



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی معدن و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

موضوع:

مطالعه پتانسیل تولید پساب اسیدی معدن در باطله‌های کارخانه فرآوری  
معادن زغال آزادشهر - مطالعات آزمایشگاهی و مدلسازی عددی

گردآورنده:

مهدی باقری ثانی

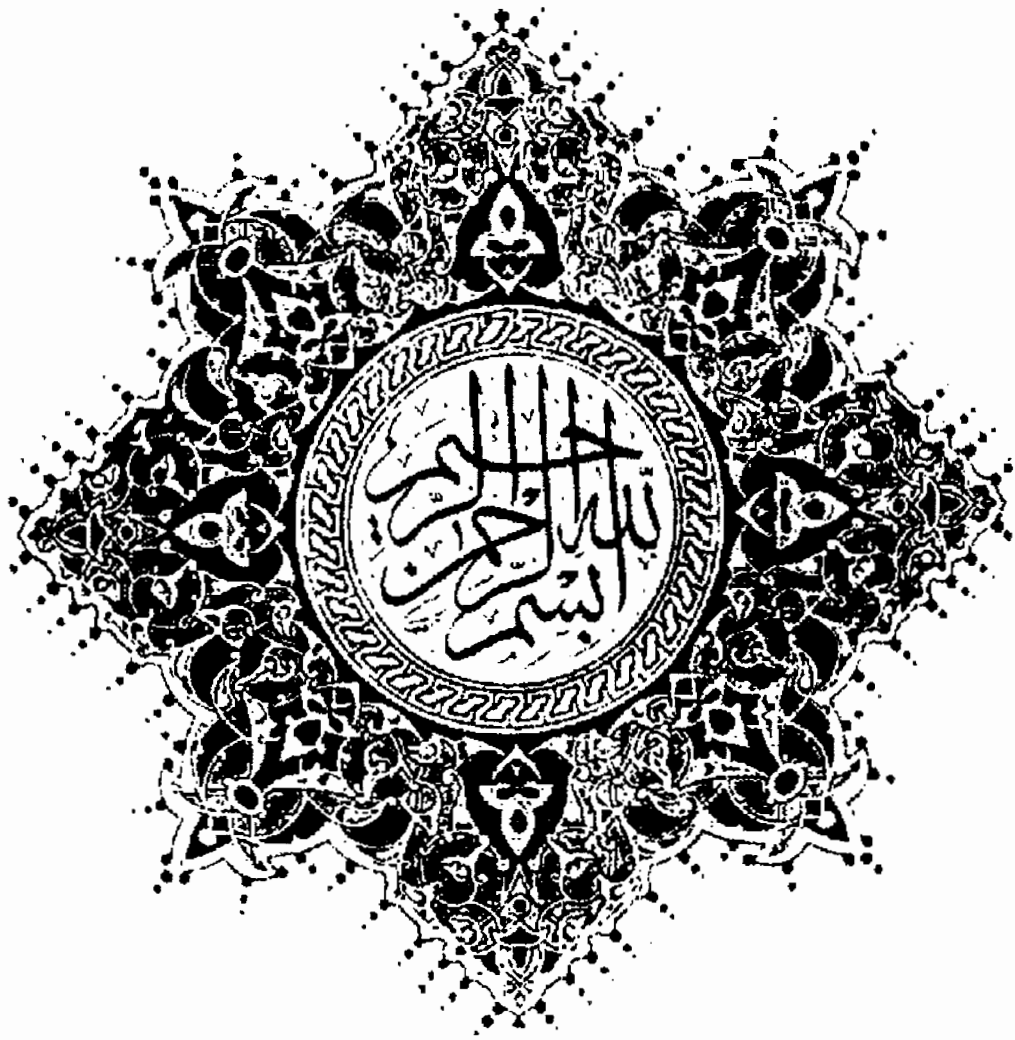
اساتید راهنما:

دکتر فرامرز دولتی

دکتر اسماعیل سلیمانی

مشاور:

دکتر منصور ضیائی



## چکیده

استان گلستان با دارا بودن ۱۱ معدن فعال زغال سنگ یکی از بزرگترین تولیدکنندگان زغال سنگ در کشور می باشد که تمامی این معادن در ناحیه ای موسوم به ناودیس زغال دار قشلاق واقع شده اند. در برخی از این معادن، پس از استحصال زغال، به منظور کاهش میزان خاکستر آنرا مورد شستشو قرار می دهند و مواد زائدی که از این فرآیند باقی می ماند به عنوان باطله در سهل الوصول ترین مکان نزدیک معدن انباشته می کنند. نکته حائز اهمیت در مورد باطله های حاصله، بالا بودن غلظت کانی سولفیدی پیریت در آنها می باشد که این کانی در معرض هوا و در حضور آب با اکسیژن واکنش داده و محصول آن پسابی است که خاصیت اسیدی و غلظت بالای یون های فلزی مهمترین ویژگی آن می باشد. پساب حاصله باعث آلودگی آب های سطحی و زیرزمینی شده و برای گیاهان و آبزیان موجود در مناطق پایین دست سایت های معدنی و دمپ های باطله بسیار خطرناک است به طوریکه امروزه تولید پساب اسیدی را مهمترین مشکل ناشی از استخراج زغال سنگ در دنیا می دانند.

در معادن زغال سنگ استان گلستان توجه به این پدیده به دلیل شرایط آب و هوایی منطقه و پوشش جنگلی و وفور آب های سطحی از اهمیت خاصی برخوردار است و این در حالی است که در این ناحیه هیچ کار کارشناسی در مورد انتخاب محل مناسب برای انباشت باطله ها یا تحقیق در مورد پتانسیل تولید پساب اسیدی انجام نگرفته است. لذا در این تحقیق سعی شده است اولاً با بازدید از منطقه، نواحی پرخطر از نظر تولید پساب شناسایی شود و سپس با اخذ نمونه هایی از دمپ های باطله و آب های منطقه وضعیت اکسیداسیون کانی پیریت و غلظت عناصر موجود در آب منطقه مورد بررسی قرار گیرد تا راهکارهای مناسب برای جلوگیری از تولید پساب اسیدی یا تصفیه و مهار پساب های تولیدی ارائه گردد. همچنین تلاش شده به کمک سیستم های اطلاعات جغرافیایی و با در نظر گرفتن ضوابط زیست محیطی، مکانی را برای انباشت باطله ها در منطقه پیشنهاد کرد و در نهایت به کمک مدلسازی عددی، روند تولید آلودگی را شبیه سازی و تغییرات حاصله در آنرا پیش بینی نمود.

کلمات کلیدی: معدن زغال سنگ قشلاق، پساب اسیدی معدن، دمپ باطله، آنالیز جذب اتمی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، مدلسازی عددی.

|   |             |
|---|-------------|
| و | فهرست اشکال |
| ط | فهرست جداول |

## فصل اول: زغال سنگ و مشکلات زیست محیطی

|       |                                                   |
|-------|---------------------------------------------------|
| ۱     | مقدمه                                             |
| ۱-۱-۱ | پساب، آلاینده و آلودگی                            |
| ۲-۱   | انواع مشکلات زیست محیطی زغال سنگ                  |
| ۱-۲-۱ | اثرات زیست محیطی معدنکاری زغال سنگ                |
| ۲-۲-۱ | اثرات زیست محیطی فرآوری زغال سنگ                  |
| ۳-۲-۱ | اثرات زیست محیطی سوزاندن و کک سازی زغال سنگ       |
| ۴-۲-۱ | اثرات زیست محیطی ناشی از تغییرات ژئوشیمیایی عناصر |
| ۳-۱   | پساب اسیدی معدن (AMD)                             |
| ۴-۱   | اهداف و ضرورت انجام پایان نامه                    |
| ۵-۱   | سازماندهی پایان نامه                              |

## فصل دوم: پساب اسیدی معدن

|       |                                       |
|-------|---------------------------------------|
| ۱۱    | مقدمه                                 |
| ۱-۲   | ذخایر زغال سنگ ایران                  |
| ۱-۱-۲ | حوضه زغال دار البرز                   |
| ۲-۱-۲ | حوضه زغال دار ایران مرکزی             |
| ۲-۲   | انواع کانیهای معدنی موجود در زغال سنگ |
| ۳-۲   | گوگرد (S) در زغال سنگ                 |

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| ۴-۲- نقش ترکیبات گوگردی زغال سنگ در آلودگی محیط زیست .....         | ۱۵ |
| ۵-۲- شرایط تشکیل AMD .....                                         | ۱۷ |
| ۱-۵-۲- عوامل مکانی .....                                           | ۱۸ |
| ۲-۵-۲- شرایط محیطی .....                                           | ۱۸ |
| ۶-۲- ویژگیهای AMD .....                                            | ۱۹ |
| ۷-۲- تأثیر AMD بر آبزیان و گیاهان .....                            | ۱۹ |
| ۸-۲- تأثیر AMD بر آبهای سطحی و زیرزمینی .....                      | ۲۰ |
| ۹-۲- سایر اثرات نامطلوب AMD .....                                  | ۲۲ |
| ۱۰-۲- تشریح واکنشهای تولید AMD .....                               | ۲۳ |
| ۱۱-۲- نقش باکتریهای اسیدوفیل در تولید AMD .....                    | ۲۵ |
| ۱۲-۲- ارائه یک مدل مفهومی .....                                    | ۲۸ |
| ۱۳-۲- تحقیق در مورد AMD .....                                      | ۲۹ |
| ۱۴-۲- مطالعات آزمایشگاهی .....                                     | ۲۹ |
| ۱۵-۲- روشهای برطرف سازی AMD .....                                  | ۳۱ |
| ۱-۱۵-۲- سیستم پوشش تر توسط آب .....                                | ۳۲ |
| ۲-۱۵-۲- سیستم پوشش خشک .....                                       | ۳۲ |
| ۳-۱۵-۲- خنثی سازی .....                                            | ۳۳ |
| ۴-۱۵-۲- استفاده از میکروآرگانیزمها برای تصفیه .....                | ۳۴ |
| ۱۶-۲- مونیتورینگ انتقال آلاینده با حفر گمانه .....                 | ۳۶ |
| <b>فصل سوم: موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه، دپ‌ها و معادن</b> |    |
| ۱-۳- موقعیت جغرافیایی منطقه .....                                  | ۳۸ |

|    |                              |
|----|------------------------------|
| ۴۱ | ۲-۳- زمین شناسی منطقه        |
| ۴۳ | ۳-۳- اطلاعات تکتونیکی منطقه  |
| ۴۵ | ۴-۳- آب و هوای منطقه         |
| ۴۵ | ۵-۳- تاریخچه اکتشاف در منطقه |
| ۴۶ | ۶-۳- روش استخراج             |
| ۴۷ | ۷-۳- دپ‌های باطله            |
| ۴۸ | ۸-۳- معادن زغال سنگ منطقه    |
| ۵۰ | ۹-۳- کارخانه زغال شویی       |
| ۵۱ | ۱۰-۳- کوره‌های کک پزی        |
| ۵۳ | ۱۱-۳- مشاهدات صحرایی         |
| ۵۵ | ۱۲-۳- بارندگی در منطقه       |

#### فصل چهارم: مدیریت دپ‌های منطقه به کمک GIS

|    |                                           |
|----|-------------------------------------------|
| ۵۷ | مقدمه                                     |
| ۵۷ | ۱-۴- سیستم اطلاعات جغرافیایی              |
| ۶۱ | ۲-۴- انواع نقشه‌های منطقه آزادشهر در GIS  |
| ۶۲ | ۱-۲-۴- روش تهیه نقشه‌ها                   |
| ۶۳ | ۲-۲-۴- نقشه رودخانه‌ها و آبراهه‌های منطقه |
| ۶۴ | ۳-۲-۴- نقشه مناطق کشاورزی                 |
| ۶۵ | ۴-۲-۴- نقشه مناطق مسکونی                  |
| ۶۶ | ۵-۲-۴- نقشه جاده‌های منطقه                |
| ۶۷ | ۶-۲-۴- نقشه خطوط تراز ۵۰ متر و ۱۰ متر     |

|    |                                                           |
|----|-----------------------------------------------------------|
| ۶۸ | ۴-۲-۷- نقشه سیلاب‌های منطقه                               |
| ۶۹ | ۴-۲-۸- نقشه مناطق جنگلی                                   |
| ۷۰ | ۴-۲-۹- سایر عوارض موجود در نقشه‌های منطقه                 |
| ۷۰ | ۴-۲-۱۰- تصویر ماهواره‌ای منطقه                            |
| ۷۲ | ۴-۳-۳- تعیین محل انباشت باطله‌های معادن زغال منطقه با GIS |
| ۷۲ | ۴-۳-۱- بیان مسئله                                         |
| ۷۳ | ۴-۳-۲- ارسال نقشه‌ها به نرم افزار ایدریسی                 |
| ۷۵ | ۴-۳-۴- حل مسئله                                           |
| ۷۵ | ۴-۳-۱- ویرایش نقشه‌های منطقه                              |
| ۷۶ | ۴-۳-۲- تهیه نقشه‌های فاصله                                |
| ۷۸ | ۴-۳-۳- طبقه‌بندی مجدد نقشه‌ها                             |
| ۸۱ | ۴-۳-۴- همپوشانی نقشه‌ها و دستیابی به جواب                 |
| ۸۳ | ۴-۳-۵- تعیین محل مورد نظر بر روی نقشه منطقه               |
| ۸۵ | ۴-۳-۶- تعیین مساحت منطقه یافت شده                         |

### فصل پنجم: نمونه برداری، تهیه مقاطع صیقلی و آنالیز میزان پیریت

|    |                                    |
|----|------------------------------------|
| ۸۷ | مقدمه                              |
| ۸۷ | ۵-۱- نمونه برداری                  |
| ۸۸ | ۵-۲- نمونه برداری از منطقه         |
| ۸۹ | ۵-۳- مطالعات میکروسکوپی            |
| ۹۰ | ۵-۴- روش تهیه مقاطع میکروسکوپی     |
| ۹۱ | ۵-۵- نتایج مطالعه مقاطع میکروسکوپی |

|     |                                                          |
|-----|----------------------------------------------------------|
| ۹۳  | ۵-۶- آماده سازی نمونه‌ها برای آنالیز میزان پیریت         |
| ۹۶  | ۵-۷- آماده سازی نمونه‌ها                                 |
| ۹۶  | ۵-۸- اندازه‌گیری میزان آهن با استفاده از دستگاه جذب اتمی |
| ۱۰۰ | ۵-۹- نتیجه گیری                                          |
| ۱۰۰ | ۵-۱۰- آنالیز نمونه‌های آب                                |
| ۱۰۲ | ۵-۱۱- نمودارهای شیمی آب                                  |
| ۱۰۴ | ۵-۱۲- بررسی نتایج نمونه ها با نمودار استیف               |
| ۱۰۶ | ۵-۱۳- بررسی نتایج با نمودار پایپر                        |

### فصل ششم: بررسی اکسیداسیون پیریت و تولید آلودگی به کمک مدل سازی عددی

|     |                                                     |
|-----|-----------------------------------------------------|
| ۱۰۸ | مقدمه                                               |
| ۱۰۸ | ۶-۱- مدل سازی                                       |
| ۱۱۱ | ۶-۲- مدل سازی فرآیند نفوذ اکسیژن و اکسیداسیون پیریت |
| ۱۱۲ | ۶-۳- نفوذ اکسیژن در باطله‌های زغال                  |
| ۱۱۴ | ۶-۴- نتایج حاصل از مدل سازی                         |

### فصل هفتم: نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات

|     |                      |
|-----|----------------------|
| ۱۱۸ | ۷-۱- نتیجه گیری      |
| ۱۲۰ | ۷-۲- ارائه پیشنهادات |

|     |              |
|-----|--------------|
| ۱۲۳ | منابع و مآخذ |
|-----|--------------|

|     |         |
|-----|---------|
| ۱۲۷ | پیوست ۱ |
|-----|---------|

|     |         |
|-----|---------|
| ۱۳۲ | پیوست ۲ |
|-----|---------|



## فصل اول

- شکل ۱-۱: انتشار AMD در آبهای سطحی در غرب ویرجینیا ..... ۷
- شکل ۲-۱: نقشه پراکندگی کانسارها و معادن زغال سنگ در ایران ..... ۹

## فصل دوم

- شکل ۱-۲: بلور کانیهای پیریت و مارکازیت ..... ۱۶
- شکل ۲-۲: تأثیرات AMD ..... ۲۱
- شکل ۳-۲: باکتری تیوباسیلوس فرواکسیدان ..... ۲۶
- شکل ۴-۲: رشد باکتری های تیوباسیلوس فرواکسیدان ..... ۲۷
- شکل ۵-۲: یک مدل مفهومی برای اکسیداسیون پیریت ..... ۲۸
- شکل ۶-۲: تصویر نمودن انتقال آلاینده به کمک حفر گمانه ..... ۳۷

## فصل سوم

- شکل ۱-۳: موقعیت منطقه مورد مطالعه در تصویر ماهواره ای استان گلستان ..... ۳۹
- شکل ۲-۳: کروکی معدن قشلاق و موقعیت آن نسبت به منطقه و جاده اصلی ..... ۴۰
- شکل ۳-۳: نقشه زمین شناسی منطقه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ ..... ۴۳
- شکل ۴-۳: تصاویری از دمپهای موجود در منطقه ..... ۴۸
- شکل ۵-۳: دستگاه جیگ ماشین کارخانه زغال شویی و مارپیچ همفری ..... ۵۱
- شکل ۶-۳: کوره های کک پزی معدن قشلاق ..... ۵۳
- شکل ۷-۳: تخلیه زغال در کنار رودخانه و تولید و خروج AMD در معادن و دمپها ..... ۵۵

## فصل چهارم

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| شکل ۴-۱: ارکان یک سیستم GIS                                                    | ۵۹ |
| شکل ۴-۲: نقشه رودخانه و آبراهه های منطقه                                       | ۶۴ |
| شکل ۴-۳: نقشه مناطق کشاورزی به همراه رودخانه اصلی منطقه                        | ۶۵ |
| شکل ۴-۴: نقشه مناطق مسکونی منطقه                                               | ۶۵ |
| شکل ۴-۵: نقشه جاده های منطقه                                                   | ۶۷ |
| شکل ۴-۶: نقشه خطوط ترلز ۵۰ متر و ۱۰ متر                                        | ۶۸ |
| شکل ۴-۷: نقشه سیلاب های منطقه                                                  | ۶۸ |
| شکل ۴-۸: نقشه مناطق جنگلی                                                      | ۷۰ |
| شکل ۴-۹: قسمتی از عکس ماهواره ای ناحیه که منطقه مورد مطالعه در آن مشخص شده است | ۷۲ |
| شکل ۴-۱۰: فایل اطلاعاتی نقشه مناطق جنگلی که تغییرات لازم در آن اعمال شده است   | ۷۵ |
| شکل ۴-۱۱: نمایی از پنجره ویرایش در ایدریسی                                     | ۷۶ |
| شکل ۴-۱۲: نمایی از پنجره دستور فاصله در ایدریسی                                | ۷۷ |
| شکل ۴-۱۳: نقشه های فاصله                                                       | ۷۸ |
| شکل ۴-۱۴: نمایی از پنجره دستور Reclass                                         | ۷۹ |
| شکل ۴-۱۵: نقشه های طبقه بندی شده منطقه                                         | ۸۱ |
| شکل ۴-۱۶: نمایی از پنجره دستور Overlay                                         | ۸۲ |
| شکل ۴-۱۷: نقشه های حاصل از همپوشانی                                            | ۸۳ |
| شکل ۴-۱۸: نقشه پایانی                                                          | ۸۳ |
| شکل ۴-۱۹: نقشه منطقه که در آن محل انتخابی مشخص شده است                         | ۸۵ |
| شکل ۴-۲۰: نمایی از پنجره تعیین مساحت                                           | ۸۶ |

## فصل پنجم

- شکل ۵-۱: تصاویر میکروسکوپی حاصل از مقاطع..... ۹۳
- شکل ۵-۲: نمودار خطی جذب آهن بر حسب غلظت ..... ۹۷
- شکل ۵-۳: نتایج و نمودار مربوط به نمونه‌های اخذ شده از نقطه ۱ ..... ۹۸
- شکل ۵-۴: نتایج و نمودار مربوط به نمونه‌های اخذ شده از نقطه ۲ ..... ۹۹
- شکل ۵-۵: نتایج و نمودار مربوط به نمونه‌های اخذ شده از نقطه ۳ ..... ۹۹
- شکل ۵-۶: نتایج و نمودار مربوط به نمونه‌های اخذ شده از نقطه ۴..... ۱۰۰
- شکل ۵-۷: نمودار پایپر..... ۱۰۴
- شکل ۵-۸: زیرتقسیمات میدان لوزی شکل نمودار پایپر ..... ۱۰۴
- شکل ۵-۹: نمودارهای استیف برای نمونه ها به کمک نرم افزار Rock Works ..... ۱۰۶
- شکل ۵-۱۰: نمودار پایپر حاصل از نتایج آنالیز نمونه‌ها به کمک نرم افزار Rock Works ..... ۱۰۷

## فصل ششم

- شکل ۶-۱: فلوجارت انجام مراحل اصلی آنالیز با نرم افزار PHOENICS ..... ۱۱۰
- شکل ۶-۲: تأثیر تغییرات ضریب نفوذ اکسیژن و ضریب سینتیک شیمیایی ..... ۱۱۳
- شکل ۶-۳: مقایسه داده‌های صحرایی و نتایج مدل برای نمونه های اخذ شده از نقطه ۱ ..... ۱۱۴
- شکل ۶-۴: مقایسه داده‌های صحرایی و نتایج مدل برای نمونه های اخذ شده از نقطه ۲ ..... ۱۱۵
- شکل ۶-۵: مقایسه داده‌های صحرایی و نتایج مدل برای نمونه های اخذ شده از نقطه ۳ ..... ۱۱۶
- شکل ۶-۶: مقایسه داده‌های صحرایی و نتایج مدل برای نمونه های اخذ شده از نقطه ۴..... ۱۱۷

## فصل دوم

جدول ۱-۲: برخی از کانیهای سولفیدی مؤثر در تولید AMD..... ۲۴

جدول ۲-۲: برخی از ویژگیهای باکتری تیوباسیلوس فرواکسیدان..... ۲۶

## فصل سوم

جدول ۱-۳: اطلاعات معادن زغال سنگ منطقه..... ۴۹

جدول ۲-۳: میزان بارندگی ثبت شده در ایستگاههای منطقه..... ۵۵

## فصل پنجم

جدول ۱-۵: اطلاعات مربوط به نمونه‌های برداشت شده..... ۸۹

جدول ۲-۵: نتایج حاصل از سرنند نمونه‌های اخذ شده از نقطه ۱..... ۹۴

جدول ۳-۵: نتایج حاصل از سرنند نمونه‌های اخذ شده از نقطه ۲..... ۹۴

جدول ۴-۵: نتایج حاصل از سرنند نمونه‌های اخذ شده از نقطه ۳..... ۹۵

جدول ۵-۵: نتایج حاصل از سرنند نمونه‌های اخذ شده از نقطه ۴..... ۹۵

جدول ۶-۵: نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌های آب..... ۱۰۱

جدول ۷-۵: نامگذاری نمونه‌ها بر مبنای نمودار استیف..... ۱۰۴

## فصل ششم

جدول ۱-۶: پارامترهای ورودی سیستم..... ۱۱۲

فصل اول

زغال سنگ و مشکلات زیست محیطی

## مقدمه

زغال سنگ را می توان سوخت گذشته و آینده دانست و معدنکاری زغال سنگ می تواند شناسنامه فرهنگ معدنکاری هر کشور باشد. اگر چه چالشهای اخیر صنعت زغال سنگ و گسترش مصرف نفت و گاز باعث رکود نسبی این صنعت شده، اما همچنان زغال سنگ به لحاظ تولید انرژی و سایر کاربردهایش در صنعت از مهمترین منابع معدنی جهان می باشد. هر چند در کشور ما به دلیل وجود ذخایر عظیم نفت و گاز، زغال سنگ به عنوان منبع مستقیم تولید انرژی حرارتی اهمیت کمتری دارد اما امروزه بیش از ۴۰٪ الکتریسیته جهان از سوزاندن زغال سنگ حرارتی تولید می شود.

شایان ذکر است که یکی از پایه های اساسی توسعه صنعتی هر کشوری، توسعه صنایع فولاد آن است و از جمله موادی که در تولید فولاد نقش ضروری دارد، زغال سنگ است. یکی از ستونهای اساسی توسعه صنعتی کشور ایران نیز بر دوش صنعت فولاد نهاده شده است لذا برای گسترش تولیدات صنایع فولاد کشور، نیاز ضروری به زغال سنگ وجود دارد.

ایران کشوری است که دارای منابع عظیمی از زغال سنگ به خصوص در شمال کشور می باشد. در اکثر این معادن به منظور دستیابی به زغال مرغوب تر و کاهش میزان خاکستر آن، زغال استحصال شده از معادن را مورد شستشو قرار می دهند که رهاسازی آب حاصل از شستشو و انباشت باطله های حاصله در طبیعت، زمینه ساز بروز مشکلات زیست محیطی می شود. از طرفی آن قسمت از لایه های زغال سنگ که

---

<sup>۱</sup> -Waste

نزدیک به سطح زمین بوده یا در حالت کلی در بالای سطح ایستایی آب، قرار دارد و همچنین زغال سنگهایی که مقدار خاکستر آنها بیش از حد معمول باشد، ارزش اقتصادی زیادی نداشته و در گوشه‌ای در اطراف معادن تخلیه می‌شوند.

هنگامی که زغال در معرض هوا قرار می‌گیرد، کانیهای سولفیدی موجود در آن به ویژه کانی پیریت<sup>۱</sup> با اکسیژن و آب ترکیب شده و تولید یون آهن سه ظرفیتی و اسید سولفوریک کرده که ترکیب حاصله پساب اسیدی معدن<sup>۲</sup> (AMD) نامیده می‌شود که مهمترین مشکل زیست‌محیطی ناشی از استخراج زغال سنگ می‌باشد.

گرچه تشکیل AMD در مجاورت هوا اجتناب‌ناپذیر است ولی مطالعه ژئوشیمیایی کانه‌های اصلی و باطله‌ها، روش معدنکاری، مسائل مربوط به هیدروژئولوژی و مطالعه مکانیزم‌های حاکم و مدل سازی این فرآیندها می‌تواند ما را در طراحی یک روش معدنکاری که حداقل اثرات زیست‌محیطی را داشته باشد یاری نماید [دولتی، ۱۳۸۵].

## ۱-۱- پساب، آلاینده و آلودگی

واژه‌های فوق‌الذکر، واژه‌هایی هستند که به کرات در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته‌اند. لذا لازم است قبل از شروع هر بحثی ابتدا تعاریفی را در مورد این واژه‌ها ارائه نماییم.

پساب: پساب واژه‌ای است که برای دربرگرفتن مواد زاید مایع، همراه یا بدون ذرات معلق به کار می‌رود که از تخلیه شدن آنها در محیط طبیعی حاصل می‌شود [اسماعیلی ساری، ۱۳۸۱].

آلاینده: ماده آلاینده، ماده‌ای است که در جایی قرار می‌گیرد که بطور طبیعی نمی‌بایست آنجا قرار می‌گرفت و یا دارای غلظتی بیش از غلظت طبیعی باشد به نحوی که بر روی موجودات زنده اثر نامطلوب

<sup>۱</sup> -Pyrite

<sup>۲</sup> -Acid mine drainage

داشته باشد. بر اساس این تعریف فرسایش کانیه‌های دارای عناصر سنگین از منابع، آلاینده به شمار می‌آید زیرا موادی را وارد محیط زیست می‌کند که در حالت طبیعی نمی‌بایست آنجا قرار می‌گرفت.

آلودگی: آلودگی به اثرات نامطلوب زیست محیطی مربوط به تولید و دفع مواد زائد گفته می‌شود. بر اساس تعریف قانونی، آلودگی وارد کردن انرژی یا موادی به وسیلهٔ مردم در طبیعت است که توانمند ایجاد خطرهایی برای سلامت انسان، زیان به منابع زنده و اکوسیستم‌ها می‌باشد. بر اساس نظر میلر (Miller, 1991) هر گونه تغییر در ویژگیهای آب، هوا و خاک که اثر نامطلوبی بر سلامت محیط زیست، فعالیت‌های بشر و سایر جانداران داشته باشد آلودگی نامیده می‌شود [عرفان منش و افیونی، ۱۳۸۱].

## ۱-۲- انواع مشکلات زیست محیطی زغال سنگ

امروزه با توجه به کاربردهای متنوع و وسیع زغال سنگ، اثرات زیست محیطی آن نیز متنوع شده است. بطور کلی زغال سنگ در طی مراحل متعدد معدنکاری تا کاربرد، محیط زیست را به صورتهای مختلف تحت تأثیر قرار می‌دهد که در زیر به شرح آنها پرداخته می‌شود.

### ۱-۲-۱- اثرات زیست محیطی معدن کاری زغال سنگ

استخراج زغال سنگ چه به صورت زیرزمینی یا روباز و سایر فعالیت‌های معدنکاری در منطقه‌ای که معادن زغال سنگ در آن قرار دارد، محیط زیست را به صورتهای مختلف تحت تأثیر قرار می‌دهد. مرحله‌ی نظیر برداشت مواد باطله، انفجارات مختلف، ایجاد گودال بر اثر برداشت مواد روباره و زغال سنگ، سایر فعالیت‌های جنبی معدن کاری نظیر ساخت راه، ایجاد واحدهای مسکونی، ایجاد تأسیسات رفاهی رفت و آمد ماشینهای معدنی و غیره همگی باعث برهم زدن تعادل حیات موجودات منطقه می‌شود. امروزه سعی می‌شود پس از برداشت مواد معدنی و ایجاد گودال، دوباره مواد باطله را به محل انتقال داده و آنرا پر کنند تا بتوانند از آسیب محیط زیست جلوگیری کنند.



یکی دیگر از عناصر مضر موجود در زغال سنگ عنصر کلر است. کلر موجود در زغال سنگها در هنگام تهیه کک و سوزاندن زغال سنگ باعث تولید اسید کلریدریک می شود. این اسید در از بین رفتن دیواره داخلی کوره ها و دیگ های بخار نیروگاه ها تأثیر دارد. از طرفی این عنصر می تواند به صورت ترکیبات گازی وارد هوا شده و باعث آلودگی آن گردد.

#### ۱-۲-۴- اثرات زیست محیطی ناشی از تغییرات ژئوشیمیایی عناصر

یکی از مهمترین اثرات زیست محیطی زغال سنگها، تغییرات ژئوشیمیایی عناصر موجود در زغال سنگها و انتقال آنها به خاک، هوا و آبهای یک منطقه است. برخی از این عناصر از طریق هوا، آب و مواد غذایی وارد بدن انسان، گیاهان و دامها می شوند و به سلامتی انسانها آسیب می رسانند. وقتی زغال سنگ در جایی ذخیره می شود، در اثر ترکیب با اکسیژن شروع به سوختن می کند. در این صورت برخی از عناصر از یک ظرفیت به ظرفیت دیگری تغییر می کنند. (مثلاً عنصر وانادیم از ظرفیت  $V^{+3}$  به  $V^{+5}$  تغییر می کند.) این چنین فرآیندهایی باعث تغییر یا مهاجرت عناصر موجود در زغال سنگ می شود. در اثر انتقال این عناصر توسط آبهای زیرزمینی و سطحی، آلودگی محیط زیست افزایش می یابد.

#### ۱-۲-۵- اثرات زیست محیطی عناصر کمیاب موجود در زغال سنگ

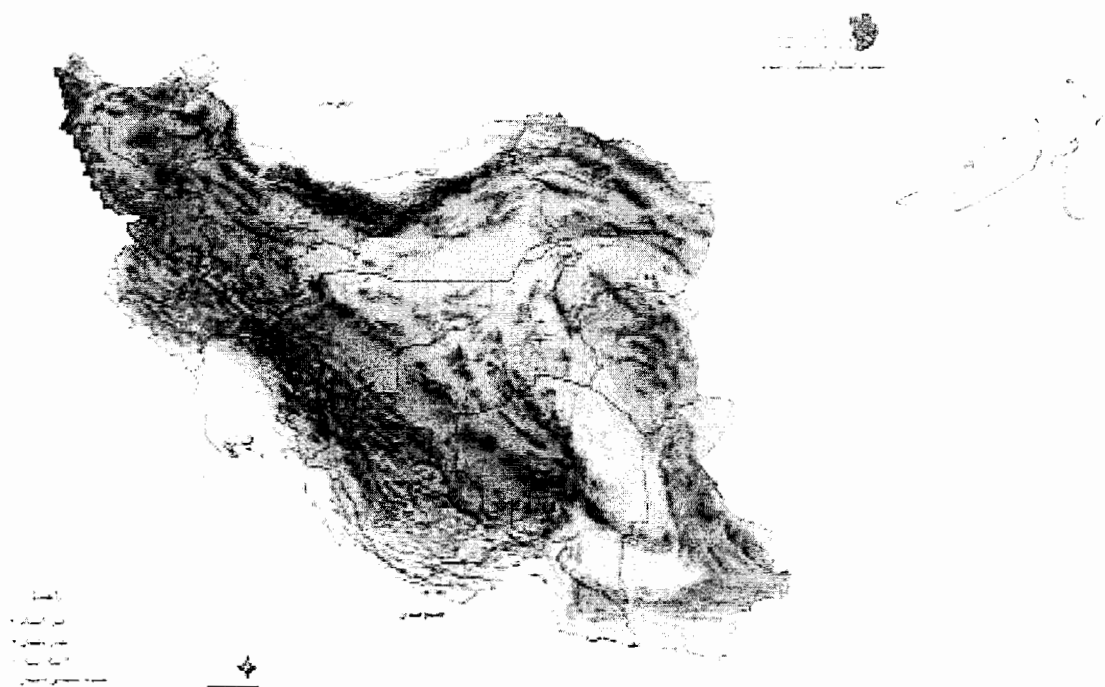
در زغال سنگ عناصر کمیابی یافت می شود که می توانند باعث آلودگی محیط زیست شوند. برخی از این عناصر عبارتند از: آرسنیک، کروم، جیوه، سلنیم، بر، فلوئور، منگنز، نیکل، سرب، مس، فسفر، بریلیم، وانادیم و زیرکونیوم [یزدی، ۱۳۸۲].

می‌تواند باعث آلودگی منابع آب شرب و سیستم آبیاری بخصوص برای مناطق پایین‌دست سایت‌های معدنی گردد [Mesquita, 2006].

#### 1-4- اهداف و ضرورت انجام پایان نامه

حوضه زغال‌دار البرز را می‌توان بزرگترین حوضه زغال‌دار ایران دانست که بیشترین معادن زغال سنگ ایران را در خود جای داده است و معادن این منطقه از قدیم‌الایام مورد بهره‌برداری قرار گرفته است (شکل ۱-۲). نکته قابل توجه در مورد این معادن، اهمیت دادن به مشکلات آلودگی ناشی از بهره‌برداری از این معادن و انجام مطالعات زیست محیطی می‌باشد زیرا اکثر این معادن از لحاظ جغرافیایی در منطقه‌ای جنگلی و پرآب قرار دارند و بی‌توجهی به این مسئله باعث بروز مشکلات زیست محیطی جبران‌ناپذیر خواهد گردید.

با توجه به اینکه منطقه مورد مطالعه نیز در شمال کشور (استان گلستان) و در یک ناحیه جنگلی با پوشش گیاهی زیاد و متنوع و آب فراوان قرار داشته و از طرفی دُمپ‌های باطله موجود در منطقه در دامنه تپه‌ها و یا کنار رودخانه‌ها که پتانسیل تولید AMD در آنها بسیار بالاست قرار دارند، مطالعات زیست محیطی از اهمیت بالایی برخوردار است و این در حالی است که از این قبیل مطالعات در این مناطق به صورت جدی انجام نشده است. لذا با توجه به تعدد معادن زغال‌سنگ در شمال کشور، از نتایج چنین بررسی‌هایی می‌توان برای سایر موارد مشابه و توسعه یک استراتژی کنترل زیست محیطی استفاده کرد.



شکل ۱-۲: نقشه پراکندگی کانسارها و معادن زغال سنگ در ایران

در این مطالعه هدف این است که اولاً با تهیه انواع نقشه‌های مورد نیاز منطقه مثل نقشه جاده‌ها رودخانه‌ها و آبراهه‌ها، دمپ‌ها، مناطق مسکونی، مناطق کشاورزی و مناطق جنگلی، بهترین مکان را برای انباشت باطله‌های معادن زغال سنگ منطقه، با در نظر گرفتن ملاحظات زیست محیطی تعیین کرد. ثانیاً با انجام مطالعات آزمایشگاهی و آنالیز نمونه‌های اخذ شده از دمپ‌های باطله و آب منطقه، و همچنین به کمک مدلسازی عددی، پتانسیل تولید آلودگی منطقه تعیین شده و در نهایت راهکارهایی برای جلوگیری از تولید و انتشار آلودگی در منطقه ارائه نمود که در صورت موفقیت در انجام طرح، به دلیل وجود موارد مشابه در منطقه می‌توان در اجرای صحیح معدنکاری، طراحی مناسب دمپ باطله و یا سایر موارد تجدید نظر کرد.

## ۱-۵- سازماندهی پایان نامه

این پایان نامه مشتمل بر هفت فصل می باشد. فصل اول شامل مقدمه، مشکلات زیست محیطی زغال، تعریف پساب اسیدی معدن و اهداف و ضرورت انجام پایان نامه است. در فصل دوم اشاره ای به ذخایر زغال ایران و ترکیبات موجود در زغال و نقش ترکیبات گوگردی در شکل گیری پساب اسیدی و تأثیرات نامطلوب آن بر کیفیت آبهای زیرزمینی و سطحی، گیاهان و آبزیان و برخی از روشهای کنترل پساب تولید شده است. در فصل سوم مطالبی در مورد جغرافیا، زمین شناسی، اطلاعات تکتونیکی، تاریخچه اکتشاف و آب و هوای منطقه، محل دمپها و شرایط کارخانه زغال شویی و مشاهدات صحرایی ذکر شده است. در فصل چهارم سعی شده است با بکارگیری نقشه های منطقه و سیستم های اطلاعات جغرافیایی، مکانی برای انباشت باطله ها با در نظر گرفتن شرایط زیست محیطی تعیین گردد. فصل پنجم شامل چگونگی اخذ نمونه های زغال و آب از منطقه و بررسی های کمی و کیفی برای تعیین میزان پیریت و عناصر موجود در نمونه ها به کمک روش آنالیز جذب اتمی و تهیه مقاطع صیقلی می باشد. در فصل ششم با بکارگیری یک مدل عددی که توسط نرم افزار PHOENICS شبیه سازی شده است تلاش شده تا پیش بینی هایی در مورد روند تولید آلودگی صورت پذیرد و در نهایت در فصل هفتم به جمع بندی و ارائه چندین پیشنهاد برای جلوگیری از تولید پساب، کنترل و از بین بردن پساب های تولیدی در منطقه می پردازیم.

## مقدمه

در این فصل ابتدا اشاره‌ای به ذخایر زغال‌سنگ ایران خواهیم کرد و سپس به توضیح کانیها و مواد موجود در زغال می‌پردازیم و در ادامه مطالبی دربارهٔ پساب اسیدی معدن و ویژگی‌های آن، تأثیرات مخرب آن در زندگی جانوران و گیاهان، علل تولید، عوامل تأثیرگذار در تولید، واکنشهای شیمیایی مربوطه و در نهایت برخی از راههای پیشگیری از تولید یا کاهش اثرات زیست محیطی آن بیان خواهیم کرد.

## ۲-۱- ذخایر زغال سنگ ایران

رسوبات زغال‌دار ایران با نام گروه زغال‌دار شمشک و نایبند از دیدگاه زمانی از تریاس بالایی آغاز و تا ژوراسیک میانی ادامه دارد که محدودهٔ گسترش این رسوبات، شمال، مرکز و شرق ایران را در بر می‌گیرد و همهٔ این رسوبات در یک چرخهٔ رسوب‌گذاری تشکیل و یک واحد چینه‌شناسی مستقل را به وجود آورده‌اند.

حوضه‌های زغالی ایران در دو بخش بزرگ زمین‌شناسی ایران یعنی البرز و ایران مرکزی گسترش دارند. رسوبات زغال‌دار حوضهٔ البرز اغلب از نوع تخریبی هستند و رسوبات حوضهٔ ایران مرکزی بیشتر تحت تأثیر رسوبات دریایی قرار گرفته‌اند.

## ۲-۱-۱- حوضه زغال دار البرز

به طور کلی حوضه زغال دار البرز از سه پهنه به نامهای خراسان شمالی- البرز شرقی، البرز مرکزی و البرز غربی تشکیل یافته است که معادن زغال سنگ این حوضه در امتداد رشته کوههای البرز پراکنده اند. زغال سنگ های این حوضه اغلب از نوع حرارتی و کمتر از نوع کک شو هستند و مجموع زغال سنگ های شناسایی شده در این حوضه حدود ۸۰۰ تا ۸۵۰ میلیون تن است که ۲۰۰ تا ۲۵۰ میلیون تن آن از نوع کک شو و بقیه از نوع حرارتی می باشد. ضخامت رگه های زغال در این حوضه بین ۰/۲ تا ۲ متر تغییر می کند.

پهنه زغال دار خراسان شمالی- البرز شرقی، از کوههای منطقه بجنورد در خراسان شمالی شروع می شود و تا نواحی غرب استان گلستان در راستای رشته کوه البرز ادامه می یابد. مهمترین معادن این بخش شامل معدن زغال سنگ تخت در شهرستان مینودشت، معدن قشلاق در شهرستان آزادشهر و معدن رضی در حوالی شهر رامیان از استان گلستان و معادن طزره، پشکلات، رزمجا و کلاریز در شمال دامغان- شاهرود است که بجز معدن مینودشت از سایر معادن دیگر در حال حاضر بهره برداری می شود.

پهنه زغال دار البرز مرکزی از شرق به جاده فیروزکوه- قائمشهر و از غرب به جاده چالوس- کرج محدود می شود. معادن زغال سنگ این پهنه عموماً مربوط به منطقه آلاشت در نزدیکی زیرآب، منطقه گلندرود در نزدیکی شهر نور، منطقه الیکا- بلده در نزدیکی شمشک و منطقه اندوار در نزدیکی روستای بایجان در جاده هراز است. مجموع ذخایر قطعی و احتمالی زغال سنگ های پهنه زغال دار البرز مرکزی حدود ۶۳۰ میلیون تن و ذخایر پیش بینی شده حدود ۲ میلیارد تن است. مهمترین معادن زغال سنگ این منطقه عبارتند از: زیرآب (ذخیره قطعی ۳۴ میلیون تن)، گلیران (ذخیره قطعی ۴۰ میلیون تن)، گلندرود و گاجره را نام برد.

معادن زغال سنگ پهنه زغال دار البرز غربی از محدوده جاده چالوس- کرج شروع می شود و تا حوالی زنجان و حتی آذربایجان شرقی ادامه می یابد. زغال سنگ های این پهنه از نظر کک دهی از سایر

زغال سنگ‌های پهنه البرز بهتر است چون درجه زغال شدگی این زغال سنگ‌ها بیشتر است و دگرگونی بالاتری را تحمل نموده‌اند. معادن آبیک (ذخیره قطعی ۹ میلیون تن)، سنگرود (ذخیره قطعی ۸ میلیون تن) و چالی (در جنوب مراغه) را می‌توان نام برد.

## ۲-۱-۲- حوضه زغال دار ایران مرکزی

معادن زغال سنگ حوضه زغال دار ایران مرکزی در گستره رسوبات تریاس از سازند شمشک تشکیل شده‌اند و دارای ویژگی‌های رسوبات یک محیط دریایی هستند. این حوضه زغالی شامل چهار پهنه اصفهان - کاشان، پهنه لوت، پهنه کرمان و پهنه طبس است که زغال سنگ‌های پهنه اصفهان - کاشان و پهنه لوت از اهمیت چندانی برخوردار نمی‌باشد.

مطالعات اکتشافی برنامه‌ریزی شده در پهنه زغال دار کرمان برای اولین بار در سال ۱۳۴۴ توسط کارشناسان شرکت ملی فولاد ایران و کارشناسان روسی انجام شد. زغال سنگ‌های این پهنه در ناودیس بزرگ زغال دار کرمان، در سازند نایبند با سن تریاس بالایی تا ژوراسیک زیرین تشکیل شده‌اند. مجموع ذخایر زغال سنگ این پهنه حدود ۱/۳ میلیارد تن برآورد شده است که حدود ۳۵۰ میلیون تن آنها از نوع کک‌شو و ۳۲۰ میلیون تن دیگر از نوع حرارتی و بقیه کیفیتی بینابین دارند.

ذخایر زغال سنگ کرمان به دو بخش عمده مناطق درونی و بیرونی ناودیس کرمان تقسیم می‌شوند. زغال سنگ‌های مناطق درون این ناودیس عمدتاً از نوع کک‌شو هستند. معادن مهم زغال سنگ این بخش پابدانا، باب‌نیزو، اشکلی، سراپرده، داربیدخون و هجدک هستند. زغال سنگ‌های مناطق بیرونی ناودیس اغلب از نوع حرارتی و کمتر از نوع کک‌شو هستند. معادن هشونی، باداموئیه و همکار از معادن مهم این بخش هستند [یزدی، ۱۳۸۲].

با توجه به وجود ذخایر عظیم زغال سنگ در منطقه طبس، در سال ۱۳۴۵ نخستین کاوشهای زمین‌شناسی جهت اکتشاف زغال سنگ در پهنه زغال دار طبس انجام شد. مهمترین معادن زغال سنگ این

پهنه در حوالی شهر طبس در وسعتی در حدود ۴۵ هزار کیلومترمربع رخنمون دارد. ذخیره زغال سنگ اکتشافی در این پهنه زغال دار در حدود ۱/۶۲۲ میلیارد تن برآورد شده است. حدود پنج افق زغالی اصلی در منطقه پروده شناسایی شده است که زغال سنگ های این افق ها اغلب از نوع کک شو هستند ضخامت افق های زغال دار این محل حدود ۰/۸ تا ۲ متر است. در این پهنه زغال دار تاکنون ۲۲۵۰۰۰ متر حفاری و عملیات چاه پیمایی انجام گرفته است [یزدی، ۱۳۸۲].

## ۲-۲- انواع کانیهای معدنی موجود در زغال سنگ

زغال سنگ در واقع مجموعه ای مرکب از ماسرال ها<sup>۱</sup> و کانیهاست. منشأ ماسرال ها معمولاً ریشه، برگها، صمغ و شیره گیاهان، جلبک ها، قارچ ها و سایر اجزای ریز و درشت گیاهی است. این مواد دارای خواص فیزیکی و شیمیایی متغیر هستند و ماهیتی غیر بلورین دارند. اما کانیها بخش غیر مفید زغال سنگ و در واقع خاکستر آنرا تشکیل می دهند و بر خلاف ماسرال ها ماهیتی بلورین و خواص فیزیکی و شیمیایی مشخصی دارند.

مهمترین کانیهای موجود در زغال، رسها (مثل کائولینیت و مونتموریونیت و آرژیلیت)، کربنها (مثل کلسیت و دولومیت و سیدریت) سیلیس ها و سیلیکات ها (مثل کوارتز و چرت و زیرکن)، سولفیدها (مثل پیریت و پیروتیت و مارکازیت)، سولفات ها (مثل ژیپس، انیدرید و باریت) و کانیهای مثل نمک و فسفریت و هیدروکسیدهای آهن و غیره می باشد [اصانلو، ۱۳۷۸].

## ۲-۳- گوگرد (S) در زغال سنگ

گوگرد از مهمترین عناصر مزاحم در زغال سنگ است که معمولاً به صورت ترکیبات معدنی (کانیهای سولفیدی و کانیهای سولفات) و ترکیبات شیمیایی آلی در لایه های زغال دار یافت می شود.

<sup>۱</sup> -Maceral



مهمترین مضرات وجود ترکیبات گوگردی در زغال سنگ به شرح زیر می باشد.

۱. تخریب دیواره کوره ها در فرآیند کک سازی
۲. کاهش مرغوبیت فولاد در صنایع تولید فولاد
۳. کاهش ارزش حرارتی زغال سنگ
۴. تولید گازهای سولفور و آلودگی هوا در اثر سوختن
۵. تولید پساب اسیدی در باطله های معدنی حاوی ترکیبات گوگردی

در مورد منشأ گوگرد در زغال می توان گفت که گیاهان تشکیل دهنده زغال در ترکیب اولیه خود بین ۰/۲ تا ۰/۵ درصد گوگرد داشته اند که بعدها در اثر فعالیت میکروارگانیسم ها به ویژه باکتری ها بر مقدار گوگرد مزبور اضافه می شود. در اثر بالا آمدن سطح دریاها این مواد به قعر دریاها و اقیانوس ها منتقل شده اند و با توجه به حضور سولفور و آهن در آب دریاها و فعالیت موجودات تک سلولی به تدریج شرایط برای تشکیل ترکیبات معدنی و آلی گوگرد فراهم شده است به نحوی که مقدار گوگرد در زغال سنگ می تواند تا ۹ درصد افزایش یابد [اصانلو، ۱۳۷۸].

## ۲-۴- نقش ترکیبات گوگردی زغال سنگ در آلودگی محیط زیست

همانطور که در بخش قبل ذکر شد یکی از مهمترین مضرات وجود ترکیبات گوگردی در زغال سنگ ایجاد پساب اسیدی معدن (AMD) است و همچنین دانستیم که گوگرد به سه صورت سولفیدی، سولفات و آلی در زغال سنگ وجود دارد. اما نکته مهم در مورد آلودگی حاصل از باطله های معادن زغال سنگ، این است که تنها ترکیبات سولفیدی گوگرد به ویژه کانی پیریت ( $FeS_2$ ) نقش تعیین کننده ای در ایجاد آن دارند.

پیریت و مارکازیت<sup>۱</sup> دو کریستال متفاوت از  $FeS_2$  (سولفید آهن) هستند و معمولاً هم تفکیک و تشخیص آنها از یکدیگر مشکل است و غالباً هر دو را با نام پیریت می‌شناسند.



الف



ب

شکل ۱-۲: بلور کانیهای پیریت (الف) و مارکازیت (ب)

در مقیاس ماکروسکوپی پیریت به چهار شکل در زغال سنگ به وجود می‌آید:

۱. رگه‌ای<sup>۲</sup>: در این حالت پیریت معمولاً نازک و به صورت فیلم‌مانند در داخل درزه‌های عمودی که ممکن است پهنای آن به چند اینچ برسد، پدید می‌آید.

۲. عدسی<sup>۳</sup>: در این حالت پیریت از نظر شکل و اندازه بسیار متغیر است، اندازه آن از نظر ضخامت در حد صدم اینچ و از نظر پهنای در حد اینچ تا چندین اینچ و در طول از چند سانتیمتر تا چند صد متر متغیر می‌باشد. در شرایطی که ضخامت، پهنای و طول عدسی قابل توجه باشد به آن لایه می‌گویند.

۳. گلوله‌ای<sup>۴</sup>: در این حالت پیریت کم و بیش کروی شکل است و قطر آن از چند اینچ تا چندین سانتیمتر و بعضاً متر متغیر می‌باشد. در این شرایط سولفور معمولاً به صورت پیریت خالص نیست و شامل کلسیت، سیدریت (کانی کربناته آهن)، کانیهای رسی و مواد آرگانیکی می‌باشد.

<sup>۱</sup> -Marcasite

<sup>۲</sup> -Veins

<sup>۳</sup> -Lenses

<sup>۴</sup> -Ball

۴. رشته گیاهی پیریت‌دار: در این حالت شامل کانیهای کربناته می‌باشد و گیاه بطور کامل مراحل زغال‌زائی را طی نکرده است [اصانلو، ۱۳۷۸].

کانیهای سولفیدی گوگرد به ویژه پیریت اغلب در نهشته‌های زغال و کانسارهای فلزی همراه است و اکسیداسیون خودبخودی آن در طبیعت باعث بروز مشکلات زیست محیطی عدیده‌ای می‌شود که تولید پساب اسیدی (AMD) مهمترین آنهاست [H.I.Ezeigbo, 2006]. در واقع AMD را می‌توان یک نوع خاص از آلودگی آب نامید که در اثر معدنکاری در کانسارهای سولفیدی یا باطله‌های آنها یا روباره‌های آنها بوجود می‌آید و در مکان‌هایی با بارش سالیانه متوسط تا بالا AMD می‌تواند در مقادیر زیاد تولید شود که در این صورت برطرف کردن آن بسیار مشکل و تخلیه آن در آبهای سطحی و زیرزمینی یک منطقه، تهدیدی برای زندگی جانوران و گیاهان خواهد بود و این در حالی است که تولید پساب اسیدی می‌تواند تا مدت زمان طولانی بعد از اتمام عملیات معدنکاری ادامه یابد [Mesquita, 2006].

## ۲-۵- شرایط تشکیل AMD

عوامل متعددی در تشکیل AMD یا سرعت تولید آن دخیل هستند که این عوامل را می‌توان به دو دسته عوامل مکانی و شرایط محیطی تقسیم‌بندی نمود.

### ۲-۵-۱- عوامل مکانی

منظور از عوامل مکانی در تشکیل AMD، محل‌هایی است که در آنجا به نحوی مواد حاوی سولفیدهای فلزی به ویژه پیریت قرار دارند که در این مکان‌ها پتانسیل تولید پساب اسیدی بالاتر از سایر نقاط می‌باشد. برخی از مهمترین این محل‌ها عبارتند از: معادن حاوی سولفیدهای فلزی، معادن زغال سنگ، معادن متروکه، باطله‌های حاصل از عملیات فرآوری، دمپ‌های باطله سولفیدی، روباره‌های معدنی

حاوی مواد سولفیدی و معادن روباز نواری. نوع کانیهای سولفوری، اندازه دانه‌های حاوی پیریت و درصد سولفور نیز از اهمیت بسزایی برخوردار است.

## ۲-۵-۲- شرایط محیطی

شرایط محیطی را می‌توان بیشتر در تسریع نرخ تولید پساب اسیدی تأثیر گذار دانست. به عنوان مثال تولید AMD با میزان دسترسی مواد سولفیدی با آب و اکسیژن در ارتباط است به این ترتیب که هر چه میزان رطوبت و اکسیژن بیشتر باشد، AMD بیشتری تولید می‌شود لذا در مناطقی که میزان بارندگی بالاست و یا نحوه انباشت باطله‌ها به گونه‌ای است که مواد سولفیدی بیشتری در تماس با هوا قرار گرفته باشند نرخ تولید AMD نیز افزایش خواهد یافت. به طور کلی شرایط غیر اشباع و مرطوب در باطله‌های معدنی نشان دهنده شرایط بهینه برای اکسیداسیون سولفیدهاست.

یکی دیگر از شرایط محیطی مؤثر در افزایش نرخ تولید AMD، وجود گونه‌های خاصی از باکتریها به نام باکتریهای اسیدوفیل<sup>۱</sup> است که این باکتریها می‌توانند به صورت کاتالیزور سرعت واکنش تولید AMD را افزایش دهند. به دلیل اهمیت این باکتریها در تولید AMD در ادامه همین فصل به طور مفصل‌تری به بیان ویژگیها و انواع آنها خواهیم پرداخت.

باید توجه داشت که برای تولید AMD هر دو عامل آب و اکسیژن لازم است. آب هم به عنوان یک واکنش‌دهنده و هم به عنوان یک محیط کشت برای باکتریها در فرآیند اکسیداسیون عمل می‌کند. آب همچنین محصولات حاصل از اکسیداسیون را انتقال می‌دهد. اکسیژن نیز هم به عنوان یک عنصر واکنش‌دهنده و هم عامل مورد نیاز برای بقای باکتریها عمل می‌کند. از دیگر شرایط محیطی می‌توان به توپوگرافی محل معدن، درجه حرارت منطقه، غلظت و درصد اکسیژن و شرایط Eh و pH اشاره کرد.

<sup>۱</sup> -Acidophil

## ۲-۶- ویژگیهای AMD

از لحاظ ظاهری AMD به رنگهای زرد تا قرمز و قهوه‌ای دیده می‌شود و مهمترین ویژگیهای آنرا می‌توان به شرح زیر نام برد :

۱. اسیدی بودن (پایین بودن میزان pH)
۲. بالا بودن غلظت یون‌های فلزی
۳. افزایش میزان سولفات‌ها
۴. ایجاد لجن به صورت غیر طبیعی [دولتی و همکاران، ۱۳۸۵]

## ۲-۷- تأثیر AMD بر آبیان و گیاهان

به طور کلی خطرناکترین تأثیر AMD بر آبیان پایین بودن میزان pH آن است بیشتر آبیان در محدوده خاصی از pH زنده هستند و خارج از این محدوده جان خود را از دست می‌دهند. pH کم باعث اختلال در موازنه یونهای کلر و سدیم در خون آبیان می‌گردد. در pH کم یونهای هیدروژن درون سلول قرار می‌گیرند و یونهای سدیم به خارج سلول رانده می‌شوند که باعث مرگ موجودات آبی می‌شود. از طرفی غلظت بالای یونهای فلزی موجود در AMD نیز برای آبیان خطرناک است چون این یونها می‌توانند به صورت سم متابولیک اثر نمایند.

AMD برای گیاهان هم مضر است زیرا برخی از گیاهان با افزایش بیش از حد میزان یونهای فلزی از بین می‌روند همچنین خاصیت اسیدیته آن نیز در رشد گیاهان تأثیر گذار است [www.ngdir.ir].

## ۲-۸- تأثیر AMD بر آبهای سطحی و زیرزمینی

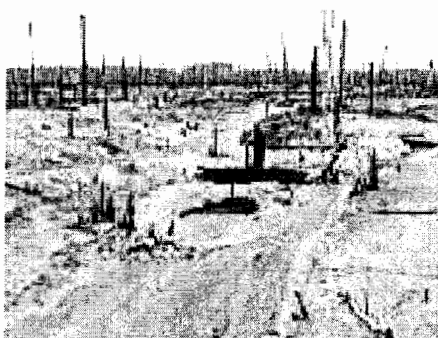
هنگامی که آبهای سطحی حاوی AMD به آبهای زیرزمینی نفوذ می‌کنند باعث آلودگی این آبها می‌شوند که در این صورت آبهای آلوده زیرزمینی موجبات آلودگی چشمه‌ها و قنات‌های پایین‌دست را

فراهم می‌کند. مهمترین یونهای فلزی آلوده کننده آب عبارتند از: آهن، سرب، مس، نقره، منگنز، کادمیوم، آرسنیک و روی. غلظت بالای این یونهای فلزی آبهای سطحی و زیرزمینی را آلوده می‌کند و مصارف این آبها را تحت تأثیر قرار می‌دهد [Sams and Beer, 2000]. غلظت بالای یونهای فلزی و  $pH$  پایین سبب ایجاد اثرات خاصی در انسان می‌شود و حتی گاهی منجر به بیماری می‌شود.  $pH$  پایین باعث تشدید تحرک اغلب یونهای فلزی می‌گردد. بدین وسیله یونهای فلزی به صورت محلول توسط آبهای زیرزمینی و سطحی مهاجرت می‌کنند و در فاصله‌های دور در اثر افزایش  $pH$  رسوب می‌کنند و رسوب هیدروکسید و سولفات‌های فلزی را به وجود می‌آورند.

پسابهای معدنی شامل یک سیستم آبی ناپایدار هستند که پیوسته تغییر می‌کند. ترکیب  $AMD$  فقط بواسطه منشأ نیست، بلکه مسیری که  $AMD$  از آن عبور می‌کند یا سیستمهای خنثی‌سازی که بر آن اثر می‌کنند نیز در ترکیب آن موثر هستند. در مناطقی که آبهای سطحی و زیرزمینی بوسیله  $AMD$  آلوده شده باشد، خنثی‌سازی آب جهت مصارف آشامیدنی و صنعتی بسیار مشکل، پرهزینه و گران است.

در اثر  $AMD$  عواملی مثل آهن،  $pH$ ، سولفات، ذرات ریز معلق و منگنز در آبهای زیرزمینی تغییر می‌کنند. اگر مقدار آهن از ۰/۱ میلی گرم بر لیتر (با منشأ سولفات) و ۰/۲ میلی گرم (با منشأ کلرید) بیشتر شود، مزه آب را تغییر می‌دهد. آهن دوظرفیتی با غلظت ۰/۱ میلی‌گرم بر لیتر و آهن سه‌ظرفیتی با غلظت ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر مزه آب را تغییر می‌دهد. غلظت یون هیدروژن ( $pH$ ) نیز می‌تواند مزه آب را تغییر دهد. اگر  $pH$  آب پایین بیاید، آب ترش مزه می‌شود. اگر  $pH$  خیلی پایین بیاید، باکتریهای مؤثر در خنثی سازی  $AMD$  از بین خواهند رفت. آبهایی که  $pH$  زیر ۷ دارند دارای خاصیت خوردگی بوده و می‌توانند بخشهایی از لوله‌ها و شیرها را که از جنس مس، روی، کادمیم و سرب هستند، بسرعت در خود حل کنند. غلظت بالای سولفات روان کننده است و مزه و بوی آب را تغییر می‌دهد. ذرات جامد معلق در آب آشامیدنی نیز ناخوشایند بوده و مزه آب را تغییر می‌دهد. غلظت بالای منگنز اثرات مختلفی بر روی آب آشامیدنی دارد که از این تاثیرات می‌توان به مواردی مثل ایجاد مزه نامطلوب در آب، ته نشینی و رسوب

کردن در غذاها، تغییر رنگ آب، تغییر رنگ لباسها و لوازم و وسایل خانگی اشاره کرد. لازم به ذکر است که اگر غلظت منگنز بیشتر از ۰/۵ میلی گرم بر لیتر شود، باعث تغییر رنگ آب می شود [www.ngdir.ir].



شکل ۲-۲: تصویر سمت راست (بالا) مرگ ماهیان را بر اثر تخلیه AMD حاصل از معدن رومانی در رودخانه دانوب نشان می دهد [www.yubanet.com]، تصویر سمت چپ (بالا) یک منطقه جنگلی مرده بر اثر AMD حاصل از معدن کامکتیا<sup>۱</sup> در کانادا را نشان می دهد [www.ess.nrcan.gc.ca] و در تصویر پایین می توان آلودگی آبهای سطحی توسط AMD حاصل از معدن زغال سنگ در غرب پنسیلوانیا را دید [www.water-research.net].

<sup>۱</sup> -Kamkotia

## ۹-۲- سایر اثرات نامطلوب AMD

علاوه بر مطالب ذکر شده، افزایش خاصیت اسیدی به وسیله AMD سبب تسريع خوردگی تجهیزات صنعتی که با آب سروکار دارند می‌شود. از این جمله می‌توان به تجهیزات کشتی‌ها، خطوط لوله زیرزمینی و سازه‌های فلزی اشاره کرد. در نیروگاه‌های تولید برق افزایش سختی آب باعث کاهش کارایی تبادل حرارتی دیگ‌های بخار می‌گردد.

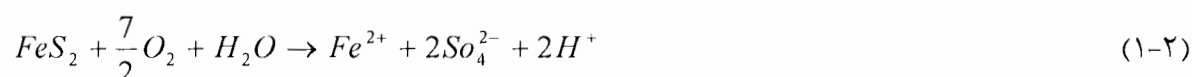
یکی دیگر از مشکلات حاصل از AMD خوردگی شیمیایی است که این خوردگی زمانی آغاز می‌شود که اجزای خاصی از آب دارای غلظت کافی برای حذف فلزات از سطح فلزات و تجهیزات دیگر مثل لوله‌ها و پمپ‌ها و پایه‌های فلزی را داشته باشند. همچنین رسوب‌گذاری در داخل چاه‌ها و لوله‌ها نیز یکی دیگر از مشکلات ناشی از حضور AMD می‌باشد.

AMD صدمات جبران‌ناپذیری به سازه‌های بتنی وارد می‌کند به این ترتیب که به علت خاصیت اسیدی، AMD با مواد قلیایی موجود در سطح بتن واکنش داده و از استحکام آن می‌کاهد. همچنین حضور سولفات در AMD باعث تخریب بتن می‌شود واکنش شیمیایی سولفات با بتن تشکیل سولفوآلومینات کلسیم می‌دهد. تشکیل این ماده با افزایش حجم همراه بوده که در نهایت باعث تخریب بتن می‌شود. اگر بتن متخلخل باشد واکنش به صورت پیش‌رونده در توده عمل می‌کند. هر چه غلظت سولفات بیشتر باشد، خوردگی بیشتر و سریعتر صورت می‌گیرد. به طور کلی اگر غلظت سولفات بین صفر تا ۱۵۰ ppm باشد، تخریب جزئی خواهد بود و اگر غلظت سولفات بین ۱۵۰۰ تا ۱۰۰۰۰ ppm باشد، تخریب زیاد خواهد بود و اگر مقدار سولفات بیشتر از ۱۰۰۰۰ ppm باشد، تخریب بسیار شدید خواهد بود.



## ۲-۱۰- تشریح واکنشهای تولید AMD

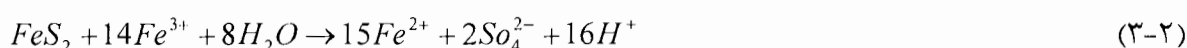
اکسیداسیون کانیهای سولفیدی زمانی آغاز می‌شود که این کانیها در معرض هوا یا آب قرار می‌گیرند. تولید AMD با اکسیداسیون پیریت یا سایر کانیهای سولفیدی آغاز می‌شود و نتیجه آن برای پیریت، تولید آهن، سولفات و اسید می‌باشد.



آهن دوظرفیتی تولید شده در واکنش (۱-۲) در مجاورت اکسیژن، اکسیده شده و آهن سه ظرفیتی مطابق واکنش (۲-۲) تولید می‌شود.



در شرایط pH پایین، واکنش (۲-۲) بسیار کند می‌باشد. اگر شرایط محیطی مناسبی برای رشد و فعالیت باکتری‌های اسیدوفیل فراهم باشد، در مجاورت این باکتری‌ها سرعت این واکنش می‌تواند به سرعت افزایش یابد. آهن سه‌ظرفیتی تولید شده ممکن است مطابق واکنش (۳-۲) با پیریت واکنش داده و آهن دوظرفیتی و سولفات و اسید بیشتری تولید نماید.



در ضمن آهن سه‌ظرفیتی می‌تواند به صورت هیدروکسید آهن مطابق واکنش (۴-۲) رسوب نماید.



اگر باکتری‌های احیاکننده سولفات حضور داشته باشند، سولفات به سولفور (واکنش ۵-۲) احیا شده که نتیجه آن کاهش یونهای سولفات محلول و خنثی نمودن pH است.



مطابق واکنش (۶-۲) سولفید تولید شده می‌تواند با فلزات سنگین واکنش داده و سبب رسوب

آنها گردد. که در این واکنش  $M^{2+}$  یک فلز دوظرفیتی است. [ادولتی و همکاران، ۱۳۸۵]



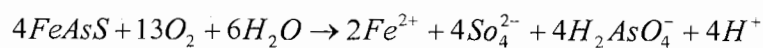
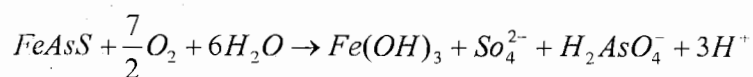
همانطور که ذکر شد علاوه بر پیریت، کانیهای سولفیدی دیگری نیز در تولید پساب اسیدی نقش دارند که تعدادی از این کانیها در جدول ۱-۲ ذکر شده است.

جدول ۱-۲: برخی از کانیهای سولفیدی مؤثر در تولید AMD

[U.S. Environmental Protection Agency, 1994 and Christine Costello, 2003]

| ترکیب شیمیایی                 | کانی سولفیدی              |
|-------------------------------|---------------------------|
| $ZnS$                         | اسفالریت (Sphalerite)     |
| $FeS_2$                       | مارکازیت (Marcasite)      |
| $PbS$                         | گالن (Galena)             |
| $NiS$                         | میلریت (Millerite)        |
| $CdS$                         | گیرینوکیت (Greenockite)   |
| $CuS$                         | کولیت (Covellite)         |
| $CuFeS_2$                     | کالکوپیریت (Chacopyrite)  |
| $Cu_2S$                       | کالکوزیت (Chalcocite)     |
| $Fe_{1-x}S$ که $0 < x < 0.12$ | پیروتیت (Pyrrhotite)      |
| $FeAsS$                       | آرسنوپیریت (Arsenopyrite) |
| $HgS$                         | سینابر (Cinnabar)         |

به عنوان مثال برای تولید AMD توسط آرسنوپیریت داریم:



## ۲-۱۱- نقش باکتری‌های اسیدوفیل در تولید AMD

همانطور که قبلاً ذکر شد نرخ اکسیداسیون کانیهای سولفیدی هنگام حضور گونه‌های خاصی از باکتری‌ها که اسیدوفیل نامیده می‌شوند (مثل تیوباسیلوس تیواکسیدان<sup>۱</sup> و تیوباسیلوس فرواکسیدان<sup>۲</sup>) به شدت افزایش می‌یابد. تیوباسیلوس فرواکسیدان (T.F) رایج‌ترین میکروارگانیسم شناخته شده در دمپ‌های باطله معدنی می‌باشد [Schipper&Sand, 1996]. این باکتری می‌تواند در شرایط سخت زنده مانده و رشد نماید و نرخ اکسیداسیون پیریت را در باطله‌های سولفیدی به شدت افزایش دهد. این افزایش نرخ، باعث رهاسازی یونهای فلزات سنگین و یون هیدروژن در محیط زیست می‌شود. نقش T.F در اکسیداسیون ترکیبات آهن و سولفیدهای غیر آلی در مناطقی مثل باطله‌های معدنی یا نهشته‌های زغال سنگ که این ترکیبات به وفور یافت می‌شود، مشخص شده است [www.mines.edu].



شکل ۲-۳: باکتری تیوباسیلوس فرواکسیدان که در زیر میکروسکپ الکترونی با بزرگنمایی ۳۰۰۰۰ بار مشاهده

می‌شود [www.mines.edu].

<sup>۱</sup> -Thiobacillus Thiooxidans

<sup>۲</sup> -Thiobacillus Ferrooxidans

در جدول ۲-۲ می‌توان برخی از ویژگیهای این باکتری را دید.

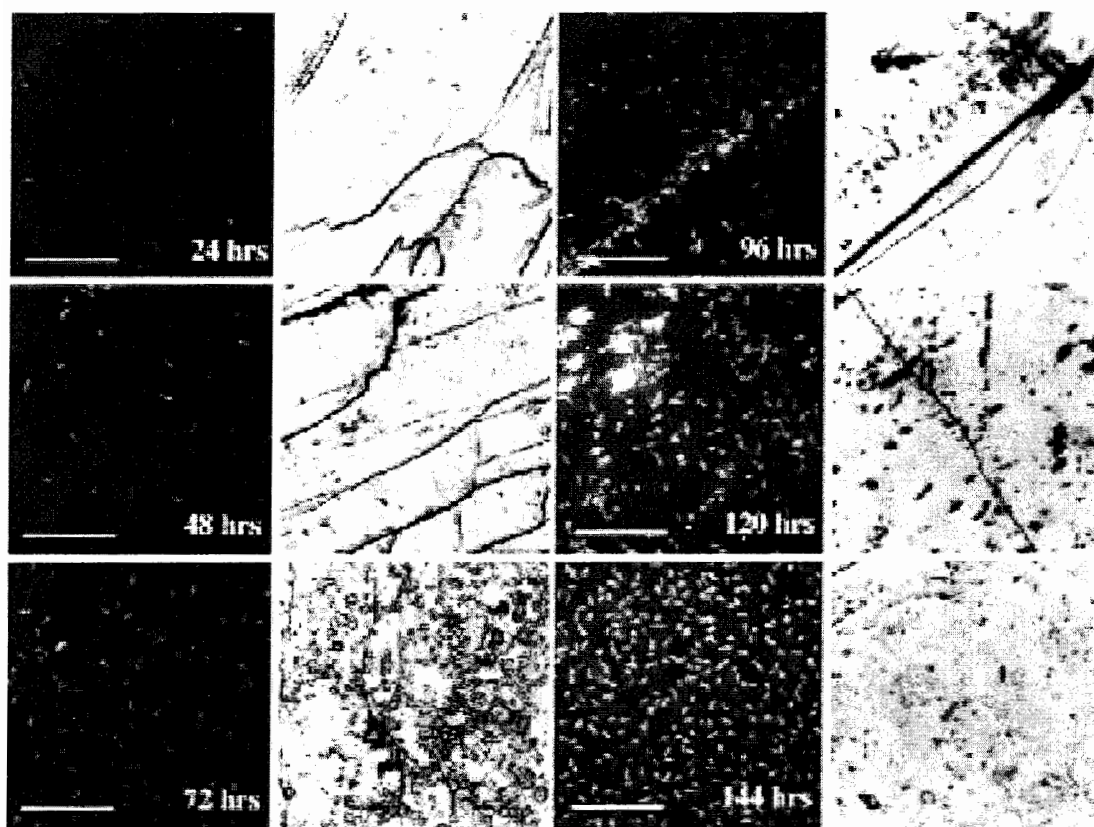
جدول ۲-۲ : برخی از ویژگیهای باکتری تیوباسیلوس فرواکسیدان [www.mines.eud]

| ویژگی                              | شرایط           |
|------------------------------------|-----------------|
| ۴/۵ تا ۱/۳                         | بهترین شرایط PH |
| ۱۰ تا ۳۷°C                         | دامنه دما       |
| میله ای ، ۰/۵ تا ۱ میکرومتر        | شکل             |
| اکسیداسیون $Fe^{2+}$ و کاهش سولفور | دریافت انرژی    |
| اجباراً هوازی                      | نیاز به اکسیژن  |
| اکسیژن                             | الکترون پذیرنده |
| نمک های آمونیوم و نیترات           | منبع نیتروژن    |

در شرایط مناسب، این باکتری به سرعت تکثیر می‌یابد و می‌تواند نرخ اکسیداسیون کانیهای سولفیدی را از طریق پدیده موسوم به بیولیچینگ<sup>۱</sup> تا یک میلیون بار افزایش دهد. اصطلاح بیولیچینگ یا شستشوی بیولوژیکی به انحلال فلزات از کانیها به وسیله برخی از میکروارگانیسمهای طبیعی اطلاق می‌شود. یا به عبارت دیگر بیولیچینگ یعنی استفاده از میکروارگانیسمها برای تبدیل عناصر به گونه‌ای که این عناصر بتوانند از کانیها استخراج شوند وقتی که آب از میان آنها عبور می‌کند [Atlas & Bartha, 1997]. در شکل ۲-۴ تکثیر باکتری T.F در سطح بلورهای مکعبی پیریت در طی ۶ روز و در بازه‌های زمانی ۲۴ ساعته مشاهده می‌شود.

<sup>۱</sup> -Bioleaching

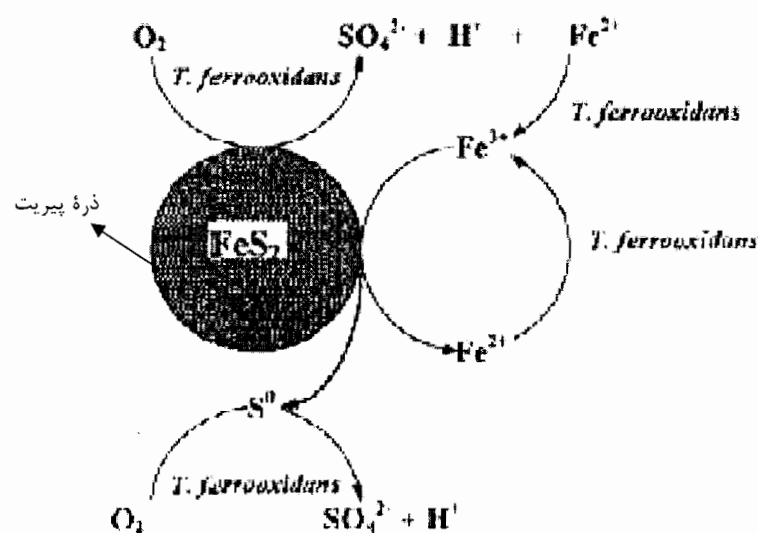
تعداد باکتری‌های اسیدوفیل و نحوه عملکرد آنها بسیار متنوع و گوناگون است. در پیوست ۱ لیستی از انواع میکروارگانیسم‌هایی که در فرآیند بیولیچینگ نقش دارند به همراه برخی از مشخصات آنها آورده شده است.



شکل ۲-۴: رشد باکتری‌های تیوباسیلوس فرواکسیدان در سطح بلورهای مکعبی پیریت. در این تصاویر دوتایی که با فاصله زمانی ۲۴ ساعت در ۶ روز تهیه شده است، تصاویر سمت چپ باکتری‌ها را در زیر نور فلورسانس انعکاسی نشان می‌دهد و تصاویر سمت راست مربوط به همان نقاط در زیر نور انعکاسی می‌باشد. طول خط مقیاس برابر ۲۵ میکرومتر است. [Matthew O.Schrenk & Robert Hamers, 1998]

۲-۱۲- ارائه یک مدل مفهومی<sup>۱</sup>

بر مبنای آنچه که تا بحال در این فصل گفته شد، می‌توان مدل مفهومی زیر را برای اکسیداسیون یک ذره پیریت در نظر گرفت (مدل مفهومی مدلی است که به صورت کیفی فرآیندهایی موجود در یک سیستم را تشریح می‌نماید).



شکل ۲-۵: یک مدل مفهومی برای اکسیداسیون پیریت [K.Nowaczyk & F.Domka 1999]

www

همانطور که در این مدل دیده می‌شود، در اثر تماس اکسیژن با سطح ذره پیریت، AMD تولید می‌شود. در صورت حضور باکتری‌های T.F، این باکتری‌ها به صورت کاتالیزور عمل کرده و آهن دوظرفیتی به آهن سه‌ظرفیتی تبدیل می‌شود. یون فریک ( $Fe^{3+}$ ) ایجاد شده مثل اکسیژن به عنوان عامل اکسید کننده برای پیریت عمل کرده و AMD بیشتری تولید خواهد شد که این عمل به صورت چرخه‌ای ادامه می‌یابد.

<sup>۱</sup> -Conceptual model

## ۲-۱۳- تحقیق در مورد AMD

هدف اصلی از انجام تحقیقات در این نوع مطالعات، تشخیص حضور یا عدم حضور کانیهای سولفیدی است. در صورت وجود این کانیها، تعیین طبیعت، مقدار و توزیع سولفیدها به منظور تعیین استراتژیهای مدیریتی لازم است. بطور کلی مراحل تحقیق باید شامل موارد زیر باشد.

۱. تعیین و تشخیص مواردی مثل زمین شناسی، هیدرولوژی و اطلاعات گمانه های منطقه
۲. نمونه برداری
۳. مطالعات آزمایشگاهی
۴. گزارش (شامل پیشنهاد یک برنامه مناسب جهت مدیریت پروژه)

## ۲-۱۴- مطالعات آزمایشگاهی

مطالعات آزمایشگاهی بر روی نمونه های حاصل از باطله های معدنی و معمولاً به منظور تعیین خصوصیات ژئوشیمیایی آنها صورت می گیرد. چندین روش برای تعیین ظرفیت شکل گیری AMD در باطله های معدنی وجود دارد که برخی از آزمایشات اساسی شامل موارد زیر است:

۱. pH و هدایت الکتریکی
۲. سولفور کلی<sup>۱</sup>
۳. پتانسیل ظرفیت خالص تولید اسید<sup>۲</sup> (NAPP)
۴. ترکیب چندعنصری و کانی شناسی
۵. ظرفیت خنثی سازی اسید<sup>۳</sup> (ANC)

<sup>۱</sup> -Total Sulphur

<sup>۲</sup> -Net Acid Producing Potential

<sup>۳</sup> -Acid Neutralizing Capacity

روشهای فوق الذکر را روشهای استاتیک<sup>۱</sup> می‌گویند زیرا در هر زمان فقط یک اندازه‌گیری صورت می‌گیرد. آزمایشات سینتیک<sup>۲</sup> (مثل تستهای ستونی) به منظور اندازه‌گیری میزان واکنش‌پذیری سولفید و اثر شرایط جوی بر روی عواملی مثل نرخ اکسیداسیون و میزان انحلال فلز انجام می‌شوند. تستهای استاتیک سریعتر و ارزانتر از تستهای سینتیک که چندین ماه ادامه پیدا می‌کنند انجام می‌پذیرند ولی دقت تستهای سینتیک بالاتر از استاتیک می‌باشد.

با انجام مطالعات آزمایشگاهی باطله‌های معدنی را می‌توان به دو دسته تقسیم‌بندی نمود:

۱. باطله‌هایی که قابلیت تولید اسید ندارند<sup>۳</sup> (NAF).

۲. باطله‌هایی که قابلیت تولید اسید دارند<sup>۴</sup> (PAF).

در عمل معیارهای متفاوتی برای تشخیص و طبقه‌بندی باطله‌های NAF و PAF وجود دارد. برای مثال اغلب از نسبتهای زیر برای برای مشخص کردن این مواد از یکدیگر استفاده می‌شود.

□ اگر نسبت  $ANC/MPA$  بزرگتر یا مساوی ۲ باشد باطله از نوع NAF می‌باشد.

□ اگر نسبت  $ANC/MPA$  کوچکتر از ۲ باشد باطله از نوع PAF می‌باشد.

که در نسبتهای بالا ANC ظرفیت خنثی‌سازی اسید و MPA، ماکزیمم پتانسیل تولید اسید<sup>۵</sup> نامیده می‌شود که مقدار آن از رابطه ذیل محاسبه می‌شود. توجه شود که MPA مانند ANC بر

حسب  $kg_{H_2SO_4}/\text{tone}$  می‌باشد [Mesquita, 2006].

$$MAP \approx (Total\%S) \cdot 30.6$$

<sup>۱</sup> -Static Tests

<sup>۲</sup> -Kinetic Tests

<sup>۳</sup> -Non Acid Forming

<sup>۴</sup> -Potentially Acid Forming

<sup>۵</sup> -Maximum Potential Acidity



## ۲-۱۵- روشهای برطرف سازی<sup>۱</sup> AMD

روشها و استراتژیهای متنوعی برای جلوگیری از تولید AMD یا کاستن آن وجود دارد. برخی از این روشها عبارتند از: جلوگیری از پخش موادی که قابلیت تولید اسید دارند، استفاده از پوشش خشک، انبار کردن در زیر آب، استفاده از برخی میکروآرگانیسمها و خنثی سازی و جمع آوری اسید تولید شده. البته باید توجه داشت که جلوگیری از توزیع موادی که پتانسیل تولید اسید دارند همیشه بهترین گزینه ممکن است. مواد PAF تا زمانی که در مجاورت آب یا اکسیژن قرار نگرفته باشند، موادی بی اثر و خنثی می باشند. اگر جلوگیری از انتشار این عناصر اجتناب ناپذیر باشد، برای به حداقل رساندن تولید پساب اسیدی نیاز است تا توزیع اکسیژن، نفوذ آب و خنثی سازی موادی که پتانسیل تولید اسید را دارند کنترل کرد.

کنترل و تصفیه پسابهای اسیدی معدنی به عنوان یک مسئله مهم مدیریت زیست محیطی می باشد. طرحهای تحقیقاتی زیادی برای کنترل و بازداشتن AMD انجام شده اند. بهترین روش ممکن عبارتست از کنترل و بازداشتن AMD در منبع ایجاد آن. برای این منظور بایستی اکسید شدن کانیهای سولفیدی را محدود کرد و یا درصد کانیهای خنثی کننده اسید را در باطله معدن افزایش داد. اگر نتوان از به وجود آمدن AMD جلوگیری کرد، بایستی آنها را با استفاده از فرآیندهای شیمیایی و بیولوژیکی تصفیه نمود تا اثرات آن روی محیط زیست حذف و یا به حداقل برسد. فلزات سنگین موجود در AMD مانند آهن، روی، مس، سرب و منگنز وقتی با یک عامل شیمیایی واکنش می دهند غیر محلول شده و در یک pH خاص با تشکیل کمپلکسهای فلزی رسوب می نمایند [دولتی و همکاران، ۱۳۸۳].

برای جلوگیری از تولید AMD دو نوع پوشش وجود دارد: پوشش تر و پوشش خشک. در نوع تر اغلب از آب استفاده می شود ولی نوع خشک بیشتر به عنوان یک سد نفوذناپذیر عمل می کند. باید توجه

<sup>۱</sup> -Treatment

داشت که شرایط آب و هوایی و توپوگرافی معدن یک عامل مهم برای انتخاب هر یک از پوششهای تر یا خشک برای محصور کردن طولانی مدت مواد سولفیدی می باشد [Costello, 2006].

## ۲-۱۵-۱- سیستم پوشش تر توسط آب<sup>۱</sup>

یکی از مؤثرترین راهها برای جلوگیری از انتشار AMD قرار دادن مواد PAF در زیر آب است. چون آب می تواند به عنوان یک مانع از رسیدن اکسیژن به این مواد جلوگیری کند. غلظت اکسیژن حل شده در آب در دمای  $25^{\circ}\text{C}$  حدود  $8/6\text{ mg/lit}$  است که ۲۵۰۰۰ بار کمتر از میزان اکسیژن در هواست. مواد آلی و سایر ترکیبات کاهنده می توانند به سرعت اکسیژن محلول در آب را مصرف کنند که در این صورت اکسیژن زیادی برای اکسایش سولفیدها باقی نمی ماند.

در هنگام قرار دادن مواد سولفیدی در زیر آب باید به نوسانات سطح آب توجه شود زیرا لازم است که همواره حداقل دو متر آب بر روی مواد PAF قرار داشته باشد. باید توجه داشت که استفاده از دریاچه های طبیعی یا مصنوعی برای دفن مواد PAF ممکن است سایر موارد استفاده از این دریاچه ها مثل استفاده های تفریحی یا آبی پروری را دچار مشکل نماید.

## ۲-۱۵-۲- سیستم پوشش خشک<sup>۲</sup>

استفاده از پوشش خشک یک تکنیک رایج برای جلوگیری از تولید و انتشار AMD است. اهداف استفاده از پوشش خشک عبارتند از: به حداقل رساندن جریان آب ورودی به توده سولفیدی و ایجاد مانع برای نفوذ اکسیژن به داخل آن. جدا از این وظایف پوشش خشک باید در مقابل فرسایش مقاوم بوده و مانعی برای رشد گیاهان نباشد. برای مثال یک لایه با نفوذپذیری کم که با فشرده سازی برخی از مواد موجود در منطقه حاصل می شود، از امتیاز زیادی برخوردار است تا در اطراف باطله ها قرار گیرد. هدف از

<sup>۱</sup> - Water Cover System

<sup>۲</sup> - Dry Cover System

این کار ایجاد یک مانع هیدرولیکی برای جلوگیری از نفوذ آب می‌باشد. یک لایه فشرده نشده نیز می‌باید بر روی لایه فشرده قرار گیرد تا امکان رشد برای گیاهان وجود داشته باشد. در برخی موارد می‌توان از موادی برای پوشش خشک استفاده کرد که خود مصرف‌کننده اکسیژن بوده تا مانع رسیدن اکسیژن به توده سولفیدی شوند. از این نوع پوشش‌ها می‌توان از پوشش‌های حاوی مواد آلی یا سنگ‌آهک نام برد. در طراحی پوشش خشک چندین فاکتور وجود دارد که مهمترین آنها عبارتند از: شرایط آب و هوایی، میزان واکنش‌پذیری باطله‌ها و همچنین نوع آنها. باطله‌های با قدرت واکنش‌پذیری بالا معمولاً به پوششی با کیفیت بالاتر نیاز دارند [Mesquita, 2006].

## ۲-۱۵-۳- خنثی سازی<sup>۱</sup>

درجه آلودگی حاصل از اکسیداسیون باطله‌ها به شرایط سیستم از لحاظ اسیدی و قلیایی بودن نیز بستگی دارد. اگر مقدار قابل توجهی مواد قلیایی در باطله‌ها موجود باشد، اسید تولید شده در اثر اکسیداسیون سولفیدها تا حدود زیادی خنثی می‌شود. در شرایط خنثی از لحاظ pH، فلزات تمایل دارند تا به صورت هیدروکسید رسوب کنند. برخی از فلزات نیز به صورت جذب سطحی به این رسوبات می‌چسبند. لذا در این صورت استفاده از سنگ‌آهک یا ترکیبات قلیایی مشابه، با افزایش pH محیط شرایط را برای رسوب یونهای فلزی به صورت هیدروکسید فراهم می‌کند. و از حرکت بیشتر آنها به صورت محلول جلوگیری کرده و مانع ایجاد و انتشار AMD می‌شود.

اکسیدکلسیم، سنگ‌آهک و هیدروکسیدسدیم می‌توانند پساب‌های اسیدی معدن را تا pH ۶/۵ تا ۸ خنثی نمایند. و سبب کاهش آهن تا غلظت ۷ ppm گردند. واکنش‌های خنثی‌کننده اسید معمولاً با ته‌نشین شدن یا تشکیل رسوب هیدروکسیدهای فلزی همراه هستند [McGinness, 1999].

<sup>۱</sup> -Neutralisation

بیشترین نرخ اکسید شدن پیریت در pH بین ۲/۴ تا ۳/۶ رخ می‌دهد. در pH پایین، آهن سه‌ظرفیتی به عنوان یک عامل اکسیدکننده عمل نموده ولی در pHهای بزرگتر از ۳/۵ آهن سه‌ظرفیتی به صورت هیدروکسید آهن ته‌نشین می‌شود. مطالعات نشان داده‌اند که در pH زیر ۴، کانیهای ثانویه می‌توانند کانی ژاروسیت را تولید نمایند. این کانی یک نقش اساسی برای نگه داشتن اسیدیته سیستم به مدت طولانی حتی بعد از آنکه پیریت و یا سایر کانیهای سولفیدی مصرف شدند، ایفا می‌کند.

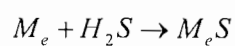
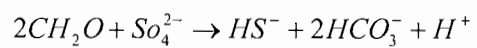
امروزه خنثی کردن آبهای اسیدی و رسوب دادن فلزات با یک عامل خنثی‌کننده از قبیل هیدروکسید کلسیم یا سدیم و کربنات کلسیم یا سدیم متداولترین و ساده‌ترین روش بوده که نسبتاً کم هزینه می‌باشد و به روش شیمیایی یا سیستم تصفیه فعال<sup>۱</sup> موسوم است. برای رسوب دادن فلزاتی چون مس، روی، کادمیوم، منگنز، سرب و آهن دوظرفیتی یک pH بزرگتر از ۹ لازم است تا قابلیت حلالیت هر یک از یونهای فلزی گفته شده را کاهش دهد. آهن سه‌ظرفیتی و آلومینیم در pH زیر ۵ هیدرولیز شده و رسوب می‌نمایند. در فرآیند خنثی کردن با آهک، فلزات و سولفات به ترتیب به صورت کمپلکسهای هیدروکسید فلزی و ژپس رسوب می‌کنند. فرآیند خنثی کردن و تشکیل رسوب با آهک ممکن است معایبی از قبیل تشکیل گل‌ولای همراه باشد که کارایی این روش برای حذف فلزات کاهش می‌یابد.

## ۲-۱۵-۴- استفاده از میکروآرگانیسم‌ها برای تصفیه

میکروآرگانیسم‌ها اساساً می‌توانند با فرآیندهایی از قبیل احیای فلزات و سولفات‌ها و همچنین دیگر فرآیندهای تولید مواد آلیکال در تصفیه AMD نقش داشته باشند. گروهی از باکتری‌ها موسوم به باکتری‌های احیا کننده سولفات، از قبیل *DesulphoribriSpp* قادرند سولفات موجود در AMD را به سولفید تبدیل نمایند. فرآیند احیای سولفات منجر به تولید سولفید هیدروژن می‌گردد. سولفید هیدروژن تولید شده کمپلکس‌های فلزی غیر محلول را به وجود می‌آورد که منجر به حذف فلزات می‌گردد. بیکربنات

<sup>۱</sup> -Active

آزاد شده منجر به افزایش خاصیت قلیایی سیستم می‌شود. واکنش‌های شیمیایی این فرآیند به صورت زیر است.



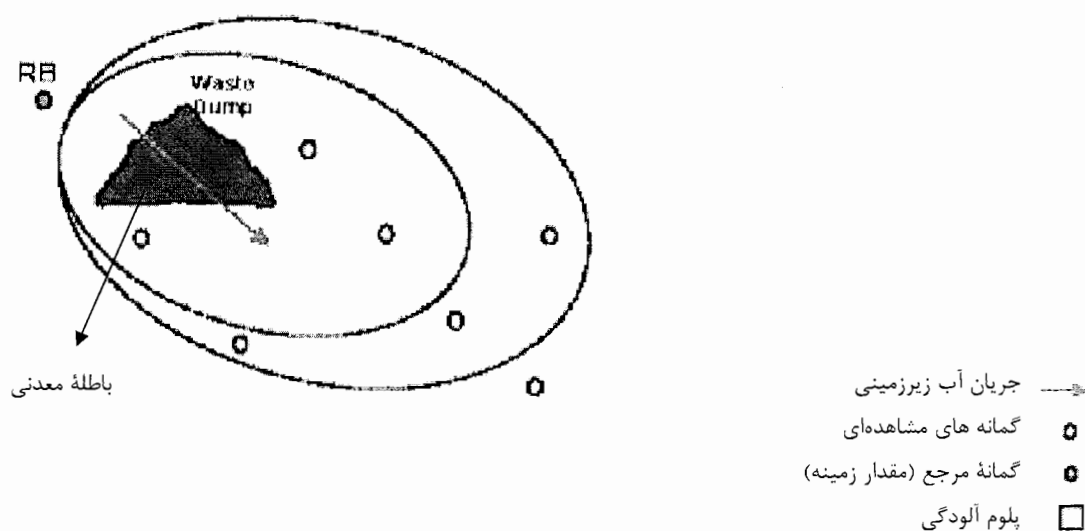
که در آنها  $CH_2O$  بیانگر ماده آلی بوده و  $M_e$  یک فلز سنگین است. این فرآیند برای کاهش فلزات سنگین همچون کادمیوم، مس، سرب، جیوه، روی و آهن با غلظت‌های کم مناسب است [دولتی و همکار، ۱۳۸۵].

## ۲-۱۶- مونیتورینگ (پایش) انتقال آلاینده با حفر گمانه

به منظور تعیین مواردی مثل میزان pH و مقدار عناصر سنگین می‌توان از حفر گمانه‌هایی در سفره آب زیرزمینی و در مناطق پایین دست محل انباشت باطله‌های معدنی استفاده نمود.

باید توجه داشت که سیستم پایش باید به گونه‌ای انجام شود که اطلاعات لازم را هم در زمان کار معدن و هم بعد از اتمام عمر معدن فراهم نماید. تحقیقات هیدروژئولوژیکی می‌تواند بهترین موقعیت را برای محل حفر گمانه‌ها در اختیار ما قرار دهد تا بتوان غلظت و جهت انتشار مواد سولفیدی یا فلزات متحرک را در سیستم آب زیرزمینی پیش‌بینی کرد.

نتایج بدست آمده از آنالیز داده‌های گمانه‌ها باید با مقدار زمینه مقایسه شود تا مشخص گردد در چه نقاطی AMD در حال تولید شدن است [Mesquita, 2006].



شکل ۲-۶: تصویر نمودن انتقال آلاینده به کمک حفر گمانه

فصل سوم

موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی منطقه، آب و هوا و منابع

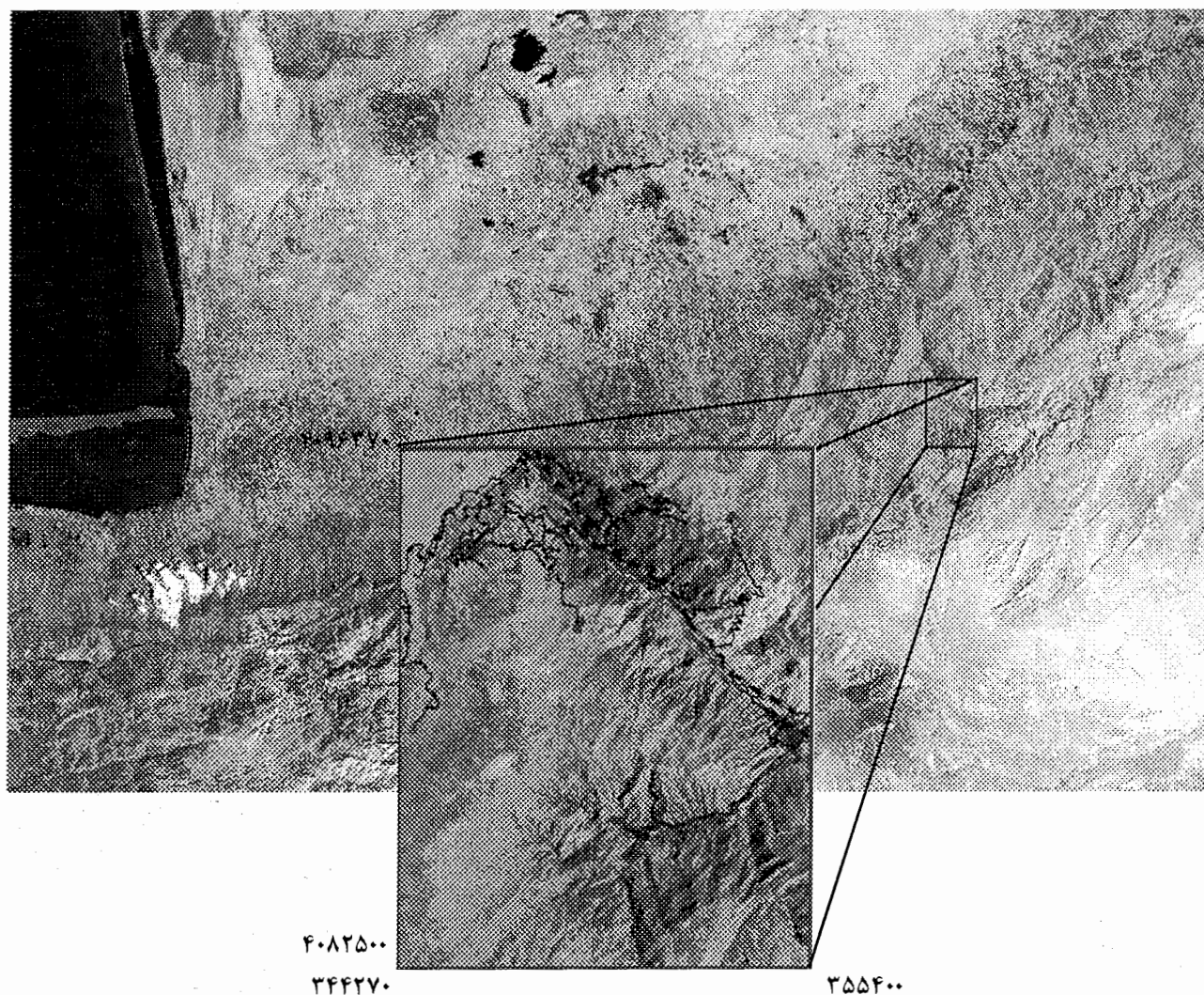
### ۳-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه

در ناحیه البرز شرقی بیشترین مقادیر زغال سنگ مربوط به یک ناودیس بزرگ با امتداد شمال شرقی - جنوب غربی است که از منطقه مینودشت شروع می شود و تا منطقه رامیان ادامه می یابد. این منطقه به نام منطقه زغال دار قشلاق شناخته می شود [یزدی، ۱۳۸۲].

از لحاظ جغرافیایی مهمترین معادن زغال سنگ منطقه، در محدوده ای از طول جغرافیایی  $۵۵^{\circ} ۱۵' ۰۰''$  تا  $۵۵^{\circ} ۳۰' ۲۲''$  و عرض جغرافیایی  $۳۶^{\circ} ۵۲' ۳۰''$  تا  $۳۷^{\circ} ۰۰' ۰۰''$  که معادل با  $۳۴۴۲۷۰$  تا  $۳۵۵۴۰۰$  و  $۴۰۸۲۵۰۰$  تا  $۴۰۹۶۳۷۰$  در مختصات UTM می باشد، قرار دارد. معادن زغال سنگ وطن و قشلاق مهمترین معادن واقع در این منطقه هستند که به علت حضور تنها کارخانه زغال شویی منطقه که در معدن قشلاق قرار دارد، تمرکز و توجه بیشتری به این معدن خواهیم داشت. در شکل ۳-۱ می توان موقعیت منطقه مورد مطالعه را در تصویر ماهواره ای استان گلستان مشاهده نمود.

قسمتهای شمالی این منطقه دارای پوشش گیاهی انبوه، آب فراوان و زمینهای وسیع کشاورزی بوده و هر چه که در این منطقه به سمت جنوب پیش می رویم از پوشش گیاهی کاسته شده تا به مناطق نیمه کویری استان سمنان ختم می شود.

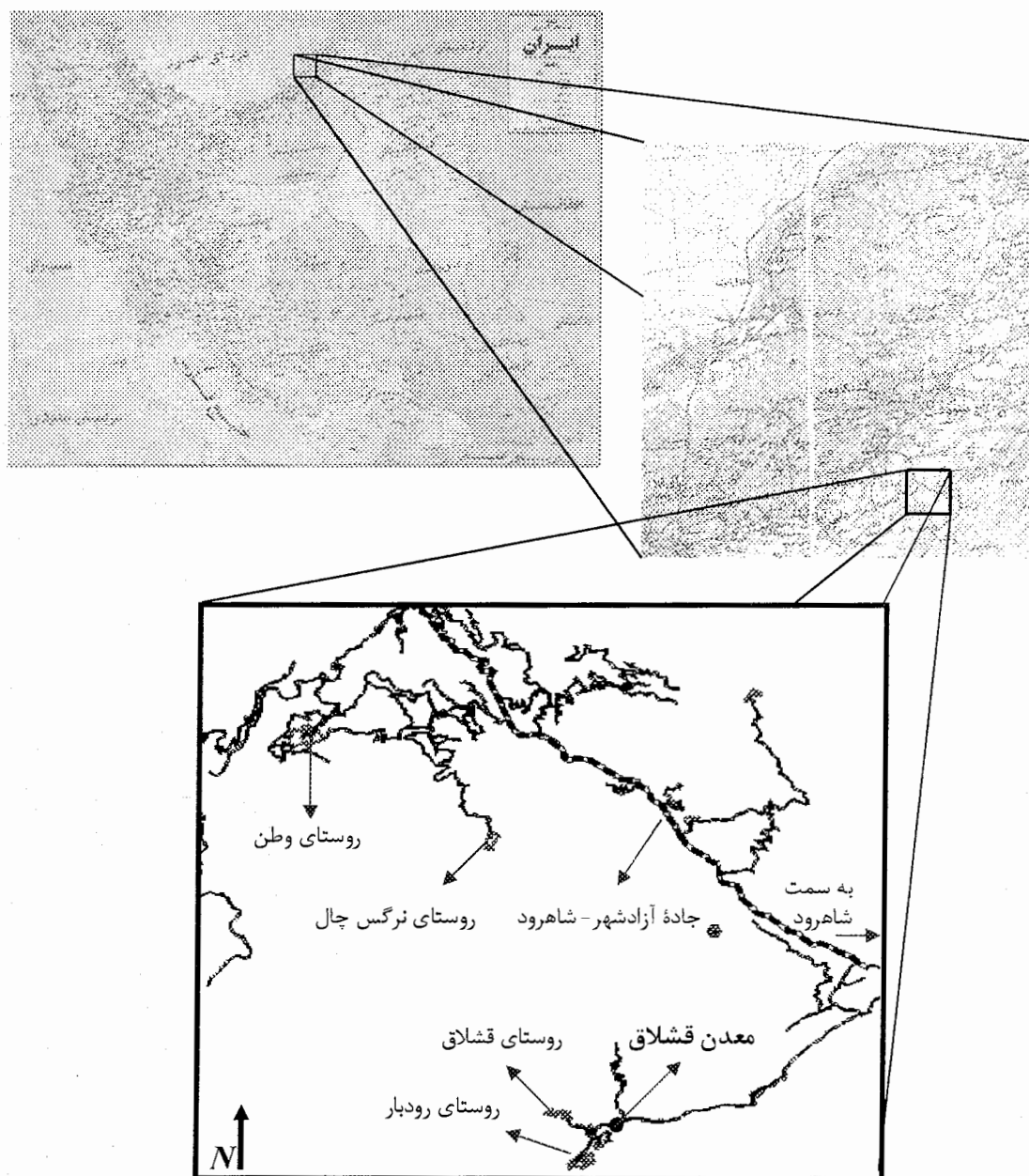




شکل ۳-۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در تصویر ماهواره‌ای استان گلستان به همراه جاده‌های اصلی و فرعی، رودخانه و مناطق مسکونی (مختصات بر حسب *UTM* می باشد) [شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان گلستان].

معدن زغال سنگ قشلاق، در کیلومتر ۴۰ از جاده آزادشهر - شاهرود و در فاصله ۷ کیلومتری از این جاده قرار داشته و تمام قسمتهای معدن شامل کارخانه زغال‌شویی، سرندها، کوره‌های کک‌پزی و سایر

تأسیسات جانبی به صورت متمرکز و در نزدیکی تونل اصلی معدن واقع شده‌اند. شکل ۲-۳ موقعیت جغرافیایی این معدن در منطقه را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۳: کروکی معدن قشلاق و موقعیت آن نسبت به منطقه و جاده اصلی [اطلس راههای ایران، ۱۳۸۰]

## ۳-۲- زمین شناسی منطقه

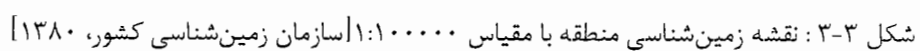
از لحاظ زمین شناسی، منطقه مورد نظر در برکه یکصد هزارم خوش ییلاق قرار دارد. جنس سنگ میزبان معادن زغال سنگ از نوع آرژیلیت، سیلتستون و ماسه سنگ بوده و سن آنها تریاس بالا تا ژوراسیک پایینی (سازند شمشک) است.

از دیدگاه زمین شناسی سازند شمشک در دره آنگ به سه واحد سنگی تقسیم می شود که واحد میانی بخش اعظم این سازند را تشکیل می دهد و در حدود ۱۲۰۰ متر ضخامت دارد و لایه های مختلف زغالی نیز در همین واحد قرار دارند. این لایه از شیل های خاکستری تیره تا سیاه، سیلتستون و ماسه سنگ تشکیل شده است [نقشه یکصد هزارم خوش ییلاق، سازمان زمین شناسی کشور، ۱۳۸۰].

در محدوده ورقه خوش ییلاق ذخایر قابل توجهی از زغال سنگ وجود دارد که این ذخایر بصورت لایه ها و عدسی هایی با ضخامتهای مختلف در واحد دوم سازند شمشک تشکیل شده اند. بیشترین برونزد سازند یاد شده در نواحی دره آنگ، مسیر رودخانه تیل آباد به آزادشهر و ارتفاعات بین این دو دره دیده می شود که معدن زغال سنگ قشلاق نیز در این ناحیه قرار دارد [سازمان زمین شناسی کشور، ۱۳۸۰].

زغال سنگ های این منطقه اغلب از نوع گازی، گازی چرب و کمتر از نوع کک شو چرب و کک شو هستند. مقدار گوگرد این زغال سنگها کم و مقدار مواد فرار و خاکستر آنها متغیر است. مجموع ذخایر شناخته شده در این منطقه حدود ۴۵۰ میلیون تن برآورد شده است [یزدی، ۱۳۸۲].

شکل ۳-۳ نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد.



## ۳-۳- اطلاعات تکتونیکی منطقه

رشته کوه‌های البرز در حاشیه جنوبی خود نه تنها از نقطه نظر ساختمانی بلکه از نظر چین‌های با ایران مرکزی شباهت زیادی دارد ولی در حاشیه شمالی البرز تفاوت فاحشی با ایران مرکزی مشاهده می‌شود.

فاز کوهزایی سمیرین پیشین مهمترین پدیده تکتونیکی ایران در اواخر تریاس می‌باشد که در البرز با حرکات خشکی‌زایی همراه بوده است اثر این چین‌خوردگی را در سرتاسر ایران به جز زاگرس می‌توان مشاهده کرد. در ایران مرکزی و شرق البرز و کپه داغ وجود دگرشیبی زاویه‌دار بین تریاس بالایی یا ژوراسیک تحتانی با سنگ‌های قدیمی‌تر نشان دهنده یک فاز کوهزایی است. در اثر این پدیده در بخش عمده‌ای از ایران رژیم رسوبگذاری تغییر نموده است. به طوریکه در ایران مرکزی و شرق البرز سنگ‌های کربناته تریاس میانی (تشکیلات الیکا) به رسوبات آواری زغال‌دار (تشکیلات شمشک) تبدیل گردیده است و رسوبات کولابی- خشکی ژوراسیک تحتانی را به وجود آورده‌اند.

فاز کوهزایی بعدی، فاز سمیرین جوان می‌باشد که در اواخر ژوراسیک و اوایل کرتاسه اتفاق افتاده است که در نتیجه آن تغییرات عمده‌ای در رخساره رسوبات ژوراسیک بوجود آمده است به طوریکه رسوبات کولابی و ساحلی بسیار کم عمق تشکیلات شمشک به رسوبات دریایی و کربناته تشکیلات دلیچای، لار تبدیل می‌شود. فازهای کوهزایی سمیرین و لارامید و فاز تکتونیکی آسترین و فازهای بعدی کوهزایی آلپین بر روی حوزه البرز اثرات تکتونیکی مهمی گذاشته‌اند به طوریکه عملکرد آنها به صورت چین‌خوردگی‌ها و گسل‌های عمده و دگرشیبی‌ها و نبود چین‌های در برخی مناطق ایران مشاهده می‌شود. اکنون با توجه به رخدادهای تکتونیکی فوق مشخص می‌گردد که:

۱. تشکیلات متناوب ماسه‌سنگی، شیلی، زغالی شمشک در اوایل ژوراسیک و اواخر تریاس با

دگرشیبی بر روی تشکیلات الیکا رسوبگذاری نموده است.

۲. در نتیجه عملکرد فازهای کوهزایی بعد از سمیرین آغازین بر روی تشکیلات شمشک در اثر تغییر محیط رسوبگذاری، رسوبات کربناته دلیچای، لار قرار گرفته است.

۳. چون در ژوراسیک میانی هنوز به طور کامل محیط کولابی- خشکی از بین نرفته است لذا پیشروی دریا در این زمان که نشانگر تشکیلات کربناته ژوراسیک میانی- فوقانی دلیچای، لار می باشد در اکثر نقاط از جمله سینکلینال اولنگ- قشلاق بر روی سری زغالی شمشک وجود ندارد.

۴. فاز های کوهزایی بعد از سمیرین آغازین رسوبات زغالی تشکیلات شمشک را در مناطق مختلف به صورت چین خورده در آورده اند از جمله این چین ها می توان ناودیس اولنگ- قشلاق را ذکر نمود.

مهمترین عوارض تکتونیکی منطقه عبارتند از:

ناودیس نرگس چال: این ساختمان، گستره وسیعی از ارتفاعات جنگلی شمال ورقه خوش ییلاق (منطقه مورد مطالعه) را در بر می گیرد. واحد سنگی درگیر در این ناودیس را سازند شمشک تشکیل می دهد و به خاطر دارا بودن ذخایر زغال سنگ مورد توجه است. هسته این ناودیس از واحد بالایی سازند شمشک (ماسه سنگ و کنگلومرا) تشکیل شده است و محور آن نیز روند NE-SW دارد.

تاقدیس رودبار: ساختمانی کوچک است که در شمال روستای خوش ییلاق قرار دارد. طول محور آن به دو کیلومتر می رسد و در یال جنوبی سازند نرگس چال قرار دارد. این تاقدیس از واحد اول سازند شمشک (شیل و ماسه سنگ) تشکیل شده است. صفحه محوری دارای شیبی به سمت شمال می باشد. این چین در مجاورت گسل رودبار قرار دارد و از نوع چین های پیشروی<sup>۱</sup> می باشد. این ساختمان بطور جانبی از سمت شرق و غرب از بین می رود.

<sup>۱</sup> -Fault propagation

ناقديس تیل آباد: این ساختمان در ضلع شمالی روستای تیل آباد واقع شده است و تماماً از سازند مبارک تشکیل گردیده است. این ساختمان طولی در حدود ۷ کیلومتر داشته و هر دو یال آن توسط گسل‌هایی بریده شده است.

در منطقه گسل‌های متعددی وجود دارد که روند عمومی آنها NE-SW می‌باشد ولی مهمترین گسل منطقه، گسل وطن می‌باشد که در ضلع شمال غربی ناودیس نرگس چال قرار دارد و جدا کننده سازند شمشک از رسوبات قدیمی‌تر است. در مسیر جاده النگ، این گسل عملکرد قائم دارد و باعث شده نهشته‌های کربونیفر و پرمین در کنار سازند شمشک قرار بگیرد ولی به سمت شمال در منتهی الیه حد شمالی ورقه، گسل وطن به سمت SE شیب دارد. امتداد این گسل تقریباً N35E است. شایان ذکر است گسل‌های متعدد دیگری نیز در منطقه وجود دارد که به دلیل کم اهمیت بودن نامگذاری نشده‌اند [سازمان زمین شناسی کشور، ۱۳۸۰].

### ۳-۴- آب و هوای منطقه

منطقه مورد مطالعه دارای آب و هوای متفاوت می‌باشد به طوریکه از یک طرف تحت تاثیر هوای سرد و خشک استان سمنان قرار گرفته و به علت کوهستانی بودن معمولاً زمستان‌های سرد و پر برف دارد از طرف دیگر در این بخش هر چه به سمت شمال پیش می‌رویم، به علت نزدیک بودن به استان گلستان آب و هوای منطقه تحت تاثیر آب و هوای دریایی شمال قرار گرفته و معتدل و مرطوب می‌شود به طوری که تابستان‌های معتدل دارد.

### ۳-۵- تاریخچه اکتشاف در منطقه

مطالعات ژئوفیزیکی در این منطقه از تاریخ ۱۳۶۰/۴/۴ با حفر چاه شماره ۷۰۱ آغاز و تا سال ۱۳۷۵، ۹۴ حلقه چاه حفر گردیده است که تعداد ۵۳ حلقه آن در بخش ملج آرام فوقانی می‌باشد. این

تحقیقات که در اصطلاح به نام کاروتاژ معروف است در واقع عبارت است از بررسی تغییرات بعضی از پارامترهای فیزیکی لایه‌های مسیر حفاری. دیاگرام‌های ژئوفیزیکی اطلاعات دقیقی در مورد لیتولوژی و استراتوگرافی لایه‌های مورد نظر در اختیار ما می‌گذارند.

هدف از انجام مطالعات ژئوفیزیکی عبارتست از:

۱. بررسی خواص فیزیکی سنگ‌ها
۲. تعیین درجه حرارت در اعماق مختلف
۳. اندازه‌گیری مشخصات چاه
۴. نمونه‌برداری از لایه‌های زغالی
۵. تعیین لیتولوژی مقاطع چاه‌ها
۶. تعیین ضخامت و عمق دقیق لایه‌های زغالی

### ۳-۶- روش استخراج

روش استخراج در معادن این منطقه به صورت پلکانی معکوس می‌باشد. این روش برای استخراج لایه‌های کم شیب با ضخامت‌های متفاوت و نیز لایه‌های زغالی پر شیب به ضخامت حدود ۱/۵ متر به کار می‌رود. در این روش افق زیرین و فوقانی توسط دوپل‌هایی به هم مرتبط می‌شوند. حفر دوپل‌ها عمدتاً با دست و از پایین به بالا و یا از بالا به پایین است و در برخی موارد به کمک دستگاه‌های دوپل زن انجام می‌شود. شیب دوپل‌ها، شیب لایه زغالی و امتداد آن در جهت بزرگترین شیب است. پس از آماده شدن دوپل‌ها برای ایجاد کارگاه استخراج در طرفین دوپل شروع به ایجاد پله‌هایی با ارتفاع ثابت می‌کنند به طوریکه هر پیکور کار در یکی از پله‌ها مشغول به کار شده و از ریزش زغال توسط کارگر بالا دست محفوظ می‌ماند.



۳-۷- دمپ‌های باطله<sup>۱</sup>

همان‌گونه که قبلاً ذکر شد، در معادن زغال‌سنگ، زغال‌های کم عیار که میزان خاکستر و مواد فرار آنها زیاد می‌باشد و همچنین مواد حاصل از فرآیند زغال‌شویی به دلیل اقتصادی نبودن از چرخه مصرف خارج شده و در گوشه‌ای نزدیک معادن تخلیه می‌شوند و دمپ‌های باطله را تشکیل می‌دهند. انتخاب محل مناسب برای این کار از اهمیت فوق العاده‌ای برخوردار است چون همانگونه که در فصل قبل ذکر شد، عوامل محیطی (مثل میزان آب موجود در محل) در تشکیل پساب اسیدی نقش تعیین کننده‌ای دارند. به همین دلیل در فصل آینده سعی شده است با استفاده از اطلاعات و نقشه‌های موجود، بهترین محل برای انباشت این مواد با در نظر گرفتن ملاحظات زیست محیطی تعیین گردد.

در منطقه آزادشهر به دلیل تعدد معادن زغال‌سنگ، تعداد این دمپ‌ها نیز افزایش یافته و این در حالی است که بزرگترین دمپ باطله منطقه در کنار رودخانه قرار دارد که این امر باعث افزایش پتانسیل تولید پساب اسیدی در منطقه می‌شود.

در منطقه برای انباشت این مواد به دو صورت عمل می‌شود. در حالت اول، به دلیل وجود تپه‌های متعدد در شمال این ناحیه، این مواد را در دامنه تپه‌ها تخلیه می‌کنند. در حالت دوم که در مکان‌های هموارتر اجرا می‌شود بعد از حمل زغال به محل دپو، آنها را به صورت کپه‌ای تخلیه کرده و وقتی تعداد این کپه‌ها زیاد شد با بولدوزر و گریدر آنها را صاف می‌کنند تا امکان تخلیه مواد بعدی فراهم شود. در شکل ۳-۴ تصاویری از این نوع دمپ‌ها مشاهده می‌شود.

<sup>۱</sup> -Waste Dump

آزادشهر و رامیان و در حوزه زغال دار قشلاق واقع شده‌اند. در حال حاضر ۱۰ معدن فعال در منطقه موجود می‌باشد که میزان متوسط درصد مواد فرار زغال استحصالی از این معادن بین ۲۶ تا ۲۸ درصد، خاکستر بین ۹ تا ۴۰ درصد و گوگرد بین ۰/۶ تا ۱/۰۲ درصد می‌باشد [سازمان صنایع و معادن استان گلستان، ۱۳۸۴]. اطلاعات بیشتر در مورد معادن زغال سنگ این منطقه در جدول ۱-۳ نشان داده شده است.

جدول ۱-۳: اطلاعات معادن زغال سنگ منطقه (سازمان صنایع و معادن استان گلستان)

| ویژگی<br>نام معدن | مختصات جغرافیایی (UTM) |         | ذخیره قطعی<br>هزار تن | ذخیره احتمالی<br>هزار تن | استخراج<br>سالیانه<br>(هزار تن) |
|-------------------|------------------------|---------|-----------------------|--------------------------|---------------------------------|
|                   | طول                    | عرض     |                       |                          |                                 |
| قشلاق ۱           | ۳۴۴۹۲۱                 | ۴۰۹۹۲۷۰ | ۱۵۳۰                  | ۳۰۶۰                     | ۸۸/۵                            |
| قشلاق ۲           | ۳۵۱۱۶۵                 | ۴۰۸۶۵۹۰ | ۱۴۷۶                  | ۲۹۵۲                     | ۴۵                              |
| ملج آرام تحتانی   | ۳۳۸۷۱۴                 | ۴۰۸۲۹۰۴ | ۱۲۹۰                  | ۲۵۸۰                     | ۴۰/۵                            |
| رضی               | ۳۳۵۹۵۱                 | ۴۰۸۶۰۷۱ | ۱۱۰۰                  | ۳۱۰۰                     | ۳۵                              |
| جوز چال ۱         | ۳۳۱۷۰۹                 | ۴۰۸۳۱۳۲ | ۳۰۳                   | ۶۰۶                      | ۱۹                              |
| جوز چال ۲         | ۳۳۸۵۳۴                 | ۴۰۷۹۹۷۹ | ۵۰۰                   | ۳۲۰۰                     | ۱۲                              |
| ملج آرام فوقانی   | ۳۴۲۱۱۵                 | ۴۰۸۶۰۱۶ | ۲۵۰۰                  | ۶۷۰۰                     | ۱۲                              |
| چشمه ساران        | ۳۵۱۵۴۹                 | ۴۰۸۷۵۴۱ | ۱۳۵                   | ۲۷۳                      | ۹                               |
| زمستان یورت       | ۳۵۰۹۳۱                 | ۴۱۰۴۴۴۶ | ۸۷۰                   | ۱۷۴۰                     | ۸                               |
| نرگس چال          | ۳۴۷۶۶۸                 | ۴۰۹۱۹۵۷ | ۷۵                    | ۱۵۰                      | ۵                               |

### ۳-۹- کارخانه زغال شویی

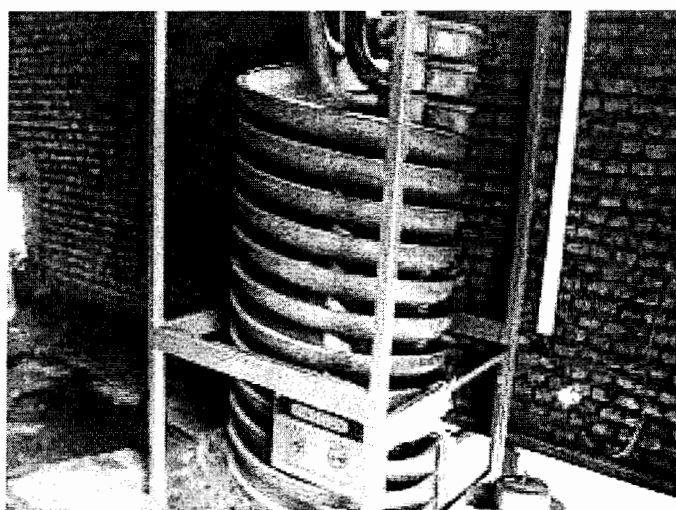
در کشور ما اصطلاح زغال شویی را برای جدا نمودن مواد لیچه از زغال سنگ به کار می‌برند که لیچه به لایه‌های رسی و آرژیلیتی بین لایه‌های زغال سنگ اطلاق می‌شود. در معادن ناحیه آزادشهر تنها یک کارخانه زغال شویی وجود دارد که مربوط به معدن زغال سنگ قشلاق ۲ می‌باشد. در این معدن برای شستشوی زغال از روش تر (به دلیل استفاده از آب در فرآیند شستشو) استفاده می‌شود. برای این منظور بدون اینکه بر روی زغال سنگ استخراجی خردایشی صورت دهند، بعد از دسته‌بندی توسط سرند معدن و تقسیم زغال به ابعاد دانه ریز و دانه درشت، قطعات درشت وارد دستگاه جیگ ماشین می‌شود تا با مخلوطی از آب و گل مورد شستشو قرار گیرد و ذرات ریز توسط دستگاهی موسوم به مارپیچ همفري مورد شستشو قرار می‌گیرند و سپس باطله‌های حاصله را در نقطه‌ای نزدیک معدن انباشت می‌کنند.

اساس روش جدایش زغال سنگ از مواد باطله در جیگ ماشین بر مبنای اختلاف وزن مخصوص بین آنهاست به این ترتیب که معمولاً وزن مخصوص زغال سنگ در حدود  $1/3$  است که کمتر از شیل با وزن مخصوص  $2/4$  و پیریت با وزن مخصوص ۵ است. لذا در جیگ ماشین، هنگام شستشو، زغال در قسمت بالا و مواد باطله در قسمت پایین تجمع می‌یابند و در مارپیچ همفري ذرات زغال در قسمتهای کناری و باطله‌ها در قسمتهای مرکزی قرار می‌گیرند و به این ترتیب زغال از باطله جدا می‌شود. شکل ۳-۵ نمایی از ماشین آلات کارخانه زغال شویی معدن قشلاق را نشان می‌دهد.

بدلیل افزایش میزان پیریت در باطله‌های حاصل از فرآیند زغال شویی، پتانسیل تولید پساب اسیدی در این مواد به شدت افزایش می‌یابد لذا در انتخاب محل و طریقه انباشت این مواد باید به گونه‌ای عمل شود که حداقل میزان آب و اکسیژن در تماس با این مواد قرار گیرد.



الف



ب

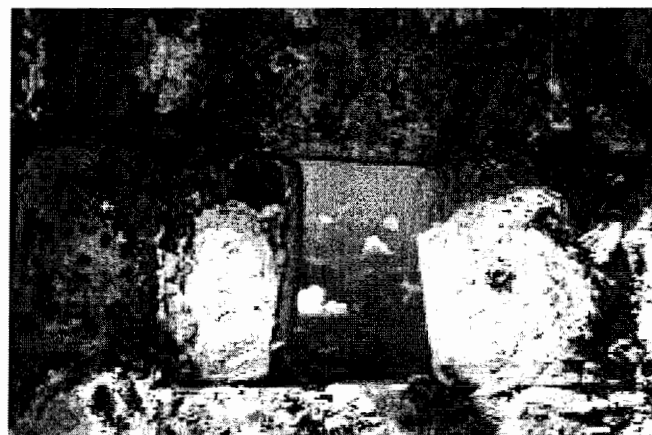
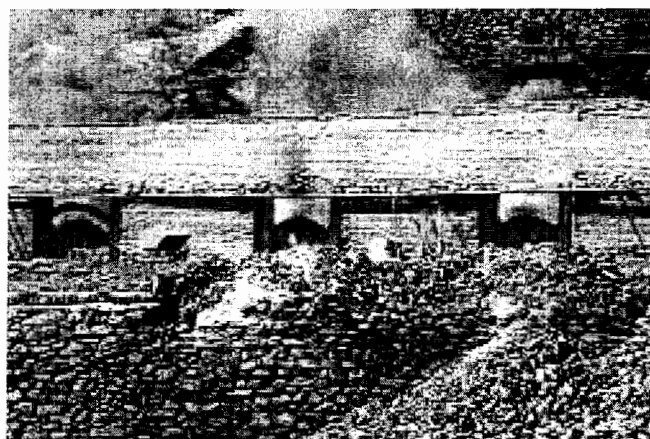
شکل ۳-۵: الف) دستگاه جیگ ماشین کارخانه زغال شویی ب) ماریچ همفری

### ۳-۱۰- کوره های کک پزی

یکی از ویژگیهای معدن زغال سنگ قشلاق، کامل بودن چرخه تولید آن است بطوری که در این معدن، زغال استخراج شده و پس از طی مراحل مختلف، کک به عنوان محصول نهایی به بازار مصرف عرضه می گردد. برای تهیه کک در این معدن، زغال حاصل از مرحله شستشو را خرد کرده و سپس در کوره های کک پزی بدون حضور اکسیژن به مدت ۴۸ ساعت حرارت می دهند که محصول خروجی ماده ای

متخلخل و خاکستری رنگ بوده که چگالی کمتری نسبت به زغال سنگ دارد و عمده ترین مصرف آن در صنایع ذوب فولاد است.

همانطور که قبلاً هم اشاره شد، زغال سنگ از موادی است که از مرحله استخراج تا مصرف در صنعت، باعث ایجاد آلودگی در محیط زیست می شود. دود ناشی از کوره های کک پزی نیز یکی از این مشکلات است که در فرآیند تبدیل زغال سنگ به کک ایجاد می شود شایان ذکر است که در معدن قشلاق در حدود ۲۰ کوره کک پزی وجود دارد. در شکل ۳-۶ تصاویری از کوره های کک پزی معدن قشلاق نشان داده شده است.



شکل ۳-۶ : کوره های کک پزی معدن قشلاق

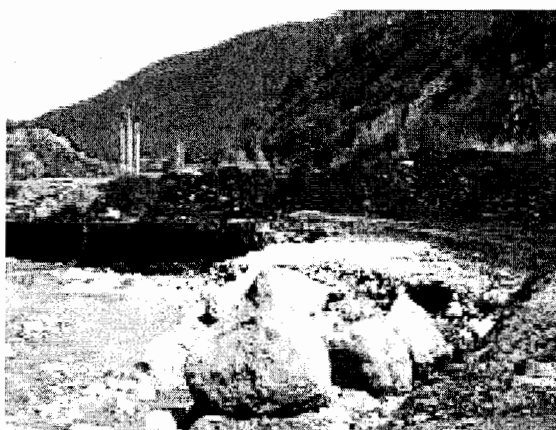
## ۳-۱۱- مشاهدات صحرایی

شاید بهترین روش برای درک اثرات آلودگی زیست محیطی در منطقه، مشاهداتی باشد که در این ناحیه انجام می‌گیرد و این در حالی است با کمی دقت می‌توان اثرات نامطلوب انباشت باطله‌های زغال‌سنگ در منطقه را مشاهده کرد و از آن جمله می‌توان به پوشش ضعیف گیاهی در اطراف دپ‌های باطله، تخلیه آب‌های آلوده خروجی از معدن در رودخانه‌ها و بی‌توجهی به انباشت و تخلیه زغال در کنار رودخانه‌ها، جویبارها، مناطق کشاورزی و یا در مناطق جنگلی و دامنه تپه‌ها اشاره کرد که عدم توجه به این مسائل پتانسیل تولید پساب اسیدی و افزایش اثرات نامطلوب آنرا باعث می‌شود و این در حالی است که AMD در برخی از مناطق در حال تولید شدن است و شاید بتوان تنها با کمی توجه به انتخاب محل انباشت زغال، تا حد زیادی از تولید و انتشار آلودگی جلوگیری کرد. لذا به کمک این مشاهدات می‌توان مکان‌هایی را که در آن احتمال تولید آلودگی وجود دارد به صورت بصری تعیین کرده و سپس ادامه مطالعات را معطوف به این نقاط نمود.

در منطقه زغال‌دار قشلاق، ده معدن فعال و چندین معدن متروکه وجود دارد که در این معادن دهها تونل حفر شده است که هر کدام از این تونل‌ها به عنوان زهکش عمل کرده و آبهای اطراف را به سمت معدن هدایت می‌کنند و نتیجه آن آلودگی این آبها در اثر تماس با مواد سولفیدی موجود در زغال است. به طوری که از اغلب این تونل‌ها، کم و بیش پساب خارج می‌شود که مقدار پساب بستگی به میزان آب در دسترس دارد. به عنوان مثال در فصل‌هایی که میزان بارندگی بیشتر است مثل بهار، میزان پساب بیشتری از معدن خارج می‌شود.

از طرف دیگر، دپ‌های متعددی در منطقه یافت می‌شود که به دلیل سهل‌الوصول بودن انباشت آنها در اطراف رودخانه‌ها و در دسترس بودن اکسیژن کافی به دلیل جنگلی بودن منطقه، شرایط لازم برای تولید پساب اسیدی فراهم بوده به طوری که شواهدی از به وجود آمدن AMD در اطراف این دپ‌ها به چشم می‌خورد. در شکل ۳-۷ می‌توان نمونه‌ای از تولید پساب اسیدی در منطقه را مشاهده نمود که

مربوط به تونل شماره ۳ معدن زغال سنگ رضی است که پساب حاصله بعد از طی مسافت کوتاهی در رودخانه موجود در منطقه تخلیه می گردد. همچنین بی توجهی به انباشت باطله در مجاورت رودخانه نیز باعث افزایش پتانسیل پساب اسیدی در منطقه شده است.



شکل ۳-۷: در این تصاویر می توان تخلیه زغال در کنار رودخانه و تولید و خروج AMD در معادن و دپ ها و تخلیه پساب حاصله در رودخانه ها را مشاهده نمود.

## ۳-۱۲- بارندگی در منطقه

همانطور که ذکر شد میزان رطوبت و آب، نقش تعیین کننده ای در تولید پساب های اسیدی دارد. ناحیه زغال دار قشلاق به دلیل واقع شدن در شمال کشور و منطقه ای جنگلی، از میزان بارندگی بالایی برخوردار است. در جدول ۳-۲ بارندگی سالیانه که از مجموع بارندگی در ماه های مختلف حاصل می شود، نشان داده شده است.

جدول ۳-۲: میزان بارندگی ثبت شده در ایستگاه های منطقه [شرکت سهامی آب منطقه ای استان گلستان، ۱۳۸۵]

| بارندگی سالیانه (میلیمتر) |                      | سال آبی |
|---------------------------|----------------------|---------|
| ایستگاه فارسین (قشلاق)    | ایستگاه رامیان (رضی) |         |
| ۵۸۱/۸                     | ۸۳۵/۳                | ۱۳۷۵-۷۶ |
| ۸۶۳/۵                     | ۱۰۸۵                 | ۷۶-۷۷   |
| ۵۱۲                       | ۸۲۳                  | ۷۷-۷۸   |
| ۶۹۴                       | ۱۰۷۶/۵               | ۷۸-۷۹   |
| ۵۷۴                       | ۹۹۸                  | ۷۹-۸۰   |
| ۶۹۲                       | ۷۸۹/۵                | ۸۰-۸۱   |
| ۷۷۹                       | ۸۷۱                  | ۸۱-۸۲   |
| ۷۱۹/۸                     | ۹۲۹/۵                | ۸۲-۸۳   |
| ۸۹۵                       | ۱۰۳۶/۵               | ۸۳-۸۴   |



فصل چهارم

مدیریت ریسک های منطقه به کمک GIS

## مقدمه

در این فصل سعی خواهیم کرد ابتدا مقدمه‌ای در مورد سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی بیان کرده و در ادامه، به کمک نقشه‌های منطقه مورد مطالعه و با توجه به شرایطی که متناسب با جغرافیای محل در نظر گرفته شده است، بهترین مکان را برای انباشت باطله‌های معادن زغال‌سنگ با نگرش ویژه به مسائل زیست محیطی تعیین نماییم.

۴-۱- سیستم اطلاعات جغرافیایی<sup>۱</sup>

سیستم اطلاعات جغرافیایی یا GIS یک سیستم کامپیوتری برای مدیریت و تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی بوده که قابلیت جمع‌آوری، ذخیره، تجزیه و تحلیل و نمایش اطلاعات جغرافیایی (مکانی) را دارد. داده‌ها در این سیستم بر اساس موقعیتشان نشان داده می‌شوند. هنگامی که اطلاعات جغرافیایی در کامپیوتر ذخیره شود، می‌توان پرسشهایی از پایگاه اطلاعاتی سیستم انجام داد که پاسخ‌گویی به آنها بدون در اختیار داشتن اطلاعات کامپیوتری امکان‌پذیر نیست.

یک سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) دارای پنج قسمت اصلی می‌باشد که عبارتند از:

۱. سخت افزار (جهت ذخیره، پردازش و نمایش اطلاعات رقومی)

۲. نرم افزار (جهت انجام عملیات GIS)

<sup>۱</sup> -Geographical Information System

۳. اطلاعات رقومی جغرافیایی

۴. روش کار (مراحل لازم برای انجام انواع عملیات تحلیلی)

۵. تخصص (افرادی که دانش استفاده از سیستم را در اختیار دارند).

از این پنج عنصر اصلی GIS، افرادی که نحوه استفاده از سیستم را می‌دانند و همچنین نرم افزار مورد استفاده، مهمترین نقش را ایفا می‌کنند.

برای اینکه یک سیستم اطلاعات جغرافیایی مفید واقع گردد، باید قادر به دریافت و تولید اطلاعات به صورت موثر باشد. توابع ورودی و خروجی داده‌ها، مفاهیمی هستند که توسط آنها یک GIS با جهان بیرون ارتباط برقرار می‌کند [گرجی نژاد و برنا، ۱۳۸۰].

داده‌هایی که در سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌توانند وارد شوند دو نوع هستند:

۱. داده‌های مکانی که موقعیت جغرافیایی عوارض را نشان می‌دهند (نقاط یا خطوطی که عوارض جغرافیایی را نشان می‌دهند. مانند مختصات نقاط نمونه‌برداری، محل وقوع گسل، موقعیت یک دریاچه و غیره).

۲. داده‌های توصیفی غیر مکانی که به توصیف خصوصیات عوارض می‌پردازند، مثل عیار نمونه‌ها، میزان لغزش گسل، شوری آب یک دریاچه و غیره.

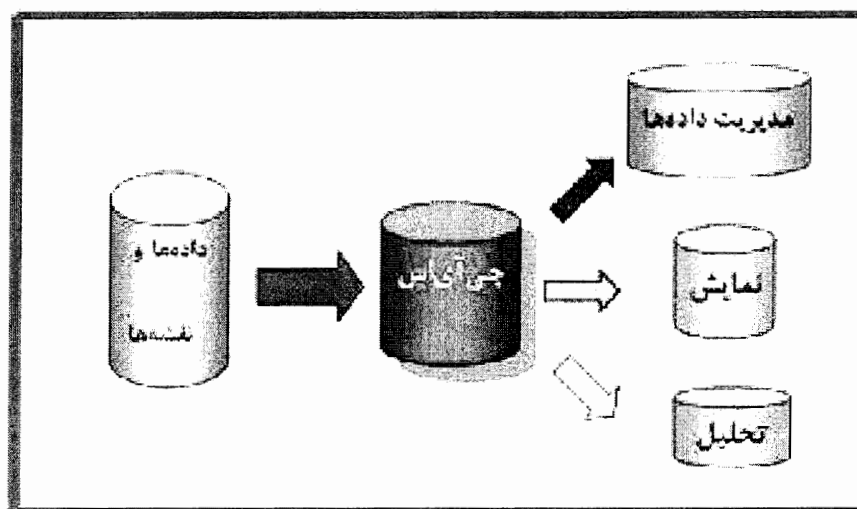
نکته مهم در مورد سیستم‌های GIS توجه به این نکته است که همه این سیستم‌ها دستوراتی دارند که آنها را قادر می‌سازد تا بتوانند کارهایی مثل ورود داده‌ها<sup>۱</sup>، ذخیره‌سازی و مدیریت داده‌ها<sup>۲</sup>، تجزیه و تحلیل و پردازش داده‌ها<sup>۳</sup> و خروج داده‌ها<sup>۴</sup> را انجام دهند (شکل ۴-۱).

<sup>۱</sup> -Data Input

<sup>۲</sup> -Data Storage & Management

<sup>۳</sup> -Data Manipulation & Analysis

<sup>۴</sup> -Data Output



شکل ۴-۱: ارکان یک سیستم GIS

نرم افزارهای GIS، عوارض و نقشه‌ها را یا به صورت مدل رستری<sup>۱</sup> ذخیره می‌کنند یا به صورت مدل وکتوری<sup>۲</sup>. مدل رستری یک شبکه پیکسلی را که در آن به هر عارضه یک کد اختصاص داده شده است، (مثلاً جاده کد ۱، جنگل کد ۲ و غیره) بر روی نقشه موجود قرار می‌دهد و بعد از آنکه تمام پیکسل‌ها متناسب با کدهای تعریف شده ارزش‌گذاری شد، شماره این کدها در یک ماتریس ذخیره می‌شود و آنگاه از روی این ماتریس نقشه ترسیم می‌شود.

در این مدل اگر بخواهیم کیفیت تصویر بیشتر شود باید تعداد پیکسل‌ها را بیشتر کرد. راحتی در طبقه‌بندی و تجزیه تحلیل و پردازش داده‌ها از مزایای این مدل و نیاز به حافظه زیاد از معایب آن می‌باشد. نرم افزار ایدرسی<sup>۳</sup> نمونه‌ای از این مدل است.

<sup>۱</sup> -Rastery Model

<sup>۲</sup> -Vector model

<sup>۳</sup> -Idrisi

در مدل وکتوری برای ذخیره اطلاعات از نقطه، خط و پلی‌گون استفاده می‌شود. در این مدل، حافظه اشغالی کم بوده ولی محاسبات طولانی‌تر است. نرم افزارهایی مثل آرک‌ویو<sup>۱</sup> و اتوکد<sup>۲</sup> از این مدل تبعیت می‌کنند.

هدف نهایی در یک سیستم GIS، تصمیم‌گیری بر اساس یکسری داده‌های مکانی که از ترکیب لایه‌های متفاوت داده‌ها با روشهای مختلف بدست می‌آیند، می‌باشد. امروزه با توجه به پیشرفت علوم و سیستم‌های کامپیوتری، GIS در زمینه‌های مختلفی مثل زمین‌شناسی، مطالعات زیست محیطی، منابع آب و آبخیزداری، کشاورزی، جنگلداری، تعلیم و تربیت، کاربردهای شهری، تجارت، صنعت، سازمانها و غیره کاربرد فراوانی پیدا نموده است. بطور مثال تجزیه و تحلیل اطلاعات زمین‌شناسی در یک منطقه چه به منظور اکتشافات معدنی، نفت و چه سایر اهداف، اصولاً یک فرایند ترکیبی از داده‌های مختلف می‌باشد. یک زمین‌شناس با مرتبط کردن داده‌های گوناگون زمین‌شناسی، به دنبال یافتن ساختارهای مفید زمین شناسی در یک ناحیه است، از این رو تمام داده‌های زمین‌شناسی برای این که بتوانند مفید واقع شوند باید با توجه به موقعیت جغرافیایی‌شان تجزیه و تحلیل شوند [www.ngdir.ir].

یکی دیگر از کاربردهای GIS، مکان‌یابی<sup>۳</sup> جهت سازه‌هایی است که محل احداث آنها تابع یکسری شرایط مثل نزدیکی به بازار مصرف، دسترسی به نیروی کار، نزدیکی به محصولات اولیه و یا دسترسی به منابع آبی می‌باشد. مثل کارخانه‌های سیمان، پالایشگاه‌ها و کارخانه‌های فرآوری و غیره. گاهی اوقات از این تکنیک می‌توان برای تعیین بهترین محل برای دفن یا انباشت مواد زائد یا باطله‌های معدنی نیز استفاده کرد که در این فصل سعی شده است با استفاده از GIS، بهترین محل برای انباشت باطله‌های حاصل از معادن زغال‌سنگ منطقه آزادشهر تعیین گردد.

<sup>۱</sup> -Arc View

<sup>۲</sup> -Auto Cad

<sup>۳</sup> -Site Selection

## ۴-۲- انواع نقشه‌های منطقه آزادشهر در GIS

همانطور که قبلاً اشاره شد داده‌های قابل قبول در GIS، داده‌های مکانی می‌باشد و نقشه‌ها یک نوع از این داده‌ها هستند که می‌توان جهت انجام انواع مطالعات وارد سیستم GIS کرد. در تحقیق حاضر به منظور استفاده از انواع نقشه‌های منطقه مورد مطالعه، از نرم افزار ArcView که یکی از متداول‌ترین و کارآمدترین نرم افزارهای GIS می‌باشد، استفاده گردید [ESRI.Com]. در این مطالعه ابتدا از نقشه‌های ۱:۵۰۰۰۰ استفاده شد ولی به دلیل انطباق ضعیف عوارض موجود در نقشه‌ها با تصویر ماهواره‌ای منطقه، نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ مورد استفاده قرار گرفت که انطباق مطلوبی با تصویر ماهواره‌ای منطقه دارد.

در ArcView به همراه هر نقشه، یک بانک اطلاعاتی که شامل اطلاعات مربوط به نقشه می‌باشد نیز باید وارد نرم افزار کرد که این بانک اطلاعاتی شامل چندین سطر و ستون می‌باشد که در هر سطر اطلاعات توصیفی مربوط به عناوین ستونها درج شده است. به عنوان مثال پارامترهایی مثل طول و عرض جغرافیایی در نقشه مناطق مسکونی در سر ستونها قرار می‌گیرند و مقدار آنها به ازای هر منطقه مسکونی در سطر نوشته می‌شود. در بانک اطلاعاتی به هر سطر رکورد<sup>۱</sup> و به عنوان هر ستون فیلد<sup>۲</sup> گفته می‌شود. در عمل برای ایجاد و ورود بانک اطلاعاتی مربوط به هر نقشه می‌توان از نرم افزار Excel استفاده کرد.

بانک‌های اطلاعاتی ما را قادر می‌سازند تا بتوانیم به برخی از پرسشها پاسخ دهیم یا برخی عملیات‌های اضافی بر روی نقشه‌ها اعمال کنیم به عنوان مثال اگر هدف یافتن مناطقی با جمعیت مشخص در نقشه مناطق مسکونی باشد، می‌توان به راحتی با مراجعه به بانک اطلاعاتی این نقشه و جستجو در آن به هدف مورد نظر دست یافت. و یا وقتی بانک اطلاعاتی مربوط به نقشه خطوط تراز موجود باشد می‌توان مناطقی از نقشه را که دارای ارتفاعی مشخص هستند از بقیه مناطق جدا کرد و یا تمام نقشه را برحسب ارتفاع آنها رنگ بندی نمود.

<sup>۱</sup> -Record

<sup>۲</sup> -Field

نقشه‌های مورد استفاده در این تحقیق عبارتند از: رود خانه‌ها، مناطق مسکونی، جاده‌ها، آبراهه‌ها، سیلاب‌ها، معادن زغال‌سنگ، مناطق جنگلی، مناطق کشاورزی، خطوط تراز ۵۰ متر، خطوط تراز ۱۰ متر، نقاط نمونه برداری، شبکه بندی و عکس ماهواره‌ای منطقه که به عنوان زمینه در نقشه قرار داده شده است. شایان ذکر است که مقیاس این نقشه‌ها ۱:۲۵۰۰۰ است که مقیاس قابل قبولی برای اینگونه مطالعات می‌باشد. یکی از ویژگی‌های نرم افزارهای GIS این است که قابلیت تلفیق یا نمایش همزمان دو یا چند نقشه را دارا می‌باشند که از این خاصیت می‌توان در زمینه‌های متفاوتی استفاده نمود. به عنوان مثال اگر در نرم افزار ArcView هدف یافتن مختصات یک معدن باشد با فعال کردن همزمان نقشه‌های معدن، شبکه‌بندی و خطوط تراز به سادگی می‌توان به این پرسش پاسخ داد و یا اگر هدف یافتن فاصله یک روستا از جاده باشد با نمایش همزمان نقشه‌های مناطق مسکونی و جاده‌ها و استفاده از ابزار اندازه‌گیری موجود در نرم افزار ArcView می‌توان به این هدف دست یافت.

#### ۴-۲-۱- روش تهیه نقشه‌ها

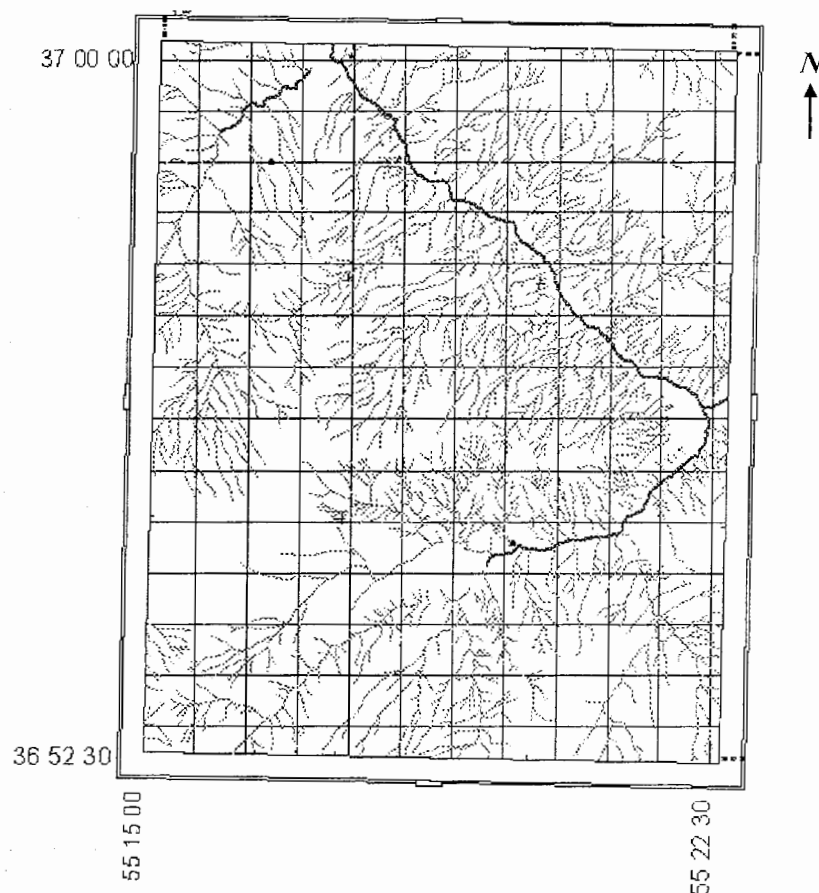
باید توجه داشت که نرم‌افزارهای GIS، قابلیت زیادی در انجام محاسبات، نمایش همزمان و ترکیب و تصمیم‌گیری بر روی نقشه‌ها دارند ولی این در حالیست که برخی از این نرم‌افزارها امکانات محدودی برای کشیدن و طراحی نقشه‌ها دارند. نرم‌افزار ArcView نیز از این قاعده مستثنی نمی‌باشد. به این منظور برای کشیدن نقشه‌ها ناگزیر به استفاده از نرم‌افزارهای دیگری هستیم که خروجی آنها توسط نرم‌افزار ArcView قابل خواندن و اجرا باشد. نرم‌افزارهایی که بیشترین کاربرد را در کشیدن این نقشه‌ها دارند اتوکد و میکرواستیشن<sup>۱</sup> هستند که در این مطالعه از نقشه‌های کشیده شده در نرم‌افزار میکرواستیشن که یک نرم افزار پر قدرت برای کشیدن نقشه‌های جغرافیایی می‌باشد استفاده شده است. در

<sup>۱</sup> -Micro Station

این نرم‌افزار هر عارضه با یک رنگ و کد مخصوص به آن ایجاد و ذخیره می‌گردد که در هنگام انتقال به محیط نرم‌افزار *ArcView*، این رنگها و کدها حفظ می‌شوند.

#### ۲-۲-۴- نقشه رودخانه‌ها و آبراهه‌های منطقه

همانطور که اشاره شد در تولید و انتشار پساب‌های اسیدی معادن زغال‌سنگ، آب نقش مهمی را ایفا می‌کند. از طرفی چون منطقه مورد مطالعه در شمال کشور و در منطقه‌ای جنگلی واقع شده است که دارای رودخانه‌های دائمی و آبراهه‌های زیادی است، لذا تهیه نقشه رودخانه‌ها و آبراهه‌های منطقه مورد مطالعه ضروری به نظر می‌رسد شکل ۲-۴ نقشه رودخانه‌ها و آبراهه‌های منطقه را نشان می‌دهد.

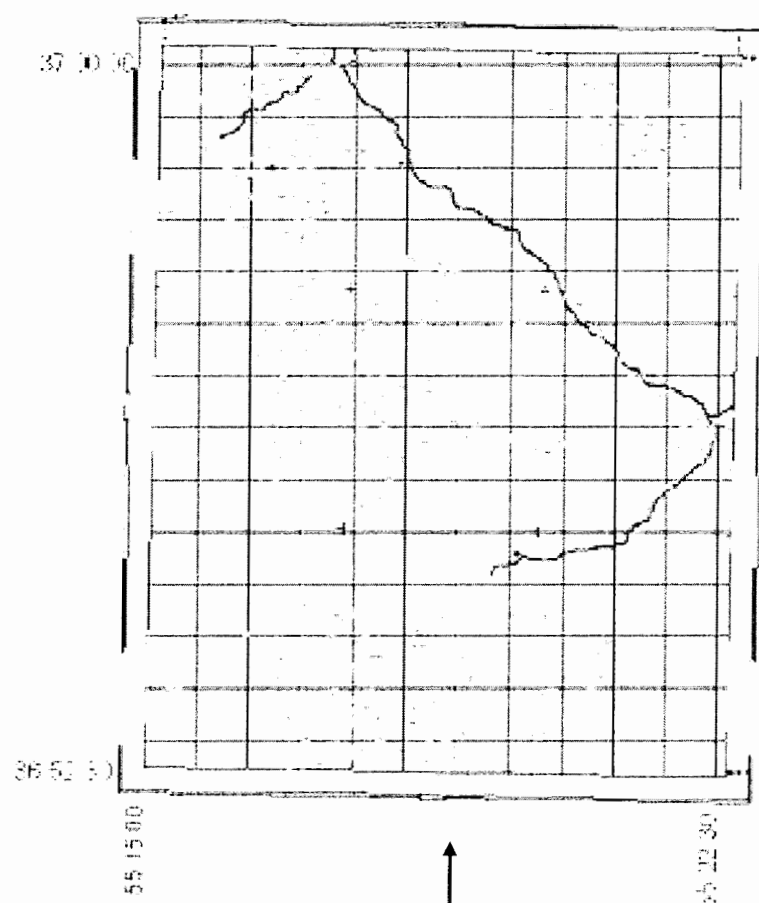


شکل ۲-۴: نقشه رودخانه و آبراهه‌های منطقه [شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان گلستان]



## ۴-۲-۳- نقشه مناطق کشاورزی

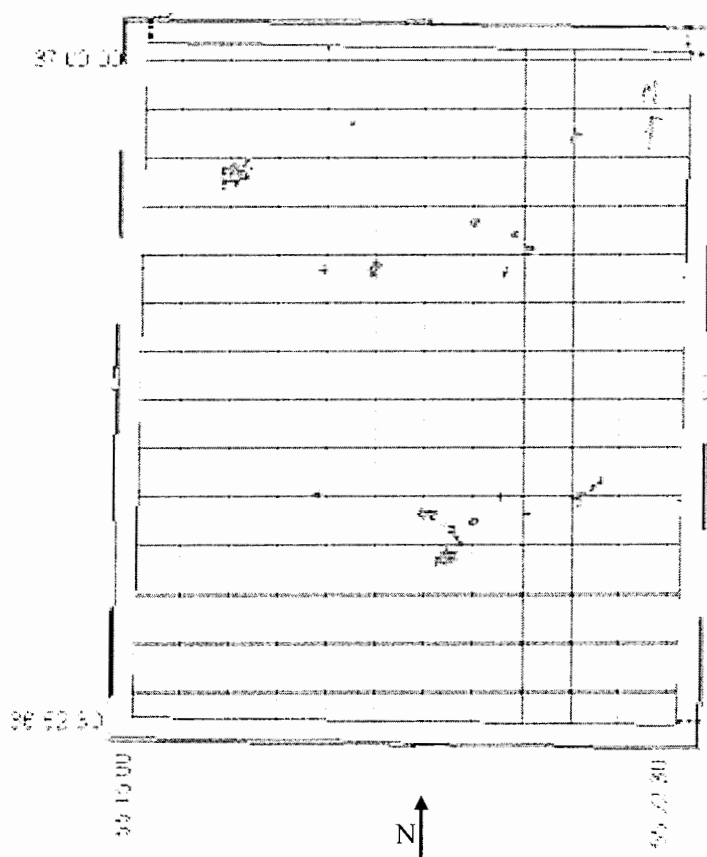
یکی دیگر از نقشه‌هایی که تهیه آن ضروری به نظر می‌رسید، نقشه مناطق کشاورزی منطقه می‌باشد. به دلیل وجود آب فراوان در منطقه و همچنین آب و هوای مناسب، کشت برنج و غله در منطقه رواج دارد. از طرفی همانطور که ذکر شد، یکی از مشکلات زیست محیطی پساب‌های اسیدی آلودگی آبهای کشاورزی و صدمه زدن به گیاهان می‌باشد. لذا لازم است نقشه مناطق کشاورزی برای مطالعات بعدی تهیه گردد.



شکل ۴-۳: نقشه مناطق کشاورزی به همراه رودخانه اصلی منطقه

## ۴-۲-۴- نقشه مناطق مسکونی

یکی از نقشه‌هایی که تهیه آن در مطالعات زیست محیطی ضروری به نظر می‌رسد، نقشه مناطق مسکونی می‌باشد بخصوص در تحقیق حاضر به دلیل مجاورت روستاهای منطقه با معادن زغال‌سنگ و کوره‌های کک‌پزی، این نقشه در تعیین محل انباشت باطله‌های معادن زغال‌سنگ نقش مهمی را ایفا می‌کند.

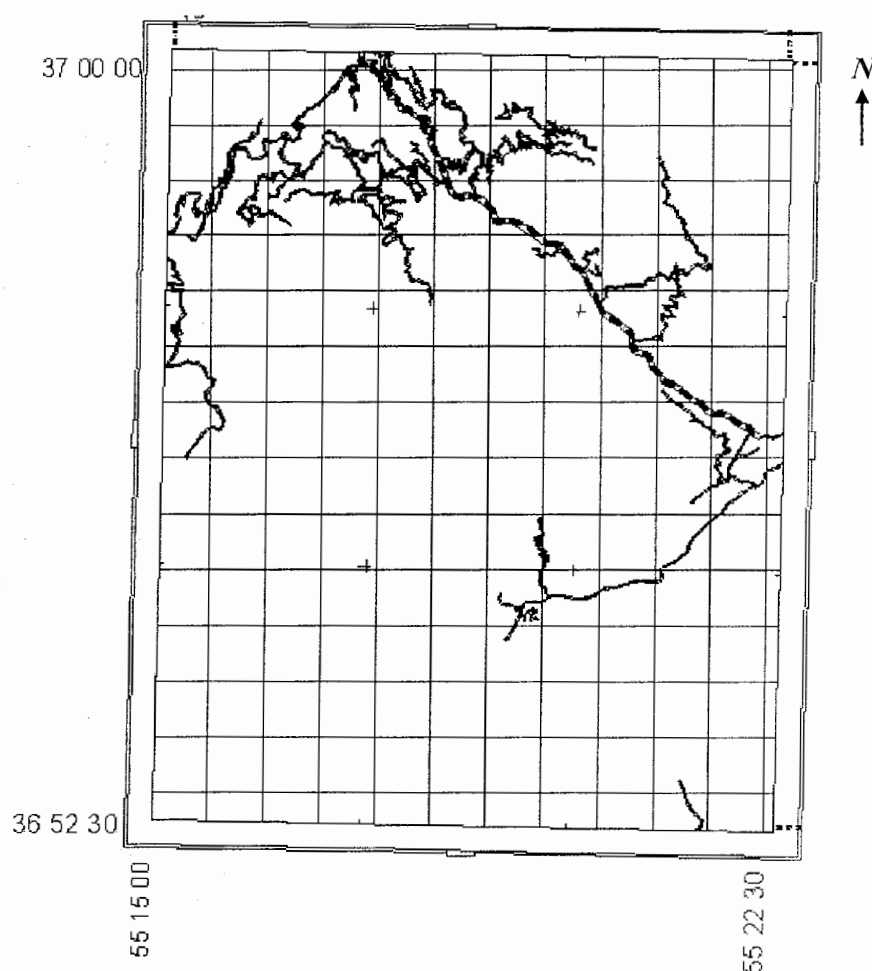


شکل ۴-۴: نقشه مناطق مسکونی منطقه

در بانک اطلاعاتی همراه این نقشه، اطلاعاتی مثل طول و عرض جغرافیایی در مختصات UTM، ارتفاع منطقه مسکونی و نام آن وجود دارد که با کلیک کردن بر روی هر یک از این مناطق این اطلاعات نشان داده می‌شود.

## ۴-۲-۵- نقشه جاده‌های منطقه

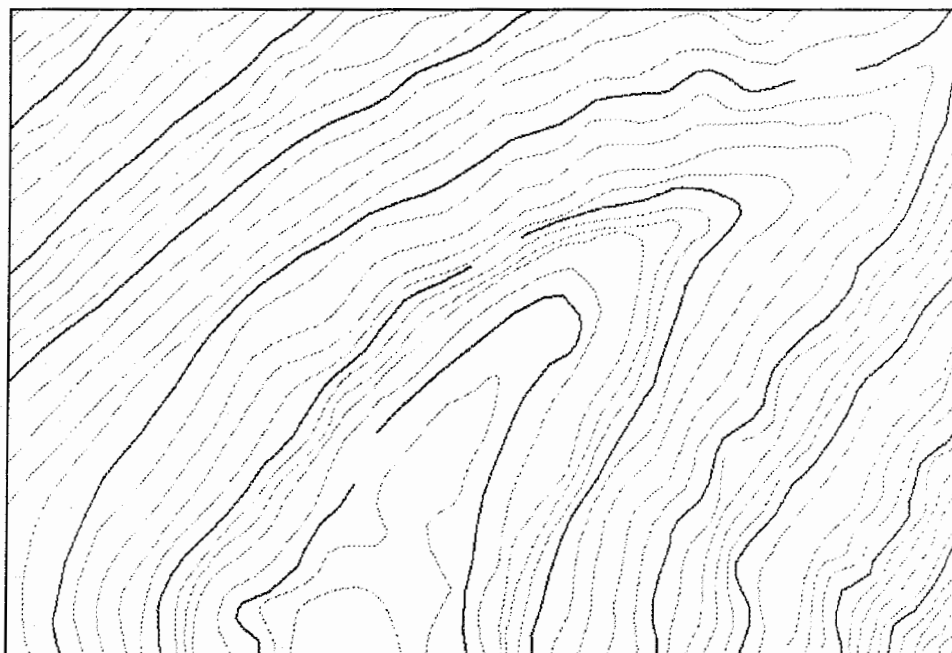
نقشه جاده‌های منطقه نیز یکی از فاکتورهای اساسی تعیین‌کننده محل انباشت باطله است زیرا اگر محل انتخابی از جاده بیش از حد فاصله داشته باشد آنگاه شاید حمل مواد باطله برای مسیرهای طولانی یا انجام عملیات جاده‌سازی از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نباشد. شکل ۴-۵ نقشه جاده‌های منطقه مورد بررسی را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۵: نقشه جاده‌های منطقه (شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان گلستان)

## ۴-۲-۶- نقشه خطوط تراز ۵۰ متر و ۱۰ متر

به منظور تعیین ارتفاع معادن، نقاط مسکونی، دمپ‌های باطله و سایر عوارض موجود، به نقشه خطوط تراز احتیاج است. در بانک اطلاعاتی همراه این نقشه میزان ارتفاع تمامی منحنی ترازها آورده شده است که با کلیک کردن بر روی هر منحنی تراز، این مقدار مشخص می‌شود. برای تعیین دقیق‌تر ارتفاع برخی عوارض که برای ما اهمیت بیشتری دارند می‌توان از نقشه خطوط تراز ۱۰ متر استفاده کرد که تهیه این نقشه با توجه به مقیاس بزرگ به کار رفته در نقشه‌های منطقه امکان پذیر شده است. برای نمایش بهتر، در شکل ۳-۶ تنها قسمتی از نقشه مربوط به این خطوط، نشان داده شده است. در این نقشه خطوط ضخیم‌تر مربوط به خطوط تراز ۵۰ متر می‌باشد.



شکل ۴-۶: نقشه خطوط تراز ۵۰ متر و ۱۰ متر [شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان گلستان]

## ۷-۲-۴- نقشه سیلاب‌های منطقه

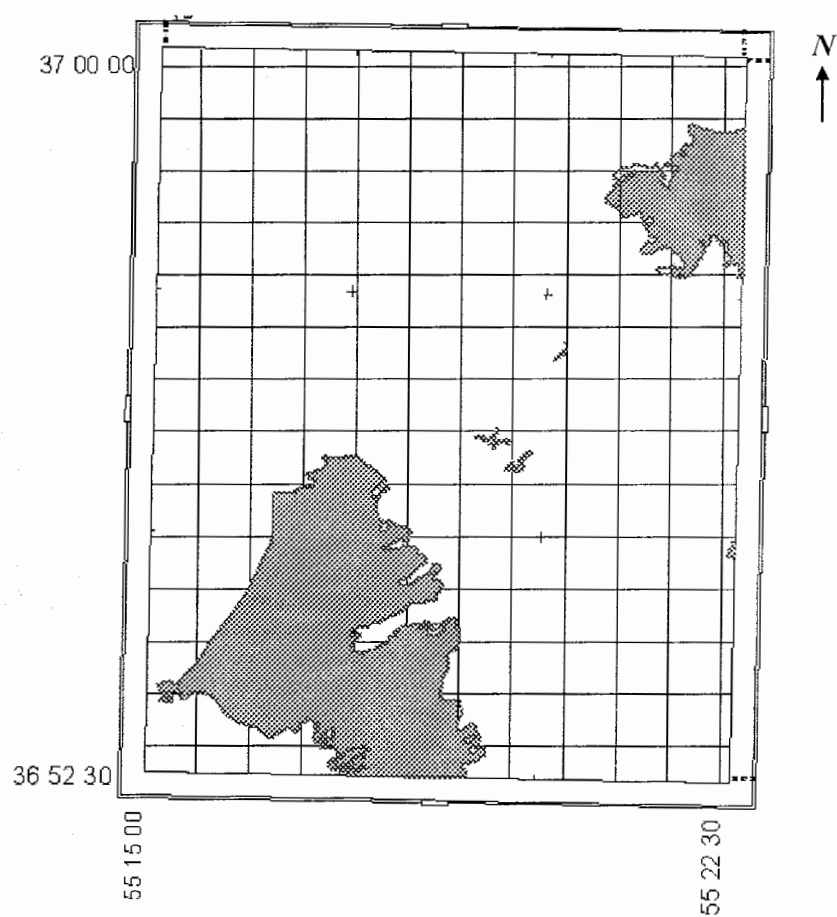
با توجه به سیل‌هایی که در سالیان اخیر در شرق استان گلستان روی داده است و با توجه به اینکه در منطقه مورد مطالعه دمپ‌های باطله در کنار رودخانه‌ها قرار دارند، تهیه نقشه محل عبور سیلاب‌های منطقه، به منظور تعیین بهترین مکان برای دمپ باطله‌های معدنی ضروری به نظر می‌رسید.



شکل ۷-۴: نقشه سیلاب‌های منطقه

## ۴-۲-۸- نقشه مناطق جنگلی

در منطقه مورد مطالعه بیش از ۱۰۰۰۰ هکتار جنگل وجود دارد که تراکم پوشش گیاهی در مناطق جنوبی کمتر از مناطق شمالی است به طوری که در حدود ۷۰۰۰ هکتار از این جنگل‌ها از نوع تنک و مابقی از نوع نیمه انبوه و انبوه می‌باشد. شکل ۴-۸ نقشه مناطق جنگلی را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۸: نقشه مناطق جنگلی [شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان گلستان]

#### ۴-۲-۹- سایر عوارض موجود در نقشه‌های منطقه

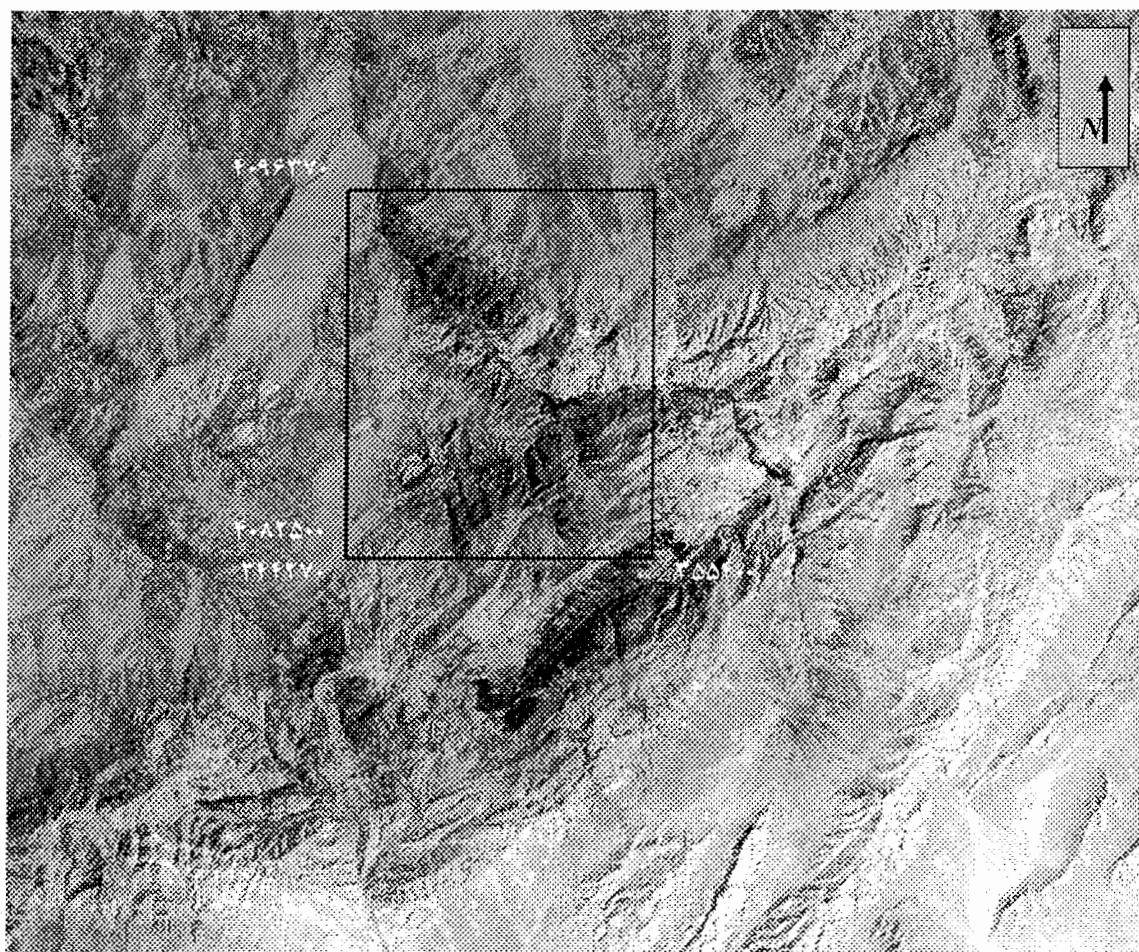
علاوه بر نقشه‌های ذکر شده، لازم بود که عوارض مهم دیگری نیز بر روی این نقشه‌ها مشخص گردد که مهمترین آنها عبارتند از: مکان دمپ‌های باطله، محل معادن زغال‌سنگ، نقاط نمونه‌برداری و یک شبکه که نقشه‌های ذکر شده را در بر می‌گیرد.

در جدول مربوط به معادن زغال‌سنگ، اطلاعاتی مثل طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع، ذخیره قطعی، ذخیره احتمالی، ابعاد ماده معدنی و میزان استخراج سالیانه و در جدول مربوط به نقاط نمونه برداری اطلاعاتی نظیر طول و عرض جغرافیایی، عمق نمونه‌برداری و غلظت پیریت باقیمانده آورده شده است.

#### ۴-۲-۱۰- تصویر ماهواره‌ای منطقه

همانطور که قبلاً ذکر شد، نرم‌افزار ArcView از نرم‌افزارهایی است که از مدل وکتوری تبعیت می‌کند اما از ویژگی‌های این نرم‌افزار این است که قادر است تصاویر رستری را نیز خوانده و اجرا نماید. لذا از این ویژگی، برای قرار دادن تصویر ماهواره‌ای منطقه که از یک شبکه پیکسلی با ابعاد  $11114 \times 7396$  پیکسل تشکیل شده است به عنوان زمینه نقشه‌ها، استفاده شده است.

شایان ذکر است که این تصویر ماهواره‌ای از کیفیت مطلوبی جهت انجام این مطالعه برخوردار است به طوری که این تصویر به تنهایی ۲۳۵ مگابایت از حافظه کامپیوتر را اشغال می‌کند. از این تصویر ماهواره‌ای می‌توان جهت تعیین میزان تطبیق بین عوارض موجود در نقشه‌های فراهم شده با اندازه و محل واقعی آنها در روی زمین استفاده کرد (شکل ۴-۹).



شکل ۴-۹: قسمتی از عکس ماهواره‌ای ناحیه که منطقه مورد مطالعه در آن مشخص شده است.

[شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان گلستان]



#### ۴-۳- تعیین محل انباشت باطله‌های معادن زغال منطقه با GIS

همانطور که قبلاً ذکر شد، یکی از کاربردهای زیست محیطی GIS، مکان‌یابی برای انباشت و دفن باطله‌های معدنی و زباله‌هاست. در عمل برای حل اینگونه مسائل ابتدا باید ملاحظات زیست محیطی و شرایط لازم برای اینکه یک محل، به عنوان مکان انباشت باطله‌ها انتخاب شود، تعیین گردد. در تحقیق حاضر نیز، سعی شده است با استفاده از نقشه‌های موجود مربوط به منطقه، بهترین مکان برای دمپ باطله‌های معادن زغال‌سنگ، به گونه‌ای انتخاب شود که با توجه به شروط ذکر شده، حداقل اثرات زیست محیطی حاصل شود.

#### ۴-۳-۱- بیان مسئله

بدیهی است که برای حل این گونه مسائل ابتدا باید با توجه به شرایط منطقه مورد مطالعه، یکسری فرضیات و شروط در نظر گرفت و محلی در منطقه که واجد این شرایط باشد به عنوان بهترین محل برای دمپ باطله‌های معادن زغال‌سنگ در نظر گرفته شود.

برای معادن زغال‌سنگ منطقه آزادشهر به دلیل واقع شدن در منطقه‌ای جنگلی و پر آب که روستاهای متعددی نیز در اطراف آنها پراکنده است، شرایط شش گانه زیر برای محل انباشت باطله‌ها در نظر گرفته شده است:

۱. محل انتخابی از معدن زغال‌سنگ بیشتر از ۵ کیلومتر فاصله نداشته باشد (بدلیل افزایش نیافتن هزینه های ناشی از حمل باطله ها به ازای فواصل طولانی).
۲. محل انتخابی از مناطق مسکونی حداقل ۲ کیلومتر فاصله داشته باشد (بدلیل ملاحظات زیست محیطی).
۳. محل انتخابی از رودخانه حداقل ۵۰۰ متر فاصله داشته باشد (بدلیل نقش بسزایی که آب در تولید AMD داشته و بدلیل ملاحظات زیست محیطی).

۴. محل انتخابی از جاده بیشتر از ۱۵۰۰ متر فاصله نداشته باشد (به منظور اجتناب از عملیات وسیع جاده‌سازی برای دستیابی به محل دمپ).
۵. محل انتخابی از زمین‌های کشاورزی حداقل ۵۰۰ متر فاصله داشته باشد (به منظور جلوگیری از آسیب محصولات کشاورزی به دلیل تولید پساب احتمالی).
۶. محل انتخابی از جنگل حداقل ۱ کیلو متر فاصله داشته باشد (بدلیل ملاحظات زیست محیطی).

#### ۴-۳-۲- ارسال نقشه‌ها به نرم افزار Idrisi

به منظور حل مسئله مطرح شده در قسمت قبل، از یکی دیگر از نرم‌افزارهای GIS به نام Idrisi استفاده گردید. این نرم‌افزار بر خلاف ArcView، از مدل رستری تبعیت می‌کند ولی قابلیت استفاده از نقشه‌های وکتوری را نیز دارا می‌باشد. برای استفاده از این نرم‌افزار ابتدا باید نقشه‌ها از محیط ArcView به محیط Idrisi انتقال داده شود. باید توجه داشت که بهترین فرمت برای ورود نقشه‌های منطقه به این نرم‌افزار فرمت بیت مپ<sup>۱</sup> می‌باشد.

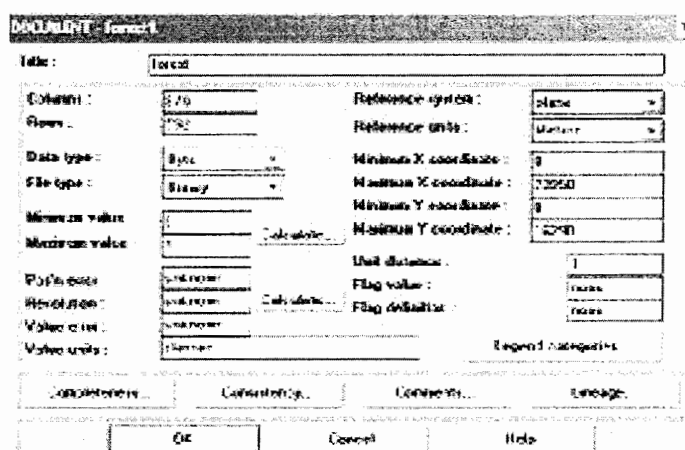
در عمل برای انجام این کار ابتدا نقشه‌های معادن زغال، مناطق مسکونی، رودخانه‌ها، جاده‌ها، مناطق کشاورزی و مناطق جنگلی را یکی پس از دیگری در نرم‌افزار ArcView اجرا کرده و سپس با فرمت بیت مپ در یک قسمت معین از حافظه کامپیوتر Export می‌گردد. سپس نرم‌افزار Idrisi باز شده و نقشه‌های ذکر شده Import می‌گردند.

نکته بسیار مهمی که بعد از ورود نقشه‌ها در Idrisi لازم است مدنظر قرار گیرد توجه به این نکته است که این نرم‌افزار به طور خودکار ابعاد واحد را برای طول و عرض نقشه ورودی در نظر می‌گیرد لذا لازم است برای هر نقشه، فایل اطلاعاتی مربوط به آن را باز کرد و مقادیر واقعی طول و عرض را وارد نمود. برای وارد نمودن این مقادیر دو راه وجود دارد. راه اول این است که با ابزار محاسبه فاصله، که در نرم‌افزار

<sup>۱</sup> -Bitmap

ArcView موجود است طول و عرض نقشه را اندازه‌گیری کرد و بعد این مقادیر را در فایل اطلاعاتی نقشه‌ها وارد نمود که در این صورت طول نقشه ۲۳۹۵۰ متر و عرض آن ۱۶۲۹۰ متر خواهد شد. اشکالی که در این روش وجود دارد این است مقادیر طول و عرض از صفر شروع می‌شوند که در این صورت پس از یافتن محل مورد جستجو، انتقال این نقطه بر روی تصویر ماهواره‌ای و تعیین دقیق این نقطه کمی مشکل می‌شود زیرا در تصویر ماهواره‌ای طول و عرض بر مبنای مختصات UTM مشخص شده است.

راه دوم وارد کردن طول و عرض نقشه، استفاده از مختصات UTM است به این معنی که به جای اینکه مختصات نقشه از صفر شروع شود از حداقل مقادیر طول و عرض بر طبق مختصات UTM شروع شود که در این صورت تغییرات طول نقشه بین ۳۳۷۶۵۰ تا ۳۶۱۶۰۰ و عرض نقشه بین ۴۰۸۱۴۹۰ تا ۴۰۹۷۷۸۰ واقع می‌شود. نکته قابل توجه در مورد این نقشه‌ها این است تصاویر در Idrisi به صورت رستری ذخیره می‌شوند. یعنی هر نقشه از یک شبکه پیکسلی تشکیل شده است و ارزش پیکسل‌ها در یک ماتریس دوبعدی درج شده است و به هنگام ورود این نقشه‌ها در Idrisi باید توجه شود که تعداد سطر و ستون‌های این ماتریس‌ها در تمام نقشه‌ها یکسان باشد در غیر این صورت در مراحل بعدی، کار با مشکل مواجه خواهد شد.



شکل ۴-۱۰: فایل اطلاعاتی نقشه مناطق جنگلی که تغییرات لازم در آن اعمال شده است.

شکل ۴-۱۰ فایل اطلاعاتی یکی از نقشه‌های ترسیم شده در Idrisi را نشان می‌دهد که تنظیمات ذکر شده، در آن اعمال شده است.

#### ۴-۳-۴- حل مسئله

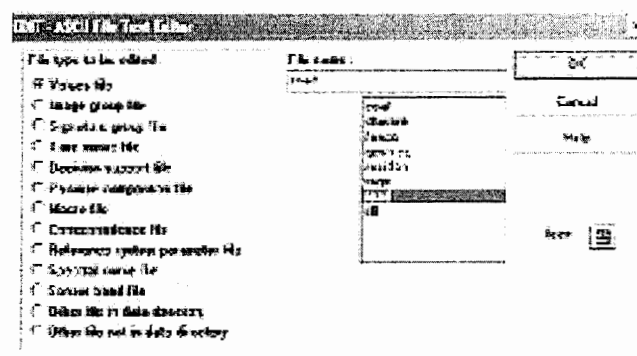
پس از اینکه تمامی نقشه‌ها در Idrisi وارد شد و تنظیمات مربوط به طول و عرض نقشه‌ها و تعداد سطر و ستون آنها اعمال گردید، آنگاه شرایط برای حل مسئله توسط این نرم‌افزار فراهم شده است و می‌توان با استفاده از یکسری دستورات موجود، به این هدف دست یافت. مراحل حل این مسئله به شرح زیر می‌باشد.

#### ۴-۳-۴-۱- ویرایش<sup>۱</sup> نقشه‌های منطقه

هنگامی که یک نقشه وارد نرم‌افزار Idrisi می‌شود، این نرم‌افزار بطور خودکار به هر عارضه موجود در نقشه یک کد رنگی بین صفر تا ۲۵۵ اختصاص می‌دهد که زمینه نقشه نیز از این قاعده مستثنی نمی‌باشد. لذا در این نقشه‌ها باید به گونه‌ای اثرات زمینه نقشه را از بین برد. برای دستیابی به این هدف سعی شده است که عارضه مورد توجه ما ( مثلاً جاده در نقشه جاده‌های منطقه ) با یک رنگی که کد آن در Idrisi برای ما مشخص است (رنگ سیاه که دارای کد صفر می‌باشد) وارد این نرم‌افزار شود.

برای این منظور باید از دستور ویرایش در Idrisi استفاده کرد. یعنی از نرم‌افزار می‌خواهیم که بجز عارضه مورد نظر ما سایر عوارض را در نظر نگیرد. در این صورت بطور مثال در نقشه جاده‌ها، فقط جاده‌ها شناخته شده (دارای ارزش یک می‌باشد) و سایر عوارض در نظر گرفته نمی‌شود (دارای ارزش صفر می‌باشد). این کار برای تمام نقشه‌ها، انجام می‌شود تا نقشه‌های ویرایش شده برای کلیه عوارض حاصل شود. شکل ۴-۱۱ نمایی از پنجره دستور ویرایش را نشان می‌دهد.

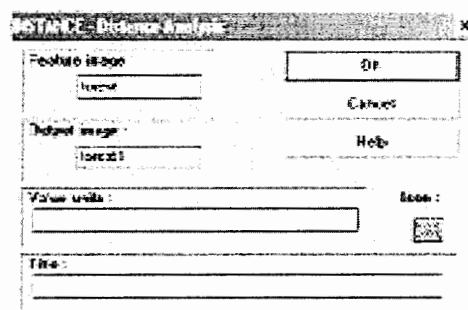
<sup>۱</sup> -Edit



شکل ۴-۱۱: نمایی از پنجره ویرایش در Idrisi

#### ۴-۳-۴-۲- تهیه نقشه‌های فاصله<sup>۱</sup>

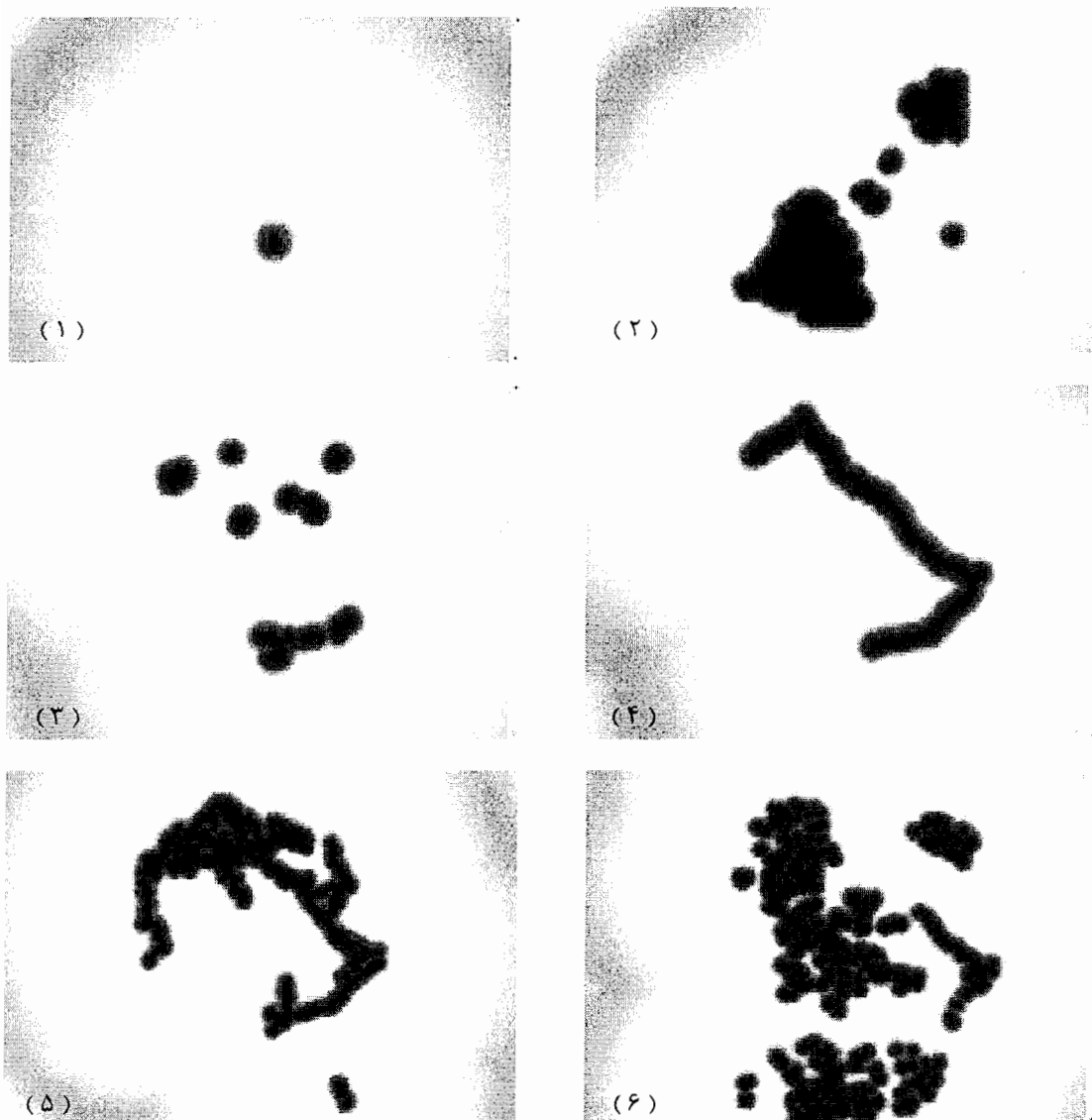
همانطور که در شرایط شش گانه برای انتخاب بهترین محل دیده می‌شود، فاکتور اصلی در همه آنها فاصله از یک عارضه مشخص می‌باشد. لذا باید نقشه‌هایی را ایجاد کرد که در آنها، فاصله از عوارض، مشخص شده باشد. برای این منظور پس از تهیه نقشه‌های ویرایش شده، باید به نحوی برای آنها فاصله را تعریف کنیم به طوری که وقتی در نقشه روی عارضه قرار داریم، فاصله صفر باشد و هر چه از عارضه دورتر شویم، مقدار فاصله بیشتر شود. در Idrisi دستوری وجود دارد که به راحتی می‌توان این کار را انجام داد که پنجره مربوط به این دستور در شکل ۴-۱۲ دیده می‌شود.



شکل ۴-۱۲: نمایی از پنجره دستور فاصله در Idrisi

<sup>۱</sup> -Distance

در شکل ۴-۱۳ نقشه‌های حاصل از اجرای دستور فاصله نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۳: نقشه‌های فاصله ۱- معدن ۲- مناطق جنگلی ۳- مناطق مسکونی ۴- رودخانه ۵- جاده‌ها ۶- مناطق کشاورزی

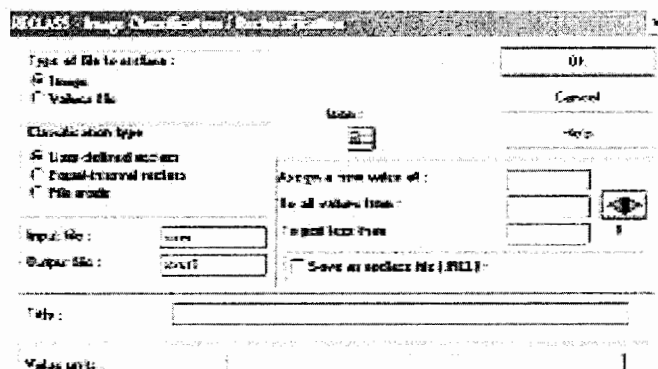
۴-۳-۴-۳- طبقه‌بندی مجدد<sup>۱</sup> نقشه‌ها

در این مرحله با استفاده از نقشه‌های بدست آمده از مرحله قبلی، باید مناطق اطراف هر عارضه را ارزش‌گذاری کرد. یعنی در هر نقشه به مناطقی که در شرط ذکر شده صدق می‌کند، ارزش یک و به سایر مناطق ارزش صفر داده شود. با توجه به این موضوع، کدهای صفر و یک برای هر نقشه به صورت زیر در تعریف می‌شود.

۱. در نقشه معدن، از فاصله صفر تا ۵ کیلومتری از معدن، کد یک و فواصل بیشتر از ۵ کیلومتر، کد صفر تعلق می‌گیرد.
  ۲. در نقشه مناطق مسکونی، از فاصله صفر تا ۲ کیلومتری از این مناطق، کد صفر و فواصل بیشتر از ۲ کیلومتر، کد یک تعلق می‌گیرد.
  ۳. در نقشه رودخانه‌ها، از فاصله صفر تا ۵۰۰ متری از رودخانه‌ها، کد صفر و فواصل بیشتر از ۵۰۰ متر، کد یک تعلق می‌گیرد.
  ۴. در نقشه جاده‌ها، از فاصله صفر تا ۱۵۰۰ متری از جاده‌ها، کد یک و فواصل بیشتر از ۱۵۰۰ متر، کد صفر تعلق می‌گیرد.
  ۵. در نقشه مناطق کشاورزی، از فاصله صفر تا ۵۰۰ متری از این مناطق، کد صفر و فواصل بیشتر از ۵۰۰ متر، کد یک تعلق می‌گیرد.
  ۶. در نقشه مناطق جنگلی، از فاصله صفر تا ۱ کیلومتری از این مناطق، کد صفر و فواصل بیشتر از ۱ کیلومتر، کد یک تعلق می‌گیرد.
- در شکل ۴-۱۴، نمایی از پنجره مربوط به دستور طبقه‌بندی مجدد دیده می‌شود.

---

<sup>۱</sup> -Reclass

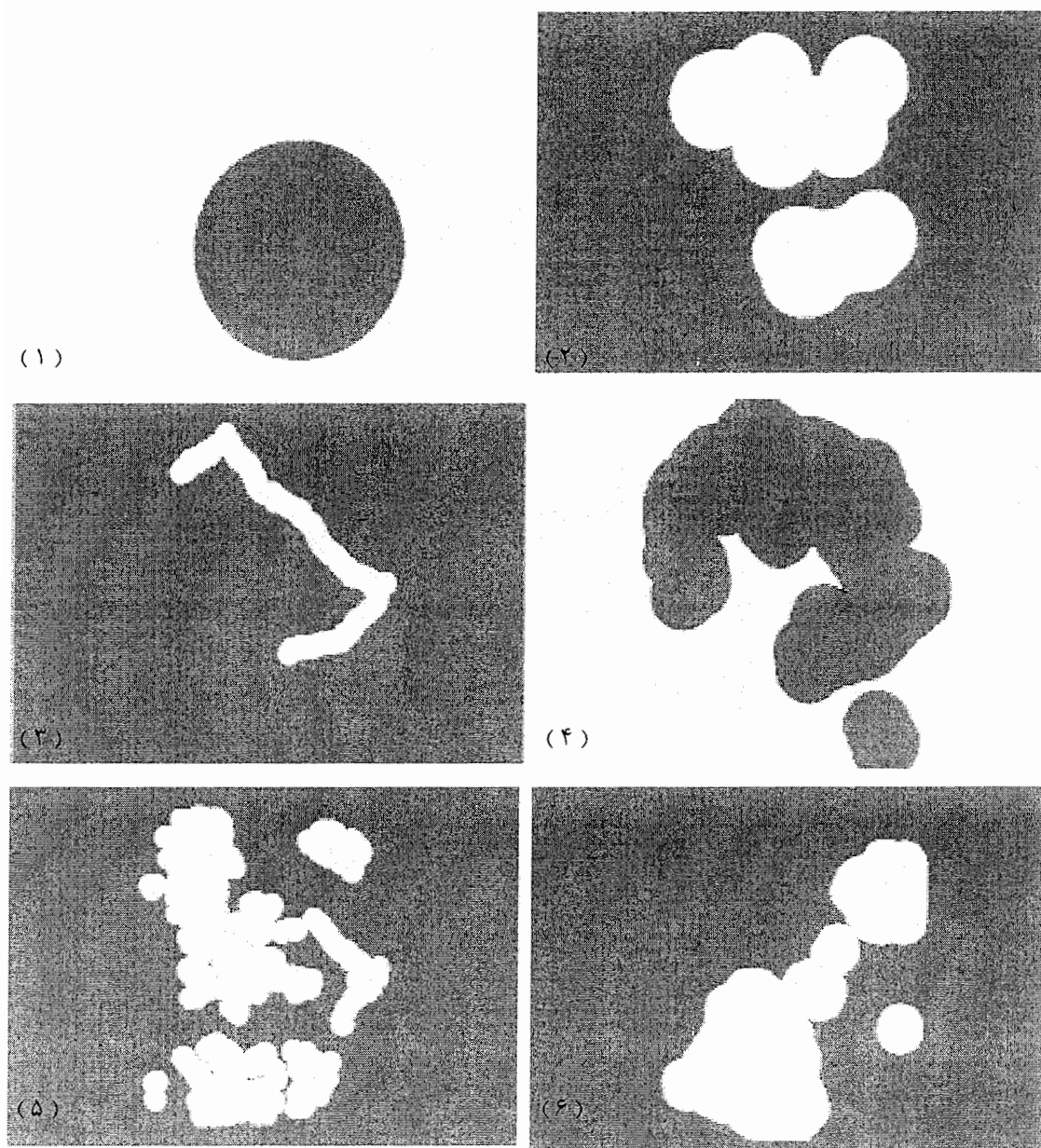


شکل ۴-۱۴: نمایی از پنجره دستور Reclass

نکته قابل ذکر این است که اگر هدف یافتن تمامی نقاط واجد شرایط در منطقه باشد، باید تمام معادن موجود در نقشه، در این تصمیم‌گیری لحاظ شود که در این صورت باید دید جواب یا جوابهای حاصله مربوط به کدام معدن است. ولی اگر هدف یافتن محل انباشت باطله‌ها برای یک معدن بخصوص باشد، باید تنها همان معدن در حل مسئله لحاظ گردد که در تحقیق حاضر هر دو روش ذکر شده انجام شده است. بدان معنی که یکبار مسئله به ازای تمام معادن منطقه و بار دیگر فقط برای معدن زغال‌سنگ قشلاق مورد بررسی قرار گرفت.

نقشه‌های تهیه شده در این مرحله مطابق شکل ۴-۱۵ است.

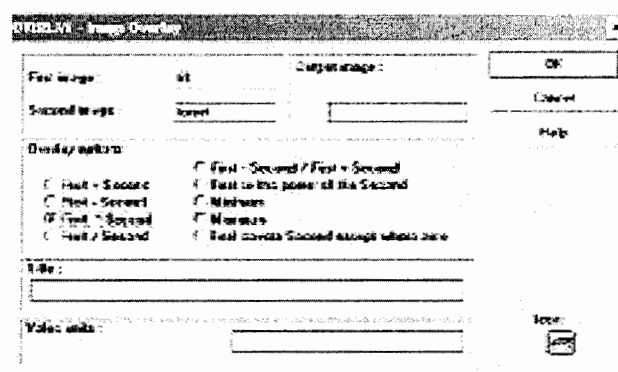




شکل ۴-۱۵: نقشه‌های طبقه‌بندی شده منطقه. در این نقشه‌ها مناطق تیره (سبز)، جواب بوده و مناطق روشن (خاکستری) دارای ارزش صفر هستند. ۱- نقشه معدن ۲- مناطق مسکونی ۳- رودخانه‌ها ۴- جاده‌ها ۵- زمینهای کشاورزی ۶- مناطق جنگلی

۴-۳-۴- همپوشانی<sup>۱</sup> نقشه‌ها و دستیابی به جواب

در این قسمت باید نقشه‌های تهیه شده در مرحله قبل را به نحوی روی هم قرار داد که در این صورت نقطه اشتراک آنها، جواب مسئله ما خواهد بود. برای این منظور در نرم‌افزار Idrisi، دستوری قرار دارد که می‌تواند اعمالی مثل اشتراک، اجتماع، تفاضل، تقسیم و غیره را بر روی نقشه‌های ورودی انجام دهد که برای حل این مسئله از حالت اشتراک نقشه‌ها استفاده می‌شود. شکل ۱۶-۴ نمایی از این دستور و حالت‌های مختلف انتخاب را نشان می‌دهد.



شکل ۱۶-۴ : نمایی از پنجره دستور Overlay

نکته‌ای که در این بخش قابل توجه می‌باشد این است که نرم‌افزار Idrisi قادر است در هر مرحله فقط دو نقشه را به منظور تعیین مناطق مشترک در ورودی بپذیرد لذا به منظور دستیابی به نتیجه نهایی لازم است از دستور همپوشانی این نرم‌افزار، ۵ بار به شرح زیر استفاده گردد.

۱. همپوشانی نقشه‌های معدن و مناطق مسکونی که نقشه خروجی را  $b_1$  می‌نامیم (شکل ۱۷-۴ الف).
۲. همپوشانی نقشه‌های رودخانه‌ها و جاده‌ها که نقشه خروجی را  $b_2$  می‌نامیم (شکل ۱۷-۴ ب).

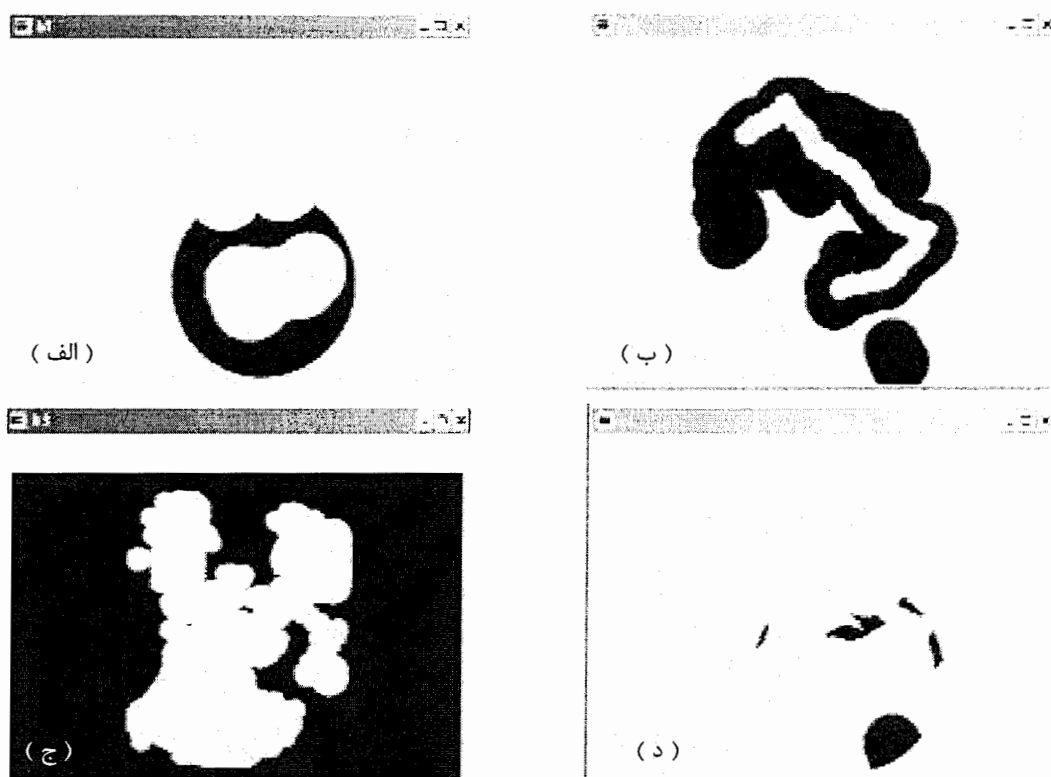
<sup>۱</sup> -Overlay

۳. همپوشانی نقشه‌های مناطق کشاورزی و مناطق جنگلی که نقشه خروجی را  $b_3$  می‌نامیم (شکل ۱۷-۴ ج).

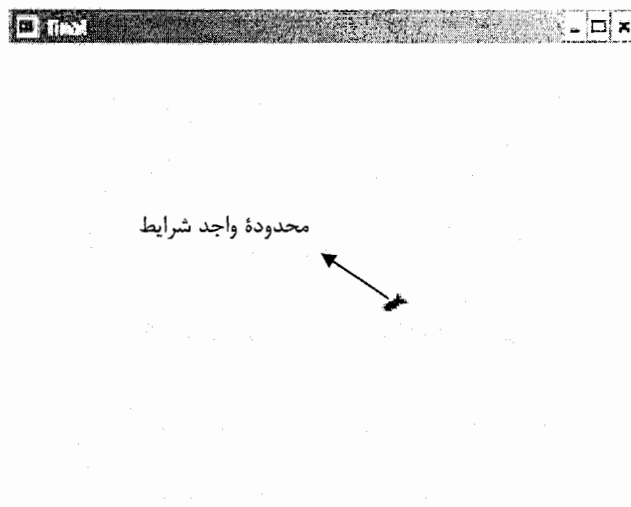
۴. همپوشانی نقشه‌های  $b_1$  و  $b_2$  که نقشه خروجی را  $c_1$  می‌نامیم (شکل ۱۷-۴ د).

۵. همپوشانی نقشه‌های  $b_3$  و  $c_1$  که نقشه خروجی، جواب مسئله ما خواهد بود (شکل ۱۸-۴).

همانطور که در شکل ۱۸-۴ دیده می‌شود تنها یک محدوده کوچک در منطقه واجد تمامی شرایط است و لذا با توجه به فرضیات مسئله، بهترین مکان برای انباشت باطله‌های معدن زغال‌سنگ قشلاق، همین نقطه خواهد بود.



شکل ۱۷-۴: نقشه‌های حاصل از همپوشانی که در این نقشه‌ها مناطق تیره، جواب بوده و مناطق روشن، مناطق خارج از محدوده جواب است. الف- معدن و مناطق مسکونی ب- رودخانه‌ها و جاده‌ها ج- مناطق کشاورزی و مناطق جنگلی د- نقشه‌های  $b_1$  و  $b_2$ .

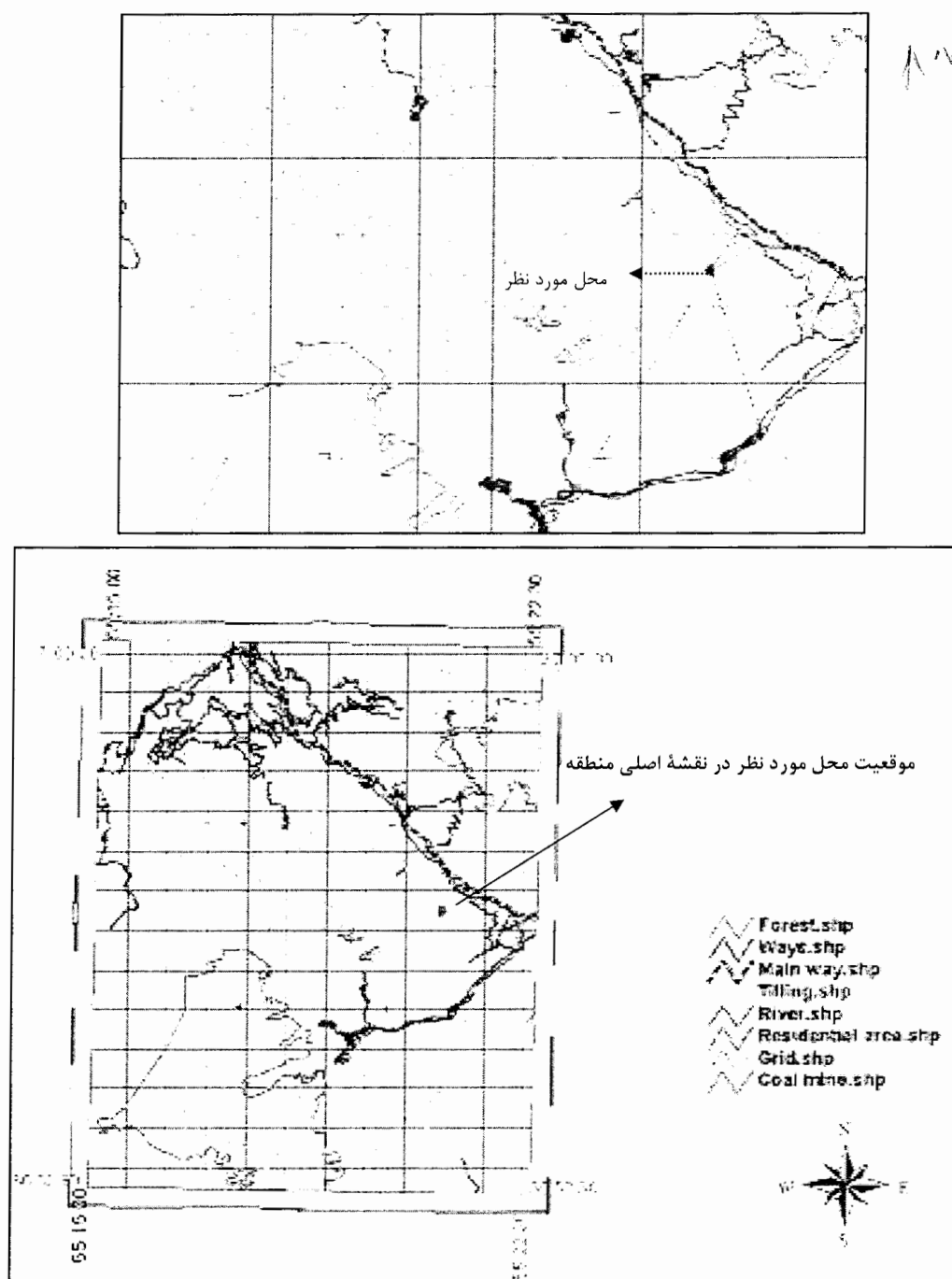


شکل ۴-۱۸ : همانطور که در نقشه پایانی دیده می‌شود تنها یک محدوده کوچک واجد تمامی شرایط است.

#### ۴-۳-۴-۵- تعیین محل مورد نظر بر روی نقشه منطقه

در این مرحله، برای بهتر مشخص شدن نتایج، محلی را که در Idrisi به عنوان بهترین گزینه انتخاب شده است، بر روی نقشه منطقه انتقال داده می‌شود (شکل ۴-۱۹) که این محل دارای ویژگیهای زیر است:

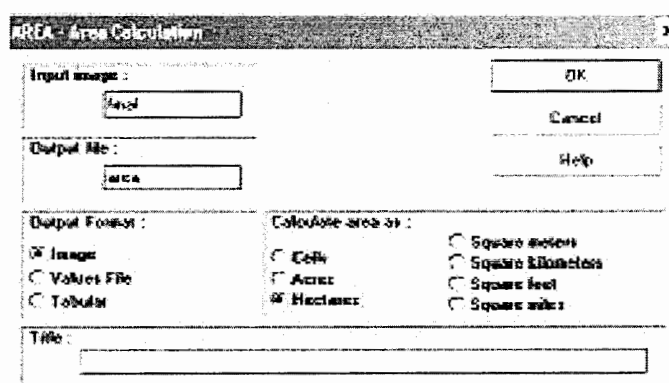
۱. فاصله از معدن، ۳۴۰۰ متر.
۲. فاصله از نزدیکترین منطقه مسکونی، ۲۲۰۰ متر.
۳. فاصله از نزدیکترین جاده، ۶۳۰ متر.
۴. فاصله از رودخانه، ۷۷۰ متر.
۵. فاصله از نزدیکترین منطقه کشاورزی، ۶۸۰ متر.
۶. فاصله از نزدیکترین منطقه جنگلی، ۱۳۶۵ متر.
۷. طول جغرافیایی منطقه، ۳۵۲۹۳۰ و عرض جغرافیایی آن، ۴۰۸۹۵۰۰ در مختصات UTM.



شکل ۴-۱۹: نقشه منطقه که در آن محل انتخابی مشخص شده است.

## ۴-۳-۶- تعیین مساحت منطقه یافت شده

یکی از قابلیت‌های نرم‌افزار Idrisi، محاسبه مساحت یک قسمت مشخص از یک نقشه بر حسب واحدهای مختلف می‌باشد که از این قابلیت به منظور محاسبه مساحت منطقه یافت شده بر حسب هکتار استفاده گردید که مقدار حاصله برابر با ۲۷ هکتار شده است.



شکل ۴-۲۰: نمایی از پنجره تعیین مساحت

## فصل پنجم

نمونه برداری، تهیه مقاطع صیقلی و آنالیز میزان پیریت

## مقدمه

در این مبحث ابتدا به چگونگی اخذ نمونه از دمپ‌های باطله و فرآیند آماده‌سازی آنها و روش انجام مطالعات کمی و کیفی بر روی آنها به منظور تعیین میزان پیریت موجود، پرداخته می‌شود و سپس با تهیه نمونه‌هایی از آب منطقه و اندازه‌گیری آنیون‌ها و کاتیون‌های محلول در آنها به ویژه تعیین غلظت برخی از عناصر سنگین، وضعیت کیفی آبها مورد مطالعه قرار می‌گیرد تا در نهایت بتوان پتانسیل تولید پساب اسیدی در منطقه را مورد بررسی قرار داد.

۵-۱- نمونه‌برداری<sup>۱</sup>

انتخاب نمونه‌ها عامل مهمی برای پیش‌بینی شکل‌گیری پساب اسیدی در مراحل بعدی است. هدف از آزمایش بر روی ماده سنگ طبقه‌بندی و برنامه‌ریزی برای باطله‌های معدنی است. نمونه‌برداری باید به گونه‌ای انجام گیرد که نوع و مقدار کانیهای موجود در توده سنگ و همچنین تنوع موادی که در اثر معدنکاری در سطح زمین و در مجاورت هوا یا آب رخنمون پیدا می‌کنند را به حساب آورد. همچنین در نمونه‌برداری مهم است که بتوانیم مواد حاوی مقادیر کم سولفید (مثل مواد قلیایی) را تشخیص داده و میزان آنها را تعیین نماییم.

در جمع آوری نمونه‌ها به منظور تعیین ظرفیت شکل‌گیری پساب اسیدی باید هر دو عامل زمین شناسی و محیط زیست را در نظر گرفت. تعداد نمونه‌های جمع آوری شده نیز به عوامل زیادی مثل

---

<sup>۱</sup> -Sampling



تغییرات زمین‌شناسی منطقه و چگونگی توسعه معدن در آینده بستگی دارد. برای شروع باید حداقل ۱۰ نمونه از هر یک میلیون تن از مواد استخراج شده برداشت کرد.

از دیگر عواملی که در نمونه‌برداری باید مدنظر قرار گیرد، انتخاب روش نمونه‌برداری و شرایط ذخیره معدنی است. هر دو مورد ذکر شده می‌تواند بر مشخصات فیزیکی و شیمیایی نمونه‌ها اثر گذار باشد مثلاً اگر نمونه‌گیری از مغزه‌های حفاری صورت گرفته باشد آنگاه در صورت استفاده از روغنکاری برای خنک کردن سرته امکان ایجاد آلودگی برای نمونه‌ها وجود دارد. تهیه نیم رخهای نقشه و مقاطع عرضی نهشته به منظور نمایش توزیع فضایی نمونه‌ها در داخل واحدهای اصلی سنگ نیز مفید خواهد بود [Mesquita, 2006].

#### ۵-۲- نمونه‌برداری از منطقه

به منظور انجام مطالعات آزمایشگاهی جهت تعیین میزان پیریت به صورت کمی (تهیه مقاطع صیقلی) و کیفی (آنالیز به روش جذب اتمی) نیاز به برداشت نمونه‌هایی از دمپ‌های باطله موجود در منطقه است که برای این منظور در چهار نقطه از دو دمپ اصلی منطقه، به صورت عمقی ۲۰ نمونه تهیه گردید که اطلاعات مربوط به این نمونه‌ها در جدول ۵-۱ آورده شده است.

همچنین در این منطقه ۴ نمونه آب هر یک به میزان تقریبی یک لیتر و به شرح زیر برداشت شد:

۱- منطقه بالادست معدن

۲- پساب خروجی از تونل اصلی معدن قشلاق

۳- پساب خروجی از کارگاه زغال‌شویی

۴- پساب خروجی از یکی از تونل‌های معدن رضی

جدول ۵-۱: اطلاعات مربوط به میزان نمونه‌های برداشت شده  
(اعداد نوشته شده در جدول وزن نمونه‌ها بر حسب گرم می‌باشد).

| نقاط نمونه‌برداری |      |      |      | مکان           |
|-------------------|------|------|------|----------------|
| ۴                 | ۳    | ۲    | ۱    | عمق (سانتیمتر) |
| ۱۰۷۳              | ۱۰۲۸ | ۱۱۹۳ | ۱۰۱۵ | سطحی           |
| ۸۸۱               | ۱۱۳۰ | ۸۷۸  | ۱۶۰۶ | ۲۵             |
| ۱۰۶۰              | ۹۰۵  | ۹۵۸  | ۱۳۵۸ | ۵۰             |
| ۹۵۶               | ۱۰۲۱ | ۱۱۳۹ | ۱۰۱۱ | ۷۵             |
| ۱۰۷۸              | ۸۶۲  | ۱۰۵۰ | ۹۸۷  | ۱۰۰            |

### ۵-۳- مطالعات میکروسکپی

به منظور مشاهده کمی کانی پیریت موجود در باطله‌های زغال منطقه، نیازمند به انجام مطالعات میکروسکپی هستیم. برای این منظور باید در ابتدا مقاطع صیقلی از نمونه‌های برداشت شده تهیه کرده و بعد آنها را در زیر میکروسکپ نور انعکاسی مورد مطالعه قرار داد.

## ۵-۴- روش تهیه مقاطع میکروسکوپی

به منظور تهیه مقاطع صیقلی، نیاز به انتخاب قطعات درشت‌تر نمونه‌های برداشت شده هستیم. برای این منظور از نمونه‌های برداشت شده از نقطه ۳ و از عمق‌های سطحی، ۵۰ سانتیمتر و ۱۰۰ سانتیمتر این نقطه، سه قطعه زغال انتخاب گردید و برای مشاهده کمی پیریت موجود در آنها به کارگاه تهیه مقطع دانشگاه صنعتی شاهرود انتقال یافت.

در کارگاه مقطع‌سازی ابتدا قطعات کوچکی از نمونه‌ها را با دستگاه برش جدا نموده و بعد این قطعات را به قسمت قالب ریزی انتقال یافتند. بعد از آماده شدن قالب‌ها، نوبت به صیقل<sup>۱</sup> دادن این مقاطع می‌رسد. برای این کار ابتدا سطح مقاطع را با سمباده می‌سایند تا اضافات قالب از آن جدا شود و بعد از پودرهایی از جنس اکسید آلومینیوم<sup>۲</sup> یا کاربید سیلیسیوم<sup>۳</sup> با شماره‌های ۲۲۰، ۴۰۰، ۵۴۰، ۸۰۰ و ۱۰۰۰ برای صیقل دادن آنها استفاده می‌کنند که هر چه شماره این پودرها زیاد می‌شود اندازه ذرات کوچکتر می‌شود. نکته مهم در این قسمت توجه به این موضوع است که برای صیقل دادن باید به ترتیب از شماره‌های کوچکتر (ذرات بزرگتر) شروع کرد تا به شماره‌های بزرگتر (ذرات ریزتر) رسید. زمان صیقل دادن، ۱۵ دقیقه برای شماره‌های ۲۲۰ و ۴۰۰ و هفت الی هشت دقیقه برای سایر شماره‌هاست.

بعد از اتمام مرحله اول از صیقل دادن مقاطع که توسط دست انجام می‌شود، نوبت به استفاده از دستگاه برای مرحله بعدی می‌رسد. در این مرحله نیز ابتدا با پودرهایی ۱۲۰۰ و ۲۵۰۰ و به کمک دستگاه پولیش مقاطع را صیقل داده و در نهایت با استفاده از پارچه مخملی و خمیر الماسه‌های طوسی و سفید هر یک از مقاطع ۱۵ دقیقه صیقل داده می‌شود تا نمونه‌ها برای قرار دادن در زیر میکروسکپ آماده شود. در این مرحله ابتدا باید از خمیر طوسی رنگ استفاده نمود زیرا نرمی آن از خمیر سفید کمتر است.

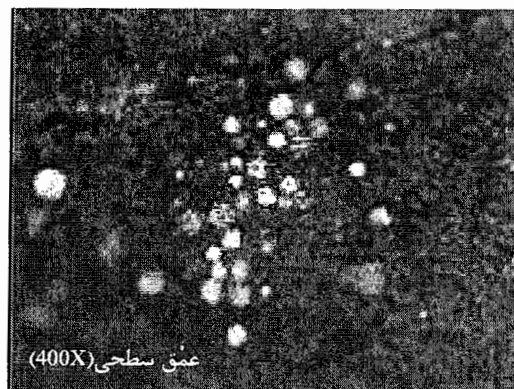
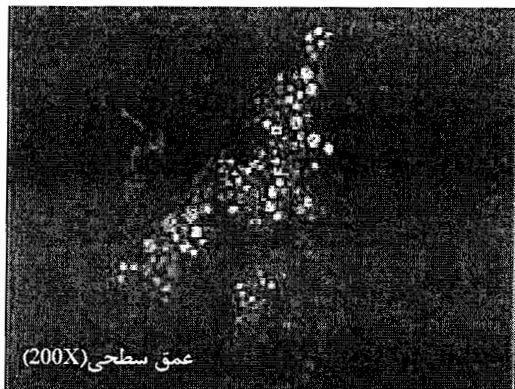
<sup>۱</sup> -Polish<sup>۲</sup> -Aluminum Oxide<sup>۳</sup> -Silizum Karbid

## ۵-۵- نتایج مطالعه مقاطع میکروسکپی

هدف از مطالعه مقاطع صیقلی علاوه بر مشاهده کمی کانی پیریت موجود در باطله‌های زغال سنگ، مشاهده روند تغییرات میزان پیریت نسبت به عمق نیز می‌باشد. یعنی با توجه به اینکه با افزایش عمق، مقدار اکسیژن نفوذی و رطوبت حاصل از ریزشهای جوی کمتر می‌شود و با توجه به اینکه میزان دسترسی کانیهای سولفیدی به آب و اکسیژن یکی از مهمترین فاکتورهای مؤثر در تولید AMD می‌باشد، انتظار می‌رود هر چه عمق افزایش یابد، میزان پیریت باقیمانده (اکسید نشده) در باطله‌ها نیز افزایش یابد. در مقاطع تهیه شده در این مطالعه، این روند افزایش میزان پیریت با افزایش عمق به خوبی مشهود است. نکته مهم در این بخش توجه به این مسئله است که به دلیل نرمی بالای زغال سنگ، امکان تهیه مقاطعی که پیریت در آنها با رنگ زرد طلایی مشخص باشد وجود ندارد زیرا در اثر صیقل دادن مقطع، زغال به سرعت ساییده می‌شود و این در حالیست که بلورهای پیریت چون از سختی بالاتری برخوردار هستند بطور کامل صیقل نخورده و کدر باقی می‌مانند. ولی با این حال با توجه به زمینه سیاه رنگ زغال در مقاطع تهیه شده، پیریت به خوبی قابل رؤیت است.

در شکل ۵-۱ می‌توان تصاویری از این مقاطع و روند تغییرات میزان پیریت نسبت به عمق را مشاهده نمود. در این تصاویر پیریت در مقطع حاصل از نمونه سطحی به صورت دانه‌های مجزا و در کنار هم مشاهده می‌شود که تعداد آنها نسبت به سطح کل مقطع ناچیز بوده و برای مشاهده این دانه‌ها نیاز به بزرگنمایی‌های بالاتری داریم که این امر دلالت بر اکسید شدن پیریت موجود در نمونه سطحی دارد.

در مقطع حاصل از عمق ۵۰ سانتیمتری، ازدیاد میزان پیریت نسبت به کل سطح مقطع و افزایش ابعاد دانه‌های آن به طور مشهودی قابل رؤیت است و در نهایت در مقطع حاصل از عمق ۱۰۰ سانتیمتر، علاوه بر دانه‌های پیریت می‌توان حتی رگه‌های میکروسکپی پیریت موجود در زغال سنگ را مشاهده نمود.



شکل ۵-۱ : تصاویر میکروسکوپی حاصل از مقاطع. در این تصاویر برای تشخیص پیریت در نمونه سطحی نیاز به بزرگنمایی بالاتری می باشد در حالی که در عمق های بیشتر، پیریت با بزرگنمایی پایین هم قابل مشاهده است (عمق نمونه و بزرگنمایی هر تصویر، در کنار آن مشخص شده است).

## ۵-۶- آماده سازی نمونه ها برای آنالیز میزان پیریت

به منظور آماده سازی نمونه ها جهت انجام آزمایش تعیین میزان پیریت باقیمانده ، به روش زیر عمل می شود:

ابتدا نمونه ها را به مدت ۷۲ ساعت در دستگاه آون با دمای  $105^{\circ}\text{C}$  قرار می دهند تا کاملاً خشک شوند. سپس از دستگاه سنگ شکن فکی برای خردایش نمونه ها استفاده می گردد. در این قسمت باید به این نکته توجه داشت که خروجی سنگ شکن را روی ۲۰ مش<sup>۱</sup> قرار می گیرد یعنی ابعاد ذرات خروجی حداکثر ۲۰ مش خواهد بود (در هنگام خردایش نمونه ها با سنگ شکن باید پس از خرد کردن هر نمونه، سنگ شکن را تمیز نمود تا از اختلاط نمونه ها با یکدیگر جلوگیری شود). در گام بعدی برای دسته بندی هر نمونه از لحاظ اندازه ذرات، از سرنده و دستگاه شیکر<sup>۲</sup> استفاده می شود. برای این منظور سرندهایی با ابعاد ۱۰، ۳۰، ۶۰، ۱۰۰، ۱۴۰ و ۲۰۰ مش را به ترتیب ذکر شده (یعنی از ابعاد بزرگ به کوچک) روی هم قرار می دهند و سپس نمونه های خرد شده را بر روی سرنده ۱۰ مش ریخته و این مجموعه را به مدت ۱۰ دقیقه بر روی شیکر قرار می گیرد تا دسته بندی شود و سپس با ترازویی که دقت آن در حد دهم گرم است بار موجود بر روی هر سرنده را وزن می شود.

در اینجا توجه به دو نکته الزامی است که اولاً سرنده ۱۰ مش بدین منظور استفاده گردید تا تمام نمونه بطور آنی بر روی سرنده ۳۰ مش قرار نگیرد تا عملیات دسته بندی بهتر و سریعتر صورت گیرد و در هنگام توزین هم بار روی سرندهای ۱۰ و ۳۰ مش با هم اندازه گیری می شود. ثانیاً تمیز کردن سرندها را بعد از اتمام هر مرحله به منظور جلوگیری از اختلاط نمونه ها نباید فراموش کرد. نتایج حاصل از سرنده نمونه ها در جداول ۵-۲ تا ۵-۵ آورده شده است.

۱- مش یعنی تعداد سوراخ موجود در یک اینچ

۲- Shaker

جدول ۲-۵: نتایج حاصل از سرند نمونه‌های اخذ شده از نقطه ۱ (اعداد نوشته شده در جدول، وزن موجود بر روی هر سرند بر حسب گرم می‌باشد).

| شماره سرند(مش)<br>عمق(سانتیمتر) | بالای ۳۰ | بالای ۶۰ | بالای ۱۰۰ | بالای ۱۴۰ | بالای ۲۰۰ | زیر ۲۰۰ |
|---------------------------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|---------|
| سطحی                            | ۸۵۶/۸    | ۶۴       | ۳۸/۴      | ۲۲/۵      | ۹         | ۲۴/۳    |
| ۲۵                              | ۱۳۱۶/۴   | ۱۰۸/۲    | ۷۴        | ۶۲/۱      | ۲۶/۹      | ۱۸/۸    |
| ۵۰                              | ۱۰۸۴/۶   | ۱۰۳/۳    | ۶۶/۸      | ۵۰/۲      | ۲۷/۶      | ۲۵/۵    |
| ۷۵                              | ۸۱۱      | ۷۸/۴     | ۵۴/۳      | ۳۳/۵      | ۱۰/۳      | ۲۴/۱    |
| ۱۰۰                             | ۷۹۵/۹    | ۷۸/۸     | ۴۵/۲      | ۳۴/۷      | ۱۳/۲      | ۱۸/۷    |

جدول ۳-۵: نتایج حاصل از سرند نمونه‌های اخذ شده از نقطه ۲ (اعداد نوشته شده در جدول، وزن موجود بر روی هر سرند بر حسب گرم می‌باشد).

| شماره سرند(مش)<br>عمق(سانتیمتر) | بالای ۳۰ | بالای ۶۰ | بالای ۱۰۰ | بالای ۱۴۰ | بالای ۲۰۰ | زیر ۲۰۰ |
|---------------------------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|---------|
| سطحی                            | ۱۰۲۲/۸   | ۶۹/۳     | ۴۲/۳      | ۲۵/۷      | ۹/۷       | ۲۳/۸    |
| ۲۵                              | ۶۹۰/۶    | ۷۸/۵     | ۴۷/۶      | ۳۳/۷      | ۱۱/۲      | ۱۶/۴    |
| ۵۰                              | ۷۶۱/۴    | ۸۶/۳     | ۵۳/۱      | ۳۷/۱      | ۸/۸       | ۱۱/۴    |
| ۷۵                              | ۹۲۲/۶    | ۹۳/۴     | ۵۹/۵      | ۳۷/۴      | ۱۰/۹      | ۱۶/۳    |
| ۱۰۰                             | ۸۱۲/۲    | ۱۰۶      | ۵۹/۸      | ۱۵/۷      | ۱۶/۹      | ۳۸/۸    |

جدول ۴-۵: نتایج حاصل از سرندهای نمونه‌های اخذ شده از نقطه ۳ (اعداد نوشته شده در جدول، وزن موجود بر روی هر سرنده برحسب گرم می‌باشد).

| شماره سرنده (مش) | عمق (سانتیمتر) | بالای ۳۰ | بالای ۶۰ | بالای ۱۰۰ | بالای ۱۴۰ | بالای ۲۰۰ | زیر ۲۰۰ |
|------------------|----------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|---------|
|                  |                | سطحی     | ۲۵       | ۵۰        | ۷۵        | ۱۰۰       |         |
|                  | سطحی           | ۸۹۶/۴    | ۵۴/۹     | ۲۹/۷      | ۲۲/۷      | ۱۰/۸      | ۱۲/۷    |
|                  | ۲۵             | ۸۵۶/۸    | ۱۰۶/۶    | ۶۶/۲      | ۵۰/۴      | ۲۲/۵      | ۲۶/۹    |
|                  | ۵۰             | ۷۰۲      | ۸۶       | ۵۴        | ۴۶/۹      | ۷/۸       | ۷/۷     |
|                  | ۷۵             | ۷۹۰/۲    | ۹۲/۸     | ۵۹/۱      | ۳۸/۹      | ۱۴/۲      | ۲۴/۶    |
|                  | ۱۰۰            | ۶۵۱/۳    | ۸۸/۴     | ۴۱/۷      | ۵۲/۲      | ۲۱/۷      | ۱۲/۷    |

جدول ۵-۵: نتایج حاصل از سرندهای نمونه‌های اخذ شده از نقطه ۴ (اعداد نوشته شده در جدول، وزن موجود بر روی هر سرنده برحسب گرم می‌باشد).

| شماره سرنده (مش) | عمق (سانتیمتر) | بالای ۳۰ | بالای ۶۰ | بالای ۱۰۰ | بالای ۱۴۰ | بالای ۲۰۰ | زیر ۲۰۰ |
|------------------|----------------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|---------|
|                  |                | سطحی     | ۲۵       | ۵۰        | ۷۵        | ۱۰۰       |         |
|                  | سطحی           | ۱۰۰۰/۵   | ۳۵/۲     | ۱۴/۹      | ۱۲/۲      | ۳/۵       | ۸/۳     |
|                  | ۲۵             | ۶۶۹/۴    | ۸۴       | ۵۵/۴      | ۳۵/۴      | ۱۰/۶      | ۲۰/۵    |
|                  | ۵۰             | ۸۱۰/۵    | ۱۰۴/۸    | ۶۶/۴      | ۴۴/۴      | ۱۴/۱      | ۲۰/۸    |
|                  | ۷۵             | ۷۵۰/۲    | ۸۵/۲     | ۵۵        | ۳۳/۵      | ۱۰/۵      | ۲۲/۸    |
|                  | ۱۰۰            | ۸۳۹/۸    | ۹۰/۱     | ۵۶        | ۳۸/۱      | ۲۲/۵      | ۳۰/۶    |

بعد از خردایش و سرنده کردن نمونه‌ها، ابعاد زیر ۲۰۰ مش جهت تعیین میزان پیریت باقیمانده به روش جذب اتمی انتخاب گردید.



### ۵-۷- آماده سازی نمونه ها

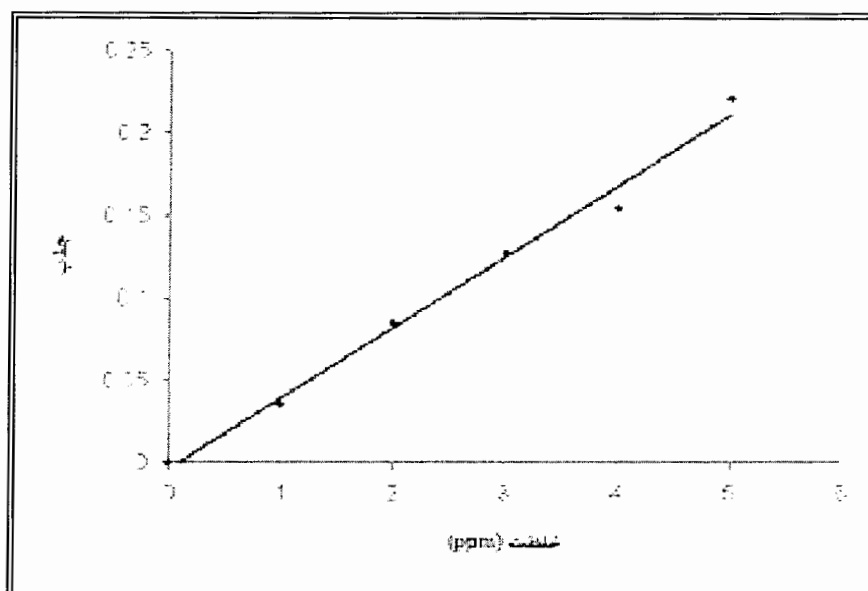
به منظور تعیین میزان پیریت باقیمانده در نمونه های اخذ شده به روش جذب اتمی، نیاز به آماده سازی نمونه ها به شرح زیر است:

هر یک گرم از نمونه های معرف آماده 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 سولفات های موجود در نمونه ها در اسید کلریدریک حل شوند. 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 تا سولفید آهن (پیریت) موجود در آن حل گردد. برای این کار 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، ۳ و ۴ انجام شده است.

### ۵-۸- اندازه گیری میزان آهن با استفاده از دستگاه جذب اتمی

حال می توان با اندازه گیری میزان آهن موجود در محلول های بدست آمده از مرحله قبل به کمک دستگاه جذب اتمی، میزان پیریت باقیمانده در هر نمونه را تعیین نمود. برای این منظور ابتدا باید محلول های استاندارد با غلظت های معین ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ ppm از نمک مور که حاوی آهن است تهیه کرده و سپس جذب آهن آنها اندازه گیری شود (شکل ۵-۲) که حاصل آن یک نمودار خطی از ترسیم جذب بر

حسب غلظت می‌باشد. با استفاده از این نمودار خطی و جذب محلول‌ها، مقدار جذب آهن نمونه‌ها تعیین می‌شود که نتایج بدست آمده در ذیل نشان داده شده است [سلیمانی، ۱۳۸۶].

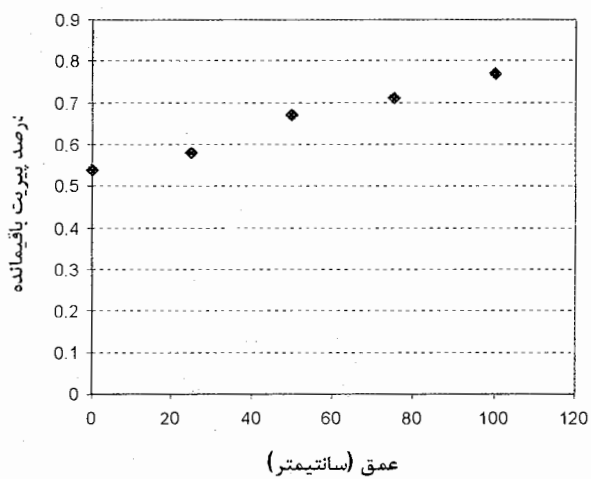


شکل ۵-۲: نمودار خطی جذب آهن بر حسب غلظت جهت تعیین میزان پیریت باقیمانده با دستگاه جذب اتمی

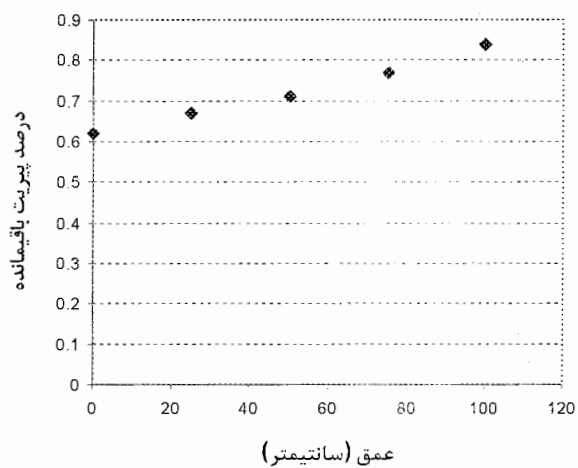
جدول ۵-۶: نتایج حاصل از تعیین میزان پیریت باقیمانده برای نمونه‌های اخذ شده از نقاط ۱، ۲، ۳ و ۴ به روش جذب اتمی

| نقاط نمونه برداری | عمق نمونه (سانتیمتر) | درصد آهن | درصد پیریت باقیمانده |
|-------------------|----------------------|----------|----------------------|
| ۱                 | عمق سطحی             | ۰/۲۵     | ۰/۵۴                 |
|                   | ۲۵                   | ۰/۲۷     | ۰/۵۸                 |
|                   | ۵۰                   | ۰/۳۱     | ۰/۶۷                 |
|                   | ۷۵                   | ۰/۳۳     | ۰/۷۱                 |
|                   | ۱۰۰                  | ۰/۳۶     | ۰/۷۷                 |
| ۲                 | عمق سطحی             | ۰/۲۹     | ۰/۶۲                 |
|                   | ۲۵                   | ۰/۳۱     | ۰/۶۷                 |
|                   | ۵۰                   | ۰/۳۳     | ۰/۷۱                 |
|                   | ۷۵                   | ۰/۳۶     | ۰/۷۷                 |
|                   | ۱۰۰                  | ۰/۳۹     | ۰/۸۴                 |
| ۳                 | عمق سطحی             | ۰/۲۷     | ۰/۵۸                 |
|                   | ۲۵                   | ۰/۲۹     | ۰/۶۲                 |
|                   | ۵۰                   | ۰/۳۱     | ۰/۶۷                 |
|                   | ۷۵                   | ۰/۳۵     | ۰/۷۵                 |
|                   | ۱۰۰                  | ۰/۳۸     | ۰/۸۲                 |
| ۴                 | عمق سطحی             | ۰/۱۵     | ۰/۳۲                 |
|                   | ۲۵                   | ۰/۱۶     | ۰/۳۴                 |
|                   | ۵۰                   | ۰/۱۹     | ۰/۴۱                 |
|                   | ۷۵                   | ۰/۲۱     | ۰/۴۵                 |
|                   | ۱۰۰                  | ۰/۲۳     | ۰/۴۹                 |

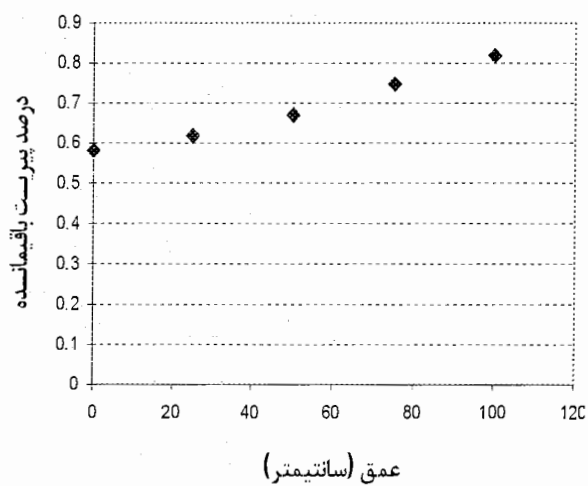
نقطه ۱



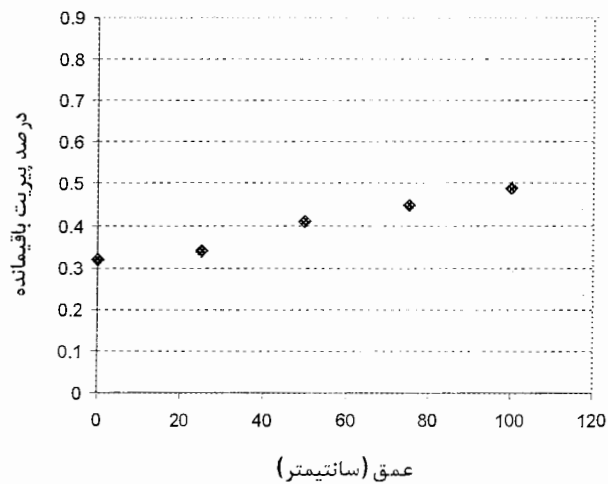
نقطه ۲



نقطه ۳



نقطه ۴



شکل ۳-۵: نمودارهای مربوط به نمونه‌های اخذ شده از نقاط چهارگانه

## ۵-۹- نتیجه گیری

در باطله‌های حاوی پیریت مثل باطله‌های معادن زغال‌سنگ، انتظار داریم پیریت در قسمتهای سطحی دمپ به علت وجود رطوبت و اکسیژن کافی، واکنش داده و مصرف شود. ولی با افزایش عمق به علت کاهش میزان رطوبت و اکسیژن، میزان پیریت باقیمانده افزایش یابد تا اینکه به حد ثابتی (مقدار اولیه) برسد که در اینصورت میزان نفوذ اکسیژن، تقریباً برابر صفر است.

در نتایج حاصله از نمونه‌های برداشت شده نیز همانطور که مشاهده می‌شود، با افزایش عمق میزان پیریت باقیمانده افزایش می‌یابد که علت این امر همانطور که ذکر شد کاهش میزان اکسیژن نفوذی و رطوبت در اعماق پایین‌تر است. از طرفی در نتایج مشاهده می‌شود میزان پیریت باقیمانده در عمق‌های پایین به حد ثابتی نمی‌رسد و روند افزایشی خود را ادامه می‌دهد که علت این امر عمق نسبتاً کم نمونه‌برداری به علت در دسترس نبودن امکانات مورد نیاز جهت نمونه‌گیری از اعماق بیشتر بوده است. در صورتی که انتظار داریم همانگونه که ذکر شد در عمق‌های پایین‌تر، به علت کاهش میزان اکسیژن نفوذی، میزان پیریت باقیمانده به حد ثابتی برسد.

در نمونه‌های اخذ شده از نقطه ۴ که از یک دمپ قدیمی‌تر تهیه شده است، میزان پیریت باقیمانده از سایر نمونه‌های هم عمق اخذ شده از نقاط دیگر، کمتر است که این اختلاف را می‌توان به عامل زمان نسبت داد. یعنی با گذشت زمان طولانی‌تر، پیریت بیشتری واکنش داده و در نتیجه AMD بیشتری تولید شده است.

## ۵-۱۰- آنالیز نمونه‌های آب

همانطور که در ابتدای این فصل ذکر شد، برای مشاهده بهتر اثرات زیست محیطی معادن زغال سنگ، ۴ نمونه آب از مناطق مختلف تهیه شد و برای آنالیز میزان آنیون‌ها و کاتیون‌های محلول و نیز اندازه‌گیری غلظت برخی از عناصر سنگین به آزمایشگاه شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان گلستان انتقال

یافت که نتایج حاصله در جدول ۵-۷ نشان داده شده‌اند. در این جدول عناصری که غلظت آنها بیش از اندازه مجاز می‌باشد با علامت \* مشخص شده است.

جدول ۵-۷: نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌های آب. علامت \* نشان‌دهنده غلظت بیش از حد مجاز می‌باشد (اعداد نوشته شده در جدول غلظت یونها یا مقادیر مجاز بر حسب ppm می‌باشد).

| محل اخذ نمونه<br>یون یا خاصیت | بالا دست<br>معدن | بساب معدن<br>فشلاق | زغال سویی | بساب معدن<br>رضی | حداکثر مجاز<br>در آب شرب |
|-------------------------------|------------------|--------------------|-----------|------------------|--------------------------|
| کلر                           | ۲۱۲/۷۶           | ۹۹/۲۹              | ۲۱/۲۸     | *۱۴۱/۸۴          | ۴۰۰                      |
| سولفات                        | ۱۰۵              | ۲۲۰/۹              | ۶۹/۶۴     | *۱۴۴۸/۶          | ۴۰۰                      |
| کربنات                        | ۰                | ۰                  | ۰         | ۲۱۰              | -                        |
| بی‌کربنات                     | ۳۱۱/۱۵           | *۵۰۶/۳۸            | ۳۱۷/۲۵    | *۱۷۹۳/۷          | ۵۰۰                      |
| سولفید                        | ۰/۰۰۵            | *۰/۰۵۱             | ۰/۰۴۸     | *۰/۱۵۲           | ۰/۰۵                     |
| فلوراید                       | ۰/۱۸             | ۰/۹                | ۰/۵۲      | ۱/۴              | ۱/۶                      |
| کلسیم                         | ۸۰/۱۶            | ۵۰/۱               | ۶۲/۱۲     | ۱۶۰/۳۲           | ۲۵۰                      |
| منیزیم                        | ۲۴/۳۲            | ۳۰/۴               | ۳۰/۴      | *۶۳/۲۳           | ۵۰                       |
| سدیم                          | ۱۶۵/۱۴           | *۲۴۵/۱۸            | ۳۶/۱۱     | *۱۳۱۵/۶          | ۲۰۰                      |
| بناسیم                        | ۱/۹۵             | ۴/۳                | ۳/۹۱      | ۷/۸۲             | ۱۲                       |
| آهن کل                        | ۰/۰۴             | ۰/۱۸               | ۰/۱۵      | *۲/۴۳            | ۰/۳                      |
| منگنز                         | ۰/۰۷۹            | ۰/۰۹۵              | ۱۰۲       | *۲۰۸             | ۰/۵                      |
| آهن دو ظرفیتی ( $Fe^{+2}$ )   | ۰/۰۱             | ۰/۰۵               | ۰/۰۶      | ۰/۹۹             | -                        |
| مس                            | ۰/۰۱۸            | ۰/۰۱۵              | ۰/۰۰۶     | ۰/۰۱۲            | ۱                        |
| هدایت الکتریکی $\times EC$    | *۱۲۷۵            | *۱۴۶۵              | ۶۲۹       | *۵۹۸۵            | ۱۰۰۰                     |
| سختی                          | ۳۰۰              | ۲۵۰                | ۲۰۴       | *۶۶۰             | ۵۰۰                      |
| pH                            | ۷/۹              | ۷/۸                | ۷/۶       | ۸/۷              | ۷/۵ تا ۶/۵               |

x واحد هدایت الکتریکی  $\mu mos/cm$  می‌باشد.

## ۵-۱۱- نمودارهای شیمی آب

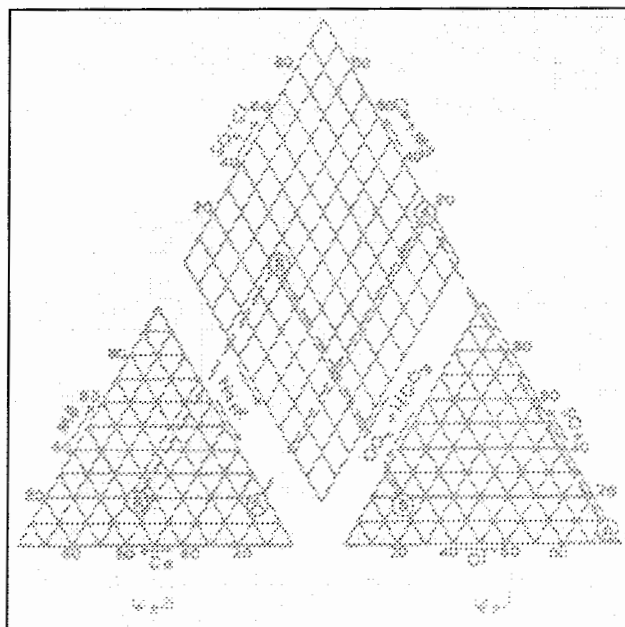
نمودارهای مختلفی برای نشان دادن نتایج تجزیه شیمیایی آب وجود دارد. در اغلب این نمودارها آب را محلولی شامل سه جزء کاتیونی: کلسیم، منیزیم و فلزات قلیایی (سدیم+پتاسیم) و سه جزء آنیونی: سولفات، کلرید و بیکربنات+کربنات در نظر می‌گیرند. نمودارهای استیف<sup>۱</sup> و پایپر<sup>۲</sup> از مهمترین این نمودارها هستند که از آنها جهت بررسی نتایج حاصله از نمونه‌های اخذ شده استفاده گردید.

در نمودار استیف، نتایج تجزیه شیمیایی بر حسب میلی‌اکی‌والان در لیتر ( $meq/l$ ) بر روی خطوط افقی پیاده می‌شود. با اتصال نقاط بدست آمده به هم، شکل‌های مشخصی به وجود می‌آید که از نظر مقایسه سریع تعداد زیادی از نمونه‌ها بسیار مفید است.

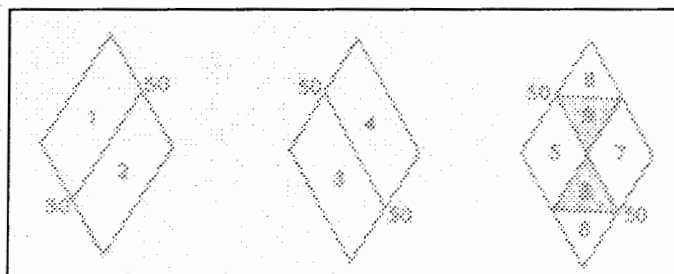
در نمودار پایپر می‌توان تعداد زیادی نمونه را در یک دیاگرام نشان داد. به علاوه این نمودار از نظر تعبیر و تفسیر نتایج تجزیه شیمیایی آب بسیار سودمند است. مطابق شکل ۵-۷ نمودار پایپر از ترکیب سه میدان مجزا درست شده است. درصد آنیونها و کاتیونها را در میدان‌های مثلثی و موقعیت ترکیبی آنها را در میدان لوزی شکل پیاده می‌کنند. در مثلث سمت راست آنیون‌ها پیاده می‌شود. به این ترتیب که بر روی ضلع مربوط به آن آنیون، درصد آنرا پیدا کرده و خطی به موازات ضلعی که روبروی رأس ۱۰۰ درصد مربوط به آن آنیون است می‌کشند. به این ترتیب سه خط رسم می‌شود که یکدیگر را در یک نقطه قطع می‌کنند. سپس همین عمل را برای کاتیونها در مثلث سمت چپ انجام می‌دهند تا نقطه دیگری بدست آید. آنگاه این دو نقطه را به موازات اضلاع لوزی امتداد می‌دهند تا یکدیگر را در نقطه‌ای در میدان لوزی قطع کنند. با استفاده از این نقطه می‌توان تیپ آب و وضع شیمیایی آنرا مشخص کرد. در نمودار پایپر به سرعت می‌توان نوع آب را تشخیص داد. وقتی میدان لوزی شکل را مطابق شکل ۵-۸ تقسیم کنیم، در منطقه ۱ قلیایی‌های خاکی بیش از قلیایی‌ها و در منطقه ۲ قلیایی‌ها بیش از قلیایی‌های خاکی است. در منطقه ۳ اسیدهای ضعیف بیش از اسیدهای قوی و در منطقه ۴ اسیدهای قوی بیش از اسیدهای ضعیف

<sup>۱</sup> -Stiff<sup>۲</sup> -Piper

است. در منطقه ۵ سختی کربناتی از ۵۰ درصد تجاوز می‌کند. به عبارت دیگر قلیایی‌های خاکی و اسیدهای ضعیف غلبه دارند. در منطقه ۶ سختی غیرکربناتی متجاوز از ۵۰ درصد است. در منطقه ۷ قلیایی غیرکربناتی بیش از ۵۰ درصد و غلبه با قلیایی‌ها و اسیدهای قوی است. آب اقیانوس‌ها و آبهای خیلی شور در این منطقه و نزدیک به رأس سمت راست آن قرار می‌گیرند.



شکل ۴-۵: نمودار پایپر. نتایج تجزیه شیمیایی هر نمونه با سه نقطه مشخص می‌شود. *A* نمونه‌ای از آب دریا و *B* نمونه‌ای از آب قابل شرب است [صدقت، ۱۳۷۸].



شکل ۵-۵: زیرتقسیمات میدان لوزی شکل نمودار پایپر [صدقت، ۱۳۷۸].



در منطقه ۸ قلیایی کربناتی متجاوز از ۵۰ درصد است. در اینجا آبهای قرار می گیرند که سختی آنها در مقایسه با مواد محلول موجود در آنها خیلی کم می باشد. در منطقه ۹ هیچ زوج آنیون - کاتیونی از ۵۰ درصد تجاوز نمی کند [صدقت، ۱۳۷۸].

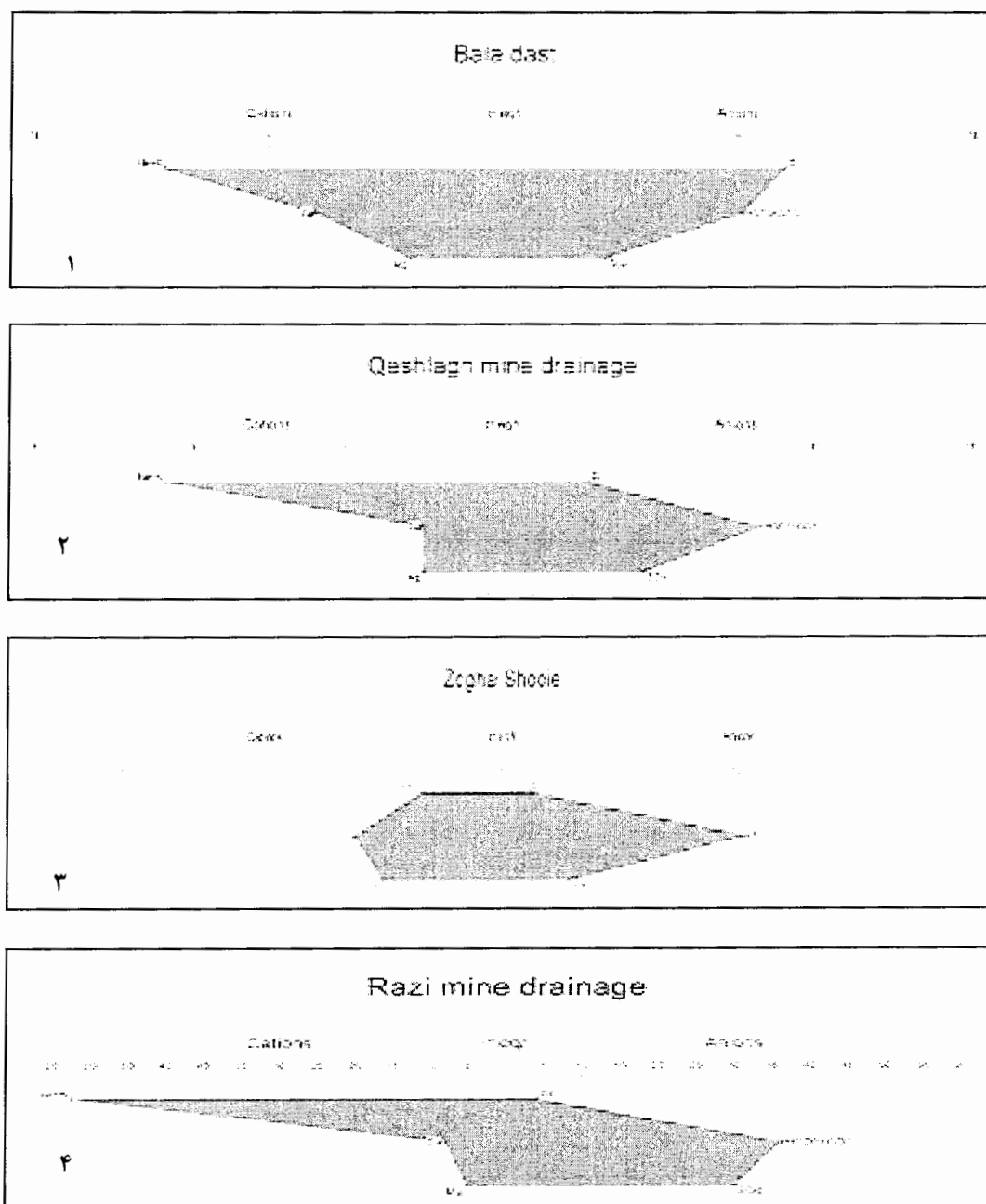
#### ۵-۱۲- بررسی نتایج نمونه ها با نمودار استیف

برای تهیه نمودارهای استیف حاصل از نمونه های آب، از نرم افزار Works Rock استفاده گردید. در این روش با در نظر گرفتن بالاترین غلظت مربوط به آنیونها و کاتیونها، به هر نمونه آب یک اسم تعلق می گیرد. باید به این نکته توجه داشت که در نمودار استیف، هر بار تنها می توان یک نمونه را مورد بررسی قرار داد. لذا برای بررسی نمونه ها، ۴ بار از این نمودار استفاده گردید که نتایج بدست آمده از نرم افزار به شرح زیر است:

جدول

جدول ۵-۴: نامگذاری نمونه ها بر مبنای نمودار استیف

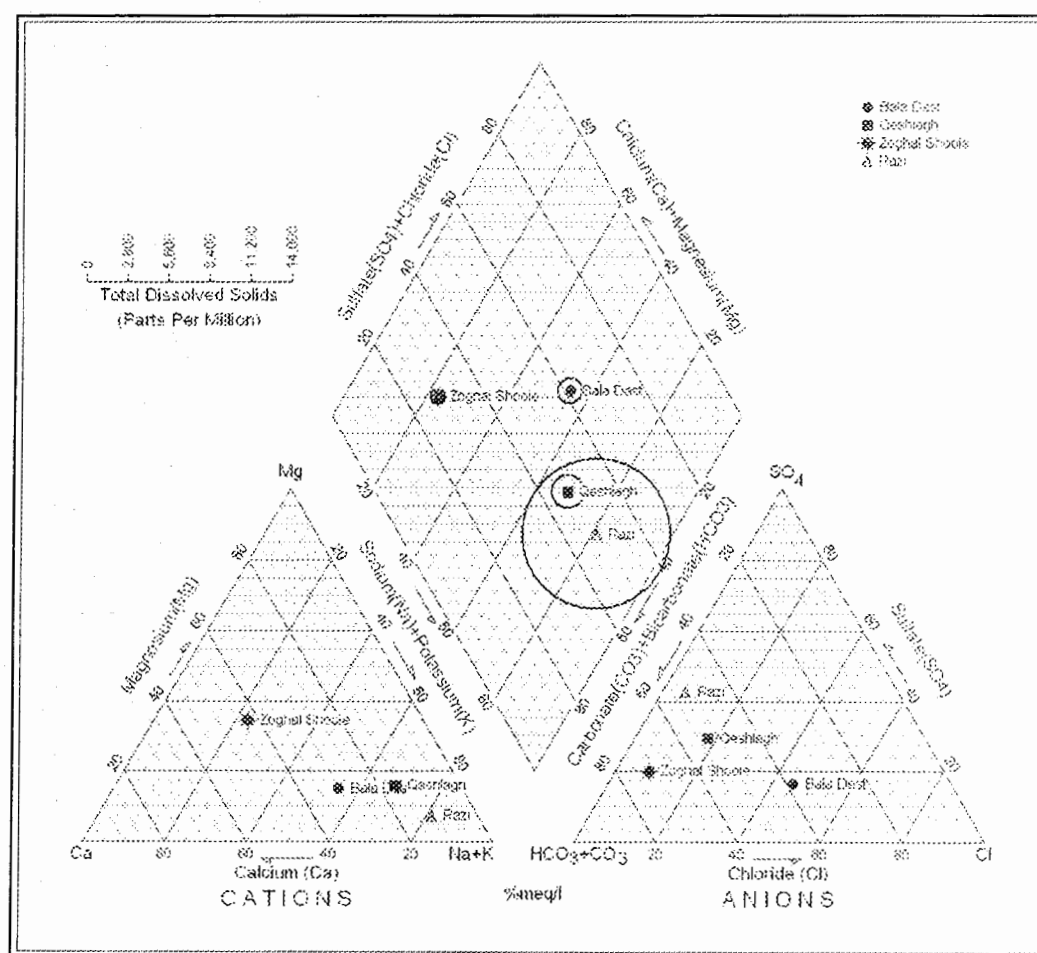
| نام نمونه       | نوع آب          |
|-----------------|-----------------|
| بالا دست        | کلراید- سدیک    |
| پساب معدن قشلاق | بیکربنات- سدیک  |
| زغال شویی       | بیکربنات- کلسیک |
| پساب معدن رضی   | بیکربنات- سدیک  |



شکل ۵-۹: نمودارهای استیف برای نمونه‌ها به کمک نرم‌افزار Rock Works. ۱- بالادست ۲- پساب معدن قشلاق ۳- زغال شویی ۴- پساب معدن رضی

## ۵-۱۳- بررسی نتایج با نمودار پایپر

همانطور که ذکر شد یکی از فواید نمودار پایپر، توانایی نمایش چندین نمونه به طور همزمان در یک دیگرام است. برای تهیه این نمودار نیز از نرم افزار **Rock Works** استفاده گردید که نتایج حاصله مطابق شکل ۵-۷ می باشد. در این شکل، شعاع دایره نشان دهنده میزان **TDS** هر نمونه متناسب با مقیاس ارائه شده می باشد.



شکل ۵-۷: نمودار پایپر حاصل از نتایج آنالیز نمونه ها به کمک نرم افزار **Rock Works**

بر طبق این نمودار نمونه بالادست در قسمتهای ۹ و ۴ و ۱، پساب معدن رضی و قشلاق در قسمتهای ۲ و ۴ و ۷ و نمونه زغال شویی در قسمتهای ۱ و ۳ و ۵ از تقسیم بندی های نمودار پایپر واقع شده اند.

## فصل ششم

پرسی اکسیاسیون پیریت و تولید آلودگی به کمک مدل سازی عددی

## مقدمه

امروزه کامپیوتر در زمینه های مختلف علوم، من جمله در مطالعات زیست محیطی کاربرد فراوانی یافته است. به عنوان مثال برخی از نرم افزارهای دینامیک سیالات محاسباتی<sup>۱</sup> یا CFD با استفاده از تکنیک های مختلف محاسباتی می توانند فرآیندهای آلودگی که در اثر فعالیت معادن بوجود می آیند را به صورت دقیق مورد بررسی و مطالعه قرار دهند. یکی از نرم افزارهای مرتبط با حرکت سیالات، PHOENICS نام دارد که محصول شرکت CHAM انگلستان می باشد. در مطالعه حاضر سعی شده است به کمک این نرم افزار و در نظر گرفتن پارامترهای مربوطه، یک مدل مناسب ارائه نمود به نحوی که با نتایج حاصل از مطالعات آزمایشگاهی منطبق بوده و قادر به پیش بینی نحوه عملکرد سیستم مورد مطالعه در آینده باشد.

## ۱-۶- مدل سازی

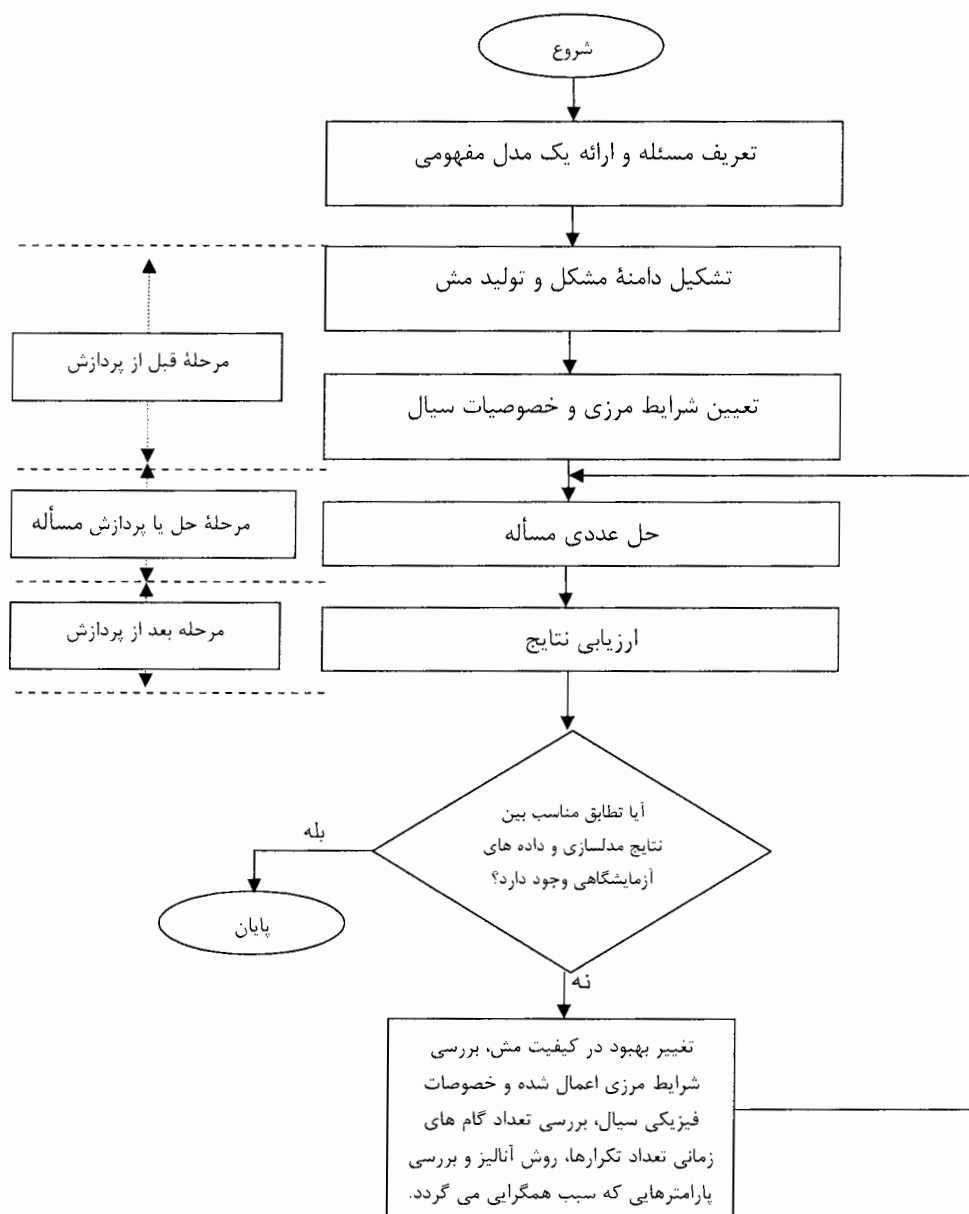
یک مدل عبارتست از یک نماینده یا سمبل از آنچه که در یک سیستم واقعی در حال اتفاق افتادن است. هدف از مدل سازی افزایش فهم و دانش از فرآیندهای موجود در یک سیستم و پیش بینی نحوه عملکرد آن در آینده است. مدل ها قادرند ما را در طراحی های بهینه و حتی نحوه اجرای روشهای پاک سازی مناطق آلوده یاری نمایند [دولتی و همکاران، ۱۳۸۳].

<sup>۱</sup> -Computational Fluid Dynamics

مدل ها انواع متفاوتی دارند مثل مدل های مفهومی که بصورت کیفی فرآیندهای موجود در یک سیستم را نشان می دهند یا مدل های فیزیکی که قبل از پیدایش کامپیوتر رواج زیادی داشته اند. برای بررسی کمی رفتار فیزیکی سیستم، از مدل های ریاضی استفاده می شود که در واقع این مدل ها یک معادله ریاضی اند که این معادله، باید به صورت تحلیلی یا عددی برای یک متغیر حل شود. در مواردی که سیستم مدل سازی پیچیده باشد، مدل های فوق الذکر جواب دقیقی را ارائه نمی کنند که در این صورت باید از مدل های عددی استفاده نمود. چون این مدل ها بهتر می توانند رفتار پیچیده سیالات در محیط های متخلخل را پیش بینی کنند و پیچیدگی انتقال آلاینده ها را در سیستم آبخانه ای با در نظر گرفتن واکنش های شیمیایی که یک آلاینده با آن درگیر است شبیه سازی نمایند [دولتی و همکاران، ۱۳۸۳].

امروزه مدل های ایجاد شده توسط نرم افزارهای کامپیوتری را می توان مدل های تعمیم یافته برای مدل های عددی در نظر گرفت که نرم افزار می تواند از طریق تکرار متغیر مورد نظر را در سیستم مورد مطالعه تخمین بزند. نرم افزار PHOENICS، یکی از این نرم افزارهاست که متغیر را با روش عددی حجم های محدود<sup>۱</sup> و از طریق تکرار، محاسبه می کنند و خروجی را با فرمت های مختلفی مثل رسم گراف یا خطوط هم جریان و غیره نشان می دهد. در شکل ۶-۱ مراحل انجام یک آنالیز با نرم افزار PHOENICS نشان داده شده است.

<sup>۱</sup> -Finite Volume



شکل ۶-۱: فلوچارت انجام مراحل اصلی آنالیز با نرم افزار PHOENICS [دولتی و همکاران، ۲۰۰۴].

## ۶-۲- مدلسازی فرآیند نفوذ اکسیژن و اکسیداسیون پیریت

مدلی که فرآیند اکسید شدن پیریت در باطله‌های حاوی پیریت را تشریح می‌کند مدل مغزه منقبض شونده<sup>۱</sup>، نامیده می‌شود که در این مدل یک ذره حاوی پیریت که در آن بطور یکنواخت پخش شده است با فرض اینکه اطراف ذره را یک فیلم از آب فرا گرفته باشد آنگاه نرخ اکسید شدن این ذره از نوع سینتیک درجه اول نسبت به سطح پیریت و غلظت ماده اکسیدکننده می‌باشد و سرعت اکسیداسیون با نفوذ اکسیژن از سطح تا عمق باطله‌ها کنترل می‌شود. فرآیند اکسیداسیون منجر به کاهش سطح مغزه منقبض شونده می‌شود.

برای انجام مدلسازی نفوذ اکسیژن و اکسیداسیون پیریت در مطالعه حاضر، یک پروفیل عمقی به طول ۵ متر در توده باطله در نظر می‌گیریم که پارامترهای ورودی آن مطابق جدول ۶-۱ می‌باشد.

جدول ۶-۱: پارامترهای ورودی سیستم

|                                 |                                                    |
|---------------------------------|----------------------------------------------------|
| طول مدل                         | ۵ متر (در جهت عمق)                                 |
| مدت زمان شبیه‌سازی              | ۶ ماه تا یک سال                                    |
| تعداد گام‌های زمانی             | ۲۴                                                 |
| بستگی زمانی مدل                 | ناپایا                                             |
| تعداد المانهای حجمی             | ۳۰ عدد                                             |
| ضریب نفوذ مؤثر اکسیژن           | بین $1 \times 10^{-7}$ تا $1 \times 10^{-9} m^2/s$ |
| درصد پیریت                      | (۰/۳۲٪ تا ۰/۸۴٪)                                   |
| ثابت سینتیک درجه اول برای $O_2$ | $7/5 \times 10^{-7} 1/s$                           |
| تعداد تکرارها                   | ۵۰۰ بار                                            |

<sup>۱</sup> -Shrinking core model



در گام بعدی برای مدل طراحی شده باید شرایط مرزی را تعیین نمود که این شرایط به شرح زیر است.

۱. مقدار اکسیژن در ورودی مدل برابر با مقدار اکسیژن در اتمسفر یعنی  $0.21$  در تمامی زمان

$$c(z=0, t) = 0.21 \quad \text{مدلسازی می باشد.}$$

در معادله فوق،  $C$  غلظت،  $Z$  عمق و  $t$  زمان می باشد.

۲. مقدار اکسیژن قبل از شروع فرآیند مدل سازی در طول مدل، صفر در نظر گرفته شده است. یعنی:

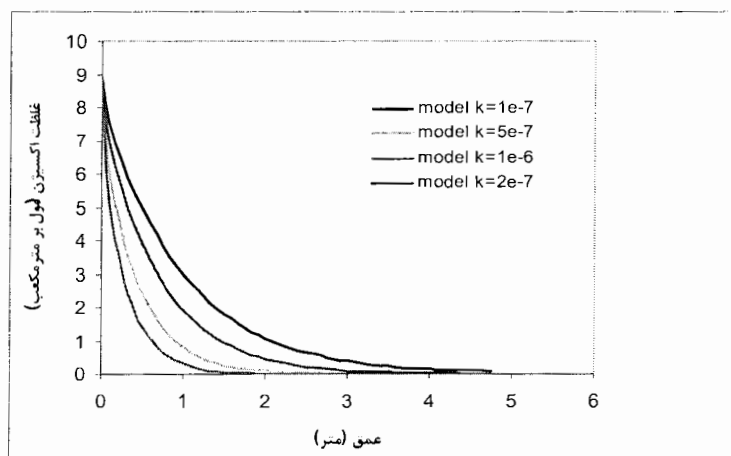
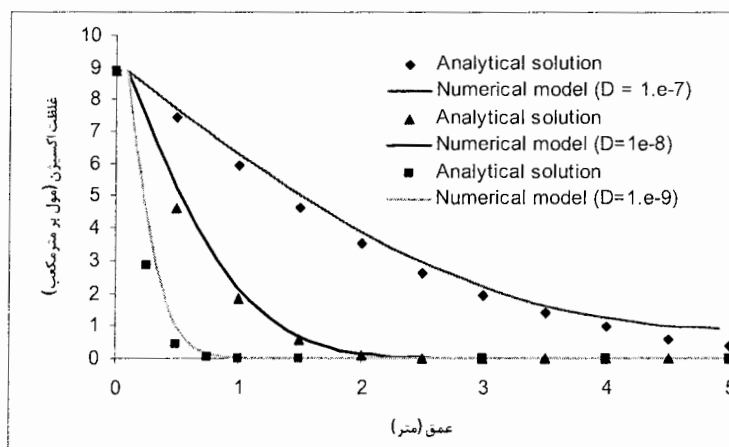
$$c(z > 0, t = 0) = 0$$

۳. در انتهای مدل، غلظت اکسیژن را معادل مقدار اولیه اش در طول مدل قرار می دهیم. یعنی:

$$c(z = 5, t) = 0$$

### ۳-۶- 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 هوادار 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. در شکل ۶-۲ اثر تغییرات ضرایب سینتیک واکنش و نرخ نفوذ اکسیژن در میزان نفوذ اکسیژن به داخل دمپ به کمک نرم افزار PHOENICS شبیه سازی شده است. همانطور که در شکل دیده می شود با افزایش ضریب نفوذ اکسیژن، عمق نفوذ اکسیژن نیز افزایش می یابد و بالعکس با افزایش ضریب سینتیک شیمیایی، عمق نفوذ اکسیژن کاهش می یابد.

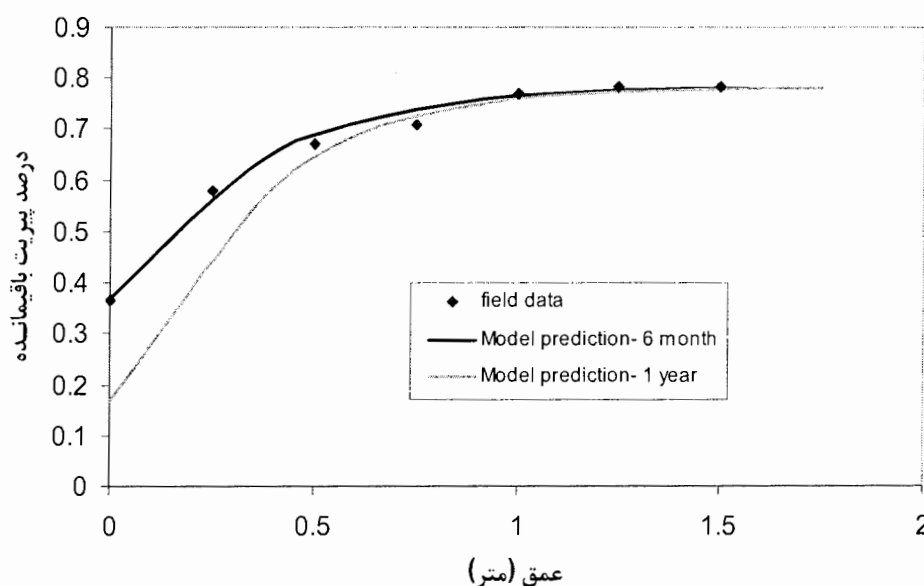


شکل ۶-۲: تأثیر تغییرات ضریب نفوذ اکسیژن (نمودار بالا) و ضریب سینتیک شیمیایی (نمودار پایین) بر میزان نفوذ اکسیژن به دمپ باطله

#### ۶-۴- نتایج حاصل از مدل سازی

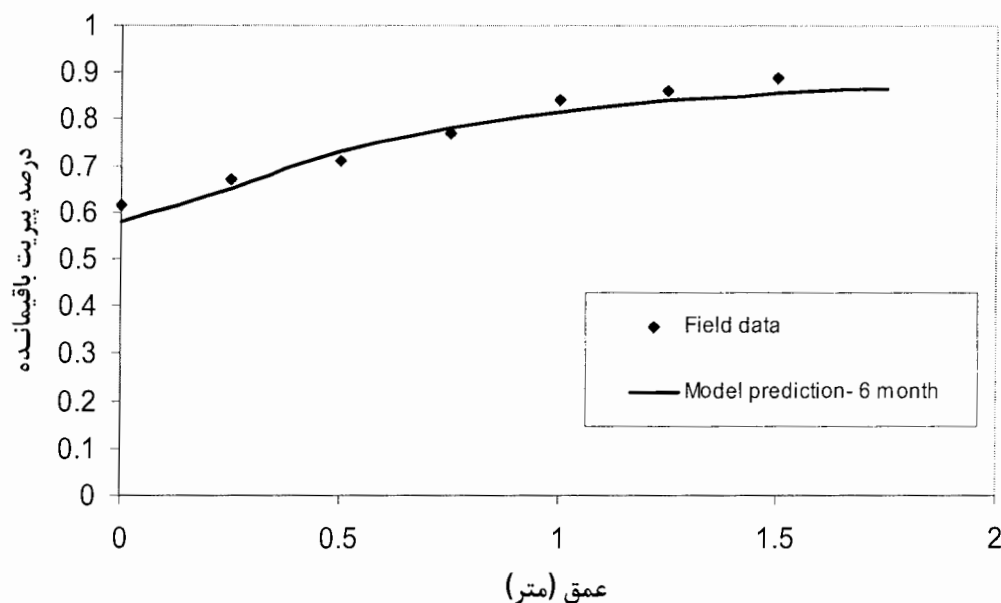
با استفاده از نرم افزار PHOENICS، مدل مغزه انتقازی اکسیداسیون پیریت بطور همزمان با مدل نفوذ اکسیژن حل شد و نتایج مدل سازی عددی با نتایج آنالیز جذب اتمی برای تعیین پیریت باقیمانده در محل های نمونه برداری روی دمپ باطله های فراوری مقایسه گردید که ذیلاً مورد بررسی قرار می گیرند.

در شکل ۳-۶، مقدار پیریت باقیمانده به ازای یک دوره زمانی ۶ ماهه برای نمونه های اخذ شده از نقطه یک، توسط نرم افزار شبیه سازی شده است که نتایج حاصله با نتایج روش جذب اتمی تقریباً مشابه هستند. حال به راحتی می توان با تغییر زمان مدل سازی روند تغییرات میزان پیریت باقیمانده نسبت به زمان را پیش بینی نمود. به عنوان مثال همانطور که در شکل دیده می شود انتظار داریم با گذشت یک سال از زمان دمپ باطله، میزان پیریت باقیمانده، مطابق منحنی پایینی در شکل ۳-۶ شود.



شکل ۳-۶: مقایسه داده های صحرایی و نتایج مدل برای تعیین درصد پیریت باقیمانده نسبت به عمق برای نمونه های اخذ شده از نقطه ۱

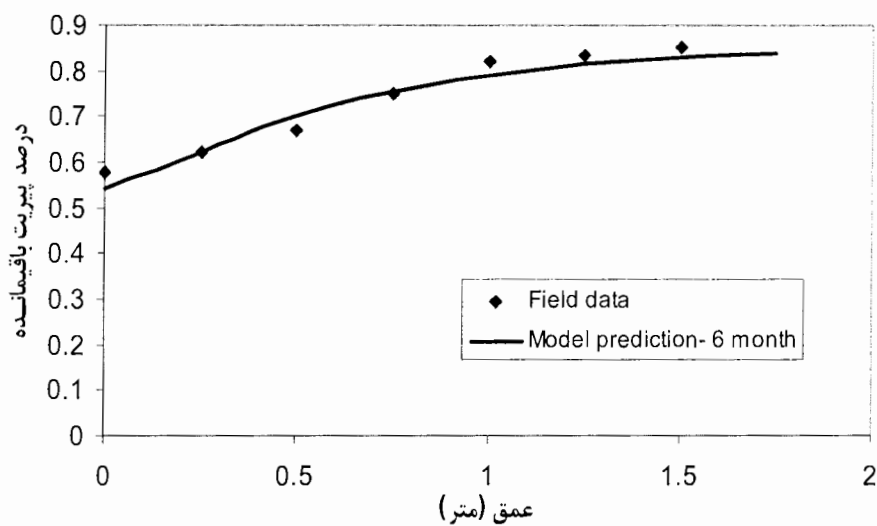
در شکل ۴-۶ نتایج حاصل از مدل سازی برای درصد پیریت باقیمانده در باطله ها نسبت به عمق با داده های صحرایی مربوط به نمونه های اخذ شده از نقطه ۲ برای دوره زمانی شش ماهه مقایسه شده است که از انطباق مطلوبی برخوردار است. در این نمودار میزان پیریت از ۰/۶۲ در سطح به حدود ۰/۸ درصد در عمق یک متری می رسد.



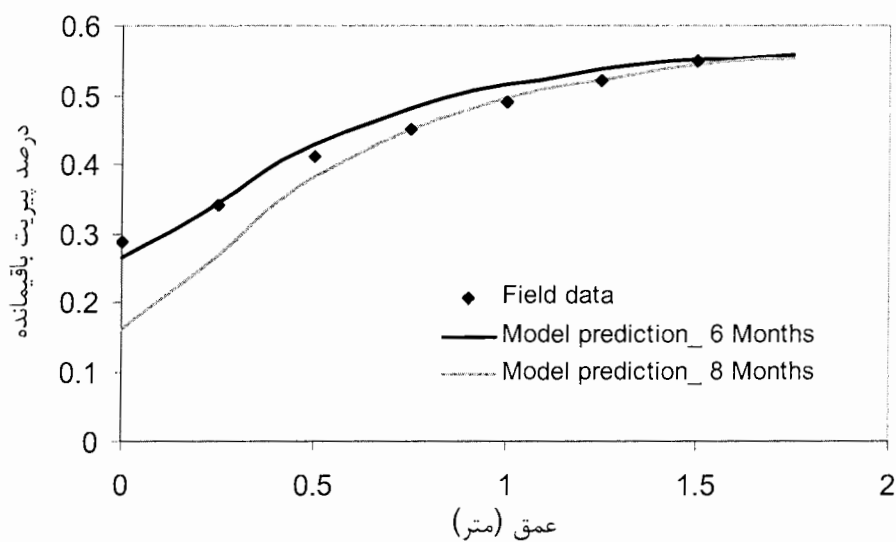
شکل ۴-۶: مقایسه داده‌های صحرایی و نتایج مدل برای تعیین درصد پیریت باقیمانده نسبت به عمق برای نمونه‌های اخذ شده از نقطه ۲

شکل ۵-۶ مقایسه بین نتایج مدل سازی و داده‌های حاصل از آنالیز جذب اتمی برای نمونه‌های اخذ شده از نقطه ۳ رانشان می‌دهد که نتایج حاصله بسیار شبیه به نمونه‌های نقطه ۲ می‌باشد. لذا با توجه به اطلاعاتی که از مدل سازی در سه پروفیل عمقی این دمپ صورت گرفته و مقایسه نتایج مدل سازی عددی با داده‌های صحرایی می‌توان نتیجه گرفت که عمر تقریبی این دمپ حدوداً ۶ ماه باشد.

در شکل ۶-۶ همانطور که قبلاً نیز در آنالیز به روش جذب اتمی به دلیل کاهش میزان پیریت باقیمانده نسبت به سایر نمونه‌های هم عمق اخذ شده از نقاط دیگر، ثابت شده بود که نمونه‌های حاصله از نقطه ۴ از یک دمپ قدیمی‌تر هستند، مشاهده می‌شود که نتایج حاصل از مدل سازی نیز این مسئله را تأیید می‌کند.



شکل ۵-۶: مقایسه داده‌های صحرایی و نتایج مدل برای تعیین درصد پیریت باقیمانده نسبت به عمق برای نمونه‌های اخذ شده از نقطه ۳



شکل ۶-۶: مقایسه داده‌های صحرایی و نتایج مدل برای تعیین درصد پیریت باقیمانده نسبت به عمق برای نمونه‌های اخذ شده از نقطه ۴

فصل هشتم

نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات

## ۷-۱- نتیجه‌گیری

بر اساس آنچه که تا کنون گفته شد، تولید پساب اسیدی در باطله‌های معادن حاوی کانی‌های سولفیدی به ویژه معادن زغال‌سنگ امری اجتناب‌ناپذیر است که این امر بدلیل اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی، مخصوصاً کانی پیریت در مجاورت اکسیژن و آب صورت می‌گیرد. از طرفی شستشوی زغال به منظور دستیابی به زغال مرغوبتر ضروری به نظر می‌رسد که این امر خود باعث افزایش کانی پیریت در باطله‌های حاصل از کارخانه‌های زغال‌شویی می‌شود و این در حالی است که در اکثر این معادن به دلیل حجم زیاد باطله‌های تولیدی، آنها را در نزدیکترین و بهترین مکان که از لحاظ هزینه حمل و نقل برای عملیات معدنکاری توجیه اقتصادی داشته باشد، انباشت می‌نمایند. که این امر خود باعث بروز مشکلات زیست‌محیطی عدیده‌ای می‌شود. آلودگی آبهای سطحی و زیرزمینی از لحاظ سمیت، بو، رنگ و مزه و آسیب محصولات کشاورزی و جانوران و آبزیان موجود در مناطق پایین‌دست این سایت‌های معدنی بخشی از اثرات پسابهای اسیدی معدن هستند.

منطقه زغال‌دار قشلاق که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفت، یکی از بزرگترین مناطق زغال‌دار ایران است که در شمال کشور و در ناحیه‌ای جنگلی و نیمه جنگلی با آب فراوان قرار دارد که این امر توجه به مسائل زیست‌محیطی را بیش از پیش ضروری می‌نماید. در این منطقه ۱۰ معدن فعال و چندین معدن متروکه وجود دارد که با توجه به تعدد معادن، چندین دمپ باطله در اطراف این معادن بوجود آمده است. از طرفی اکثر این دمپ‌ها در کنار رودخانه یا در دامنه تپه‌ها واقع شده‌اند که بی توجهی

به این موضوع زمینه‌ساز بروز مشکلاتی در منطقه شده است. به عنوان مثال تخلیه مقدار زیادی باطله در آبهای سطحی بدلیل سیلاب‌های متعددی که در سالیان اخیر در این منطقه رخ داده است و کاهش پوشش گیاهی در اطراف دمپ‌های باطله تنها بخشی از اثرات نامطلوب ناشی از بی‌توجهی به مکان انباشت باطله‌هاست. لذا در مطالعه حاضر سعی شد ابتدا با بازدید دقیق از منطقه، محل‌هایی که در آنها پتانسیل تولید پساب اسیدی وجود داشت، شناسایی شود تا در مرحله بعد مطالعات بیشتری بر روی این مناطق صورت گیرد. بعد از شناسایی این مناطق نمونه‌هایی از دمپ‌های باطله و آبهای سطحی منطقه اخذ شد و به موازات این مطالعات سعی شد با فراهم آوردن نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ منطقه، و به کمک سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و نرم‌افزارهای ArcView و Idrisi مطالعات مربوط به مکان‌یابی محل دمپ باطله‌ها متناسب با شرایط زیست‌محیطی صورت گیرد. نمونه‌برداری از دمپ‌های باطله به صورت عمقی (هر ۲۵ سانتیمتر یک نمونه به وزن حداقل ۱ کیلوگرم) صورت گرفت که پس از مراحل آماده‌سازی و طبقه‌بندی نمونه‌ها، به کمک تجزیه سرنده، از روش جذب اتمی به منظور تعیین درصد پیریت باقیمانده نمونه‌ها استفاده گردید. نتایج حاصل از آنالیزها نشان‌دهنده افزایش میزان پیریت باقیمانده نمونه‌ها با افزایش عمق نمونه‌برداری بود. همزمان با انجام مطالعات کمی بروش جذب اتمی بر روی نمونه‌های زغال، مطالعات کیفی نیز با تهیه مقاطع صیقلی و مشاهده آنها در زیر میکروسکپ نور انعکاسی انجام پذیرفت که نتایج بدست آمده، افزایش میزان پیریت باقیمانده با افزایش عمق را به علت کاهش نفوذ اکسیژن نشان داد.

در چهار نمونه اخذ شده از آبهای سطحی منطقه نیز همانطور که انتظار می‌رفت در پساب‌های خروجی از معادن، غلظت برخی عناصر به ویژه فلزات سنگین بسیار بالاتر از حد مجاز بوده که به عنوان مثال می‌توان به غلظت بالای عناصر و یون‌هایی مثل سولفات، بیکربنات، سولفید، منیزیم، سدیم، آهن و منگنز در نمونه اخذ شده از پساب معدن رضی اشاره کرد. در ادامه نیز به کمک نمودارهای شیمی آب مثل نمودارهای استیف و پایپر که به منظور نشان دادن نتایج تجزیه شیمیایی آب استفاده می‌شوند، نوع و محدوده نمونه‌های آب تعیین و نامگذاری شد.



در مرحله بعد برای تأیید نتایج آنالیزهای مربوط به اکسیداسیون پیریت در باطله، از مدل‌سازی یک بعدی ریاضی با استفاده از نرم‌افزار PHOENICS، یک مدل یک بعدی ریاضی جهت توجیه فرآیندهای اکسیداسیون پیریت و تولید آلودگی، ارائه گردید. در این روش، با استفاده از روش عددی المان حجمی محدود، معادله حاکم بر نفوذ اکسیژن در باطله‌ها و مدل مغزه انقباضی به طور همزمان تحت گامهای زمانی مختلف و با در نظر گرفتن پدیده کاهش سطح پیریت ضمن انجام فعالیتهای اکسیداسیون، حل شدند. نتایج پیش‌بینی شده توسط مدل‌سازی ریاضی برای اکسیداسیون پیریت با نتایج آنالیز صحرایی مقایسه گردید و تأثیرپذیری مدل ارائه شده در مقابل عواملی از قبیل ضریب نفوذ مؤثر در مدل انتقال اکسیژن به درون باطله، و مدت زمان انباشت باطله‌ها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده حاکی از انطباق خوب بین داده‌های صحرایی و پیش‌بینی‌های مدل ریاضی ارائه شده، می‌باشد. اختلاف موجود نیز ممکن است به دلیل خطای نمونه‌برداری و خطای آنالیز نمونه‌ها باشد. یا اینکه باطله‌ها در زمان‌های متفاوتی روی دمپ انباشته شده‌اند.

#### ۷-۲- ارائه پیشنهادات

بر اساس مطالعات انجام شده بر روی ماهیت پساب‌های اسیدی معادن، شرایط بوجود آمدن آن و فاکتورهای مؤثر در تشکیل یا تسریع نرخ تولید پساب و همچنین نتایجی که بر اساس مطالعات آزمایشگاهی و مشاهدات صحرایی بدست آمده، می‌توان جهت جلوگیری از بوجود آمدن مشکلات زیست محیطی و یا کاهش اثرات نامطلوب ناشی از فعالیتهای معدنی در منطقه مورد مطالعه، پیشنهاداتی را به شرح ذیل ارائه نمود:

۱. انتخاب محل مناسب جهت دمپ باطله‌ها: با توجه به شرایط موجود در منطقه، تعیین محل مناسب برای انباشت باطله‌های معادن زغال‌سنگ مهمترین و در عین حال مؤثرترین عامل در جلوگیری از تولید پساب اسیدی و یا کاهش اثرات نامطلوب پساب‌های تولیدی می‌باشد زیرا

همانطور که قبلاً اشاره شد، منطقه قشلاق در ناحیه‌ای جنگلی با آب فراوان و مناطق وسیع کشاورزی و مسکونی قرار دارد و بی‌توجهی به این مسئله باعث بروز مشکلاتی مثل آسیب محصولات کشاورزی و آلودگی آبهای سطحی و زیرزمینی در اطراف مناطق مسکونی خواهد شد. لذا با توجه به آنچه که گفته شد، تعیین محل مناسب برای انباشت باطله‌ها با در نظر گرفتن شرایط زیست‌محیطی ضروری به نظر می‌رسد.

۲. *جلوگیری از تولید پساب/اسیدی:* از لحاظ نظری جلوگیری از تولید پساب اسیدی را می‌توان بهترین راه حل ممکن دانست اما در عمل اجرای آن اغلب با مشکلات و موانعی مواجه است. راههای متفاوتی برای مقابله با تولید AMD وجود دارد. به عنوان مثال می‌توان دمپ‌های باطله را با مواد قلیایی مثل سنگ‌آهک پوشاند که در اینصورت آبهای نفوذی به دمپ خاصیت قلیایی پیدا می‌کنند و در تماس با پیریت به حد اسیدی شدن نرسیده و در نتیجه از غلظت فلزات سنگین نیز که معمولاً با اسیدی شدن محیط افزایش می‌یابد، کم می‌شود. راه دیگری که برای جلوگیری از تولید پساب اسیدی وجود دارد، غرقاب‌سازی باطله‌هاست. همانطور که در فصل دوم اشاره شد، هر چند حضور آب یکی از فاکتورهای اساسی در تولید AMD می‌باشد، اما در شرایط اشباع آب مانند یک عایق عمل کرده و مانع رسیدن اکسیژن به مواد سولفیدی می‌شود.

۳. *مهار پساب‌های تولیدی:* با توجه به بازدیدهایی که در منطقه انجام شد، مشاهده گردید که میزان پساب‌های خروجی از دمپ‌های باطله و تونل‌های معدنی در اکثر موارد کم می‌باشد و لذا در این شرایط بهترین و اقتصادی‌ترین روشی که برای مهار پساب تولیدی می‌توان پیشنهاد نمود، استفاده از حوضچه‌های تبخیر است که در این روش با تجمع پساب در حوضچه‌های مصنوعی نفوذناپذیر و تبخیر آب موجود، از ورود پساب به منابع آب سطحی و زیرزمینی ممانعت به عمل می‌آید.

۴. برطرف سازی پساب اسیدی تولیدی: همانطور که قبلاً ذکر شد، روشهای متعددی برای برطرف سازی پسابهای معدنی وجود دارد به عنوان مثال در آنالیزی که از پساب معدن رضی صورت گرفت مشاهده شد که غلظت فلزات سنگینی مثل آهن و منگنز در آن بالاست. در این شرایط افزودن برخی از مواد مثل فسفات بدلیل پایین بودن حلالیت فسفات فلزاتی مثل آهن، منگنز، آلومینیوم و سرب باعث رسوب این فلزات بصورت فسفات فلز می‌شود. همچنین می‌توانیم با افزودن مواد قلیایی مثل سنگ‌آهک، هیدروکسیدهای کلسیم یا سدیم و کربنات‌های کلسیم یا سدیم خاصیت اسیدی پساب را از بین ببریم که این امر خود باعث رسوب فلزات سنگین موجود در پساب بصورت هیدروکسید می‌باشد.

۵. انجام مطالعات تکمیلی: منظور از مطالعات تکمیلی انجام عملیاتی است که در تکمیل نتایج حاصله به ما کمک خواهد کرد. مثل نمونه‌گیری از چاه‌های آب واقع در مناطق پایین‌دست و آنالیز شیمیایی عناصر موجود در آنها به منظور مطالعه بر روی کیفیت آبهای زیرزمینی و یا نمونه‌گیری از نقاط عمیق‌تر دمپ‌های باطله با استفاده از دستگاه‌های حفاری جهت کاهش خطا و افزایش اطلاعات و همچنین مطالعه در مورد حضور یا عدم حضور باکتری‌های گروه تیوباسیلوس و روشهای کنترل آنها و انجام تستهای استاتیکی و سینتیکی بر روی دمپ‌های باطله جهت بررسی پتانسیل تولید پسابهای اسیدی و مقایسه آن با نتایج حاصل از این تحقیق، مفید خواهد بود.

## منابع و مأخذ فارسی:

آمار بارندگی استان گلستان. (۱۳۸۵). شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان گلستان، بخش تحقیقات و آزمایشگاه

اثرات زیست محیطی پسابهای اسیدی معادن، [www.ngdir.ir](http://www.ngdir.ir)

اسماعیلی ساری، ع. (زمستان ۸۱). آلاینده‌ها، بهداشت و استاندارد در محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، انتشارات نقش مهر، ص ۱۲۶-۱۷۰

اصانلو، م. (۱۳۷۸). مهندسی زغال سنگ، انتشارات ناقوس، چاپ اول، ص ۱-۷۷

خلاصه عملکرد بخش معدن در سال ۸۴. سازمان صنایع و معادن استان گلستان، اداره امور معادن و اکتشافات معدنی.

دولتی ارده جانی، ف؛ محبوبی، ن. (۱۳۸۵). مدیریت زیست محیطی پسابهای اسیدی معدن جهت حفاظت از منابع آبهای زیرزمینی- مطالعه موردی

دولتی ارده جانی، ف؛ جدیری شکری، ب؛ زارع نقدهی، م؛ سلیمانی، م. (۱۳۸۵). بررسی مشکلات زیست محیطی ناشی از تولید پساب اسیدی در معادن

دولتی ارده جانی، ف؛ شفائی تنکابنی، س ض؛ میر حبیبی، ع؛ بدیعی، خ. (۱۳۸۳). بیوتکنولوژی، ژئوشیمی زیست محیطی و مدیریت پساب‌ها: جلد اول- پساب‌های معدنی، پژوهشکده صنایع رنگ ایران، چاپ دانشگاه صنعتی شاهرود، ص ۱-۱۵۵

سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. (۱۳۸۰). نقشه یکصد هزارم زمین‌شناسی منطقه خوش‌بیلاق

سلیمانی، ا. (۱۳۸۶). دستورالعمل آماده‌سازی نمونه‌های زغال جهت تعیین میزان پیریت باقیمانده فروش جذب اتمی.

صداقت، م. (۱۳۷۸). زمین و منابع آب (آبهای زیرزمینی) انتشارات دانشگاه پیام‌نور، ص ۲۱۵-۲۲۱

عرفان‌منش، م؛ افیونی، م. (پاییز ۸۱). آلودگی محیط‌زیست، انتشارات ارکان پاییز، ص ۵۳-۵۶

گرچی‌نژاد، س؛ برنا، ک. (۱۳۸۰). خودآموز نرم افزار ArcView GIS انتشارات ارس رایانه چاپ دوم، ص ۱-۵

لکزیان، ا؛ شیبانی، س. (۱۳۸۳). میکروبیولوژی خاک، مارک کوین (مؤلف)، انتشارات سخن گستر، ص ۲۱۸

مؤسسه جغرافیایی ایران. (۱۳۸۰). اطلس راه‌های ایران، مؤسسه جغرافیایی و کارتوگرافی و گیتاشناسی

نوری، ج؛ فردوسی، س. شیمی محیط زیست، استنلی ماناهان (مؤلف)، مرکز انتشارات علمی دانشگاه آزاد، ص ۱۳۰-۱۳۳

یزدی، م. (۱۳۸۲). زغال سنگ (از منشأ تا اثرات زیست محیطی)، انتشارات جهاد دانشگاهی، ص ۱-۱۷۵

منابع و مأخذ انگلیسی:

AMD Microbes & Microbial Influences. [www.mines.edu](http://www.mines.edu)

Axel Schippers & Wolfgang Sand(1996), SulFur Chemistry In Bacterial Leaching Of Pyrite, American Society For Microbiology.12-14

Christine Costello(2003), Acid Mine Drainage: Innovative Treatment Technologies National Network Of Environmental Management Studies Fellow For U.S. Environmental Protection Agency. 11(5), 241-243

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

Helmut Brandl, Eight Microbial Leaching Of Metals. 202-206

H.I. EZEIGBO & B.M. EZEANYIM (2006), Environmental Pollution From Coal Mining Activities In The Enugu Area Anamka State Nigeria. 6-7

I.Sams & Kevin M.Beer(2000), Effects Of Coal Mine Drainage On Stream Water Qulity, U.S. Geological Survey. 7(5),102

K.Nowaczyk & F.Domka(1999), Oxidation of pyrite and marcasite by thiobucillus ferrooxidans bacteria, Department of kinetics & catalysis. 4(3), 39

Mesquita, Ana Carla(2006)Environmental Notes On Mining, Acid Mine Drainage. Environment Division, Mineral Branch, Mineral House. 1-6

Matthew O.Schrenk & Robert Hamers (1998). Minerals & Mine drainage. 8(3), 135

Mc.Ginness(1999), Treatment Of Acid Mine Drainage. Science & Environment Section, House Of Commons Library. 10(5), 176

P.J Solivan & K.J Reddy(1999), Iron sulfide oxidation & the chemistry of acid generation, Journal article in environmental geological water science.11(3)95-97

U.S. environmental protection agency, office of solid waste(1994). Technical documents, acid mine drainage prediction.3-5

Wolfgang Riepe(1993), Coal and environment pure & appl. Chem. 65(12), 2473-2479