زیرزمینی را ثبت می کنند. با وجود پاره‌ای از محدودیت ها، روش VLF به علت آسان، سریع و کم هزینه بودن، کاربرد وسیعی برای اکتشاف کانسارهای فلزی و آب های زیرزمینی و به تازگی شناسایی آلودگی‌های زیست محیطی پیدا کرده است و اطلاعات مفیدی از موارد فوق را می توان به کمک این روش به دست آورد [میلسون، ۲۰۰۲].

#### ۴-۲-۱- اساس اندازه گیری با استفاده از روش الکترومغناطیس

میدان الکترومغناطیسی در برخورد با یک زون که قابلیت هدایت الکتریکی را داراست، تغییر فاز می دهد و به عنوان یک چشمه میدان ثانویه عمل می کند که در مقایسه با میدان اولیه دارای همان فرکانس ولی با فاز متفاوت می باشد. درچنین مواردی با یک گیرنده میدان‌های اولیه و ثانویه ثبت می گردد و با توجه به اختلاف فاز و دامنه این دو میدان می توان به وجود میدان ثانویه و در نتیجه وجود یک زون هادی پی برد.

#### ۴-۲-۱-۱- روابط فاز و دامنه

اگر جریان متناوبی با فرکانس  $f$  و شدت  $I_p$  در اثر عبور از سیم پیچ فرستنده یک میدان مغناطیسی اولیه ( $H_p$ ) ایجاد کند، این میدان با  $I_p$  متناسب و هم فاز بوده و رابطه زیر بین آنها برقرار می باشد:

$$H_p = K I_p \sin(\omega t) \quad (1-4)$$

که در رابطه بالا :

K: پارامتری است که به شکل هندسی، تعداد دور و سطح سیم پیچ بستگی دارد.

$\omega$ : میزان فرکانس زاویه ای است که مقدار آن از طریق رابطه ۲-۴ محاسبه می گردد:

$$\omega = 2 \pi f \quad (2-4)$$

حال اگر این میدان روی یک ساختار هادی اعمال شود یک جریان القایی در داخل جسم هادی ایجاد می گردد. این جریان به نوبه خود یک میدان الکترومغناطیسی ثانویه  $H_s$  در اطراف آن ایجاد می نماید که با  $H_p$  متناسب بوده و به اندازه ۹۰ درجه با آن اختلاف فاز دارد. وجود قابلیت هدایت الکتریکی جسم موجود در زیر سطح زمین نیز باعث اختلاف فازی برابر با  $\phi$  نسبت به اختلاف پتانسیل القایی می شود. بنابراین اختلاف فاز بین میدان های اولیه و ثانویه عبارت خواهد بود :

$$\theta_p - \theta_s = (90 + \phi) \quad (3-4)$$

$$\phi = \text{Arc tan}\left(\frac{\omega L}{R}\right) \quad (4-4)$$

که در رابطه بالا:

R: مقاومت الکتریکی جسم هادی

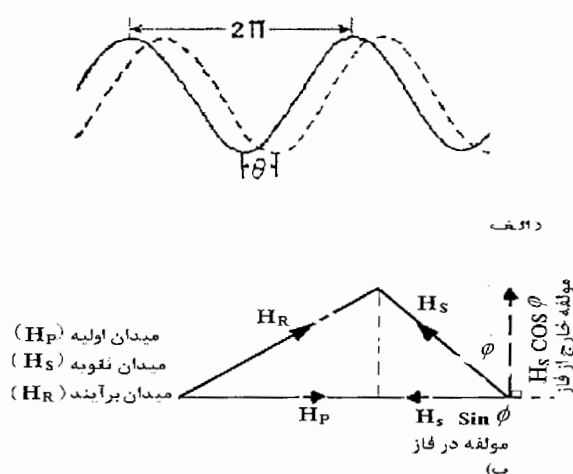
f: فرکانس میدان  $H_p$

L: القاء جسم هادی

$\phi$ : تأخیر فاز اضافی است که توسط ویژگیهای رسانا تعیین می گردد.

مقدار  $\omega$  نیز از رابطه ۲-۴ محاسبه می گردد.

شکل (۱-۴) این تغییر فاز را به خوبی نشان می دهد.



شکل ۱-۴- روابط فاز و اندازه میدان اولیه و ثانویه و بردار منتج آنها را نشان می دهد.  
[تلفورد و همکاران، ۱۹۹۸]

از شکل ۱-۴ و معادله ۳-۴ این نتیجه حاصل می شود که برای یک جسم هادی خوب مقدار  $\phi$

به ۹۰ درجه نزدیک خواهد شد، در حالیکه برای اجسام نارسانا مقدار  $\phi$  تقریباً به صفر میل می کند. در

شکل (۱-۴-ب) تصویر  $H_s$  روی محور افقی ( $H_p$ ) برابر با  $H_s \sin \phi$  بوده که به اندازه  $\pi$  با  $H_p$  اختلاف

فاز داشته که در این حالت به آن مؤلفه هم فاز<sup>۱</sup> یا حقیقی<sup>۲</sup> می گویند. تصویر قائم  $H_s$  برابر با  $H_s \cos \phi$

بوده که به اندازه ۹۰ درجه با  $H_p$  اختلاف فاز دارد، در این حالت به این مؤلفه غیر هم فاز<sup>۳</sup> یا مجازی<sup>۴</sup>

1 - in phase component

2 - Real

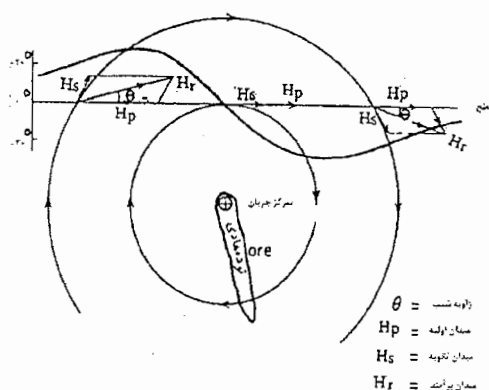
3 - Out of phase component

4 - Imaginary

می‌گویند [تلفورد و همکاران، ۱۹۹۸].

#### ۴-۲-۱-۲- زاویه شیب<sup>۱</sup>

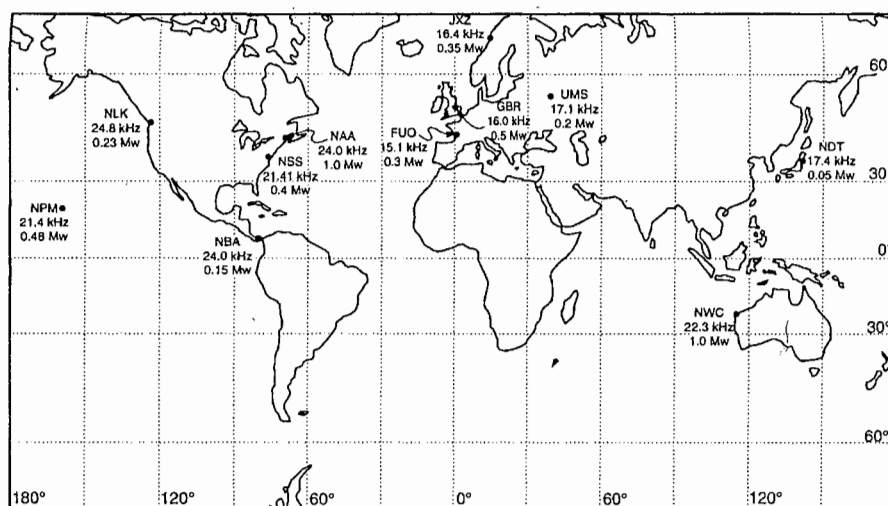
با توجه به شکل ۴-۱ زاویه بردار  $H_R$  با سطح افق زاویه شیب یا زاویه تیل (  $\theta$  ) میدان  $H_R$  می‌گویند. در روش زاویه تیل، اندازه گیری تغییرات این زاویه (  $\theta$  ) مد نظر می‌باشد. زمانی که از یک حلقه قائم و با یک سیم عمودی بلند (آنتن) به عنوان فرستنده در عملیات صحرایی استفاده می‌شود، میدان  $H_p$  افقی خواهد بود و میدان ثانویه  $H_s$  مطابق شکل ۴-۲ در اطراف توده های زیر سطحی به صورت دوایر متحدالمرکز منتشر می‌شود. در اطراف فرستنده میدان منتج  $H_R$  به سمت بالا شیب دارد که این شیب رفته رفته که حلقه گیرنده به سمت زون هادی نزدیک می‌شود کم شده و در روی توده مقدار شیب (تیل) به صفر می‌رسد. موقعی که حلقه گیرنده از روی زون هادی دور می‌شود، دوباره زاویه شیب افزایش یافته ولی این بار در جهت مخالف و به سمت پایین قرار دارد [کلاگری، ۱۳۷۱].



شکل ۴-۲- نحوه اندازه گیری متد زاویه تیل [کلاگری، ۱۳۷۱]

## ۴-۲-۲- مشخصات و موقعیت ایستگاه‌های فرستنده VLF

فرستنده‌های VLF<sup>۱</sup> در مکان‌هایی در سراسر جهان در حال نشر امواج رادیویی می‌باشند و تقریباً سراسر جهان را پوشش می‌دهند. توان این فرستنده‌ها بین ۵۰-۱۰۰۰ کیلو وات می‌باشد. شکل ۳-۴ مکان فرستنده‌های VLF مهم را در سراسر جهان نشان می‌دهد و در جدول ۱-۴ مشخصات کامل چند ایستگاه VLF مهم در جهان آورده شده است.



شکل ۳-۴- موقعیت فرستنده‌های مهم جهان [میلسون، ۲۰۰۲]

1- VLF transmitter

جدول ۴-۱- مشخصات فرستنده های مهم [مک نیل و لابسون، ۱۹۷۵]

| ایستگاه | فرکانس<br>(کیلو هرتز) | مکان                                | مختصات       | توان تقریبی<br>(کیلو وات) |
|---------|-----------------------|-------------------------------------|--------------|---------------------------|
| NAA     | ۲۴/۰                  | کاتلر ایالت ماین ایالات متحده       | ۶۷W۱۷-۴۴N۳۹  | ۱۰۰۰                      |
| NLK     | ۲۴/۸                  | سیاتل، ایالت واشنگتن ایالات متحده   | ۱۲۱W۵۵-۴۸N۱۲ | ۱۲۵                       |
| NSS     | ۲۱/۴                  | آناپلیس، ایالت ماریلند ایالات متحده | ۷۶W۲۷-۳۸N۵۷  | ۴۰۰                       |
| NAU     | ۲۸/۵                  | پورتوریکو                           | ۶۷W۱۱-۱۸N۲۳  | ۱۰۰                       |
| NPM     | ۲۳/۴                  | لوالوآلی، هاوایی                    | ۱۵۸W۰۹-۲۱N۲۵ | ۶۰۰                       |
| BGR     | ۱۶/۰                  | راگبی، انگلستان                     | ۰۱W۱۱-۵۲N۲۲  | ۷۵۰                       |
| UMS     | ۱۷/۱                  | مسکو، روسیه                         | ۳۷E۰۱-۵۵N۴۹  | ۱۰۰۰                      |
| JXZ     | ۱۶/۴                  | هلگلدن، نروژ                        | ۱۳E۰۱-۶۶N۲۵  | ۳۵۰                       |
| FUO     | ۱۵/۱                  | بوردو، فرانسه                       | ۰۰W۴۸-۴۴W۶۵  | ۵۰۰                       |
| NWC     | ۲۲/۳                  | North west Cape واقع در استرالیا    | ۱۱۴E۰۹-۲۱S۴۷ | ۱۰۰۰                      |
| NDT     | ۱۷/۴                  | یوسامی، ژاپن                        | ۱۳۷E۰۱-۳۴N۵۸ | ۵۰                        |

۴-۲-۳- گیرنده های VLF<sup>۱</sup>

تعدادی از انواع گیرنده دستگاه های VLF در جدول ۴-۲ آورده شده اند.

جدول ۴-۲- مشخصات دستگاه های VLF [مک نیل و لابسون ۱۹۷۵]

| دستگاه گیرنده        | نوع کاربرد | فاکتور اندازه گیری                     | تعداد سیم پیچ‌ها | توضیحات                      |
|----------------------|------------|----------------------------------------|------------------|------------------------------|
| Geonics EM16         | زمینی      | T,E                                    | ۲                | دو فرکانس                    |
| Geonics EM18         | هوایی      | $H_z(I,Q)$                             | ۲                |                              |
| Crone Radem          | زمینی      | $T, H_y $                              | ۲                | چند فرکانسی                  |
| Geonics EM16R        | زمینی      | $E_x(I,Q)$                             |                  | چند فرکانسی                  |
| Barringer Radiophase | هوایی      | $H_x(I,Q)$<br>$H_y(I,Q)$<br>$H_z(I,Q)$ | ۳                |                              |
| Barringer EPhase     | هوایی      | $E_x(Q)$                               |                  | سه فرکانس به<br>طور همزمان   |
| Herz Totem 2A        | هوایی      | $H_z(Q), H_y $                         | ۳                | دو فرکانس به<br>طور همزمان   |
| Scintex VLF3         | زمینی      | $H_z(I,Q)$                             | ۲                | سه فرکانس                    |
| Scintex VLF4         | زمینی      | $H_z(I,Q)$                             |                  |                              |
| Phoenix VLF2         | زمینی      | T,E<br>$E_x(I,Q)$                      | ۲                | دارای قابلیت<br>تنظیم پیوسته |
| ABEM WADI            | زمینی      | $H_z(I,Q)$                             | ۲                | دارای قابلیت<br>تنظیم پیوسته |
| BRGM VLF2            | زمینی      | $E_x(I,Q)$<br>$E_x(I,Q)$               | ۳                | دو فرکانس به<br>طور همزمان   |
| Eda OmniPlus         | زمینی      | $T,H_z(I,Q), H $<br>$E_x(I,Q)$         | ۳                | سه فرکانس به<br>طور همزمان   |

1- VLF receiver

از آنجایی که در مطالعه حاضر از گیرنده WADI ساخت شرکت ABEM سوئد استفاده شده است به توصیف مختصر آن می پردازیم.

#### ۴-۲-۳-۱- دستگاه WADI

در سال ۱۹۸۷ شرکت ABEM سوئد دستگاه اندازه گیری VLF جدید خود به نام WADI را معرفی کرد که نمونه کاملی از یک گیرنده VLF بود، زیرا به همراه خود یک میکرو کامپیوتر و یک حافظه داخلی را به همراه داشت. دستگاه قادر به تشخیص قویترین سیگنال امواج ارسالی می باشد (با ترسیم یک دیاگرام از شدت سیگنال ها بر روی مانیتور دستگاه). این دستگاه زاویه شیب و مؤلفه های حقیقی و مجازی میدان ثانویه را ثبت می کند. در طراحی دستگاه، توانایی فیلتر کردن داده ها به طور همزمان توسط نرم افزار همراه آن، در نظر گرفته شده است (فیلتر کاروس هجِلت<sup>۱</sup>) و به سادگی پروفیل های برداشت شده در فواصل مختلف را می توان فیلتر کرده و چگالی جریان میدان را برای عمق های مختلف به دست آورد. پروفیل برداشت شده توسط دستگاه WADI نسبت به فاصله های مختلف بین ایستگاه ها می تواند فیلتر شود، این بدان معناست که چگالی جریان های هم ارز برای اعماق مختلف را به آسانی می توان محاسبه کرد، برای اینکار نیازی به برداشت داده های جدید نمی باشد و کافیت فقط فاصله بین ایستگاه ها را تغییر داد تا آنومالی برای عمق های مختلف به دست آید.

دستگاه WADI از قسمت های زیر تشکیل شده است [راهنمای تفسیر ABEM، ۱۹۸۹]:

✓ قسمت کنترل کننده دستی

1 - Karous- E.Hjelt

✓ بخش انجام محاسبات به همراه محفظه باتری

✓ قسمت آنتن، که در پشت دستگاه قرار می‌گیرد.

شکل ۴-۴ تصویر دستگاه WADI متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود را که در مطالعه حاضر از آن استفاده شده است را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۴- نمای از دستگاه WADI [راهنمای تفسیر ABEM، ۱۹۸۹]

#### ۴-۲-۴-تفسیر

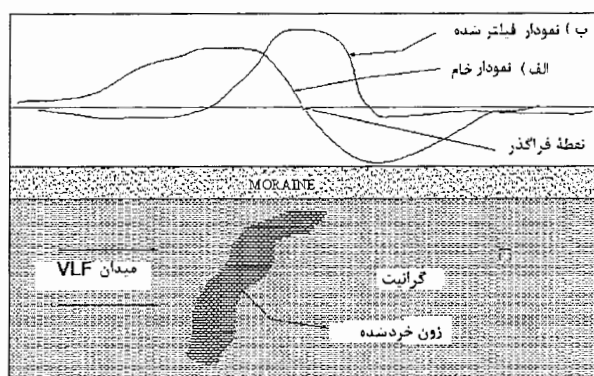
داده های VLF غالباً به صورت کیفی و یا نیمه کمی تفسیر می‌شوند. بدین ترتیب که نقطه ای که زاویه شیب برای عبور از قطبیت مثبت به قطبیت منفی از صفر می‌گذرد، دقیقاً در بالای زون رسانا قرار دارد. این نقطه به نقطه فراگذر<sup>۱</sup> نیز معروف می‌باشد. به کمک فرآیند فیلتر کردن، تفسیر آسانتر می‌شود، بدین صورت که در داده های فیلترشده مکان پیک آنومالی، مکان زون رسانا می‌باشد.

#### ۴-۲-۴-۱-تفسیر عمومی

در تفسیر عمومی به کمک شکل های نمونه به تفسیر آنومالی‌ها می‌پردازیم. شکل ۴-۵ یک

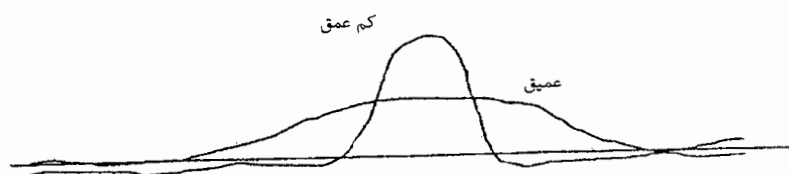
<sup>1</sup> Cross over

نمودار شماتیک از یک زون تیپیک را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود زون هادی در زیر نقطه فراگذر نمودار خام<sup>۱</sup> شکل ۴-۵-الف و زیر پیک نمودار فیلتر شده<sup>۲</sup> شکل ۴-۵-ب قرار دارد.



شکل ۴-۵- پاسخ زون خرد شده به میدان VLF. الف) نمودار خام. ب) نمودار فیلتر شده [راهنمای تفسیر ABEM، ۱۹۸۹]

شکل ۴-۶ اختلاف بین آنومالی حاصل از یک زون هادی واقع در عمق زیاد و زون هادی نزدیک به سطح را نشان می‌دهد. اختلاف این دو منحنی اساساً متوجه پهنا و اندازه آنومالی هاست، بدین ترتیب که آنومالی زون عمیق پهنتر ولی دامنه آن کمتر است. باید توجه داشت که دامنه کم ممکن است نشانه رسانایی پایین باشد [راهنمای تفسیر ABEM، ۱۹۸۹].

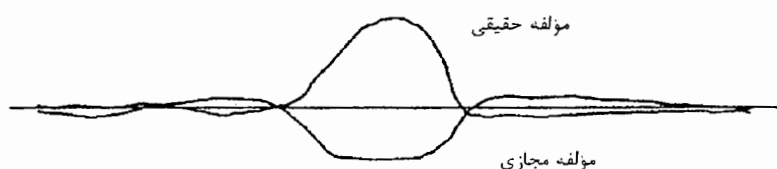


شکل ۴-۶- مقایسه آنومالی دو زون عمیق و کم عمق [راهنمای تفسیر ABEM، ۱۹۸۹]

در شکل‌های ۴-۵ و ۴-۶ فقط به مؤلفه حقیقی اشاره شده است. ولی باید بخاطر داشت که آنومالی حاصل از گیرنده های VLF یک مؤلفه دیگر به نام مؤلفه مجازی را نیز نشان می‌دهند. در هنگام تفسیر

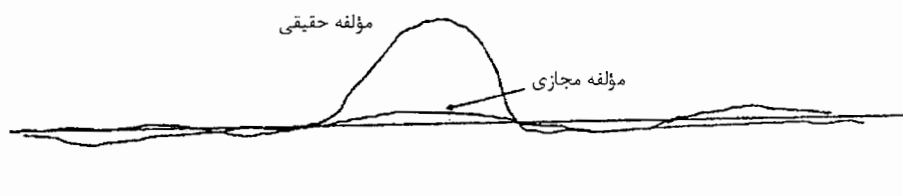
1- Raw indicator  
2- Filter indicator

باید به هر دو مؤلفه فوق‌الذکر توجه داشت. هر چند که مؤلفه حقیقی در تفسیر ارجحیت دارد. شکل ۷-۴ آنومالی مربوط به یک زون با مقاومت ویژه بالا را نشان می‌دهد (مانند زون شکسته حاوی آب شیرین).



شکل ۷-۴- آنومالی یک زون مقاوم [راهنمای تفسیر ABEM، ۱۹۸۹]

شکل ۸-۴ آنومالی فیلتر شده یک زون رسانای خوب را نشان می‌دهد (مانند زون حاوی آب شور).



شکل ۸-۴- آنومالی یک زون هادی [راهنمای تفسیر ABEM، ۱۹۸۹]

#### ۴-۲-۵ روشهای فیلتر کردن<sup>۱</sup>

معمولاً برای فیلتر کردن داده‌های VLF از دو روش معمول زیر استفاده می‌گردد

[میلسون، ۲۰۰۲]:

۱- روش فیلتر فریزر<sup>۲</sup>

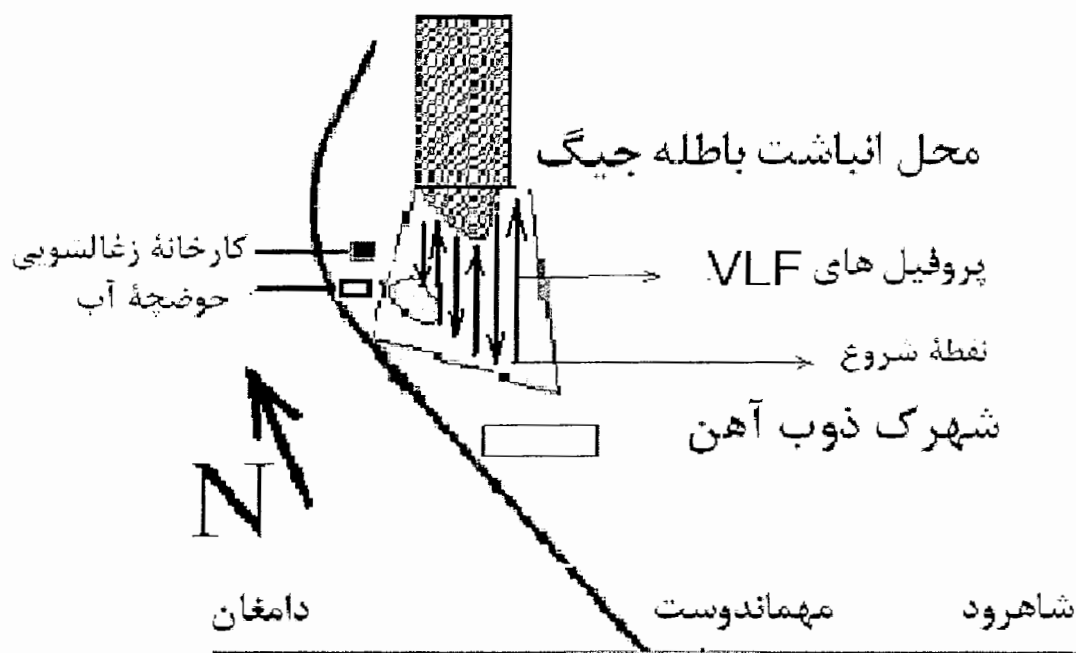
۲- روش فیلتر کاروس - هجلیت

1- Filtering methods  
2-Fraser filtering method

اگرچه این دو روش از فرمولهای متفاوتی برای محاسبات استفاده می کنند ولی نتیجه هر دو روش بسیار به هم نزدیک می باشند. در این مطالعه از روش کاروس - هجلت برای فیلتر نمودن داده های VLF اندازه گیری شده، استفاده شده است. شرح چگونگی فیلتر نمودن روش های فوق در پیوست الف می آید.

#### ۴-۲-۶- منطقه مورد مطالعه و موقعیت پروفیل‌های برداشت شده VLF

منطقه برداشت شده در پایین دست محل انباشت باطله ها می باشد. شکل ۹-۴ نمایی شماتیک از محدوده مورد نظر را همراه با شش پروفیل نشان می دهد.



شکل ۹-۴- کروکی شماتیک محل و نحوه برداشت داده های VLF

#### ۴-۲-۷- برداشت داده های VLF

بدیهی است برای در اختیار داشتن یک تفسیر خوب و قابل اعتماد نیاز به اندازه گیری های

دقیق و کافی می باشد. در طول پیمایش پروفیل باید در نظر داشت که راستای پروفیل در طول حرکت حفظ شود (به کمک کمپاس) و همچنین طول پروفیل به اندازه کافی طولانی باشد. قبل از شروع برداشت بر روی پروفیل انتخابی باید مناسب‌ترین ایستگاه فرستنده امواج رادیویی VLF انتخاب شود. با توجه به اینکه دستگاه این قابلیت را دارد تا تمام فرستنده ها را اسکن نموده و فرستنده هایی را که دارای شدت کافی هستند در محل معرفی نماید. در مرحله بعد باید فرستنده مناسب برداشت انتخاب گردد. با در نظر گرفتن توضیحات بالا، دستگاه دو ایستگاه فرستنده (NPM) با توان ۶۰۰ کیلو هرتز و فرستنده (NSS) با توان ۴۰۰ کیلو وات پیدا نمود که با توجه به مقادیر شدت دریافتی، فرستنده (NPM) در لوآلوائی<sup>۱</sup> واقع در هاوایی<sup>۲</sup> در کشور ایالات متحده آمریکا با قدرت ۶۰۰ کیلووات و فرکانس ۲۳/۴ کیلو هرتز در مختصات جغرافیایی ۲۱ N۲۵ - ۱۵۸ W۰۹ انتخاب شد. پس از انتخاب فرستنده مناسب باید مختصات نقطه شروع، فاصله بین نقاط برداشت و فاصله بین پروفیلها را به دستگاه ABEM داد. فاصله نقاط برداشت روی پروفیل ها ۵ متر و فاصله پروفیل ها از یکدیگر ۱۰ متر انتخاب گردید. نقطه شروع دارای مختصات (۱۴۹۶، ۵۱۹۵، ۷۸۸۵) در سیستم UTM می باشد.

#### ۴-۲-۸- برداشت پروفیلها

همانطور که اشاره گردید، در این تحقیق برداشتهای VLF با استفاده از دستگاه WADI صورت گرفت. پس از پیدا کردن فرستنده مناسب و انتخاب نقطه شروع پیمایش، برداشت بر روی پروفیلها آغاز

1--Lualuuae

2 -Hawaii

گردید. ابتدا با حرکت روی پروفیل با آزمون ۳۰ درجه و با متر و کمپاس مکان نقطه دوم را پیدا کرده و در آن نقطه قرائت صورت گرفت و به همین منوال بر روی خط پروفیل حرکت کرده تا اینکه پروفیل ابتدایی به اتمام برسد. سپس به میزان ۱۰ متر عمود بر خط پروفیل حرکت کرده و پروفیل دوم با آزمون معکوس (۲۱۰ درجه) پروفیل اول انتخاب می‌گردد و پروفیل دوم نیز همانند پروفیل اول برداشت می‌شود. در انتهای پروفیل دوم، به میزان ۱۰ متر عمود بر پروفیل دوم حرکت کرده و پروفیل سوم با آزمون معکوس پروفیل دوم با همان آزمون پروفیل اول (۳۰ درجه) برداشت می‌گردد. پروفیل‌های بعدی نیز به طریق بالا برداشت می‌گردد. در منطقه مورد مطالعه تعداد ۶ پروفیل برداشت گردید. که با توجه به وضعیت منطقه پروفیل اول بیشترین طول ۵۲۰ متر را داشته و طول کوچکترین پروفیل (پروفیل انتهایی ۶)، ۱۶۵ متر پیاده گردید.

جدول ۴-۳- طول پروفیل‌های برداشت شده

| شماره پروفیل     | ۱   | ۲   | ۳   | ۴   | ۵   | ۶   |
|------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| طول پروفیل (متر) | ۵۲۰ | ۴۸۰ | ۳۴۵ | ۲۸۵ | ۲۹۰ | ۱۶۵ |

شکل ۴-۹ نحوه حرکت بر روی پروفیل‌ها را نشان می‌دهد. در تمام این مدت بایستی فاصله بین نقاط و پروفیل‌ها و آزمون پروفیل را با متر و کمپاس چک نمود و دستگاه به طور اتوماتیک با توجه به مقادیر اولیه که در دستگاه وارد شده است فاصله نقاط روی پروفیل‌ها را ۵ متر و فاصله بین پروفیل‌ها ۱۰ متر در نظر می‌گیرد.

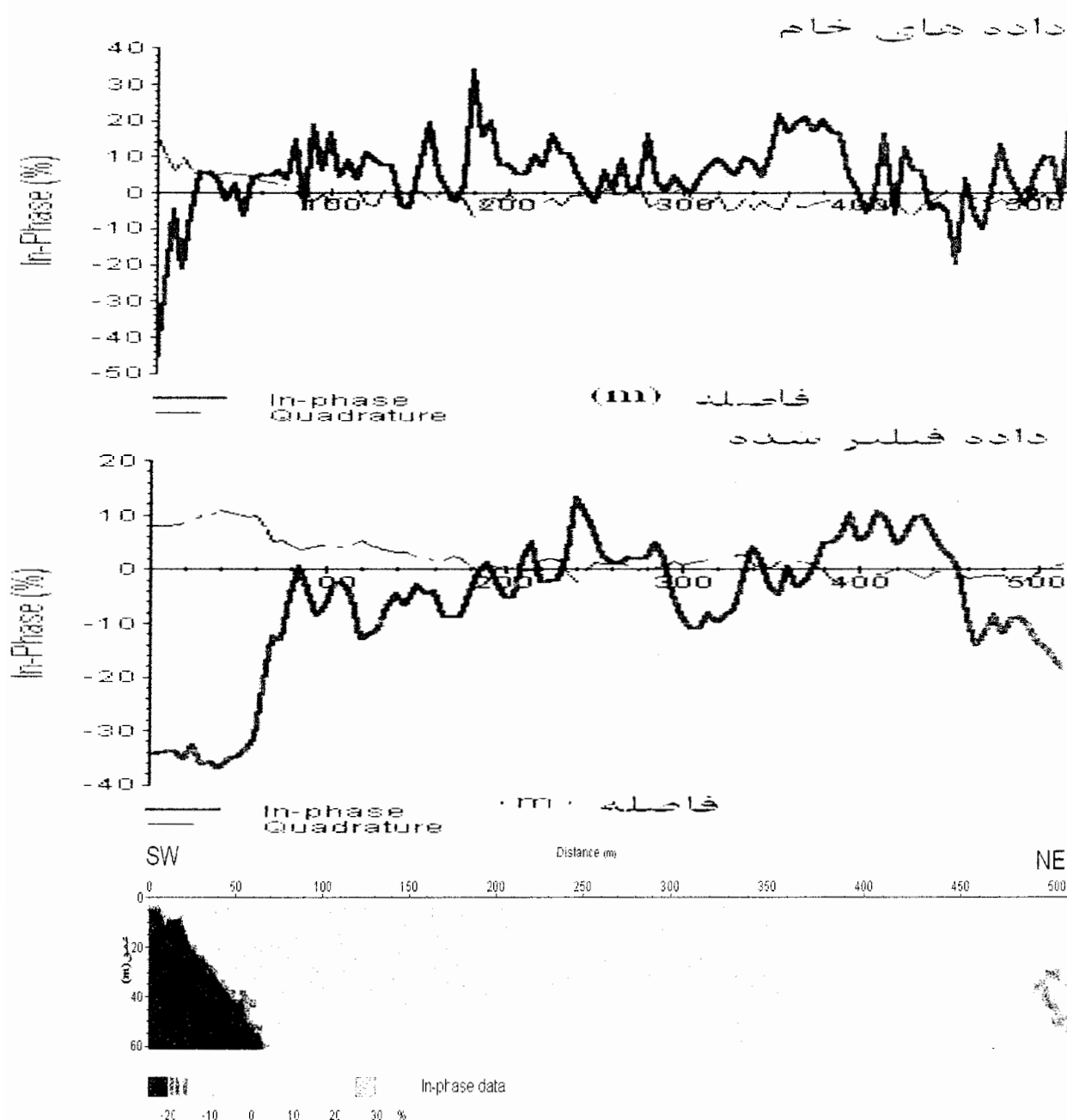
#### ۴-۲-۹- تفسیر داده های VLF و ارائه مدل ها

داده های برداشت شده از پیمایش پروفیل ها در پیوست الف آورده شده است. پس از اتمام برداشت، داده ها، به کمک نرم افزار RAMAG که نرم افزار اختصاصی دستگاه WADI می باشد [راهنمای استفاده از نرم افزار RAMAG، ۲۰۰۲]، مورد پردازش قرار گرفتند. لازم به ذکر است این نرم افزار از فیلتر کاروس - هجلیت برای فیلتر داده ها استفاده می کند. به کمک نرم افزار فوق نمودارهای خام، فیلتر شده و همچنین مقاطع عرضی چگالی جریان برای ۶ پروفیل به طور مجزا تهیه شد و برای تفسیر ارائه می شوند. لازم به ذکر است که در تفسیر پروفیل های ذیل بر روی مؤلفه حقیقی تأکید شده است.

#### ۴-۲-۱۰- تفسیر پروفیل ۱

در شکل ۴-۱۰ پروفیل داده های خام و فیلتر شده مربوط به مؤلفه حقیقی و مجازی و همچنین مقطع چگالی جریان برای مؤلفه حقیقی در طول پروفیل نشان داده شده است. با توجه به مدل به دست آمده از مقطع عرضی و نمودار فیلتر داده ها ۲ زون هادی در فواصل ۳۸۰ تا ۴۵۰ متر و ۲۰۰ تا ۲۵۰ متر که احتمالاً حاکی از آلودگی موجود در منطقه می باشد، مشاهده می گردد. به نظر می رسد که زون موجود در فاصله ۳۸۰ تا ۴۵۰ متر بزرگتر و دارای گسترشی از سطح زمین به عمق می باشد. در مقابل زون آلودگی دیده شده در فاصله ۲۰۰-۲۵۰ m کوچکتر بوده و گسترشی از عمق ۲۰ m تا اعماق پایین تر را دارد. باید توجه کرد که این زون دارای شیب تقریباً ۵۰ درجه به سمت NE می باشد. عمق در

نظر گرفته شده در فیلتر کردن داده ها ۶۰ متر می باشد.

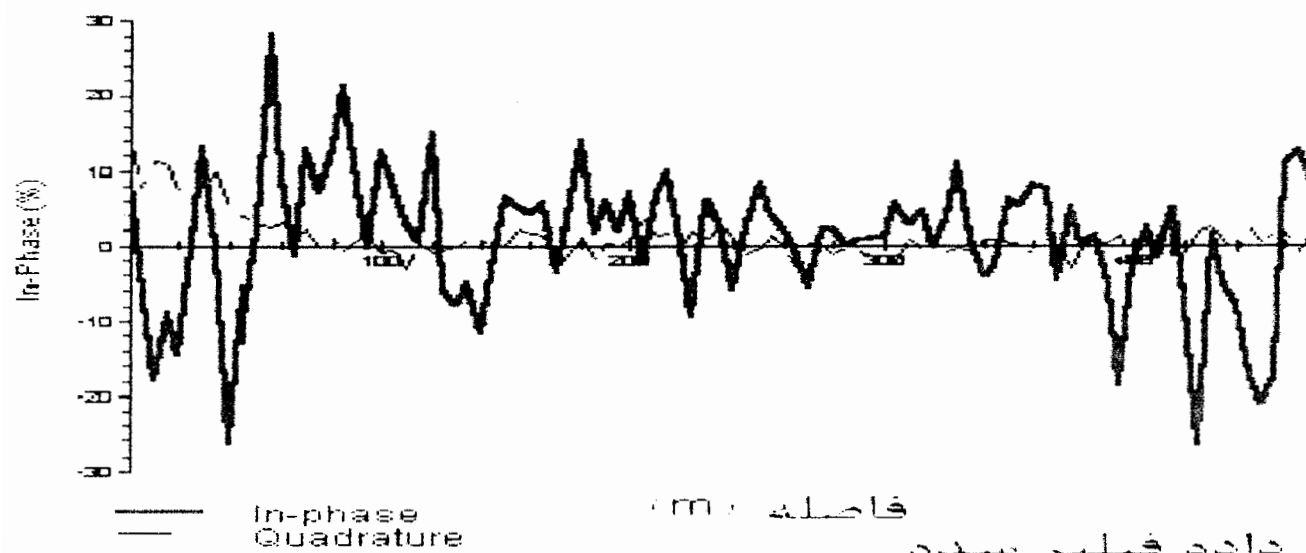


شکل ۴-۱۰-۱، شکل ها از بالا به پایین عبارتند از: پروفیل داده خام (مؤلفه حقیقی و مجازی)، پروفیل داده فیلتر شده (مؤلفه حقیقی و مجازی) و مقطع عرضی چگالی جریان (مؤلفه حقیقی)

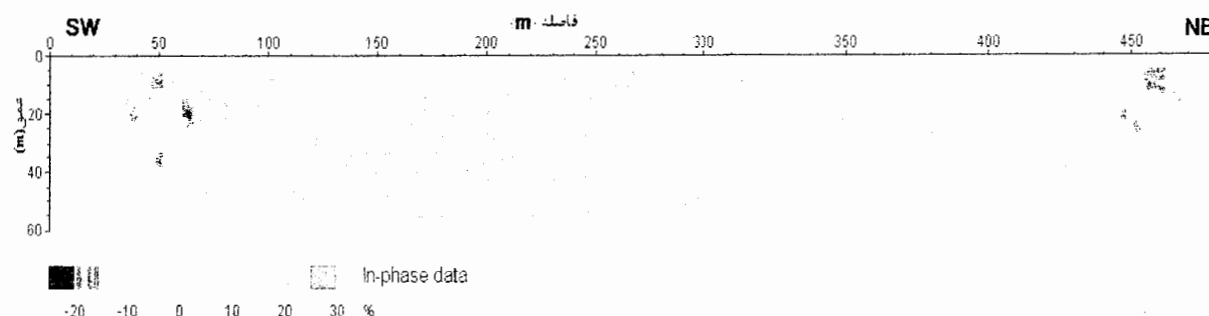
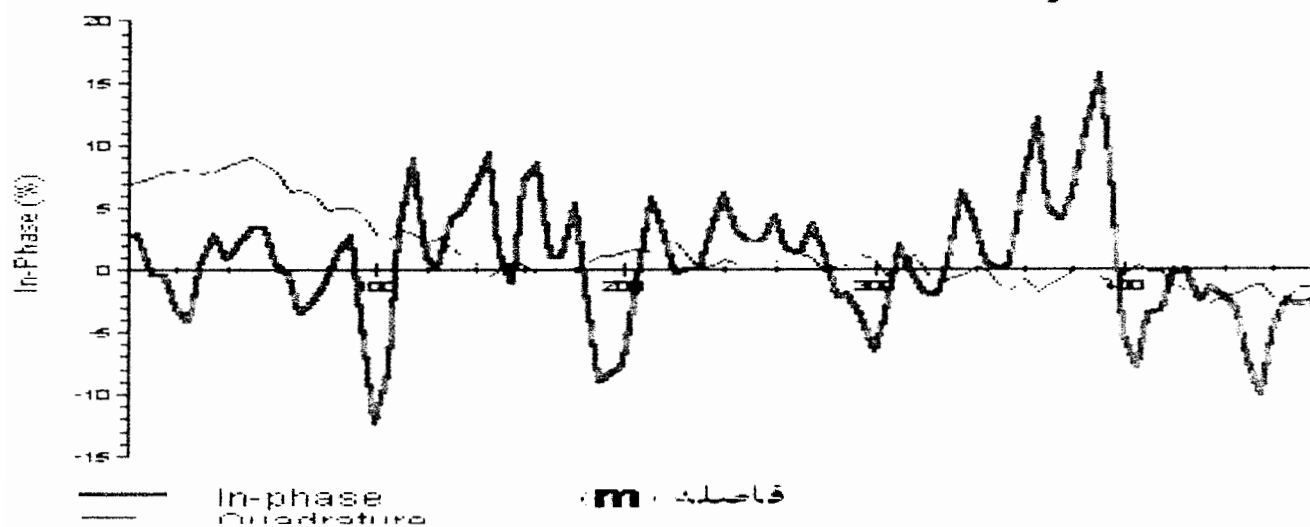
## ۴-۲-۱۱- تفسیر پروفیل ۲

با توجه به مقطع عرضی چگالی جریان و پروفیل داده های فیلتر شده (شکل ۴-۱۱) سه زون هادی که در فواصل ۱۰۵ تا ۱۸۰ متری، ۲۱۰ تا ۲۸۰ متری و ۳۳۰ تا ۴۰۰ متری بر روی پروفیل ۲ که احتمالاً حاکی از آلودگی موجود در منطقه است، مشاهده می شود. زون هادی موجود در فاصله ۲۱۰ تا ۲۸۰ متری نسبت به دو آنومالی دیگر ضعیف تر بوده که شاید به دلیل قرار گیری آنومالی در عمق بیشتر باشد. بر روی مقطع عرضی نیز سه زون آلودگی مشخص شده اند. زون اول در فاصله ۰ تا ۵۰ متری بر روی پروفیل و با عمق قرار گیری از سطح تا عمق ۵۰ متری، زون دوم در حدفاصل ۹۰ تا ۱۳۰ متری بر روی پروفیل و با عمق قرار گیری ۳۰ تا ۴۵ متری، زون سوم در فاصله ۳۶۰ تا ۴۴۰ متری و با عمق تقریبی ۵۵ متری مشاهده می شود.

داده خام



داده فیلتر شده

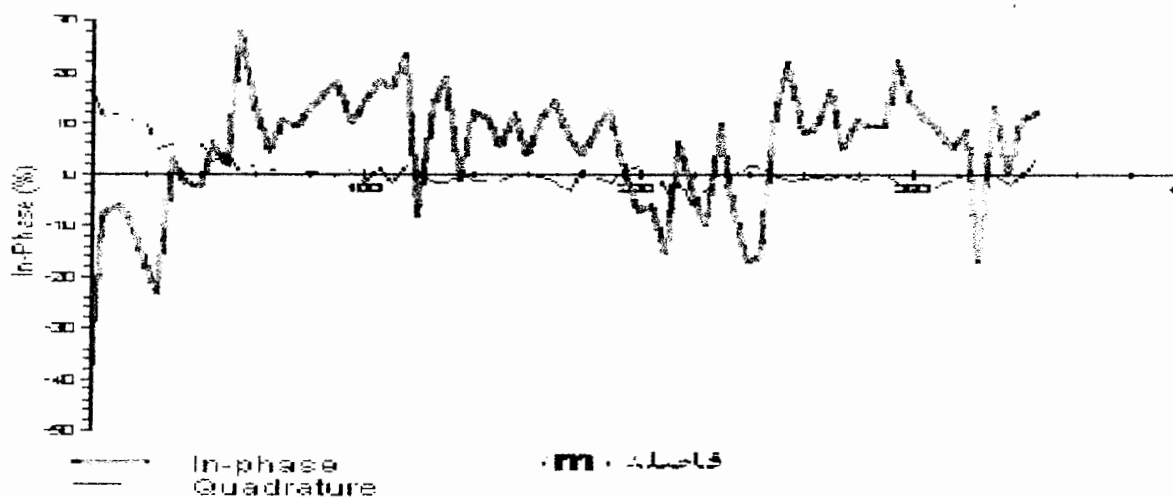


شکل ۴-۱۱- شکل ها از بالا به پایین عبارتند از: پروفیل داده خام (مؤلفه حقیقی و مجازی)، پروفیل داده فیلتر شده (مؤلفه حقیقی و مجازی) و مقطع عرضی چگالی جریان (مؤلفه حقیقی) پروفیل ۲

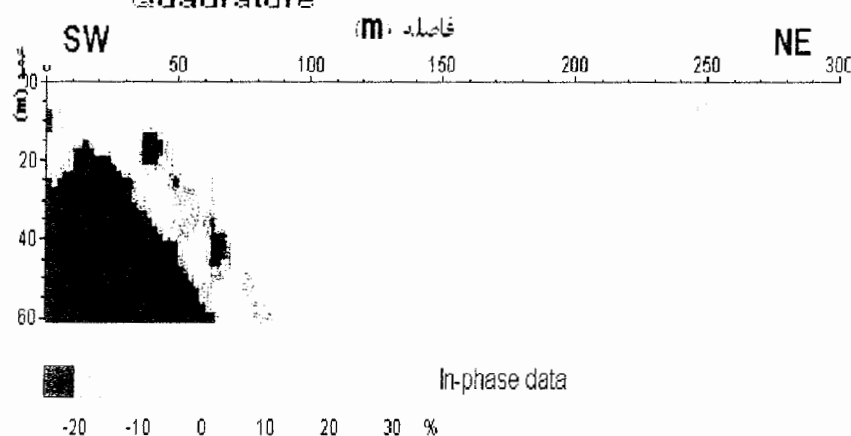
## ۴-۲-۱۲- تفسیر پروفیل ۳

از روی مدل به دست آمده از مقطع عرضی چگالی جریان و نمودار فیلترشده این پروفیل (شکل ۴-۱۲) یک زون هادی که احتمالاً گویای آلودگی موجود در منطقه است در فاصله ۱۳۵ تا ۱۹۰ متری بر روی پروفیل مشاهده می شود. به نظر می رسد که زون آلوده فوق بین اعماق ۲۲ تا ۵۸ متری و با شیب ۶۰ درجه به سمت جنوب شرقی گسترده شده باشد.

داده خام



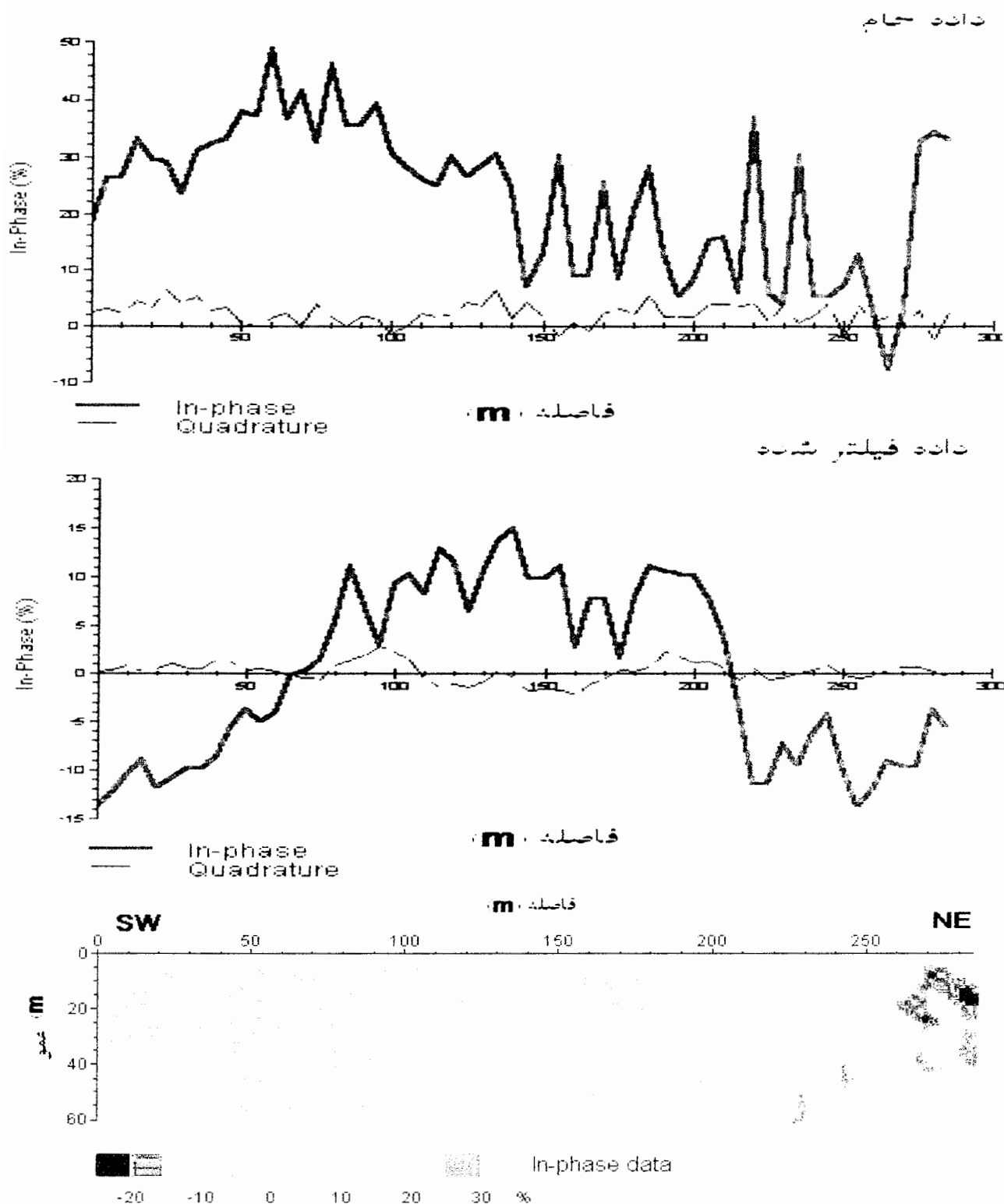
داده فیلتر شده



شکل ۴-۱۲- پروفیل ۳ شکل ها از بالا به پایین عبارتند از: پروفیل داده خام (مؤلفه حقیقی و مجازی)، پروفیل داده فیلتر شده (مؤلفه حقیقی و مجازی) و مقطع عرضی چگالی جریان (مؤلفه حقیقی)

## ۴-۲-۱۳- تفسیر پروفیل ۴

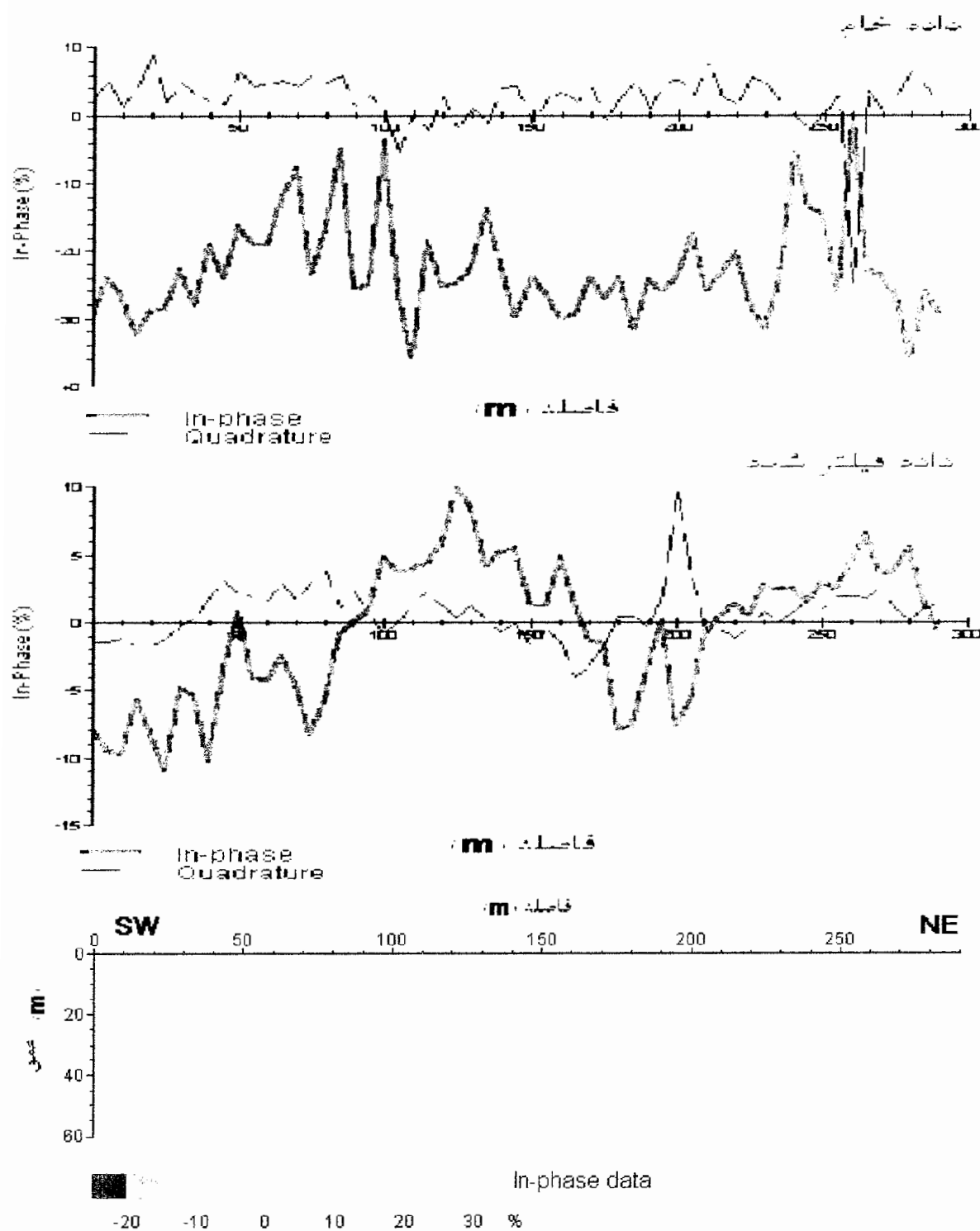
با توجه به مدل به مقطع عرضی چگالی جریان و نمودارهای فیلتر شده این پروفیل که در شکل ۴-۱۳ آمده است تنها یک زون هادی که احتمالاً ناشی از آلودگی موجود در منطقه می باشد، در فاصله ۸۰ تا ۲۱۰ متری برروی پروفیل مشاهده می شود. با توجه به مقطع عرضی چگالی جریان این زون از سطح به عمق گسترش یافته و مرکز آن در عمق ۴۵ تا ۵۰ متری باشد.



شکل ۴-۱۳- پروفیل ۴، شکل‌ها از بالا به پایین عبارتند از: پروفیل داده خام (مؤلفه حقیقی و مجازی)، پروفیل داده فیلتر شده (مؤلفه حقیقی و مجازی) و مقطع عرضی چگالی جریان (مؤلفه حقیقی)

## ۴-۲-۱۴- تفسیر پروفیل ۵

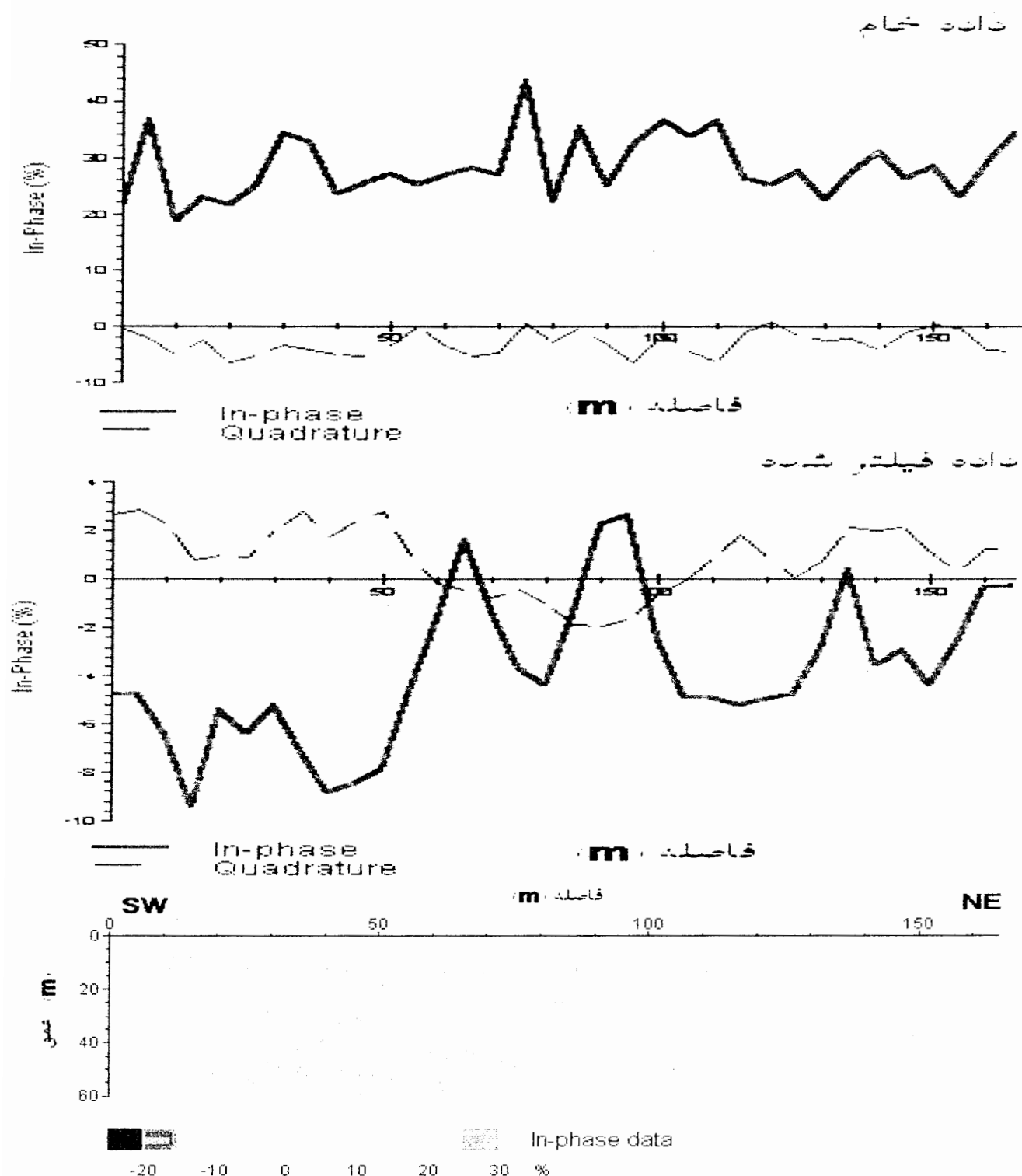
با توجه به مدل به دست آمده از مقطع عرضی چگالی جریان و نمودار داده های فیلتر شده ۴-۱۴ دو زون ضعیف و هادی که احتمالاً آلودگی موجود در منطقه می باشد، در فواصل ۹۰ تا ۱۶۵ متری و ۲۲۰ تا ۲۸۰ متری دیده می شوند. زون انتهای پروفیل با گسترش به سمت شمال شرقی مشاهده می شود. زون دیده ۹۰ تا ۱۶۵ متری دارای گسترشی از سطح به عمق می باشد.



شکل ۴-۱۴- پروفیل ۵، شکل‌ها از بالا به پایین عبارتند از: پروفیل داده خام (مؤلفه حقیقی و مجازی)، پروفیل داده فیلتر شده (مؤلفه حقیقی و مجازی) و مقطع عرضی چگالی جریان (مؤلفه حقیقی)

## ۴-۲-۱۵- تفسیر پروفیل ۶

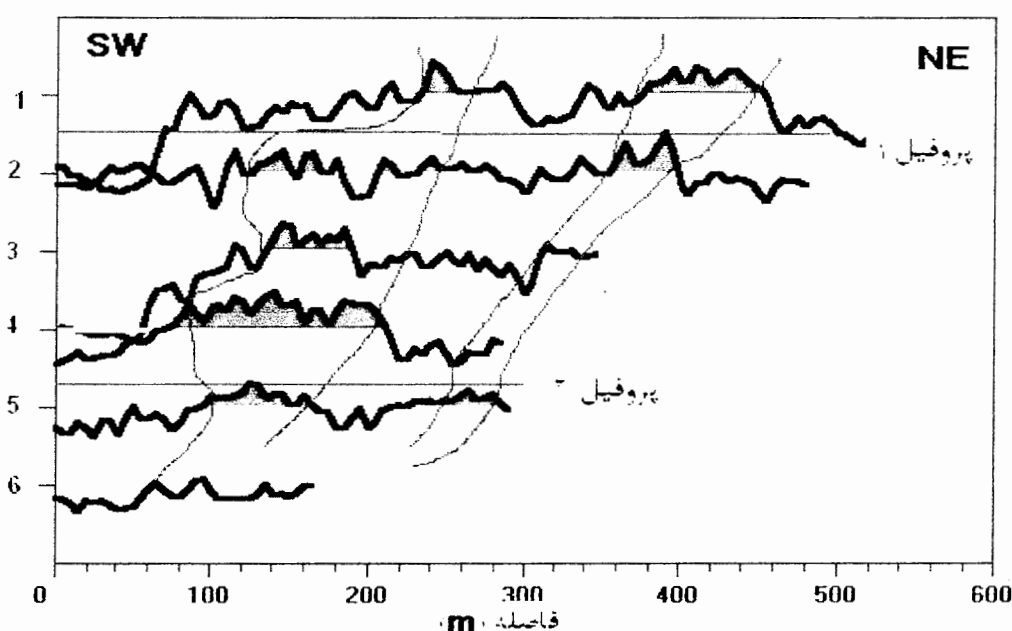
با توجه به مقطع عرضی چگالی جریان نمودار داده های فیلتر شده شکل ۴-۱۵ تنها یک زون کوچک هادی ناشی از آلودگی های احتمالی در فواصل ۱۵۰-۱۰۰ m و با عمق قرار گیری ۰ تا ۲۵ متری دیده می شود.



شکل ۴-۱۵- پروفیل ۶، شکل‌ها از بالا به پایین عبارتند از: پروفیل داده خام (مؤلفه حقیقی و مجازی)، پروفیل داده فیلتر شده (مؤلفه حقیقی و مجازی) و مقطع عرضی چگالی جریان (مؤلفه حقیقی)

## ۴-۲-۱۶- نتیجه گیری

در شکل ۴-۱۶ نمودار تغییرات مؤلفه هم فاز تمامی پروفیل‌ها به صورت فیلتر شده تا عمق ۶۰ متر آورده شده است. نقاط قرمز رنگ روی پروفیل‌ها، نشان دهنده آلودگی‌های احتمالی ناشی از باطله‌ها می‌باشند. گسترش آلودگی با خطوط آبی رنگ نشان داده شده است. همانطور که دیده می‌شود، محدوده مورد نظر دارای دو زون آلوده است، که هر دو دارای روند شمال شرق- جنوب غرب می‌باشند. حال که محدوده گسترش زونهای آلوده ناشی از باطله‌ها تا حدودی مشخص گردید با برداشت داده‌های ژئوالکتریک در زمانهای مختلف روی دو پروفیل چگونگی گسترش این آلودگی را مورد بررسی قرار می‌دهیم.



شکل ۴-۱۶- نمودار مولفه هم فاز فیلتر شده پروفیل‌ها در منطقه مورد بررسی که زون‌های آلوده را بصورت دو نوار موازی با رنگ آبی همراه با دو پروفیل برداشت ژئوالکتریک با رنگ قهوه‌ای نشان می‌دهد.

### ۴-۳- روش مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی (IP)<sup>۱</sup>

علاوه بر روش VLF از روش مقاومت ویژه و IP در حوزه زمان نیز در مشخص نمودن زونهای آلوده در منطقه مورد بررسی، استفاده گردید. روش های فوق برای مقاصد چون، مسائل هیدروژئولوژیکی، اکتشاف معدن، بررسی های ژئوتکنیکی و به تازگی در مسائل زیست محیطی نیز بکار گرفته می شود [مونی، ۱۹۸۰]. هدف از اندازه گیری های مقاومت ویژه تعیین توزیع مقاومت ویژه زیر سطح زمین است و با کمک این اندازه گیری ها می توان توزیع مقاومت ویژه واقعی زمین را تخمین زد. مقاومت ویژه زمین به پارامتر های مختلفی چون، نوع مواد تشکیل دهنده محیط اندازه گیری، میزان خلل و فرج و فضاهای خالی سنگ، سیال موجود در بین خلل و فرج ها و ... بستگی دارد.

مقاومت ویژه برخی سنگ‌ها، مواد معدنی و شیمیایی در جدول ۴-۶ نشان داده شده است. سنگ‌های آذرین و دگرگونی معمولاً مقاومت ویژه بالایی دارند. مقاومت ویژه این سنگ‌ها به میزان شکستگی و آب موجود در آنها بستگی دارد. سنگ های رسوبی که معمولاً تخلخل بالایی دارند و آب موجود در آنها بیشتر است، از مقاومت ویژه کمتری نسبت به سنگ های آذرین و دگرگونی برخوردار هستند. مقاومت ویژه این نوع سنگ ها بین ۱۰ تا ۱۰۰۰ اهم متر متغیر است. مقاومت ویژه آبهای زیرزمینی بین ۱۰ تا ۱۰۰ اهم متر تغییر می‌کند و مقدار آن به میزان درجه شوری آب بستگی دارد. بطوریکه مقاومت ویژه آب دریا حدود ۰/۲ اهم متر است. مقاومت ویژه شیرابه‌های محل دفن زباله ها<sup>۲</sup> در

1 - Induced polarization

2 - Landfill leachates

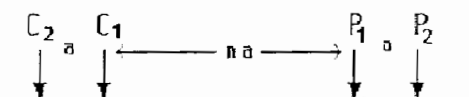
دامنه ۵۰ تا کمتر از ۱۰ اهم متر قرار می‌گیرد. پساب اسیدی معدن از مقاومت ویژه کمتر از ۱۰ اهم متر برخوردار است [رینولدز، ۱۹۹۷]. پس از انجام برداشت های ژئوالکتریک با کمک جدول ۴-۴ تا حدودی می‌توان به صورت کیفی جنس لایه ها، آلودگی ناشی از پساب اسیدی در منطقه مورد مطالعه را مشخص کرد.

جدول ۴-۴- مقاومت ویژه و رسانندگی برخی سنگ ها و مواد معدنی و شیمیایی [مونی، ۱۹۸۱ و رینولدز، ۱۹۹۷]

| مقاومت ویژه بر حسب اهم متر              | برخی سنگ ها، رسوبات و آب    |
|-----------------------------------------|-----------------------------|
| ۱ - ۱۰۰                                 | آب سفزه های آب رفتی         |
| ۳۰ - ۱۰۰۰                               | آب باران                    |
| از مرتبه ۰/۲                            | آب دریا                     |
| $۲۰ - ۳ \times ۱۰^۳$                    | شیل                         |
| $۲ \times ۱۰^۳ - ۱۰^۴$                  | کنگلو مرا                   |
| ۱ - ۱۰۰                                 | رس                          |
| ۸۰ - ۱۰۵۰                               | شن و ماسه خشک               |
| ۵۰ - ۵۰۰                                | شن و ماسه اشباع از آب شیرین |
| ۰/۵ - ۵                                 | شن و ماسه اشباع از آب شور   |
| ۵۰ - ۳۰۰                                | ماسه سنگ آرزیل دار          |
| ۳۰۰ - ۱۰۰۰۰                             | ماسه سنگ - کوارتزیت         |
| ۳ - ۷۰                                  | مارن                        |
| $۶ \times ۱۰^۲ - ۴ \times ۱۰^۲$         | سیلت                        |
| ۱۰ - ۱۰۰۰                               | رسوبات یکپارچه              |
| ۱ - ۱۰۰                                 | رسوبات غیر یک پارچه         |
| $۱۰^۴ - ۱۰^۵$                           | گرانیت                      |
| $۱۰^۴ - ۱۰^۵$                           | دیوریت                      |
| ۱۰۰ - ۱۰۰۰۰                             | سنگ های آذرین و دگرگونی     |
| $۲۰ - ۱۰^۴$                             | شیست                        |
|                                         | سولفیدها:                   |
| $۱/۳ \times ۱۰^{-۵} - ۳ \times ۱۰^{-۱}$ | کالکوپیریت                  |
| $۲/۹ \times ۱۰^{-۵} - ۱/۵$              | پیریت                       |
| $۷/۵ \times ۱۰^{-۶} - ۵ \times ۱۰^{-۲}$ | پیروتیت                     |
| < ۱۰ - ۵۰                               | شیرابه های محل دفن زباله    |
| < ۱۰                                    | آبهای اسیدی معدن            |

۴-۳-۱- روش دو قطبی - دوقطبی<sup>۱</sup>

در مطالعه حاضر از آرایش دو قطبی - دوقطبی استفاده گردید. این آرایش از نوع آرایش‌های چهار الکترودی محسوب می‌شود. جریان از طریق دو الکتروود جریان  $C_1$  و  $C_2$  به درون زمین تزریق می‌شود و اختلاف پتانسیل ناشی از آن توسط دو الکتروود  $P_1$  و  $P_2$  اندازه‌گیری می‌شود (شکل ۴-۱۷).



۴-۱۷- ترتیب قرارگیری الکتروودها در روش دو قطبی - دو قطبی [لوک، ۲۰۰۳]

به الکتروودهای پتانسیل که نزدیک یکدیگر قرار دارند دوقطبی پتانسیل و به الکتروودهای جریان که آنها نیز به یکدیگر نزدیک می‌باشند و در فاصله دور از الکتروودهای پتانسیل قرار دارند، دو قطبی جریان می‌گویند. داده اندازه‌گیری شده به نقطه مرکزی (وسط  $C_1P_1$ ) نسبت داده می‌شود. از آنجا که نحوه توزیع جریان وارد شده به زمین تحت تأثیر لایه‌های مختلف می‌باشد، مقاومت ویژه اندازه‌گیری شده را مقاومت ویژه ظاهری می‌نامیم و به صورت زیر بیان می‌شود [تلفورد و همکاران ۱۹۹۱]:

$$\rho_a = k \frac{\Delta V}{I} \quad (۴-۱۳)$$

که در رابطه بالا:

$K$ : ضریب هندسی نامیده می‌شود و به آرایش الکتروودها بستگی دارد. برای آرایش دو قطبی-دو قطبی

<sup>۱</sup> - Dipole – Dipole method

مقدار آن بصورت زیر داده می شود [میلسون، ۲۰۰۲]:

$$K = 2n\pi(n+1)a \quad (۴-۱۴)$$

که در رابطه بالا:

a: فاصله الکترودها از یکدیگر می باشد.

در پایان نامه حاضر برای برداشت داده ها از روش مقاومت ویژه و IP استفاده گردیده است که در پیوست

ج روش IP به اختصار توضیح داده شده است.

#### ۴-۴- انواع روش های مدل سازی در ژئوفیزیک

مدل سازی های ژئوفیزیکی بطور عمده به دو دسته مدل سازی فیزیکی و مدل سازی عددی

تقسیم بندی می شود. مدل سازی فیزیکی، شبیه سازی ساختار زمینی در مقیاس آزمایشگاهی است

[آپارو<sup>۱</sup>، ۱۹۹۷]. مدل سازی عددی به دوشیوه ذیل انجام می پذیرد:

✓ مستقیم یا پیشرو<sup>۲</sup>

✓ مدل سازی معکوس<sup>۳</sup>.

روابط و معادلاتی که رابطه بین خواص فیزیکی زمین و داده های مشاهده ای را بیان می کند، تئوری

پیشرو یا مستقیم و استنباط خواص فیزیکی از داده های مشاهده ای، توسط برخی ابزارهای کمی را

تئوری معکوس سازی گویند. در واقع تئوری معکوس سازی مجموعه ای از محاسبات ریاضی و تکنیک های

1 - Apparo

2 Forward Modeling

3 Inverse Modeling

آماري است که برای تعیین خواص فیزیکی و هندسی محیط، از داده‌های مشاهده‌ای بکار می‌رود [تلفورد و همکاران، ۱۹۹۱]. با توضیحات بالا مدل‌سازی پیشرو به دست‌آوردن مدل واقعی بدون استفاده از داده‌های مشاهده‌ای است. معکوس سازی داده‌های مقاومت ویژه، شامل تخمین نحوه توزیع مقاومت ویژه واقعی و ضخامت لایه‌ها با توجه به مقادیر مقاومت ویژه ظاهری اندازه‌گیری می‌باشد. بطور کلی روند مسائل معکوس سازی را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود [تلفورد و همکاران، ۱۹۹۱]:

✓ پارامتری نمودن مدل

✓ خطی سازی و فرمولاسیون مسئله با استفاده از قضیه بسط تیلور توابع

✓ فرمول بندی کردن مسئله به شکل ماتریسی

✓ یافتن پاسخ موثر در مدل سازی پیشرو

✓ کنترل روند معکوس سازی و انتخاب مدل نهایی

فرآیند معکوس سازی یکتا نمی‌باشد [تلفورد و همکاران، ۱۹۹۱]. یعنی مدل‌های زیادی وجود دارند، که منحنی حاصل از پاسخ آنها، با منحنی حاصل از داده‌های مشاهده‌ای یکسان می‌باشد. مفسر از میان این مدل‌ها باید مدل واقعی و منطبق با زمین را انتخاب کند. لذا برای انجام مدل سازی نیاز به اطلاعات زمین‌شناسی و گمانه‌های اکتشافی است و در میان مدل‌های بدست آمده، مدلی انتخاب می‌گردد که بیشترین همخوانی را با اطلاعات زمین‌شناسی و چاه‌های اکتشافی داشته باشد.

#### ۴-۴-۱- معکوس سازی داده های مقاومت ویژه با استفاده از روش Time-Laps

به منظور بررسی تغییرات مقاومت ویژه در طول زمان، بایستی برداشت های دوبعدی بر روی خطوط برداشت مشخص و در زمان های مختلف انجام گیرد که به این روش اندازه گیری مقاومت ویژه Time-Laps می گویند. مطالعات انجام شده با این روش شامل بررسی تغییرات در سطح سفره آب زیرزمینی بعد از استخراج آب، آلودگی های شیمیایی و نشت پساب اسیدی ناشی از عملیات معدنکاری به سیستم جریان آب زیرزمینی و یا زمین های پیرامون آن می باشد [لوک، ۱۹۹۹]. در حالت عادی، معکوس سازی داده های برداشت شده در زمان های مختلف به صورت مستقل از یکدیگر با استفاده از روش کمترین مربعات هموار مقید شده<sup>۱</sup> انجام می گردد. در سال ۱۹۹۰ کنستابل<sup>۲</sup> و گروت هدلین<sup>۳</sup>، نشان دادند که تغییرات مقادیر مقاومت زیر سطحی با استفاده از مقایسه مقادیر مقاومت ویژه به دست آمده از معکوس سازی مجموعه داده های اولیه و مجموعه داده های بعدی در اکثر موارد نشان داده است که این روش نتایج رضایت بخشی به همراه داشته است. اگرچه از نظر تئوری، زمانی که معکوس سازی داده ها به صورت مستقل انجام می پذیرد، تضمینی برای اینکه تفاوت در مقادیر مقاومت ویژه تنها ناشی از تغییرات واقعی در مقادیر مقاومت ویژه زیر سطحی باشد وجود ندارد. در تمامی معکوس سازی ها تلاش های صورت گرفته به منظور کم کردن تفاوت بین مقادیر مقاومت ویژه مشاهده شده و مقادیر محاسبه شده برای هر یک از مجموعه داده ها بدون توجه به مدل حاصل از مجموعه داده ابتدایی می باشد [لوک، ۱۹۹۹]. در این پایان

1- Smoothness-constrained least-squares inversion method

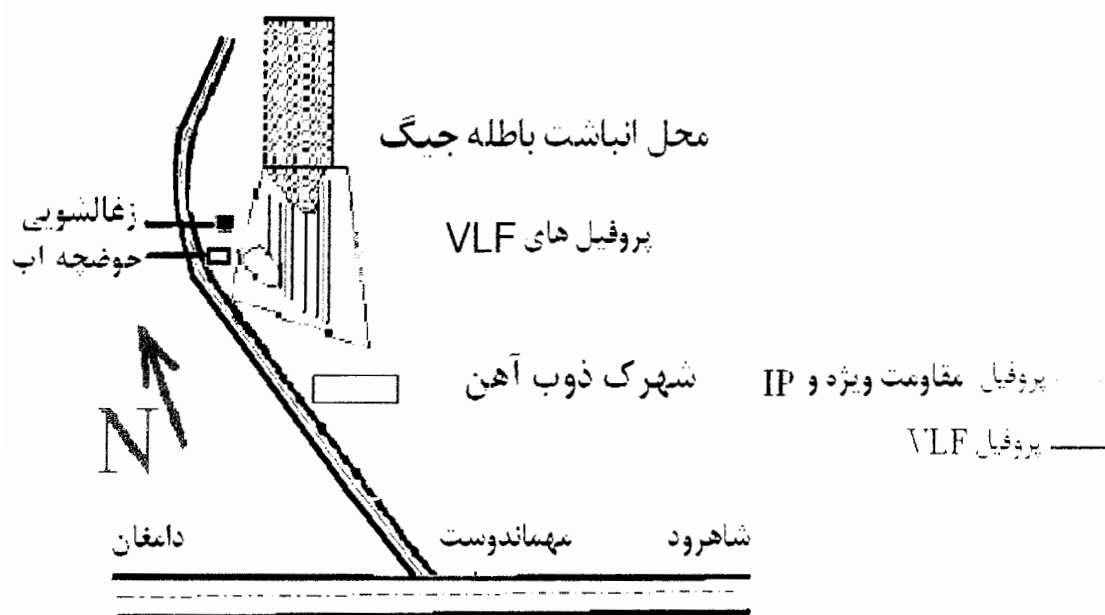
2 - Constable

3 - Groot-Hedlin

نامه، داده‌ها با استفاده از روش دو قطبی - دو قطبی برداشت شدند و جهت بررسی تغییرات زمانی، برداشت‌ها مدل سازی معکوس داده‌ها با استفاده از روش Time Laps انجام گرفته است. دقت نتایج بستگی به دقت اندازه‌گیری دارد. معکوس سازی داده‌ها در روش Time Laps معمولاً به این صورت انجام می‌پذیرد که میزان تغییرات در مقادیر مقاومت ویژه، با استفاده از مقایسه مدل مقاومت ویژه به دست آمده از اولین سری داده‌ها و مجموعه داده‌های مربوط به برداشت‌های بعدی صورت می‌پذیرد. در اکثر مواقع این روش نتایج مطلوبی به همراه دارد (لوک، ۲۰۰۲). متأسفانه نرم افزار قابلیت معکوس سازی مقادیر شارژابلیته را ندارد.

#### ۴-۵- برداشت داده‌ها

پس از انجام برداشت‌های VLF و شناسایی زونهای آلوده، از روش ژئوالکتریک برای شناسایی نحوه انتشار آلودگی در لایه‌های زیرسطحی استفاده گردید. آرایه مورد استفاده در برداشت داده‌ها همانطور که قبلاً اشاره گردید آرایه دوقطبی- دوقطبی با استفاده از روش Time -Laps می‌باشد. کروکی محل برداشت داده‌ها در شکل ۴-۱۸ و اطلاعات زمانی مربوط به برداشت داده‌ها در جدول ۴-۵ آورده شده است.



شکل ۴-۱۸- نمایش شماتیکی از محل برداشت پروفیل‌های ژئوالکتریک و VLF

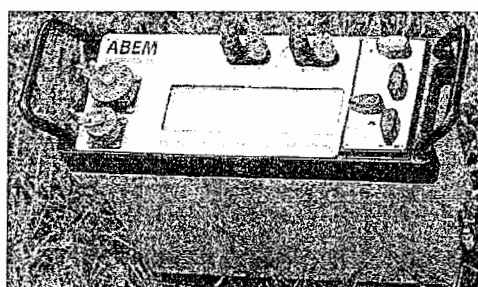
جدول ۴-۵- تاریخ انجام برداشت ژئوالکتریک

| برداشت ۴ | برداشت ۳ | برداشت ۲ | برداشت ۱ | پروفیل         |
|----------|----------|----------|----------|----------------|
| ۸۵/۳/۳   | ۸۴/۱۲/۱۷ | ۸۴/۱۰/۱۲ | ۸۴/۹/۲۰  | پروفیل شماره ۱ |
| -        | -        | ۸۴/۱۰/۱۲ | ۸۴/۹/۲۰  | پروفیل شماره ۲ |

همانطور که در جدول ۴-۵ نیز دیده می شود، متأسفانه به دلیل انباشت باطله های جدید در محل پروفیل دوم امکان ادامه برداشت وجود نداشت. طول پروفیل اول ۵۰۰ متر و طول پروفیل دوم ۳۶۰ متر در نظر گرفته شد. فاصله الکترودها در پروفیل اول ۵۰ متر و در پروفیل دوم ۴۰ متر انتخاب شد. جهت برداشت داده های مقاومت ویژه از دستگاه ABEM SAS1000C آزمایشگاه ژئوفیزیک اکتشافی دانشگاه صنعتی شاهرود استفاده شده است.

## ۴-۵-۱- مشخصات دستگاه اندازه گیری

همانطور که اشاره شد در مطالعه حاضر، برداشت داده های ژئوالکتریک (مقاومت ویژه و IP) در منطقه مورد مطالعه به کمک دستگاه ABEM SAS 1000 C (شکل ۴-۱۹) صورت گرفته است. دستگاه فوق ساخت کشور سوئد می باشد و قابلیت سنجش مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القائی در حوزه زمان را دارد. دستگاه در نوع خود بسیار حساس و دقیق می باشد. بطور کلی برای انجام قرائت کمیت های مورد نظر، این دستگاه از قابلیت تنظیم های مختلفی برخوردار است [مرادزاده، ۱۳۸۳]. جهت برداشت داده های تحقیق حاضر با تنظیم دستگاه تعداد چهار قرائت انجام شد. سپس متوسط قرائت ها به عنوان قرائت مورد قبول در هر وضعیت الکترودی ثبت شد. با این عمل دقت اندازه گیری ها به طور قابل ملاحظه ای افزایش یافت. انحراف معیار پایین داده های قرائت شده که توسط دستگاه محاسبه می گردد، تأیید کننده دقت کار و کیفیت خوب داده های اندازه گیری شده است.



شکل ۴-۱۹- تصویر دستگاه ABEM SAS 1000 C [راهنمای ABEM، ۱۹۹۱]

## ۴-۶- معکوس سازی دو بعدی داده ها مقاومت ویژه ظاهری و IP

در این پایان نامه معکوس سازی دو بعدی داده ها توسط نرم افزار RES2DINV [لوک، ۲۰۰۲] انجام شده است. در پیوست ب نرم افزار RES2DINV به تفصیل توضیح داده شده است.

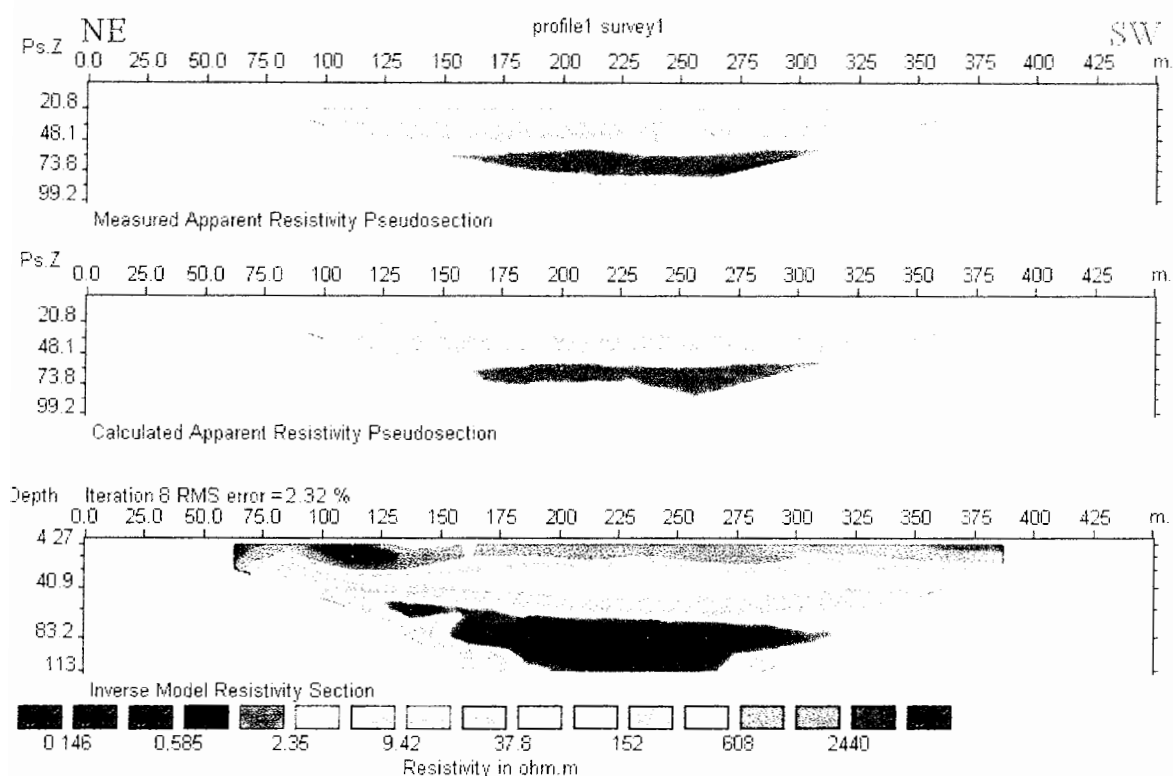
## ۴-۷- تفسیر و ارائه مدل‌ها

پروفیل اول با استفاده از آرایه دوقطبی-دوقطبی برداشت گردید. فاصله الکترودها در این پروفیل ۵۰ متر در نظر گرفته شد. برداشت داده‌ها در ۴ مرحله زمانی و طی مدت بیش از ۶ ماه انجام شده است. در این قسمت ابتدا مدل‌های مقاومت ویژه که با استفاده از نرم افزار RES2DINV تهیه شده است همراه با تفسیرهای هریک از آنها ارائه می‌شود و سپس مدل‌های به دست آمده از پروفیل‌ها با روش Time Laps آورده شده است. در انتها نیز مدل‌های مربوط به مقادیر IP و تفسیرها، مربوط به آن در پیوست ج ارائه گردیده است.

## ۴-۷-۱- پروفیل ۱، برداشت ۱

نتایج مدل سازی معکوس داده‌های مقاومت ویژه در شکل ۴-۲۰ نشان داده شده است. باید توجه کرد که به دلیل مسطح بودن منطقه مورد مطالعه، تصحیحات مربوط به توپوگرافی در مدل وارد نشده است. میزان خطای پایین مدل معکوس سازی شده ( $RMS=2/32\%$ )، نشان دهنده تطابق خوب داده‌های صحرایی با مدل به دست آمده است. با توجه به شکلها می‌توان اینگونه استنباط کرد که ابتدا لایه‌های سطحی با مقاومت ویژه بالا با رنگهای قهوه‌ای، قرمز تا سبز روشن دیده می‌شود. این امر منطبق بر شواهد زمین شناسی منطقه می‌باشد. در فاصله ۱۰۰ تا ۱۲۵ متری افزایش مقاومت ویژه می‌تواند به دلیل ازدیاد ضخامت روباره در آن قسمت از منطقه و یا کم بودن نفوذ پذیری باشد. مدل ارائه شده نشان دهنده کاهش مقاومت ویژه با افزایش عمق می‌باشد، که این امر می‌تواند احتمالاً بیانگر آلودگی در منطقه مورد نظر باشد. آنومالی مربوط به آلودگی احتمالی که با رنگ آبی پر رنگ نشان داده شده است دارای تغییرات

مقاومت ویژه کمتر از ۲ اهم متر می‌باشد. دامنه مقادیر مقاومت ویژه با داده های مقاومتی مندرج در جدول ۴-۴ مطابقت دارد. عمق تقریبی مرکز آلودگی ۸۲ متری از سطح و دارای گسترشی از فاصله ۱۶۵ متری تا ۲۷۵ متری می باشد. با توجه به عمق آلودگی این امر حاکی از راه یافتن احتمالی آلودگی به آب زیرزمینی است که دارای عمق ۴۰ متر می‌باشد.



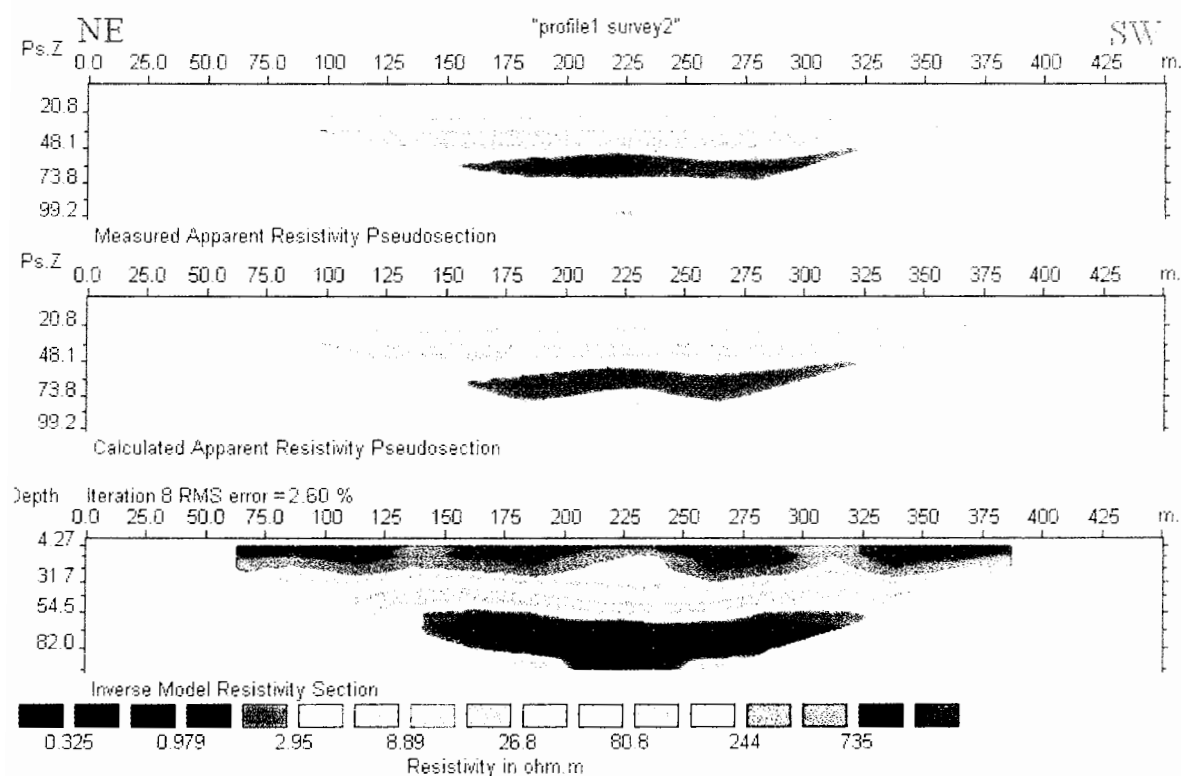
شکل ۴-۲۰- مقاطع از بالا به پایین عبارتند از: شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری اندازه گیری شده، شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری محاسبه شده و مدل معکوس پروفیل ۱ مربوط به برداشت اول

#### ۴-۷-۲- پروفیل ۱، برداشت دوم

برداشت دوم روی پروفیل ۱ به فاصله ۲۲ روز بعد از برداشت اول انجام گرفته است. فاصله

الکترودها ۵۰ متر و محل قرارگیری الکترودها در همان مکان اولیه آنها انتخاب گردید. نتایج مدل سازی

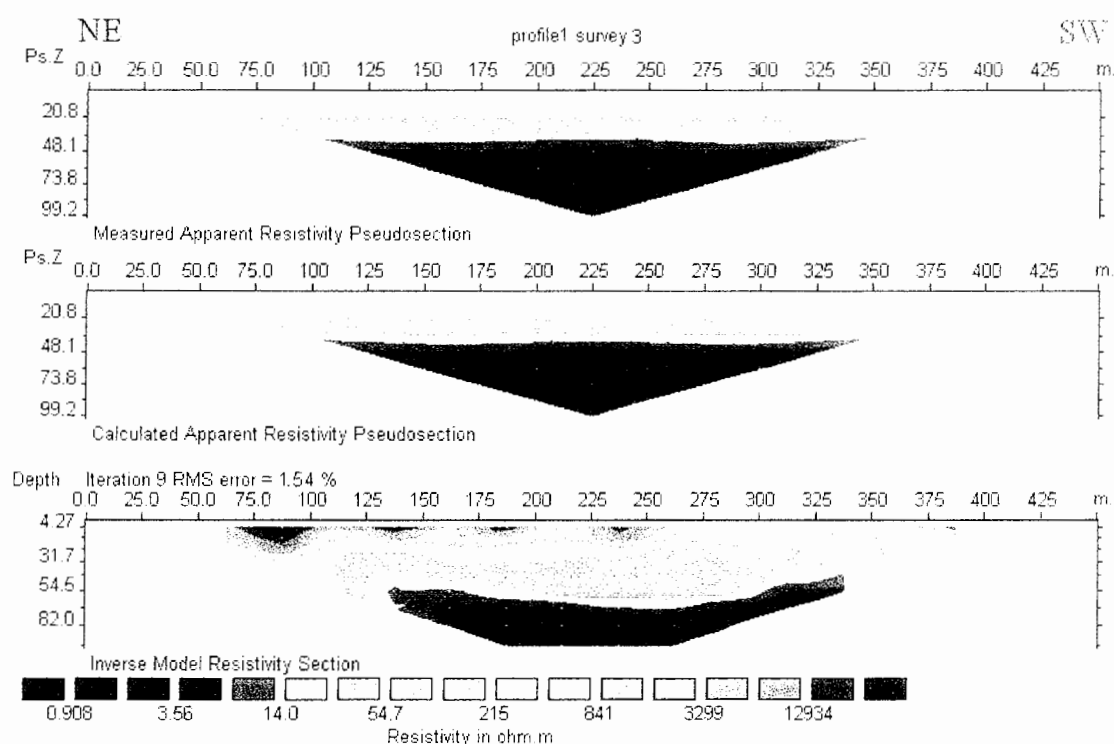
این برداشت در شکل ۴-۲۱ آمده است. میزان خطای پایین مدل ( $RMS=2/6\%$ ) معکوس سازی شده، نشان دهنده تطابق خوب داده های صحرایی با مدل به دست آمده است. این مدل نیز نشان دهنده کاهش مقاومت ویژه با افزایش عمق می باشد، که این امر می تواند احتمالاً بیانگر آلودگی در منطقه مورد نظر باشد. آنومالی آلودگی احتمالی که با رنگ آبی مشخص شده است، دارای تغییرات مقاومت ویژه کمتر از ۲ اهم متر بوده که مطابق با داده های مقاومتی مربوط به مواد مختلف مندرج در جدول ۴-۴ می باشد. عمق تقریبی مرکز آلودگی ۶۵ متری از سطح و دارای گسترشی از فاصله ۱۳۰ تا ۲۷۵ متری می باشد. به نظر می رسد که زون آلوده در این مدل ارائه شده نسبت به برداشت اول گسترش جانبی بیشتر پیدا کرده است و مرکز آلودگی به سمت اعماق بیشتر حرکت کرده است. با توجه به مدل می توان اینگونه استنباط کرد که ابتدا لایه های سطحی با مقاومت ویژه بالا با رنگهای قهوه ای، قرمز تا سبز روشن دیده می شوند. که این امر تطابق کامل با شواهد زمین شناسی منطقه دارد



شکل ۴-۲۱- مقاطع از بالا به پایین عبارتند از: شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری اندازه گیری شده، شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری محاسبه شده و مدل معکوس پروفیل ۱ مربوط به برداشت دوم

#### ۴-۷-۳- پروفیل ۱، برداشت سوم

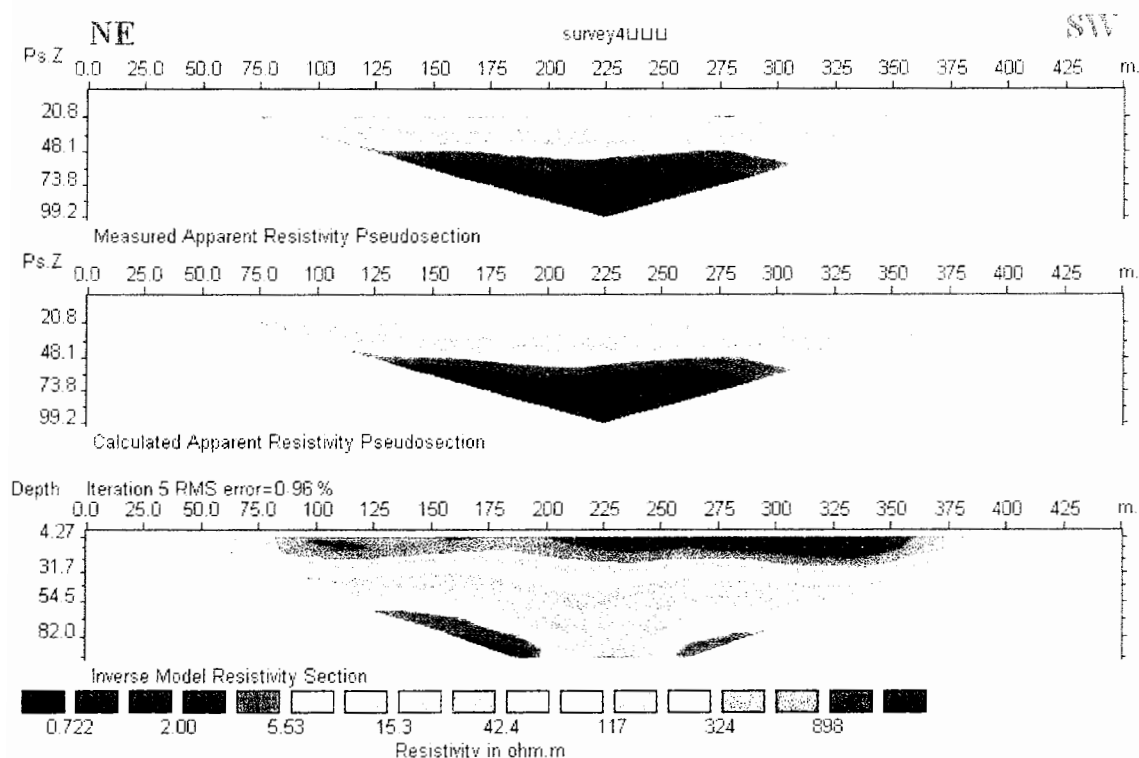
برداشت سوم به فاصله ۸۷ روز از برداشت دوم انجام گرفته است. در این برداشت نیز فاصله الکترودها ۵۰ متر و محل قرارگیری الکترودها در همان مکان اولیه آنها انتخاب گردید. نتایج مدل سازی داده های این مرحله از برداشت در شکل ۴-۲۲ آمده است. میزان خطای کم ( $RMS=1/54\%$ ) نشان دهنده، هماهنگی خوب مدل های به دست آمده با داده های صحرایی می باشد. به نظر می رسد با توجه به اینکه عمق آلودگی تقریباً در ۹۰ متری واقع شده است زون آلودگی نسبت به حالت های قبلی به اعماق بیشتر راه پیدا کرده است که این امر حاکی از حرکت آلودگی می باشد.



شکل ۴-۲۲- مقاطع از بالا به پایین عبارتند از: شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری اندازه گیری شده، شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری محاسبه شده و مدل معکوس پروفیل ۱ مربوط به برداشت سوم

#### ۴-۷-۴- پروفیل ۱، برداشت چهارم

برداشت چهارم به فاصله ۱۶۳ روز از اولین برداشت انجام گرفته است. نتایج مدل سازی داده های این مرحله از برداشت در شکل ۴-۲۳ آمده است. فرآیند مدلسازی معکوس خطای RMS حدود ۰/۹۶ درصد را به همراه داشته است. در مدل ارائه شده به نظر می رسد که کاملاً آلودگی از منطقه مورد نظر حرکت کرده است و تنها آثاری از آنها در اعماق زیاد و در طرفین مدل دیده می شود.

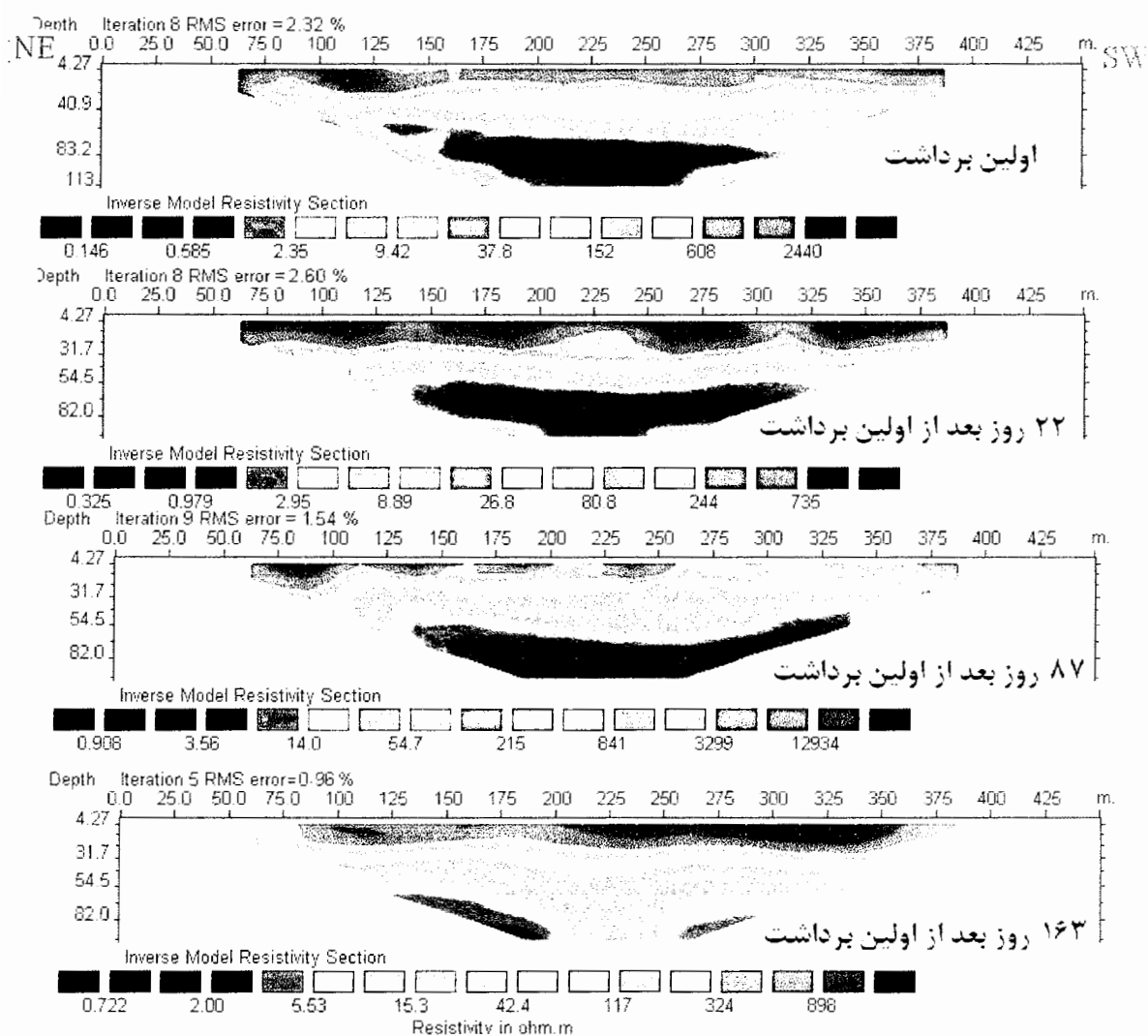


شکل ۴-۲۳- مقاطع از بالا به پایین عبارتند از: شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری اندازه گیری شده، شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری محاسبه شده و مدل معکوس پروفیل ۱ مربوط به برداشت چهارم

#### ۴-۷-۵- معکوس سازی داده های مقاومت ویژه پروفیل ۱ با استفاده از روش Time- Laps

در شکل ۴-۲۴ سعی شده است تا روند تغییر مدلها در زمانهای مختلف برداشت داده ها نشان داده شود تا مقایسه بین آنها میسر شود. همانطور که در شکل ۴-۲۴ دیده می شود در اولین برداشت مرکز آلودگی احتمالی در عمق کمتر و با گسترش مرکزی زیادی مشخص شده است. ولی در دومین برداشت انجام شده زون آلوده به عمق بیشتری رفته و گسترش جانبی آن نیز بیشتر شده است. در برداشت سوم ظاهراً زون آلوده دارای گسترش بیشتر شده و به اعماق پایین تر (نسبت به مدل قبلی) گسترش یافته

است. در برداشت چهارم آلودگی از منطقه مورد نظر حرکت کرده است و احتمالاً با گسترش به اعماق پایین تر فقط آثار آن در حواشی اعماق زیاد دیده می شود.



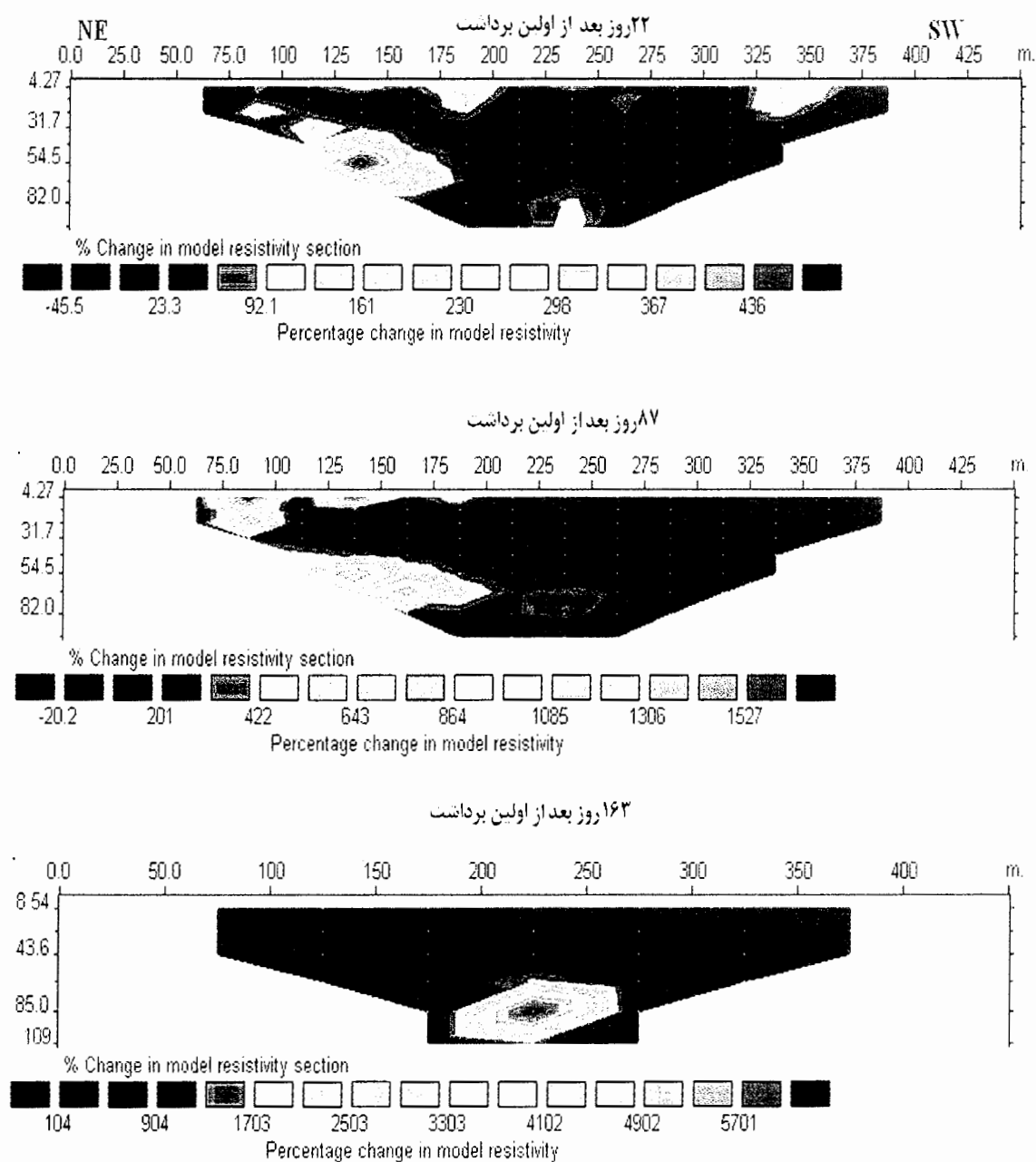
شکل ۴-۲۴- مدل‌های معکوس مقاومت ویژه مربوط به زمان‌های مختلف در پروفیل شماره ۱

با استفاده از روش Time Laps می توان درصد تغییرات مقاومت ویژه را پیدا کرد. شکل ۴-۲۵ نیز

درصد تغییرات مدل‌های مقاومت ویژه در برداشت‌های مختلف را نسبت به مدل مربوط به برداشت اول

نشان می دهد. در برداشت دوم در سه قسمت تغییرات مقاومت مشاهده می شود. این تغییرات در فاصله ۱۱۲/۵ متری تا ۱۷۵ متری روی مدل در عمق ۴۱/۵ متری تا ۸۰ متری ایجاد شده است و بیشترین تغییر ایجاد شده در این مدل در فاصله ۱۱۲/۵ متری تا ۱۵۰ متری می باشد. بازه عمقی تقریبی بین ۴۳ تا ۵۳ متر می باشد. با در نظر گرفتن مدل ۴-۲۴ بخوبی می توان دید که آلودگی در برداشت دوم در قسمت فوق بیشتر شده است (مقدار مقاومت ویژه ظاهری کمتر شده است). دو قسمت دیگر که در نواحی سطحی شکل مربوط به این برداشت قرار دارند با توجه به مدل در نظر گرفته، دارای افزایش مقاومت ویژه می باشند که شاید بخاطر خشک بودن این نواحی نسبت به مدل قبلی باشد و این نواحی در فواصل ۱۷۵ تا ۲۰۰ متری و در فاصله ۳۲۵ تا ۳۶۵ متری دیده می شوند. در هر دو ناحیه تغییرات ایجاد شده بالای ۱۵۰ درصد می باشد و دارای عمق ۲۷ متر می باشد. مدل دوم در شکل ۴-۲۵ که تغییرات نشان داده شده در برداشت سوم را نسبت به برداشت اول به نمایش می گذارد، نشان دهنده یک زون با تغییرات زیاد مقاومت ویژه است. این زون که دارای تغییرات بیشتری نیز می باشد، در فاصله ۱۱۲/۵ متری تا ۲۰۰ متری روی پروفیل قرار دارد. این زون بین عمق های ۴۰ متری تا ۶۰ متری قابل رویت است. درصد تغییرات مقاومت ویژه در این قسمت بسیار زیاد و در حدود ۱۲۰۰ درصد می باشد. با استفاده از مدل به دست آمده در شکل ۴-۲۵ می توان دید که آلودگی ایجاد شده در برداشت سوم نسبت به مدل ارائه شده در برداشت اول دارای گسترش جانبی بیشتر بطرف راست و مرکز پروفیل و عمق قرارگیری بیشتری می باشد.

در شکل ۴-۲۵ تغییرات ایجاد شده در برداشت چهارم را نسبت به برداشت اول به نمایش می‌گذارد. مدل نشان دهنده یک زون با تغییر مقاومتی خیلی زیاد در فاصله ۱۷۵ متری تا ۲۷۵ متری می‌باشد. عمق آغازی این تغییرات چیزی در حدود ۴۵ متر و زون آلوده در حد فاصل بازه عمقی ۶۵ تا ۱۱۰ متری قرار گرفته است. با در نظر گرفتن شکل ۴-۲۴ بخوبی می‌توان دید که آلودگی در نظر گرفته شده در مدل اول کاملاً از ناحیه مورد نظر حرکت کرده است و به اعماق بیشتر رفته است. بنظر میرسد عامل بارندگی متناوب و همچنین تغییر سطح سفره آب و جهت شیب منطقه عامل تغییرات ایجاد شده در تمامی مدل‌ها می‌باشد.



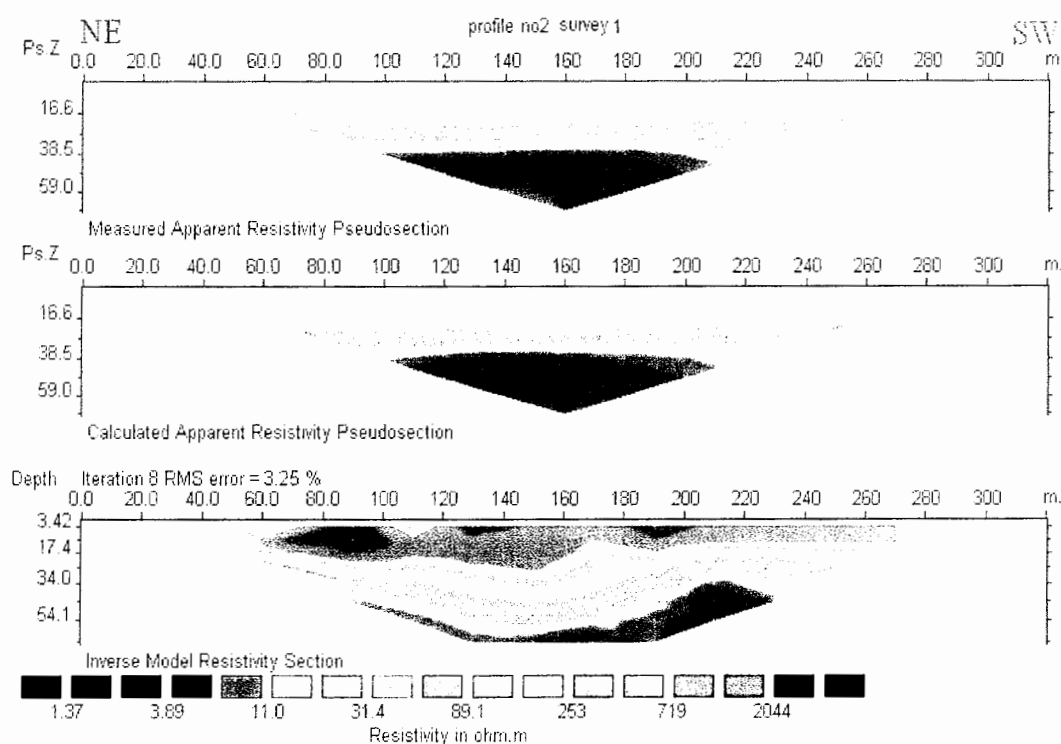
شکل ۴-۲۵- مدل‌های تغییرات مقاومت ویژه در برداشت‌های مختلف نسبت به برداشت اول مربوط به پروفیل ۱

## ۴-۸- تفسیر و ارائه مدل های پروفیل ۲

پروفیل دوم نیز همانند پروفیل قبلی با استفاده از آرایه دو قطبی - دو قطبی برداشت گردید. فاصله الکترودها در این پروفیل ۴۰ متر در نظر گرفته شد. برای بررسی تغییرات مقاومت ویژه در ابتدا تصمیم بر این شد که ۴ برداشت در زمانهای مختلف صورت گیرد. ولی متأسفانه بدلیل گسترش دمپ باطله ها و دفن باطله های جدید برداشت های سوم و چهارم امکان پذیر نبود.

## ۴-۸-۱- پروفیل ۲ برداشت اول

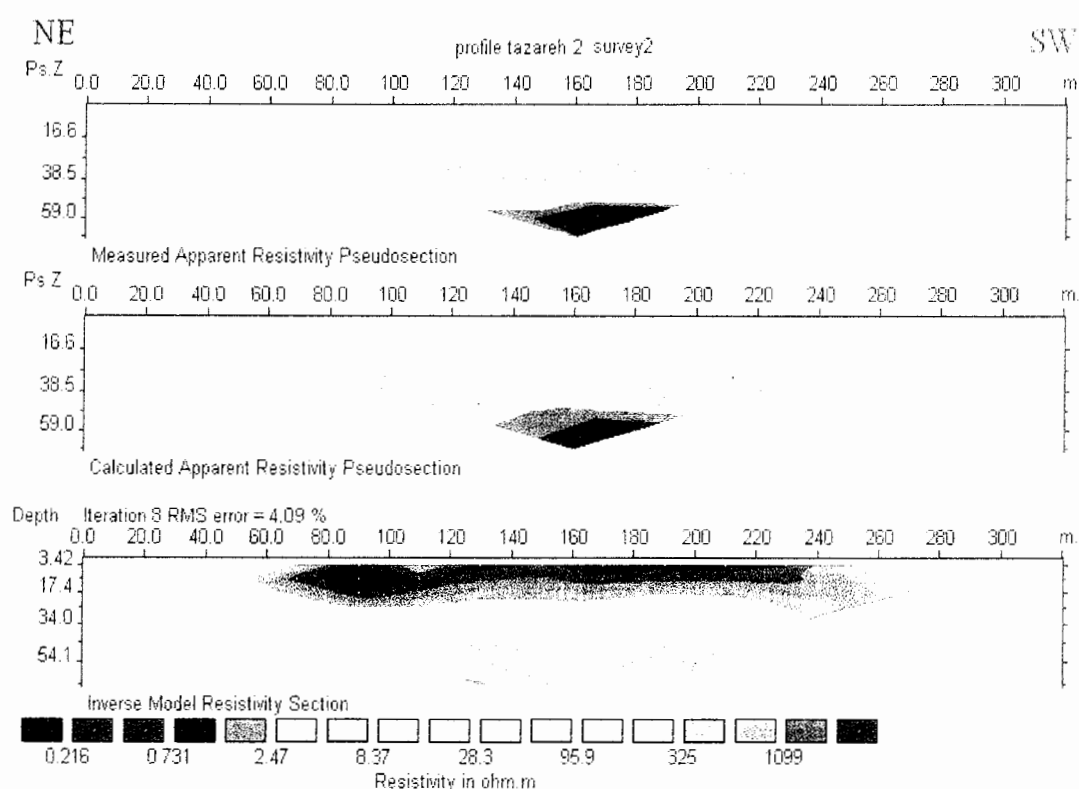
همانطور که در شکل ۴-۲۶ دیده می شود روند کاهش مقاومت ویژه از سطح به عمق بخوبی دیده می شود. قسمتهای با مقادیر مقاومت ویژه بالا با رنگهای قهوه ای تا سبز روشن در مدل نشان داده شده است. در حد فاصل ۹۰ تا ۳۰۰ متری روی مدل زون هادی ناشی از آلودگی احتمالی در بازه عمقی ۴۵ تا ۵۵ متری دیده می شود. این قسمت با رنگ آبی روشن تا آبی تیره و با مقاومت ویژه کم (زیر ۱۰) اهم متر مشخص شده است. قابل ذکر است که خطای مدل سازی کمتر از ۳/۲۵ درصد می باشد.



شکل ۴-۲۶- مقاطع از بالا به پایین عبارتند از: شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری اندازه گیری شده، شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری محاسبه شده و مدل معکوس پروفیل ۲ مربوط به برداشت اول

#### ۴-۸-۲- پروفیل ۲ برداشت دوم

همانطور که در شکل ۴-۲۷ دیده می شود، روند کاهش مقاومت ویژه از سطح به عمق بخوبی دیده می شود. قسمت‌های با مقاومت ویژه بالا می باشد با رنگهای قهوه ای تا سبز روشن در مدل نشان داده شده است. در حد فاصل ۹۰ تا ۱۴۰ متری روی مدل، زون حاوی آلودگی در عمق تقریبی ۴۵ متری دیده می شود. این قسمت با رنگ آبی روشن تا آبی تیره و با مقاومت ویژه کم زیر ۱۰ اهم متر مشخص شده است. البته به نظر می رسد که آلودگی از منطقه مورد نظر حرکت کرده و به اعماق بیشتری راه یافته است. همانگونه که شکل ۴-۲۷ نشان می دهد خطای مدل سازی ۴/۰۹ درصد محاسبه شده است.

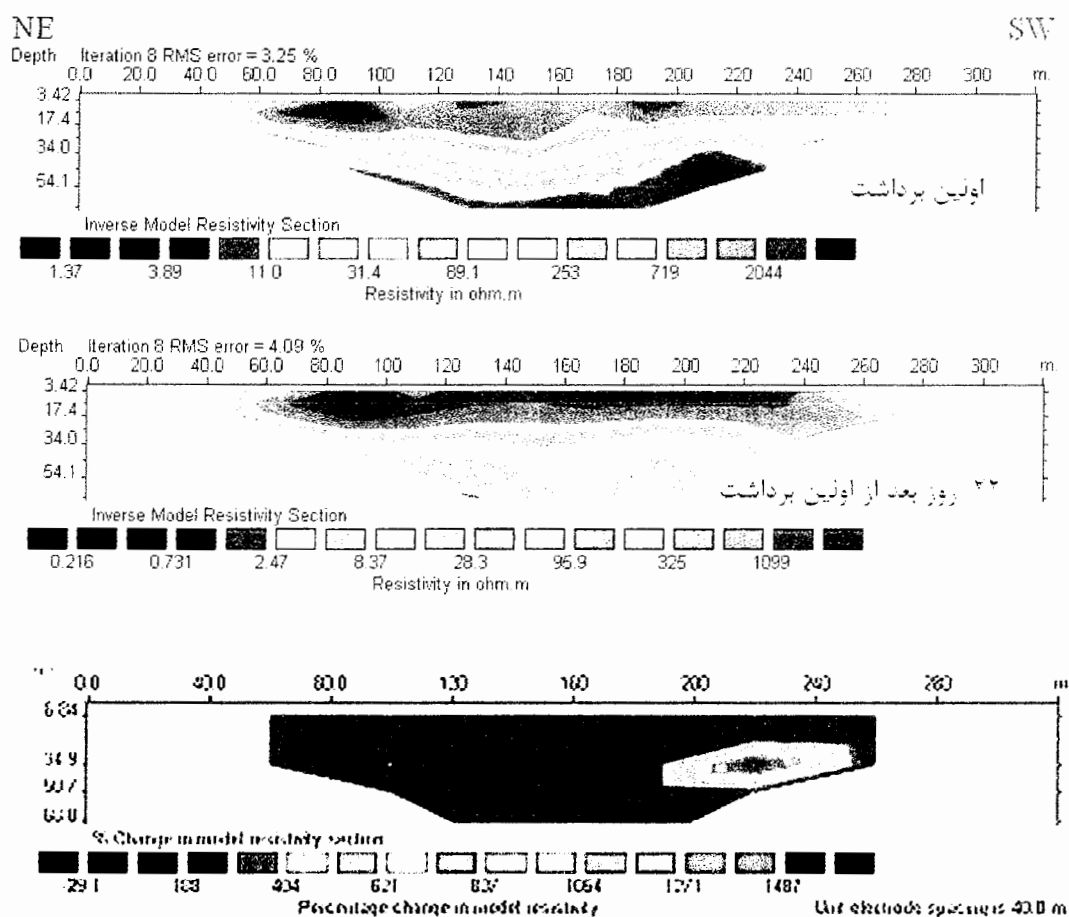


شکل ۴-۲۷- مقاطع از بالا به پایین عبارتند از: شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری اندازه گیری شده، شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری محاسبه شده و مدل معکوس پروفیل ۲ مربوط به برداشت دوم

#### ۴-۸-۳- معکوس سازی داده های مقاومت ویژه پروفیل ۲ با استفاده از روش Time- Laps

با توجه به شکل ۴-۲۸ به نظر می رسد که مدل دوم نسبت به مدل اول دارای تغییرات بسیار زیادی است. قسمتهای سطحی افزایش مقاومت ویژه را نشان می دهند. آلودگی ایجاد شده در مدل اول از منطقه مورد نظر حرکت کرده و یا به اعماق بیشتر حرکت نموده است. در قسمت پایین شکل ۴-۲۸ درصد تغییرات مقاومت ویژه مدل دوم نسبت به مدل اول ارائه شده است. کل مدل به مقدار زیادی دچار تغییر شده است ولی میزان تغییرات مقاومت در فاصله ۱۸۰ متری تا ۲۵۰ متری روی پروفیل و عمق ۳۵

متری نسبت به کل مدل زیاد بوده که احتمالاً این امر بخاطر حرکت آلودگی و یا راه یافتن آن به عمق بیشتر می باشد. بحث و نتیجه گیری بیشتر روی مدلها همراه با سایر اطلاعات در فصل پایانی می آید.



شکل ۴-۲۸- مدل‌های معکوس مقاومت ویژه و درصد تغییرات مقاومت ویژه در مدل دوم نسبت به برداشت اول

## فصل پنجم

نمونه برداری و تعیین درصد پیریت

باقیمانده در باطله

### ۵-۱- نمونه برداری

انتخاب نمونه ها و انجام عملیات نمونه برداری نقش مهمی در آزمایشها و تفسیر نتایج بازی می کند. نمونه ها براساس حجم سنگها و مشخصات آنها و با توجه به قسمتهای قابل معدنکاری و زمین شناسی محل معدن، انتخاب می گردد. در مورد باطله های فرآوری، نمونه باید از عمق های مختلف گرفته شود تا مشخص گردد آیا فرآیند اکسیداسیون روی پیریت همراه زغال رخ داده است یا نه ؟ بهترین روش جمع آوری نمونه ها از باطله، حفاری از نقاط مختلف کپه های باطله می باشد [انجمن حمایت از محیط زیست آمریکا (EPA)، ۱۹۹۴]. با توجه به عدم امکان حفاری و محدودیتهای موجود در منطقه، به منظور نمونه برداری از یک دستگاه لودر استفاده گردید. نمونه برداری در محل انباشت باطله جیگ قدیمی در سه محل روی دمپ باطله صورت گرفته است. انجام نمونه برداری، به صورت دستی و به گونه ای صورت گرفت که نمونه ها به صورت معرف<sup>۱</sup> باشند. نمونه های برداشت شده هر کدام دارای وزنی به میزان حداقل یک کیلوگرم بودند و در هر نقطه، نمونه های برداشت شده مربوط به عمق های متفاوت از یکدیگر بودند. به منظور جلوگیری از اختلاط نمونه ها، نمونه های برداشت شده داخل کیسه های

---

1- Representative sample

در بسته قرار گرفتند. مشخصات مربوط به تعداد نمونه ها و عمق نمونه گیری در جدول ۱-۵ آورده شده است.

مراحل انجام نمونه برداری و آنالیز مربوط به تعیین درصد پیریت باقیمانده در نمونه های گرفته شده از اعماق مختلف در شکل ۱-۵ نشان داده شده است.

جدول ۱-۵- مشخصات نمونه های برداشت شده

| نقطه ۳ |               | نقطه ۲ |               | نقطه ۱ |               |
|--------|---------------|--------|---------------|--------|---------------|
| تعداد  | عمق نمونه (m) | تعداد  | عمق نمونه (m) | تعداد  | عمق نمونه (m) |
| ۱      | سطحی          | ۱      | سطحی          | ۱      | سطحی          |
| ۱      | ۰/۲           | ۱      | ۰/۲           | ۱      | ۰/۲           |
| ۱      | ۰/۵۰          | ۱      | ۰/۵۰          | ۱      | ۰/۵۵          |
| ۱      | ۱/۱           | ۱      | ۱/۱           | ۱      | ۱/۱           |
| ۱      | ۱/۵           | ۱      | ۱/۵           | ۱      | ۱/۵           |
| ۱      | ۱/۶۵          | ۱      | ۱/۶           | ۱      | ۱/۷۵          |

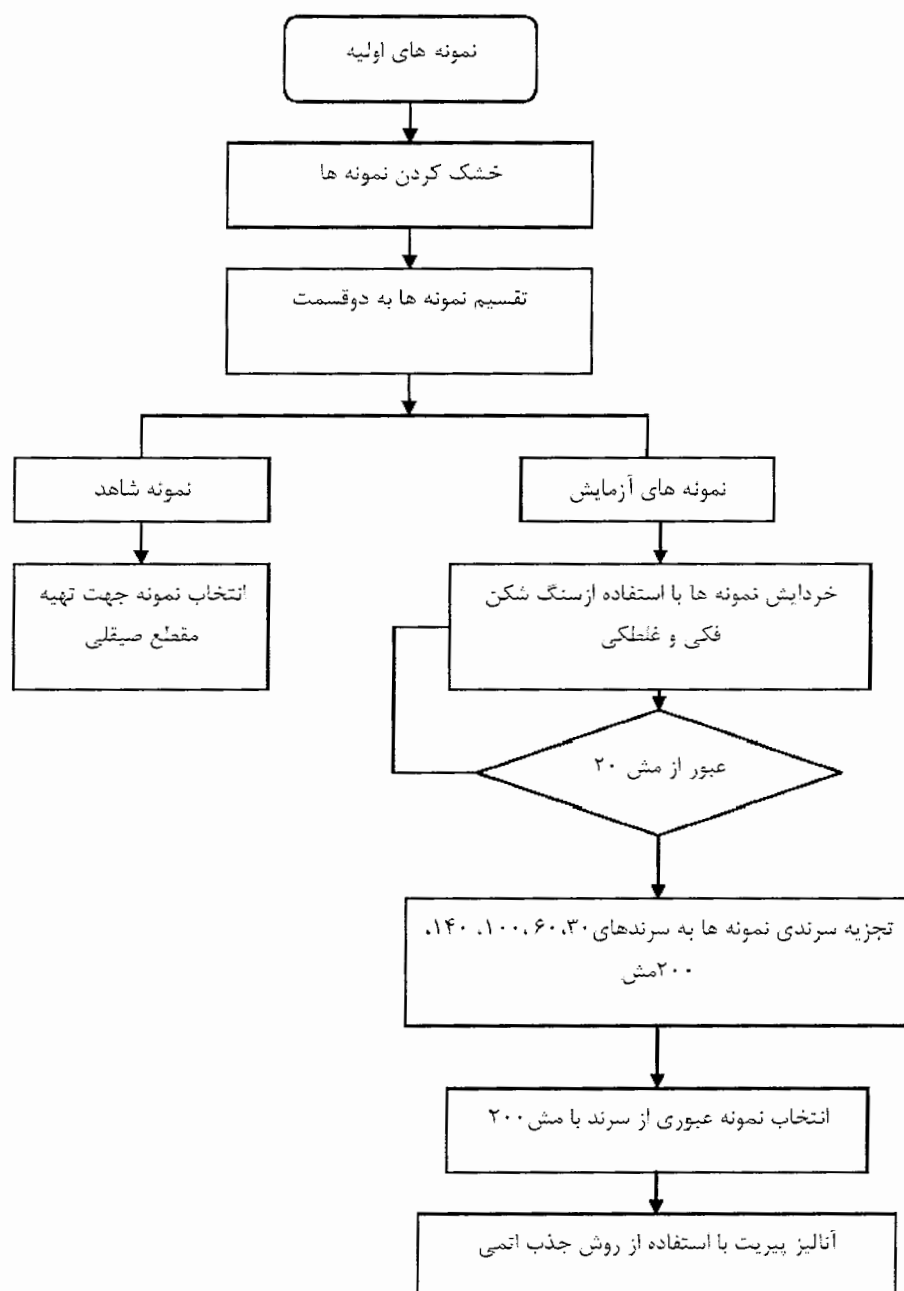
#### ۱-۱-۵- آماده سازی نمونه ها

نمونه های گرفته شده از منطقه به آزمایشگاه کانه آرایی دانشگاه صنعتی شاهرود منتقل گردید.

مراحل آماده سازی نمونه ها به قرار زیر است.

#### ۱-۱-۱-۵- خشک کردن نمونه ها

جهت خشک کردن نمونه های اولیه، به مدت ۲ روز در دسیکاتور با دمای  $105^{\circ}\text{C}$  قرار گرفت.



شکل ۵-۱- فلوچارت مراحل آماده سازی نمونه ها و آنالیز پیریت موجود در آنها

## ۵-۱-۱-۲- تقسیم نمونه ها

نمونه های خشک شده به دو قسمت تقسیم گردید:

الف- نمونه های آزمایش

ب- نمونه های شاهد

## ۵-۱-۱-۳- خردایش

به منظور انجام تجزیه آزمایش شیمیایی به روش جذب اتمی<sup>۱</sup>، تعیین میزان پیریت باقیمانده در نمونه ها و تهیه مقطع صیقلی، نمونه های آزمایش با استفاده از سنگ شکن فکی و غلطکی طوری خرد شدند تا همگی ذرات نمونه از سرنند ۲۰ مش عبور کنند. خردایش به نحوی انجام شد که حداقل نرمه تولید گردد [عبداللهی و همکار، ۱۳۸۳].

## ۵-۱-۱-۴- تجزیه سرنندی

جهت تجزیه سرنندی از سرندهای ۳۰، ۶۰، ۱۰۰، ۱۴۰ و ۲۰۰ مش استفاده گردید. برای این منظور نمونه خرد شده در حالت قبل، به مدت ۱۵ دقیقه بر روی شیکر قرار گرفت. سپس نمونه های قرار گرفته در روی هر سرنند، توزین گردید و درصد قرارگیری نمونه ها محاسبه گردید. جداول ۲-۵ تا ۴-۵ نتایج تجزیه سرنندی نمونه های برداشت شده از دمپ باطله را نشان می دهند.

1 - Atomic absorption method

جدول ۵-۲- نتایج تجزیه سرندي نمونه برداشت شده از نقطه ۱

| عمق نمونه برداشت شده نقطه ۱ (متر)      |       |       |       |       |       | دهانه سرندي<br>(مش) |
|----------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------|
| سطحي                                   | ۰/۲۰  | ۰/۵۵  | ۱/۱   | ۱/۵   | ۱/۷۵  |                     |
| درصد قرار گيري نمونه ها بروي سرندي (%) |       |       |       |       |       |                     |
| ۲۲                                     | ۲۶/۲۱ | ۲۶/۲۵ | ۲۲/۱۶ | ۲۳/۹۱ | ۲۰/۵۲ | +۳۰                 |
| ۳۴                                     | ۳۵/۰۲ | ۳۷/۲۸ | ۳۱/۴۹ | ۳۲/۰۵ | ۳۳/۳۹ | +۶۰                 |
| ۲۰/۱۰                                  | ۱۸/۲۵ | ۲۶/۳۹ | ۱۷/۵۴ | ۲۵/۱۷ | ۲۶/۸۲ | +۱۰۰                |
| ۱۱/۳                                   | ۶/۰۵  | ۵/۸۱  | ۱۱/۲۵ | ۷/۱۸  | ۶/۱۳  | +۱۴۰                |
| ۶/۶                                    | ۴/۵۶  | ۲/۵۷  | ۶/۶۶  | ۶/۵۸  | ۴/۶۲  | +۲۰۰                |
| ۶                                      | ۹/۹۱  | ۱/۷   | ۱۰/۹  | ۵/۱۱  | ۸/۵۲  | -۲۰۰                |

جدول ۵-۳- نتایج تجزیه سرندي نمونه برداشت شده از نقطه ۲

| عمق نمونه برداشت شده نقطه ۲ (متر)      |       |       |       |       |       | دهانه سرندي<br>(مش) |
|----------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------|
| سطحي                                   | ۰/۲۰  | ۰/۵۰  | ۱/۱   | ۱/۵   | ۱/۶۵  |                     |
| درصد قرار گيري نمونه ها بروي سرندي (%) |       |       |       |       |       |                     |
| ۲۸/۱۶                                  | ۲۴/۴۱ | ۲۶/۰۶ | ۲۳/۰۸ | ۳۰/۲۵ | ۳۰/۸۸ | +۳۰                 |
| ۲۹/۴۱                                  | ۳۳/۸۹ | ۳۱/۶۸ | ۴۰/۰۹ | ۲۵/۰۴ | ۲۳/۷۶ | +۶۰                 |
| ۲۰/۵۸                                  | ۱۶/۴۵ | ۱۷/۱۱ | ۱۶/۱۸ | ۲۵/۸۱ | ۲۴/۲۶ | +۱۰۰                |
| ۸/۸۶                                   | ۸/۶۹  | ۱۰/۱  | ۸/۷   | ۶/۶۶  | ۶/۵۵  | +۱۴۰                |
| ۴/۷                                    | ۷/۹۹  | ۵/۹۱  | ۵/۳۵  | ۵/۳۹  | ۶/۰۳  | +۲۰۰                |
| ۸/۲۹                                   | ۸/۵۸  | ۹/۱۱  | ۶/۶   | ۶/۸۵  | ۸/۵۲  | -۲۰۰                |

جدول ۵-۴- نتایج تجزیه سرندي نمونه برداشت شده از نقطه ۳

| دهانه سرندي<br>(مش) | عمق نمونه برداشت شده نقطه ۳ (متر)      |       |       |       |       |
|---------------------|----------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                     | سطحي                                   | ۰/۲۰  | ۰/۵۰  | ۱/۱   | ۱/۵   |
|                     | درصد قرار گيري نمونه ها بروي سرندي (%) |       |       |       |       |
| +۳۰                 | ۲۷/۹۶                                  | ۳۱/۳۸ | ۲۹/۵۶ | ۱۹/۹  | ۲۴/۸۵ |
| +۶۰                 | ۳۲/۰۵                                  | ۲۴/۹۸ | ۲۴/۱۴ | ۳۱/۸۸ | ۲۴/۲۶ |
| +۱۰۰                | ۱۵/۱۳                                  | ۱۸/۸۸ | ۱۹/۹۹ | ۱۶/۴  | ۱۸/۹۲ |
| +۱۴۰                | ۸/۷۹                                   | ۹/۱۲  | ۷/۳۸  | ۱۰/۰۵ | ۱۰/۴۷ |
| +۲۰۰                | ۵/۴۷                                   | ۶/۳۸  | ۶/۳۴  | ۶/۵۷  | ۶/۹۶  |
| -۲۰۰                | ۱۰/۶                                   | ۹/۲۶  | ۱۲/۵۹ | ۱۵/۲  | ۱۴/۵۴ |

#### ۵-۱-۱-۵- انتخاب نمونه جهت تعیین میزان پیریت باقیمانده

برای این منظور از نمونه های معرف زیر سرندي ۲۰۰ مش برای آنالیز و تعیین درصد میزان پیریت

باقیمانده در نمونه ها استفاده گردیده است.

#### ۵-۲- روشهای تعیین میزان پیریت

برای محاسبه مقدار پیریت و بررسی کمی و کیفی میزان تغییرات آن در اعماق مختلف از دو روش

متفاوت استفاده گردید.

۱- بررسی کمی تعیین میزان پیریت با استفاده از آنالیز شیمیایی به کمک روش جذب اتمی

۲- بررسی کیفی تعیین میزان پیریت با استفاده از تهیه مقاطع صیقلی و مشاهده پیریت در زیر نور

انعکاسی

#### ۵-۲-۱- تعیین نوع سولفور

همانطور که قبلاً اشاره شد سولفور به سه شکل می تواند در زغال سنگ وجود داشته باشد:

۱- سولفور غیر ارگانیکی

۲- سولفور پیریتی ( $FeS_2$ )

۳- سولفور ارگانیکی

*ISO* و *ASTM* روش های استاندارد برای تعیین سولفور ارگانیکی ارائه کرده اند که از نظر اصولی مشابه یکدیگر می باشند. در هر دو روش پیشنهادی برای خارج کردن سولفور غیر ارگانیکی که به صورت سولفات می باشند از اسید رقیق کلریدریک استفاده شده است و برای سولفور که به صورت پیریت در زغال وجود دارد از اسید نیتریک رقیق استفاده می شود و برای تعیین سولفور ارگانیکی از رابطه زیر استفاده می کنند [اصانلو، ۱۳۷۸]:

$$S_O = S_I - (S_{NO} + S_P) \quad (۱-۵)$$

که در رابطه بالا:

$S_O$ : مقدار سولفور ارگانیکی که بعضاً تا ۱۰ درصد کل سولفور را تشکیل می دهد

$S_I$ : کل سولفور موجود در زغال اعم از سولفور ارگانیکی، به صورت پیریت و سولفات

$S_{NO}$ : سولفور غیر ارگانیکی که به صورت سولفات ظاهر می شود.

$S_P$ : سولفور که به صورت پیریت در زغال وجود دارد.

آنچه که برای ما از اهمیت زیادی برخوردار است میزان پیریت موجود در باطله های زغال سنگ

می باشد. برای تعیین گوگرد پیریتی می توان از دستورالعمل های ASTM ۲۷۹۲ و ISO ۱۵۷ استفاده

نمود [اصانلو، ۱۳۷۸]. در روش پیشنهادی با دستورالعمل ISO ۱۵۷ حدود ۰/۵ گرم نمونه آزمایشگاهی را که به صورت نرمه درآمده است (ازسرنده ۰/۰۲ میلیمتر گذشته باشد) را ابتدا در کوره با دمای °C ۱۰۵ خشک و سپس آن را به منظور ایجاد فعل و انفعالات شیمیائی در داخل فلاسک مخصوص به همراه اتانول<sup>۱</sup>، ۱۵ گرم روی و ۰/۱ گرم کروم قرار می دهند. ترکیبات فوق الذکر را به گونه ای داخل فلاسک قرار می دهند که فضا برای سایر ابزار و مواد وجود داشته باشد. بر روی این ترکیب داخل فلاسک یک ظرف قیفی شکل که داخل آنرا با اسید کلریدریک پر کرده اند جای می دهند به گونه ای که امکان اضافه کردن مقدار کمی اتانول وجود داشته باشد. سپس سیستم را به کپسول حاوی دی اکسید کربن وصل می کنند و اجازه داده می شود تا اسید کلریدریک با محتوی فلاسک به مدت ۱۰ دقیقه فعل و انفعال انجام دهد. بعد از ۱۵ تا ۲۰ دقیقه که از این مرحله گذشت و تغییرات اساسی و مورد انتظار در هیدروژن پدید آمد، فلاسک توسط دی اکسید کربن تخلیه و همه هیدروژن سولفید را ( $H_2S$ ) از سیستم خارج می کنند. سپس با استفاده از تعیین میزان سولفور در پیریت آزمایش را ادامه می دهند.

امروزه ASTM به دلیل طولانی بودن آزمایش به روش بالا، روش جذب اتمی را پیشنهاد می کند [عبداللهی و همکار، ۱۳۸۳]. در این روش همانطور که در بالا اشاره شد، بر این اساس استوار است که سولفات‌ها بر خلاف پیریت در اسید کلریدریک رقیق حل می شوند و با استفاده از اسید نیتریک رقیق می توان پیریت را به صورت محلول از زغال سنگ خارج نمود. با اندازه گیری میزان آهن موجود در محلول به روش جذب اتمی می توان میزان پیریت را محاسبه نمود [عبداللهی و همکار، ۱۳۸۳].

---

1- Ethanol

## ۵-۲-۲- نحوه انجام آنالیز

الف- انتخاب نمونه

ب- آماده سازی محلولها

ج- اندازه گیری میزان آهن با استفاده از دستگاه جذب اتمی

د- تعیین میزان پیریت با استفاده از میزان آهن موجود در فاز گوگردی

## ۵-۲-۲-۱- انتخاب نمونه

همانطور که قبلاً اشاره شد، نمونه های معرف به میزان ۰/۲ گرم از نمونه عبوری سرند ۲۰۰ مش (زیر ۷۵ میکرون) از نمونه های آماده سازی شده، انتخاب گردید. باید توجه کرد که این نمونه ها شامل تمامی نمونه های آماده سازی شده مربوط به اعماق مختلف است که در مراحل قبل از نقاط ۱، ۲ و ۳ اخذ شده اند.

## ۵-۲-۲-۲- آماده سازی محلولها

هر یک از نمونه های معرف ۰/۲ گرمی اخذ شده در مرحله قبل در محلولی که شامل ۱۰ میلی لیتر اسید کلریدریک غلیظ (۳۷ درصد حجمی) و ۱۵ میلی لیتر آب مقطر است ریخته، تا زمان رسیدن به حجم ۱۰ میلی لیتر مخلوط حاصل حرارت داده شد. این کار به این خاطر صورت می گیرد که تمام نمونه در اسید کلریدریک حل شده باشد. سپس رسوبات حل نشده با استفاده از کاغذ صافی جدا شده و آنها را با ۲۰ میلی لیتر آب شستشو می دهند. سپس رسوب حاصل در محلولی که از ۷ میلی لیتر اسید نیتریک

غلیظ (۶۵ درصد وزنی) و ۵۰ میلی لیتر آب می باشد قرار داده می شود. مخلوط حاصل را به کمک شعله چراغ به مدت ۵۰ دقیقه حرارت داده تا اطمینان حاصل گردد که تمامی پیریت موجود در زغال حل شده باشد. ناخالصی های حل نشده بر روی کاغذ صافی با استفاده از قیف شیشه ای جدا می گردد. محلول موجود در زیر کاغذ صافی که حاوی آهن می باشد را در بالن ژوژه به حجم ۱۰۰ میلی لیتر می رسانند تا با استفاده از دستگاه جذب اتمی مقدار آهن اندازه گیری شود. باید توجه داشت که این کار برای تمامی نمونه های گرفته شده از اعماق مختلف در نقاط ۱، ۲ و ۳ انجام شده است.

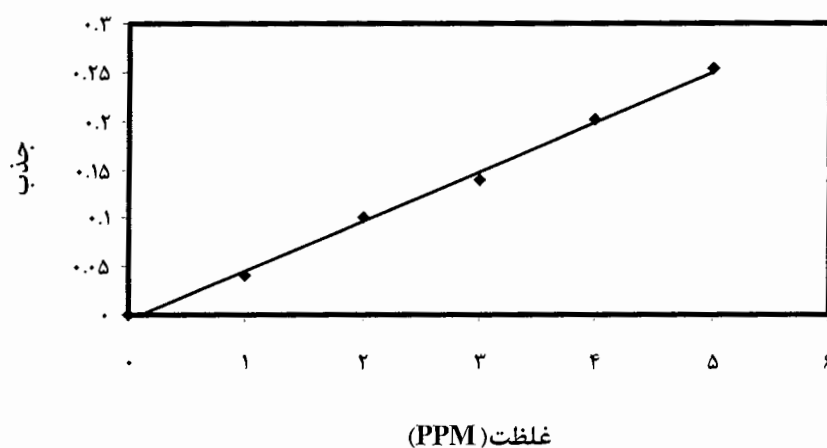
#### ۵-۲-۳- اندازه گیری میزان آهن با استفاده از دستگاه جذب اتمی

شرط لازم برای تولید طیفهای فرابنفش یا مرئی عناصر این است که نمونه های آزمایشی به اتم تبدیل شوند. در این فرآیند، اجزای تشکیل دهنده نمونه آزمایشی تجزیه شده و به ذرات بنیادی گازی (اتمها یا یونها) تبدیل می شوند. سپس، طیف جذبی، نشری، یا فلئورسانس اتمها یا یونهای حاصل به عنوان مبنای تجزیه کیفی و کمی عناصر موجود در نمونه به کار می روند. در روش جذب اتمی، اتم سازی در شعله، یا بر روی سطحی که به طریق الکتریکی داغ می شود، صورت می گیرد. سپس بخار حاصل از نمونه آزمایشی وارد مسیر طیف نور می شود. در این حالت، محل و موقعیت خطوط جذبی برای شناسایی اجزای سازنده نمونه آزمایشی به کار می رود. جذب یک خط، معمولاً با غلظت گونه جاذب متناسب است. خطوط جذب اتمی، به طور قابل ملاحظه ای باریک هستند و برای هر عنصری اختصاصی هستند، از این رو عامل بالقوه برای این ویژگی خیلی بالاست. برای هر عنصر (یا برخی اوقات، گروهی از عناصر)، یک

منبع لامپ جداگانه مورد نیاز است. دستگاه جذب اتمی نیز باید از توان فراهم کردن پهنای نوار به قدر کافی برخوردار باشد. دلیل این امر آن است که خط انتخاب شده جهت اندازه گیری، از سایر خطوطی که ممکن است تداخل کنند یا حساسیت تجزیه را کاهش دهند، به میزان مطلوبی تفکیک گردد [سلاجقه و همکار، ۱۳۷۰].

#### ۵-۲-۲-۴- انجام آنالیز جذب اتمی

ابتدا محلولهایی با غلظت معین از آهن شامل ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ ppm تهیه گردید و مقدار جذب آنها توسط دستگاه جذب اتمی اندازه گیری شد، پس از آن نمودار بین غلظت و جذب به صورت خطی به دست آمد (شکل ۲-۵).



شکل ۲-۵- نمودار خطی غلظت - جذب آهن جهت تجزیه پیریت با دستگاه جذب اتمی

سپس جذب محلولهای آماده شده نمونه ها اندازه گیری شد و با استفاده از نمودار خطی، غلظت آهن آنها تعیین شد که نتایج مربوط به آنالیز مقدار آهن نمونه های تهیه شده در نقاط ۱ تا ۳ در جدول ۵-۵ تا

۷-۵ آورده شده است.

### ۵-۲-۲-۵- تعیین میزان پیریت با استفاده از میزان آهن موجود در فاز گوگردی

با توجه به مقدار آهن بدست آمده در فاز گوگردی می توان میزان پیریت را محاسبه نمود. مقادیر

پیریت در نمونه های گرفته شده از دپوی زغال سنگ در جداول زیر آورده شده است:

جدول ۵-۵- مقدار نمونه، آهن و درصد پیریت موجود در نمونه ۱

| نمونه (عمق بر حسب متر) | مقدار $Fe^{+2}$<br>(ppm) | مقدار $Fe^{+2}$<br>(m gr) | مقدار پیریت<br>باقیمانده<br>(mgr) | درصد پیریت<br>باقیمانده |
|------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| ۰                      | ۲/۴۶                     | ۱/۷۵                      | ۳/۷۷                              | ۱/۶۵                    |
| ۰/۲                    | ۲/۲                      | ۱/۵۷                      | ۳/۳۸                              | ۱/۶۴                    |
| ۰/۵۵                   | ۱/۳۲                     | ۰/۹۴                      | ۲/۰۲                              | ۱/۴۲                    |
| ۱/۱                    | ۲/۳۱                     | ۱/۶۵                      | ۳/۵۴                              | ۱/۸۱                    |
| ۱/۵۰                   | ۱/۹۸                     | ۱/۴۱                      | ۳/۱۴                              | ۱/۷۳                    |
| ۱/۷۵                   |                          |                           |                                   | ۱/۷۵                    |

جدول ۵-۶- مقدار نمونه، آهن و درصد پیریت موجود در نمونه ۲

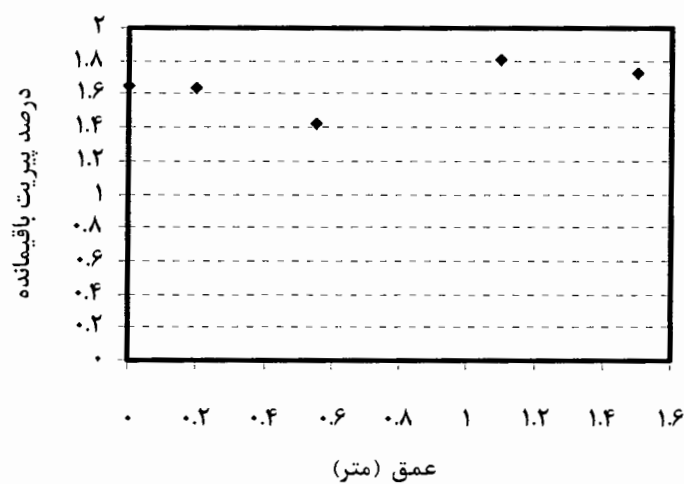
| نمونه (عمق بر حسب متر) | مقدار $Fe^{+2}$<br>(ppm) | مقدار $Fe^{+2}$<br>(mgr) | مقدار پیریت<br>باقیمانده<br>(mgr) | درصد پیریت<br>باقیمانده |
|------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| ۰                      | ۱/۱۷                     | ۰/۸۴                     | ۱/۸                               | ۰/۸۷                    |
| ۰/۲                    | ۱/۸۷                     | ۱/۳۳                     | ۲/۸                               | ۱/۱                     |
| ۰/۵                    | ۱/۶۸                     | ۱/۲۹                     | ۲/۷                               | ۱/۴۱                    |
| ۱/۱                    | ۲/۳۱                     | ۱/۶۹                     | ۳/۶                               | ۱/۴۶                    |
| ۱/۵۰                   | ۳/۸۸                     | ۲/۷۷                     | ۵/۹                               | ۱/۶۴                    |
| ۱/۶                    | ۳/۹                      | ۲/۸                      | ۵/۹۵                              | ۱/۶۴                    |

جدول ۵-۷- مقدار نمونه، آهن و درصد پیریت موجود در نمونه ۳

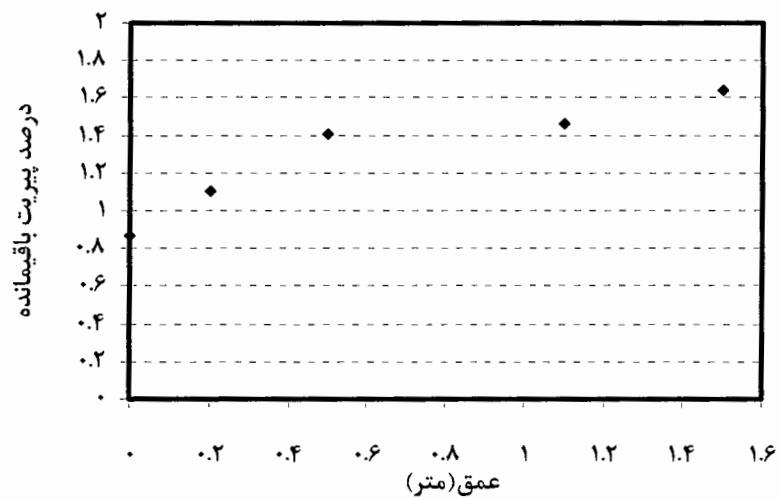
| درصد پیریت<br>باقیمانده | مقدار پیریت<br>باقیمانده<br>(mgr) | مقدار $Fe^{+2}$<br>(mgr) | مقدار $Fe^{+2}$<br>(ppm) | عمق نمونه (بر حسب متر) |
|-------------------------|-----------------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|
| ۱                       | ۲/۵                               | ۱/۱۶                     | ۱/۶۳                     | ۰                      |
| ۱/۳۲                    | ۲/۷۵                              | ۱/۲۹                     | ۱/۸۱                     | ۰/۲                    |
| ۱/۵۳                    | ۲/۷                               | ۱/۲۷                     | ۱/۷۹                     | ۰/۵۰                   |
| ۱/۶                     | ۲/۸۸                              | ۱/۳۴                     | ۱/۸۸                     | ۱/۱                    |
| ۱/۶۲                    | ۳/۷                               | ۱/۷۲                     | ۲/۴۱                     | ۱/۵۰                   |

نتایج به دست آمده از میزان پیریت در نمونه باطله زغال با توجه به عمق نمونه برداری در شکل‌های ۳-۵ و

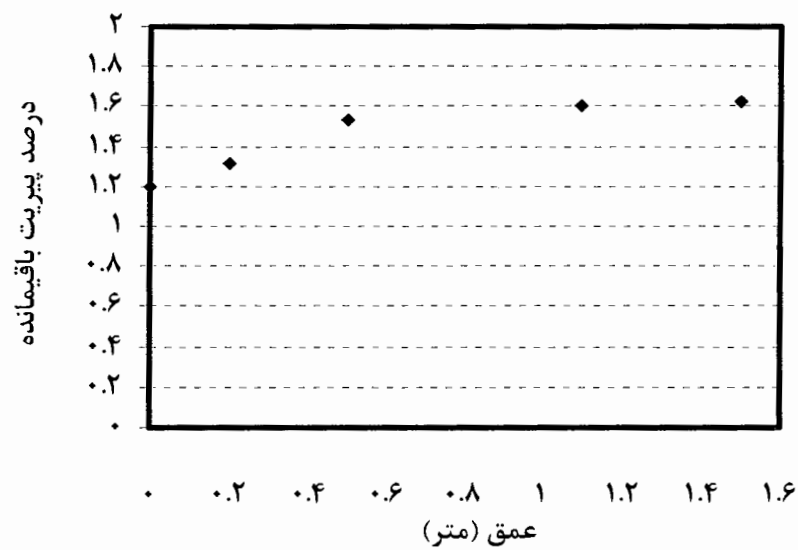
۴-۵ و ۵-۵ نشان داده شده اند:



شکل ۳-۵- تغییرات درصد پیریت باقیمانده نسبت به عمق در نمونه ۱



شکل ۴-۵- تغییرات درصد پیریت باقیمانده نسبت به عمق در نمونه ۲

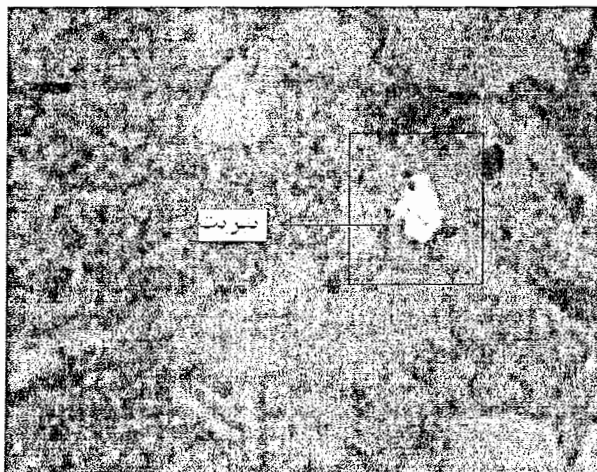


شکل ۵-۵- تغییرات درصد پیریت باقیمانده نسبت به عمق در نمونه ۳

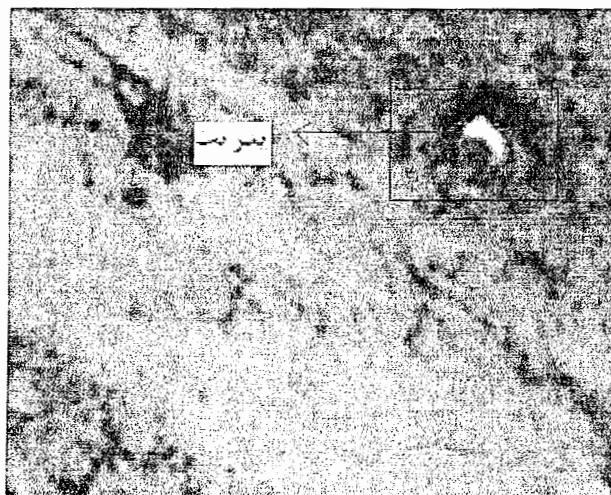
همانطور که در شکل های ۳-۵ تا ۵-۵ دیده می شود درصد پیریت کمتری در سطح باطله ها باقی می ماند و هر چقدر عمق باطله زیاد شود، میزان پیریت به تدریج افزایش یافته و پس از رسیدن به مقدار ماکزیمم به صورت ثابت در می آید. این روند افزایش درصد پیریت باقیمانده نسبت به عمق در مورد نمونه های ۲ و ۳ به خوبی دیده می شود. در مورد نمونه اول این روند منطقی دقیقاً قابل پیگیری نمی باشد. دلیل این امر شاید از اختلاط نمونه های گرفته شده در اعماق مختلف نمونه برداری و یا مربوط به خطای آزمایش ناشی شده باشد. با توجه به اینکه آزمایشات مربوط به کیفیت تعیین درصد پیریت توسط دستگاه جذب اتمی تکرار گردید، احتمال مربوط به خطای آزمایش حداقل می باشد. در این نمونه، میزان پیریت در سطح ۱/۶ درصد و ماکزیمم مقدار آن ۱/۸ در عمق ۱/۱ متری می باشد. با افزایش عمق از ۱/۱ متر تا ۱/۷۵ متر، کاهش درصد پیریت باقیمانده از ۱/۸ درصد به ۱/۷۵ درصد مشاهده می شود. در نمونه دوم، میزان پیریت در سطح ۰/۸۷ که کمترین مقدار آن می باشد و میزان ماکزیمم پیریت در عمق ۱/۵ متری و به میزان ۱/۶۴ درصد می رسد و پس از آن تقریباً روند ثابتی را طی می کند. در مورد نمونه سوم، درصد پیریت باقیمانده در نمونه سطحی ۱/۲ درصد بوده با ادامه افزایش عمق تا ۱/۱ متر این درصد به ۱/۶۵ افزایش یافته و پس از آن عمق تقریباً روند ثابتی را نشان می دهد. علت اینکه درصد پیریت باقیمانده در نمونه های سطحی در سه نقطه متفاوت هستند این است که احتمالاً باطله ها در این نقاط در زمان های متفاوت ریخته شده اند.

### ۵-۳- تهیه مقاطع صیقلی و مشاهده پیریت در زیر نور انعکاسی

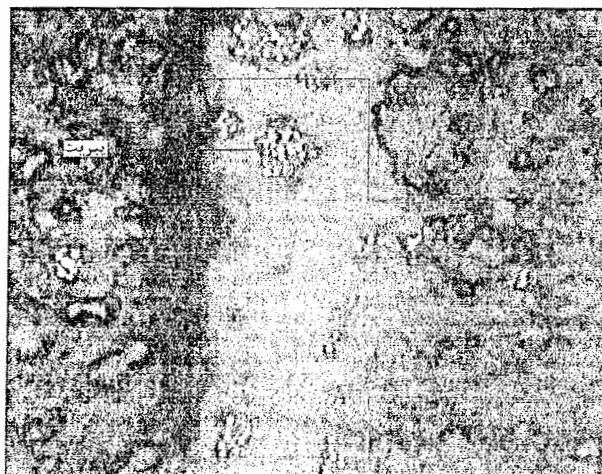
به منظور بررسی کیفی میزان پیریت از نمونه های اخذ شده، مقطع صیقلی نیز تهیه شد و برای انجام مطالعات بیشتر، در زیر نور انعکاسی مورد بررسی قرار گرفت. مقاطع تنها برای نمونه سوم و مربوط به اعماق نمونه برداری سطحی، ۰/۵ متری و ۱/۵ متری تهیه شد. تصاویر تهیه از مقاطع در شکل های ۵-۶ تا ۵-۸ آورده شده است.



شکل ۵-۶- تصویر مقطع صیقلی مربوط به نمونه ۳ که از سطح تهیه شده است و کانی پیریت به وضوح در آن دیده می شود. تصویر با بزرگنمایی  $200\times$  گرفته شده و میزان پیریت کمتر از ۱ درصد است.



شکل ۵-۷- تصویر مقطع صیقلی مربوط به نمونه ۳ که از عمق ۰/۵ متر تهیه شده است و کانی پیریت به وضوح در این شکل نیز دیده می شود. تصویر با بزرگنمایی  $200\times$  گرفته شده و میزان پیریت کمتر از ۱ درصد است.



عکس ۵-۸- تصویر مقطع صیقلی مربوط به نمونه ۳ که از عمق ۱/۵ متر تهیه شده است و کانی پیریت به صورت پراکنده وضوح دیده می شود. تصویر با بزرگنمایی  $200\times$  گرفته شده و میزان پیریت (۲-۴ درصد) است.

همانطور که در شکل های بالا دیده می شود، هرچقدر عمق نمونه برداری بیشتر می شود، میزان پیریت افزایش نشان می دهد. تصاویر دیگری از مقطع صیقلی در پیوسته آورده شده است.

## ۵-۴- تعیین نفوذپذیری محل انباشت باطله

به منظور مشخص نمودن معادلات و خصوصیات نفوذ آب به درون دیوی باطله در منطقه آزمایش نفوذپذیری با استفاده از روش اندازه گیری سرعت نفوذ آب به سطح دیو با استفاده از روش استوانه مضاعف<sup>۱</sup> انجام گرفت.

۵-۴-۱- نفوذپذیری<sup>۲</sup>

به نفوذ قائم آب از سطح خاک نفوذپذیری گفته می شود. سرعت نفوذ آب به خاک با گذشت زمان کاهش می یابد و پس از مدتی به حد نسبتاً ثابتی می رسد که به آن سرعت نفوذ پایه<sup>۳</sup> اطلاق می گردد. عوامل زیادی در نفوذپذیری مؤثرند. از جمله این عوامل می توان به بافت، ساخت، رطوبت اولیه، فشردگی خاک و... اشاره نمود.

به تجربه ثابت شده است که سرعت نفوذ لحظه ای<sup>۴</sup> با زمان رابطه ای نمایی به صورت زیر دارد [استاندارد صنعت آب، ۱۳۶۹]:

$$I = at^n + b \quad (۵-۲)$$

که در آن:

$I$ : سرعت نفوذ لحظه ای بر حسب سانتیمتر در ساعت

$t$ : زمان تجمعی یا زمان سپری شده از آغاز آزمایش بر حسب دقیقه

1- Double ring method

2- Infiltration

3- Basic infiltration rate

4- Instantaneous infiltration rate

$a, b, n$ : مقادیری هستند که بسته به نوع خاک متفاوت می باشند

مقدار  $n$  می تواند منفی باشد.  $b$  در مدت زمانی کوتاه برابر با صفر بوده و سرعت نفوذ لحظه ای در دراز مدت به سمت صفر میل می کند.

نفوذ تجمعی یا مقدار کل آب نفوذ یافته از ابتدا تا هر لحظه مشخص را می توان از رابطه زیر به دست آورد  
[استاندارد صنعت آب، ۱۳۶۹]:

$$D = ct^m \quad (3-5)$$

که در آن :

$D$ : نفوذ تجمعی آب بر حسب سانتیمتر

$t$ : زمان تجمعی بر حسب دقیقه

$m, c$ : مقادیری هستند که به نوع خاک بستگی دارند.

باید توجه داشت که:

$$c = \frac{a}{60(n+1)} \quad (4-5)$$

$$m = n + 1 \quad (5-5)$$

همانطوری که گفته شد با گذشت زمان، سرعت نفوذ لحظه ای کاهش یافته و به حد ثابتی می رسد که به آن سرعت نفوذ پایه گفته می شود. هرگاه میزان تغییرات سرعت نفوذ لحظه ای نسبت به زمان معادل ۱۰ درصد سرعت نفوذ لحظه ای گردد، این سرعت نفوذ را می توان سرعت نفوذ پایه فرض نمود.

بنابراین:

$$\frac{dI}{dt} = \frac{d}{dt}(at^n) = ant^{n-1} = \frac{1}{10}I = \frac{1}{10}at^n \quad (۶-۵)$$

و یا:

$$t = 10 \mid n \mid \quad (۷-۵)$$

زمان نفوذ پایه با  $t_b$  نشان داده شده و هرگاه بر حسب دقیقه بیان گردد، رابطه فوق به صورت زیر در

می آید :

$$t_b = 600 \mid n \mid \quad (۸-۵)$$

و سرعت نفوذ پایه از رابطه زیر بدست می آید:

$$I_b = at_b^n \quad (۹-۵)$$

که در رابطه بالا :

$I_b$ : سرعت نفوذ پایه بر حسب سانتیمتر در ساعت است.

#### ۵-۴-۲- بیان توصیفی نفوذ پذیری

نفوذ پذیری به صورت کیفی را می توان بر اساس میزان سرعت نفوذ پایه به شرح جدول ۵-۸ طبقه بندی

کرد:

جدول ۵-۸- طبقه بندی توصیفی نفوذ پذیری [استاندارد صنعت آب، ۱۳۶۹]

| نفوذپذیری  | سرعت نفوذ پایه ( میلیمتر در ساعت) |
|------------|-----------------------------------|
| خیلی سریع  | بیشتر از ۲۰                       |
| سریع       | ۱۰ تا ۲۰                          |
| متوسط      | ۵ تا ۱۰                           |
| آهسته      | ۲ تا ۵                            |
| خیلی آهسته | کمتر از ۲                         |

#### ۵-۴-۳- محل انجام آزمایش نفوذپذیری

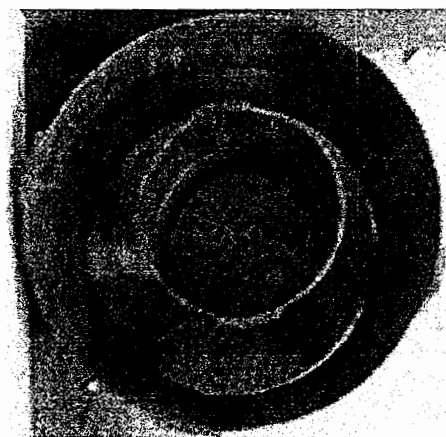
آزمایش مورد نظر بر سطح دپوی اصلی زغال و در سه نقطه مختلف انجام پذیرفت. نقاط طوری انتخاب شدند تا تقریباً تمام سطح دپوی مورد نظر را پوشش دهد. همچنین به منظور تعیین میزان نفوذپذیری خاک در محدوده بررسی ژئوفیزیک نیز در ۲ نقطه آزمایش انجام پذیرفت.

#### ۵-۴-۳-۱- روش انجام آزمایش نفوذپذیری

آزمایش نفوذپذیری با استفاده از استوانه مضاعف دانشکده زمین شناسی دانشگاه صنعتی شاهرود که شامل دو استوانه میانی و بیرونی می باشد و انجام پذیرفت. استوانه میانی دستگاه بر روی سطح دپوی مورد نظر قرار می گیرد و با کمک دست به داخل زغالها و یا خاک فرو برده می شود. درپوش فلزی برروی آن قرار می گیرد. سپس با چکش چند ضربه به آن وارد می گردد. باید دقت نمود که استوانه ها به صورت قائم و یکنواخت به داخل سطح فرو رود، در غیر این صورت باید استوانه را از سطح مورد نظر خارج کرد و آزمایش را در محلی نزدیک به محل مورد نظر انجام داد. استوانه خارجی نیز به همین ترتیب نصب

می گردد. استوانه میانی تا عمقی در حدود ۱۰۰ تا ۱۲۵ میلیمتر از آب پر می شود و به کمک اشل مهندسی عمق آب اندازه گیری می شود. اولین اندازه گیری باید هرچه سریعتر انجام شود (اندازه گیری در زمان صفر).

برای جلوگیری از تبخیر آب از سطح، بایستی دهانه استوانه میانی در فاصله بین اندازه گیریها به کمک نایلون پوشیده شود. در فواصل زمانی مناسب اندازه گیریها تکرار می شود. معمولاً بایستی در ابتدا فاصله بین قرائتها کوتاه باشد (حدود ۵ تا ۱۰ دقیقه). پس از ۴ تا ۵ بار اندازه گیری می توان فاصله قرائتها را افزایش داد. البته باید توجه داشت که حداقل زمان آزمایش مورد نظر ۶۰ دقیقه می باشد و فواصل بین قرائتها را می توان با توجه به سرعت نفوذ تعدیل نمود. شکل ۵-۹ نمایی از دستگاه اندازه گیری نفوذپذیری را نشان می دهد.

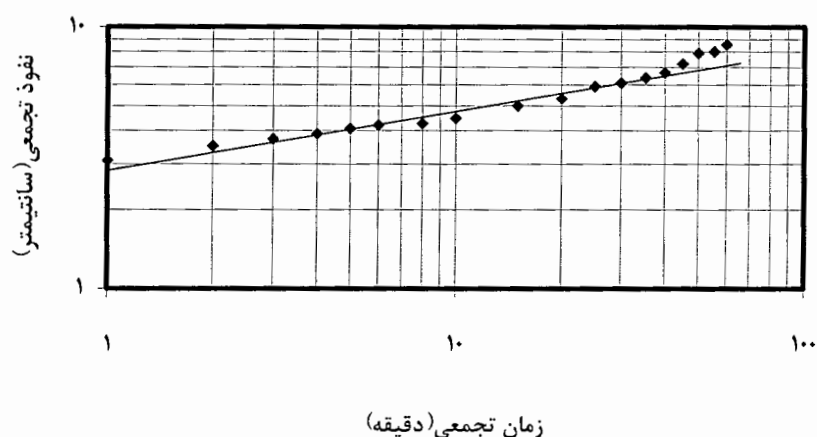


شکل ۵-۹- نمایی از استوانه مضاعف

## ۵-۴-۳-۲- انجام محاسبات برای تعیین نفوذپذیری

نفوذ تجمعی در زمانهای مختلف محاسبه می گردد. میزان تغییرات نفوذ تجمعی نسبت به زمان برای هر آزمایش بر روی مقیاس لگاریتمی نشان داده می شود و بهترین خطی که از بین نقاط می گذرد رسم می گردد. مقادیر  $c$  و  $m$  به ترتیب با مشخص نمودن عرض از مبدا و شیب خط بدست می آید.  $a$  و  $n$  با استفاده از روابط (۴-۵) و (۵-۵) حاصل می شوند. زمان رسیدن به سرعت نفوذ پایه با استفاده از رابطه (۸-۵) و مقدار سرعت نفوذ پایه از رابطه (۹-۵) به دست می آید. سرعت نفوذ پایه در هر محل مطابق جدول (۸-۵) طبقه بندی می گردد.

نتایج بدست آمده از آزمایش نفوذپذیری بر روی سطح دیوی اصلی زغال در نقطه شماره ۱ در شکل ۵-۱۰ و جدول ۹-۵ نشان داده شده است:

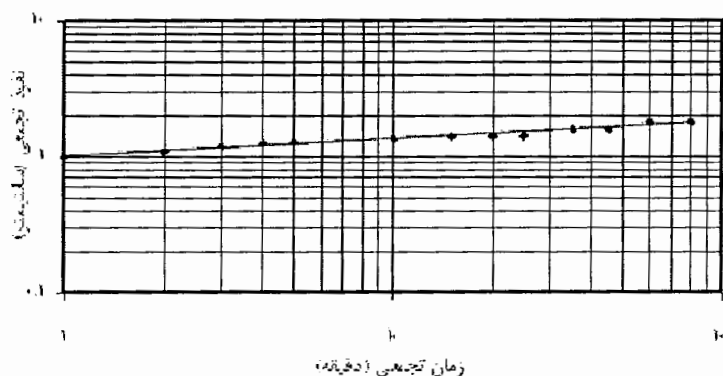


شکل ۵-۱۰- تغییرات نفوذ تجمعی نسبت به زمان جهت آزمایش نفوذپذیری دمپ باطله در نقطه ۱

جدول ۵-۹- مقادیر محاسبه شده از انجام آزمایش نفوذپذیری در نقطه ۱ دمپ باطله

| پارامتر | مقدار                  |
|---------|------------------------|
| c       | ۲/۸                    |
| m       | ۰/۲۴                   |
| n       | -۰/۷۶                  |
| a       | ۴۰/۹۲۳                 |
| $t_b$   | ۴۵۳/۸۵ (دقیقه)         |
| $I_b$   | ۰/۴۰ (ساعت / سانتیمتر) |

با توجه به اینکه مقدار  $I_b = ۴/۰۰۱۷۸ \text{ mm/h}$  به دست آمده است، بنابراین با توجه به جدول ۵-۸ نفوذ پذیری از لحاظ کیفی جزء طبقه بندی آهسته قرار می گیرد. مقادیر نفوذپذیری مربوط به آزمایش های ۲ و ۳ در محل دمپ باطله به ترتیب عبارتند از :  $۵۳/۶۲ \text{ mm/h}$  و  $۲۳/۱۷ \text{ mm/h}$  که با توجه به جدول ۵-۸ نفوذپذیری دیوی باطله ها از لحاظ کیفی خیلی سریع طبقه بندی می شود. مشاهده می شود که در نقاط مختلف سه گانه نتایج متفاوتی برای نفوذپذیری حاصل شده است. نمودارها و جداول مربوط به محاسبات نفوذپذیری در نقاط ۲ و ۳ در پیوست ه ارائه می گردند. نتایج بدست آمده از آزمایش نفوذپذیری در محدوده بررسی ژئوفیزیک واقع در نقطه ۱ در شکل ۵-۱۱ و جدول ۵-۱۰ نشان داده شده است.



شکل ۵-۱۱- تغییرات نفوذ تجمعی نسبت به زمان جهت آزمایش نفوذپذیری خاک در محدوده بررسی ژئوفیزیک

جدول ۵-۱۰- مقادیر محاسبه شده از انجام آزمایش نفوذپذیری در نقطه ۱ در محدوده بررسی ژئوفیزیک

| پارامتر | مقدار                  |
|---------|------------------------|
| c       | ۱                      |
| m       | ۰/۱۲                   |
| n       | -۰/۸۸                  |
| a       | ۷/۴۱                   |
| $t_b$   | ۸۲۵/۸۱ (دقیقه)         |
| $I_b$   | ۰/۰۳ (ساعت / سانتیمتر) |

با توجه به اینکه مقدار نفوذپذیری پایه در نقطه اول  $I_b = ۰/۳ \text{ mm/h}$  به دست آمده است، بنابراین نفوذ پذیری از لحاظ کیفی جزء طبقه بندی خیلی آهسته قرار می گیرد. مقدار نفوذپذیری آزمایش  $۰/۴ \text{ mm/hr}$  محاسبه گردید. که با این نتیجه نفوذپذیری خاک محل برداشت جزء طبقه بندی خیلی آهسته قرار می گیرد. مشاهده می شود که نتایج آزمایشات نشان دهنده این است که خاک دارای

نفوذپذیری کمی در محدوده برداشت داده های ژئوفیزیکی می باشد.

### ۵-۵- میزان بارندگی

مقدار بارندگی سالیانه در ناحیه مورد نظر، یکی دیگر از داده های مهم می باشد که در پیش بینی انتقال آلودگی در عمق با توجه به میزان نفوذپذیری در دیوی ناحیه مورد نظر مهم و ضروری می باشد. میانگین باران سالیانه مجموع بارندگی در ماههای مختلف سال می باشد. براین اساس میزان بارندگی در منطقه طزره و در منطقه شاهرود به ترتیب در جداول ۵-۱۱ و ۵-۱۲ آورده شده است.

جدول ۵-۱۱ میزان بارندگی سالیانه در منطقه طزره [سالنامه آماری اداره هواشناسی، ۱۳۸۵]

| سال     | بارندگی سالیانه (میلیمتر) |
|---------|---------------------------|
| ۱۳۷۵    | ۳۲۱/۴                     |
| ۱۳۷۶    | ۱۶۴/۶                     |
| ۱۳۷۷    | ۳۵۲/۹                     |
| ۱۳۷۸    | ۲۰۸/۵                     |
| ۱۳۷۹    | ۲۷۰/۳                     |
| ۱۳۸۰    | ۱۹۶                       |
| ۱۳۸۱    | ۲۵۶/۶                     |
| ۱۳۸۲    | ۲۸۸/۶                     |
| ۱۳۸۳    | ۲۷۰                       |
| میانگین | ۲۵۸/۸                     |

جدول ۵-۱۲- میزان بارندگی سالیانه در منطقه شاهرود [سالنامه آماری اداره هواشناسی، ۱۳۸۵]

| سال     | بارندگی سالیانه (میلیمتر) |
|---------|---------------------------|
| ۱۳۷۵    | ۱۴۷/۷                     |
| ۱۳۷۶    | ۱۸۵/۴                     |
| ۱۳۷۷    | ۸۵/۵                      |
| ۱۳۷۸    | ۱۹۲                       |
| ۱۳۷۹    | ۱۰۹/۲                     |
| ۱۳۸۰    | ۹۱                        |
| ۱۳۸۱    | ۱۲۷/۶                     |
| ۱۳۸۲    | ۱۷۹/۹                     |
| ۱۳۸۳    | ۱۶۱/۳                     |
| میانگین | ۱۳۱/۰۶                    |

حال که میزان درصد پیریت و نفوذپذیری نمونه ها در محل دپوی باطله ها تعیین شد در فصل بعد با مدلسازی ریاضی چگونگی اکسیداسیون پیریت و نقش آنها در گسترش آلودگی ها را بررسی می نمائیم.

## فصل ششم

مدلسازی ریاضی جهت بررسی اکسیداسیون پیریت و تولید آلودگی

## ۶-۱- مقدمه

در این فصل ابتدا به اختصار به معرفی انواع مدل های زیست محیطی اشاره شده است. سپس معادلات ریاضی حاکم بر اکسیداسیون پیریت و نفوذ اکسیژن در باطله های زغال ارائه شده است. در ادامه نتایج مدلسازی با استفاده از نرم افزار PHOENICS با نتایج آنالیز نمونه های صحرایی مقایسه شده است.

۶-۲- انواع مدل ها<sup>۱</sup>

مدل ها به عنوان یک ابزار مناسب در پیش بینی بسیاری از پیامد های زیست محیطی نقش اساسی دارند. هدف اصلی مدل سازی افزایش درک و بینش بین پارامتر های مؤثر در فرآیندهایی است که در داخل سیستم واقعی در حال وقوع می باشد. در واقع مدل الگو و نشان دهنده روابط بین متغیرها و پاسخ در یک سیستم واقعی است [دولتی و همکاران، ۱۳۸۴]. انواع مدل ها به شرح زیر می باشند:

۱- مدل های مفهومی<sup>۲</sup>

۲- مدل های فیزیکی<sup>۳</sup>

1- Types of models  
2- Conceptual models  
3- Physical models

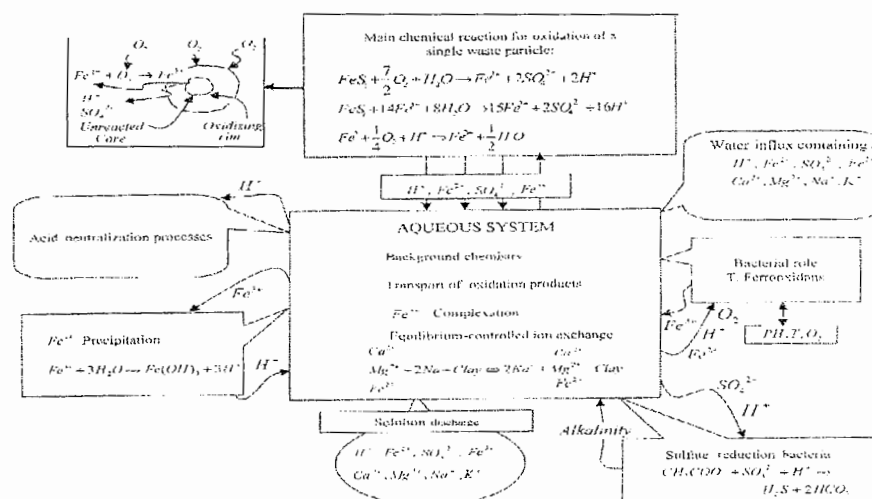
۳- مدل های ریاضی<sup>۱</sup> (تحلیلی)

۴- مدل عددی<sup>۲</sup>

۶-۲-۱- مدل های مفهومی

این مدل ها به صورت کیفی فرآیندهایی که داخل یک سیستم واقعی اتفاق می افتند را تشریح می نمایند. به عنوان مثال شکل ۶-۱ نمونه ای از مدل مفهومی ارائه شده برای تشریح کیفی فرآیندهایی که در باطله های معادن نواری بکفیل شده<sup>۳</sup> اتفاق می افتند را بیان می دارد. در این مدل مفهومی واکنش های اکسیداسیون پیریت و تولید آلودگی در سیستم جریان آب زیرزمینی تشریح شده اند. مدل های مفهومی می توانند در مرحله بعد در ارائه مدل های ریاضی برای فرآیند مورد بررسی مورد استفاده قرار

گیرند [دولتی، ۲۰۰۳].



شکل ۶-۱- مدل مفهومی برای فرآیند اکسیداسیون پیریت و تولید پساب اسیدی معدن و انتقال آلودگی در معادن نواری بکفیل شده استرالیا [دولتی، ۲۰۰۳].

- 1- Mathematical models
- 2- Numerical methods
- 3 - Backfilled strip mines

### ۶-۲-۲- مدل‌های فیزیکی

این مدل‌ها نیز جهت درک صحیح و شبیه‌سازی مشکلات زیست محیطی به کار گرفته شده‌اند. مدل‌های فیزیکی ممکن است دامنه و محدوده‌ای<sup>۱</sup> را برای تغییر دادن سیستماتیک هر پارامتر انتخابی فراهم نمایند تا فرآیند مورد مطالعه را به صورت کیفی شبیه‌سازی نمایند. مشکلات اساسی مدل‌های فیزیکی هزینه بالا در زمان بکارگیری مدل و ناتوانی مدل در شبیه‌سازی مشکلات زیست محیطی و هیدروژئولوژیکی پیچیده می‌باشند [دولتی و همکاران، ۱۳۸۴].

### ۶-۲-۳- مدل‌های ریاضی

برای حل کردن یک مشکل زیست محیطی، در مرحله اول باید مدل مفهومی آن مشخص گردد سپس با استفاده از مدل‌های ریاضی رفتار سیستم به صورت کمی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این روش یک معادله ریاضی که تشریح‌کننده مکانیزم رفتار فرآیند است بیان می‌گردد. معادلات مناسب نیز در صورت امکان به صورت تحلیلی یا عددی با استفاده از یک الگوریتم مناسب و یا به کمک نرم افزار کامپیوتری، برای یک متغیر انتخابی که سیستم مورد مطالعه را تعریف می‌کند، حل می‌شوند.

### ۶-۲-۴- مدل‌های عددی

روش‌های عددی دارای کاربرد گسترده‌ای در پیش‌بینی بسیاری از مسائل زیست محیطی و هیدروژئولوژیکی دارد. متداول‌ترین روش‌های عددی عبارتند از: روش‌های تفاوتهای محدود<sup>۲</sup>، اجزاء

1 - Scope

2 - Finite difference method

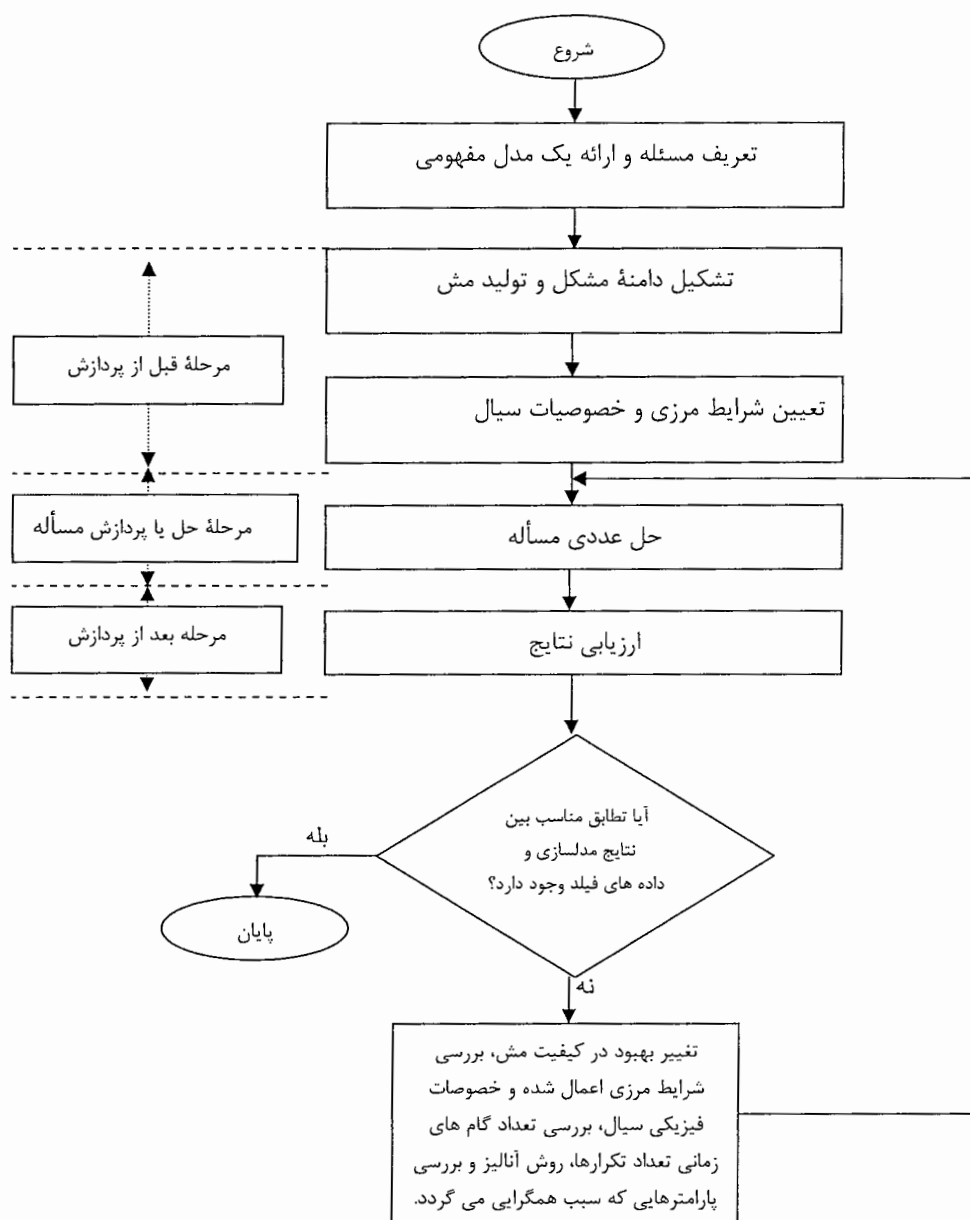
محدود<sup>۱</sup> و المان های حجمی محدود.

نرم افزار های CFD (دینامیک سیالات محاسباتی) همچون FLUENT, PHOENICS, FLOW3D با استفاده از تکنیک های محاسباتی مختلفی که مورد استفاده قرار می دهند می توانند فرآیند های آلودگی که سبب تولید معدن می شوند را به صورت دقیق مورد بررسی و مطالعه قرار دهند. در این پایان نامه سعی شده تا با بکارگیری یک مدل ریاضی جهت تشریح فرآیندهای اکسیداسیون پیریت، نفوذ اکسیژن و تولید آلودگی در محل دمپ باطله با استفاده از نرم افزار PHOENICS (چم ۲۰۰۲)، تشریح گردد.

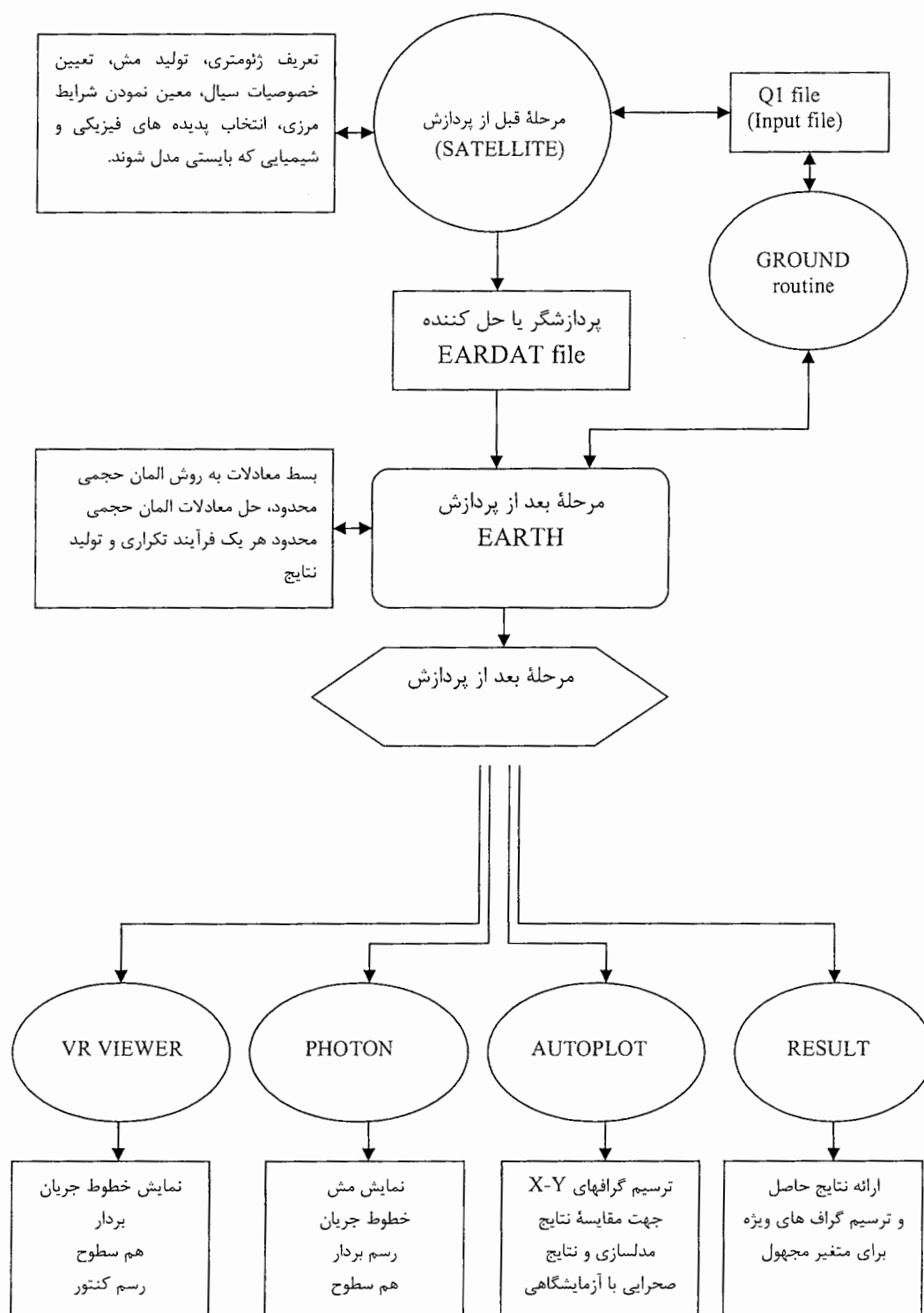
۳-۶- مراحل کلی در آنالیز های ( CFD ) و مدول های استفاده شده در نرم افزار PHOENICS  
به منظور ایجاد تصویر دقیقی از جزئیات حل مشکلات با نرم افزار CFD، تعدادی مراحل کلیدی PHOENICS باید معرفی گردد. شکل ۳-۶ مراحل اصلی در آنالیز های متداول CFD را نشان می دهد. در شکل ۳-۶ نیز نحوه حل مسئله توسط نرم افزار PHOENICS را نشان می دهد.

---

1 - Finite element method



شکل ۶-۲- فلوچارت انجام مراحل اصلی در آنالیزهای CFD [دولتی و همکاران، ۲۰۰۴]



شکل ۶-۳- مراحل حل مسئله توسط نرم افزار PHOENICS [دولتی و همکاران، ۲۰۰۴]

همانطور که در شکل ۳-۶ دیده می شود، نرم افزار PHOENICS در طی فرآیند حل مسئله، از تعدادی مدول های متفاوت مانند SATELLITE و EARTH و در مرحله پردازش توسط کامپیوتر از AUTO PLOT، PHOTON، VR VIEWER و RESULT استفاده می نماید.

#### ۴-۶- معادله نفوذ اکسیژن در باطله های زغال

در حالت کلی نرخ تولید اسید با مقدار اکسیژن در سطح سولفید همراه باطله های زغال کنترل می شود. باید در نظر داشت که نفوذ مولکولی مخصوصاً در فضاهای خالی هوا مهمترین مکانیزم حمل اکسیژن می باشد. جریان اکسیژن به صورت گرادیان کاهش اکسیژن همراه با افزایش عمق می باشد. سرعت اکسیداسیون کانی سولفیدی به دو عامل سینتیک واکنش و نرخ نفوذ اکسیژن بستگی دارد. دیویس و ریچی اکسیداسیون کانی سولفیدی را با مدل مغزه منقبض شونده<sup>۱</sup>، شبیه سازی نموده اند. سرعت اکسیداسیون با دیفیوژن اکسیژن از سطح تا عمق باطله ها کنترل می شود. فرآیند اکسیداسیون منجر به کاهش سطح مغزه منقبض شونده می شود. در مدل ارائه شده، معادله نفوذ اکسیژن در شرایط پایا<sup>۲</sup> حل می گردد. پارامترهای اصلی به کار رفته در مدل به صورت خلاصه شده در جدول ۱-۶ آورده شده اند.

1 - Shrinking core model

2 - Steady state

## ۶-۴-۱- معادله ریاضی مدل نفوذ اکسیژن در باطله‌ها

در مدلسازی نفوذ اکسیژن فرض شده که تنها فرآیند مؤثر در حرکت اکسیژن در باطله‌ها، نفوذ گازی است. البته آب نیز از عوامل مهم و تأثیر گذار در مهاجرت اکسیژن می باشد که در این مدل از آن صرف نظر شده است. نفوذ اکسیژن در باطله، در شرایط پایا بر اساس قانون اول فیک<sup>۱</sup> به صورت زیر بیان می گردد. [البرلینگ و همکاران، ۱۹۹۳]:

$$J_D = - D_e \frac{dC}{dz} \quad (۱-۶)$$

که در رابطه بالا:

$J_D$ : جریان<sup>۲</sup> نفوذ اکسیژن در فاز گازی

$D_e$ : ضریب نفوذ مؤثر

$C$ : غلظت اکسیژن در فاز گازی

$z$ : عمق .

در این مدل باطله‌ها به صورت هموژن فرض شده‌اند و به همین دلیل ضریب نفوذ در زمانها و عمق‌های مختلف ثابت فرض شده است.

معادله انتقال اکسیژن در شرایط ناپایا که از مفهوم پیوستگی نتیجه می‌شود، به قرار زیر است

[البرلینگ و همکاران، ۱۹۹۳]:

1- Fick first law

2- Flux

$$dC/dt = -dJ_D/dz - G \quad (2-6)$$

که در رابطه بالا:

G: حجم اکسیژن مصرفی ( $\text{mol m}^{-3} \text{s}^{-1}$ ).

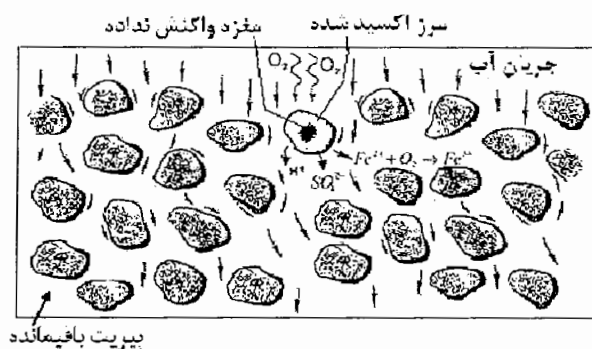
با فرض ثابت بودن  $D_e$  در معادله ۱-۶ و قرار دادن آن در معادله ۲-۶ رابطه زیر به دست می آید [البرلینگ و همکاران، ۱۹۹۳]:

$$dC/dt = D_e d^2C/dz^2 - G \quad (3-6)$$

به نظر می رسد در رابطه بالا، میزان اکسیژن مصرفی G وابسته به زمان و فضا می باشد.

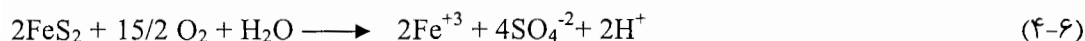
#### ۶-۵- مدل معادله اکسیداسیون پیریت در باطله های زغال

همانطور که در فصول قبل نیز اشاره شد، پیریت از جمله کانی های سولفیدی است که اکسید شدن آن سبب تولید اسید می گردد. اکسیداسیون پیریت از مدل مغزه منقبض شونده پیروی می کند. در شکل ۴-۶ به صورت شماتیکی اکسیداسیون پیریت و تولید آلودگی و انتقال آلاینده ها در باطله های معادن روباز نشان داده شده است.



شکل ۴-۶- تصویر شماتیک از اکسیداسیون پیریت و نشت آلاینده در باطله های معادن روباز [دولتی و همکاران، ۲۰۰۴].

واکنش اکسیداسیون پیریت به صورت زیر بیان می گردد:



در واکنش بالا فرض شده است که اکسیژن تنها عامل اکسیدکننده است و اکسیداسیون پیریت تنها ناشی از مصرف اکسیژن می باشد. در باطله ها، پیریت به صورت ذرات جدا و هموژن قرار دارند. به منظور سادگی، اندازه ذرات پیریت در ابتدا یکسان فرض شده است. پس از اینکه ذرات اکسید شدند، اندازه سطح آنها برای هر ذره به دلیل پدیده انقباض کمتر شده و در نهایت حجم اکسیژن مصرفی با گذشت زمان کاهش می یابد. با استفاده از واکنش اکسیداسیون پیریت از (رابطه ۴-۶) ضریب استوکیومتری اکسیژن مصرفی در فرآیند اکسیداسیون پیریت حاصل شده است.

واکنش سینتیکی مرتبه اول اکسیداسیون پیریت با معادله زیر نشان داده می شود [البرلینگ و همکاران، ۱۹۹۳]:

$$-d[\text{FeS}_2] / dt = -4 / 15 d[\text{O}_2] / dt = \text{KSC}^n \quad (5-6)$$

که در رابطه بالا:

K: ثابت واکنش غیر بیولوژیکی

S: مساحت سطح در واحد حجم

C: غلظت اکسیژن

n معمولاً دارای مقداری بین صفر تا یک می باشد. برای بیان مناسب سینتیک درجه اول باید مقدار n را

در غلظت های پایین اکسیژن یک در نظر گرفت [البرلینگ و همکاران، ۱۹۹۳].

در فشار ۰/۲۱ اتمسفر و دمای ۲۵ درجه سانتیگراد، غلظت اکسیژن ۹ مول بر متر مکعب است و ثابت K

دارای مقدار  $2/1 \times 10^{-10} \text{ mol FeS}_2 \text{ m}^{-2} \text{ S}^{-1}$  و  $5/9 \pm 2/1 \times 10^{-10} \text{ mol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ S}^{-1}$  می باشد.

معادله اساسی برای بیان حمل اکسیژن در باطله های زغال در حالت پایا به صورت زیر نوشته می شود

[البرلینگ و همکاران، ۱۹۹۳]:

$$D_e d^2C / Dz^2 - KC = 0 \quad (6-6)$$

که در رابطه بالا به ازای هر مرحله زمانی و با کاهش مساحت سطح پیریت، مقدار K بایستی دوباره مورد

محاسبه قرار می گیرد. مساحت سطح هر ذره بعد از هر مرحله زمانی t از رابطه ۶-۷ محاسبه می گردد

[البرلینگ و همکاران، ۱۹۹۳]:

$$S_t = S_{t-1} - K_X dt / D_{PY} \quad (7-6)$$

که در آن:

$$D_{PY} = \text{دانشیتۀ مولی} \left( \frac{\text{mol}}{\text{m}^3} \right)$$

$$dt = \text{گام زمانی (ثانیه)}$$

$$K = \text{ثابت واکنش}$$

$$S_t = \text{مساحت ذره پیریت در گام زمانی } t$$

## ۶-۶- پارامترهای ورودی مدل

به منظور بررسی فرآیند اکسیداسیون پیریت، مدل سازی یک بعدی با استفاده از نرم افزار PHOENICS version 3.6.1 (CHAM, 2006) انجام پذیرفت. قابل ذکر است که این نرم افزار توسط شرکت CHAM انگلستان تهیه شده و توسط پژوهشکده صنایع رنگ ایران خریداری شده و مورد استفاده قرار گرفته است. پارامترهای ورودی مدلسازی در جدول ۶-۱ آورده شده است.

جدول ۶-۱- پارامترهای ورودی مدل

| طول مدل                                  | ۵ متر (در امتداد Z)                                                                       |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| مدت زمان شبیه سازی                       | ۵-۲ سال                                                                                   |
| تعداد گام های زمانی                      | ۲۴                                                                                        |
| بستگی زمانی مدل                          | ناپایا                                                                                    |
| تعداد المانهای حجمی                      | ۳۰ (طول یکسان ۰/۱۷ متر)                                                                   |
| ضریب نفوذ مؤثر اکسیژن                    | متغیر $(\frac{m^2}{s})$ $(1 \times 10^{-8} - 1 \times 10^{-6})$ [البرینگ و همکاران، ۱۹۹۳] |
| درصد پیریت                               | (۱/۶-۱/۸ %)                                                                               |
| دانسیته باطله                            | $2300 \text{ kg/m}^3$ [البرینگ و همکاران، ۱۹۹۳]                                           |
| دانسیته پیریت                            | $5900 \text{ kg/m}^3$ [البرینگ و همکاران، ۱۹۹۳]                                           |
| ضریب نفوذپذیری باطله                     | متغیر (۴-۵۴ mm/hr)                                                                        |
| سطح پیریت به واحد حجم باطله              | $100 (1/\text{m}^3)$                                                                      |
| قطر ذرات حاوی پیریت                      | $2 \times 10^{-6} \text{ m}$                                                              |
| ثابت سینتیک درجه اول برای $\text{O}_2$   | $2/21 \times 10^{-9} (\text{mol O}_2/\text{m}^2\text{s})$ [البرینگ و همکاران، ۱۹۹۳]       |
| ثابت سینتیک درجه اول برای $\text{FeS}_2$ | $5/9 \times 10^{-10} (\text{mol FeS}_2/\text{m}^2\text{s})$ [البرینگ و همکاران، ۱۹۹۳]     |
| بارندگی متوسط سالیانه                    | $0/25 (\text{m/yr})$ [نشریه آمار سالیانه هواشناسی، ۱۳۸۵]                                  |
| تعداد تکرارها                            | ۵۰۰                                                                                       |

## ۶-۷- شرایط مرزی

پروفیل باطله ها با عمق تقریبی ۵ متر را به عنوان مدل انتخابی به ۳۰ المان هم اندازه با طول ۰/۱۷ متر تقسیم می نماییم. شکل ۶-۵ نمایی از مدل انتخابی را نشان می دهد. مدل مورد نظر در امتداد محور Z مختصات دکارتی قرار گرفته است.



شکل ۶-۵- نمایی از مدل یک بعدی باطله های زغال

شرایط مرزی اعمال شده در مدل های نفوذ اکسیژن و اکسیداسیون پیریت در ادامه مورد بررسی قرار گرفته است.

## ۶-۷-۱- شرایط مرزی برای مدل اکسیژن

شرط مرزی نوع اول:

در شرط مرزی نوع اول مقدار اکسیژن در ورودی مدل معادل با مقدار اکسیژن در اتمسفر در نظر گرفته می شود یعنی:

$$C(Z=0, t) = 0.21 \quad (6-8)$$

شرط اولیه:

مقدار اکسیژن قبل از فرآیند مدلسازی در طول مدل صفر در نظر گرفته شده و به صورت رابطه ۶-۹ خواهد بود:

$$C(Z, 0)=0, t=0, Z>0 \quad (9-6)$$

شرط مرزی نوع اول در مرز خروجی مدل:

در انتهای مدل غلظت اکسیژن را معادل مقدار اولیه اش در پروفیل قرار می دهند و به صورت رابطه ۶-۱۰ خواهد بود:

$$C(\infty, t)=0 \quad (10-6)$$

#### ۶-۷-۲- شرایط مرزی و اولیه برای مدل اکسیداسیون پیریت

برای مدل اکسیداسیون پیریت تنها یک شرط اولیه وجود دارد که بیانگر درصد پیریت اولیه موجود در باطله ها می باشد. قابل ذکر است که تعیین درصد پیریت، باطله های جیگ قدیمی به دست آمده است:

$$C(Z, 0)=C_i = (1/6-1/8)\% \quad (11-6)$$

که در آن:

$C_i$ : درصد اولیه پیریت در باطله ها

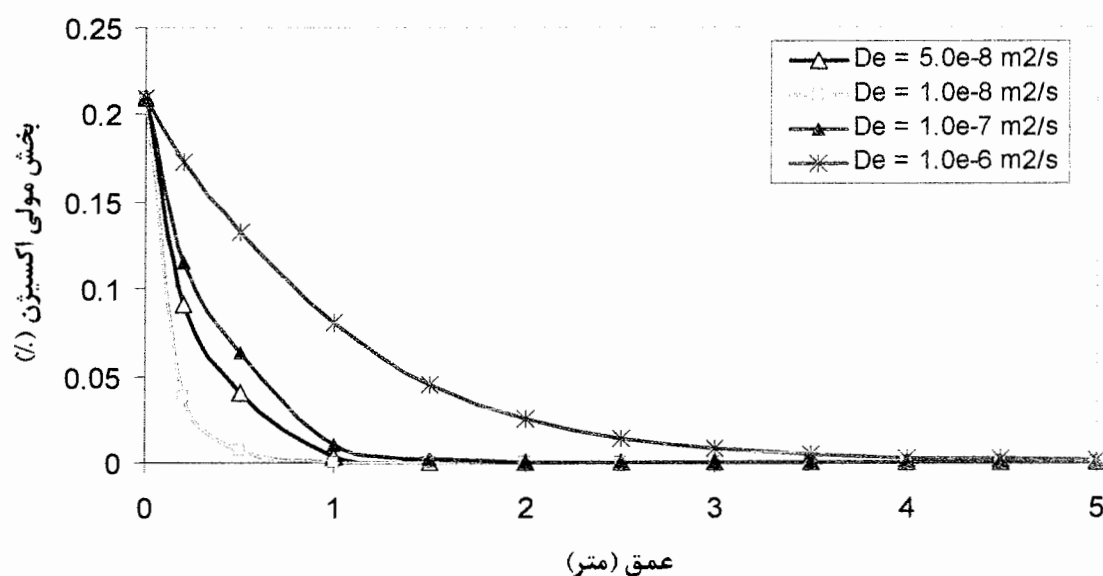
پس از اعمال شرایط مرزی و اولیه مناسب مدل های نفوذ اکسیژن و اکسیداسیون پیریت به روش المان حجمی محدود توسط نرم افزار PHOENICS حل شدند.

## ۶-۸- نتایج مدلسازی نفوذ اکسیژن در باطله

پس از اعمال شرایط مرزی و اولیه مناسب مدل های نفوذ اکسیژن و اکسیداسیون پیریت به روش المان حجمی محدود توسط نرم افزار PHOENICS حل شدند. همانطور که قبلاً اشاره شد میزان اکسیژن در طول مدل تغییر می کند. در نتیجه میزان اکسیداسیون پیریت بسته به مقدار اکسیژن موجود در پروفیل متفاوت خواهند بود. در فرآیند مدلسازی تغییرات بخش مولی اکسیژن<sup>۱</sup> بر حسب درصد با توجه به ضرایب نفوذ مؤثر مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مربوط به مدلسازی در شکل ۶-۶ آورده شده است. بهترین ضریب نفوذ مؤثر در مدل  $5 \times 10^{-8}$  متر مربع بر ثانیه انتخاب شد. این انتخاب بر اساس تحقیقات انجام شده روی سد های باطله که در آن، ذرات باطله ابعاد مشابه ای با ابعاد باطله کارخانه فرآوری منطقه مورد مطالعه دارند، صورت پذیرفته است. بعلاوه اینکه با این ضریب نفوذ مؤثر انطباق مناسب بین داده های صحرایی و نتایج مدلسازی برای مدل اکسیداسیون پیریت به دست آمد. در سطح دمپ میزان بخش مولی اکسیژن ۰/۲۱ درصد می باشد با افزایش عمق و نفوذ اکسیژن در باطله ها اکسیژن مصرف می شود به طوریکه با ضریب نفوذ  $5 \times 10^{-8}$  متر مربع بر ثانیه تا عمق بیشتر از ۱/۵ متر نمی تواند نفوذ کند و تمامی آن مصرف می شود. هرچقدر ضریب نفوذ مؤثر افزایش یابد، اکسیژن تا عمق بیشتری در دمپ باطله نفوذ می کند و میزان مصرف اکسیژن با سرعت کمتری انجام می پذیرد.

---

1 - Model fraction of oxygen



شکل ۶-۶- تغییرات درصد اکسیژن در طول مدل با ضرایب نفوذ مؤثر مختلف

#### ۹-۶- نتایج به دست آمده مدلسازی اکسیداسیون پیریت باطله ها

با استفاده از نرم افزار PHOENICS، مدل مغزۀ انقباضی اکسیداسیون پیریت بطور همزمان با

مدل نفوذ اکسیژن حل شد و نتایج مدل سازی عددی با نتایج آنالیز جذب اتمی برای تعیین پیریت

باقیمانده در محل های نمونه برداری روی دمپ باطله های فراوری مقایسه گردید که ذیلأ مورد بررسی

قرار می گیرند.

#### ۹-۶-۱- نتایج مدلسازی اکسیداسیون پیریت در نمونه ۱

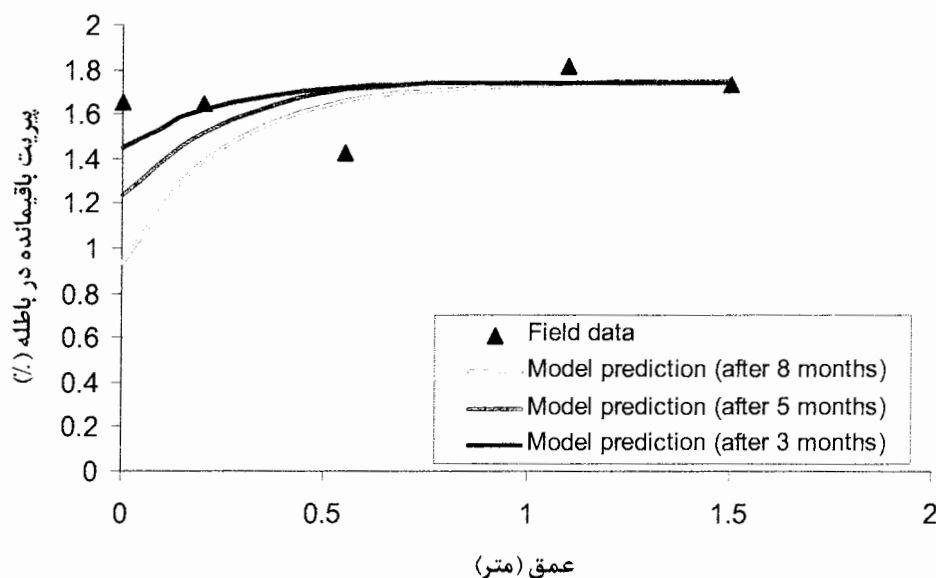
شکل ۶-۷، مقدار پیریت باقیمانده در باطله ها را نسبت به عمق باطله برای مدت ۸ ماه نشان

می دهد. در این شکل نتایج مدل سازی عددی با داده های صحرایی مقایسه شده است. در مورد نمونه

شماره ۱ تطابق مناسب بین داده های صحرایی و نتایج مدلسازی پس از ۸ ماه از آغاز اکسیداسیون

حاصل شد. مقدار پیریت باقیمانده در نمونه های سطحی حدود ۱/۶ درصد است که این مقدار درصد

تطابق مناسبی با داده های صحرایی قرار دارد. این به معنی آن است که پروفیل شماره ۱ در محل انتخاب شده که باطله ها عمر چندانی ندارند و مدت زمانی طولانی از آغاز اکسیداسیون پیریت سپری نشده است.

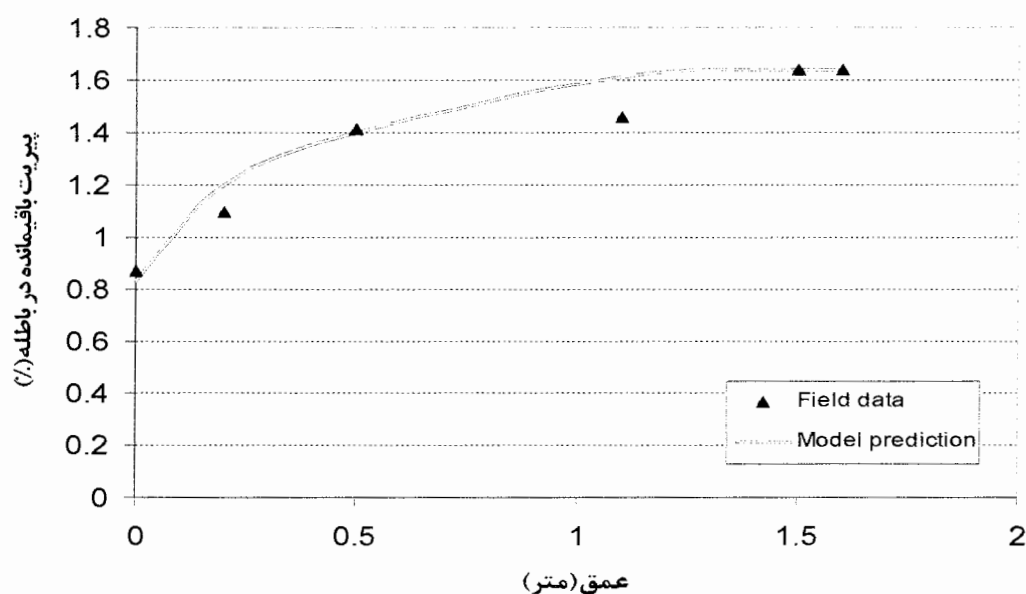


شکل ۶-۸- مقایسه داده های صحرایی و نتایج مدل عددی برای تعیین درصد پیریت باقیمانده نسبت به عمق باطله در زمانهای متفاوت مربوط به نمونه اول

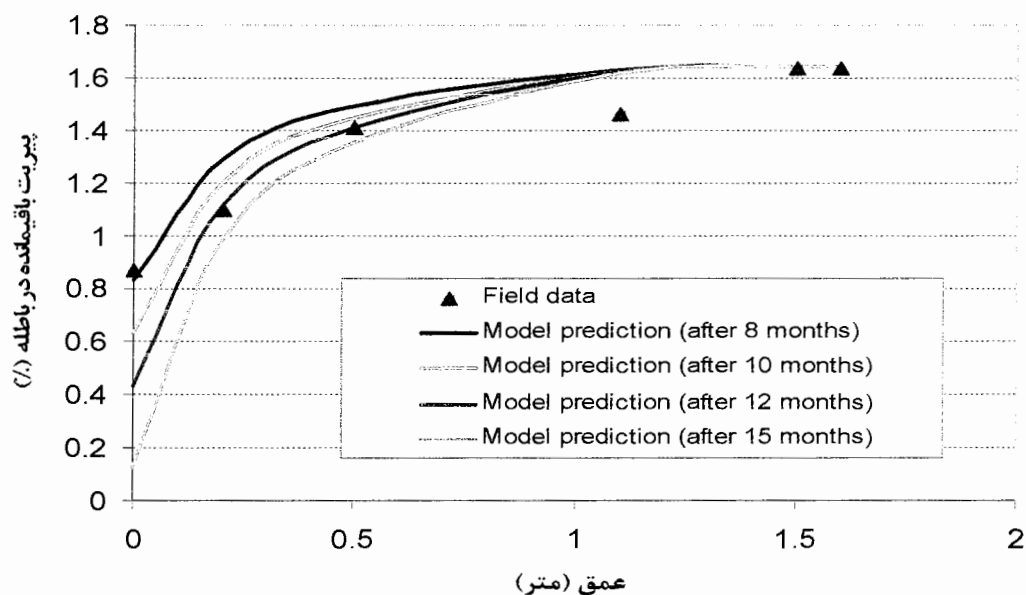
#### ۶-۹-۲- نتایج مدلسازی اکسیداسیون پیریت در نمونه ۲

در شکل ۶-۹ نتایج حاصل از مدل عددی برای درصد پیریت باقیمانده در باطله ها نسبت به عمق، با داده های صحرایی مربوط به پروفیل شماره ۲ برای مدت زمان ۸ ماه مقایسه شده است. با توجه به شکل ملاحظه می گردد که با افزایش عمق پروفیل، درصد پیریت باقیمانده در باطله ها بتدریج از ۰/۸۷ درصد (سطح باطله) به ۱/۶۴ درصد در عمق حدود ۱/۵ متری می رسد. تنها در عمق ۱/۱ متری درصد پیریت به دست آمده از نتایج آزمایشگاهی در تطابق خوبی با پیش بینی مدل قرار ندارد که آن هم ممکن است به دلیل وجود خطا در آزمایشات باشد. همچنین خطا ممکن است از نمونه برداری و مخلوط

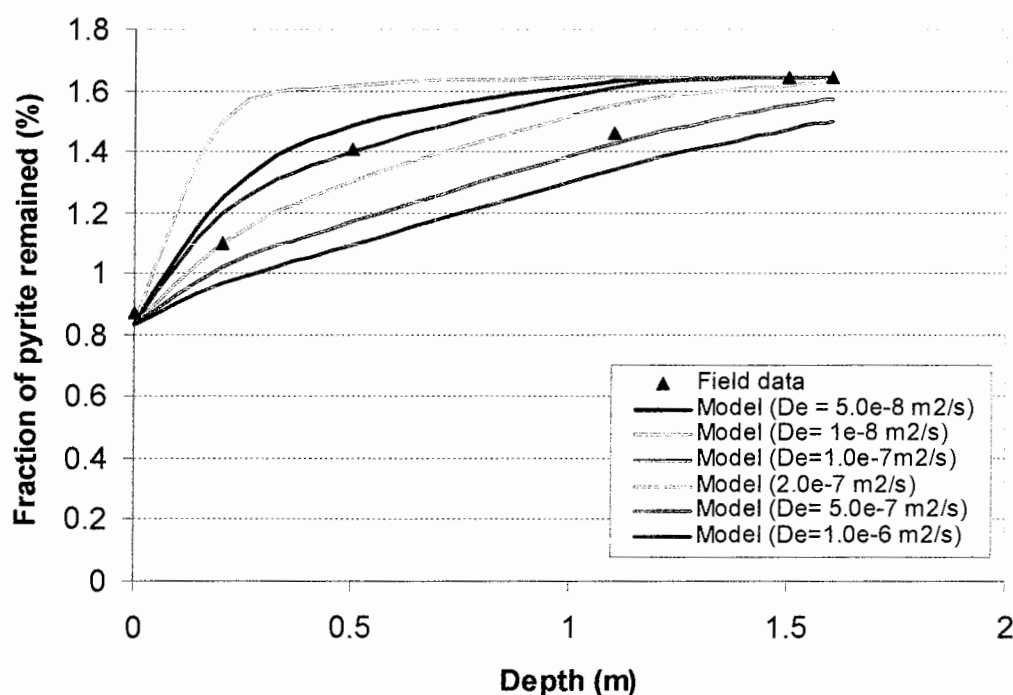
شدن نمونه ها حاصل شده باشد. در مجموع پیش بینی مدل برای تعیین میزان اکسیداسیون پیریت نسبت به عمق پروفیل در انطباق خوبی با داده های صحرایی برخوردار است. با افزایش عمق پروفیل، مقدار پیریت اکسید شده به دلیل کاهش مقدار اکسیژن نفوذی کاهش می یابد بطوری که در اعماق تقریبی ۱/۵ متر به بعد عدم حضور اکسیژن فرآیند اکسیداسیون پیریت تقریباً متوقف می گردد. در شکل ۶-۱۰، تأثیر زمان دپوی باطله ها را روی نتایج مدل عددی برای تعیین درصد پیریت باقیمانده نسبت به عمق پروفیل نشان داده شده است. مقایسه نتایج مدل سازی عددی با داده های صحرایی حاکی از آن است که باطله ها در محدوده پروفیل شماره ۲ دارای عمر بین ۸ ماه تا ۱۲ ماه می باشد. در شکل ۶-۱۱ تأثیر ضرایب نفوذ مؤثر اکسیژن در باطله ها بر روی فرآیند اکسیداسیون پیریت مورد بررسی قرار گرفته است. همانطوریکه از نمودار مربوطه مشخص است با کاهش ضرایب نفوذ مؤثر، درصد پیریت بیشتری در باطله ها باقی می ماند. بطوریکه پیریت باقیمانده با شیب نسبتاً کندی در اعماق کم افزایش یافته و بلافاصله به مقدار اولیه خود در باطله ها می رسد. با افزایش ضرایب نفوذ مؤثر، مقدار اکسیژن بیشتری را در اعماق فراهم می سازد. این مسأله سبب می شود که شیب منحنی های پیریت باقیمانده در باطله ها، با افزایش ضریب نفوذ مؤثر کم کاهش می یابد. این به آن معنی است که با افزایش ضریب نفوذ مؤثر برای مدل اکسیژن، پیریت بیشتری اکسید می گردد. با توجه به مدل های به دست آمده در شکل ۶-۱۱ مناسب ترین ضریب نفوذ مؤثر برای اکسیژن  $5 \times 10^{-8}$  متر مربع بر ثانیه انتخاب گردید. که با این ضریب نتایج آنالیز داده های صحرایی در انطباق نسبتاً خوبی با نتایج و پیش بینی های مدل قرار دارند.



شکل ۶-۹- مقایسه داده‌های صحرایی و پیش‌بینی مدل برای تعیین درصد پیریت باقیمانده نسبت به عمق باطله مربوط به نمونه دوم



شکل ۶-۱۰- مقایسه داده‌های صحرایی و پیش‌بینی مدل برای تعیین درصد پیریت باقیمانده نسبت به عمق باطله در زمانهای مختلف مربوط به نمونه دوم



شکل ۶-۱۱- مقایسه داده های صحرایی و پیش بینی های مدل برای تعیین درصد پیریت باقیمانده نسبت به عمق باطله ها به صورت تابعی از ضریب نفوذ مؤثر اکسیژن در باطله ها، مربوط به نمونه دوم

### ۶-۹-۳- نتایج مدلسازی اکسیداسیون پیریت در نمونه ۳

شکل ۶-۱۲ پیش بینی مدلسازی عددی را با نتایج آنالیز داده های صحرایی جهت تعیین درصد پیریت باقیمانده در باطله های زغال نسبت به عمق پروفیل برای یک دوره ۸ ماهه مقایسه می نماید. همانطوری که شکل نشان می دهد انطباق بین داده های صحرایی و نتایج مدلسازی بسیار مناسب می باشد. میزان پیریت در سطح ۱ درصد می باشد بتدریج با افزایش عمق میزان پیریت نیز افزایش می یابد بطوریکه عمق ۱/۶ دارای بیشترین میزان پیریت ۱/۶۴ درصد است. مقدار پیریت باقیمانده با شیب حدود ۴۵ درجه نسبت به عمق افزایش یافته تا اینکه در عمق تقریبی ۰/۲۵ متر به مقدار ۱/۳ درصد می رسد. پس از این عمق، پیریت باقیمانده در باطله ها به دلیل عدم حضور اکسیژن کافی، نسبت به

باطله ها به یکباره تبدیل به اسید نمی شود. بنابراین محاسبه میزان سولفات و اسید با فرضیاتی نیز همراه می باشد. در این قسمت تلاش شده است تا با توجه به ابعاد دمپ و درصد میزان پیریت که با استفاده از روش تجزیه شیمیایی و آنالیز دستگاهی به دست آمده و نیز با پیش بینی های مدل عددی چک شده است، میزان کل پیریت در دمپ باطله برآورد گردد و سپس با در نظر گرفتن میزان کل پیریت موجود و بارندگی سالیانه، تجزیه و تحلیلی بر روی میزان اسید و سولفات تولید شده صورت گیرد. بدیهی است که به منظور بررسی اسید تولیدی نیاز به انجام آزمایشات دقیقتر و بیشتری از قبیل آزمایشات سینتیکی و استاتیکی بر روی دمپ باطله می باشد [سهرابی و همکاران، ۱۳۸۳]. البته باید توجه داشت که در اینجا میزان اسید تولیدی با فرض اینکه تنها حاصل از اکسیداسیون پیریت می باشد مورد محاسبه قرار گرفته است.

همانگونه که در رابطه ۴-۶ نشان داده شد، پس از مصرف اکسیژن و در حضور با آب اکسید شده و اسید سولفوریک تولید می نماید. با استفاده از روابط و پارامترهایی که در جدول ۲-۶ آورده شده است، میزان سولفات تولیدی مورد محاسبه قرار گرفته است.

جدول ۶-۲- پارامترهای مورد استفاده در تعیین میزان سولفات تولید شده در دمپ

|                                       |                           |
|---------------------------------------|---------------------------|
| ۲۵۰ (m) × ۵۵۰ (m)                     | مساحت دمپ باطله جیگ قدیمی |
| ۲۰ (m)                                | ارتفاع دمپ باطله          |
| ۲۳۰۰ kg/m <sup>3</sup>                | دانسیتة باطله             |
| ۱۸ gr                                 | جرم آب                    |
| ۹۸ gr                                 | جرم اسید سولفوریک تولیدی  |
| ۱۲۰ gr                                | جرم پیریت                 |
| متغیر (۰/۸۷- ۱/۶۴)                    | درصد پیریت نمونه ۲        |
| ۲۵۳mm                                 | میزان بارندگی سالیانه     |
| ۳/۴۳۷۵×۱۰ <sup>۴</sup> m <sup>3</sup> | حجم بارندگی سالیانه       |

جهت تعیین میزان سولفات تولیدی در دمپ باطله، از نتایج آنالیز پیریت نمونه دوم استفاده شده است.<sup>۱</sup> با استفاده از نتایج جدول ۵-۶ و اینکه میزان مصرف پیریت در حدفاصل سطح دمپ تا عمق ۱/۶ مشخص است، به همین دلیل ابتدا به تغییرات میزان درصد پیریت مصرفی در هریک از بازه های عمقی نمونه برداری در فاصله سطح تا عمق ۱/۶ متری وزن داده شد. مقادیر وزنی در جدول ۶-۳ آورده شده است. سپس با توجه به عمق نمونه برداری میزان مصرف پیریت در دمپ مورد محاسبه قرار گرفته است و در انتها با توجه به مقدار آب ورودی به دمپ باطله که حاصل از بارندگی می باشد و استفاده از رابطه ۶-۱۳ میزان تناژ و غلظت سولفات تولیدی در دمپ مورد محاسبه قرار گرفت و در جدول ۶-۴ ارائه شده است.

$$C = \frac{M}{V} \quad (۶-۱۳)$$

که در رابطه بالا:

C: غلظت سولفات (مول بر لیتر)

۱- رجوع شود به فصل ۵، جدول ۵-۶

M: میزان سولفات تولید شده (گرم)

V: حجم آب وارد شده در دمپ (لیتر)

جدول ۶-۳- ضرایب وزنی در نظر گرفته شده برای تعیین ضریب وزنی تغییرات درصد پیریت با توجه به عمق نمونه برداری

| عمق نمونه (متر) | پیریت باقیمانده (%) | بازه تغییر عمق (متر) | ضریب وزنی |
|-----------------|---------------------|----------------------|-----------|
| ۰               | ۰/۸۷                | ۰/۲-۰                | ۰/۴۲      |
| ۰/۲             | ۱/۱                 | ۰/۵-۰/۲              | ۰/۳۷      |
| ۰/۵             | ۱/۴۱                | ۱/۱-۰/۵              | ۰/۰۳      |
| ۱/۱             | ۱/۴۶                | ۰/۵-۱/۱              | ۰/۱۸      |
| ۱/۵۰            | ۱/۶۴                |                      |           |

جدول ۶-۴- محاسبه میزان و غلظت سولفات تولید شده در دمپ باطله

| جرم پیریت مصرف شده (تن) | جرم سولفات تولید شده (تن) | حجم آب وارد شده در دمپ (لیتر) | غلظت سولفات (مول بر لیتر) |
|-------------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| $۱/۲۴ \times ۱۰^۳$      | $۱/۹۸۴ \times ۱۰^۳$       | $۳/۴۳ \times ۱۰^۴$            | ۰/۶                       |

۱۱-۶- تعیین pH دمپ باطله

اندازه گیری pH بر اساس روش آرابینس<sup>۱</sup> و همکار، [۱۹۹۰] انجام شده است. برای این منظور ۱۰

گرم از باطله زغال داخل بشر ریخته و ۱۵۰ میلی لیتر آب به آن اضافه می گردد. سپس مخلوط حاصل را

به کمک شعله چراغ حرارت داده تا مخلوط حاصل بجوشد. این کار را به مدت یک ساعت ادامه داده و هر ۱۵ دقیقه اندکی آب به آن اضافه می گردد. سپس به منظور جدا سازی مخلوط سوسپانسیون از قیف شیشه ای همراه با صافی استفاده می گردد. این کار را آنقدر ادامه می دهیم تا محلول شفاف به دست آید. در انتها با استفاده از pH متر می توان میزان pH دمپ را اندازه گیری نمود. باید توجه کرد که به منظور کالیبره کردن pH متر از محلول بازی ۴/۵ هیدروژن فنالئات پتاسیم و محلول بافری ۹ بوراکس استفاده می گردد. در نهایت پس از انجام آزمایش فوق میزان pH دمپ، ۵/۷۴ اندازه گیری گردید. pH اندازه گیری شده مؤید اکسیداسیون پیریت و تولید یون  $H^+$  در اثر این فرآیند اکسیداسیون می باشد. البته pH تعیین شده کمی بزرگتر از حد انتظار است که جای بررسی بیشتر را می طلبد.

#### ۶-۱۲- تلفیق نتایج مدل‌های ژئوالکتریک و مدلسازی ریاضی

به منظور تأیید صحت نتایج مدلسازی ژئوفیزیکی مبنی بر انتقال آلودگی (سولفات تولید شده) محدوده پائین دست دمپ، با استفاده از مدلسازی یک بعدی استفاده شد. جهت مقایسه، مدل تغییر مقاومت ویژه برداشت سوم نسبت به برداشت اول مربوط به پروفیل اول انتخاب گردید. معادله مدل

$$C(x,t) = \frac{C_0}{2} \left\{ \operatorname{erfc} \left( \frac{X - V_X t}{2\sqrt{D_X t}} \right) + \exp \left( \frac{V_X X}{D_X} \right) \operatorname{erfc} \left( \frac{X + V_X t}{2\sqrt{D_X t}} \right) \right\} \quad (۶-۱۴)$$

که در رابطه بالا:

C: غلظت آلاینده (سولفات تولید شده) دمپ (۰/۶ مول بر لیتر)

t: زمان (ثانیه)

$V$ : سرعت انتقال آلودگی است که مقدار تقریبی سرعت انتقال آلودگی مطابق شکل ۶-۱۳، از روی زمان برداشت داده های ژئوفیزیک و فاصله ای که آلودگی طی نموده، تخمین زده شد.

$D_x$ : پراکندگی هیدرودینامیکی طولی است و مقدار آن از رابطه (۶-۱۵) به صورت زیر محاسبه می شود [دولتی و همکاران، ۱۳۸۴]:

$$D = \alpha_L V_x + D_{dif} \quad (6-15)$$

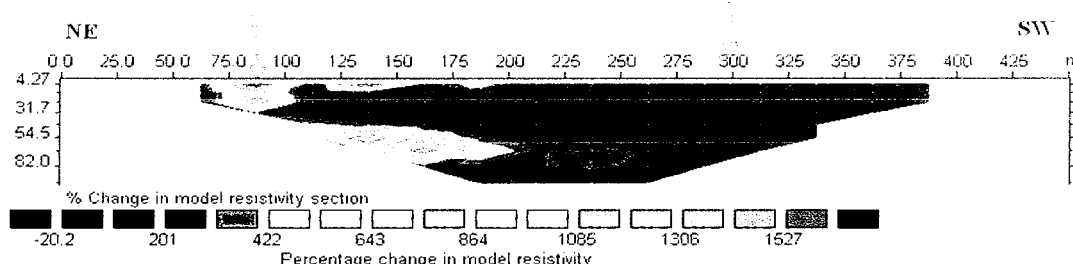
که در رابطه بالا:

$\alpha_L$ : ضریب پراکندگی طولی محیط

$D_{dif}$ : ضریب پخش که مقدار آن  $10^{-9}$  متر مربع بر ثانیه فرض شده است [دولتی و همکاران، ۱۳۸۴].

$V_x$ : سرعت انتقال آلودگی (متر بر ثانیه) می باشد.

مدل تحلیلی ۶-۱۴، پدیده های پراکندگی هیدرودینامیکی و پهنرفت را در انتقال آلودگی در نظر می گیرد. جهت مقایسه نتایج مدلسازی ریاضی نقاط ۱ و ۲ شکل ۶-۱۳ در فاصله ۸۵ متری و ۳۰۰ متری از (زیر دمپ) قرار گرفته اند، انتخاب گردیدند.



شکل ۶-۱۳ - مدل تغییرات مقاومت ویژه برداشت سوم نسبت به برداشت اول در پروفیل اول. نقاط ۱ و ۲ محل هایی هستند که در آنجا نتایج مدلسازی ریاضی با داده های ژئوفیزیک مقایسه شده است.

با توجه به رابطه ۶-۱۴ میزان سولفات در نقطه اول بعد از ۸۷ روز مقدار ۰/۰۶ مول بر لیتر محاسبه گردید که نشان دهنده انطباق خوب نتایج ژئوالکتریک و مدلسازی ریاضی منطبق بر حضور آلودگی در این نقطه می باشد. در نقطه دوم نیز با توجه به رابطه ۶-۱۴ در فاصله ۳۰۰ متری از دمپ و در مدت زمان مذکور مقدار ۰ برای غلظت سولفات حاصل شد که نشان دهنده عدم حضور آلودگی می باشد که این با مدل ژئوفیزیکی کاملاً منطبق است.

## فصل هفتم

## نتیجه گیری و پیشنهادات

## ۷-۱- جمع بندی و نتیجه گیری مطالب

پس از استخراج زغال، برای بالا بردن کیفیت آن، شستشوی زغال امری اجتناب ناپذیر می باشد. در مرحله بعد لازم است زغال با کیفیت پایین که مصرف صنعتی ندارد در محلی انباشت شود. معمولاً انباشت باطله ها با توجه به حجم قابل توجه آن در نزدیکترین نقاط ممکن انجام می گردد تا میزان هزینه های انباشت از نظر اقتصادی قابل توجیه باشد. محل های انباشت باطله ها برای مدت زمان طولانی در مجاورت با هوا و ریزش های جوی و سایر عوامل قرار می گیرد. از آنجا که زغال دارای ترکیبات سولفیدی بویژه پیریت می باشد، در اثر تماس با اکسیژن هوا و آب و نیز با گذشت زمان دچار تغییر شده و طی یکسری فرآیندهای شیمیایی ایجاد پساب اسیدی می کند. پساب های اسیدی غالباً سبب بروز مشکلات عدیده آلودگی های زیست محیطی می گردد. در ایران، معادن ناحیه البرز شرقی یکی از مراکز مهم تولید زغال سنگ به شمار می رود. وظیفه انجام مرحله شستوی زغال بر عهده کارخانه زغالشویی البرز شرقی است که در ناحیه شمال مهراندوست دامغان قرار دارد. در این پایان نامه سعی شده است که مطالعات زیست محیطی در اطراف ناحیه کارخانه زغالشویی البرز شرقی با استفاده از

روش های ژئوفیزیکی و مدل سازی ریاضی فرآیند های اکسیداسیون پیریت در محل دمپ باطله ها، صورت گیرد. برای این منظور جهت محل مطالعات و اندازه گیری بازدید مقدماتی از منطقه صورت گرفت. باطله های کارخانه زغالشویی البرزشرقی به دو صورت ایجاد می شوند: باطله های حاصل از مرحله فلوتاسیون و باطله های ایجاد شده توسط جیگ قدیمی.

باید توجه داشت که در اطراف محل دمپ باطله های جیگ قدیمی آلودگی زیست محیطی بخوبی مشاهده می شود بطوری که چهره محیطی را ناهمگون کرده است ولی در اطراف سد فلوتاسیون آثاری از قبیل رشد و نمو گیاهان مشاهده شد. نکته قابل توجه این است که هیچگونه مطالعه و بررسی برای انتخاب محل انباشت باطله ها انجام نگرفته است. حتی برای کنترل بار آلودگی ایجاد شده فعالیتهای متداولی که همچون ریختن آهک برای خنثی سازی اسید تولیدی در باطله ها و یا زیر سازی سد باطله صورت نگرفته است و از آنجایی که پیریت با توجه به وزن مخصوص بالای خود (۵۹۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب) معمولاً در قسمت جیگ قرار می گیرد، باطله های ایجاد شده توسط این مرحله شامل باطله های جدید و قدیمی و همچنین محل دمپ های باطله های جیگ که در قسمت شمال شرقی کارخانه قرار دارد مورد توجه قرار گرفت. باید به این نکته توجه کرد که زمان تشکیل دمپ باطله ها بر روی میزان آلودگی تأثیر گذار است لذا با در نظر گرفتن تمامی جوانب بالا قدیمی ترین دمپ باطله ها که دارای قدمتی بین ۰ تا ۱۰ سال و با ابعادی با مشخصات ۵۵۰ متر عرض، ۲۵۰ متر طول و ۲۰ متر ارتفاع می باشد، انتخاب گردید. پس از انتخاب دمپ باطله مطالعات لازم برای بررسی پتانسیل تولید آلودگی

صورت گرفت. در ابتدا برای بررسی وجود و یا عدم وجود آلودگی در منطقه از روش VLF که از روش های الکترو مغناطیس می باشد، استفاده شد. از مزایای این روش می توان به سادگی روش، سرعت عمل و کم هزینه بودن آن اشاره نمود. از طرفی یکی دیگر از مزایای این روش کارآمد بودن این روش و تحلیل راحت نتایج آن با استفاده از نرم افزار RAMAG می باشد. در روش VLF با توجه به وسعت منطقه، برداشت داده ها بر روی ۶ پروفیل موازی با هم انجام شد. فواصل پروفیل ها از یکدیگر ۱۰ متر و ایستگاه های اندازه گیری بر روی پروفیل ها به فواصل ۵ متر انتخاب شدند. پس از برداشت داده ها، تعبیر و تفسیر مدل های حاصل از برداشت VLF انجام پذیرفت. که مدل های تهیه شده شامل نمودارهای خام داده ها، نمودارهای فیلتر شده داده ها و مقاطع عرضی بودند. در تهیه مدل ها از فیلتر کاروس- هجلیت استفاده شد. عمق فیلتر داده ها ۶۰ متر انتخاب گردید. در نهایت دو زون حاوی آلودگی با جهت های شمال شرقی- جنوب غربی در منطقه مورد بررسی شناسایی گردید. در مرحله بعد، از روش ژئوالکتریک برای انجام مطالعات دقیقتر استفاده گردید. مطالعات انجام شده بر روی دو پروفیل و با استفاده از روش دوقطبی- دو قطبی که شامل اندازه گیری مقادیر مقاومت ویژه و IP می باشد، انجام پذیرفت. طول پروفیل اول ۵۰۰ متر و طول پروفیل دوم ۳۶۰ متر انتخاب گردید. به منظور بررسی میزان تغییرات مقاومت ویژه در طول زمان، برداشت ژئوالکتریک به شیوه Time Laps انجام گردید. در این روش با ثابت در نظر گرفتن پروفیل ها، وضعیت قرارگیری الکترودها و فواصل الکترودی برداشت داده ها در فواصل زمانی مختلف انجام گرفت. بر این اساس، تعداد ۴ برداشت ژئوالکتریک در یک پریود زمانی بالغ بر ۶ ماه برای

هریک از پروفیل ها در نظر گرفته شد. ولی متأسفانه به دلیل فعالیت ماشین آلاتی از قبیل لودر و کامیون به منظور گسترش دپوی باطله، امکان برداشت پروفیل دوم بطور کامل وجود نداشت. نتایج حاصل از برداشت ها توسط نرم افزار RES2DINV معکوس سازی گردید. مدل های معکوس مقاومت ویژه تهیه شده با میزان خطای پایین حاکی از انطباق خوب مدل ها با مقادیر اندازه گیری شده صحرائی می باشد. در تمامی مدل های ژئوفیزیکی، وجود آلودگی احتمالی با توجه با کاهش مقادیر مقاومت ویژه با افزایش عمق بخوبی مشهود است. با مقایسه مدل ها می توان گسترش و عمق قرارگیری مرکز آلودگی احتمالی را مورد توجه قرار داد. مدل های به دست آمده حاکی از راه پیدا کردن آلودگی به آب زیر زمینی در منطقه می باشد. که این امر در آینده ای نه چندان دور می تواند سبب بروز مشکلات جدی زیست محیطی برای مناطق اطراف گردد.

به موازات انجام بررسی های ژئوفیزیک، نمونه برداری عمقی در امتداد قائم از دمپ جهت تجزیه نمونه ها برای تعیین درصد پیریت باقیمانده و نفوذپذیری انجام پذیرفت. برای نمونه برداری سه نقطه روی دمپ باطله به گونه ای انتخاب گردید که تقریباً تمامی سطح دمپ را در برگیرد. نمونه برداری به صورت دستی از اعماق مختلف صورت گرفت. سپس به منظور آنالیز نمونه ها از روش جذب اتمی استفاده گردید. پس از مراحل آماده سازی و طبقه بندی نمونه ها، به کمک تجزیه سرنندی، از روش جذب اتمی به منظور تعیین درصد پیریت باقیمانده نمونه ها استفاده گردید. نتایج حاصل از آنالیزها نشان دهنده افزایش میزان پیریت باقیمانده نمونه ها با افزایش عمق نمونه برداری بود.

گام‌های زمانی مختلف و با در نظر گرفتن پدیده کاهش سطح پیریت ضمن انجام فعالیت‌های اکسیداسیون، حل شدند. نتایج پیش بینی شده توسط مدل سازی ریاضی برای اکسیداسیون پیریت با نتایج آنالیز صحرایی مقایسه گردید و تأثیر پذیری مدل ارائه شده در مقابل عواملی از قبیل ضریب نفوذ مؤثر در مدل انتقال اکسیژن به درون باطله، و مدت زمان دپوی باطله‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده حاکی از انطباق خوب بین داده‌های صحرایی و پیش بینی‌های مدل ریاضی ارائه شده، می باشد. اختلاف موجود نیز ممکن است به دلیل خطای نمونه برداری و خطای آنالیز نمونه‌ها باشد. یا اینکه باطله‌ها در زمان‌های متفاوتی روی دمپ دپو شده اند. به عنوان مثال با توجه به مدل به دست آمده از نمونه اول می توان اینگونه استنباط کرد که زمان قرار گیری باطله بر روی دمپ نمی تواند بیشتر از سه ماه و یا در نمونه دوم بیشتر از ۸ ماه باشد. سپس در انتها با توجه به میزان درصد پیریت نمونه ها غلظت و میزان سولفات حاصل از دمپ که به ترتیب ۱۹۸۴ تن سولفات و غلظت ۰/۶ مولار می باشد، محاسبه گردید. در واقع غلظت سولفات تولیدی معادل آلودگی ایجاد شده از دمپ می باشد. مقدار pH دمپ نیز اندازه گیری شد و مقدار ۵/۷۴ بدست آمد. میزان pH دمپ نشان دهنده اسیدی بودن محل دمپ می باشد. با توجه به میزان سولفات تولیدی و همچنین میزان pH بنظر می رسد که می تواند سبب حل شدن فلزات سنگین در آبهای زیرزمینی منطقه شده و باعث کاهش مقادیر مقاومت ویژه در پایین دست محل دپوی باطله ها در طول زمان گردد. در انتها نیز نتایج مدل های بدست آمده ژئوالکتریک (تغییرات مقادیر مقاومت ویژه در برداشت سوم نسبت به برداشت اول بر روی پروفیل اول) و مدلسازی ریاضی با

رشد گیاهان آبی بر روی آنها، سبب کاهش نرخ نفوذ اکسیژن در خاک شده و در نهایت سبب کاهش تولید اسید می گردد.

- خنثی سازی پساب های اسیدی با استفاده از عوامل خنثی کننده همچون ریختن آهک بر روی دمپ باطله ها یکی از راههای متداول کنترل پساب های اسیدی می باشد که با توجه به حجم باطله ها از لحاظ اقتصادی نیز توجیه پذیر می باشد.

- یکی از راههای جلوگیری از ایجاد آلودگی در سد فلوتاسیون انجام زیر سازی مناسب در محل سد فلوتاسیون می باشد.

- کاشت گیاهان و درختان به منظور زیبا سازی محیط که نظیر چنین کاری در اکثر نقاط دنیا انجام شده که به عنوان مثال می توان به ایالت اویدو<sup>۱</sup> اسپانیا اشاره نمود.

### ۷-۲-۳- انجام مطالعات بیشتر در محل دمپ

به منظور انجام مطالعات بیشتر و بررسی دقیقتر در دمپ باطله ها راهکارهای زیر ارائه می گردد:

- نمونه های بیشتری از تمامی نقاط سطح دمپ باطله ها گرفته شود.

- در نمونه برداری عمقی نمونه ها از روش حفاری اوگر استفاده گردد تا خطای نمونه برداری میزان کمتری شود.

- به منظور بررسی بهتر روند اکسیداسیون پیریت در دمپ باطله ها، پیشنهاد می گردد که نمونه هایی با عمق بیشتر گرفته شود.

<sup>1</sup> oviedo

- به منظور بررسی بهتر روند اکسیداسیون پیریت آنالیز اکسیژن در نمونه ها انجام گیرد تا عمق نفوذ اکسیژن به صورت تجربی هم مورد بررسی قرار گیرد.
- بررسی رفتار باکتریها در روند اکسیداسیون پیریت مورد توجه قرار گیرد که مشابه چنین کاری در محل دمپ های باطله معدن سرچشمه در حال انجام است.
- استفاده از آزمایش های استاتیکی و سینتیکی در دمپ باطله ها به منظور بررسی پتانسیل تولید پساب اسیدی.
- به منظور تلفیق نتایج حاصل از مطالعات ژئوفیزیک و مدل سازی ریاضی به صورت کمی لازم است که مدل سازی دو بعدی ریاضی انجام پذیرد.
- انجام برداشت های ژئوالکتریک به صورت Time Laps برای مدت زمان دو سال و یا بیشتر تا سبب جمع آوری اطلاعات کاملتری در روند انتقال آلودگی حاصله گردد.
- کم کردن فواصل الکترودی و افزایش طول پروفیل های ژئوالکتریک در پایین دست دمپ به منظور بررسی و مطالعات دقیقتر زونهای آلوده.
- نمونه برداری از آب با استفاده از حفر گمانه در نزدیک محل دمپ باطله ها و در محل پروفیل های ژئوالکتریک و مقایسه نتایج به دست آمده از آنالیز ها با مدل های ژئوالکتریک و یا نتایج مدل های ریاضی.
- نمونه برداری از آب های زیرزمینی در بخش های مناطق مسکونی پایین دست دیو و همچنین نقاط بالا دست دمپ ها به منظور بررسی و مطالعه دقیقتر روند افزایش آلودگی ناشی از دمپ باطله.

- استفاده از روش‌های ژئوفیزیکی و یا حتی حفر پیزومترها در محدوده دمپ به منظور تعیین سرعت جریان آب زیرزمینی در منطقه تا روند انتقال آلودگی در سیستم جریان آب زیرزمینی بهتر مطالعه شود.

# فهرست منابع و مراجع

فهرست مراجع و منابع فارسی:

اصانلو، م. سلطان محمدی، و اکبری، ح. (۱۳۸۳). بررسی تأثیر پیریت بر دمپهای باطله معدن مس سرچشمه، کنفرانس مهندسی معدن، جلد دوم، ۱۴۱۱-۱۴۰۱ ص

اصانلو، م. (۱۳۷۸). مهندسی زغال سنگ، انتشارات ناقوس، چاپ اول، ۳۰-۱ ص

آرشیو شرکت زغالسنگ البرز شرقی. (۱۳۸۵)، اداره آموزش زغالسنگ البرز شرقی

اداره آب زیرزمینی دامغان. (۱۳۸۵). گزارش وضعیت آب منطقه مهماندوست و البرز شرقی

شرکت زغالسنگ البرز شرقی، اکتشافات تفضیلی منطقه زغالی رزمجا. (۱۳۶۰). گروه تهیه گزارشات دفتر فنی اکتشافات، ۱-۵۰ ص

جدیری شکری، ب. (۱۳۸۵). مشکلات زیست محیطی پساب های اسیدی معدن و روش پیش بینی پتانسیل آلودگی در ارتباط با آنها، سمینار کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود

حاجب حسینی، ح.، زمریدیان، ح. (۱۳۷۵). ژئوفیزیک کاربردی [مؤلف: تلفورد و همکاران ۱۹۷۴]، انتشارات دانشگاه تهران، جلد دوم، چاپ دوم، ۳۶۰-۱ ص

دولتی ارده جانی، ف؛ شفائی تنکابنی، سیدض؛ میر حبیبی، ع و بدیعی، خ. (۱۳۸۳). بیوتکنولوژی، ژئوشیمی زیست محیطی و مدیریت پساب ها: جلد اول- پساب های معدنی، پژوهشکده صنایع رنگ ایران، چاپ دانشگاه صنعتی شاهرود، ۲۴۸-۱ ص.

زارع، پ، توانا، ب، (۱۳۸۲)، بررسی گستره آلودگی آبهای زیر زمینی با استفاده از روش ژئو الکتریک، "IranCivilCenter.com - Technical and Educational Website of Iranian Engineers"، ۸-۱ ص

سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۸۰). نقشه زمین شناسی منطقه شاهرود

- سازمان فضایی ایران. (۱۳۸۵). عکس ماهواره ای منطقه مهماندوست دامغان
- اداره کل آمار و فناوری اطلاعات، سالنامه آماری هواشناسی ناشر سازمان هواشناسی کشور. (۱۳۷۵-۱۳۸۵).
- سلاجقه، ع و نخعی، ا. (۱۳۷۰). مبانی شیمی تجزیه، مرکز نشر دانشگاهی تهران، جلد دوم، ۳۷۶-۳۹۷ ص
- سهرابی، و، قادری، م، سالاری راد، م، (۱۳۸۳). بررسی پتانسیل تولید زهاب اسیدی از باطله های زغالشویی کارخانه البرز شرقی با استفاده از آزمایش ABA اصلاح شده، کنفرانس مهندسی معدن، جلد دوم، ۱۴۱۱-۱۴۲۷ ص
- عبداللهی، م و شهبازی، ب. (۱۳۸۳). بررسی پارامترهای مؤثر در حذف مغناطیسی پیریت از زغال سنگ طبرس با استفاده از طراحی آزمایشها، کنفرانس مهندسی معدن، جلد دوم، ۱۰۶۰-۱۰۵۱ ص
- قادری، م. (۱۳۸۳). قابلیت تولید پتانسیل زهاب اسیدی باطله های کارخانه زغالشویی البرز شرقی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، فصل سوم، موقعیت جغرافیایی منطقه
- کلاغری، ع. (۱۳۷۱). اصول اکتشافات ژئوفیزیکی، انتشارات تابش، ۱۵۵-۲۶۰ ص
- مرادزاده، ع. (۱۳۸۳). طرح پژوهشی اکتشاف آب زیرزمینی در استان سمنان (مطالعه دشت های اطراف شاهرود)، دانشگاه صنعتی شاهرود و سازمان مدیریت و برنامه ریزی، ۵۰ ص
- مؤسسه جغرافیایی ایران. (۱۳۸۰). اطلس راه های ایران، مؤسسه جغرافیایی و کارتوگرافی و گیتاشناسی
- وزارت نیرو، امور آب. (۱۳۶۹). دستورالعمل اندازه گیری سرعت نفوذ آب به خاک به روش استوانه مضاعف، استاندارد صنعت آب، ۱۹-۱ ص

- "**Abandoned Minesite Characterization and Clean up Handbook**".(2001).  
EPA.[www.epa.gov/superfund/resources/remedy/pdf/amscch](http://www.epa.gov/superfund/resources/remedy/pdf/amscch).
- ABEM Interpretation Guide, (1989). **ABEM WADI VLF Interpretation**. p 1-36
- ABEM Instrument AB, (1991). **Theory and case history for VLF operation**
- Apparao, A., (1997). **Developments in geoelectrical methods**, first edition, A.A.Balkema/Rotterdam/Brookfield. p 156-182.
- Benson A. K., Payne K. L., and Stubben M. A. (1997), **Mapping groundwater contamination using dc resistivity and VLF geophysical methods—A case study** GEOPHYSICS, VOL. 62, NO. 1; pp. 80–86
- Berhard.D. (2000)."**Basic Concepts in Enviromental Geochemistry of Sulfide Mine Waste**".UNESKO Society of Economic Geologists(SEG).
- Carpenter, P.J., Kaufman, R.S. and Price, B., (1990). **Use of resistivity soundings to determine landfill structure**. Ground Water, 28. pp. 569-575.
- Cathles, L.M. and Apps, J.A. (1975). **A model of the dump leaching process that incorporates oxygen balance, heat balance and air convection**. Metallurgical Transactions B. Volume 6B. pp.617-624.
- Cathles, L.M. and Apps, J.A. (1975). **A model of the dump leaching process that incorporates oxygen balance, heat balance and air convection**. Metallurgical Transactions B. Volume 6B. pp.617-624.
- Davis, G.B. (1983). **Mathematical modelling of rate-limiting mechanisms of pyritic oxidation in overburden dumps**. Ph.D. Thesis, University of Wollongong, Australia, 159p.
- Davis, G.B. and Ritchie, A.I.M. (1986). **A model of oxidation in pyritic mine wastes: part 1: Equations and approximate solution**. Applied Mathematical Modelling, 10 (5), pp.314-322.
- Dennis. S. (2001). **Generation and Impact of Acid Mine Drainage and Treatment by Passive Systems**. MSc. Thesis, Liverpool University, England.

- Doulati Ardejani F. (2003). **Hydrogeological investigations of backfilled surface coal mine sites**, ph.D. Thesies, University of Wolongong, NSW, Australia, pp 43 - 49
- Doulati Ardejani F., Singh R.N. and Baafi E.Y. (2002). **A numerical finite volume model for prediction of pollution potential of open cut mine backfill**. 6th Annual Environmental Engineering Research Event 2002 conference, Blackheath NSW, Australia, ISBN: 0-9580158-1-3.
- Doulati Ardejani, F., Singh, R.N. (2004). **Two-Dimensional simulation of pyrite oxidation and pollutant transport in backfilled open cut coal mines**. International Mine Water Association Symposium, Proceedings of the Symposium: Mine Water 2004- Process, Policy and Progress, A.P. Jarvis, Dudgeon and P.L. Younger (Eds.), University of Newcastle, Newcastle upon Tyne, United Kingdom, 19<sup>th</sup> – 23<sup>th</sup> September 2004, Volume 1, pp.121- 132.
- Doulati Ardejani, F., Singh, R.N. and Baafi, E.Y. (2004). **Use of PHOENICS for solving one dimensional mine pollution problems**. The PHOENICS Journal: Computational Fluid Dynamics & its applications, Volume 16, CHAM, UK, p 23.
- Diz.H.R. (1998). **"Chemical and Biological Treatment of Acid Mine Drainage for The Removal of Heavy Metals and Acidity"** . [www.scholar.lib.vt.edu /theses /available/etd-81697-135443/unrestricted/etd](http://www.scholar.lib.vt.edu/theses/available/etd-81697-135443/unrestricted/etd).
- Elberling, B., NICHOLSON, R.V., Scharer J.m. (1994). **A combined kinetic and diffusion model for pyrite oxidation in tailing: a change in controls with time**, Journal of Hydrology 157,p 47-60
- Fahringer P. (2002). **Shallow EM investigations of Amd at an abandoned coal mine in northern west Virginia**, the LEDING Edge, p 478- 481
- Gray, W.G. and Pinder, G.F. (1974). **Galerkin approximation of the time derivative in the finite element analysis of groundwater flow**. Water Resources Research, 10 (4), pp.821-828.
- Jaynes, D.B. (1983). **Atmosphere and temperature within a reclaimed coal-stripmine and a numerical simulation of acid mine drainage from stripmined lands**. Ph.D. dissertation, Pa. State Univ., University Park, pp.161-170
- Jaynes, D.B., Rogowski, A.S. and Pionke, H.B., (1984). **Acid mine drainage from reclaimed coal strip mines**, 1, Model description. Water Resources Research, 20 (2), pp.233-242.

- Kamkar Rouhani, A., (2001). **Developments in Resistivity Methods for Detection of Subsurface Pollution**, Proceedings of the 31st Congress of International Association of Hydrogeologists (IAH), pp.734-738.
- Kleinmann.R.L.P. (2001). **"Prediction of Water Quality at Surface Coal Mines"**.The National Mine Land Reclamation Center.
- Lock, M.H., (1999). **Time lapse resistivity imaging inversion**, proceedings of the 5<sup>th</sup> Meeting of the EEGS European Section, EM1.
- Lock, M.H., (2002). **Res2dinv ver.3.5**, Geotomo software, p 1-112.
- Lock, M.H., (1999). **Electrical imaging surveys for environmental and engineering studies**, A practical guide to 2-D and 3-D surveys, p 1-58
- McGinnes. S. (1999). **"Treatment of Acid Mine Drainage "**.Science and Environment Section, House of Commons Library, www. Parliament.uk/commons/lib/research/rp99.
- McNeill J.D., Labson V.F., (1975). **Geological Mapping using VLF Radio Fields** , [Electromagnetic methods in applied geophysics, Edited by Nabighian M.N. ,Vol.2 , 1991 chapter7, society of exploration geophysics.p
- Mills.C. (2002). **" Acid Rock Drainag Prediction"**.www.edumine.com
- Milson.J, (2002). Field geophysics, 3 Edition, Cambridge university press.
- Mitchell.P. (2000). **"Prediction,Prevention Control, and Treatment of Acid Rock Drainage In:Enviromental Policy in Mining Corporate Strategy and Planning for Clousure"**.Edited by :Warhurst.A,Noronha.L, Chapter 7, p.p.117-144.Lewies publishers.
- Mooney, H.M., (1980), **Handbook of engineering geophysics**, volume 2, first edition, Bison instruments, inc. and Minneapolis, Minnesota, p.1-31.
- RAMAG instruction manual, (2002). **VLF survey planning and interpretation software**, p 1-18
- Reynolds, J.M. (1997). **An Introduction to applied and environmental geophysics**. John wiley & Sons Ltd, chapter 7, pp 422-423

- Robins, C.W. and C.L. Wiegand. (1990). Field and Laboratory measurements. ASCE manuals and Reports No. 71, American Society of Civil Engineers, pp 201-219
- Rogowski, A.S., Pionke, H.B., and Broyan, J.G. (1977). **Modelling the impact of strip mining and reclamation processes on quality and quantity of water in mined areas: A review.** Journal of Environmental Quality, 6 (3), pp.237-244
- Salmone . S-PhD student . (2001). "**Case Study: Modelling of Acid Mine Drainage (AMD)**". Land and Water Resources Engineering Environmental Dynamics:Chemical Processes.
- Seinmaus.M. (2006). "**Acid Mine Drainage**",Monday Creek Resoration Project , [www.mondaycreek.org](http://www.mondaycreek.org).
- Singh, R.N., Doulati Ardejani, F. (2003). **Evaluation of factors affecting pyrite oxidation and subsequent pollutant generation in backfilled open cut coal mines.** 8<sup>th</sup> International Congress on Mine Water and the Environment, Johannesburg, South Africa, 19<sup>th</sup> – 22<sup>nd</sup> October 2003, pp.173-186.
- Singh, R.N., Doulati Ardejani, F. (2004). **Finite volume discretisation for solving acid mine drainage problems.** Archives of Mining Science, 49 (4), pp. 531-556.
- "**Submarine Tailing Disposal, Toolkit Introduction**". (2003).[www.moles.org/projectunderground/reports/stdtoolkit](http://www.moles.org/projectunderground/reports/stdtoolkit) 0702
- "**Technical Document: Acid Mine Drainage Prediction**".(1994). U.S.Environmental Protection Agency Office of Solid Waste ,EPA 530-94-036.
- Telford W.M., Geldart L.P. and Sheriff R.E., 1998, **Applied geophysics**, second edition, Cambridge university press, p 45-47 and 522-560.
- Walter, A.L., Frind, E.O., Blowes, D.W., Ptacek, C.J. and Molson, J.W. (1994). **Modelling of multicomponent reactive transport in groundwater**, 1, Model development and evaluation. Water Resources Research, 30(11), pp.3137-3148.
- Yuval, Douglas W. Oldenburg, (1996). **DC resistivity and IP methods in acid mine drainage problems:results from the Copper Cliff mine tailings impoundments,** Journal of Applied Geophysics 34, p 187-198

پیوست الف

VLF

## الف-۱- ارائه داده های برداشت VLF

داده های برداشت شده بر روی پروفیل ها در جداول زیر آورده شده است. همان طور که مشاهده می شود روی پروفیل های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ به ترتیب ۱۰۵، ۹۷، ۷۰، ۵۸، ۵۹ و ۳۴ نقطه برداشت شده است.

جدول الف-۱- نقاط برداشت شده روی ۳ پروفیل های شماره ۱، ۲ و ۳ را نشان می دهد.

| profile<br>no:1 | مؤلفه حقیقی<br>(%) | مؤلفه مجازی<br>(%) | Profile<br>No:2 | مؤلفه حقیقی<br>(%) | مؤلفه مجازی<br>(%) | Profile<br>No:3 | مؤلفه حقیقی<br>(%) | مؤلفه مجازی<br>(%) |
|-----------------|--------------------|--------------------|-----------------|--------------------|--------------------|-----------------|--------------------|--------------------|
| 23.4            |                    |                    |                 |                    |                    |                 |                    |                    |
| 0               | -49.1              | 15.5               | 0               | 9.2                | 13.7               | 0               | -41                | 15.7               |
| 5               | -27.1              | 10.1               | 5               | -2.9               | 7.8                | 5               | -8                 | 11.1               |
| 10              | -4.5               | 6.2                | 10              | -17.9              | 11.2               | 10              | -6.2               | 12.2               |
| 15              | -21.2              | 9.7                | 15              | -9.1               | 10.8               | 15              | -9.2               | 10.5               |
| 20              | -5                 | 6                  | 20              | -14.5              | 7.4                | 20              | -17.3              | 9.3                |
| 25              | 5.8                | 4.7                | 25              | 0.3                | 6.7                | 25              | -23.5              | 4.9                |
| 30              | 5.4                | 6.1                | 30              | 13.2               | 7.9                | 30              | 2.9                | 6.2                |
| 35              | 4.1                | 5.2                | 35              | -0.5               | 9.9                | 35              | -1.6               | 4.8                |
| 40              | -2.1               | 5.5                | 40              | -26.3              | 4.5                | 40              | -2.9               | 5.7                |
| 45              | 2.6                | 5.2                | 45              | -10.1              | 3.9                | 45              | 6.3                | 2.6                |
| 50              | -6.5               | 4.9                | 50              | 2.4                | 2.7                | 50              | 1.6                | 3.5                |
| 55              | 4                  | 4.5                | 55              | 28.2               | 2.4                | 55              | 28.1               | 0.2                |
| 60              | 5.2                | 3.2                | 60              | 9.4                | 2.9                | 60              | 13.5               | 2.1                |
| 65              | 4.6                | 2.8                | 65              | -1.4               | 1.7                | 65              | 4.4                | 0.8                |
| 70              | 6.2                | 2.6                | 70              | 13                 | 2                  | 70              | 10.5               | 0.7                |
| 75              | 3.6                | 2.1                | 75              | 7                  | -0.1               | 75              | 9.1                | 0.7                |
| 80              | 14.9               | 1.9                | 80              | 13.3               | 0.9                | 80              | 12.8               | 0.2                |
| 85              | -4.6               | 1                  | 85              | 21.3               | -0.6               | 85              | 15.8               | -0.2               |
| 90              | 18.7               | -2.3               | 90              | 8.1                | 0.6                | 90              | 17.8               | -0.7               |
| 95              | 6.3                | -0.4               | 95              | -0.5               | 1.2                | 95              | 9.8                | 1.3                |
| 100             | 16.5               | -3.2               | 100             | 12.7               | -0.8               | 100             | 13.8               | -1.7               |
| 105             | 4.2                | -1.1               | 105             | 7.5                | -0.6               | 105             | 18.5               | 1.5                |
| 110             | 8.9                | -1.7               | 110             | 3.1                | -3.1               | 110             | 16.9               | -1.5               |
| 115             | 3.6                | 0.7                | 115             | 0.5                | 0.1                | 115             | 23.6               | 1.9                |
| 120             | 11.1               | -3.4               | 120             | 15.1               | -0.9               | 120             | -8.3               | -0.3               |
| 125             | 9                  | -3.5               | 125             | -5.8               | -0.7               | 125             | 14                 | -1.7               |
| 130             | 7.6                | 0.7                | 130             | -7.9               | -0.1               | 130             | 18.6               | -1.7               |
| 135             | 7.6                | -1.1               | 135             | -5.1               | 0.8                | 135             | -1.2               | -0.2               |
| 140             | -3.2               | 0                  | 140             | -11.6              | 0.7                | 140             | 12.2               | -1.3               |

ادامه جدول الف - ۱

| profile<br>no:1 | مؤلفه حقیقی<br>(%) | مؤلفه مجازی<br>(%) | Profile<br>No:2 | مؤلفه حقیقی<br>(%) | مؤلفه مجازی<br>(%) | Profile<br>No:3 | مؤلفه حقیقی<br>(%) | مؤلفه مجازی<br>(%) |
|-----------------|--------------------|--------------------|-----------------|--------------------|--------------------|-----------------|--------------------|--------------------|
| 145             | -4.4               | -0.5               | 145             | -0.8               | -0.5               | 145             | 11                 | -1.1               |
| 150             | 9.1                | 0.3                | 150             | 6.6                | 0.2                | 150             | 5.3                | -1.4               |
| 155             | 19.5               | -2.3               | 155             | 5.1                | 2                  | 155             | 11.6               | 0                  |
| 160             | 5.6                | -0.4               | 160             | 4.2                | 1.5                | 160             | 3.7                | 0                  |
| 165             | 0.8                | -1.8               | 165             | 5.7                | 1.4                | 165             | 11.2               | -0.7               |
| 170             | -2.6               | 0.5                | 170             | -3.6               | -2.8               | 170             | 14.1               | -1.6               |
| 175             | 2.5                | -2.4               | 175             | 3.4                | -1.2               | 175             | 6.8                | -3.6               |
| 180             | 33.8               | -7                 | 180             | 14.1               | 0.9                | 180             | 3.8                | 0.8                |
| 185             | 15.4               | -2.5               | 185             | 1.7                | -2                 | 185             | 9                  | -0.8               |
| 190             | 20                 | -1.6               | 190             | 6.1                | 0.3                | 190             | 12.4               | -1.6               |
| 195             | 7.5                | -1.7               | 195             | 1.9                | -0.2               | 195             | 0.7                | 0.8                |
| 200             | 8                  | -0.5               | 200             | 7.1                | 0.7                | 200             | -7.7               | 1.7                |
| 205             | 5.2                | -2.7               | 205             | -2.7               | 3.5                | 205             | -6.1               | 1.8                |
| 210             | 4.9                | -2.1               | 210             | 7.2                | 1.3                | 210             | -15.6              | -3.7               |
| 215             | 10.4               | -2.6               | 215             | 9.9                | 1.6                | 215             | 6.2                | -1.9               |
| 220             | 7.4                | -2.6               | 220             | 0.2                | 0                  | 220             | -3.7               | -6.6               |
| 225             | 16.2               | -1.5               | 225             | -9.5               | 1.8                | 225             | -10.1              | -2.8               |
| 230             | 11.1               | -3.6               | 230             | 6.1                | 1                  | 230             | 9.7                | -2.7               |
| 235             | 10.7               | -0.6               | 235             | 1.6                | 2.7                | 235             | -6.5               | -0.3               |
| 240             | 4.6                | -0.6               | 240             | -6                 | 1.1                | 240             | -17                | 1.7                |
| 245             | 0.9                | -0.3               | 245             | 2.7                | -1.1               | 245             | -16                | 1.2                |
| 250             | -2.9               | -1.3               | 250             | 8.4                | -0.5               | 250             | 13.1               | -0.7               |
| 255             | 6.2                | 1                  | 255             | 4.1                | 1.2                | 255             | 21.6               | -1.1               |
| 260             | 0.9                | 0                  | 260             | 2                  | -0.3               | 260             | 8.1                | -1                 |
| 265             | 9.2                | -0.8               | 265             | -0.5               | -2.9               | 265             | 9.1                | -0.7               |
| 270             | 0.1                | 1.5                | 270             | -5.7               | 0.1                | 270             | 16.4               | -0.9               |
| 275             | 2.5                | 1.6                | 275             | 2                  | 0                  | 275             | 5.2                | 0                  |
| 280             | 16.3               | -4.1               | 280             | 2                  | -1.2               | 280             | 10.7               | -1.2               |
| 285             | 3.3                | -3                 | 285             | 0                  | -0.5               | 285             | 9.1                | -0.8               |
| 290             | 0.5                | -3.5               | 290             | 0.8                | -0.9               | 290             | 9.2                | -0.2               |
| 295             | 4.7                | 0.3                | 295             | 1                  | -1.6               | 295             | 21.9               | -1.6               |
| 300             | 1.3                | 1.3                | 300             | 1                  | -0.5               | 300             | 13.7               | -3                 |
| 305             | 0.5                | -1.9               | 305             | 5.8                | -2.4               | 305             | 11.1               | -3.3               |
| 310             | 4.7                | -3.2               | 310             | 2.8                | 0.6                | 310             | 8.8                | -2.1               |
| 315             | 7.7                | -2.9               | 315             | 4.5                | -0.7               | 315             | 4.9                | -1.3               |
| 320             | 9.5                | -1.2               | 320             | -0.1               | 0.3                | 320             | 8.5                | 0.3                |
| 325             | 7.4                | -5.2               | 325             | 3.5                | -0.8               | 325             | -17.2              | -0.1               |
| 330             | 4.6                | -4.3               | 330             | 10.9               | -0.3               | 330             | 13                 | -0.2               |
| 335             | 9.8                | -1.6               | 335             | 0.9                | -1                 | 335             | 0                  | -2                 |

ادامه جدول الف-۱

| profile<br>no:1 | مؤلفه حقیقی<br>(%) | مؤلفه مجازی<br>(%) | profile<br>no:2 | مؤلفه حقیقی<br>(%) | مؤلفه مجازی<br>(%) | profile<br>no:3 | مؤلفه حقیقی<br>(%) | مؤلفه مجازی<br>(%) |
|-----------------|--------------------|--------------------|-----------------|--------------------|--------------------|-----------------|--------------------|--------------------|
| 340             | 8.5                | -4.8               | 340             | -4.3               | 0.7                | 340             | 10.6               |                    |
| 345             | 4.4                | -2.3               | 345             | -3                 | 0.7                | 345             | 12                 | 3.2                |
| 350             | 10.5               | -4.1               | 350             | 6.3                | 0.2                |                 |                    |                    |
| 355             | 21.6               | -4.5               | 355             | 5.2                | 0.2                |                 |                    |                    |
| 360             | 16.6               | -0.3               | 360             | 8.1                | -1.3               |                 |                    |                    |
| 365             | 19.6               | -3.9               | 365             | 7.6                | 0.6                |                 |                    |                    |
| 370             | 20.9               | -3.8               | 370             | -4.7               | -0.3               |                 |                    |                    |
| 375             | 16.8               | -2.8               | 375             | 5.3                | -3.2               |                 |                    |                    |
| 380             | 20.2               | -2.5               | 380             | 0                  | -0.4               |                 |                    |                    |
| 385             | 17.1               | -1.7               | 385             | 1.4                | -0.4               |                 |                    |                    |
| 390             | 16.3               | -2.6               | 390             | -5.1               | 0.5                |                 |                    |                    |
| 395             | 4.6                | -4.8               | 395             | -18.8              | 1.3                |                 |                    |                    |
| 400             | 1.2                | -3.6               | 400             | -2.1               | -1.8               |                 |                    |                    |
| 405             | -5.8               | -4.1               | 405             | 2.4                | -2                 |                 |                    |                    |
| 410             | -0.4               | -2.2               | 410             | -1.7               | 1.4                |                 |                    |                    |
| 415             | 16.1               | -4.6               | 415             | 5                  | 0.9                |                 |                    |                    |
| 420             | -6.2               | -2.5               | 420             | -7.5               | -0.9               |                 |                    |                    |
| 425             | 12.8               | -5.3               | 425             | -26.6              | 1.8                |                 |                    |                    |
| 430             | 6.5                | -6.2               | 430             | 1.5                | 2.3                |                 |                    |                    |
| 435             | 6                  | -3.2               | 435             | -4.9               | 0.5                |                 |                    |                    |
| 440             | -4.5               | -2.1               | 440             | -7.9               | -1                 |                 |                    |                    |
| 445             | -2.9               | -0.8               | 445             | -17.3              | 2.2                |                 |                    |                    |
| 450             | -5.3               | 1                  | 450             | -21.1              | 0.1                |                 |                    |                    |
| 455             | -19.9              | 0.4                | 455             | -17.5              | 1.5                |                 |                    |                    |
| 460             | 3.8                | 0                  | 460             | 11                 | 1.5                |                 |                    |                    |
| 465             | -5.7               | -1.4               | 465             | 12.6               | -1                 |                 |                    |                    |
| 470             | -10.1              | -2.3               | 470             | 8.6                | 1.9                |                 |                    |                    |
| 475             | 0.5                | -3                 | 475             | 14.6               | -0.9               |                 |                    |                    |
| 480             | 13.4               | -1.9               | 480             | 4.8                | 2.7                |                 |                    |                    |
| 485             | 5.1                | -2.8               |                 |                    |                    |                 |                    |                    |
| 490             | 0.4                | -2.7               |                 |                    |                    |                 |                    |                    |
| 495             | -3.7               | 2                  |                 |                    |                    |                 |                    |                    |
| 500             | 5.9                | -2.1               |                 |                    |                    |                 |                    |                    |
| 505             | 10.1               | -0.3               |                 |                    |                    |                 |                    |                    |
| 510             | 9.6                | -3.7               |                 |                    |                    |                 |                    |                    |
| 515             | -2.1               | -1.6               |                 |                    |                    |                 |                    |                    |
| 520             | 20.4               | -1.2               |                 |                    |                    |                 |                    |                    |

جدول الف-۲- نقاط برداشت شده روی ۳ پروفیل شماره های ۴، ۵ و ۶ را نشان می دهد.

| profile<br>no:4 | مؤلفه حقیقی<br>(%) | مؤلفه مجازی<br>(%) | Profile<br>No:5 | مؤلفه حقیقی<br>(%) | مؤلفه مجازی<br>(%) | Profile<br>No:6 | مؤلفه حقیقی<br>(%) | مؤلفه مجازی<br>(%) |
|-----------------|--------------------|--------------------|-----------------|--------------------|--------------------|-----------------|--------------------|--------------------|
| 4               |                    |                    | 5               |                    |                    | 6               |                    |                    |
| 4E              |                    |                    | 5E              |                    |                    | 6E              |                    |                    |
| 23.4            |                    |                    | 23.4            |                    |                    | 23.4            |                    |                    |
| 58              |                    |                    | 59              |                    |                    | 34              |                    |                    |
| 0               | 18.2               | 2.4                | 0               | -29.5              | 3                  | 0               | 21                 | -0.3               |
| 5               | 26.3               | 3.1                | 5               | -24.2              | 5                  | 5               | 36.8               | -2.2               |
| 10              | 26.2               | 2.3                | 10              | -26.6              | 1.3                | 10              | 18.9               | -5.1               |
| 15              | 33.2               | 4.5                | 15              | -32.5              | 4.3                | 15              | 22.9               | -2.5               |
| 20              | 29.6               | 3.2                | 20              | -28.8              | 8.9                | 20              | 21.6               | -6.3               |
| 25              | 29                 | 6.4                | 25              | -28.5              | 2.1                | 25              | 25.1               | -5.4               |
| 30              | 23.5               | 3.8                | 30              | -22.6              | 5.1                | 30              | 34.2               | -3.3               |
| 35              | 31.1               | 5.2                | 35              | -28.2              | 3.2                | 35              | 32.7               | -4.2               |
| 40              | 32.5               | 2.6                | 40              | -18.9              | 2.1                | 40              | 23.4               | -5                 |
| 45              | 33.3               | 3.4                | 45              | -24.2              | 1.8                | 45              | 25.5               | -5.2               |
| 50              | 38                 | 0.4                | 50              | -16.3              | 6.6                | 50              | 27.2               | -3.5               |
| 55              | 37.2               | 0                  | 55              | -19                | 4.3                | 55              | 25.3               | 0                  |
| 60              | 49                 | 1.3                | 60              | -18.9              | 4.9                | 60              | 26.7               | -3.5               |
| 65              | 36.4               | 2.2                | 65              | -11.9              | 5.2                | 65              | 28.3               | -5.2               |
| 70              | 41.5               | 0                  | 70              | -7.6               | 4.4                | 70              | 26.7               | -4.8               |
| 75              | 32.5               | 3.7                | 75              | -23.6              | 6.1                | 75              | 43.8               | 0.5                |
| 80              | 46.2               | 1.5                | 80              | -16.4              | 5.1                | 80              | 22.1               | -2.7               |
| 85              | 35.3               | 0                  | 85              | -4.9               | 6                  | 85              | 35.4               | -0.4               |
| 90              | 35.7               | 1.5                | 90              | -25.8              | 1.3                | 90              | 25                 | -3                 |
| 95              | 39.3               | 1.4                | 95              | -24.8              | 3.2                | 95              | 32.4               | -6.3               |
| 100             | 30.8               | -1.4               | 100             | -3.7               | 0                  | 100             | 36.5               | -1.4               |
| 105             | 28.3               | 0                  | 105             | -26.1              | -5.1               | 105             | 33.8               | -4.6               |
| 110             | 26.4               | 2.1                | 110             | -35.9              | 0.6                | 110             | 36.6               | -6.4               |
| 115             | 25                 | 1.7                | 115             | -18.5              | -2.1               | 115             | 26.4               | -1.1               |
| 120             | 30.3               | 2                  | 120             | -25.3              | 2.6                | 120             | 25.3               | 0.8                |
| 125             | 26.6               | 4.1                | 125             | -24.8              | -2                 | 125             | 27.6               | -1.7               |
| 130             | 28.6               | 3.5                | 130             | -22.5              | 1.1                | 130             | 22.5               | -2.5               |
| 135             | 30.4               | 6.4                | 135             | -13.8              | -0.9               | 135             | 27.7               | -2.2               |
| 140             | 24.5               | 1.4                | 140             | -22.1              | 4.1                | 140             | 31                 | -4.3               |
| 145             | 7                  | 4                  | 145             | -29.8              | 4.3                | 145             | 26.3               | -1.1               |

ادامه جدول الف- ۲

| profile<br>no:4 | مؤلفه حقیقی | مؤلفه مجازی | profile<br>no:5 | مؤلفه<br>حقیقی | مؤلفه مجازی | profile<br>no:6 | مؤلفه<br>حقیقی | مؤلفه مجازی |
|-----------------|-------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|
| 150             | 13.1        | 1.5         | 150             | -23.8          | -1.4        | 150             | 28.6           | 0.2         |
| 155             | 30.3        | -1.6        | 155             | -26.4          | 2.7         | 155             | 23             | -0.2        |
| 160             | 9.2         | 0.5         | 160             | -30.2          | 3.5         | 160             | 29.1           | -4.3        |
| 165             | 8.9         | -0.8        | 165             | -29.2          | 1.9         | 165             | 34.2           | -4.4        |
| 170             | 25.4        | 2.1         | 170             | -23.8          | 4.2         |                 |                |             |
| 175             | 8.2         | 3.1         | 175             | -27.1          | -0.7        |                 |                |             |
| 180             | 20.4        | 2.3         | 180             | -24.1          | 2.6         |                 |                |             |
| 185             | 28.2        | 5.5         | 185             | -31.7          | 5.1         |                 |                |             |
| 190             | 13.1        | 1.7         | 190             | -24.3          | 1.1         |                 |                |             |
| 195             | 5.2         | 1.7         | 195             | -26            | 5.1         |                 |                |             |
| 200             | 7.9         | 1.6         | 200             | -23.7          | 5.2         |                 |                |             |
| 205             | 15.3        | 3.9         | 205             | -17.3          | 3.1         |                 |                |             |
| 210             | 15.7        | 3.8         | 210             | -26            | 7.9         |                 |                |             |
| 215             | 5.7         | 3.5         | 215             | -23.5          | 2.6         |                 |                |             |
| 220             | 36.9        | 3.8         | 220             | -20.1          | 1.6         |                 |                |             |
| 225             | 5.8         | 0.7         | 225             | -27.7          | 5.6         |                 |                |             |
| 230             | 3.9         | 3.9         | 230             | -31.6          | 4.6         |                 |                |             |
| 235             | 30.1        | 0.5         | 235             | -24.1          | 2.1         |                 |                |             |
| 240             | 5.5         | 1.9         | 240             | -5.4           | -0.3        |                 |                |             |
| 245             | 5.2         | 4.1         | 245             | -13.4          | -2          |                 |                |             |
| 250             | 7.1         | -2          | 250             | -14.7          | 0.5         |                 |                |             |
| 255             | 12.8        | 3.5         | 255             | -26.2          | 2.9         |                 |                |             |
| 260             | 2.6         | 0.4         | 260             | -25            | 1.3         |                 |                |             |
| 265             | -7.7        | 2           | 265             | -22.7          | 3.6         |                 |                |             |
| 270             | 3.1         | 0.2         | 270             | -23.7          | 0.9         |                 |                |             |
| 275             | 32.7        | 2.7         | 275             | -26.6          | 3.1         |                 |                |             |
| 280             | 34.3        | -2.6        | 280             | -35.9          | 6.7         |                 |                |             |
| 285             | 33          | 2.4         | 285             | -26.1          | 4.1         |                 |                |             |
|                 |             |             | 290             | -29.1          | 1.7         |                 |                |             |

## الف-۲- روشهای فیلتر داده ها

در فیلتر کردن داده ها معمولاً از دو روش فریزر و کاروس- هجالت استفاده می شود که در ادامه به تشریح روش کاروس- هجالت پرداخته می شود:

## الف-۲- روش فیلتر کاروس - هجالت

کاروس - هجالت با استفاده از قانون بيو - ساوار کارخود را برای شرح میدان مغناطیسی حاصل از نشر جریان در سطح تحت الارضی دو بعدی شروع کردند و از تئوری فیلتر کردن خطی برای حل دستگاه معادلات نشر این جریان استفاده نمودند. آنها همچنین فرض کردند که میدان مغناطیسی در یک صفحه افقی از تغییرات چگالی جریان قرار دارد و عمق آن برابر با فاصله بین ایستگاههای اندازه گیری می باشد. با انتخاب نقاط داده در فواصل دورتر، چگونگی رفتار پخش جریان در صفحه فرضی را، در عمق های بیشتر (با فواصل بیشتر)، می توان استنباط کرد.

فیلتر ارائه شده از کاروس - هجالت به صورت زیر می باشد [راهنمای تفسیر ABEM، ۱۹۸۹]:

$$\frac{\Delta Z}{2\pi} I_0 \left( \frac{\Delta x}{2} \right) = -0.205H_{-2} + 0.323H_{-1} - 1.446H_0 + 1.446H_1 - 0.323H_2 + 0.205H_3 \quad (\text{الف-۱})$$

که در رابطه بالا:

$\Delta Z$ : ضخامت فرضی صفحه جریان

$\Delta X$ : فاصله بین نقطه داده ها و عمق صفحه جریان

H: آنومالی میدان مغناطیسی قائم که برای هر کدام از ۶ نقطه داده نرمال شده است.

ولی معمولاً در بیشتر مواقع برای سهولت کار از فرمول زیر برای احتساب داده های فیلتر شده استفاده

می گردد [راهنمای تفسیر ABEM، ۱۹۸۹]:

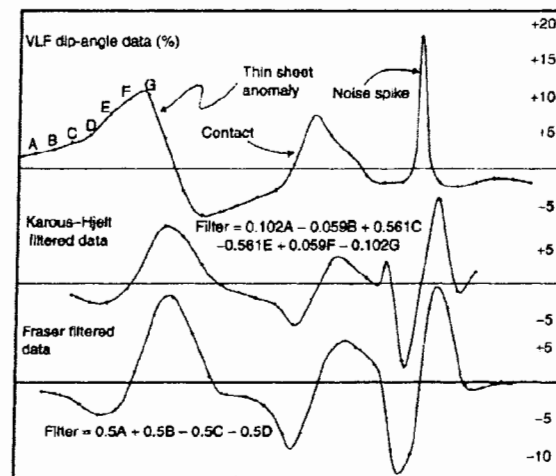
$$(K-H)Filter = 0.102H_{-3} - 0.059H_{-2} + 0.561H_{-1} + 0 \times H_0 \\ - 0.561H_1 + 0.059H_2 - 0.102H_3 \quad (\text{الف-۲})$$

نمودار کاروس - هجلت دارای پیک های بیشتر یا به عبارت دیگر دارای شکستگی های بیشتری

نسبت به فیلتر فریزر می باشد، که می تواند به خاطر این باشد که فیلتر کاروس-اچ.جالت از داده های

بیشتری نسبت به فیلتر فریزر استفاده می کند. (فیلتر کاروس-اچ.جالت از ۶ داده استفاده می کند در حالی

که فیلتر فریزر از ۴ داده استفاده می کند [میلسون، ۲۰۰۲].)



شکل الف-۱- روش فیلتر فریزر و کاروس هجلت [میلسون، ۲۰۰۲]

برای تفسیر آسانتر داده ها، عموماً داده های فیلتر شده ترجیح داده می شود، با این وجود

برخی اوقات استفاده از داده های خام به داده های فیلتر شده ترجیح داده می شود، که این انتخاب

می تواند به دلایل زیر باشد [راهنمای تفسیر ABEM، ۱۹۸۹]:

✓ فیلتر کردن ممکن است پیک آنومالی را اندکی در طول خطا پروفیل تغییر مکان دهد و برای تعیین مکان درست آنومالی، داده های خام قابل اعتمادترند.

✓ زمانی که آنومالی پیچیدگی شدیدی داشته باشد (به عنوان مثال، آنومالی جمع چند ساختار باشد)، جزئیات داده های خام اساساً در داده های فیلتر شده می تواند تغییر کند.

✓ عمل فیلتر کردن سبب می شود که آنومالی ناشی از کنتاکت ها (همبری ها) شبیه آنومالی یک زون هادی خطی شود.

✓ مقادیر آنومالی فیلتر شده نسبت به ضخامت همبری غیر حساس می باشد، ولی در مقادیر آنومالی خام اینگونه نیست.

در نتیجه برای تفسیر داده ها بهتر است که از هر دو داده خام و فیلتر شده استفاده گردد.

### الف-۳- تکنیک های اندازه گیری<sup>۱</sup>

برای داشتن تفسیر قابل اعتماد، بایستی داده ها با کیفیت مطلوبی برداشت گردد. در زیر به چند

نکته مهم برای برداشت بهتر داده ها اشاره شده است [راهنمای تفسیر ABEM، ۱۹۸۹]:

✓ داشتن اطلاعات کلی از زمین شناسی و زمین شناسی ساختمانی منطقه

✓ پروفیل ها بر ساختارهای مد نظر عمود باشند.

✓ اگر قرائت در چند پروفیل مد نظر می باشد از یک سیستم موقعیت یابی استفاده شود و پروفیل ها

با هم موازی باشند.

✓ بعد از اینکه پروفیل ها انتخاب شدند باید یک فرستنده مناسب انتخاب شود باید توجه داشت که امتداد انتشار امواج حتماً باید بر پروفیل عمود باشد.

✓ امتداد پروفیل باید ثابت باشد و حتی در صورت مواجه شدن با مانع امتداد مورد نظر را نباید تغییر داد.

✓ فاصله بین ایستگاه های اندازه گیری باید با دقت انتخاب شود. معمولاً فاصله ۱۰ متری بین ایستگاه ها مناسب می باشد ولی در صورت نیاز به مطالعات و اکتشافات و به سطحی فاصله ۵ متری مناسب تر است.

✓ آنتن دستگاه در زمان انجام قرائت ها، باید به صورت عمود باشد.

✓ طول پروفیل به اندازه کافی بزرگ باشد تا آنومالی مطلوبی حاصل گردد، معمولاً پروفیلی با طول ۲۰۰ متر مناسب می باشد.

#### الف-۴- نویزهای مؤثر در برداشتهای VLF

به طور کلی می توان انواع نویزهای<sup>۲</sup> مؤثر در برداشتهای VLF را به صورت زیر طبقه بندی نمود امک نیل و لابسون، ۱۹۷۵]:

✓ نویزهای اتمسفری مؤثر بر فرکانس های<sup>۳</sup> VLF

✓ تأثیر توپوگرافی روی پاسخ میدان مغناطیسی<sup>۴</sup> VLF

2- Noises

3- Atmospheric Noise at VLF Frequencies

1- Effects of Topography on VLF magnetic field response

✓ سایر نویزها

## الف-۴-۱- نویزهای اتمسفری موثر بر فرکانسهای VLF

نویزهای ایجاد شده در گیرنده های VLF در دامنه‌ای قرار می‌گیرند که سیگنال‌های VLF در آن یافت می‌گردند، که این از محاسن دستگاه محسوب می‌گردد. این نویزها توسط میدان مغناطیسی تولید شده از دشارژ الکتریکی اتمسفر نشر پیدا می‌کند و در اثر فعالیت های تندی اتمسفر که با دو عامل موقعیت آن بر روی سطح زمین و زمان تغییر می‌کنند، چندین تراز مختلف از نویزها ایجاد می‌شود. زمانی که امواج ارسالی الکترومغناطیسی با جریان قائم تولید شده از دشارژ الکتریکی روزانه تداخل می‌کند، سبب کاهش انتقال مؤلفه های میدان (مؤلفه الکتریکی قائم و مؤلفه مغناطیسی افقی) در فضای زمین - یونسفر می‌شوند و در نتیجه آن سیگنال‌های ارسالی از فرستنده های VLF تحت تأثیر قرار می‌گیرند. یکی از موارد پیشنهادی برای کاهش میزان نویزهای دریافتی این است که برداشت ها در زمان های مناسبی در طول روز انجام پذیرند. بهترین زمان برای انجام برداشت های الکترومغناطیسی اولین ساعات صبح تا اوایل شب می‌باشد [مک نیل و لابسون، ۱۹۷۵].

## الف-۴-۲- سایر نویزها

عواملی مانند، کابل ها، لوله های فلزی مدفون در زمین، حصارهای الکتریکی و سایر ممکن است بر روی آنومالی های حاصل از برداشت‌های VLF تأثیر داشته باشند. یکی از راه های از بین بردن آنها، برداشت پروفیل به موازات کابل ها و لوله های فلزی است [مک نیل و لابسون، ۱۹۷۵].

پیوست ب

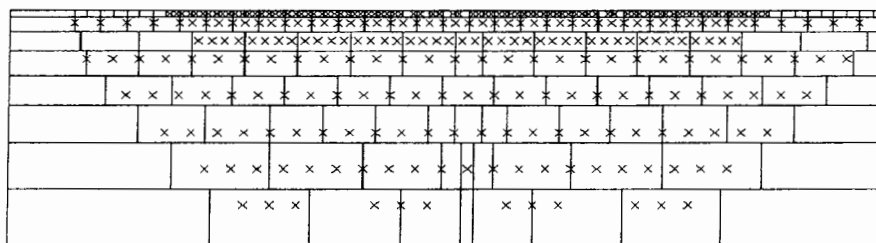
معرفی نرم افزار

Res2dinv

## ب-۱- معرفی نرم افزار Res2dinv

نرم افزار Res2dinv از جمله برنامه های کامپیوتری است که به صورت خودکار مدل دو بعدی داده های حاصل از مشاهدات صحرایی را رسم می کند. این برنامه تحت ویندوز عمل نموده و محیط گرافیکی مناسبی دارد. این برنامه توانایی معکوس سازی تعداد زیادی داده (از ۲۰۰ تا ۶۵۰۰) را دارا می باشد. مدل دو بعدی که توسط نرم افزار مذکور است بکار برده می شود، شامل تعدادی بلوک مستطیلی است

(شکل ب-۱)



شکل ب-۱- مدل دو بعدی در نرم افزار Res2dinv (علائم ضرب محل داده ها را نشان می دهد) [لوک، ۱۹۹۹]

توزیع و اندازه بلوک ها به صورت خودکار توسط برنامه طراحی می گردد. برای این منظور توزیع داده ها را به عنوان مبناء به کار می برد. معمولاً داده ها را منظم، با فواصل ثابت و بر روی یک خط برداشت می کنند. اما این برنامه، حتی قادر به معکوس سازی داده هایی است، که با فاصله غیر یکسان از هم برداشت شده اند. این نرم افزار شامل برنامه ای است که با استفاده از تئوری مدل سازی پیشرو قادر به محاسبه مقادیر مقاومت ویژه ظاهری مدل محاسبه شده است. Res2dinv روش کمترین مربعات غیر خطی را بکار می برد و محاسبات عددی را با روش های تفاضل محدود<sup>۱</sup> و اجزاء محدود<sup>۱</sup> انجام می دهد.

<sup>۱</sup> Finite - Difference

این برنامه می تواند برای روش های وئر، دوقطبی - دوقطبی، قطبی - دو قطبی، قطبی - قطبی، وئر - شلومبرژه و آرایش مستطیلی بکار برده شود. به علاوه این برنامه قادر است داده های به دست آمده از آرایش های غیر متداول که محدودیتی از نظر نوع آرایش الکترودها ندارند، مدل سازی نماید. این برنامه علاوه بر روش های الکتریکی روی زمین، برداشت های زیر آب و درون چاهی را نیز تحت پوشش قرار می دهد. مضافاً اینکه داده های حاصل از برداشت به روش IP را نیز مدل سازی می نماید [لوک، ۲۰۰۲].

## ب-۲- تئوری بکار برده شده در نرم افزار Res2dinv

تکنیکی را که این نرم افزار بکار استفاده می نماید، بر اساس روش کمترین مربعات هموار مقید شده<sup>۲</sup>

می باشد. رابطه ریاضی این روش به صورت زیر بیان می گردد [لوک، ۲۰۰۲]:

$$(J^T J + uF)d = J^T g \quad (\text{ب-۱})$$

در رابطه ب-۱ مقدار F به صورت زیر می باشد:

$$F = f_x f_x^T + f_z f_z^T \quad (\text{ب-۲})$$

$f_x$ : فیلتر تخت افقی

$f_z$ : فیلتر تخت قائم

$J$ : ماتریس ژاکوبین

$u$ : فاکتور تعدیل

$d$ : بردار آشفتگی مدل

$g$ : بردار همگرایی

این برنامه برای انجام مدلسازی روش کمترین مربعات و روش عددی گاوسی - نیوتن را به کار

1 Finite - Element

2 Smoothness – constrained Least - Squares

می برد. روش کمترین مجموع مربعات در هر بار تکرار، بر خلاف روش گاوس - نیوتن، ماتریس ژاکوبین ساخته نمی شود، بلکه ماتریس قبلی تصحیح می گردد. لذا ۱۰ مرتبه سریع تر است و حافظه کمتری را برای انجام محاسبات به خود اختصاص می دهد. در ضمن روش سنتی گاوس - نیوتن را نیز می توان در این برنامه بکار برد. این روش دقیق تر است و برای نواحی که اختلاف مقاومت ویژه بین آنها زیاد است، جواب بهتری می دهد. این برنامه این قابلیت را نیز دارد که ۲ یا ۳ تکرار اول را با روش گاوس - نیوتن انجام دهد [لوک، ۲۰۰۲]. این برنامه زمین را به تعدادی بلوک مستطیلی شکل تقسیم می کند (شکل ب-۱) و هدف از این کار محاسبه مقاومت ویژه هر بلوک است و در نهایت مدل توزیع مقاومت ویژه واقعی محاسبه می گردد. ضخامت اولین لایه بلوک ها برای قطبی - دو قطبی و دو قطبی - دوقطبی به ترتیب ۰/۶ و ۰/۳ فاصله الکترودی می باشد و بعد از آن با افزایش عمق، ضخامت لایه به صورت نرمال به مقدار ۱۰٪ یا ۲۵٪ و یا به اندازه ای که کاربر بخواهد افزایش می یابد. روش بهینه سازی میزان اختلاف ما بین مقاومت های ظاهری محاسبه شده و اندازه گیری شده را با تنظیم مدل های بلوکی کاهش می دهد. مقادیر اختلاف موجود معمولاً با روش کمترین مجموع مربعات محاسبه می شود. که به عنوان مقدار RMS<sup>۱</sup> از آن نام برده می شود. برنامه در هر بار تکرار خطای RMS را محاسبه می کند و سعی در کاهش آن دارد. بایستی به این نکته دقت شود که مدل با کمترین خطا ممکن است تغییرات غیر طبیعی و بسیار زیادی را در مقاومت ویژه نشان دهد و بنابراین مدل با کمترین خطا همیشه بهترین جواب نیست [لوک، ۲۰۰۲]

1- Root - mean - squared

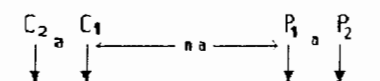
## ب-۳- فایل داده ها با استفاده از روش دوقطبی - دو قطبی و IP

جهت انجام مدلسازی ابتدا داده ها را توسط فایلی با پسوند DAT به برنامه می دهند. راهنمای برنامه،

نحوه ساختن فایل حاوی اطلاعات را در اختیار کاربر قرار می دهد.

فرمت داده های برداشت دوقطبی - دوقطبی با توجه به نحوه قرارگیری الکترودها در شکل ب-۲ به

ترتیبی است که در ادامه آورده شده است.



شکل ب-۲- ترتیب قرار گیری الکترودها در روش دو قطبی - دو قطبی [لوک، ۲۰۰۳]

که در این شکل:

$C_1, C_2$ : الکترودهای جریان

$P_1, P_2$ : الکترودهای پتانسیل

$a$ : فاصله بین دو الکترودهای جریان ( $C_1$  و  $C_2$ ) یا فاصله بین دو الکترودهای پتانسیل ( $P_1$  و  $P_2$ )

$n$ : فاصله بین الکترودهای جریان و پتانسیل (فاکتور جدا سازی قطب ها<sup>۱</sup>)

مقدار ابتدایی  $n$ ، ۱ می باشد و سپس افزایش پیدا می کند. معمولاً مقدار ماکزیمم  $n$ ، ۴ و ۶

می باشد. استفاده از مقادیر بزرگتر از ۶ معمولاً توصیه نمی شود، زیرا زمانی که فاکتور جدا سازی قطب

ها افزایش می یابد، پتانسیل اندازه گیری شده بین  $P_1$  و  $P_2$  به سرعت کاهش می یابد.

فرمت فایل ورودی داده ها به صورت زیر می باشد:

خط اول : عنوانی که می خواهیم بالای مدل نوشته شود (در این پروژه نام پروفیل مورد نظر وارد شده

1- Dipole separation factor

است).

خط دوم: فاصله الکترودی که در این تحقیق به ترتیب در پروفیل اول و پروفیل دوم ۵۰ و ۴۰ متر است  
خط سوم: نوع آرایش بکار رفته که با یک عدد مشخص می شود. آرایش دو قطبی - دو قطبی با عدد ۳  
مشخص می گردد.

خط چهارم: تعداد داده ها

خط پنجم: در صورتی که بر اساس موقعیت افقی اولین الکتروود داده شده باشد، عدد ۱ و اگر بر اساس  
موقعیت نقطه میانی (بین الکتروود های پتانسیل و جریان) داده شده باشد عدد صفر .  
خط ششم: برای داده های IP عدد ۱ و در غیر این صورت عدد صفر وارد می گردد.

خط هفتم: به دلیل وجود داده های IP در این خط نوع داده های IP با عبارت Chargeability باید وارد  
گردد.

خط هشتم: واحد IP که در اینجا msec می باشد.

خط نهم: زمان تاخیر و زمان مجموع که به ترتیب به شکل روبرو نوشته می شود: ۰/۱ و ۱/۵.

خط یازدهم: از اینجا به بعد داده ها را به صورت زیر وارد می کنیم:

ستون اول: موقعیت افقی x-locxation.

ستون دوم: مقدار فاصله a که در پروفیل اول و دوم به ترتیب دارای مقادیر ۵۰ و ۴۰ انتخاب شده است.

ستون سوم: مقدار فاکتور n

ستون چهارم: مقدار مقاومت ویژه ظاهری.

ستون پنجم: مقدار IP .

به همین ترتیب تمام داده ها را وارد می کنیم.

- در صورت وجود، داده های توپوگرافی این مقادیر را وارد می کنیم

- در انتها تعدادی صفر وارد می شود.

مقادیر IP می تواند به صورت فرمت های مختلف مورد استفاده قرار گیرد:

✓ مقادیر اندازه گیری شده در حوزه زمان <sup>۱</sup>.

✓ مقادیر اندازه گیری شده درصد فرکانس موثر در حوزه فرکانس <sup>۲</sup>.

✓ مقادیر اندازه گیری شده در فاز زاویه ای <sup>۳</sup>.

✓ مقادیر فاکتور فلزی <sup>۴</sup> IP .

معمولاً از داده های نوع اول در معکوس سازی استفاده می شود که در مطالعه حاضر نیز داده های IP از

این نوع می باشند. واحد اندازه گیری زمان میلی ثانیه <sup>۵</sup> است

فرآیند معکوس سازی در این روش می تواند به دو شکل زیر انجام گیرد:

در روش اول، معکوس سازی مقادیر مقاومت ویژه و IP به صورت جداگانه صورت می گیرد. در این

روش بعد از اتمام معکوس سازی مقاومت ویژه، معکوس سازی داده های IP صورت می گیرد. در این

روش مدل مقاومت ویژه ظاهری به دست آمده در آخرین مرحله تکرار معکوس سازی مقاومت ویژه (که

1 - Time domain chargeability measurements

2 - Frequency domain percent frequency effect measurements

3 - Angle phase measurements

4- Metal factor

5- millisecond

معمولاً دارای کمترین مقدار RMS می باشد) برای معکوس سازی IP به کار گرفته می شود. معمولاً برنامه Res2dinv از این روش در معکوس سازی استفاده می کند و روش مناسبی می باشد. در روش دوم، فرآیند معکوس سازی مقاومت ویژه ظاهری و مقادیر IP به طور همزمان انجام می گیرد. در این روش پس از هر مرحله تکرار در معکوس سازی مقاومت ویژه ظاهری بلافاصله معکوس سازی مقادیر IP صورت می گیرد. باید توجه کرد که در صورت داشتن مقادیر غیر نرمال IP یعنی مقادیر خیلی بالا و یا خیلی پائین باید این مقادیر را کنترل نمود برای این منظور، ابتدا باید شبه مقطع مقاومت ویژه ظاهری را کنترل نمود. در صورتی که مقادیر مقاومت ویژه اندازه گیری شده نویزی باشد، در این صورت مقادیر IP نیز غیر قابل اعتماد خواهند بود. پس از چک نمودن مقادیر مقاومت ویژه ظاهری باید مقادیر IP را نیز کنترل نمود. نکته مهم دیگر در مدل های معکوس سازی شده IP این است که RMS در این مدل ها ممکن است مقدار زیادی داشته باشد. معمولاً مقدار RMS داده های IP نسبت به RMS داده های مقاومت ویژه مقدار بیشتری دارد.

#### ب-۴- فایل داده ها با استفاده از روش Time-laps

در این پایان نامه داده ها با استفاده از روش دو قطبی- دوقطبی برداشت شدند و جهت بررسی تغییرات زمانی این برداشت ها در طول زمان با استفاده از Time Laps مدل سازی شده است. فرمت فایل ورودی داده ها برای انجام سه برداشت در زمانهای مختلف به صورت زیر می باشد:

خط اول: عنوانی که می توان بالای مدل نوشت (در تحقیق حاضر نام پروفیل مورد نظر در Time- Laps وارد شده است).

خط دوم: فاصله الکترودی که به ترتیب در پروفیل اول ۵۰ متر و در پروفیل دوم ۴۰ متر انتخاب شده است.

خط سوم : نوع آرایش بکار رفته در این روش که با یک عدد مشخص می شود. آرایش دو قطبی - دو قطبی با عدد ۳ مشخص می گردد.

خط چهارم : تعداد داده ها

خط پنجم : برای موقعیت افقی نقطه میانی (بین الکترودهای پتانسیل و جریان) عدد ۱ انتخاب گردد.  
خط ششم : به دلیل اینکه بدون استفاده از داده های IP معکوس سازی صورت گرفته است، عدد صفر وارد شد.

خط هفتم : عنوان معرفی کننده داده های time-laps که دقیقاً باید با فرمت زیر نشان داده می شود:

" Time sequence data"

خط هشتم: عنوان و دقیقاً باید با فرمت زیر نشان داده می شود:

" Number of time section "

خط نهم : واحد به کار رفته در اندازه گیری زمان، که در این پروژه با ساعت (Hours) مشخص شده است.

خط دهم : عنوان و دقیقاً باید با فرمت زیر نشان داده می شود:

" Second time section interval "

خط یازدهم: اختلاف زمانی در برداشت دوم.

خط دوازدهم: اختلاف زمانی در برداشت سوم.

خط سیزدهم: از اینجا به بعد داده ها را به صورت زیر وارد می کنیم:

ستون اول: موقعیت افقی x-location

ستون دوم: مقدار فاصله a که در مورد پروفیل های اول و دوم به ترتیب مقادیر ۵۰ و ۴۰ وارد شده است.

ستون سوم: مقدار فاکتور n

ستون چهارم: مقدار مقاومت ویژه ظاهری در برداشت اول

ستون پنجم: مقدار مقاومت ویژه ظاهری در برداشت دوم

ستون ششم: مقدار مقاومت ویژه ظاهری در برداشت سوم.

به همین ترتیب تمام داده ها را وارد می کنیم.

- در انتها تعدادی صفر وارد می شود.

باید توجه کرد که نرم افزار Res2dinv با version 3.2 در معکوس سازی داده ها با روش Time- Laps

متأسفانه قابلیت معکوس سازی داده های IP را نداشته و فقط برای معکوس سازی داده های مقاومت

ویژه ظاهری استفاده می گردد [لوک، ۱۹۹۹].

فرآیند معکوس سازی ممکن است به این شکل باشد که ابتدا معکوس سازی سری اول داده ها انجام

می پذیرد یعنی کلیه تکرارهای آن انجام شود و سپس معکوس سازی سری داده های بعدی انجام می شود

و یا اینکه پس از هر بار تکرار معکوس سازی سری اول داده ها، از این مجموعه به عنوان مدل مرجع جهت

معکوس سازی مجموعه داده های بعدی استفاده گردد. البته باید به خاطر داشت که برنامه این قابلیت را

نیز دارد که اجازه انتخاب مدل مرجع را تحت عنوان preceding data set به ما می دهد. در این حالت

اولین مجموعه داده ها به عنوان مدل مرجع برای داده های مجموعه دوم و مجموعه داده های دوم به

عنوان مدل مرجع برای مجموعه داده های سوم انتخاب می گردد.

پیوست ج

مدل های معکوس قطبش القایی

ج-۱- پلاریزاسیون القائی<sup>۱</sup>

طبق تعریفی که سامر در سال ۱۹۷۶ برای پلاریزاسیون القائی ارائه نمود، این پدیده الکتریکی در حقیقت تابعی از ولتاژ رو به زوال مواد مختلف درون زمین پس از قطع جریان مستقیم (DC) تزریقی می باشد که بین الکترودهای پتانسیل اندازه گیری می شود. تجربیات نشان می دهد که بعد از قطع ناگهانی جریان، اختلاف پتانسیل بین الکترودهای پتانسیل فوراً صفر نمی گردد، بلکه بعد از یک کاهش اولیه، به تدریج روبه زوال می گذارد. در چنین مواردی زمین در واقع به مانند یک خازن عمل کرده و بارالکتریکی را هنگام وصل جریان به صورت انرژی شیمیایی ذخیره می کند. در اندازه گیری مقاومت ویژه اگر به جای جریان مستقیم از جریان متناوب استفاده کنیم، مقاومت ویژه ظاهری با افزایش فرکانس کاهش می یابد زیرا خاصیت خازنی زمین در برابر عبور جریان مستقیم مقاومت نموده و در مقابل جریان متناوب به مانند یک خازن، مقاومت کمتری از خود نشان می دهد.

اندازه گیری IP به شکل های زیر انجام می گیرد:

✓ اندازه گیری در حوزه زمان<sup>۲</sup>

✓ اندازه گیری در حوزه فرکانس<sup>۳</sup>

مقدار قابلیت بارپذیری (M) که نسبت سطح زیر نمودار منحنی رو به زوال ولتاژ در فاصله زمانی  $t_1-t_2$

در هنگام قطع جریان به مقدار ولتاژ قبل از قطع جریان  $\Delta V_s$  که مطابق شکل ج-۱ به صورت زیر تعریف

<sup>۱</sup> - Inducted Polarization

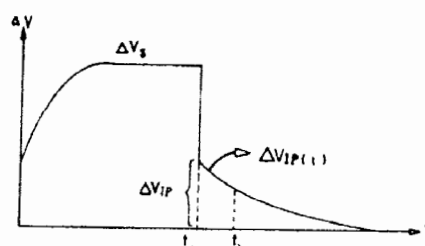
<sup>۲</sup> - Time domain

<sup>۳</sup> - Frequency domain

می شود:

$$M = \frac{A}{\Delta V_S} = \frac{1}{\Delta V_S} \cdot \int_{t_1}^{t_2} V(t) \cdot dt \quad (ج-۱)$$

برای جلوگیری از جفت شدگی<sup>۴</sup> الکترومغناطیسی و کاهش اثرات آن بر روی اندازه گیری قابلیت بارپذیری اجسام، اندازه گیری سطح زیر منحنی نباید بلافاصله بعد از قطع جریان باشد [مرادزاده، ۱۳۸۳].



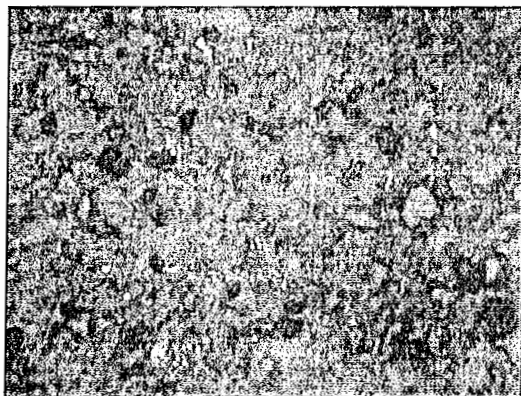
شکل ج-۱ نحوه اندازه گیری IP در حوزه زمان [کلاگری، ۱۳۷۱]

## ج-۲- مدل های معکوس سازی شده قطبش القائی مربوط به پروفیل ۱

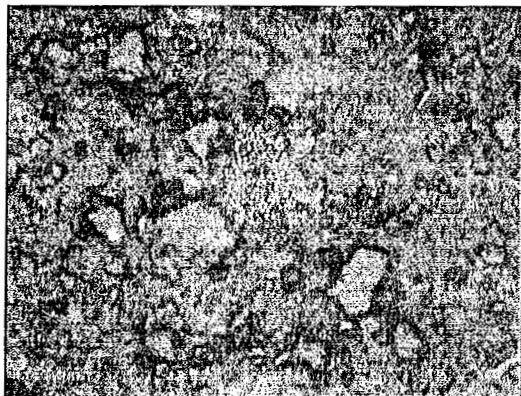
در شکل ج-۲ مدل های معکوس IP در برداشت های مختلف بر روی پروفیل اول آورده شده است. باید توجه دارد که در تمامی مدل ها میزان خطای مدل ها بسیار کم می باشد که نشان دهنده تطابق خوب داده های صحرائی با نتایج مدل معکوس می باشد. برای مشخص نمودن آلودگی ایجاد شده، باید توجه کرد که این زون با افزایش در مقدار شارژابیلیته همراه است. مدل های حاصل از IP از هماهنگی مطلوبی با مدل های مقاومت ویژه برخوردار است. در تمامی مدل ها تغییرات شارژابیلیته بخوبی دیده می شود. به عنوان مثال در برداشت دوم مقادیر شارژابیلیته از فاصله ۱۵۰ متری تا ۳۵۰ متری دارای افزایش مقدار می باشد.

پیوست د

تصاویر مقاطع صیقلی



شکل د-۴- تصویر مقطع صیقلی مربوط به نمونه ۳ که از عمق ۱/۵ متری تهیه شده است.



شکل د-۵- تصویر مقطع صیقلی مربوط به نمونه ۳ که از عمق ۱/۵ متری تهیه شده است.



شکل د-۶- تصویر مقطع صیقلی مربوط به نمونه ۳ که از عمق ۱/۵ متری تهیه شده است.



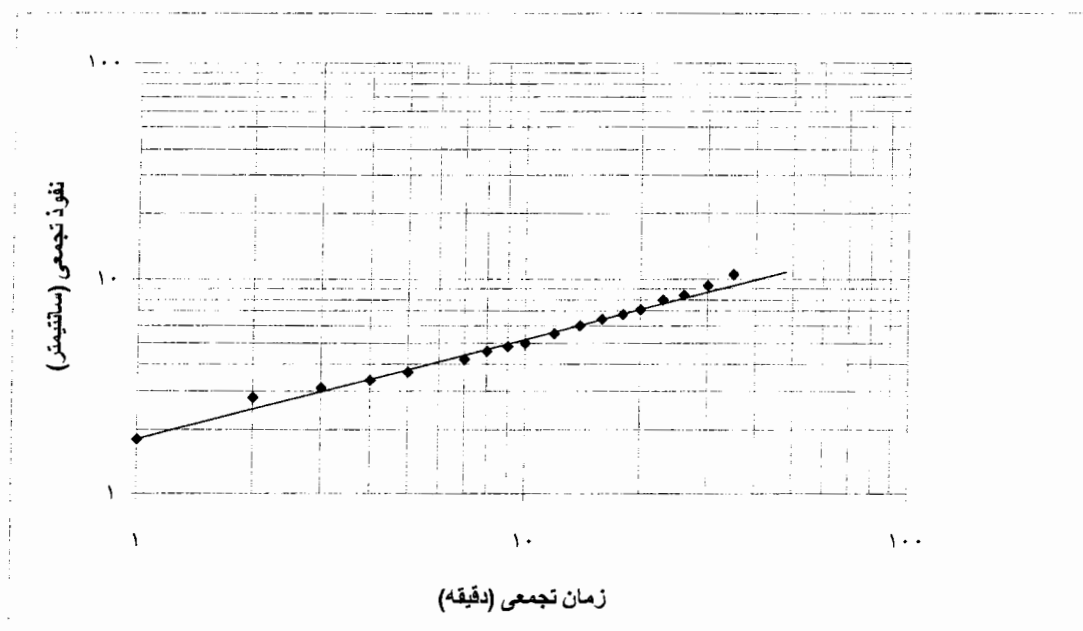
شکل ه-۱- تعیین نفوذ پذیری دمپ باطله ها در نقطه ۲

جدول ه-۱- مقادیر محاسبه شده تعیین نفوذ پذیری در نقطه ۲ واقع بر دمپ باطله ها

| پارامتر | مقدار                  |
|---------|------------------------|
| m       | ۰/۷۶                   |
| n       | -۰/۲۴                  |
| a       | ۱۸/۱۴                  |
| $t_b$   | (دقیقه) ۱۴۶/۵۷         |
| $I_b$   | (ساعت / سانتیمتر) ۵/۳۶ |

با توجه به مقادیر محاسبه شده در جدول ه-۱ و جدول ه-۸، نفوذ پذیری دمپ از لحاظ کیفی جزء طبقه

بندی خیلی سریع قرار می گردد.



شکل ۵-۲- تعیین نفوذ پذیری دمپ باطله ها در نقطه ۳

جدول ۵-۲- مقادیر محاسبه شده تعیین نفوذپذیری در نقطه ۳ واقع بر دمپ باطله ها

| مقدار                  | پارامتر |
|------------------------|---------|
| ۰/۴۷                   | m       |
| ۰/۵۳                   | n       |
| ۵۰/۳۶                  | a       |
| ۳۲۰/۲۱۱ (دقیقه)        | $t_b$   |
| ۲/۳۲ (ساعت / سانتیمتر) | $I_b$   |

با توجه به مقادیر محاسبه شده در جدول ۵-۲ و جدول ۵-۸، نفوذپذیری دمپ از لحاظ کیفی جزء طبقه

بندی خیلی سریع قرار می‌گیرد.

پیوست و

فایل های Q۱ و Ground

```

TALK=T;RUN( 1, 1)
Q1 FILE
*****
Q1 created by Behshad Jodeiri, Version 3.6, Date 21/06/06
CPVNAM=VDI;SPPNAM=Core
*****
Echo DISPLAY / USE settings
*****
IRUNN = 1 ;LIBREF = 0
*****
Group 1. Run Title
TEXT(No title has been set for this run. )
*****
Group 2. Transience
STEADY=F
* Set overall time and no. of steps
RSET(U,0.000000E+00,6.307200E+07,24)
* Modify regions
RSET(T,1,24,1.000000E+00)
*****
Groups 3, 4, 5 Grid Information
* Overall number of cells, RSET(M,NX,NY,NZ,tolerance)
RSET(M,1,1,30)
*****
Group 6. Body-Fitted coordinates
*****
Group 7. Variables: STOREd,SOLVEd,NAMED
ONEPHS = T
NAME(148)=DEN1
* Solved variables list
SOLVE(C1 ,C2 )
* Stored variables list
STORE(DEN1)
*****
Group 8. Terms & Devices
TERMS (C1 ,N,N,N,Y,Y,Y)
TERMS (C2 ,N,N,Y,N,N,Y)
*****
Group 9. Properties
PRESS0 = 1.000000E+05 ;TEMP0 = 2.730000E+02
* Domain material is: 67 WATER at 20. deg C
SETPRPS(1, 67)
RHO1 = 1.000000E+00
ENUL = 1.000000E+00
ENUT = 0.000000E+00
DVO1DT = 1.180000E-04
PRNDTL(C2 ) = -5.000000E-08
*****
Group 10. Inter-Phase Transfer Processes
*****
Group 11. Initialise Var/Porosity Fields
FIINIT(C1 ) = 3.150000E+02 ;FIINIT(C2 ) = 0.000000E+00
No PATCHes used for this Group

```

```

INIADD = F
*****
Group 12. Convection and diffusion adjustments
No PATCHes used for this Group
*****
Group 13. Boundary & Special Sources

** C2 = oxygen fraction
PATCH (INSOUR ,CELL ,2,0,0,0,0,1,24)
COVAL (INSOUR ,C2 , FIXVAL , 2.100000E-01)

PATCH (C2SINK ,CELL ,0,0,0,0,0,1,24)
COVAL (C2SINK ,C2 , 2.210000E-09, 0.000000E+00)

***C1 = pyrite fraction

PATCH (C1SINK ,CELL ,0,0,0,0,0,1,24)
COVAL (C1SINK ,C1 , FIXFLU , GRND )

EGWF = T
*****
Echo InForm settings for Group 13
inform13begin
inform13end
*****
Group 14. Downstream Pressure For PARAB
*****
Group 15. Terminate Sweeps
LSWEEP = 500
RESFAC = 1.000000E-03
*****
Group 16. Terminate Iterations
*****
Group 17. Relaxation
*****
Group 18. Limits
*****
Group 19. EARTH Calls To GROUND Station
USEGRD = T ;USEGRX = T
ASAP = T
PARSOL = T
CONWIZ = T
IDISPB = 1 ;IDISPC = 5000
RG( 1) = 5.900000E-10
RG( 3) = 2.000000E-03
RG( 4) = 2.100000E+00
RG( 5) = 5.000000E+00
*****
Group 20. Preliminary Printout
ECHO = T
*****
Group 21. Print-out of Variables
*****
Group 22. Monitor Print-Out
IXMON = 1 ;IYMON = 1 ;IZMON = 3

```

```

NPRMON = 100000
NPRMNT = 1
TSTSWP = -1
*****
Group 23.Field Print-Out & Plot Control
NPRINT = 100000
NTPRIN = 100000 ;ISTPRF = 1 ;ISTPRL = 10000
ISWPRF = 1 ;ISWPRL = 100000
No PATCHes used for this Group
*****
Group 24. Dumps For Restarts
IDISPA = 1 ;IDISPB = 1 ;IDISPC = 5000
CSG1 ='M'

GVIEW(P,0.000000E+00,-9.950042E-01,9.983341E-02)
GVIEW(UP,0.000000E+00,9.983341E-02,9.950042E-01)

> DOM, SIZE, 1.000000E-01, 1.000000E-01, 5.000000E+00
> DOM, MONIT, 5.000000E-02, 5.000000E-02, 4.166670E-01
> DOM, SCALE, 1.000000E+00, 1.000000E+00, 1.000000E+00
> DOM, SNAPSIZ, 1.000000E-02
> GRID, RSET_Z_1, 30, 1.000000E+00

> OBJ, NAME, OUT
> OBJ, POSITION, 0.000000E+00, 0.000000E+00, 5.000000E+00
> OBJ, SIZE, 1.000000E-01, 1.000000E-01, 0.000000E+00
> OBJ, GEOMETRY, cube12t
> OBJ, ROTATION24, 1
> OBJ, TYPE, OUTLET
> OBJ, PRESSURE, 0.000000E+00
> OBJ, TEMPERATURE, SAME
> OBJ, COEFFICIENT, 1.000000E+03
> OBJ, TIME_LIMITS, ALWAYS_ACTIVE

> OBJ, NAME, IN
> OBJ, POSITION, 0.000000E+00, 0.000000E+00, 0.000000E+00
> OBJ, SIZE, 1.000000E-01, 1.000000E-01, 9.000000E-02
> OBJ, GEOMETRY, default
> OBJ, ROTATION24, 1
> OBJ, TYPE, CELLTYPE
STOP
</strong></pre></body></html>

```

```

C      Ground file

C.... FILE NAME GROUND.FTN-----240802
      SUBROUTINE GROUND
      include '/phoenics/d_includ/farray'
      INCLUDE '/phoenics/d_includ/satear'
      INCLUDE '/phoenics/d_includ/grdloc'
      INCLUDE '/phoenics/d_includ/satgrd'
      INCLUDE '/phoenics/d_includ/grdear'
      INCLUDE '/phoenics/d_includ/grdbfc'
      COMMON/IDATA/IDFL(118)
      COMMON/GENI/NXNY,IGFIL(8),NFM,IGF(21),IPRL,IBTAU,ILTLS,IGFIL(15),
      1 ITEM1,ITEM2,ISPH1,ISPH2,ICON1,ICON2,IPRPS,IRADX,IRADY,IRADZ,IVFOL
      COMMON/DRHODP/ITEMP,IDEN/DVMOD/IDVCGR
      COMMON/HBASE/IH01,IH02,KH01,KH01H,KH01L,KH02,KH02H,KH02L,L0H012
      COMMON /NAMFN/NAMFUN,NAMSUB
      CHARACTER*6 NAMFUN,NAMSUB
      LOGICAL EF,NF,HF,EF0,NF0,HF0
      CXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX USER SECTION STARTS:
      C
      C 1 Set dimensions of data-for-GROUND arrays here. WARNING: the
      C corresponding arrays in the MAIN program of the satellite
      C and EARTH must have the same dimensions.
      C PARAMETER (NLG=100, NIG=200, NRG=200, NCG=100)
      C
      C COMMON/LGRND/LG(NLG)/IGRND/IG(NIG)/RGRND/RG(NRG)/CGRND/CG(NCG)
      C LOGICAL LG
      C CHARACTER*4 CG
      C DIMENSION UUGV1(20,40),UUGPOT(20,40)
      C DATA NXDIM,NYDIM/40,20/
      C
      C 2 User dimensions own arrays here, for example:
      C DIMENSION GUH(10,10),GUC(10,10),GUX(10,10),GUZ(10)
      C
      C 3 User places his data statements here, for example:
      C DATA NXDIM,NYDIM/10,10/
      C
      C 4 Insert own coding below as desired, guided by GREX examples.
      C Note that the satellite-to-GREX special data in the labelled
      C COMMONs /RSG/, /ISG/, /LSG/ and /CSG/ can be included and
      C used below but the user must check GREX for any conflicting
      C uses. The same comment applies to the EARTH-spare working
      C arrays EASP1, EASP2,...EASP20. In addition to the EASPs,
      C there are 10 GRound-earth SPare arrays, GRSP1,...,GRSP10,
      C supplied solely for the user, which are not used by GREX. If
      C the call to GREX has been deactivated then all of the arrays
      C may be used without reservation.
      C
      C *****
      C
      C IXL=IABS(IXL)
      C IF(IGR.EQ.13) GO TO 13
      C IF(IGR.EQ.19) GO TO 19
      C GO TO (1,2,3,4,5,6,25,8,9,10,11,12,13,14,25,25,25,25,19,20,25,
      C 121,23,24),IGR
      C 25 CONTINUE

```

```

      RETURN
C*****
C
C--- GROUP 1. Run title and other preliminaries
C
C   1 GO TO (1001,1002,1003),ISC
C
C   1001 CONTINUE
C
C   * -----GROUP 1 SECTION 3 -----
C--- Use this group to create storage via MAKE, GXMAKE etc which it is
C   essential to dump to PHI (or PHIDA) for restarts
C   User may here change message transmitted to the VDU screen
C   IF(.NOT.NULLPR.AND.IDVCGR.EQ.0)
C   1 CALL WRYT40('GROUND file is GROUND.F of: 240802 ')
C
C   RETURN
C   * -----GROUP 1 SECTION 3 -----
C--- Use this group to create storage via GXMAKE which it is not
C   necessary to dump to PHI (or PHIDA) for restarts
C
C   1003 CONTINUE
C   GO TO 25
C   1002 CONTINUE
C   RETURN
C*****
C
C--- GROUP 2. Transience; time-step specification
C
C   2 CONTINUE
C   RETURN
C*****
C
C--- GROUP 3. X-direction grid specification
C
C   3 CONTINUE
C   RETURN
C*****
C
C--- GROUP 4. Y-direction grid specification
C
C   4 CONTINUE
C   RETURN
C*****
C
C--- GROUP 5. Z-direction grid specification
C
C   5 CONTINUE
C   RETURN
C*****
C
C--- GROUP 6. Body-fitted coordinates or grid distortion
C
C   6 CONTINUE
C   RETURN
C*****

```

```

C * Make changes for this group only in group 19.
C--- GROUP 7. Variables stored, solved & named
C*****
C
C--- GROUP 8. Terms (in differential equations) & devices
C
  8 GO TO (81,82,83,84,85,86,87,88,89,810,811,812,813,814,815,816)
  1,ISC
  81 CONTINUE
C * ----- SECTION 1 -----
C For U1AD.LE.GRND--- phase 1 additional velocity. Index VELAD
  RETURN
  82 CONTINUE
C * ----- SECTION 2 -----
C For U2AD.LE.GRND--- phase 2 additional velocity. Index VELAD
  RETURN
  83 CONTINUE
C * ----- SECTION 3 -----
C For V1AD.LE.GRND--- phase 1 additional velocity. Index VELAD
  RETURN
  84 CONTINUE
C * ----- SECTION 4 -----
C For V2AD.LE.GRND--- phase 2 additional velocity. Index VELAD
  RETURN
  85 CONTINUE
C * ----- SECTION 5 -----
C For W1AD.LE.GRND--- phase 1 additional velocity. Index VELAD
  RETURN
  86 CONTINUE
C * ----- SECTION 6 -----
C For W2AD.LE.GRND--- phase 2 additional velocity. Index VELAD
  RETURN
  87 CONTINUE
C * ----- SECTION 7 --- Volumetric source for gala
  RETURN
  88 CONTINUE
C * ----- SECTION 8 --- Convection fluxes
C--- Entered when UCONV =.TRUE.; block-location indices are:
C LD11 for east and north (accessible at the same time),
C LD12 for west and south (accessible at the same time),
C LD2 for high (which becomes low for the next slab).
C User should provide INDVAR and NDIREC IF's as appropriate.
  RETURN
  89 CONTINUE
C * ----- SECTION 9 --- Diffusion coefficients
C--- Entered when UDIFF =.TRUE.; block-location indices are LAE
C for east, LAW for west, LAN for north, LAS for
C south, LD11 for high, and LD11 for low.
C User should provide INDVAR and NDIREC IF's as above.
C EARTH will apply the DIFCUT and GP12 modifications after the user
C has made his settings.
C
  RETURN
  810 CONTINUE
C * ----- SECTION 10 --- Convection neighbours
  RETURN

```

```

811 CONTINUE
C * ----- SECTION 11 --- Diffusion neighbours
  RETURN
812 CONTINUE
C * ----- SECTION 12 --- Linearised sources
  RETURN
813 CONTINUE
C * ----- SECTION 13 --- Correction coefficients
  RETURN
814 CONTINUE
C * ----- SECTION 14 --- User's own solver
  RETURN
815 CONTINUE
C * ----- SECTION 15 --- Change solution
  RETURN
816 CONTINUE
C * ----- SECTION 16 --- Change DVEL/DPs
  RETURN
C
C * See the equivalent section in GREX for the indices to be
C   used in sections 7 - 16
C
C * Make all other group-8 changes in GROUP 19.
C*****
C
C--- GROUP 9. Properties of the medium (or media)
C
C The sections in this group are arranged sequentially in their
C order of calling from EARTH. Thus, as can be seen from below,
C the temperature sections (10 and 11) precede the density
C sections (1 and 3); so, density formulae can refer to
C temperature stores already set.
C 9 GO TO (91,92,93,94,95,96,97,98,99,900,901,902,903,904,905),ISC
C*****
900 CONTINUE
C * ----- SECTION 10 -----
C For TMP1.LE.GRND----- phase-1 temperature Index TEMP1
  RETURN
901 CONTINUE
C * ----- SECTION 11 -----
C For TMP2.LE.GRND----- phase-2 temperature Index TEMP2
  RETURN
902 CONTINUE
C * ----- SECTION 12 -----
C For EL1.LE.GRND----- phase-1 length scale Index LEN1
  RETURN
903 CONTINUE
C * ----- SECTION 13 -----
C For EL2.LE.GRND----- phase-2 length scale Index LEN2
  RETURN
904 CONTINUE
C * ----- SECTION 14 -----
C For SOLVE(TEM1)----- phase-1 specific heat
  RETURN
905 CONTINUE
C * ----- SECTION 15 -----

```

```

C For SOLVE(TEM2)----- phase-2 specific heat
  RETURN
91 CONTINUE
C * ----- SECTION 1 -----
C For RHO1.LE.GRND--- density for phase 1    Index DEN1
  RETURN
92 CONTINUE
C * ----- SECTION 2 -----
C For DRH1DP.LE.GRND--- D(LN(DEN))/DP for phase 1
C                               Index D1DP
  RETURN
93 CONTINUE
C * ----- SECTION 3 -----
C For RHO2.LE.GRND--- density for phase 2    Index DEN2
  RETURN
94 CONTINUE
C * ----- SECTION 4 -----
C For DRH2DP.LE.GRND--- D(LN(DEN))/DP for phase 2
C                               Index D2DP
  RETURN
95 CONTINUE
C * ----- SECTION 5 -----
C For ENUT.LE.GRND--- reference turbulent kinematic viscosity
C                               Index VIST
  RETURN
96 CONTINUE
C * ----- SECTION 6 -----
C For ENUL.LE.GRND--- reference laminar kinematic viscosity
C                               Index VISL
  RETURN
97 CONTINUE
C * ----- SECTION 7 -----
C For PRNDTL( ).LE.GRND--- laminar PRANDTL nos., or diffusivity
C                               Index LAMPR
  RETURN
98 CONTINUE
C * ----- SECTION 8 -----
C For PHINT( ).LE.GRND--- interface value of first phase
C                               Index FII1
  RETURN
99 CONTINUE
C * ----- SECTION 9 -----
C For PHINT( ).LE.GRND--- interface value of second phase
C                               Index FII2
  RETURN
C*****
C
C--- GROUP 10. Inter-phase-transfer processes and properties
C
10 GO TO (101,102,103,104,105),ISC
101 CONTINUE
C * ----- SECTION 1 -----
C For CFIPS.LE.GRND--- inter-phase friction coeff.
C                               Index INTFRC
  RETURN
c

```

```

102 CONTINUE
C * ----- SECTION 2 -----
C For CMDOT.EQ.GRND- inter-phase mass transfer Index INTMDT
RETURN
103 CONTINUE
C * ----- SECTION 3 -----
C For CINT( ).EQ.GRND--- phase1-to-interface transfer coefficients
C                               Index COI1
RETURN
104 CONTINUE
C * ----- SECTION 4 -----
C For CINT( ).EQ.GRND--- phase2-to-interface transfer coefficients
C                               Index COI2
RETURN
105 CONTINUE
C * ----- SECTION 5 -----
C For CVM.EQ.GRND--- virtual mass coefficient
C                               Index LD12
RETURN
C*****
C
C--- GROUP 11. Initialization of variable or porosity fields
C                               Index VAL
11 CONTINUE
RETURN
C*****
C
C--- GROUP 12. Convection and diffusion adjustments
C
12 CONTINUE
RETURN
C*****
C
C--- GROUP 13. Boundary conditions and special sources
C                               Index for Coefficient - CO
C                               Index for Value - VAL
13 CONTINUE
GO TO (130,131,132,133,134,135,136,137,138,139,1310,
11311,1312,1313,1314,1315,1316,1317,1318,1319,1320,1321),ISC
130 CONTINUE
C----- SECTION 1 ----- coefficient = GRND
IF((INDVAR.EQ.C1).AND.(NPATCH.EQ.'C1SINK'))THEN
LFCO = L0F(CO)
DO 1301 IY = IYF,IYL
DO 1301 IX = IXF,IXL
ICELL = IY + (IX-1)*NY
F(LFCO+ICELL)=0.001732
1301 CONTINUE
ENDIF
RETURN
131 CONTINUE
C----- SECTION 2 ----- coefficient = GRND1
RETURN
132 CONTINUE
C----- SECTION 3 ----- coefficient = GRND2
RETURN

```

```

133 CONTINUE
C----- SECTION 4 ----- coefficient = GRND3
      RETURN
134 CONTINUE
C----- SECTION 5 ----- coefficient = GRND4
      RETURN
135 CONTINUE
C----- SECTION 6 ----- coefficient = GRND5
      RETURN
136 CONTINUE
C----- SECTION 7 ----- coefficient = GRND6
      RETURN
137 CONTINUE
C----- SECTION 8 ----- coefficient = GRND7
      RETURN
138 CONTINUE
C----- SECTION 9 ----- coefficient = GRND8
      RETURN
139 CONTINUE
C----- SECTION 10 ----- coefficient = GRND9
      RETURN
1310 CONTINUE
C----- SECTION 11 ----- coefficient = GRND10
      RETURN
1311 CONTINUE
C----- SECTION 12 ----- value = GRND
      IF((INDVAR.EQ.C1).AND.(NPATCH.EQ.'C1SINK')) THEN
        L0VAL = L0F(VAL)
        L0C2 = L0F(C2)
        DO 13111 IY = IYF,IYL
          DO 13111 IX = IXF,IXL
            ICELL = IY + (IX-1)*NY
c          GC11 = VARYX(OLD(C1))
c          GSUR=(10)*RG(4)*((RG(3)*VARYX(OLD(C1)))*RG(4)/RG(5))
c          & **0.67
c          GSUR1=GSUR*100.0
            GC1=RG(1)*100*F(L0C2+ICELL)
            F(L0VAL+ICELL)=-1.0*GC1
13111 CONTINUE
          ENDIF
        RETURN
1312 CONTINUE
C----- SECTION 13 ----- value = GRND1
      RETURN
1313 CONTINUE
C----- SECTION 14 ----- value = GRND2
      RETURN
1314 CONTINUE
C----- SECTION 15 ----- value = GRND3
      RETURN
1315 CONTINUE
C----- SECTION 16 ----- value = GRND4
      RETURN
1316 CONTINUE
C----- SECTION 17 ----- value = GRND5
      RETURN

```

```

1317 CONTINUE
C----- SECTION 18 ----- value = GRND6
      RETURN
1318 CONTINUE
C----- SECTION 19 ----- value = GRND7
      RETURN
1319 CONTINUE
C----- SECTION 20 ----- value = GRND8
      RETURN
1320 CONTINUE
C----- SECTION 21 ----- value = GRND9
      RETURN
1321 CONTINUE
C----- SECTION 22 ----- value = GRND10
      RETURN
C*****
C
C--- GROUP 14. Downstream pressure for PARAB=.TRUE.
C
14 CONTINUE
      RETURN
C*****
C* Make changes to data for GROUPS 15, 16, 17, 18 GROUP 19.
C*****
C
C--- GROUP 19. Special calls to GROUND from EARTH
C
19 GO TO (191,192,193,194,195,196,197,198,199,1910,1911),ISC
191 CONTINUE
C * ----- SECTION 1 ---- Start of time step.
      RETURN
192 CONTINUE
C * ----- SECTION 2 ---- Start of sweep.
      RETURN
193 CONTINUE
C * ----- SECTION 3 ---- Start of iz slab.
      RETURN
194 CONTINUE
C * ----- SECTION 4 ---- Start of iterations over slab.
      RETURN
1911 CONTINUE
C * ----- SECTION 11---- After calculation of convection
C          fluxes for scalars, and of volume
C          fractions, but before calculation of
C          scalars or velocities
      RETURN
199 CONTINUE
C * ----- SECTION 9 ---- Start of solution sequence for
C          a variable
      RETURN
1910 CONTINUE
C * ----- SECTION 10---- Finish of solution sequence for
C          a variable
      RETURN
195 CONTINUE
C * ----- SECTION 5 ---- Finish of iterations over slab.

```

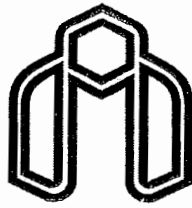
```

    RETURN
196 CONTINUE
C * ----- SECTION 6 ---- Finish of iz slab.
    RETURN
197 CONTINUE
C * ----- SECTION 7 ---- Finish of sweep.
    RETURN
198 CONTINUE
C * ----- SECTION 8 ---- Finish of time step.
C
    RETURN
C*****
C
C--- GROUP 20. Preliminary print-out
C
    20 CONTINUE
    RETURN
C*****
C--- GROUP 21. Special print-out to screen
    21 CONTINUE
    GO TO 25
C*****
C* Make changes to data for GROUP 22 only in GROUP 19.
C*****
C
C--- GROUP 23. Field print-out and plot control
    23 CONTINUE
    RETURN
C*****
C
C--- GROUP 24. Dumps for restarts
C
    24 CONTINUE
    END
c

```

## Abstract

Mining activities and subsequent mineral processing programs produce a number of environmental problems. Coal is considered to be a major mineral which is used to generate energy. The coal produced by mining activity should be processed in order to raise its quality and remove any impurity. The waste produced by coal processing plant often contains pyrite which may be oxidised and produce acid mine drainage (AMD) if it is exposed to the atmosphere. AMD is often characterised by high concentrations of iron, high sulphate and low pH and it is considered to be a major cause of long-term poor water quality and is the source of many environmental problems. In this present study, the pollution problems associated with the waste produced by Alborz Sharghi coal processing plant was investigated by the combination of geophysical method and mathematical modeling. The study area is located in 11 km to Razmjah coal region and 45 km to Tehran-Mashhad road. After preliminary observations and selecting the appropriate waste dump, the geophysical survey using VLF method was performed on 6 profiles in the downstream of the waste dump in order to investigate the likely polluted zones due to leaching from the waste dump. The measured data was then processed by the use of RAMAG computer-based software. The results of interpretation detected two polluted zones. Furthermore, the Geo-electrical survey incorporating Dipole-Dipole array and Time-Laps technique was carried out for a time period of 6 months in order to consider time dependence transportation of pollutants leached from waste dump. A computer model called RES2DINV was used to perform an inverse modeling on the measured Geo-electrical data. The results of inverse modeling and Time-Laps method successfully showed the pollutant transportation process. In three points on the waste dump, samples were taken from different depths in order to investigate pyrite oxidation and pollution generation. The samples were analyzed using atomic absorption to determine the fraction of pyrite remained within the waste particles. Furthermore, in order to study the samples qualitatively, thin sections were prepared and studied under polarized light; defining the presence of pyrite within the samples. A numerical finite volume model using PHOENICS as a computational fluid dynamic (CFD) package has been developed to simulate pyrite oxidation and pollution generation from the Alborz Sharghi coal processing waste dump. The pyrite oxidation reaction is described by the shrinking-core model. Gaseous diffusion is considered to be the main mechanism for the transport of oxygen through the waste. It was assumed that the oxygen is the only participant in the oxidation of pyrite. No bacterial activity was allowed to take place within the waste materials. The results obtained from the numerical modeling were compared with the results of field observations and close agreement was achieved. A simple mathematical model incorporating advection and hydrodynamic dispersion processes was also presented in order to verify the results of geophysical Time-Laps method showing transportation of the pollutants through the downstream of the waste dump. Both mathematical model and geophysical Time-Laps method are agreed in the identification of pollutant transport emanated from the waste dump. Although the oxidation of pyrite in the presence of air and water, pollution generation and transportation associated with coal processing waste dump is almost unavoidable, the results of such investigations can be used for designing an effective environmental management program in order to minimise environmental effects arising from both active and abandoned waste dumps.



Shahrood University of Technology  
Faculty of Mining and Geophysics

**A mathematical modeling and environmental geophysical studies  
on pollutants leaching in Alborz Sharghi coal processing plant**

A thesis submitted in fulfilment of the requirements  
for the award of the degree

**Master of Engineering in Mining Exploration**

**By:**

**Behshad Jodeiri**  
(B.Sc. in Mining Engineering)

**Supervisors:**

**Dr. Faramarz Doulati Ardejani**  
**Dr. Ali Moradzadeh**

**Consultant:**

**Dr. Majid Ansari**

**July 2006**