





دانشکده علوم زمین

پایان نامه کارشناسی ارشد

گرایش زیست محیطی

بررسی هیدرولوژیکی و زیست محیطی هیپ شماره ۳ معدن مس سرچشمه

نگارش :

علی بنی اسدی

اساتید راهنما :

دکتر فرامرز دولتی ارده جانی

دکتر غلامحسین کرمی

اساتید مشاور :

دکتر بهناز دهرآزما

تقدیم به

پدر بزرگوارم

که زیباترین نقش نگارستان خاطره‌ام سیمای زیبای اوست. او که ترجمه صریح انسانیت است و ایستاده‌ترین شمع بزم مهربانی، او که در عرصه مبارزه با مشکلات در راه به ثمر رساندن هدف من در تحصیل، لحظه‌ای نیاسود. او که با لبخند خود نگذاشت به درد و رنجش و به آنچه که بر او می‌گذرد بیندیشم ولی همه چیز را دست روزگار با قلم افتخار به خطوط چین خورده مردانه‌اش نوشته و به تارهای مویش رنگ سپیدی زده است. او که برای سربلندی و سرفرازی فرزندانش تمامی سختی‌ها را به جان خرید.

تقدیم به

مادر مهربانم

که تقویم زندگی نیز تلافی‌گر یک نگاه محبت آمیزش نیست. او که وجودم برایش همه رنج بود و وجودش برایم همه مهر. مادر مهربانی که رنج زندگی را به خود هموار می‌کند و آرامش و آسایش خود را فدای آرامش

فرزندانش می‌سازد تا فرزندانشان با شادکامی زندگی کنند. او که لبانش بارگاه دعاست و شب‌نم نگاهش بدرقه‌گر همیشگی راهم. او که همواره غمخوار و یاور و قوت قلب من در زندگی بوده و هست و مرا هرگز توان جبران قطره‌ای از دریای بیکران زحماتش نخواهد بود.

تقدیم به

استاد ارجمندم جناب آقای دکتر فرامرز دولتی ارده جانی که بسیار از ایشان آموختم و برایم معلم زندگی‌اند.

تقدیر و تشکر

حمد و سپاس پروردگار یکتا را که لطف و کرم بی‌کرانش اینجانب را نیز در بر گرفت تا به وسع توان خویش گامی کوچک در گستره علم و معرفت بردارم و میسر گشت تا از خرمن دانش و تجربه بزرگان و نیک اندیشان خوشه چینی کرده باشم.

اکنون که با یاری خداوند متعال، این دوره پرخاطره از دوران تحصیل را به پایان رسانده‌ام، هر چند واژه‌ها را یارای آن نیست که لطف، محبت و بزرگواری کسانی را که در تمام دوران زندگیم جرعه نوش دریای بیکران مهر و محبتشان بوده‌ام را به تصویر بکشم، اما به رسم ادب و احترام بوسه بر دستانشان زده و بر خود واجب می‌دانم زحمات تمامی اعضای خانواده‌ام، مخصوصاً پدر و مادر مهربانم، که همواره راه‌گشای مشکلاتم در تمام مراحل زندگی بوده‌اند و کلیه معلمان، اساتید و دوستان دوران تحصیل را ارج نهاده و مراتب تشکر قلبی و باطنی خویش را از الطاف و مهربانیهای آنها ابراز دارم. در ابتدا لازم می‌دانم که از زحمات فراوان و کارگشای اساتید بزرگوaram آقای دکتر فرامرز دولتی ارده جانی و دکتر غلامحسین کرمی که با راهنمایی‌ها و نظرات ارزنده و صبر و حوصله فراوان، نقش مهمی در به ثمر رسیدن این کار داشته‌اند صمیمانه تقدیر و تشکر نمایم. از استاد مشاور محترم سرکار خانم دهرآزما که در تمامی مراحل این تحقیق مرا با دلسوزی یاری کردند و از هیچ کمک و آموزشی دریغ نکردند. شایسته است از زحمات جناب آقای مهندس قاسمی (مدیر محترم امور تحقیق و توسعه مجتمع مس سرچشمه) که از هیچ مساعدتی در پیشبرد اهداف این پروژه دریغ نکردند، همچنین آقای مهندس آتش دهقان (پژوهشگر ارشد محترم هیدرومتالورژی) که در تمام مراحل انجام این پروژه از کمکها و حمایت‌های بیدریغ ایشان برخوردار شدم، خالصانه سپاسگزارم.

همچنین از مشاور صنعتی محترم جناب آقای مهندس محمود علیپور که همکاری زیادی در انجام پروژه به ویژه اطلاعات زیادی درباره معدن مس سرچشمه در اختیار اینجانب قرار دادند کمال تشکر را دارم.

همچنین از راهنماییهای آقای دکتر حافظی مقدس، دکتر کاظمی، دکتر طاهری، دکتر مهدی زاده، دکتر سرشکی و دکتر آل طه در آغاز راه و دوستان مهربان آقایان احمد بنی اسدی، مختار بنی اسدی حسین شادکام، علی شادکام و خانمها بنی اسدی، حسینی، پورزمانی که همواره با رویی باز پذیرای این حقیر در این مدت بوده و متحمل زحماتی شدند نهایت سپاس گذاری و امتنان را دارم. در پایان از خواهران و برادرانم که با سختکوشی در تحصیل علم، مشوق من بودند خالصانه قدردانی می کنم.

بدین وسیله از همه افرادی که به نوعی در این تحقیق دخیل بوده اند و نام آنها از قلم افتاده است، پوزش می طلبم و مراتب تشکر خود را به جای می آورم.

چکیده

در این تحقیق، به منظور بررسی هیدرولوژیکی و زیست محیطی هیپ شماره ۳ معدن مس سرچشمه آزمایشات متعددی بر روی محلول حاصل از نشت هیپ و آب رودخانه شور که در پایین دست آن قرار دارد انجام شد. نتایج آنالیز شیمیایی نمونه ها و مشاهدات صحرایی نشان می دهد که غلظت بسیاری از فلزات سمی در پایین دست رودخانه شور بالا بوده که برای محیط زیست بسیار مضر می باشد. همزمان با مطالعات زیست محیطی، به منظور مطالعه فرآیند اکسیداسیون پیریت و تولید آلودگی در سه نقطه متفاوت روی دمپ، در راستای قائم و در اعماق مختلف از باطله های دمپ نمونه برداری شد. سپس به کمک نرم افزار PHOENICS یک مدل عددی المان حجمی محدود ارائه شد تا بتوان فرآیند اکسیداسیون پیریت و تولید آلودگی را در دمپ باطله شبیه سازی نمود. نتایج به دست آمده از مطالعه فوق می تواند در ارائه یک برنامه مدیریت زیست محیطی مناسب جهت کنترل آلودگی ناشی از محلول های حاصله از نشت اسید در محدوده هیپ، مورد استفاده قرار گیرد. پارامترهای هواشناسی به همراه خصوصیات هیدرولوژیکی محدوده ساخت هیپ نیز عواملی هستند که عملکرد آن را تحت تاثیر قرار می دهند. لذا قبل از طراحی یک سازه فروشوئی شناسائی این پارامترها ضروری می باشد. برای انجام این کار از آمار ایستگاه هواشناسی معدن مس سرچشمه استفاده شده است. با استفاده از این آمار وضعیت درجه حرارت، بارندگی روزانه و بارندگی سالیانه در منطقه مورد نظر مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

فهرست مطالب

ح	 فهرست جداول
ح	 فهرست اشکال

فصل اول

مقدمه

۱	 ۱-۱- بیان مسئله
۲	 ۲-۱- سازه‌های فروشوئی
۴	 ۳-۱- ساختار سازه‌های فروشوئی
۸	 ۴-۱- پارامترهای مؤثر در طراحی لیچنینگ به روش هیپ
۸	 ۱-۴-۱- آماده‌سازی خوراک
۸	 ۲-۴-۱- ارتفاع هیپ
۹	 ۳-۴-۱- نفوذپذیری
۹	 ۴-۴-۱- نرخ و روش پاشش محلول
۱۰	 ۵-۴-۱- روش ساخت هیپ
۱۰	 ۶-۴-۱- لایه پوشاننده لاینر
۱۰	 ۵-۱- مراحل طراحی و ساخت هیپ شماره ۳ معدن مس سرچشمه
۱۰	 ۱-۵-۱- ساخت بستر
۱۱	 ۲-۵-۱- زیرسازی
۱۳	 ۳-۵-۱- تسطیح
۱۳	 ۴-۵-۱- رس‌ریزی
۱۴	 ۵-۵-۱- لاینرگذاری
۱۷	 ۶-۵-۱- کوشین
۱۷	 ۷-۵-۱- فیلتر و زهکش
۲۰	 ۸-۵-۱- جاده‌های دسترسی
۲۰	 ۹-۵-۱- انتقال محلول
۲۳	 ۱۰-۵-۱- خاکریزی
۲۳	 ۱۱-۵-۱- استخرها
۲۵	 ۶-۱- مشخصات عمومی معدن مس سرچشمه
۲۵	 ۱-۶-۱- موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی کانسار مس پورفیری سرچشمه
۲۶	 ۲-۶-۱- تاریخچه معدن مس سرچشمه

۲۸	۷-۱- واحدهای مختلف تولیدی مجتمع مس سرچشمه
۲۸	۱-۷-۱- واحد معدن
۲۸	۲-۷-۱- واحد پرعیارکنی (تغلیظ)
۲۹	۳-۷-۱- واحد ذوب
۲۹	۴-۷-۱- واحد پالایشگاه
۲۹	۸-۱- زمین شناسی عمومی ناحیه معدن مس سرچشمه
۳۲	۹-۱- کانی سازی در معدن مس سرچشمه
۳۲	۱-۹-۱- زون لیچ (زون شسته شده)
۳۲	۲-۹-۱- زون اکسید
۳۳	۳-۹-۱- منطقه سوپرژن (غنی شده)
۳۴	۴-۹-۱- منطقه هایپوژن
۳۴	۱۰-۱- هدف و ضرورت اجراء پروژه
۳۶	۱۱-۱- فصل بندی پایان نامه

فصل دوم

مروری بر تحقیقات گذشته

۳۸	۱-۲- تاریخچه
۳۹	۲-۲- مروری بر کارهای انجام شده در رابطه با مسائل هیدرولوژی هیپ
۴۰	۳-۲- مروری بر کارهای انجام شده در رابطه با مسائل زیست محیطی هیپ
۴۳	۴-۲- تاثیر دیمپ های باطله در ایجاد پساب اسیدی معدن
۴۷	۵-۲- مروری بر کارهای انجام شده در مدل سازی ریاضی آلودگی های پساب اسیدی

فصل سوم

روش انجام مطالعات

۵۰	۱-۳- مقدمه
۵۰	۲-۳- نمونه برداری
۵۱	۳-۳- آماده سازی نمونه ها
۵۱	۴-۳- تعیین میزان پیریت
۵۲	۵-۳- نحوه انجام آنالیز
۵۳	۱-۵-۳- انتخاب نمونه
۵۳	۲-۵-۳- آماده سازی محلولها
۵۴	۳-۶- نمونه برداری از آب
۵۴	۱-۶-۳- وسایل نمونه برداری
۵۵	۲-۶-۳- نحوه نمونه برداری
۵۵	۳-۶-۳- ثبت پارامترهای صحرایی
۵۶	۷-۳- مطالعات هیدرولوژی

فصل چهارم

بررسی مطالعات هیدرولوژیکی و کلیماتولوژیکی

۵۹	۱-۴- مقدمه
۵۹	۲-۴- رفتار مواد تشکیل دهنده هیپ در مقابل رافینیت
۵۹	۱-۲-۴- اندازه گیری میزان نفوذ سطحی در هیپ
۶۲	۲-۲-۴- آنالیز دانه بندی
۶۸	۳-۴- مطالعات کلیماتولوژی محدوده ساخت هیپ ۳
۶۸	۱-۳-۴- بارندگی

۷۵	 ۴-۳-۲- باد
۷۵	 ۴-۳-۳- رطوبت
۷۵	 ۴-۳-۴- درجه حرارت
۷۷	 ۴-۳-۵- تبخیر

فصل پنجم

مدلسازی ریاضی جهت بررسی اکسایش پیریت و تولید آلودگی

۸۰	 ۵-۱- مقدمه
۸۰	 ۵-۲- انواع مدل ها
۸۰	 ۵-۲-۱- مدل های مفهومی
۸۱	 ۵-۲-۲- مدل های فیزیکی
۸۲	 ۵-۲-۳- مدل های ریاضی
۸۲	 ۵-۲-۴- مدل های عددی
۸۲	 ۵-۳- مراحل مدلسازی با نرم افزار PHOENICS
۸۳	 ۵-۴- معادله نفوذ اکسیژن در دمپ های باطله
۸۴	 ۵-۴-۱- مدل ریاضی نفوذ اکسیژن در باطله ها
۸۵	 ۵-۵- مدل ریاضی اکسیداسیون پیریت در دمپ باطله
۸۷	 ۵-۶- پارامترهای ورودی مدل
۸۸	 ۵-۷- شرایط مرزی
۸۸	 ۵-۷-۱- شرایط مرزی برای مدل اکسیژن
۸۹	 ۵-۷-۲- شرایط مرزی برای مدل اکسایش پیریت
۸۹	 ۵-۷-۳- حل تحلیلی معادله نفوذ اکسیژن به داخل دمپ باطله
۹۲	 ۵-۸- کالیبراسیون مدل نفوذ اکسیژن
۹۲	 ۵-۹- مدلسازی نفوذ اکسیژن در دمپ باطله
۹۴	 ۵-۱۰- مدلسازی اکسیداسیون پیریت باطله ها
۹۵	 ۵-۱۰-۱- نتایج مدلسازی اکسایش پیریت در نمونه ۱
۹۷	 ۵-۱۰-۲- نتایج مدلسازی اکسیداسیون پیریت در نمونه ۲

فصل ششم

آلودگی ناشی از نشت اسید در محدوده هیپ شماره ۳

۹۹	 ۶-۱- مقدمه
۱۰۰	 ۶-۲- روش تحقیق و مواد
۱۰۲	 ۶-۳- مکانهای نمونه برداری
۱۰۳	 ۶-۴- بحث و نتیجه گیری

فصل هفتم

نتیجه گیری و پیشنهادات

۱۰۹	 ۷-۱- کلیات
۱۰۹	 ۷-۲- طراحی سیستم زهکشی
۱۱۰	 ۷-۳- نحوه استقرار لاینر ژئوممبران
۱۱۱	 ۷-۴- آلودگی ناشی از سرریز شدن محلول

۱۱۲	۵-۷- تاثیر دمپ‌های باطله در نحوه انتشار آلودگی در محدوده ساخت سازه فروشویی
۱۱۲	۶-۷- هیدرولوژی هیپ
۱۱۳	۶-۷-۱- بارندگی
۱۱۴	۶-۷-۲- درجه حرارت
۱۱۴	۶-۷-۳- تبخیر
۱۱۵	۶-۷-۴- باد
۱۱۵	۷-۷- پیشنهادات
۱۱۸	پیوست
۱۲۲	فهرست منابع

فهرست جداول

۷	جدول ۱-۱- درصد پوشش سطح سازه‌های فروشویی ۱ و ۲ به ازای لیفتهای مختلف
۵۶	جدول ۱-۲- وضعیت نمونه‌برداری و جزئیات نمونه‌برداری در معدن مس سرچشمه
۶۰	جدول ۱-۴- شدت نفوذ در زمانهای مختلف در آزمایشهای انجام شده
۶۳	جدول ۲-۴- میزان رس در اعماق مختلف را نشان می‌دهد
۷۱	جدول ۳-۴- محاسبات مربوط به انطباق داده‌های بارندگی سالیانه اندازه‌گیری شده
۷۳	جدول ۴-۴- پدیده‌های بارندگی سالیانه با دوره بازگشتهای مختلف با توزیع لاگ نرمال
۷۳	جدول ۵-۴- پیش‌بینی بارندگی با دوره بازگشتهای ۱۰۰ و ۱۰۰۰ ساله
۸۷	جدول ۱-۵- پارامترهای ورودی مدل
۹۰	جدول ۲-۵- مقادیر تابع خطا و مکمل آنها به ازای مقادیر مختلف
۱۰۱	جدول ۱-۶- محل و موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری
۱۰۴	جدول ۲-۶- نتایج آنالیز فلزات سنگین بر حسب ppm
۱۰۶	جدول ۳-۶- مقایسه مقادیر عناصر مسمومیت‌زا در نمونه‌های آب رودخانه شور

فهرست اشکال

۲	شکل ۱-۱- نمایی از مدار فرآیند لیچینگ به روش هیپ
۵	شکل ۲-۱- ساختار سازه‌های فروشویی
۱۱	شکل ۳-۱- لایه‌هایی که برای ساخت بستر هیپ طراحی می‌شود
۱۲	شکل ۴-۱- تصویری از عملیات خاکبرداری از نقاط مرتفع هیپ
۱۲	شکل ۵-۱- نمایی از خاکبرداری از نقاط مرتفع تر و پرکردن نقاط پست تر
۱۳	شکل ۶-۱- تصویری از عملیات تسطیح و کوبیده شدن بستر
۱۴	شکل ۷-۱- نمایی از عملیات رس‌ریزی، تسطیح و مرطوب‌نمودن آن
۱۵	شکل ۸-۱- عملیات پهن کردن لاینر
۱۵	شکل ۹-۱- عملیات جوشکاری لاینرها
۱۶	شکل ۱۰-۱- عملیات درزگیری لاینرها
۱۶	شکل ۱۱-۱- ایجاد کانال نگهدارنده لاینر
۱۷	شکل ۱۲-۱- نمایی از عملیات کوشین‌ریزی و تسطیح آن
۱۸	شکل ۱۳-۱- عملیات ریجکت‌ریزی
۱۸	شکل ۱۴-۱- تصویر لوله مشبک برای جمع‌آوری محلول از بستر هیپ
۱۹	شکل ۱۵-۱- عملیات لوله‌گذاری لوله‌های زهکش
۱۹	شکل ۱۶-۱- عملیات تست لوله‌های زهکش
۲۰	شکل ۱۷-۱- نمایی از عملیات خاک‌ریزی جهت ساخت جاده‌های در دسترس
۲۱	شکل ۱۸-۱- رینگ پاشش اطراف هیپ
۲۲	شکل ۱۹-۱- مسیر عبور لوله PLS و رافینیت از استخرهای هیپ ۳ به هیپ ۲

۲۲	شکل ۱-۲۰- تصویری از جوشکاری لوله‌های به قطر ۴۰ سانتی متر
۲۳	شکل ۱-۲۱- نمایی از خاک‌ریزی بر روی بستر آماده شده
۲۴	شکل ۱-۲۲- تصویری از کوشین‌ریزی بستر استخر رافینیت
۲۴	شکل ۱-۲۳- نمایی از استخر آماده‌شده رافینیت
۲۶	شکل ۱-۲۴- موقعیت شهرک سرچشمه و راه‌های دسترسی به آن
۳۳	شکل ۱-۲۵- تهنشینی مس بر روی آهن در مسیر رودخانه
۵۲	شکل ۳-۱- فلوچارت مراحل آماده‌سازی نمونه‌ها و آنالیز پیریت موجود در آنها
۶۰	شکل ۴-۱- شدت نفوذ ۱ دقیقه پس شروع آزمایش
۶۱	شکل ۴-۲- شدت نفوذ پس از ۱۰۰۰ دقیقه
۶۴	شکل ۴-۳- میزان رس در اعماق مختلف (محل نمونه‌برداری هیپ شماره ۱، مجتمع مس سرچشمه)
۶۵	شکل ۴-۴- خروج سیال از بخش‌های میانی هیپ
۶۶	شکل ۴-۵- فرسایش بدنه هیپ ۳ در اثر خروج سیال از بخش‌های میانی آن
۶۶	شکل ۴-۶- کانالیزه‌شدن سیال در هیپ شماره ۳
۶۷	شکل ۴-۷- فرسایش پد در اثر پدیده کانالیزه شدن در هیپ شماره ۳
۷۲	شکل ۴-۸- انطباق بین داده‌های واقعی و داده‌های شبیه‌سازی شده توسط توزیع لاگ نرمال
۷۶	شکل ۴-۹- متوسط درجه حرارت ماکزیمم، مینیمم و متوسط در ایستگاه معدن سرچشمه
۷۷	شکل ۴-۱۰- تعداد روزهای یخبندان در ایستگاه معدن مس سرچشمه
۷۸	شکل ۴-۱۱- متوسط تبخیر ماهیانه در ایستگاه معدن مس سرچشمه
۸۱	شکل ۵-۱- مدل مفهومی برای اکسایش پیریت و نشت آلاینده‌ها در باطله‌های معادن روباز
۸۳	شکل ۵-۲- فلوچارت مراحل اصلی در مدلسازی‌های دینامیک سیالات محاسباتی
۸۸	شکل ۵-۳- مش حجم‌های محدود دمپ باطله
۹۲	شکل ۴-۵- مقایسه نتایج مدلسازی‌های عددی (خطوط) و تحلیلی (نقاط)
۹۴	شکل ۵-۵- پیش‌بینی مدل برای تغییرات بخش مولی اکسیژن نسبت به عمق دمپ و به صورت تابعی از ضرایب نفوذ مؤثر مختلف)
۹۶	شکل ۵-۶- مقایسه داده های صحرایی (نقاط) و نتایج مدل (خط) برای تعیین درصد پیریت باقیمانده در نمونه شماره ۱
۹۶	شکل ۵-۷- نتایج مدل برای بخش مولی اکسیژن نسبت به عمق دمپ (ضریب نفوذ مؤثر $10^{-8} \times 1/0$ متر مربع بر ثانیه و ثابت سینتیک 9^{-} $10 \times 2/2$ بر ثانیه انتخاب شده‌اند)
۹۶	شکل ۵-۸- مقایسه داده‌های صحرایی و پیش‌بینی مدل برای تعیین درصد پیریت باقیمانده نسبت به عمق دمپ در نمونه ۲
۹۷	شکل ۶-۱- محل‌های نمونه‌برداری
۱۰۲	شکل ۶-۲- روند تغییرات pH در ۷ ایستگاه در محدوده هیپ شماره ۳
۱۰۴	شکل ۶-۳- تغییرات غلظت عناصر در نمونه‌های آبی مختلف در منطقه مورد بررسی
۱۰۵	شکل ۶-۴- تغییرات غلظت عناصر در نمونه‌های آب و محلول مربوط به ۷ ایستگاه مختلف، در محدوده هیپ شماره ۳
۱۰۶	

۱-۱- بیان مسئله

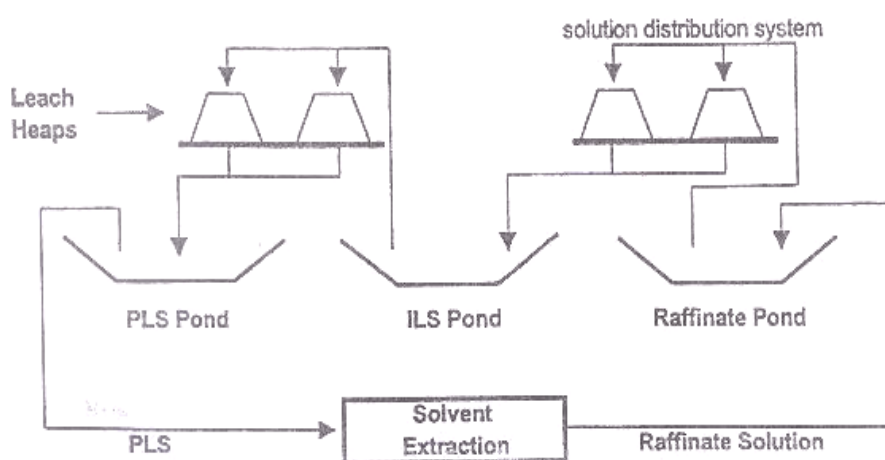
هیپ شماره ۳ در غرب معدن مس سرچشمه احداث شده است. طراحی این سازه توسط کارشناسان مجتمع مس انجام شده است (هیپ همان سازه فروشویی می‌باشد). در زمان طراحی مطالعات هیدرولوژی و هواشناسی به طور کامل و جامع صورت نگرفته است. با توجه به اینکه در آینده سازه‌های فروشویی دیگری

نیز در این محدوده احداث خواهد شد، مسئولین امر تصمیم به انجام مطالعات هیدرولوژی در محدوده ساخت سازه فروشوئی شماره ۳ گرفتند. در زمان آغاز این مطالعه، مراحل طراحی و ساخت و ساز سازه فروشوئی شماره ۲ به پایان رسیده بود. هدف از این مطالعه روشن ساختن اهمیت مطالعات هیدرولوژی در طراحی سازه فروشوئی و همچنین تهیه یک دستورالعمل جهت مطالعه سازه‌های فروشوئی در آینده می‌باشد. جهت ایجاد سازه فروشوئی، بایستی بستری غیرقابل نفوذ ایجاد نمود تا از نفوذ اسید به درون زمین و ایجاد آلودگی در محیط زیست و آبهای زیرزمینی جلوگیری به عمل آید. مسائل زیست محیطی اهمیت روز افزونی در مکان‌یابی سازه‌های فروشوئی توده ای، دارند. موارد مختلفی که مهمترین آنها جلوگیری از آلودگی آبهای سطحی و زیرزمینی توسط محلولهای فروشوئی می‌باشد، بایستی مورد توجه قرار گیرند.

معمولاً در طراحی هیپ از یک بستر ناتراوا، که معمولاً از جنس HDPE (High Density Polyeten) می‌باشد، استفاده می‌کنند. با توجه به عمر محدود این بستر ناتراوا بایستی به مسائل زیست محیطی سازه، هم در کوتاه مدت و هم در دراز مدت، توجه شود. سرریز شدن محلول در اثر نزولات جوی با شدت بالا، و آلوده کردن محیطهای اطراف، نیز از جمله مسائلی است که بایستی مدنظر قرار گیرد. در این تحقیق با انجام آزمایشات متعدد بر روی محلول حاصل از نشت و آب رودخانه شور در نقاط مختلف به اثرات زیست محیطی ناشی از سرریز شدن محلول به رودخانه در هنگام بارندگی‌های شدید و نشت محلول حاصل از شستشوی توده‌ای در محدوده هیپ شماره ۳ اشاره می‌شود. همچنین با استفاده از نرم افزار کامپیوتری PHOENICS که به روش عددی حجم‌های محدود کار می‌کند، مدلی که قادر به پیش بینی فرآیند درازمدت اکسایش پیریت، تولید اسید و شسته شدن و حمل مواد اسیدی حاوی یون‌های فلزی مختلف در محدوده هیپ شماره ۳ معدن مس سرچشمه می‌باشد، ارائه می‌گردد. نتایج حاصل از مدلسازی با داده‌های حاصل از تجزیه نمونه‌های باطله برای پیریت مقایسه خواهد شد.

۱-۲- سازه‌های فروشویی

هیپ لیچینگ یکی از روش‌هایی است که بطور وسیع جهت جداسازی و فرآوری مواد معدنی با عیار پائین طلا، نقره، مس و اورانیوم مورد استفاده قرار می‌گیرد (عبداللهی ۱۳۷۸). با کاربرد روش استخراج با حلال و الکترووینینگ لیچینگ به روش هیپ گسترش زیادی پیدا کرده است. در حال حاضر حدود ۱۵ درصد مس تولیدی در جهان به روش هیپ لیچینگ (Readett 1999) تولید می‌شود. نمایی از مدار فرآیند لیچینگ به روش هیپ در شکل ۱-۱ نشان داده شده است.



شکل ۱-۱- نمایی از مدار فرآیند لیچینگ به روش هیپ (Readett 1998)

هیپ لیچینگ مشابه دمپ لیچینگ می‌باشد. تفاوت عمده بین این دو روش در ابعاد ماده معدنی، آماده‌سازی کف و آستر بندی که ماده معدنی روی آن ریخته می‌شود و همچنین زمان لیچینگ می‌باشد. در روش هیپ لیچینگ ماده معدنی استخراج شده خرد می‌شود و پس از نرمه‌گیری یا آگلومراسیون با دقت زیاد روی یک بستر ضد اسید و نفوذناپذیر قرار می‌گیرد، تا از ایجاد کانال جریان در بعضی از نقاط توده جلوگیری شود. محلول اسیدی از حوضچه Raffinate (محلول آبی بی‌بار) پمپ شده و به سطح توده پاشیده می‌شود. محلول باردار جمع‌آوری شده از زیر هیپ به حوضچه PLS (Pregnant Leach Solution) هدایت می‌شود. محلول باردار از حوضچه PLS برای استخراج مس به واحد استخراج با حلال پمپ می‌شود. اگر غلظت مس در حوضچه PLS پایین باشد این محلول دوباره روی هیپ

برگشت داده می‌شود تا عیار مس آن قابل قبول برای استخراج با حلال باشد. بعد از استحصال مس از محلول باردار در واحد استخراج با حلال، محلول بی‌بار به دست می‌آید که به حوضچه رافینیت برگشت داده می‌شود. لیچینگ کانسنگ‌های سولفیدی ثانویه مس به روش هیپ لیچینگ توسط باکتری که به بیوهیپ مشهور می‌باشد در سال‌های اخیر گسترش زیادی یافته است. که در آن از فعالیت باکتری‌ها برای استخراج کانه‌های کم‌عیار استفاده می‌گردد.

معمولاً سازه‌های فروشوئی طی چند مرحله ساخته می‌شوند. در هر مرحله ماده معدنی به محل مربوطه حمل می‌شود. در زمان ساخت و ساز، لایه‌هایی از مواد مختلف بوجود می‌آید. این لایه‌ها که در اثر تفکیک مواد بوجود آمده‌اند دارای نفوذپذیری مختلف می‌باشند. از آنجاییکه میزان نفوذپذیری محیط‌های تحت اشباع بسته به میزان رطوبت خاک فرق می‌کنند این لایه‌ها می‌توانند باعث ایجاد جریان‌ات ترجیحی شوند. در اثر جریان‌ات ترجیحی، بسته به میزان پاشش، سیال در لایه‌های ریزدانه‌تر یا بر عکس در لایه‌های با مواد دانه‌درشت‌تر حرکت خواهد کرد. بدلیل بوجود آمدن جریان‌ات ترجیحی ممکن است بعضی از قسمت‌های سازه فروشوئی در معرض رافینیت قرار نگرفته، و بازده سازه فروشوئی پائین بیاید. یکی از دلایل شکست سازه‌های فروشوئی پائین بودن نفوذپذیری مواد تشکیل‌دهنده سازه فروشوئی می‌باشد. البته در صورتیکه ضریب نفوذپذیری زیاد بالا باشد بدلیل تماس کم محلول با مواد معدنی، سرعت انحلال پائین می‌آید (Industrial Research Assistance Program 1985).

یکی از دلایل عمده پائین بودن ضریب نفوذپذیری مواد سازه‌های فروشوئی، وجود مواد دانه‌ریز و رس همراه با ماده معدنی می‌باشد. مواد دانه‌ریز وارد فضا‌های خالی شده، میزان نفوذپذیری را کاهش می‌دهد. در حالت‌های بحرانی، بدلیل انتقال مواد دانه‌ریز توسط حلال و متراکم شدن آنها در اعماق و تشکیل یک لایه غیر قابل نفوذ، ممکن است کارائی سازه فروشوئی به میزان قابل توجهی کاهش یابد. در جاییکه مواد معدنی در نتیجه عملیات غیر اصولی متراکم می‌شوند، مشکلات مربوط به نفوذپذیری افزایش می‌یابد. ته نشینی موادی مانند کلسیم و آهن می‌تواند باعث کاهش نفوذپذیری شود. متراکم شدن مواد معدنی در طول ساخت و ساز یک توده نیز می‌تواند باعث کاهش نفوذپذیری شود. در

سازه‌های فروشوئی مس، در طول عملیات بخش زیادی از ماده معدنی حل می‌شود. این انحلال باعث کاهش نفوذپذیری می‌شود (Industrial Research Assistance Program 1985). پیشرفت‌هایی که در سال‌های اخیر

در هیپ لیچینگ کانسنگ‌های مس بوجود آمده به صورت زیر می‌باشد.

- ۱- لیچینگ با جریان متقابل در دو مرحله تا PLS با عیار مطلوب بدست آید.
- ۲- مرطوب کردن خوراک هیپ با رافینت حاصل از SX و یا اسید غلیظ
- ۳- کاهش دادن ارتفاع هیپ برای افزایش بازیابی و بهبود نفوذپذیری
- ۴- بازیابی مس از سنگ معدن‌های سولفیدی مس مانند کالکوسیت، کوولیت و بورنیت
- ۵- هیپ لیچینگ سنگ معدن‌های مس در آب و هوای سرد
- ۶- هیپ لیچینگ سنگ معدن‌های مس با ابعاد ذرات ریز
- ۷- آگلومراسیون ذرات با پلیمرها برای افزایش نفوذپذیری
- ۸- هیپ لیچینگ بصورت آرایش دره ای (Valley) در مناطق کوهستانی

۱-۳- ساختار سازه‌های فروشوئی

جهت ایجاد سازه فروشوئی، بایستی بستری غیرقابل نفوذ ایجاد نمود تا از نفوذ اسید به درون زمین و ایجاد آلودگی در محیط زیست و آبهای زیرزمینی جلوگیری به عمل آید. بدین لحاظ ابتدا بستر منطقه از پوشش گیاهی تمیز شده و شیب زمین به نحوی با خاکبرداری و خاکریزی تسطیح می‌گردد که جهت سازه فروشوئی مناسب باشد. بعد از این مرحله، لایه‌های مختلف به صورتیکه در شکل ۱-۲ آورده شده است، ساخته می‌شوند. این لایه‌ها از بالا به پایین عبارتند از:

۱- لایه فیلتر ریزدانه

۲- لایه گراول

۳- لایه ریزدانه محافظ لاینر

۴- لاینر

۵- لایه ریزدانه محافظ لاینر

۶- لایه رسی متراکم



شکل ۱-۲- ساختار سازه های فروشوئی (John 2002)

شکل ۱-۲- ساختار سازه های فروشوئی (John 2002)

بعد از ایجاد بستر غیر قابل نفوذ خاکهای اکسیدی به صورت لایه هایی که معمولاً ضخامت پنج متری دارند روی آن پهن شده و بعد روی آنها اسیدپاشی می شود. هر مرحله خاکریزی را اصطلاحاً یک لیفت (Lift) می گویند. و به هر خاکریز یا پشته در یک لیفت یک پد (Pad) گفته می شود. به عبارت دیگر یک لیفت مجموعه ای از چند Pad است. کار لیفت گذاری خاکهای اکسیدی بر روی این بستر ناتراوا به صورت مرحله به مرحله پیش می رود و در هر مرحله بخش بزرگتری از بستر سازه فروشوئی پوشیده می شود تا جاییکه کل بستر پوشش داده شود. درصد پوشش سطح سازه های فروشوئی ۱ و ۲ به ازای

لیفتهای مختلف در جدول ۱-۱ ارائه گردیده است. محلول باردار شده یعنی محلولی که پس از فروشوئی مس از زیر سازه فروشوئی خارج می شود در حوضچه محلول باردار (PLS Pond) ذخیره می شود. بعد از این مرحله، در کارگاه جداسازی مس از محلول باردار جدا شده و محلول فقیر و تهی از مس (Raffinite) داخل حوضچه محلول عقیم (Raffinite Pond) ذخیره شده و جهت استفاده مجدد به محل لیفتها پمپاژ می شود.

جدول ۱-۱ - درصد پوشش سطح سازه های فروشوئی ۱ و ۲ به ازای لیفتهای مختلف (امور تحقیقات و مطالعات هیدرومیتالورژی ۱۳۸۵)

پارامتر	طراحی		عملیاتی	
	هیپ ۱	هیپ ۲	هیپ ۱	هیپ ۲
ظرفیت هیپ (تن)	۱۲,۰۰۰,۰۰۰	۱۰,۰۰۰,۰۰۰	۱۲,۰۰۰,۰۰۰	۹,۴۰۰,۰۰۰ تن ریخته شده و تقریباً ۷۰۰,۰۰۰ تن دیگر ظرفیت دارد.
سطح بستر هیپ (m ^۲)	۲۲۰,۰۰۰	۳۰۰,۰۰۰	۲۲۰,۰۰۰	۳۰۰,۰۰۰
عیار مس در خاک (%)	۰/۶۲	۰/۶۲	۰/۶۲	۰/۵-۰/۶

رطوبت (%)	۷	۷	۷	۷
دانه بندی	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد
خاکریزی (تن در روز)	۸۰۰۰	۸۰۰۰	۸۰۰۰	۸۰۰۰، فعلاً با کمبود خاک مواجه می باشد.
دبی پاشش (m ³ /hr)	۶۰۰	۶۰۰	۶۰۰	۶۰۰
سطح پاشش (m ²)	۸۲۰۰۰	۸۲۰۰۰	۸۲۰۰۰	در حال حاضر در حدود ۴۵۰۰۰ m ² در هیپ ۱ و ۴۵۰۰۰ m ² در هیپ ۲ می باشد.
دبی بر حسب سطح پاشش (lit/m ² /hr)	۷/۲	۷/۲	۷/۲	۵-۶
غلظت اسید رافینیت پاششی	۲۵-۳۰	۱۰-۱۵	۱۰-۱۵	۱۰-۱۵
غلظت مس رافینیت پاششی	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۲-۰/۳
دبی آب جبرانی (m ³ /hr)	Max 60	Max 60	Max 60	Max 60
فاصله آمیترها (cm)	۷۶	۷۶	۷۶	۷۶
ارتفاع پله ها (m)	۴/۵-۵	۴/۵-۵	۴/۵-۵	۴/۵-۵
راندمان استخراج مس (%)				۶۰-۶۵
غلظت مس در pls	۳/۵	۳/۵	۲/۸-۳	۲/۵-۳، در حال حاضر ۲ گرم بر لیتر می باشد.
دبی pls (m ³ /hr)	۵۶۰	۵۶۰	۵۶۰	متوسط ۴۰۰ و در حال حاضر ۲۵۰ متر مکعب بر ساعت می باشد.
تعداد لیفت	۱۶	۱۶	۱۹	در حال حاضر ۱۵ و احتمالاً تا لیفت ۱۷ هم جا دارد.

۱-۴- پارامترهای مؤثر در طراحی لیچینگ به روش هیپ

پارامترهای مهم که در طراحی لیچینگ به روش هیپ باید در نظر گرفته شوند عبارتند از:

۱-۴-۱- آماده سازی خوراک

مواد معدنی قبل از حمل به محل هیپ باید خرد شوند. ابعاد دانه های خرد شده در هیپ لیچینگ به روش باکتریایی باید مناسب برای جریان هوا و محلول باشد. اگر خوراک هیپ حاوی نرمه یا رس باشد باید قبل از حمل مواد به هیپ، ذرات ریز گرفته شود. حضور نرمه و خاک رس بیش از حد علاوه بر مصرف بالای اسید و کاهش بازیابی به دلیل جذب مس حل شده مشکلات زیر را به دنبال خواهد داشت (James and Lancaswter 1998).

الف- باعث کاهش نفوذپذیری هیپ می شود.

ب- باعث تشکیل کانال جریان در توده می شود.

ج- باعث انسداد در هیپ (بعثت حرکت نرمه ها در خلل و فرج توده) می شود.

د- پایداری هیپ را کاهش می دهد.

۱-۴-۲- ارتفاع هیپ

در هیپ لیچینگ کانسنگ های مس دار، معمولاً ارتفاع هر لیفت در هیپ ۴ تا ۸ متر می باشد. ارتفاع کم نیاز به بستر با مساحت زیاد می باشد که این عمل باعث افزایش هزینه های سرمایه ای می شود. بطور تئوری با افزایش ارتفاع لیفت عیار مس در PLS خروجی از زیر هیپ افزایش می یابد ولی در عمل مشکلاتی از جمله کاهش اسیدیته محلول در قسمت های پایین هیپ رسوب ترکیبات آهن دار اتفاق می افتد. از دیگر مشکلاتی که در اثر افزایش ارتفاع لیفت بوجود می آید می توان به افزایش زمان بازیابی بهینه و عدم دسترسی اکسیژن به قسمت های مختلف هیپ اشاره کرد. معمولاً ارتفاع هر لیفت هیپ در عمل به ۶ متر محدود می باشد. بعد از رسیدن به بازیابی مناسب در لیفت اولی، لیفت دومی روی آن قرار می گیرد و به همین ترتیب حتی تا ۱۰ لیفت در روی بستر هیپ، ماده معدنی می ریزند (Redett and Miller 1996).

۱-۴-۳- نفوذپذیری (Permeability)

یک هیپ نفوذپذیر، نفوذ ناپذیر و یا ترکیبی از این دو حالت می باشد. اگر هیپ خیلی نفوذپذیر باشد جریان کانالی اتفاق افتاده در نتیجه زمان تماس عامل انحلال با ماده معدنی کاهش یافته و موجب کاهش بازیابی کلی می شود. نفوذپذیری پایین هیپ هم مشکلاتی از جمله ایجاد جریان سیلابی با افزایش نرخ پاشش محلول،

همچنین کاهش بازیابی می‌شود. در اثر لیچنینگ اسیدی کلسیت، دولومیت، میکاها و کلریت شسیت حل می‌شوند. در نتیجه نفوذپذیری توده معدنی در اثر جمع شدن ماده معدنی کاهش می‌یابد. یا اینکه در اثر انحلال ترکیبات بالا، عمل رسوب اتفاق افتاده و نفوذپذیری کاهش می‌یابد (Redett and Miller 1996).

۱-۴-۴- نرخ و روش پاشش محلول (Irrigation rate and Method)

نرخ و روش پاشش معمولاً با توجه به پارامترهای زیر انتخاب می‌شوند:

الف- سرعت استخراج مس

ب- غلظت PLS

ج- میزان تبخیر

د- دمای محلول پاشش و خروجی

ه- میزان تراکم شدن هیپ بخصوص سطح آن

نرخ پاشش معمولاً برحسب لیتر بر ساعت بر متر مربع از سطح و مقدار آن بین ۵ تا ۱۵ لیتر بر ساعت بر هر متر مربع از سطح هیپ در نظر می‌گیرند. افزایش سرعت پاشش باعث تشکیل حوضچه‌هایی در سطح هیپ، اشباع شدن فضاهای خالی در هیپ، افزایش جریان کانالی در هیپ و افزایش ارتفاع ناحیه اشباع در قسمت پایین هیپ می‌شود. محلول باید بطور پیوسته به بالاترین ارتفاع توده سنگ معدن انتقال یابد.

۱-۴-۵- روش ساخت هیپ (Heap Method)

موقع ساخت هیپ باید توجه کرد که ماده معدنی روی پد به طور یکنواخت و از نظر تراکم کاملاً هموزن قرار بگیرد تا از تشکیل کانال جریان جلوگیری شود. دو عامل، عدم توجه کامل به ساخت مناسب هیپ و توزیع نامناسب محلول بر روی سطح توده باعث ایجاد کانال جریان می‌شود.

۱-۴-۶- لایه پوشاننده لاینر

بطور کلی لاینرها از جنس رس، خاک رس اصلاح شده (Clay Amended Soil) و مواد ورقه‌ای پلیمری که به ژئوممبران (Geomembranes) معروف هستند، می‌باشد. ماکزیمم هدایت هیدرولیکی لاینرهای رسی معمولاً بین 10^{-5} - 10^{-6} mm/s می‌باشد (Bartlett 1998). ضخامت لاینرهای رسی بستگی به شرایط عملیاتی مانند

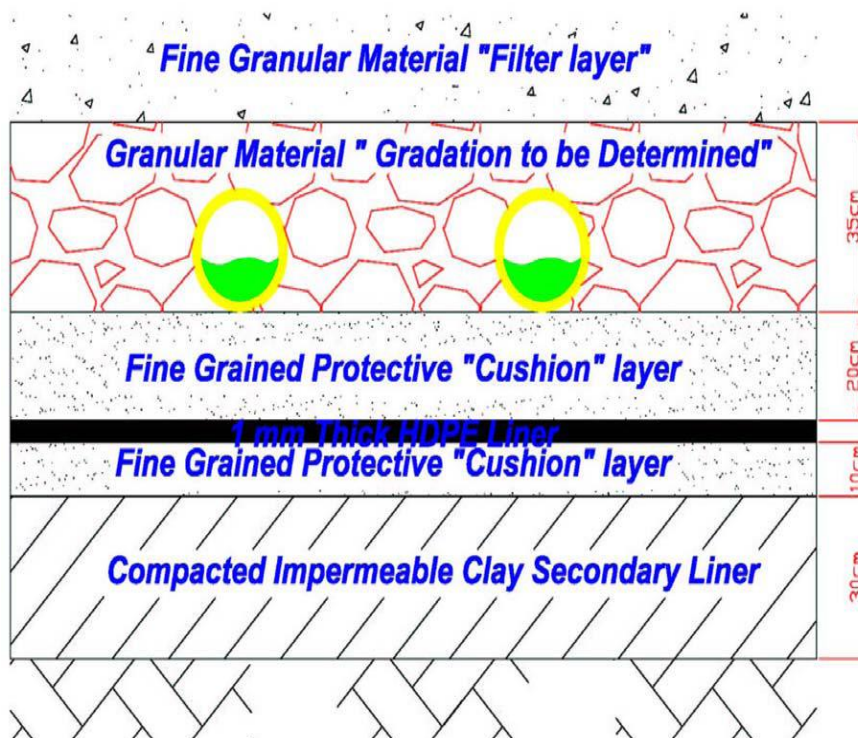
نحوه ساخت هیپ، قرار گرفتن توده سنگ روی لاینر، حرکت ماشین آلات، ابعاد سنگ و غیره دارد. معمولاً ضخامت کل لاینرهای رسی نباید کمتر از ۳۰۰ میلیمتر باشد. تقریباً ماده اصلی تمام ژئوممبران‌های تولیدی، پلیمرهای آلی هستند

ضخامت لاینرهای ژئوممبران بین ۱-۲ میلیمتر و هدایت هیدرولیکی آنها 10^{-8} - 10^{-9} mm/s می‌باشد. تابش اشعه ماوراء بنفش خورشیدی روی لاینرهای ژئوممبران باعث شکننده شدن آنها می‌شود. در بعضی مواقع از آسفالت و یا سیمان آسفالتی بعنوان لاینر استفاده می‌شود. این نوع لاینرها در مواردی که پد چندین بار مورد استفاده قرار می‌گیرد بکار گرفته می‌شوند (Bartlett 1998).

۱-۵- مراحل طراحی و ساخت هیپ شماره ۳

۱-۵-۱- ساخت بستر

برای ساخت بستر هیپ باید ابتدا سطح بستر هیپ را با شیب مناسبی مسطح نموده و پس از آن با یک لایه از خاک رس تقریباً نفوذ ناپذیر کرده و به منظور حفاظت از لاینر روی لایه خاک رس لایه‌ای به ضخامت تقریبی ۱۰ سانتی‌متر از کوشین مخلوطی از خاک (رس و ماسه نرم) ریخته و سپس لاینرگذاری کرده تا کاملاً نفوذناپذیر گردد. به منظور حفاظت از لاینر باید روی آن را نیز با یک لایه نرم کوشین به ضخامت تقریبی ۳۰ سانتی‌متر پوشاند. جهت ساخت بستر، تمام مراحل فوق مطابق شکل ۱-۳ انجام شده و هر یک در ذیل توضیح داده خواهد شد.



شکل ۱-۳- لایه‌هایی که برای ساخت بستر هیپ طراحی می‌شود (John 2002)

۱-۵-۲- زیرسازی

برای زیرسازی بستر از نقاطی که دارای ارتفاع بیشتری بودند خاکبرداری شده و به نقاطی که دارای پستی بودند ریخته شد و بقیه آن نیز به خارج از محدوده هیپ ریخته شد. شکل های ۱-۴ و ۱-۵ تصویری از عملیات خاکبرداری و خاکریزی در نقاط پست را نشان می‌دهد. برای زیرسازی بستر از نقاطی که دارای ارتفاع بیشتری بودند ۷۰۰۰ متر مکعب خاکبرداری شده و قسمتی از آن در نقاط گودتر ریخته شد و بقیه نیز به محدوده خارج از هیپ منتقل شد.



شکل ۴-۱- تصویری از عملیات خاکبرداری از نقاط مرتفع هیپ



شکل ۵-۱- نمایی از خاکبرداری از نقاط مرتفع تر و پرکردن نقاط پست تر

۳-۵-۱- تسطیح

پس از عملیات خاکبرداری، بایستی سطح بستر را با شیب مناسبی مسطح نمود. لذا، بدین منظور با ماشین آلات راهسازی سطح مورد نظر با شیب کمتر از ۵ درصد مسطح و کوبیده خواهد شد. در کناره‌های بستر تا ۱۰ درصد نیز به سمت مرکز هیپ شیب داده خواهد شد. شکل ۱-۶ تصویری از عملیات تسطیح و کوبیده‌شدن سطح را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۶- تصویری از عملیات تسطیح و کوبیده‌شدن بستر

۱-۵-۴-رس‌ریزی

به منظور ایجاد لایه‌ای نرم بین بستر و لاینر و نیز نفوذناپذیرکردن خاک لایه‌ای به ضخامت تقریبی ۳۰ سانتی‌متر خاک رس ریخته و پس از مرطوب کردن آن تا ۵ درصد با ماشین‌آلات راهسازی کوبیده شد. در این فرآیند ۴۵۰۰۰ متر مکعب خاک رس از فاصله ۱۹ کیلومتری به منطقه هیپ منتقل شد. در این مرحله میزان تراکم‌پذیری خاک به ۹۲ درصد رسید. شکل ۱-۷ نمایی از این عملیات را نشان می‌دهد. در تمامی مراحل، تراکم بستر توسط آزمایشگاه‌های مکانیک خاک رفسنجان و شرکت مس انجام و مورد تأیید قرار گرفته است.



شکل ۱-۷- نمای از عملیات رس‌ریزی، تسطیح و مرطوب نمودن آن

۱-۵-۵- لاینرگذاری

پس از آنکه سطح بستر صاف شده و با یک لایه خاک رس نیز پوشانده شد بر روی لایه خاک رس لایبری به ضخامت یک میلی‌متر کشیده شده تا در زمان بهره‌برداری از هیپ، محلول از بستر آن عبور نکرده، در سطح تجمع نموده و جمع‌آوری گردد. برای این هیپ (شماره ۳) ۱۶۸ هزار متر مربع لاینر از شرکت GSE کشور مصر خریداری شده و ۱۷۵۰۰ متر مربع از لاینر موجود در انبار مجتمع مس سرچشمه استفاده شد. طول لاینرهای استفاده شده ۲۰۰ متر و عرض آنها ۶ متر بوده است. شکل‌های ۱-۸، ۱-۹ و ۱-۱۰ به ترتیب عملیات پهن کردن، جوشکاری و درزگیری لاینرها را نشان می‌دهند. به منظور نگهداری لاینر در جای خود و عدم کشیدگی لاینر در طی مراحل خاکریزی، کانالی در کنار بستر هیپ کنده و قسمتی از طول لاینر در آن دفن گردید. شکل ۱-۱۱ عملیات حفر کانال را نشان می‌دهد.



شکل ۸-۱- عملیات پهن کردن لاینر



شکل ۹-۱- عملیات جوشکاری لاینرها



شکل ۱-۱۰- عملیات درزگیری لاینرها



شکل ۱-۱۱- ایجاد کانال نگهدارنده لاینر

۱-۵-۶-کوشین

کوشین مخلوطی از خاک رس و ماسه نرم می‌باشد. به منظور محافظت از لاینر، لایه‌ای به ضخامت ۲۰-۳۰ سانتیمتر از کوشین بر روی لاینر پهن گردید. شکل ۱-۱۲ نمایی از عملیات کوشین‌ریزی بر روی لاینر را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱۲- نمایی از عملیات کوشین‌ریزی و تسطیح آن

۱-۵-۷-فیلتر و زهکش

در هنگام بهره‌برداری از هیپ، وقتی که محلول به پایین نفوذ می‌کند، به لایه نفوذناپذیر لاینر می‌رسد که باید از آنجا خارج شود. به منظور تسهیل در هدایت و جمع‌آوری این محلول به خارج از هیپ لایه‌ای زهکش که دارای خلل و فرج فراوان می‌باشد ایجاد کرده و در این لایه لوله‌هایی (این لوله‌ها دارای سوراخهایی در بدنه خود می‌باشند) تعبیه نموده تا به محض رسیدن محلول به این لوله‌ها، وارد لوله شده و از طریق لوله به خارج از هیپ منتقل می‌شوند. لوله‌های تعبیه شده در بستر زهکش به قطر ۱۲ سانتی متر و جمعاً به طول ۶۵۰۰ متر می‌باشند. شکل ۱-۱۳ نمایی از عملیات ریجکت‌ریزی، شکل ۱-۱۴ تصویری از لوله مشبک و شکل ۱-۱۵ قرار دادن لوله‌های زهکش در بستر را نشان می‌دهند. جهت

اطمینان از تحمل بار ریخته شده بر روی لوله‌های زهکش، تست‌های عملیاتی در منطقه هیپ با عبور بولدوزر و غلطک از روی آن انجام شد. تصویر ۱-۱۶ گویای این موضوع می‌باشد.



شکل ۱-۱۳- عملیات ریجکت‌ریزی



شکل ۱-۱۴- تصویر لوله مشبک برای جمع‌آوری محلول از بستر هیپ



شکل ۱-۱۵- عملیات لوله‌گذاری لوله‌های زهکش



شکل ۱-۱۶- عملیات تست لوله‌های زهکش

۱-۵-۸- جاده‌های دسترسی

جاده‌های در اطراف هیپ باید از بستر هیپ کمی مرتفع‌تر باشند تا محلول از گوشه‌های بستر هیپ به سمت جاده جاری نشود. بدین منظور جهت آماده ساختن آن به مقدار قابل توجهی خاکریزی در اطراف هیپ نیاز می‌باشد. طول این راه که تمام اطراف هیپ را شامل شده و به صورت حلقه‌ای اطراف هیپ را پوشانده است ۲۶۴۰ متر و عرض آن ۱۵ متر می‌باشد. شکل ۱-۱۷ نمایی از عملیات خاکریزی جهت ساخت جاده‌های در دسترس را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱۷- نمایی از عملیات خاکریزی جهت ساخت جاده‌های در دسترس

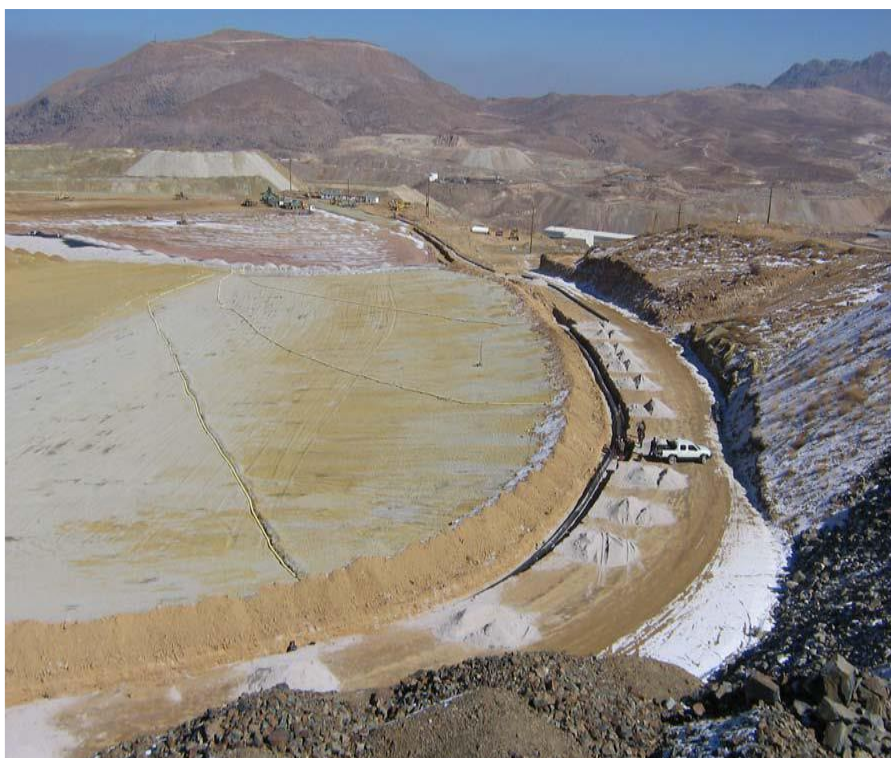
۱-۵-۹- انتقال محلول

انتقال محلول از کارخانه استخراج با حلال (Solvent Extraction) تا زمان پاشش بر روی هیپ سه مرحله را طی خواهد کرد :

الف : انتقال محلول از استخر رافینیت کنار کارخانه SX به استخر رافینیت هیپ ۲ (تاسیسات و خط لوله این مسیر در حال حاضر موجود بوده و از آن استفاده می‌گردد).

ب : انتقال محلول از استخر رافینیت هیپ ۲ به استخر رافینیت هیپ ۳ (جهت انتقال محلول در این مسیر از پمپ‌های هیپ ۲ استفاده شد و ۳۶۰ متر لوله به قطر ۴۰ سانتی‌متر محلول رافینیت را به ۲۰ متر ارتفاع پمپ می‌کنند).

ج : انتقال محلول از استخر رافینیت هیپ ۳ جهت پاشش بر روی هیپ ۳ (جهت انتقال محلول در این مسیر یک رینگ پاشش با لوله‌هایی به قطر ۴۰ سانتی‌متر و طول ۶۰۰ متر طراحی و ساخته شد). در طول رینگ پاشش تعداد ۷ دریچه خروجی جهت انشعاب گرفتن از مسیر برای پاشش طراحی و ساخته شد. شکل‌های ۱-۱۸، ۱۹-۱ و ۲۰-۱ نمایی از رینگ پاشش، مسیر عبور لوله رابط استخر Pls و رافینیت با هیپ ۲ و جوشکاری لوله‌ها را نشان می‌دهند.



شکل ۱-۱۸- رینگ پاشش اطراف هیپ



شکل ۱-۱۹- مسیر عبور لوله pls و رافینیت از استخرهای هیپ ۳ به هیپ ۲



شکل ۱-۲۰- تصویری از جوشکاری لوله‌های به قطر ۴۰ سانتی‌متر

۱-۵-۱۰- خاکریزی

پس از آماده‌سازی بستر، عملیات خاکریزی شروع شد که هم‌اکنون در قسمتی از بستر ۳۰۰ هزار تن خاک بر روی بستر ریخته شده است. شکل ۱-۲۱ نمایی از عملیات خاکریزی بر روی بستر را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۲۱- نمایی از خاکریزی بر روی بستر آماده شده

۱-۵-۱۱- استخرها

به منظور جمع‌آوری محلول خروجی (pls) از هیپ، استخری به حجم ۱۹۰۰۰ متر مکعب در محل اجرای طرح ساخته شد. بالاترین نقطه این استخر ۶ متر از پایین‌ترین نقطه بستر هیپ پایین‌تر می‌باشد. برای ساخت این استخر ۲۲۵۳۰۰ متر مکعب خاکبرداری شده و برای ساخت دیواره‌های استخر ۲۲۵۳۰۰ متر مکعب خاک از منطقه پشت هیپ به این مکان منتقل شد. برای ساخت دیواره استخرها بدین صورت عمل شد که ۴۰ سانتی‌متر خاک ریخته و سپس با ماشین‌آلات راهسازی کوبیده شد. پس از آماده سازی بستر استخر کوبیده شده و سپس با لایه‌ای از خاک رس مسطح و کوبیده گردید. پس از آن یک لایه

کوشین نیز جهت محافظت از لاینر بر روی خاک رس ریخته شد و بعد از آن لاینرگذاری انجام گردید. شکل ۲۲-۱ و ۲۳-۱ نمایی از استخر آماده شده را نشان می‌دهد.



۲۲-۱- تصویری از کوشین‌ریزی بستر استخر رافینیت

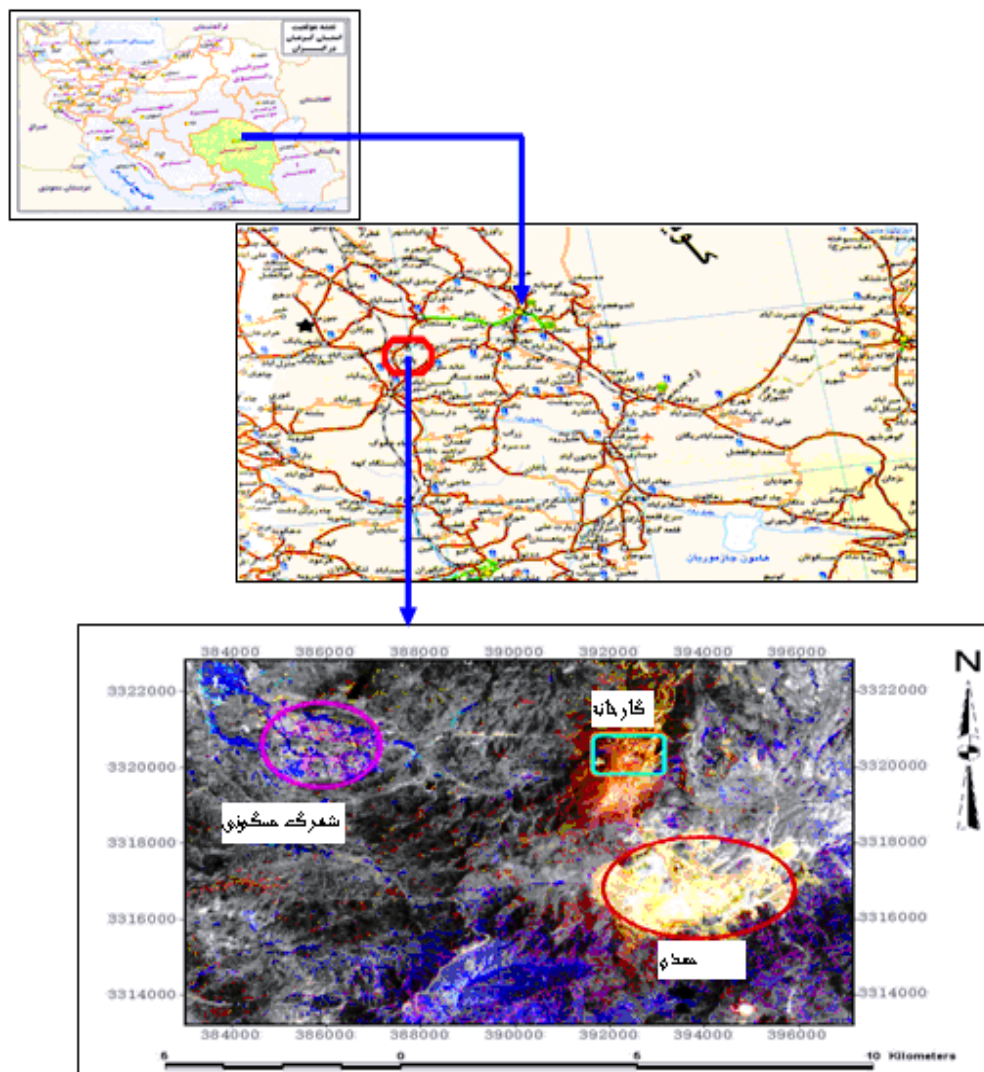


شکل ۲۳-۱- نمایی از استخر آماده شده رافینیت

۱-۶- مشخصات عمومی معدن مس سرچشمه

۱-۶-۱- موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی کانسار مس پورفیری سرچشمه

کانسار مس پورفیری سرچشمه در استان کرمان و در طول جغرافیایی ۵۵ و ۵۳ شرقی و عرض جغرافیایی ۵۸ و ۲۹ شمالی و در ارتفاع ۲۶۰۰ متری از سطح دریا واقع گردیده است (اورندی ۱۳۸۱). این معدن در ۱۶۰ کیلومتری جنوب غربی کرمان و ۵۰ کیلومتری جنوب غرب رفسنجان و در مجموعه ارتفاعات بند ممزار - پاریز از توابع این شهرستان قرار دارد. راههای دسترسی به معدن از طریق جادههای آسفalte کرمان - رفسنجان - شهربابک، کرمان - رفسنجان - پاریز - سیرجان می باشد. موقعیت جغرافیایی کانسار مس سرچشمه در شکل ۱-۲۴ نشان داده شده است. معدن مس سرچشمه به علت قرار گرفتن در مناطق کوهستانی، دارای زمستانهای سرد، برفگیر و بادخیز و تابستانهای ملایم و معتدل می باشد. میزان ریزشهای جوی بین ۳۰۰ تا ۵۵۰ میلیمتر در سال گزارش شده است. این ریزشها غالباً در فواصل زمانی آذر ماه تا فروردین مشاهده می شود که یکی از پر باران ترین زیر حوضه های غرب تا جنوب غرب کرمان محسوب می گردد. درجه حرارت هوای منطقه از ۳۵+ درجه سانتیگراد در تابستان و ۲۰- درجه سانتیگراد در زمستان متغیر است. منطقه به علت کوهستانی بودن حدود ۳ الی ۴ ماه در سال پوشیده از برف است. بادخیزی منطقه نسبتاً شدید و بادهای متداول در زمستان در جهت جنوب، جنوب غربی و در تابستان در جهت شمال، شمال شرقی می وزند. سرعت باد در این ناحیه گاهی تا ۱۰۰ کیلومتر در ساعت می رسد. شیب توپوگرافی شدید منطقه و نزولات جوی فراوان باعث فرسایش شدید و ایجاد دره های عمیق شده که خود بر شدت عوارض توپوگرافی می افزاید.



شکل ۱-۲۴- موقعیت شهرک سرچشمه و راههای دسترسی به آن و موقعیت شهرک نسبت به مجتمع و معدن مس سرچشمه در تصویر ماهواره‌ای

۱-۶-۲- تاریخچه معدن مس سرچشمه

کانسار مس سرچشمه یکی از مهمترین کانسارهای مس و مولیبدن پورفیری و روباز جهان است که بر روی کمر بند مسی قرار دارد که در اثر برخورد صفحات ایران و عربستان و همزمان با بالا آمدن محلولهای گرم کانه‌دار ناشی از فعالیتهای درونی زمین حدود ۲۵ میلیون سال قبل در امتداد رشته کوه زاگرس ایجاد شده است. این کانسار به صورت روباز استخراج می‌شود. منطقه کانی‌سازی شده سرچشمه، محدوده بیضی شکل با ابعاد حدود 1300×1200 متر می‌باشد (گزارشات زمین‌شناسی معدن مس سرچشمه). تاریخچه این معدن بر

می‌گردد به سال ۱۳۲۸ که شخصی به نام مهندس انتظام در منطقه سرچشمه به دنبال کانی‌های مس و روی بود که متوجه وجود کانسارهای مس در این منطقه شد. در سال ۱۳۴۵ مهندس رضایی این معدن را کشف کرد و کارهای اکتشافی آن را انجام داد ولی به علت وسعت زیاد آن دولتی شد. و در سال ۱۳۴۷ قراردادی با شرکت انگلیسی سلکشن تراست بسته شد که این شرکت با انجام یک سری عملیات اکتشافی از جمله حفر ۳۳۵۰۰ متر گمانه اکتشافی، ۱۷۲۰۰ متر تونل اکتشافی و تهیه نقشه‌های متعدد، ذخیره‌ای معادل ۴۰۰ میلیون تن سنگ معدن با عیار ۱/۱۲٪ مس را تعیین نمود. بعد از آن در سال ۱۳۵۱ قراردادی با شرکت آمریکایی آناکاندا بسته شد این شرکت کارهای اکتشافی را کامل کرد و در حدود ۳۳ هزار متر حفاری در منطقه انجام داد و سه عدد چاه ۱۰۰۰ متری نیز در منطقه حفر کرد. و با حفر ۸۹۰۰ گمانه اکتشافی و تهیه نقشه‌های اکتشافی با مقیاسهای مختلف ذخیره‌ای معادل ۸۰۰ میلیون تن با عیار ۰/۸۴٪ را تعیین کردند.

پس از پیروزی انقلاب اسلامی، کارهای اکتشافی و زمین‌شناسی که از جمله آن، تهیه نقشه‌ها، مقاطع عمودی و افقی زمین‌شناسی، تعیین عیار مس و مولیبدن برای هر پله می‌باشد، توسط کارشناسان ایرانی صورت پذیرفت. آخرین اطلاعات و آمار داده شده توسط این کارشناسان درباره ذخیره معدن بصورت زیر است (گزارشات زمین‌شناسی معدن مس سرچشمه):

مس: ذخیره کل محاسبه شده ۰/۷۹، ۳۲۷، ۲۲۴، ۱ تن کانسنگ مس با عیار متوسط ۶۹ / ۰٪ می‌باشد. **مولیبدن:** ذخیره محاسبه شده ۲۰۰، ۵۲۷، ۸۱۲ تن کانسنگ مولیبدن با عیار متوسط ۲۷ / ۰٪ می‌باشد.

۱-۷- واحدهای مختلف تولیدی مجتمع مس سرچشمه

۱-۲-۱- واحد معدن

معدن مس سرچشمه بیضی شکل است که طول قطر کوچک و بزرگ آن به ترتیب ۱۲۰۰ و ۲۳۰۰ متر می باشد. کانسار مس سرچشمه در قسمت مرکزی سلسله کوههای زاگرس قرار گرفته و متشکل از سنگهای چین خورده، گلسه، سنگهای رسوبی و مواد آتشفشانی اوائل دوران سوم می باشد. سنگ سرچشمه پورفیری با گرانودیوریت مربوط به میوسن یا الیگومیوسن می باشد و همچنین نسل های مربوط به ائوسن میانی در طبقه نازک آهکی، در نزدیکی توده آذرین پیدا شده است. روش بهره برداری در معدن بدین گونه است که پس از انفجار به وسیله بیل های الکتریکی، کامیون های وابکو بارگیری شده و بر حسب نوع سنگ به انبار سنگ های باطله یا انبار اکسید و یا به سنگ شکن اولیه حمل می گردد. بر اساس طرح معدن روزانه می باید حدود ۴۳۳۶۰ تن سنگ معدن، با عیار متوسط ۱/۲ درصد به سنگ شکن اولیه حمل شود و به طور متوسط همین مقدار نیز باید سنگ باطله جابجا شود تا دسترسی به سنگ سولفور امکان پذیر باشد.

۱-۲-۲- واحد پرعیار کنی (تغلیظ)

تجهیزات اصلی این واحد عبارتند از : واحد سنگ شکن ها، پرعیار کنی، فیلتر و خشک کن، کارخانه آهک، کارخانه مولیبدن، واحد ته نشین کننده باطله و سد رسوبگیر.

سنگ حمل شده توسط کامیون های معدن از سه جهت به داخل سنگ شکن اولیه کله قندی با قدرت ۶۶۰ اسب بخار تخلیه می شود. عملکرد این بخش به نحوی است که سنگ معدن ارسالی را به قطر حداکثر ۲۰ سانتی متر رسانده و سپس به وسیله سنگ شکن های مخروطی مرحله دوم و مرحله سوم حدود ۸۰ درصد سنگ سولفیدی تا قطر حداکثر ۱۳ میلیمتر خرد شده و تحویل انبار می گردد.

سپس سنگ معدن خرد شده توسط نوار نقاله از انبار خاک به داخل آسیابها هدایت می شود. تعداد ۸ آسیاب در دو بخش چهار تایی، هر کدام به قطر ۵/۰۳ متر و طول ۸/۲۳ متر به طور موازی کار می کنند. جهت انجام عملیات دانه بندی، هر کدام از آسیابها به ۱۰ سیلکون خوشه ای به صورت سیکل بسته متصل شده اند. سرریز سیکلون ها به شکل دوغاب به سلول های شناور سازی تحویل می شود. حاصل این کارخانه روزانه ۱۴۳۲ تن کنسانتره مس و

مولیبیدن با عیار ۳۲/۱۷٪ مس و ۳۹۷۳۳ تن باطله با عیار ۱/۷٪ مس می‌باشد که اولی جهت جدایش و بازیابی مولیبیدن به کارخانه مولیبیدن و دومی جهت آبیگری به ته‌نشین‌کننده‌های باطله هدایت می‌شود (گزارشات زمین شناسی معدن مس سرچشمه).

۱-۷-۳- واحد ذوب

تجهیزات اصلی این کارخانه شامل انبار، سیستم آماده‌سازی خوراک کوره‌های انعکاسی و دیگ‌های بخار، کوره های آند، چرخ ریخته‌گری و کوره‌های نگهدارنده می‌باشد.

کنسانتره مس پس از خشک شدن در کوره خشک‌کن با رطوبت باقیمانده ۷٪ ذخیره می‌شود. سپس به واحد ذوب انتقال داده می‌شود، قبل از حمل آن به واحد ذوب با کمک ذوب مخلوط می‌شود. کمک ذوبها موادی از قبیل آهک و سیلیس هستند که جهت تولید سرباره و جداکردن ناخالصی‌ها به خوراک کوره‌های انعکاسی و کوره های مبدل اضافه می‌شوند (گزارشات زمین‌شناسی معدن مس سرچشمه).

۱-۷-۴- واحد پالایشگاه

ظرفیت تولید پالایشگاه با روش عادی ۱۷۱۰۰۰ تن در سال و با روش P.R.C معادل ۲۴۰۰۰۰ تن در سال می‌باشد. کل بخش الکترولیز، شامل ۹۶۰ سلول الکترولیز بوده و دارای تجهیزات تخلیه و تولید سولفات نیکل و کارخانه شستشوی اسیدی می‌باشد. قسمت‌های مهم پالایشگاه عبارتند از : بخش الکترولیز و کارگاه ریخته‌گری (گزارشات زمین‌شناسی معدن مس سرچشمه).

۱-۸- زمین‌شناسی عمومی ناحیه معدن مس سرچشمه

معدن مس سرچشمه در نزدیکی مرکز کمربند کوهزایی با کشیدگی شمال - شمال غرب و جنوب - جنوب شرق، قرار دارد که عمدتاً کمپلکس گسله شده و چین خورده از نوع آتشفشانی - رسوبی (اوایل دوره ترشیاری) می‌باشد. این کانسار به طور تناوبی از ترکیه تا بلوچستان در قسمت جنوبی ایران گسترش پیدا کرده است (شفیعی ۱۳۷۹). معدن مس سرچشمه از لحاظ زمین شناسی ناحیه‌ای، در بخش مرکزی و شمالی ارتفاعات بند ممزار - پاریز قرار گرفته است که این منطقه خود بخش میانی

کمر بند ولکانو - پلوتونی دهج - ساردوئیه را تشکیل می‌دهد. در محدوده معدن واحدهای سنگی متفاوتی از لحاظ ترکیبی و سنی رخنمون دارند و محدوده سن پالئوژن تا عهد حاضر را شامل می‌شوند. قدیمی‌ترین واحدهای سنگی محدوده معدن، سنگهای آتشفشانی ائوسن عمدتاً با ترکیب آندزیتی می‌باشند که همراهی آنها با رسوبات این دوره نشان‌دهنده یک محیط آتشفشانی - رسوبی زیر دریایی در آن زمان می‌باشد. بعد از واحد مذکور، یک فاز نفوذی کوارتز دیوریتی به سن رادیو ایزو توپ ۲۹ میلیون سال در دو کیلومتری شمال غرب محدوده کانسار در سنگهای آتشفشانی - رسوبی ائوسن نفوذ و باعث چین خوردگی و گسله‌دار شدن این ناحیه گردیده است. فاز اصلی نفوذی و مولد کانسار سازی در منطقه سرچشمه با نام محلی استوک پور فیری سرچشمه با ترکیب گرانو دیویت به سن رادیو ایزو توپ ۱۲/۵ میلیون سال می‌باشد که با نفوذ در مرکز منطقه و سنگهای آتشفشانی ائوسن، محدوده‌ای به وسعت حدود ۲ کیلومتر مربع را ضمن دگرسانی، کانی‌سازی نموده است و در این زمان است که کانسار مس پور فیری سرچشمه شکل می‌گیرد. اندکی بعد از جایگیری، تبلور و آزاد شدن محلولهای گرمابی کانه‌دار در سنگهای آتشفشانی دیواره‌ای، در مراحل میانی، نهایی و بعد از کانسار سازی، به ترتیب توده نفوذی کوچکی به نام پور فیری دانه‌ریز تا خیری و دایک‌هایی با روند عمومی شمال - شمال غرب و جنوب - جنوب شرق، با نامهای هورنبلند پور فیری پیشین با دگرسانی و اندکی کانی‌سازی و نهایتاً دایک‌های هورنبلند پور فیری پسین، فلد سپار پور فیری و بیوتیت پور فیری و غیر مینرالیزه به سن ۴-۳ میلیون سال در سنگهای قدیمی‌تر منطقه از جمله سنگهای آتشفشانی ائوسن و استوک پور فیری سرچشمه به سن میوسن میانی نفوذ کرده‌اند و در مواردی باعث جابجایی، شکستگی و قطع شدن کانی‌زائی در این سنگها گردیده‌اند. بعد از نفوذ آخرین دایک بنام بیوتیت پور فیری، جدیدترین واحدهای سنگی منطقه آتشفشان جوان امیر المومنین با سن ۰/۵ - ۱/۵ میلیون سال (شفیعی ۱۳۷۹) است که متشکل از توف، ایگنیمبریت و برش با ترکیب داسیتی می‌باشد و در شمال معدن رخنمون دارد. این واحد، روی تشکیلات قبلی را پوشانده است.

بطور کلی تاریخچه تکوین و کانسار سازی ناحیه سرچشمه را می‌توان به صورت زیر عنوان کرد:

- نهشته شدن توالی ضخیم از سنگ‌های آتشفشانی - رسوبی در طول دوره ائوسن در منطقه پاریز - بند ممزار.

- نفوذ و جایگزینی یک توده کوارتز دیوریتی به سن ائوسن فوقانی - الیگوسن در سنگ‌های آتشفشانی ائوسن در دو کیلومتری شمال غرب کانسار و چین خوردگی سنگ‌های ولکانیکی.

- نفوذ و جایگیری استوک پورفیری سرچشمه به سن میوسن میانی داخل سنگ‌های آتشفشانی ائوسن در مرکز منطقه، این فاز نفوذی منشاء کانسارسازی سرچشمه می‌باشد.

- ایجاد درزه و شکستگی فراوان در سنگ‌های آتشفشانی دیواره و خود استوک در نتیجه آزاد شدن محلولهای گرمابی فلزدار حاصل از تبلور و جایگزینی استوک و در نتیجه دگرسانی و کانی‌زایی به وسعت حدود دو کیلومتر مربع در منطقه و تشکیل کانی‌سازی تیپ پور فیری.

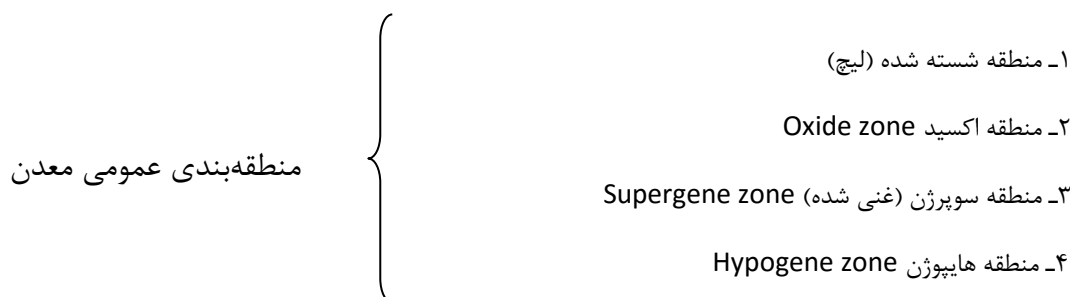
- نفوذ یک توده کوچک به نام پورفیری دانه ریز تأخیری در مراحل میانی کانی‌زایی و همچنین تزریق یک سری دایکهای همزمان و همچنین در مراحل نهایی و بعد از کانی‌زایی با روند شمال - شمال غرب، جنوب - جنوب شرق در سنگ‌های آتشفشانی ائوسن و استوک پور فیری سرچشمه.

- فرسایش و ظاهر شدن مجموعه کانسارسازی مس پورفیری، اکسید اسیون و شستشوی سولفیدها در نزدیکی سطح زمین و نهایتاً شکل‌گیری ساختار منطقه‌ای ((زونالیت)) شاخص سیستم‌های مس پورفیری.

- فوران‌های آتشفشانی جوان به سن پلیستوسن تحت نام کوه امیر المومنین شامل آگلومرا، توف، ایگنیمبریت با ترکیب داسیتی در چهار کیلومتری شمال کانسار و پوشیده شدن واحدهای قدیمی‌تر منطقه توسط این ولکانیک‌ها.

۱-۹- کانی‌سازی در معدن مس سرچشمه

برای معادن مس پورفیری مدلی را در نظر گرفته‌اند که این مدل برای معدن مس سرچشمه نیز صادق است به این صورت که در این معادن با گذر از بالا به سمت پایین منطقه‌بندی به شکل زیر مشاهده می‌شود.

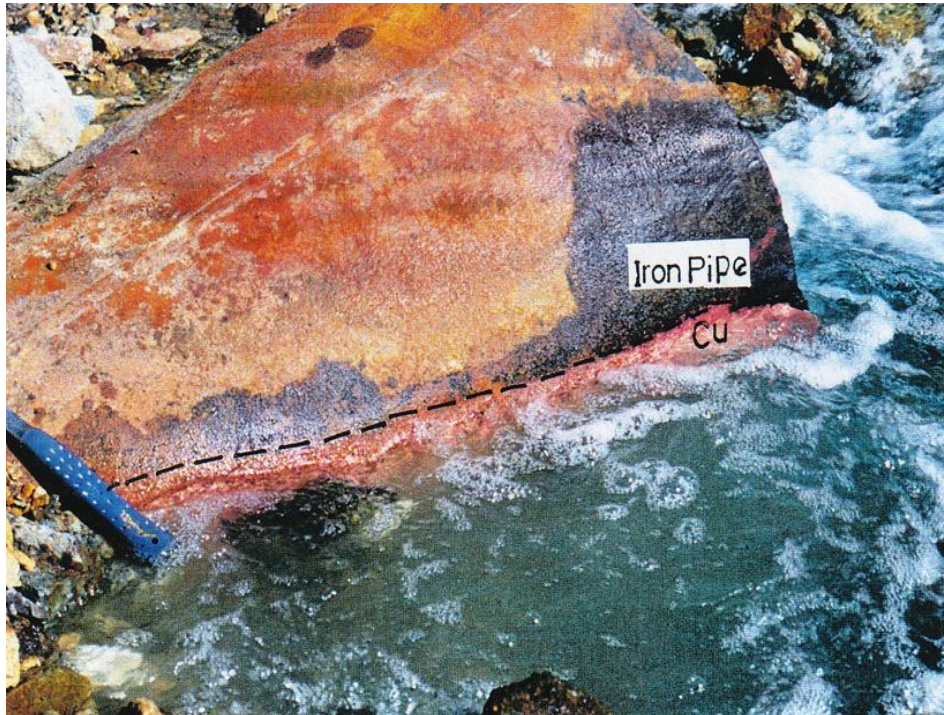


۱-۹-۱- زون لیچ (زون شسته‌شده)

زون لیچ یا زون شسته‌شده در بالاترین نقطه قرار دارد. کانی‌های آن شامل گوسان (کلاهدک آهنی) که رنگ آن قهوه ای سوخته متمایل به سیاه می‌باشد، که به آن گوتیت نیز می‌گویند. که این خود یک نشانه برای اکتشاف ذخایر پورفیری به شمار می‌رود. کانی‌های بعدی این زون شامل: لیمونیت (زرد رنگ)، هماتیت (قرمز رنگ) و بیوتیت می‌باشند که همگی اکسیدهای آهن هستند.

۱-۹-۲- زون اکسید

ضخامت متوسط این زون ۲۶ متر است. کانی‌های تشکیل دهنده آن شامل کربنات‌های مس مانند مالاکیت (سبزرنگ)، آزوریت (آبی رنگ) و اکسیدهای مس شامل کوپریت و تنوریت می‌باشد. در این منطقه سنگ‌های میزبان بر اثر عوامل فیزیکی شیمیائی، فرسایش و دگرسانی متفاوتی را نشان می‌دهند. ضخامت این منطقه بر حسب توپوگرافی کانسار و سطح آبهای زیرزمینی در نقاط مختلف کانسار به شدت متفاوت است، بطوری که در بخش مرکزی کانسار، از ۸ تا ۴۰ متر و در نقاط مرتفع بیش از ۱۰۰ متر (شهاب پور ۱۳۷۶) می‌باشد. شکل ۱-۲۵ ته‌نشینی مس بر روی آهن در مسیر رودخانه‌هایی که از داخل معدن عبور می‌کنند را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۲۵- ته‌نشینی مس بر روی آهن در مسیر رودخانه‌هایی که از داخل معدن عبور می‌کنند.

۱-۹-۳- منطقه سوپرژن (غنی شده)

ضخامت متوسط این منطقه ۳۷ متر است. و کانی‌های تشکیل دهنده آن شامل کالکوسیت و کوولیت می‌باشد که جزء کانی‌های ثانویه مس می‌باشند (شفیعی ۱۳۷۹).

زون سوپرژن در اثر شسته‌شدن کانی‌های اولیه در افق‌های بالاتر توسط آب‌های سطحی یا برف و باران و ذخیره شدن در افق خاص به وجود می‌آید. در این معدن آب‌های زیرزمینی باعث انباشته شدن کانی‌های مس‌دار از نوع ثانویه مانند کالکوسیت و کوولیت شده است.

۱-۹-۴- منطقه هایپوژن

این منطقه تا عمق نهایی معدن ادامه دارد. کانی‌های اصلی آن شامل کالکوپیریت و بورنیت است. بورنیت حالت قوس و قزح دارد. ضخامت این منطقه بطور کامل مشخص نیست. این منطقه در زیر منطقه سوپرژن

واقع شده است. حفاری‌های عمیق (گمانه‌هایی بطول ۶۰۰ الی ۱۰۰۰ متر) از ادامه داشتن این منطقه در اعماق خبر می‌دهند. تناژ این منطقه از دو ناحیه قبلی بیشتر است. کانی اصلی در این منطقه، کالکوپیریت است و کانی‌های مولیبدنیت، مقدار کمی آنارژیت و رگه‌های گالن و آسفالریت نیز در این منطقه یافت می‌شود. با افزایش عمق، عیار مس کاهش می‌یابد. تغییرات عیار مولیبدن در این ناحیه بر عکس عیار مس با افزایش عمق، بیشتر می‌شود.

در معادن مس پورفیری کانی پیریت در همه زون‌ها مشاهده می‌شود. دور تا دور معدن مس سرچشمه را یک هاله پیریتی در بر گرفته است که عیار آهن در آنجا ۵ درصد است، و به سمت داخل عیار آن کم و به سمت خارج عیارش زیاد می‌شود.

۱-۱۰- هدف و ضرورت اجراء پروژه

هدف از مطالعه این تحقیق بررسی احتمالی نوع و شدت آسیب‌هایی است که ممکن است توسط عوامل هیدرولوژیکی و یا پارامترهای هواشناسی بر سازه فروشوئی وارد گردد. یکی دیگر از اهداف این مطالعه شناسایی خطرات زیست محیطی ناشی از عملیات فروشوئی توده‌ای و نهایتاً ارائه راهکارهایی برای مقابله با آن‌ها می‌باشد. شستشوی توده‌ای یکی از روش‌هایی است که امروزه به طور وسیع جهت فرآوری مس از کانسنگ‌های اکسیدی کم عیار که دارای مس می‌باشند مورد استفاده قرار گرفته‌اند. به دلیل حضور حجم قابل ملاحظه‌ای از این گونه کانسنگ‌ها در معدن مس سرچشمه و نواحی پیرامون آن ضرورت راه اندازی سیستم‌های فرو شوئی جهت تولید مس دو چندان شده است. از آن جایی که محل بر پا نمودن فرآیند شستشوی توده ای باید در یک بستر شیب‌دار بنا گردد، لذا به دلیل قرار گرفتن چنین سازه‌هایی در ارتفاعات، ضرورت دارد پارامترهای هواشناسی به همراه خصوصیات هیدرولوژیکی محدوده ساخت سازه فروشوئی که عملکرد هیپ را به شدت تحت تاثیر قرار می‌دهند به دقت شناسایی و مورد بررسی قرار گیرند. همچنین با توجه به اینکه در روش فروشوئی توده‌ای از یک حلال مناسب جهت لیچینگ کانسنگ‌های اکسیدی کم عیار مس استفاده می‌کنند، بنابراین محلول جمع‌آوری شده حاصل از لیچینگ کانسنگ‌ها

حاوی غلظت‌های بالایی از فلزات سنگین می‌باشد که در صورت نشت، تراوش و یا سرریز کردن محلول به محیط اطراف خود صدمات و خسارات جبران‌ناپذیری به محیط زیست و اکوسیستم منطقه وارد می‌سازد. به منظور بررسی مسائل زیست محیطی در ارتباط با هیپ شماره ۳ معدن مس سرچشمه نمونه‌برداری در محل انباشت باطله‌ها در سه محل روی دمپ باطله تا عمق ۳ متری در نزدیکی هیپ شماره ۳ معدن مس سرچشمه به صورت دستی صورت گرفت. پس از تعیین میزان پیریت باقیمانده در عمق‌های مختلف، با استفاده از نرم افزار کامپیوتری PHOENICS و روش عددی حجم‌های محدود، مدلی که قادر به پیش‌بینی فرآیند درازمدت اکسایش پیریت، تولید اسید و شسته‌شدن و حمل مواد اسیدی حاوی یون‌های مختلف فلزی در محدوده هیپ شماره ۳ معدن مس سرچشمه بود، ارائه گردید. با استفاده از چنین مدل‌هایی می‌توان اطلاعات گرانبهایی در مورد وضعیت توزیع آلاینده‌ها در منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی و نحوه کنترل آنها ارائه نمود. اگر چه نمی‌توان از اکسید شدن پیریت در مجاورت هوا و تولید آلودگی جلوگیری نمود ولی از نتایج حاصل از چنین شبیه‌سازی‌هایی می‌توان در طراحی مناسب روش‌های تصفیه و کنترل آلودگی معدن به منظور به حداقل رساندن اثرات زیست محیطی بهره گرفت. بنابراین مسائل زیست محیطی نیز اهمیت روز افزونی در مکان‌یابی سازه‌های فروشویی توده‌ای، دارند. موارد مختلفی که مهمترین آنها جلوگیری از آلودگی آب‌های زیرزمینی و سطحی توسط محلول‌های فروشویی می‌باشد، بایستی مورد توجه قرار گیرند.

۱-۱۱- فصل‌بندی پایان نامه

این پایان‌نامه مشتمل بر هفت فصل می‌باشد. فصل اول شامل مقدمه، ساختار سازه‌های فروشویی، عوامل موثر بر عملکرد سازه‌های فروشویی، مراحل طراحی و ساخت هیپ شماره ۳، مشخصات عمومی معدن مس سرچشمه و اهداف و ضرورت انجام پایان‌نامه است. در فصل دوم به مروری بر تحقیقات گذشتگان در خصوص مسائل هیدرولوژیکی و پارامترهای زیست محیطی در ارتباط با فرآیند هیپ لیچینگ اشاره شده است. در

فصل سوم ابتدا به چگونگی نمونه‌برداری از دمپ‌های باطله و فرآیند آماده‌سازی آنها و روش انجام مطالعات کمی و کیفی بر روی آنها به منظور تعیین میزان پیریت موجود، پرداخته شده و سپس با تهیه نمونه‌هایی از آب منطقه و اندازه‌گیری آنیون‌ها و کاتیون‌های محلول در آنها به ویژه تعیین غلظت برخی فلزات سنگین، وضعیت کیفی آب‌ها مورد مطالعه قرار گرفته است تا در نهایت بتوان پتانسیل تولید پساب اسیدی در منطقه را مورد بررسی قرار داد. در فصل چهارم مطالعات هیدروژیکی در ارتباط با هیپ شماره ۳ معدن مس سرچشمه که شامل، رفتار مواد تشکیل‌دهنده هیپ در مقابل رافینیت (اسید بدون بار) و خصوصیات کلیما‌تولوژی محدوده ساخت هیپ می‌باشند مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در فصل پنجم با بکارگیری یک مدل عددی که توسط نرم افزار فینیکس شبیه‌سازی شده است. تلاش شده تا پیش‌بینی‌هایی در مورد روند تولید آلودگی صورت پذیرد. در فصل ششم به بررسی آلودگی ناشی از نشت اسید در محدوده هیپ شماره ۳ معدن مس سرچشمه به روش شستشوی توده‌ای پرداخته شده است. و در نهایت در فصل هفتم به جمع‌بندی و ارائه چندین پیشنهاد در ارتباط با مسائل هیدرولوژیکی و پارامترهای زیست محیطی موثر در نحوه طراحی، عملکرد و مدیریت بهتر سازه‌های فروشوئی می‌پردازیم.

۲-۱- تاریخچه

شستشوی توده‌ای یکی از روش‌هایی است که بطور وسیع جهت جداسازی و فرآوری مواد معدنی با عیار پائین طلا، نقره، مس و اورانیوم مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش حل‌کردن توده‌ای به دلیل اینکه می‌توان با ایجاد یک لایه نفوذناپذیر، مانع از ورود حلال به درون زمین شده و در ضمن میزان بازیابی نسبتاً بالایی را داراست، امروزه بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد، به طوری که از مجموع ۶۹ کارخانه لیچینگ جهان بیش از ۳۰ واحد از روش شستشوی توده‌ای استفاده می‌کنند (معطری ۱۳۸۰). ساخت سازه‌های فروشوئی در یک مقیاس بزرگ در کشور شیلی در نوامبر ۱۹۸۰ آغاز شد و در سال‌های اخیر به دلیل استفاده از ژئوممبران (Geomembrane) به عنوان لایه نفوذناپذیر توسعه زیادی یافته است (Smith 1994). در قرن شانزدهم استخراج مس به روش تر مورد استفاده قرار گرفت. فروشوئی تپه‌ای در

ناحیه کوههای هارز (Harze) در کشور آلمان و در ریوتینتو (Rio Tinto) در کشور اسپانیا اجرا گردید. در این پروژه‌ها پیریت و کانیه‌های حاوی سولفید مس در محیط باز انباشته و در معرض باران و هوا قرار می‌گرفت تا عمل اکسایش و انحلال در آن انجام شود. سیال سولفات مس حاصله سپس درون یکسری حوضچه‌های جمع‌آوری و با آهن قراضه عمل سمانتاسیون انجام داده و مس راسب می‌شد (عبداللهی ۱۳۷۸). همان طور که اشاره شد استفاده از هیپ دارای تاریخ طولانی می‌باشد، به طور مثال در حدود سالهای ۱۷۵۲، معدنکاران اسپانیایی بر روی ساحل رودخانه ریوتینتو محلول اسید را بین پشته‌های بزرگ اکسید مس نفوذ می‌دادند. در سال ۱۹۰۰ استفاده از پشته‌های فروشوئی جهت استخراج حداکثر مس، مورد استفاده قرار گرفت. تقریباً در تمامی دنیا استفاده از پشته‌های فروشوئی جهت مواد معدنی کم‌عیار مورد استفاده قرار می‌گیرد. همچنین سیالات اسیدی و قلیائی جهت پروژه‌های اورانیوم بعد از دهه ۱۹۵۰ مورد استفاده قرار گرفتند. روش متداول در استخراج فلزات، متالورژی حرارتی است ولی این روش به علل مختلف از جمله مصرف انرژی زیاد و آلودگی محیط زیست و غیره امروز در تنگنا قرار گرفته و قوانین زیست محیطی کاربرد آن را محدودتر و مشکل‌تر کرده است. برخلاف پیرومتالورژی، هیدرومتالورژی در طی چند دهه اخیر شاهد تحولات و گسترش بسیاری بوده است. امروزه از هیدرومتالورژی می‌توان برای تولید کلیه فلزات غیرآهنی استفاده کرد ولی به علل مختلف کاربرد این روش منحصر به چند فلز می‌باشد. فلزاتی نظیر طلا، نقره، مس، آلومینیوم و اورانیوم از این طریق قابل استحصال می‌باشند (وقار ۱۳۷۸). تاریخچه استفاده از هیپ برای استخراج مواد به دوران گذشته باز می‌گردد. با این حال استفاده از این روش جهت استخراج اکسید فلزاتی مانند طلا و نقره طی ۱۰ سال اخیر گسترش فراوانی یافته است. این روش جهت استخراج مواد معدنی با عیار پائین اما با حجم بالا بسیار مفید و نسبت به روش‌های دیگر دارای یک سری محاسن می‌باشد. به طور کلی این محاسن شامل سادگی، پائین بودن قیمت جاری و هزینه عملیاتی، زمان کوتاه شروع کار و تاثیرات منفی کمتر بر روی محیط زیست می‌باشند. احتمالاً پتانسیل پائین استخراج مواد معدنی توسط این روش از معایب آن محسوب می‌شود. از این

رو امروزه ذخایر بزرگ و حجیم مواد معدنی کم‌عیار با استفاده از سازه‌های فروشوئی توده‌ای بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد (Van 1988).

۲-۲- مروری بر کارهای انجام شده در رابطه با مسائل هیدرولوژی هیپ

مطالعاتی در ارتباط با مسائل هیدرولوژی هیپ نیز صورت گرفته است. از بین این مطالعات می‌توان به کار ریچارد (Richard 1986) اشاره نمود. این مطالعه به استراتژی‌های طراحی در شرایط اکستریم محیطی می‌پردازد. بوفارد و دیکسن (Bouffard and Dixon 1985) در تحقیقات خود تحت عنوان مطالعه تحقیقی هیدرودینامیک فرآیند سازه‌های فروشوئی به بررسی حرکت سیال در سیستم‌های تحت اشباع حاکم بر سازه های فروشوئی پرداخته‌اند. اُکان (Okane 2000) گزارشی تحت عنوان شرحی بر کاربرد هیدرولوژی مناطق تحت اشباع در بهینه‌سازی سازه‌های فروشوئی ارائه نموده است. در این گزارش تاثیر دانه‌بندی و همچنین سرعت پاشش بر روی میزان انحلال و عملکرد سازه فروشوئی مورد مطالعه قرار گرفته است نتایج حاصله بیانگر این موضوع بود که هرچه ذرات تشکیل دهنده سازه فروشوئی ریزتر باشند در مقابل سیالات ورودی به عنوان یک لایه نفوذناپذیر عمل کرده و در نتیجه باعث ایجاد جریان‌ات ترجیحی در بدنه هیپ و کاهش راندمان تولید فلز مورد نظر در حین عملیات می‌گردد. اما از بین مطالعات انجام شده می‌توان به مطالعات آقای هاتچسون (Hutchison 1999) اشاره کرد. این مطالعه به بررسی آبهای سطحی و بیلان آب در سازه‌های فروشوئی می‌پردازد. مطالب این تحقیق بدلیل ارتباط آن با موضوع مورد بررسی، تحت عنوان اصول مطالعه هیدرولوژی سازه‌های فروشوئی آورده شده است.

۲-۳- مروری بر کارهای انجام شده در رابطه با مسائل زیست محیطی هیپ

لوپو (John E Lupo 1995) در تحقیقات خود بر روی پدهای فروشوئی به تراوش و نشت اسید از سازه‌های فروشوئی که باعث تاثیرات زیست محیطی و اقتصادی می‌شوند اشاره کرده است. همچنین مواردی مانند پایداری هیپ، بالانس آب در سازه‌های فروشوئی، محافظت لایه ژئوممبرین، محافظت حوضچه‌های محلول را مورد بررسی قرار داده است.

تراوش و نفوذ محلول‌های اسیدی ناشی از فرآیند شستشوی توده‌ای مهمترین پتانسیل در آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی محسوب می‌شوند. محلول‌های حاوی مس که حاصل عملکرد فروشوئی توده‌ای می‌باشند در مقایسه با آب‌های طبیعی دارای pH پایین‌تر، غلظت فلزات سنگین بالاتر و میزان کل جامدات محلول بیشتری می‌باشند. که این محلول‌ها در صورت قرارگرفتن در مجاورت زمین باعث آلودگی خاک و آب می‌شوند. هرن و های (Hearn and. Hoyer 1998) در تحقیقی تحت عنوان شستشوی توده‌ای مس و مدیریت زیست محیطی آن، بیان کردند که در واحد استخراج با حلال محلول با pH بالا را قبل از اینکه دوباره به محل هیپ فرستاده شود، بوسیله عمل تبادل یونی pH آن را کاهش و تقلیل می‌دهند. در همین ارتباط نیز اظهار می‌نماید که محلول‌های اسیدی میزان انحلال فلزات سنگین را در فرآیند فروشوئی توده‌ای در سنگ‌ها و مواد معدنی افزایش می‌دهند. در چنین شرایطی کیفیت آب‌های محدوده سازه‌های فروشوئی که دارای فعالیت می‌باشند به وسیله تراوش و رسوخ این محلول‌ها تحت تاثیر قرار گرفته است. در همین راستا یک تحقیق در مورد خصوصیات جریان اشباع در ستون‌های فروشوئی توده‌ای توسط گارسیا و میلر در سال ۲۰۰۵ ارائه شد (Garcia and Miller 2005). وی در این تحقیق بیان کرد که شستشوی توده‌ای فرآیندی است که در صنعت معدنکاری برای بازیافت فلزات از منابع معدنی با عیار پایین استفاده می‌شود. و جریان اشباع از میان لایه‌های بستر هیپ مهمترین نقش را در بالا بردن کارایی و عملکرد فروشوئی توده‌ای ایفا می‌کند. بنابراین ساختارهای ریزدانه و متصل کردن فضاهای خالی مهمترین خصوصیات هستند که جریان مایعات را در عملکرد شستشوی توده‌ای توصیف می‌کنند.

وان و کیل (Van and Kiel 1990) نیز در تحقیقی تحت عنوان مدیریت زیست محیطی در نحوه نفوذ و تراوش محلول‌ها بیان می‌دارند که محل سازه‌های فروشوئی توده‌ای باید دور از مسیر رودخانه یا سیلاب باشد زیرا ممکن است بر اثر بارش شدید برف و باران، رودخانه طغیان کرده یا سیلاب به سمت سازه هدایت شود. در چنین حالتی سازه ممکن است پایداری خود را از دست دهد. در صورت وجود آب‌های سطحی در اطراف سازه یا پیش‌بینی آن در هنگام بارش باید در اطراف سازه، کانال‌هایی را برای انحراف مسیر آب‌های سطحی و هدایت آن به خارج از سازه طراحی نمود. وجود چشمه‌های زیاد در اطراف سازه مشکلاتی را در زهکشی و

پایداری سازه بوجود می‌آورد. بنابراین محل سازه فروشویی باید حتی الامکان دور از مسیر رودخانه، سیلاب و یا حتی چشمه‌ها باشد. در غیر این صورت باید با اعمال تدابیر شدید زهکشی شرایطی را فراهم نمود که سازه از نظر مسائل آبهای سطحی و زیرسطحی ایمن باشد.

وان و هاتچسون (Van and Hutchison 1988) در تحقیقات خود تحت عنوان توضیحاتی در رابطه با ارزیابی طراحی و عملکرد شستشوی توده‌ای فلزات به این نتیجه رسیدند که با توجه به اینکه محلولی که در سازه فروشویی بکار برده می‌شود اسیدی است، ورود آن به زمین و آب‌های زیرزمینی برای انسان و محیط زیست ایجاد خطر می‌کند. بنابراین ضروری است که آب‌های زیرزمینی در منطقه شناسایی شده و سپس محل احداث سازه را انتخاب نمود. در صورتیکه سطح آب زیرزمینی در منطقه بسیار پایین بوده و از لایه‌هایی با نفوذپذیری خیلی پایین مانند رس و همچنین ترکیب رس و ژئوممبران استفاده شود می‌توان سازه را در آن محل احداث نمود.

در پایین شیب هر سازه فروشویی مخازنی به نام حوضچه‌های باردار حاوی مس (Pregnant Leach Solution Pond)، رافینیت (Raffinat) و آب حاصل از برف و باران (Storm Water) با کاربردهای مختلف ساخته می‌شود. محلول حاوی مس هنگام خروج از سازه فروشویی بر اثر نیروی ثقل به طرف حوضچه PLS هدایت شده و از آنجا وارد کارخانه لیچینگ شده و مس آن بازیافت می‌شود. همچنین محلول اسیدی به حوضچه Raffinat هدایت شده و از آنجا محلول برای پاشش مورد استفاده قرار می‌گیرد. حوضچه Storm Water نیز برای جمع‌آوری آب حاصل از برف و باران مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین هنگام انتخاب محل سازه باید امکان‌پذیری جایی برای احداث این حوضچه‌ها در پایین شیب سازه در نظر گرفته شود. علاوه بر آن آقای وان و هاتچسون (Van and Hutchison 1988) در تحقیقات خود به این نتیجه رسیدند که شیب زیاد سازه باعث ناپایداری و افزایش حجم عملیات خاکی و شیب کم در بعضی مواقع اخلاص در حرکت سریع محلول از درون پیکره سازه را به دنبال دارد. بنابراین توپوگرافی محل سازه باید به گونه‌ای باشد که کمتر به تعدیل شیب نیاز داشته باشد. در تعدیل شیب باید به این نکته توجه کرد که در جاهایی که خاکریزی صورت می‌گیرد، خاک باید مورد تراکم قرار گیرد تا پایداری فونداسیون حفظ گردد. به طور

کلی ارزیابی ژئوتکنیکی محل ساخت سازه فروشوئی توده‌ای با توجه به موارد مختلفی از جمله شرایط فونداسیون، خاکبرداری و خاکریزی، کیفیت و کمیت مواد ساخت (از قبیل مواد زهکش و پرکننده‌ها) و شرایط ژئولوژیکی و هیدرولوژیکی تعیین می‌گردد. زمین طبیعی که روی آن سازه فروشوئی ایجاد می‌شود، خود باید مقاومت لازم را در برابر لغزش و گسیختگی داشته باشد. خاک یا سنگ موجود در این زمین باید تمام شرایط پایداری را دارا باشد. برای آماده‌سازی، ابتدا لایه‌ای از خاک هوازده سطح را برداشته و هرگونه پوشش گیاهی را که در روی سطح وجود دارد، از زمین جدا می‌کنند. برای ارزیابی زمین طبیعی باید از محل مورد نظر نمونه‌گیری کرد و آزمایشهای ژئوتکنیکی بر روی نمونه‌ها انجام گیرد.

۲-۴- تاثیر دمپ‌های باطله در ایجاد پساب اسیدی معدن

در اطراف هیپ شماره ۳ معدن مس سرچشمه چندین دمپ باطله (Waste Dump) وجود دارد. یکی از مشکلات زیست محیطی ناشی از دمپ‌های باطله‌ها ایجاد پساب اسیدی (AMD) در محل انباشت باطله‌ها می‌باشد. محل انباشت باطله‌های سولفیدی در مجاورت هوازده‌گی و ریزش‌های جوی قرار می‌گیرند که این امر موجب اکسیداسیون پیریت (FeS_2) موجود در باطله‌ها و ایجاد پساب اسیدی می‌گردد که این پساب‌ها در نحوه انتشار و تولید آلودگی در اطراف هیپ موثر واقع می‌شوند.

زمانی که سولفیدها در برابر اتمسفر یا آب‌های حاوی اکسیژن قرار گیرند، اکسید شدن آنها منجر به تولید آب‌های اسیدی مملو از سولفات عناصر سنگین و شبه فلزات می‌شود. پیریت معمولی‌ترین کانی سولفیدی موجود در نقاط معدنی است که هوازده‌گی آن، بزرگترین و بیشترین علت ایجاد مسائل و مشکلات زیست محیطی یعنی زهای اسیدی معدن است. شناخت واکنش‌های شیمیایی پیچیده در داخل باطله‌های سولفیدی، به عنوان عوامل واکنشی تولید کننده AMD و تاثیرات ناشی از نفوذ آن، لازم و ضروری است (Lottermoser 2003).

دانش مربوط به تاثیرات زیست محیطی ناشی از معدنکاری برای علم جدید ناشناخته نیست. تئو فراستوس (۳۲۵ ق م Theophrastus)، فیلسوف یونانی اکسیداسیون پیریت، تشکیل نمکهای فلزی و تولید اسید را تشخیص داد و اگریکولا (Agricola 1556) در اروپای مرکزی پساب اسیدی معدن را در قرون وسطی به ثبت رساند. او همچنین تاثیرات زیست محیطی و آلودگیهای فراگیر ناشی از معدنکاری در اروپای مرکزی را متذکر شد.

در سال ۱۹۹۷ تحقیقی تحت عنوان مدیریت باطله‌های معادن سولفیدی و زهاب اسیدی توسط سازمان محیط زیست استرالیا ارائه شد، که بیان می‌دارد پساب‌های اسیدی در معادن وقتی تولید می‌گردند که کانی‌های سولفیدی در سطح زمین رخنمون داشته باشند. بنابراین نه تنها فعالیت‌های معدنی سبب ایجاد پساب اسیدی می‌گردند بلکه هر جا کانی‌های پیریت در سطح زمین رخنمون پیدا کنند، این اسید تولید می‌شود. در گذشته از چنین شواهدی به عنوان یک راهنمای مهم برای اکتشافات کنسارهای فلزی استفاده می‌شد (Environment Australia 1997).

بسیاری از باطله‌های معدنی، خصوصاً باطله‌های حاصل از معدنکاری فلزات صنعتی، حاوی مقادیر بالایی از فلزات و یا شبه فلزات هستند. یادآوری می‌شود که فلزات عناصری هستند که خواص فیزیکی و شیمیایی مشخصی دارند (عناصری با قابلیت از دست دادن الکترون و توانایی هدایت گرما و الکتریسیته، شکل پذیری، چکش خواری). در مقابل، شبه فلزات یا نیمه فلزات عناصری هستند با خواص فلزی و غیر فلزی مانند آرسنیک، آنتیموان، بیسموت، سلنیوم و تلوریوم (عناصری با قابلیت بدست آوردن یک یا چند الکترون، هدایت کمتر گرما و الکتریسیته نسبت به فلزات). فلزات سنگین فلزاتی هستند با چگالی بیشتر از ۵ و مجموعاً شامل ۳۸ عنصر می‌باشند، در مناطق معدنی ممکن است همه این عناصر یافت نشوند. برخی از این عناصر که حضور آنها موجب نگرانی است عبارتند از: مس، روی، سرب، کادمیوم، جیوه. برخی از فلزات حتی در غلظت کم اگر به طور منظم استفاده شوند کشنده هستند. فلزات سنگین برای آبزیان سمی بوده و زندگی آنها را به خطر می‌اندازد (Stiefel and Busch 1983). فلزات پایه، فلزاتی نظیر مس، سرب، روی، قلع است که در صنعت بیشتر به صورت خالص و نه به شکل آلیاژ با دیگر فلزات مورد استفاده قرار می‌گیرند. در

بیشتر ذخایر فلزی، فلزات به صورت اکسید و سولفید با دیگر عناصر در ترکیب شیمیایی کانه‌ها یافت می‌شوند (Lottermoser 2003).

بیشترین نرخ اکسیدشدن پیریت در pH بین ۲/۴ تا ۳/۶ رخ می‌دهد. در pH پایین، آهن سه ظرفیتی به عنوان عامل اکسیدکننده عمل می‌کند ولی در pH بزرگتر از ۳/۵ به صورت هیدروکسید آهن ته نشین می‌گردد. مطالعات نشان داده‌اند که در pH کمتر از ۴، کانی‌های ثانویه ممکن است ژاروسیت تولید نمایند. این کانی نقش اساسی برای نگه داشتن اسیدیته سیستم به مدت طولانی حتی بعد از آنکه پیریت و یا سایر کانی‌های سولفیدی مصرف شدند، بازی می‌کند. عوامل دیگری از قبیل نوع مواد، توپوگرافی محل معدن و شرایط آب و هوایی به خصوص بارندگی و درجه حرارت، بر نرخ اکسید شدن پیریت و تولید اسید موثر هستند. این عوامل حتی روی حمل و نقل محصولات اکسیداسیون پیریت به سوی آب‌های سطحی و زیر زمینی نقش دارند (Doulati Ardejani 2003). بر اساس تعریف فرهنگ لغت زمین‌شناسی، آب‌های اسیدی در محدوده pH بین ۲ تا ۴/۵، که از اکسایش کانی‌های سولفیدی و در مناطق معدنی تولید می‌شوند، زهاب اسیدی معدن نام دارند (دوراندیش ۱۳۸۱). از مشخصات آب‌های سطحی با خاصیت اسیدی، غلظت بالای سولفات و آهن، pH پایین و غلظت بالایی از فلزات با توجه به زمین‌شناسی سنگ میزبان است (Gray ۱۹۹۵). زهاب اسیدی معدن با اکسایش و آبدار شدن سولفیدهای فلزی به ویژه پیریت در لایه‌های نفوذپذیر و یا در باطله‌های انباشت شده بر روی سطح زمین موجب تشکیل انواعی از سولفات‌های آهن آبدار، ایجاد خاصیت اسیدی و به دنبال آن شستشوی فلزات می‌شود (Nordstorm 1982). به طور کلی خطرناکترین تاثیر پساب اسیدی معدن بر آبریان پایین‌بودن میزان pH آن است بیشتر آبریان 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 آبریان می‌گردد. در pH کم یونهای هیدروژن درون سلول قرار می‌گیرند و یونهای سدیم به خارج سلول رانده می‌شوند که باعث مرگ موجودات آبری می‌شود. از طرفی غلظت بالای یونهای فلزی موجود در پساب اسیدی معدن نیز برای آبریان خطرناک است چون این یونها می‌توانند به صورت سم متابولیک اثر نمایند

(www.ngdir.ir). هنگامی که آب‌های سطحی حاوی پساب اسیدی معدن 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 تاثیر قرار می‌دهد غلظت بالای یونهای فلزی و pH پایین باعث تشدید 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 سولفات های فلزی را بوجود می‌آورند (Sams and Kevin 2000).

علاوه بر مطالب ذکر شده، افزایش خاصیت اسیدی به وسیله پساب اسیدی معدن سبب تسریع خوردگی تجهیزات صنعتی که با آب سر و کار 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 پساب اسیدی معدن خوردگی شیمیایی است که این خوردگی زمانی آغاز می‌شود که اجزای خاص 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. پساب اسیدی معدن صدمات جبران ناپذیری به سازه‌های بتنی وارد می‌کند به این ترتیب که به علت خاصیت اسیدی، پساب اسیدی با مواد قلیایی موجود در سطح بتن واکنش داده و از استحکام آن می‌کاهد. همچنین حضور سولفات در پساب اسیدی باعث تخریب بتن می‌شود واکنش شیمیایی سولفات با بتن تشکیل سولفو آلومینات 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 (قادری ۱۳۸۳).

۲-۵- مروری بر کارهای انجام شده در مدل سازی ریاضی آلودگی های پساب

اسیدی

همانطور که قبلاً اشاره گردید، مهمترین دلیل آلودگی ناشی از پساب های اسیدی، اکسیداسیون پیریت و حمل و نقل آلاینده های ناشی از آنها به محیط اطراف دمپ های ذخیره باطله های حاوی پیریت می باشد. استفاده از شبیه سازی و مدل سازی های ریاضی مکانیزم های مؤثر در اکسیداسیون پیریت و تولید آلودگی می تواند اطلاعات مطلوبی در راستای طراحی راهکارهای مؤثر در مقابله با آلودگی را فراهم نماید. تلاش های زیادی در ارائه مدل مناسب برای اکسیداسیون پیریت و کانی های سولفیدی دیگر توسط روگونسکی و همکاران صورت گرفته است (Rogowski et. al, 1977). در این مدل ها اکسیداسیون پیریت و لیچینگ اسید در دمپ های باطله مورد بررسی قرار گرفته است. از نقایص این مدل ها می توان به این نکته اشاره کرد که به فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی حمل آلاینده های ناشی از اکسیداسیون پیریت کمتر پرداخته شده است. بعلاوه اینکه این مدل ها تنها در ارتباط با بکفیل های معادن روباز نواری می باشند. باید توجه کرد که کارهای بسیار کمی به منظور کنترل مکانیزم های نرخ اکسیداسیون پیریت و نشت فرآورده های واکنشی حاصل از معادن زغال انجام شده است. کاتلس و آپس در سال ۱۹۷۵ مدل یک بعدی از فرآیندهای اکسیداسیون و لیچینگ را با در نظر گرفتن دما، توازن اکسیژن و انتقال هوا ارائه نمودند (Cathles and Apps 1975). این مدل از پدیده همرفت هوا به عنوان مهمترین مکانیزم حمل و نقل اکسیژن در اکسید کردن آهن دو ظرفیتی در حضور باکتری های اکسید کننده تیوباسیلوس فرو اکسیدان در دمپ ها تبعیت می کند. جینز در سال ۱۹۸۳ مدلی برای اکسیداسیون پیریت و لیچینگ بعدی فرآورده های اکسیداسیون آن در معادن زغال روباز نواری ارائه نموده است (Jaynes 1983). در این مدل عامل های اکسیدکننده اکسیژن و آهن سه ظرفیتی می باشند. مدل با این فرض ارائه گشته است که اکسیداسیون پیریت توسط میزان نفوذ^۱ (پخش) عامل اکسیدکننده در ذرات واکنشی کنترل می گردد. یون

^۱ - Diffusion

فریک (آهن سه ظرفیتی فریک) نیز با فرض اینکه حاصل از اکسیداسیون شیمیایی و فعالیت باکتریها بر روی یون آهن دو ظرفیتی می‌باشد، در مدل وارد شده است. دیویس و ریچی در سال ۱۹۸۶ مدل یک بعدی اکسیداسیون پیریت در دمپ‌های سنگ باطله درشت دانه آمس را با در نظر گرفتن نفوذ اکسیژن ارائه نموده‌اند. مدل ارائه شده از دو بخش اصلی تشکیل شده است (Davis and Ritchie 1986):

۱- نفوذ اکسیژن در فضاهای خالی دمپ

۲- مدل مغزه منقبض شده^۳ برای توصیف نفوذ اکسیژن در ذرات حاوی پیریت جدا که در آن زون اکسید شده به صورت پوشش اطراف مغزه ذرات واکنش نداده، قرار گرفته اند.

در سالهای اخیر استفاده از نرم‌افزارهای دینامیک سیالات محاسباتی^۴ (CFD)، تبدیل به ابزار مهمی در مطالعات زیست محیطی ناشی از فعالیت‌های معدنی شده است. اخیراً با استفاده از نرم افزار تجاری PHOENICS که در زمره نرم‌افزارهای CFD مهم می‌باشد، پیش‌بینی فرآیندهای اکسیداسیون و تولید آلودگی معادن امکانپذیر شده است و حساسیت تعدادی از پارامترهای اصلی بر روی میزان آلودگی مورد آنالیز قرار گرفته‌اند (Doulati and Singh 2004). در ایران روش‌های مدل‌سازی ریاضی جهت تشریح فرآیندهای اکسیداسیون پیریت و گسترش آلودگی‌ها در ارتباط با معادن سولفیدی چندان مورد توجه قرار نگرفته است و در این پایان‌نامه سعی شده است تا با استفاده از نرم افزار PHOENICS مدل اکسایش پیریت و تولید آلودگی در اطراف هیپ شماره ۳ معدن مس سرچشمه مورد بررسی قرار گیرد.

۳-۱- مقدمه

در این فصل 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 (رودخانه شور و محلول نشتی هیپ) و اندازه‌گیری آنیون‌ها و کاتیون‌های محلول در آنها به ویژه

^۲- Waste Rock

^۳- Shrinking Core

^۴- Computational Fluid Dynamic

تعیین غلظت برخی فلزات سنگین، وضعیت کیفی آبها مورد مطالعه قرار می گیرد تا در نهایت بتوان پتانسیل تولید پساب اسیدی در منطقه را مورد بررسی قرار داد.

به منظور بررسی مسائل زیست محیطی در ارتباط با هیپ شماره ۳ نمونه برداری در محل انباشت باطله ها در سه محل روی دمپ باطله در نزدیکی هیپ صورت گرفته است. به منظور تعیین میزان پیریت موجود در باطله ها، ابتدا واکنشهای اکسیداسیون پیریت موجود در باطله های سولفیدی مس به اختصار توضیح داده خواهد شد. سپس به منظور تعیین میزان پیریت موجود در باطله ها، نمونه برداری عمقی از محل دمپ باطله انجام گرفت و پس از انجام مراحل آماده سازی نمونه ها از روش شیمیایی (جذب اتمی) استفاده خواهد شد. این روش بر اساس جدایش گوگرد فاز پیریتی از گوگرد با منشاهای دیگر استوار است. با اندازه گیری میزان آهن موجود در محلول به روش جذب اتمی می توان میزان پیریت را محاسبه نمود. نتایج حاکی از اکسیداسیون پیریت تا عمق تقریباً ۳ متری در دمپ باطله می باشد. پس از این عمق به دلیل عدم وجود اکسیژن کافی فرآیند اکسیداسیون پیریت متوقف می گردد.

۲-۳ نمونه برداری

انتخاب نمونه ها و انجام عملیات نمونه برداری نقش مهمی در آزمایشها و تفسیر نتایج بازی می کند. نمونه ها بر اساس حجم سنگها و مشخصات آنها و با توجه به قسمت های قابل معدنکاری و زمین شناسی محل معدن، انتخاب می گردد. نمونه برداری در محل انباشت باطله ها در سه محل روی دمپ باطله صورت گرفته است. انجام نمونه برداری، به صورت دستی و به گونه ای صورت گرفت که نمونه ها به صورت معرف باشند. نمونه های برداشت شده هر کدام دارای وزنی به میزان حداقل یک کیلوگرم بودند و در هر نقطه، نمونه های برداشت شده مربوط به عمق های متفاوت از یکدیگر بودند. به منظور جلوگیری از اختلاط نمونه ها، نمونه های برداشت شده داخل کیسه های در بسته قرار گرفتند.

۳-۳-۳ آماده سازی نمونه ها

به منظور آماده‌سازی نمونه‌ها و آنالیز آنها، نمونه‌های گرفته شده از منطقه به آزمایشگاه مرکزی مجتمع مس سرچشمه منتقل گردیدند. مراحل آماده‌سازی نمونه‌ها در شکل ۳-۱ آورده شده است.

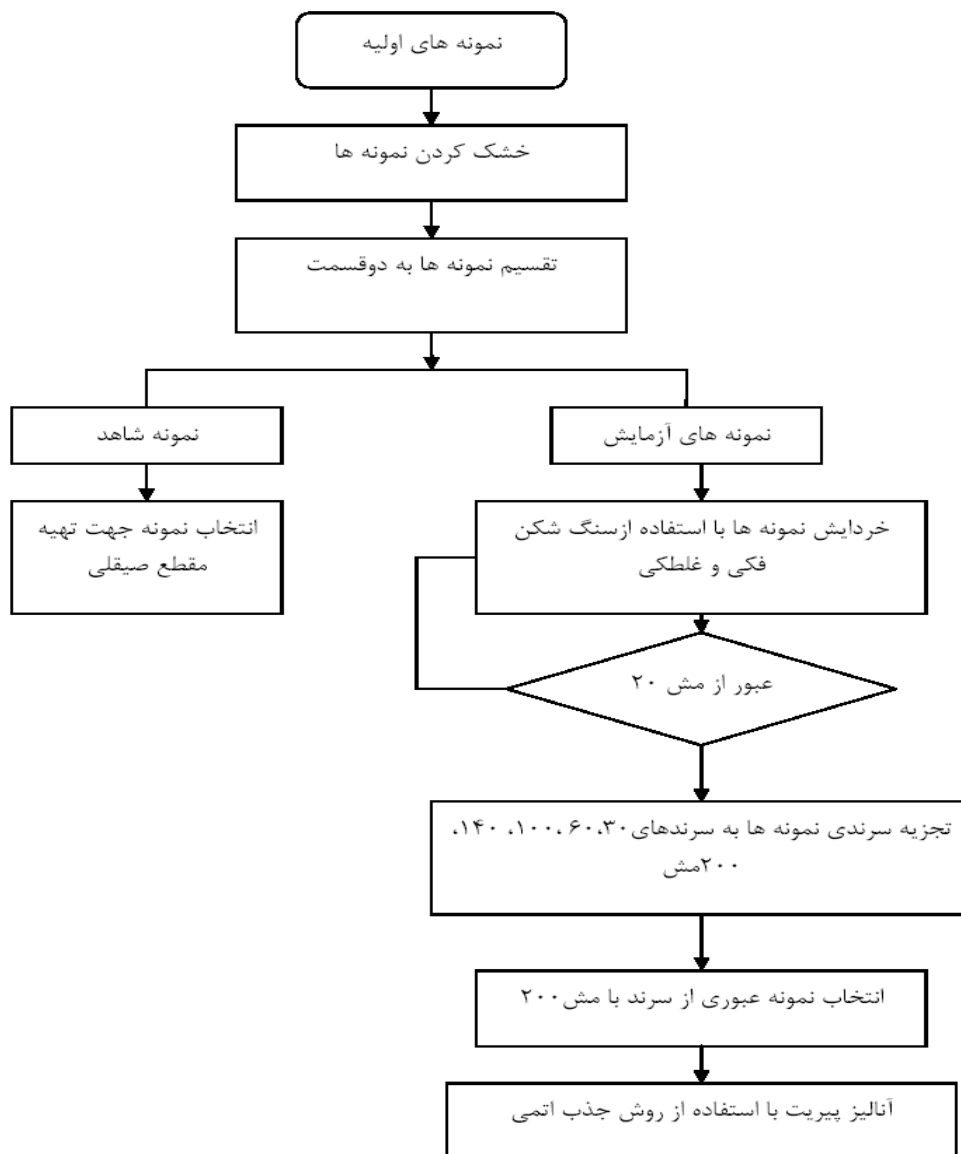
۳-۴- تعیین میزان پیریت

برای محاسبه مقدار پیریت و بررسی کمی و کیفی میزان تغییرات آن در اعماق مختلف از دو روش زیر در آزمایشگاه مرکزی مجتمع مس سرچشمه استفاده شد.

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

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

برای محاسبه میزان پیریت و بررسی کمی میزان تغییرات آن در اعماق مختلف از روش آنالیز شیمیایی به کمک روش جذب اتمی استفاده می‌شود. آنچه که از اهمیت زیادی برخوردار است میزان پیریت موجود در باطله‌ها می‌باشد. این کار بر اساس جدایش گوگرد فاز پیریتی از گوگرد با منشاهای دیگر استوار است یا به عبارت دیگر سولفات‌ها بر خلاف پیریت در اسید کلریدریک رقیق حل می‌شوند و با استفاده از اسید نیتریک رقیق می‌توان پیریت را به صورت محلول از باطله خارج نمود. با اندازه‌گیری میزان آهن موجود در محلول به روش جذب اتمی می‌توان میزان پیریت را محاسبه نمود.



شکل ۳-۱- فلوچارت مراحل آماده سازی نمونه ها و آنالیز پیریت موجود در آنها (Doulati 2003)

۳-۵- نحوه انجام آنالیز

الف- انتخاب نمونه

ب- آماده سازی محلولها و اندازه گیری میزان آهن با استفاده از دستگاه جذب اتمی

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

۳-۵-۱- انتخاب نمونه

همانطور که قبلاً اشاره شد، در انتخاب نمونه‌ها روش کار به این صورت است که نمونه‌های معرف به میزان ۰/۲ گرم از نمونه عبوری سرند ۲۰۰ مش (زیر ۷۵ میکرون) از نمونه‌های آماده‌سازی شده، انتخاب می‌گردد. باید توجه کرد که این نمونه‌ها شامل تمامی نمونه‌های آماده‌سازی شده مربوط به اعماق مختلف است که در مراحل قبل از نقاط ۱، ۲ و ۳ اخذ گردیده‌اند.

۳-۵-۲- آماده‌سازی محلولها

آماده‌سازی محلولها در آزمایشگاه مرکزی مجتمع مس سرچشمه انجام گرفت. سپس با انجام تعدادی آزمایش بر روی هر یک از نمونه‌های معرف ۰/۲ گرمی در مرحله قبل در محلولی که شامل ۱۰ میلی‌لیتر اسید کلریدریک غلیظ و ۱۵ میلی‌لیتر آب مقطر است ریخته، تا زمان رسیدن به حجم ۵۰ میلی‌لیتر مخلوط حاصل حرارت داده شد. این کار به این خاطر صورت می‌گیرد که تمام نمونه در اسید کلریدریک حل شده باشد. سپس رسوبات حل نشده با استفاده از کاغذ صافی جدا شده و آنها را با ۲۰ میلی‌لیتر آب شستشو می‌دهند. سپس رسوب حاصل در محلولی که از ۷ میلی‌لیتر اسید نیتریک غلیظ و ۵۰ میلی‌لیتر آب می‌باشد قرار داده می‌شود. مخلوط حاصل را به کمک شعله چراغ به مدت ۵۰ دقیقه حرارت داده تا اطمینان حاصل گردد که تمامی پیریت موجود در باطله‌ها حل شده باشد. ناخالصی‌های حل نشده بر روی کاغذ صافی با استفاده از قیف شیشه‌ای جدا می‌گردد. محلول موجود در زیر کاغذ صافی که حاوی آهن می‌باشد را در بالن ژوژه به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر می‌رسانند تا با استفاده از دستگاه جذب اتمی مقدار آهن اندازه‌گیری شود. در انتها نیز میزان جذب محلولهای آماده شده نمونه‌ها آماده می‌شود و با استفاده از نمودار خطی، غلظت آهن آنها تعیین می‌گردد و با توجه به نتایج مربوط به آنالیز مقدار آهن نمونه‌های تهیه شده در نقاط ۱ تا ۳ میزان پیریت موجود در نمونه‌ها براساس مطالعه کمی میکروسکوپی نمونه‌ها محاسبه می‌گردد. با نتایج حاصل از روند اکسیداسیون پیریت با استفاده از آنالیز

شیمیایی نمونه‌ها به روش جذب اتمی در عمق دمپ باطله که درصد پیریت باقیمانده را مشخص می‌کند، و با بررسی نفوذ اکسیژن در دمپ باطله که برای این منظور بایستی میزان نفوذ اکسیژن در نمونه‌ها مورد آنالیز قرار گیرد و با توجه به میزان ضریب دیفیوژن و استفاده از نرم‌افزارهایی همانند PHONIECS بایستی به روند نفوذ آن به دقت در دمپ باطله توجه کرد.

۳-۶- نمونه‌برداری از آب

اجزا محلول در آب‌های معدن و ترکیب آنها بسیار متفاوت است، لذا نیاز به شناسایی عناصر و ترکیبات مختلف در آب‌های نقاط معدنی محدوده هیپ شماره ۳ است. کاتیون‌های اصلی و آنیون‌های اصلی از اجزا مهم آب‌های موجود در معدن هستند. بسیاری از پارامترهای آب معدن (مانند pH، EH، اکسیژن محلول، دما، هدایت الکتریکی) در سر زمین قابل اندازه‌گیری هستند و با توجه به اینکه این پارامترها در طی زمان نمونه‌برداری به سرعت قابل تغییر هستند، بایستی در محل اندازه‌گیری و ثبت شوند. نمونه‌برداری، مهمترین و حساسترین مرحله از مراحل انجام یک کار تحقیقاتی زیست محیطی است و برای رسیدن به نتایج قابل قبول، نیاز به انجام دقیق و صحیح این مرحله می‌باشد.

نمونه‌برداری از آب، نیاز به آگاهی کامل از اصول نمونه‌برداری، آماده‌سازی و نگهداری آب دارد تا بتوان از نتایج حاصل از آنالیز داده‌ها در تفسیر تغییرات محیط استفاده کرد. بدین منظور با رعایت اصول و نکات نمونه‌برداری سعی در نمونه‌برداری دقیق از آبها صورت گرفت. نمونه‌های آب و محلول گرفته شده از اطراف هیپ شماره ۳ معدن مس سرچشمه که تعداد آن‌ها ۳۴ تا بود، جهت آنالیز به آزمایشگاه مرکزی مجتمع مس سرچشمه فرستاده شد.

۳-۶-۱- وسایل نمونه‌برداری

ظروف نمونه‌برداری از نوع ظروف پلاستیک پلی‌اتیلنی با حجم ۱۰۰۰-۵۰۰ میلی‌لیتر تهیه شد. با توجه به اهمیت آلوده‌نبودن ظروف، هر نمونه در بطری نو جمع‌آوری گردید. (اگر ناچار به استفاده از

بطری‌هایی هستیم که قبلاً به هر منظوری استفاده شده‌اند، بایستی قبل از استفاده با یک اسید قوی شسته شوند).

۳-۶-۲- در نحوه نمونه‌برداری موارد زیر رعایت شده‌اند.

۱- استفاده از دستکش‌های یکبار مصرف

۲- شستن ظروف نمونه‌برداری و درب آن حداقل سه بار در آب آبراهه

۳- پر کردن دو گروه ظرف از آب تا زمانیکه تمامی حباب‌های هوا خارج شوند و بستن درب آن در زیر آب

۴- اضافه کردن حدود ۱۰ میلی لیتر اسید نیتریک به نمونه‌ها برای تثبیت عناصر کمیاب

۵- شماره‌گذاری و مشخص نمودن نمونه بر اساس کیفیت نمونه و محل نمونه‌برداری

۶- نگهداری بطری‌ها در سایه و جای خنک تا رساندن به آزمایشگاه

۷- نمونه‌برداری از نقاط مختلف آبراهه‌ها، رودخانه‌ها و محلول در محل هیپ به گونه‌ای انجام شد که مواد خارجی وارد ظروف نمونه‌برداری نشود. در هر مرحله نمونه‌برداری یک سری از هر نمونه با اسید نیتریک ۱٪ درصد اسیدی شده و برای آنالیز کاتیون‌ها به آزمایشگاه مرکزی و سری دیگر بدون اسیدی شدن به منظور آنالیز آنیونی به آزمایشگاه آب مس سرچشمه انتقال یافت.

۳-۶-۳- ثبت پارامترهای صحرائی

در هر مرحله از نمونه‌برداری موقعیت نقاط نمونه‌برداری توسط دستگاه GPS ثبت شد. پارامترهای هدایت الکتریکی (EC)، اسیدیته آب (pH) و کل املاح محلول (TDS) نیز بلافاصله بعد از نمونه‌برداری توسط دستگاه اندازه‌گیری و ثبت شد. وضعیت نمونه‌برداری در منطقه مورد مطالعه و جزئیات مربوطه در جدول ۳-۱ به طور مختصر ارائه شده است.

جدول ۳-۱- وضعیت و جزئیات نمونه برداری آب

نوع نمونه ها	نمونه های آب و خاک
محل نمونه برداری	محلولهای ناشی اطراف هیپ، سرریز لیچینگ، آب رودخانه شور، چشمه و نمونه های مربوط به دمپ باطله
روش	نمونه برداری دستی با استفاده از ظروف پلی اتیلن نیم لتری ظروف پلاستیکی
زمان	از آذر ۱۳۸۵ تا خرداد ۱۳۸۶ با فاصله زمانی
ثبت موقعیت مکانی	با استفاده از GPS
دقت سنجش	همه یونها با دقت ppm
دستگاههای مورد استفاده	دستگاه جذب اتمی شعله ای و کوره گرافیکی، XRD و XRF برای نمونه های خاک
روشهای سنجش	فلزات سنگین با جذب اتمی شعله ای، آنیون ها با تیتراسیون، عناصر کمیاب با جذب اتمی کوره گرافیکی

۳-۷- مطالعات هیدرولوژی

جهت مطالعه هیدرولوژی هیپ ۳ نیاز به آمار و اطلاعات هواشناسی منطقه می باشد. بدین منظور وضعیت ایستگاههای هواشناسی که در محدوده اطراف ساخت هیپ ۳ پراکنده بودند مورد بررسی قرار گرفتند. ایستگاه معدن مس سرچشمه تقریباً در کنار محدوده ساخت قرار می گیرد. بنابراین آمار مربوط به این ایستگاه بیانگر خصوصیات کلی ماتولوژی محدوده ساخت هیپ می باشد. بنابراین از این آمار جهت بررسی خصوصیات هیدرولوژی محدوده ساخت هیپ استفاده شد.

خصوصیات هیدرولوژی یک حوضه بستگی به رفتار مواد تشکیل دهنده آن در مقابل عوامل جوی و سیالات ورودی به آن دارد. یکی از سیالات درگیر در سازه های فروشوئی رافینیت (اسید بدون بار) می باشد. جهت بررسی رفتار مواد تشکیل دهنده هیپ ۳ در مقابل سیالات ورودی (بارندگی و رافینیت) تعدادی آزمایش تعیین نفوذ سطح انجام شد. شدت نفوذ سطح با استفاده از ۸ آزمایش در مکان ها و شرایط مختلف مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش های انجام شده نشان می دهند که در مناطق اسیدپاشی شده شدت نفوذ نسبت به مناطق اسیدپاشی نشده بیشتر می باشد. آزمایشات نفوذ سطحی به روش رینگ دوتائی صورت

گرفت. رینگهای مورد نیاز جهت آزمایش از شرکت علوم مهندسی سپهر کرمان خریداری شد. نتایج آزمایش‌ها نشانگر انتقال رس به بخش‌های عمقی بود. لذا جهت روشن شدن این موضوع، بر روی نمونه‌های بدست آمده از یک چاه اکتشافی در هیپ ۱ آنالیز دانه‌بندی صورت گرفت.

۴-۱- مقدمه

مطالعات هیدرولوژی هیپ ۳ شامل دو بخش می باشد. در بخش اول رفتار مواد تشکیل دهنده هیپ در مقابل رافینیت مورد بررسی قرار می گیرد. در بخش دوم خصوصیات کلیماتولوژی محدوده ساخت هیپ بررسی می شوند.

۴-۲- رفتار مواد تشکیل دهنده هیپ در مقابل رافینیت

یکی از مسائل مهم از نظر هیدرولوژی، نوع خاک و چگونگی عکس‌العمل آن در برابر سیال می باشد. بعضی از خاک‌ها، سیال را به خوبی جذب کرده در خود نگه می دارند. اما در مقابل بعضی دیگر به خوبی نمی‌توانند آب را در خود ذخیره کنند. عملکرد خاک در برابر نوع سیال تغییر خواهد کرد. در اینجا عکس‌العمل مواد تشکیل دهنده هیپ در برابر اسیدپاشی (رافینیت) مورد بررسی قرار گرفته است. یکی از فاکتورهای مهم که میزان سیلابی‌بودن یک حوضه را معین می کند، میزان نفوذ و شدت آن طی زمان می باشد. جهت مشخص شدن میزان نفوذ و همچنین تغییرات آن طی زمان، تعدادی آزمایش نفوذ در محدوده اجرای هیپ ۳ انجام شد. همچنین جهت مشخص کردن تاثیر رافینیت بر روی میزان نفوذ، این آزمایش‌ها تحت شرایط مختلف اسیدپاشی انجام شده‌اند. ممکن است در اثر حرکت رو به پائین سیال، ذرات ریز به اعماق حمل شده، در آنجا رسوب نمایند. این موضوع می‌تواند مشکلات زیادی بوجود آورد. جهت بررسی این موضوع، از یکی از چاه‌های اکتشافی حفر شده در هیپ ۱ نمونه‌برداری بعمل آمد. بر روی نمونه‌های برداشت شده آنالیز دانه‌بندی صورت گرفت. در زیر نتایج مربوطه آورده شده است.

۴-۲-۱- اندازه‌گیری میزان نفوذ سطحی در هیپ

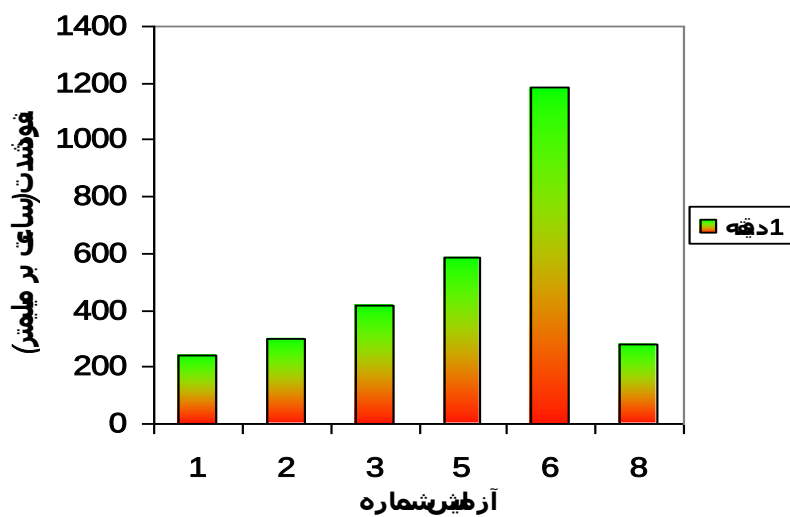
جهت تعیین میزان نفوذ و همچنین تاثیر رافینیت بر روی میزان نفوذ، ۸ آزمایش در محدوده مورد مطالعه انجام گرفت. بطوری که زمان اسیدپاشی در محدوده‌ای که این ۸ آزمایش انجام شده است با یکدیگر فرق می‌کنند. در آزمایشات ۱ تا ۳ محدوده هنوز اسیدپاشی نشده است. در آزمایشات ۵، ۶ و ۸ به ترتیب زمان اسیدپاشی برابر است با ۶ روز، ۲۸ روز و بیش از ۳ ماه در یکی از آزمایش‌ها به جای آب از رافینیت استفاده گردید. در حین انجام آزمایش سیال مورد استفاده به صورت کانالیزه از داخل رینگ مورد آزمایش خارج گردید. یکی از آزمایش‌ها نیز به دلیل خطای اندازه‌گیری قابل بررسی نبود.

با استفاده از نتایج بدست آمده، شدت نفوذ در ۶ آزمایش انجام شده، در زمانهای مختلف محاسبه گردید. جدول شماره ۴-۱ شدت نفوذ را در زمان‌های مختلف در ۶ آزمایش مورد نظر نشان می‌دهد.

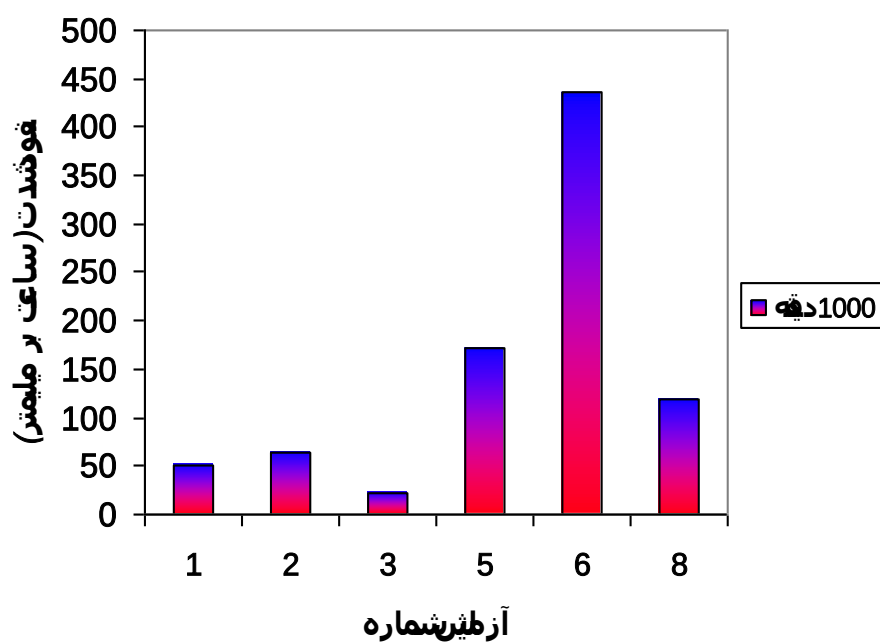
جدول ۴-۱- شدت نفوذ در زمان‌های مختلف در آزمایش‌های انجام شده

زمان (دقیقه)	1	60	120	300	480	1000	شماره آزمایش
شدت نفوذ (میلیمتر بر ساعت)	238	95	81	66	60	50	1
	298	118	101	82	74	63	2
	419	71	52	35	29	21	3
	586	284	251	213	195	172	5
	1186	656	593	520	486	437	6
	283	169	155	139	131	120	8

در اشکال شماره 1-4 و 2-4 شدت نفوذ در زمانهای 1 دقیقه و 1000 دقیقه در آزمایش‌های مختلف آورده شده است.



شکل ۴-۱- شدت نفوذ ۱ دقیقه پس از شروع آزمایش



شکل ۴-۲- شدت نفوذ پس از 1000 دقیقه

همان‌طور که از اشکال شماره ۴-۱ و ۴-۲ پیداست شدت نفوذ در هر دو زمان در آزمایشات شماره‌های ۱ تا ۳ کمتر از آزمایش‌های ۵، ۶ و ۸ می‌باشد. شرایط محدوده مورد آزمایش در سه آزمایش اول شبیه به هم بوده و در آنجا اسیدپاشی صورت نگرفته است. اما در محدوده‌ای که آزمایشات ۵، ۶ و ۸ انجام شده است اسیدپاشی صورت گرفته است. این بدین معناست که در اثر اسیدپاشی میزان نفوذ و نتیجتاً شدت نفوذ سطحی افزایش می‌یابد. اما در آزمایش‌های ۵، ۶ و ۸ با وجود اینکه در آزمایش ۸ زمان اسیدپاشی بیشتر می‌باشد، شدت نفوذ پائین‌تر است. احتمالاً دلیل کاهش شدت نفوذ در آزمایش ۸ تراکم ثانویه خاک باشد. بدین معنا که در ابتداء بدلیل انحلال مواد و خارج شدن مواد دانه ریز از محدوده، شدت نفوذ افزایش می‌یابد. (مانند آزمایش ۵ و ۶ که در آزمایش شماره ۶ بدلیل زمان بیشتر اسیدپاشی شدت نفوذ افزایش یافته است) اما در ادامه بدلیل ضعیف‌شدن استحکام خاک، ساختمان خاک در هم شکسته در نتیجه میزان نفوذپذیری کاهش خواهد یافت. رطوبت اولیه نیز می‌تواند دلیل دیگر کاهش شدت نفوذپذیری در این آزمایش باشد.

۴-۲-۲- آنالیز دانه‌بندی

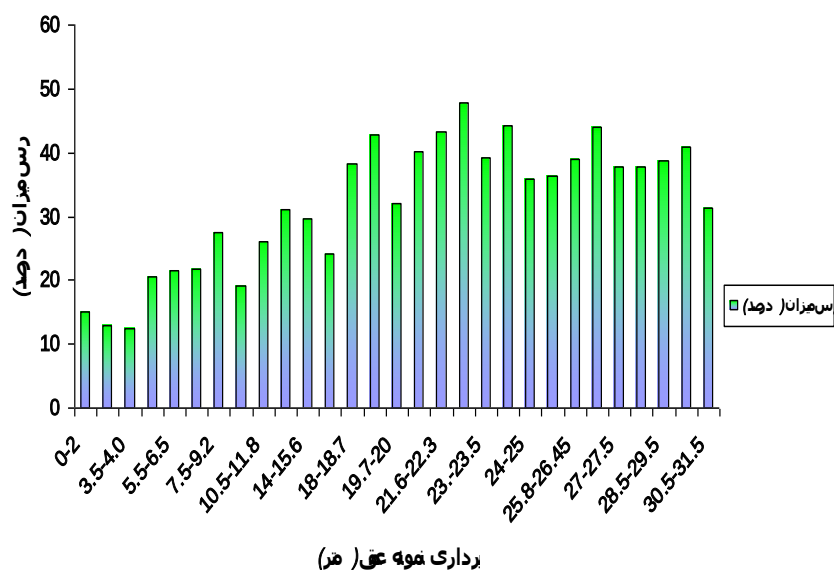
در هیپ شماره ۱ چند گمانه اکتشافی احداث گردیده است. آنالیز دانه‌بندی بر روی گمانه شماره ۴ صورت گرفته است. فواصل نمونه‌برداری تقریباً ۱ متر می‌باشد. متأسفانه درصد توزیع دانه‌های ریزتر از ۷۴ میکرون (دانه‌های در حد رس) مشخص نگردیده است. لذا تنها می‌توان درصد دانه‌های ریزتر از ۷۴ میکرون را معادل رس گرفته و بر اساس آن داده‌ها را مورد بررسی قرار داد. بر این اساس میزان رس در اعماق مختلف مشخص گردید. جدول ۴-۲ میزان رس در اعماق مختلف را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۲- میزان رس در اعماق مختلف

شماره	عمق نمونه برداری (متر)	میزان رس (درصد)
۱	۰-۲	۱۵/۱۷
۲	۲-۳/۵	۱۳/۰۲
۳	۳/۵-۴	۱۲/۲۳
۴	۴/۵-۵/۵	۲۰/۶۷
۵	۵/۵-۶/۵	۲۱/۵۱
۶	۶/۵-۷/۵	۲۱/۶۹
۷	۷/۵-۹/۲	۲۷/۴۵
۸	۹/۲-۱۰/۵	۱۹/۱۱
۹	۱۰/۵-۱۱/۸	۲۶/۰۸
۱۰	۱۱/۸-۱۲/۷	۳۱/۱۳
۱۱	۱۴-۱۵/۶	۲۹/۵۵
۱۲	۱۵/۶-۱۸	۲۴/۱۹
۱۳	۱۸-۱۸/۷	۳۸/۳۳
۱۴	۱۸/۷-۱۹/۷	۴۲/۶۸
۱۵	۱۹/۷-۲۰	۳۲/۱۱

۴۰/۱۹	۲۰/۸-۲۱/۶	۱۶
۴۳/۱۹	۲۱/۶-۲۲/۳	۱۷
۴۷/۸۹	۲۲/۳-۲۳	۱۸
۳۹/۱۳	۲۳-۲۳/۵	۱۹
۴۲/۲۲	۲۳/۵-۲۴	۲۰
۳۵/۸۱	۲۴-۲۵	۲۱
۳۶/۳۷	۲۵-۲۵/۸	۲۲
۳۸/۹۶	۲۵/۸-۲۶/۴۵	۲۳
۶۳/۹۹	۲۶/۴۵-۲۷	۲۴
۳۷/۷۶	۲۷-۲۷/۵	۲۵
۳۷/۶۶	۲۷/۵-۲۸/۵	۲۶
۳۸/۷	۲۸/۵-۲۹/۵	۲۷
۴۰/۹۶	۲۹/۵-۳۰/۵	۲۸
۳۱/۴	۳۰/۵-۳۱/۵	۲۹

شکل شماره ۳-۴ میزان رس در اعماق را مختلف نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۳-۴ مشخص است با افزایش عمق نمونه‌برداری درصد رس افزایش می‌یابد.



شکل ۳-۴- میزان رس در اعماق مختلف (محل نمونه‌برداری هیپ شماره ۱، مجتمع مس سرچشمه)

آزمایش‌های انجام شده جهت برآورد میزان نفوذ در محدوده ساخت هیپ ۱ نشان می‌دهند که استفاده از رافینیت می‌تواند باعث افزایش میزان نفوذ سطحی شود. افزایش میزان نفوذ سطحی می‌تواند به دلیل حمل مواد دانه‌ریز به اعماق پائین‌تر و همچنین انحلال کانیها و افزایش قطر فضاهای خالی در زمینه باشد. آنالیز دانه‌بندی در گمانه‌های اکتشافی شماره ۴ از هیپ ۱، حرکت مواد دانه‌ریز را به اعماق پایین‌تر تایید می‌کند. انتقال رس از بخش‌های سطحی به اعماق و افزایش میزان نفوذ در این بخش می‌تواند بطور جداگانه عملکرد هیپ را تحت تاثیر قرار دهد. انتقال مواد دانه‌ریز به اعماق می‌تواند باعث ایجاد یک لایه ناتراوا در بخش‌های عمقی شده، از جریان سیال به اعماق جلوگیری کند. این موضوع علاوه بر اینکه منجر به شستشوی ناقص مواد معدنی در بخش‌های جدا شده می‌شود، ممکن است قبل از اینکه سیال به لایر برسد از طریق مرز بین لیفتهای مختلف به بیرون راه پیدا کند. در نتیجه بخش‌هایی که جهت جمع‌آوری سیال در بستر هیپ کار گذاشته شده‌اند کارائی خود را از دست خواهند داد. علاوه برآن جاری شدن سیال از مرز بین لیفتهای مختلف می‌تواند باعث ایجاد فرسایش در بدنه هیپ شود. این پدیده در هیپ شماره ۳ قابل مشاهده می‌باشد. تصاویر ۴-۴ و ۵-۴ تاثیر این پدیده را در هیپ ۳ نشان می‌دهند.

یکی از مسائل مهم در عملکرد هیپ، ایجاد جریان‌ات ترجیحی می‌باشد. در اثر ایجاد این نوع از جریان‌ات، جریان سیال در بخشی از هیپ دچار مشکل خواهد شد. افزایش میزان ضریب هدایت هیدرولیکی در محل‌هایی که در آنجا پاشش رافینیت صورت می‌گیرد، می‌تواند باعث ایجاد جریان‌ات ترجیحی شود. از آنجایی که سیستم تحت اشباع بر هیپ حاکم است و زمانی که سرعت پاشش بالا باشد، جریان سیال در مناطق با ضریب نفوذپذیری بالاتر روانتر می‌باشد. اما اگر سرعت پاشش کاهش یابد، جریان سیال در مناطق با نفوذپذیری پائین‌تر بهتر صورت می‌گیرد. بنابراین پاشش باید در تمام سطح یکسان انجام شود تا از ایجاد مناطقی با ضریب هدایت هیدرولیکی متفاوت جلوگیری شود. همچنین سرعت پاشش باید طی زمان با توجه به تغییرات ضریب هدایت هیدرولیکی تنظیم شود. اثر این پدیده در هیپ شماره ۳ مشهود می‌باشد. تصاویر ۴-۶ و ۷-۴ تاثیر این پدیده را در هیپ شماره ۳ نشان می‌دهد.



شکل ۴-۴- خروج سیال از بخشهای میانی هیپ



شکل ۴-۵- فرسایش بدنه هیپ در اثر خروج سیال از بخشهای میانی آن



شکل ۴-۶- کانالیزه شدن سیال در هیپ شماره ۲



شکل ۴-۷- فرسایش پد در اثر پدیده کانالیزه شدن در هیپ

همان طور که ذکر گردید، یک آزمایش با استفاده از رافینیت انجام شده است. در این آزمایش سیال بدلیل کانالیزه شدن مسیر جریان، به طور ناگهانی از داخل رینگ به داخل زمین نفوذ کرد. بعد از این آزمایش سعی

شد در محل‌های دیگر با استفاده از رافینیت آزمایش نفوذ تکرار گردد. اما باز همین مشکل بوجود آمد. این بدین معناست که اگر شدت پاشش رافینیت بر روی سطح هیپ از یک مقدار معین بیشتر باشد، جریان سیال بستر خاکی را به شدت کانالیزه خواهد کرد.

در صورتی که شدت نفوذ بیشتر از شدت بارندگی باشد، احتمال تشکیل روان‌آب بر روی محدوده هیپ کاهش خواهد یافت. اما اگر شدت بارندگی بیشتر از شدت نفوذ باشد احتمال جاری‌شدن سیلاب بر روی محدوده هیپ وجود خواهد داشت. میزان نفوذ علاوه بر این که بر روی میزان روان‌آب بوجود آمده در سطح هیپ موثر می‌باشد، بر روی زمان تاخیر (زمانی که بعد از بارندگی، آب ناشی از بارندگی به پوندها می‌رسد) تاثیر می‌گذارد. البته زمان ماندگاری سیال در توده هیپ به میزان نفوذپذیری و شدت بارندگی بستگی دارد.

۴-۳- مطالعات کلیماتولوژی محدوده ساخت هیپ ۳

جهت مطالعه خصوصیات کلیماتولوژی محدوده ساخت هیپ ۳ از داده‌های مربوط به ایستگاه معدن مس سرچشمه استفاده شده است. این ایستگاه در نزدیکی محدوده ساخت هیپ ۳ واقع شده است. ارتفاع آن از سطح دریا ۲۵۲۹ متر بوده و دارای طول جغرافیائی ۵۵ درجه و ۵۲ دقیقه و عرض جغرافیائی ۲۹ درجه و ۵۷ دقیقه می‌باشد. آنالیزهای لازم بر روی داده‌های ۱۹ ساله این ایستگاه که از سال ۱۹۸۳ به بعد می‌باشد، انجام شده است. البته داده‌های مربوط به دما و تبخیر در بعضی از سال‌ها در دسترس نبوده و آنالیزها بر اساس داده‌های موجود انجام شده است. در زیر داده‌های مربوط به بارش، تبخیر، درجه حرارت و باد مورد بررسی قرار گرفته است.

۴-۳-۱- بارندگی

یکی از عواملی که عملکرد هیپ را تحت تاثیر قرار می‌دهد، میزان بارندگی در منطقه می‌باشد. در مناطق مرطوب باران اضافه باید از سیستم خارج شود. آب مازاد باید قبل از تخلیه تصفیه شود. هزینه تصفیه و همچنین تجهیزات مورد نیاز جهت تخلیه آب مازاد بالا می‌باشد. از طرف دیگر در صورتی که در این مناطق اندازه پوندها درست طراحی نشود احتمال سرریز کردن و ایجاد خسارات فراوان وجود دارد.

در مناطق خشک، جایی که میزان تبخیر بالا می‌باشد، احتمال خالی شدن پوندها وجود دارد. در این شرایط بایستی یک مخزن آب جهت جبران آب مورد نیاز در نظر گرفته شود.

جهت طراحی یک هیپ لازم است پارامترهای کلیماتولوژی منطقه به خوبی شناخته شده و براساس آن بیلان آبی مشخص شود. همچنین از بارندگی‌های اکسترمم با دوره بازگشت‌های مختلف جهت طراحی اندازه پوندها استفاده می‌شود. در ادامه این بخش آنالیزهای آماری مربوط به بارندگی آورده شده است.

بارندگی در این منطقه بصورت بارش برف و باران می‌باشد. میزان بارش برف به صورت آب معادل آورده شده است. جداول ۱ تا ۳ آمار مربوط به میزان بارندگی را در دوره ۱۹ ساله نشان می‌دهند. بر اساس آمار موجود حداکثر بارندگی در سال ۱۹۸۶ اتفاق افتاده است. میزان بارندگی در این سال ۷۷۱/۳ میلیمتر بوده که از این میزان ۴۵۰/۸ میلیمتر آن به صورت باران و بقیه آن به صورت برف باریده است. بر اساس داده های ۱۹ ساله متوسط بارندگی سالیانه در ایستگاه معدن مس سرچشمه ۳۸۰/۴۶ میلیمتر می‌باشد. علاوه بر اطلاعات ارائه شده در بالا، جهت طراحی هیپ نیاز به تعیین احتمال وقوع پدیده‌های مختلف با دوره بازگشت‌های مختلف می‌باشد. جهت مشخص کردن احتمال وقوع پدیده‌های مختلف، ابتدا باید تابع توزیع احتمال داده‌های آماری مشخص شود.

جهت مشخص کردن اینکه داده‌های یک ایستگاه تا چه حد به یک تابع توزیع احتمال نزدیک می‌باشند روش‌های مختلفی وجود دارد. یکی از روش‌های رایج، استفاده از حل گرافیکی می‌باشد. در این روش ابتدا داده‌ها بصورت نزولی ردیف می‌شوند. سپس ردیف هر کدام از داده‌ها مشخص می‌گردد. فراوانی هر کدام از داده‌های ردیف شده، براساس ردیفی که در آن قرار دارند محاسبه می‌گردد. جهت محاسبه فراوانی هر کدام از داده‌ها فرمول‌های مختلفی در دسترس می‌باشد. یکی از فرمول‌ها عبارت است از :

$$p = \frac{m}{n-1} \quad (۱-۴)$$

در این فرمول که به فرمول ویبل معروف می‌باشد، n برابر با سال‌های آماری بوده و m ردیف داده مورد نظر می‌باشد. سپس با توجه به مقادیر بدست آمده از فرمول ۱-۴ و بعضی از پارامترهای آماری مربوط به

داده‌های واقعی مثل میانگین و انحراف استاندارد، و با استفاده از توزیع‌های مختلف داده شبیه‌سازی می‌شوند. جهت شبیه‌سازی داده‌ها، چاو (Chow) فرمول زیر را ارائه نموده است.

$$(2-4) X_t = \bar{X} + KS$$

در اینجا :

X_t : یک پدیده با دوره بازگشت t

$\bar{X}$: میانگین داده‌های اندازه‌گیری شده

K : فاکتور فراوانی (که برای توزیع‌های مختلف فرق می‌کنند و براساس پارامترهای آماری و مقادیر بدست آمده از فرمول ۴-۱ محاسبه می‌شود)

s : انحراف از استاندارد

اگر مقادیر X در مقابل فاکتور فراوانی رسم شوند، می‌توان از بین آنها یک خط عبور داد. می‌توان داده‌های واقعی را نیز در مقابل فاکتور فراوانی رسم کرد. در صورتیکه انطباق بین داده‌های شبیه‌سازی شده و داده‌های اندازه‌گیری شده بالا باشد. داده‌های اندازه‌گیری شده نیز تشکیل یک خط داده و بر روی داده‌های شبیه‌سازی شده قرار می‌گیرند. داده‌های بارندگی ایستگاه معدن مس سرچشمه توسط توزیع‌های Normal, Log Normal و Pearson (type III) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصله بیانگر این مطلب است که تابع توزیع لاگ نرمال نسبت به توزیع‌های دیگر، داده‌های بارندگی سالیانه ایستگاه معدن را بهتر شبیه‌سازی می‌کند. در زیر محاسبات مربوط به روش گرافیکی توزیع Log Normal آورده شده است.

الف- توزیع لاگ نرمال

توزیع لاگ نرمال جهت توصیف هدایت هیدرولیکی محیط‌های متخلخل (Freeze 1975)، اندازه قطرات باران در یک طوفان و سایر پدیده‌های هیدرولوژی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

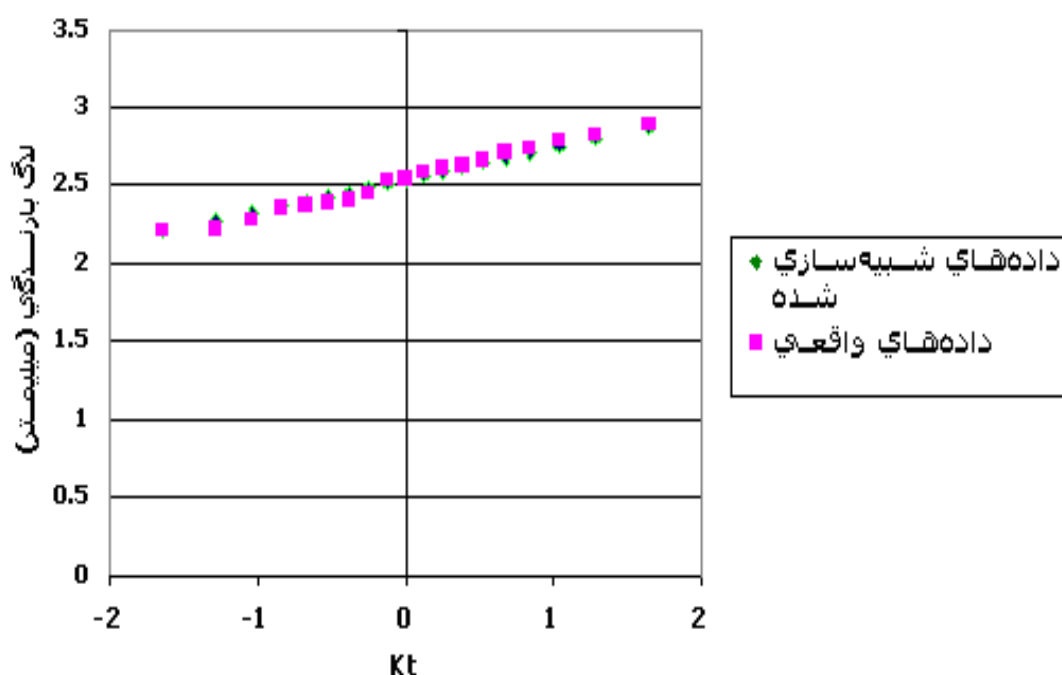
جهت مقایسه میزان انطباق بین این توزیع و داده‌های واقعی مانند قبل، از روش Ploting Position استفاده شده است. نتایج مربوطه در جدول ۳-۴ آورده شده است. میزان انطباق بین داده‌های واقعی و داده‌های شبیه‌سازی شده ۹۹ درصد می‌باشد.

جدول ۳-۴- محاسبات مربوط به انطباق داده‌های بارندگی سالیانه اندازه‌گیری شده با توزیع لاگ نرمال

X_t	$Log(X_t)$	$m/(n-1)$	X	$Logx$
۷۴۳/۳	۲/۸۷۱۱۹۱	۰/۰۵	۷۷۱/۳	۲/۸۸
۶۲۶/۷۴	۲/۷۹۷۰۸۹	۰/۱	۶۶۷/۴	۲/۸
۵۵۸/۵۷	۲/۷۴۷۰۸۱	۰/۱۵	۶۱۲/۸	۲/۷۸
۵۰۹/۷۲	۲/۷۰۷۳۳۲	۰/۲	۵۴۱/۶	۲/۷۳
۷۴۱/۲۳	۲/۶۷۳۲۳۱	۰/۲۵	۵۱۰/۲	۲/۷۰
۴۳۹/۱۵	۲/۶۴۲۶۱۳	۰/۳	۴۶۰/۳	۲/۶۶
۴۱۱/۳۹	۲/۶۱۴۲۵	۰/۳۵	۴۲۳/۵	۲/۶۲
۳۸۶/۶۸	۲/۵۸۷۳۵	۰/۴	۴۰۶	۲/۶۱
۳۶۴/۲۰	۲/۵۶۱۳۴۷	۰/۴۵	۳۷۹/۱	۲/۵۸
۳۴۳/۳۹	۲/۵۳۵۷۸۵	۰/۵	۳۴۸/۷	۲/۵۴
۳۲۳/۷۷	۲/۵۱۰۲۳۱	۰/۵۵	۳۴۴/۱	۲/۵۴
۳۰۴/۹۵	۲/۴۸۴۲۲۸	۰/۶	۲۸۳/۴	۲/۴۵
۲۸۶/۶۳	۲/۴۵۷۳۲۸	۰/۶۵	۲۵۵/۴	۲/۴۱
۲۶۸/۵۱	۲/۴۲۸۹۶۵	۰/۷	۲۴۴/۹	۲/۳۹

۲۵۰/۲۳	۲/۳۹۸۳۴۷	۰/۷۵	۲۳۶	۲/۳۷
۲۳۱/۳۴	۲/۳۶۴۲۴۶	۰/۸	۲۲۷/۵	۲/۳۶
۲۱۱/۱۰	۲/۳۲۴۴۹۷	۰/۸۵	۱۸۹	۲/۲۸
۱۸۸/۱۴	۲/۲۷۴۴۸۹	۰/۹	۱۶۴/۱	۲/۲۲
۱۵۸/۶۳	۲/۲۰۰۳۸۷	۰/۹۵	۱۶۳/۴	۲/۲۱

بعد از انجام محاسبات لازم، داده‌های واقعی در مقابل داده‌های شبیه‌سازی شده رسم می‌شوند. شکل ۴-۸ گراف مربوطه را نشان می‌دهد. همانطور که از شکل پیداست انطباق خوبی بین داده‌های واقعی و داده‌های شبیه‌سازی شده وجود دارد.



شکل ۴-۸- انطباق بین داده‌های واقعی و داده‌های شبیه‌سازی شده توسط توزیع لاگ نرمال

جدول ۴-۴ پدیده‌های مختلف را با دوره بازگشت‌های مختلف را نشان می‌دهد. بر اساس این جدول، بارندگی با دوره بازگشت ۱۰۰۰ ساله برابر با ۱۴۶۰ میلیمتر می‌باشد. همچنین بارندگی با دوره بازگشت ۱۰۰ ساله برابر با ۱۰۲۰ میلیمتر می‌باشد.

جدول ۴-۴- پدیده های بارندگی سالیانه با دوره بازگشت های مختلف با استفاده از توزیع لاگ نرمال

X_t	$LogX_t$	T	P
۳۴۳/۶۰	۲/۵۴	۲	۰/۵
۵۱۰/۰۲	۲/۷۱	۵	۰/۲
۶۲۷/۰۷	۲/۸۰	۱۰	۰/۱
۶۹۵/۱۵	۲/۸۴	۱۵	۰/۰۷
۷۴۳/۷۴	۲/۸۷	۲۰	۰/۰۵
۷۸۱/۶۸	۲/۸۹	۲۵	۰/۰۴
۸۹۹/۲۶	۲/۹۵	۵۰	۰/۰۲
۱۰۲۱/۸	۳/۰۱	۱۰۰	۰/۰۱
۱۰۹۵/۴	۳/۰۴	۱۵۰	۰/۰۰۷
۱۱۴۸/۵	۳/۰۶	۲۰۰	۰/۰۰۵
۱۱۹۰/۳	۳/۰۷	۲۵۰	۰/۰۰۴
۱۳۲۳/۴	۳/۱۲	۵۰۰	۰/۰۰۲
۱۴۶۱/۷	۳/۰۳	۱۰۰۰	۰/۰۰۱

در جدول ۴-۵ پیش‌بینی بارندگی سالیانه با دوره‌بازگشت‌های ۱۰۰ و ۱۰۰۰ ساله و درصد انطباق داده‌های اندازه‌گیری شده و داده‌های شبیه‌سازی شده در توزیع‌های مختلف آمده است.

جدول ۴-۵- پیش‌بینی بارندگی با دوره بازگشت‌های ۱۰۰ و ۱۰۰۰ ساله و درصد انطباق داده‌های اندازه‌گیری شده و

داده‌های شبیه‌سازی شده

نوع توزیع	نرمال	لاگ نرمال	پیرسون نوع سوم
درصد انطباق	۹۷	۹۹/۶	۹۹/۶
بارندگی ۱۰۰ ساله (میلیمتر)	۳۸۰	۱۰۲۰	۹۲۵
بارندگی ۱۰۰۰ ساله (میلیمتر)	۹۲۶	۱۴۶۰	۱۲۱۰

همانطور که در جدول ۴-۵ مشاهده می‌شود، علیرغم اینکه انطباق بین داده‌های ارائه شده توسط توزیع‌های لاگ نرمال و پیرسون نوع سوم با هم یکسان می‌باشد، پیش‌بینی‌های ارائه شده توسط این دو توزیع با همدیگر تا حدودی فرق می‌کند. اما پراکندگی داده‌های اندازه‌گیری شده نسبت به خطی که از داده‌های شبیه‌سازی شده عبور می‌کنند در توزیع لاگ نرمال نسبت به توزیع پیرسون کمتر است. این بدین معناست که توزیع لاگ نرمال نسبت به توزیع‌های دیگر، داده‌های بارندگی سالیانه ایستگاه معدن مس سرچشمه را بهتر شبیه‌سازی می‌کند. لذا پیشنهاد می‌گردد که جهت پیش‌بینی میزان بارندگی سالیانه در ایستگاه معدن مس سرچشمه از این توزیع استفاده شود.

با توجه به آمار بارندگی و معیار طراحی میزان متوسط حجم آب ناشی از بارندگی در سازه فروشویی برابر است با:

آب حاصل از بارندگی بر سطح پدها + آب حاصل از بارندگی بر سطح پوندها : آب حاصل از بارندگی

سطح پدها × متوسط بارندگی سالیانه : آب حاصل از بارندگی بر سطح پدها

سطح پدها در زمان ساخت و ساز دائماً تغییر خواهد کرد. اما از آنجائیکه تمامی آب حاصل از بارندگی که بر سطح سازه وارد می‌شود به داخل پوندها جریان می‌یابد. سطح سازه بعنوان سطح پدها در نظر گرفته می‌شود. بنابراین آب حاصل از بارندگی بر سطح سازه فروشویی شماره ۳ برابر است با:

$$(m^3/year) = 57000 (m^2) \times 150000 (m/year) \div 380 : \text{آب ناشی از بارندگی بر سطح سازه}$$

سطح پوندها براساس تمامی پارامترها و بهینه کردن شرایط انتخاب خواهد شد. سطح پوند محلول باردار در سازه شماره ۳ بیست و پنج هزار متر مربع در نظر گرفته شده است. بنابراین آب حاصل از بارندگی بر سطح پوندها برابر است با :

$$(m^3/year) = 9500 (m^2) \times 25000 (m/year) \div 380 : \text{آب حاصل از بارندگی بر سطح پوندها}$$

۴-۳-۲- باد

یکی از فاکتورهای لازم جهت برآورد میزان تبخیر از سیستم پاشش، سرعت باد می‌باشد. اطلاعات مربوط به سرعت و جهت حرکت باد در ایستگاه معدن با توجه به گزارشات قبلی مشخص گردیده است. براساس گزارش ارائه شده توسط شرکت مهندسین مشاور جویاب نو، جهت غالب وزش باد در منطقه جنوب و جنوب غربی می‌باشد. معیار قضاوت در مورد جهت غالب وزش باد، فراوانی وزش باد از جهت معین به کل دیده‌بانیهای انجام شده است. براساس همین گزارش، متوسط سرعت باد ۱۸ متر بر ثانیه اندازه‌گیری شده است. حداکثر سرعت باد که در دوره آماری (۲۳ سال) مشاهده شده است، ۲۳ متر بر ثانیه است.

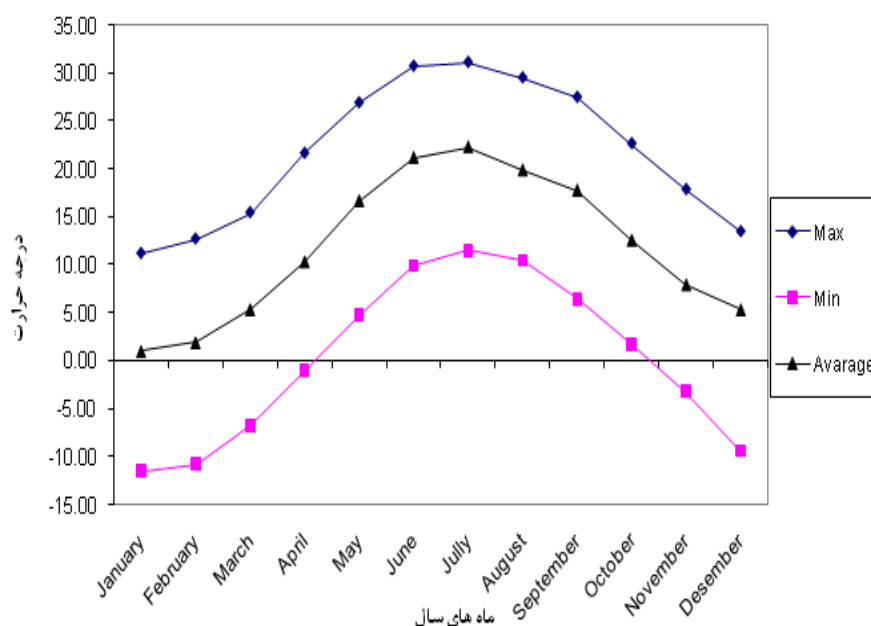
۴-۳-۳- رطوبت

براساس آمار و گزارشات موجود حداکثر رطوبت نسبی ماهیانه در ایستگاه معدن مس سرچشمه در ماه آذر ماه بوده و به ۵۰/۲۵ درصد (جویاب نو ۱۳۷۶) می‌رسد. حداقل رطوبت نسبی ماهیانه نیز مربوط به ماه خرداد بوده و در حدود ۱۱/۷۵ درصد است.

۴-۳-۴- درجه حرارت

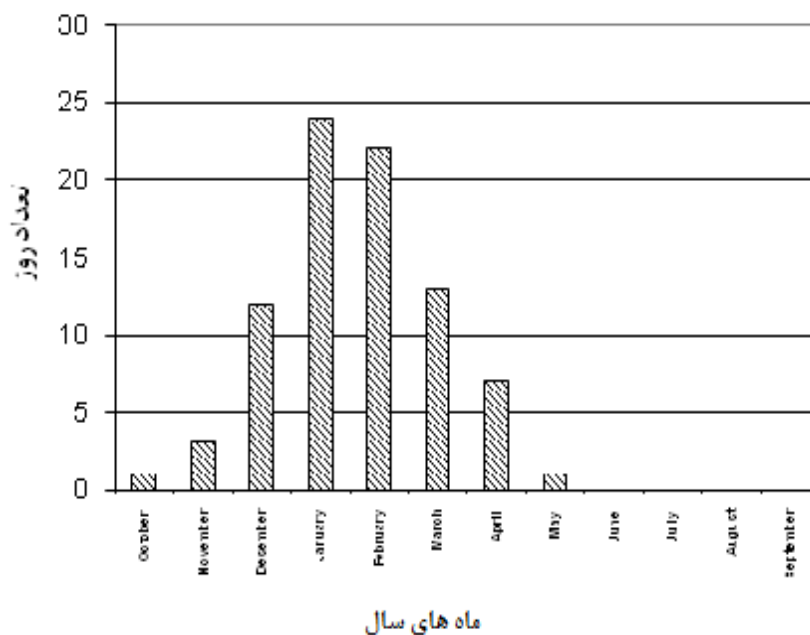
درجه حرارت علاوه بر اینکه بر روی میزان تبخیر تاثیر می‌گذارد، می‌تواند عملکرد تجهیزات مورد استفاده در هیپ را نیز تحت تاثیر قرار دهد. در مناطقی که درجه حرارت بسیار پائین می‌باشد، احتمال یخ زدگی تاسیسات مورد استفاده وجود دارد. در صورت یخ زدگی شبکه لوله‌ها، روند حرکت سیال در چرخه جداسازی ماده معدنی از باطله‌ها و همچنین جداکردن ماده معدنی از سیال با مشکل روبرو خواهد شد. درجه حرارت ماکزیمم به معنای حداکثر درجه حرارت مشاهده شده در ماه مربوطه می‌باشد. همچنین درجه حرارت مینیمم به معنای حداقل درجه حرارت مشاهده شده در آن ماه می‌باشد. درجه حرارت متوسط بر اساس میانگین این دو درجه حرارت محاسبه شده است.

با توجه به آمار موجود، حداکثر درجه حرارت مشاهده شده طی ۲۰ دوره آماری ۳۴/۵ می‌باشد این درجه حرارت در ماه July (تیر) سال ۱۹۹۱ میلادی به ثبت رسیده است حداقل درجه حرارت مشاهده شده نیز مربوط به ماه February (بهمن) سال ۲۰۰۰ میلادی می‌باشد همچنین با استفاده از آمار موجود، متوسط درجه حرارت برای درجه حرارت ماکزیمم، مینیمم و متوسط در هر ماه محاسبه و در گراف شکل ۴-۹ آورده شده است.



شکل ۴-۹- متوسط درجه حرارت ماکزیمم، مینمم در ایستگاه معدن سرچشمه

همانطور که در شکل ۴-۹ مشخص است، درجه حرارت در ۶ ماه از سال پائینتر از صفر قرار می گیرد به عبارت دیگر در ۶ ماه از سال احتمال وقوع یخبندان وجود دارد بر همین اساس سردترین ماه سال January (دیماه) و گرمترین ماه سال July (تیر) می باشد براساس آمار موجود به طور متوسط تعداد روزهای یخبندان در ماه دی (January) نسبت به ماههای دیگر بیشتر بوده و به ۲۴ روز می رسد. شکل ۴-۱۰ تعداد روزهای یخبندان را در ماههای مختلف در ایستگاه معدن مس سرچشمه نشان می دهد. همانطور که از آمار مشخص است امکان یخبندان در محدوده هیپ ۳ وجود دارد. لذا با توجه به اینکه در ماههای آذر، دی، بهمن و اسفند در بیش از ۱۰ روز از ماه یخبندان وجود دارد، باید نسبت به عایق بندی یا محافظت از سیستم های انتقال سیال در برابر یخبندان اقداماتی صورت گیرد.

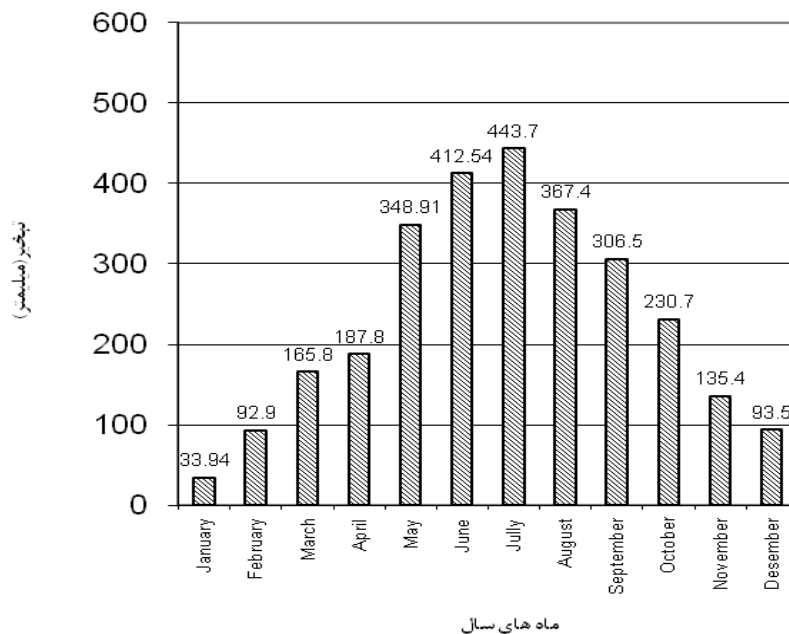


شکل ۴-۱۰- تعداد روزهای یخبندان در ایستگاه معدن مس سرچشمه (مهندسين مشاور جوياب نو۱۳۷۶)

۴-۳-۵- تبخیر

ایستگاه معدن مس سرچشمه مجهز به طشتک تبخیر کلاس A می باشد. متاسفانه داده های مربوط به تبخیر کامل نبوده و در بعضی از سال های آماری این داده ها برداشت نشده اند. شکل ۴-۱۱ متوسط تبخیر ماهیانه را در ایستگاه معدن مس سرچشمه نشان می دهد. با توجه به شکل ۴-۱۱ بیشترین تبخیر در ماه July (تیر) بوده و به ۴۴۳/۷ میلیمتر می رسد. کمترین مقدار تبخیر نیز در ماه دی (January) صورت می گیرد.

بدلیل احتمال وقوع یخبندان در بعضی از ماه های سال، در این ماه ها داده برداری صورت نگرفته است. بنابراین جهت بدست آوردن متوسط تبخیر سالیانه، میانگین تبخیر ماهیانه با هم جمع گردیده و به عنوان متوسط تبخیر سالیانه منظور گردیده است. با توجه به این امر متوسط تبخیر سالیانه در ایستگاه معدن مس سرچشمه ۲۵۲۲ میلیمتر می باشد.



شکل ۴-۱۱- متوسط تأخیر ماهیانه در ایستگاه معدن مس سرچشمه

۵-۱- مقدمه

در این فصل مکانیزم‌های حاکم بر فرآیندهای اکسایش پیریت و تولید آلودگی در یکی از دمپ‌های نزدیک هیپ مورد مدلسازی ریاضی قرار گرفته است. ابتدا به اختصار انواع مدل های زیست محیطی معرفی می‌گردند. سپس معادلات ریاضی حاکم بر اکسایش پیریت و نفوذ اکسیژن در دمپ باطله ارائه می‌شوند. در ادامه نتایج مدلسازی عددی با استفاده از نرم افزار PHOENICS با نتایج آنالیز نمونه‌های صحرایی مقایسه خواهند شد.

۵-۲- انواع مدل‌ها

مدل‌ها به عنوان یک ابزار مناسب در پیش‌بینی بسیاری از پیامدهای زیست محیطی نقش اساسی دارند. هدف اصلی مدل‌سازی افزایش درک و بینش در خصوص پارامترهای مؤثر در فرآیندهایی است که در داخل یک

سیستم واقعی در حال وقوع می‌باشد. در واقع مدل الگو و نشان‌دهنده روابط بین متغیرها و پاسخ در یک سیستم واقعی است (Doulati et.al, 2004). انواع مدل‌ها به شرح زیر می‌باشند:

■ مدل‌های مفهومی^۵

■ مدل‌های فیزیکی^۶

■ مدل‌های ریاضی^۷

■ مدل‌های عددی

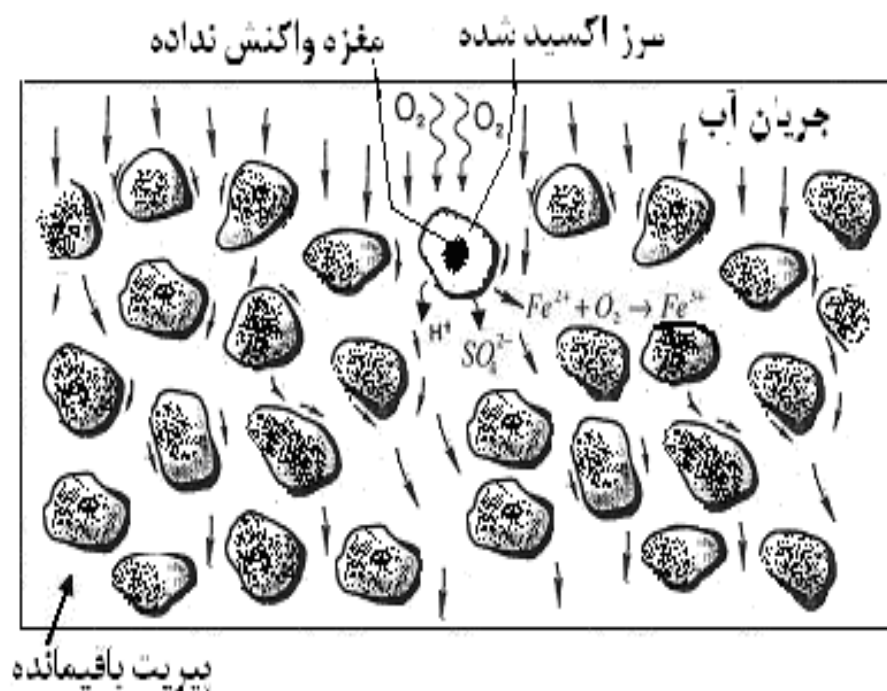
۵-۲-۱- مدل‌های مفهومی

این مدل‌ها به صورت کیفی فرآیندهایی که داخل یک سیستم واقعی اتفاق می‌افتند را تشریح می‌نمایند. به عنوان مثال شکل ۵-۱ نمونه‌ای از مدل مفهومی ارائه شده برای تشریح کیفی فرآیندهایی که منجر به تولید پساب اسیدی در دمپ‌های باطله معادن می‌گردد را بیان می‌دارد. در این مدل مفهومی واکنش‌های اکسیداسیون پیریت، تولید آلودگی و انتقال آلاینده‌ها در سیستم جریان آب زیرزمینی تشریح شده‌اند. مدل‌های مفهومی می‌توانند در مرحله بعد در ارائه مدل‌های ریاضی حاکم بر مکانیزم‌های مذکور مفید واقع گردند (Doulati 2003).

⁵- Conceptual models

⁶- Physical models

⁷- Mathematical models



شکل ۵-۱- مدل مفهومی برای اکسایش پیریت و نشت آلاینده‌ها در باطله‌های معادن روباز

(Doulati et.al, 2004)

۵-۲-۲- مدل‌های فیزیکی

قبل از پیدایش مدل‌های کامپیوتری، از مدل‌های فیزیکی برای درک صحیح فرآیندها و شبیه‌سازی مشکلات زیست محیطی استفاده می‌شد. مدل‌های فیزیکی ممکن است دامنه و محدوده‌ای^۸ را برای تغییر دادن سیستماتیک هر پارامتر انتخابی فراهم نماید تا فرآیند مورد مطالعه را به صورت کیفی شبیه‌سازی نماید. مشکلات اساسی مدل‌های فیزیکی هزینه بالا در زمان بکارگیری مدل و ناتوانی آنها در شبیه‌سازی مشکلات زیست محیطی و هیدروژئولوژیکی پیچیده می‌باشند (Doulati 2004).

۵-۲-۳- مدل‌های ریاضی

برای حل یک مشکل زیست محیطی، در مرحله اول باید مدل مفهومی آن مشخص گردد سپس با استفاده از مدل‌های ریاضی رفتار سیستم به صورت کمی مورد بررسی قرار گیرد. در این روش یک معادله ریاضی که

^۸ - Scope

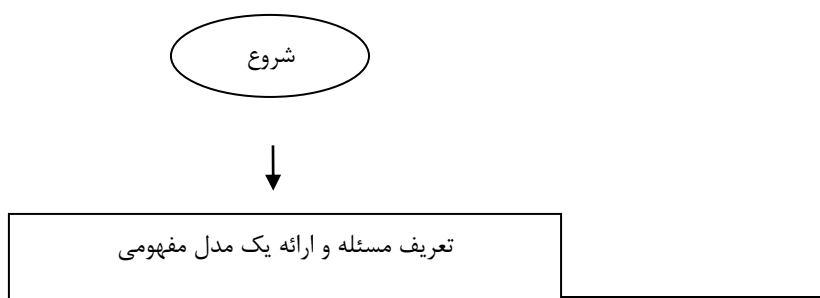
تشریح کننده مکانیزم و رفتار فرآیند است بیان می‌گردد. معادلات مناسب نیز در صورت امکان به صورت تحلیلی یا عددی با استفاده از یک الگوریتم مناسب و یا به کمک نرم افزار کامپیوتری، برای یک متغیر انتخابی که سیستم مورد مطالعه را تعریف می‌کند، حل می‌شوند.

۵-۲-۴- مدل‌های عددی

مدل‌های عددی دارای کاربرد گسترده‌ای در پیش‌بینی بسیاری از مسائل زیست محیطی و هیدروژئولوژیکی دارد. متداول ترین روش‌های عددی، روش‌های تفاوتهای محدود^۹، اجزاء محدود^{۱۰} و حجم‌های محدود می‌باشند. نرم افزارهای CFD^{۱۱} (دینامیک سیالات محاسباتی) همچون PHOENICS، FLUENT و FLOW3D با استفاده از تکنیک‌های محاسباتی مختلفی که مورد استفاده قرار می‌دهند، می‌توانند فرآیندهای تولید آلودگی را در باطله‌های معادن به صورت دقیق مورد بررسی و مطالعه قرار دهند. در این پایان‌نامه سعی شده تا با بکارگیری یک مدل ریاضی، فرآیندهای اکسایش پیریت، نفوذ اکسیژن در باطله‌ها و تولید آلودگی در محل دمپ باطله با استفاده از نرم افزار PHOENICS تشریح گردد.

۵-۳- مراحل مدلسازی با نرم افزار PHOENICS

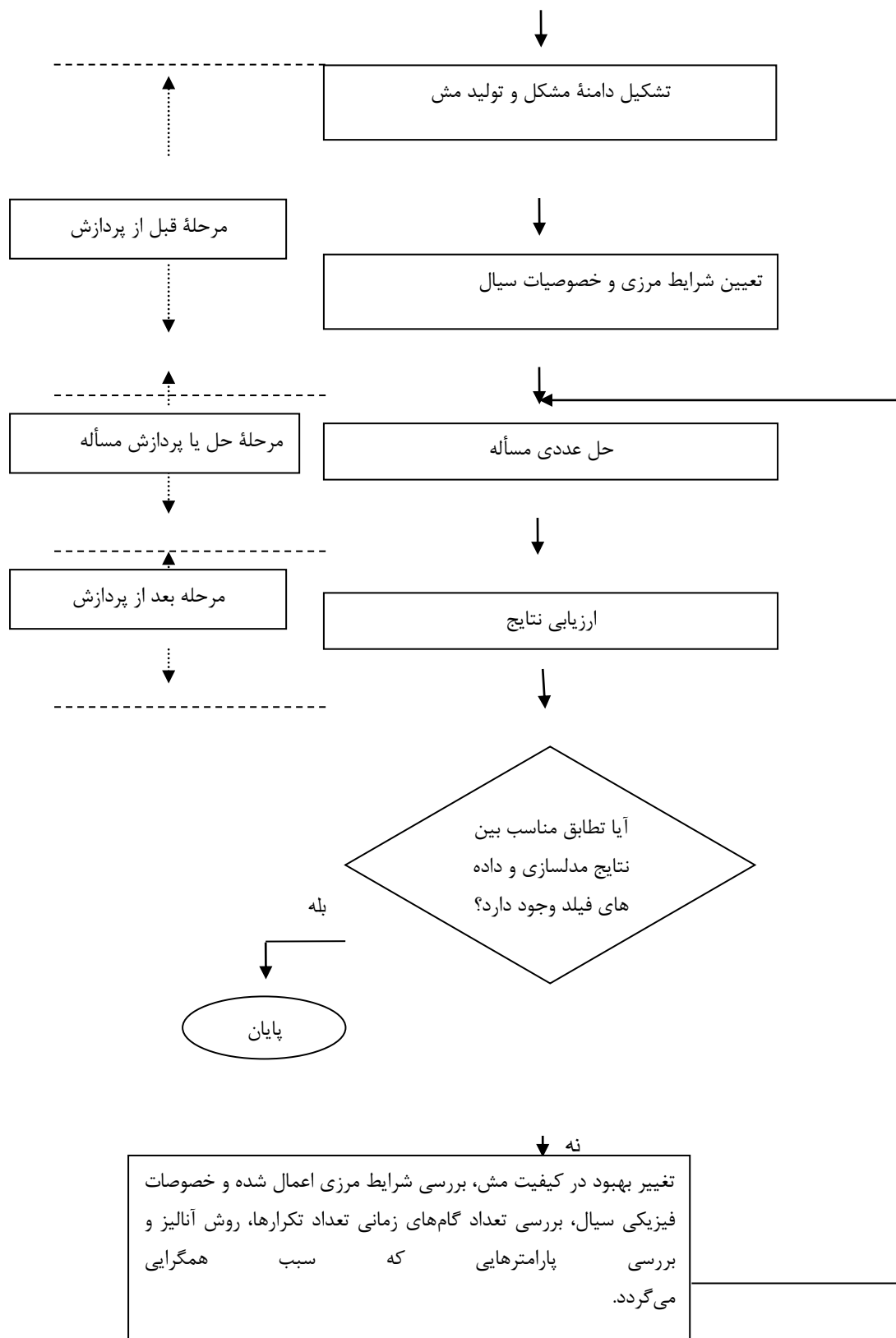
به منظور ایجاد تصویر دقیقی از جزئیات حل مشکلات با نرم افزارهای دینامیک سیالات محاسباتی همچون PHOENICS لازم است تا مراحل اصلی در مدلسازی بیان گردند. این مراحل در شکل ۵-۲ نشان داده شده است.



⁹ - Finite difference method

¹⁰ - Finite element method

¹¹ - Computational fluid dynamics



(Doulati et.al, 2004)

۵-۴- معادله نفوذ اکسیژن در دمپ های باطله

در حالت کلی نرخ اکسایش پیریت و تولید اسید در دمپ های باطله با مقدار اکسیژن موجود در سطح سولفید همراه با باطله کنترل می شود. باید در نظر داشت که نفوذ مولکولی مخصوصاً در فضاهای خالی هوا مهمترین مکانیزم انتقال اکسیژن می باشد. جریان اکسیژن به صورت گرادیان کاهش اکسیژن همراه با افزایش عمق می باشد. سرعت اکسایش کانی سولفیدی بویژه پیریت به دو عامل سینتیک واکنش و نرخ نفوذ اکسیژن بستگی دارد. اکسایش کانی های سولفیدی را می توان با مدل مغزه منقبض شونده^{۱۲}، شبیه سازی نمود (Davis and Ritchie 1986, Levenspiel 1972). سرعت اکسایش با نفوذ اکسیژن از سطح تا عمق باطله ها کنترل می شود. فرآیند اکسایش منجر به کاهش سطح مغزه منقبض شونده می شود. در مدل ارائه شده، معادله نفوذ اکسیژن در شرایط پایا^{۱۳} حل می گردد. پارامترهای اصلی به کار رفته در مدل به صورت خلاصه شده در جدول ۵-۱ آورده شده اند.

۵-۴-۱- مدل ریاضی نفوذ اکسیژن در باطله ها

در مدل سازی نفوذ اکسیژن فرض شده که تنها فرآیند مؤثر در حرکت اکسیژن در باطله ها، نفوذ گازی است. البته آب نیز از عوامل مهم و تأثیر گذار در انتقال اکسیژن می باشد که در این مدل از آن صرف نظر شده است. نفوذ اکسیژن در باطله، در شرایط پایا بر اساس قانون اول فیک^{۱۴} به صورت زیر بیان می گردد (Elberling, et.al, 1994):

$$J_D = - D_e \frac{dC}{dz} \quad (۵-۱)$$

¹² - Shrinking core model

¹³ - Steady state

¹⁴ - Fick's first law

که در رابطه بالا:

J_D : جریان^{۱۵} نفوذ اکسیژن در فاز گازی

D_e : ضریب نفوذ مؤثر^{۱۶} برحسب متر مربع بر ثانیه

C : غلظت اکسیژن در فاز گازی

z : عمق به متر

در این مدل باطله‌ها به صورت همگن فرض شده‌اند و پیریت داخل باطله‌ها به صورت یکنواخت توزیع شده است. بعلاوه فرض شده که ضریب نفوذ در زمانها و عمق‌های مختلف ثابت باشد. از اکسایش سایر سولفیدها نسبت به اکسایش پیریت صرف نظر شده است.

معادله انتقال اکسیژن در شرایط ناپایا که از مفهوم پیوستگی نتیجه می‌شود، به قرار زیر است (Elberling, et.al, 1994):

$$(2-5) \frac{dC}{dt} = - \frac{dJ_D}{dz} - G$$

که در رابطه بالا:

G : مصرف حجمی اکسیژن ($\text{mol m}^{-3}\text{s}^{-1}$)

با فرض ثابت بودن D_e در معادله ۱-۵ و قرار دادن آن در معادله ۲-۵ رابطه زیر به دست می‌آید:

$$(3-5) \quad \frac{dC}{dt} = D_e \frac{d^2C}{dz^2} - G$$

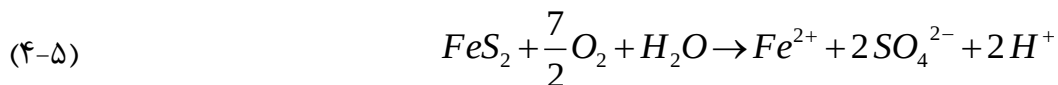
۵-۵- مدل ریاضی اکسیداسیون پیریت در دمپ باطله

همانگونه که در شکل ۱-۵ نشان داده شده است، اکسایش پیریت در دمپ باطله سبب تولید آلودگی می‌گردد. اکسایش پیریت از دیدگاه ریاضی از مدل مغزه منقبض شونده پیروی می‌کند. واکنش اکسایش پیریت

¹⁵- Flux

¹⁶ - Effective diffusion coefficient

به صورت زیر بیان می‌گردد:



در واکنش بالا فرض شده است که اکسیژن تنها عامل اکسیدکننده است و اکسایش پیریت تنها ناشی از مصرف اکسیژن می‌باشد. در باطله‌ها، پیریت به صورت ذرات جدا و هموزن قرار دارند. به منظور سادگی، اندازه ذرات پیریت در ابتدا یکسان فرض شده است. پس از اینکه ذرات اکسید شدند، اندازه سطح آنها به دلیل پدیده انقباض کمتر شده و در نهایت حجم اکسیژن مصرفی با گذشت زمان کاهش می‌یابد. با استفاده از واکنش اکسایش پیریت (رابطه ۴-۵)، ضریب استوکیومتری اکسیژن مصرفی در فرآیند اکسیداسیون پیریت حاصل شده است.

واکنش سینتیکی مرتبه اول اکسایش پیریت با معادله ریاضی زیر بیان می‌گردد:

$$-d[FeS_2] / dt = -4/15 d[O_2] / dt = KSC^n \quad (5-5)$$

که در رابطه بالا:

K: ثابت سینتیک مرتبه اول

S: مساحت سطح در واحد حجم

C: غلظت اکسیژن

در رابطه ۵-۵، n معمولاً دارای مقداری بین صفر تا یک می‌باشد. برای بیان مناسب سینتیک مرتبه اول باید مقدار n را در غلظت‌های پایین اکسیژن ۱ در نظر گرفت.

در فشار ۲۱/۱۰ اتمسفر و دمای ۲۵ درجه سانتیگراد، غلظت اکسیژن ۹ مول بر متر مکعب (معادل ۲۱٪ درصد، به عنوان بخش مولی اکسیژن در هوا) است و ضریب K یا ثابت سینتیک مرتبه اول

دارای مقدار $2/1 \times 10^{-10} \text{ mol FeS}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ و $5/9 \pm 2/1 \times 10^{-10} \text{ mol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ می‌باشد (Elberling, Nicholson, and Scharer 1994).

معادله نهایی برای بیان انتقال اکسیژن در باطله‌های دمپ تحت شرایط پایا به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$(6-5) \quad D_e \frac{\partial^2 C}{\partial Z^2} - KC = 0$$

که در رابطه بالا به ازای هر مرحله زمانی و با کاهش مساحت سطح پیریت، مقدار K بایستی دوباره مورد محاسبه قرار می‌گیرد. مساحت سطح هر ذره بعد از هر مرحله زمانی t از رابطه ۵-۷ محاسبه می‌گردد.

$$(7-5) \quad S_t = S_{t-1} - K_X dt / D_{PY}$$

که در آن:

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

$$dt: \text{گام زمانی (ثانیه)}$$

$$K: \text{ثابت واکنش}$$

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

۵-۶- پارامترهای ورودی مدل

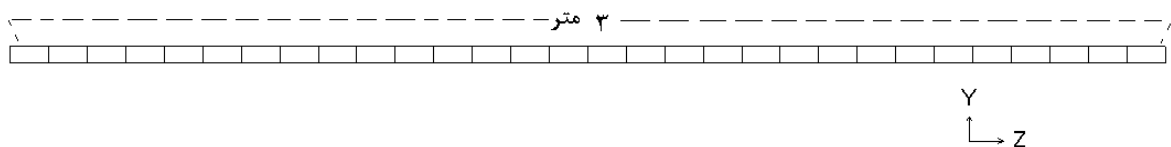
به منظور بررسی فرآیند اکسایش پیریت، مدلسازی یک بعدی با استفاده از نرم افزار PHOENICS version 3.6.1 (CHAM 2006) انجام پذیرفت. پارامترهای ورودی مدل در جدول ۵-۱ آورده شده است.

جدول ۵-۱- پارامترهای ورودی مدل (Elberling, Nicholson, and Scharer 1994)

طول مدل	۳ متر (در امتداد Z)
مدت زمان شبیه سازی	۴ سال (۴۸ ماه)
تعداد گام های زمانی	۲۴
فاصله زمانی برای هر پیش بینی	۲ ماه
بستگی زمانی مدل	ناپایا
تعداد المانهای حجمی	۳۰ (طول یکسان ۰/۱۶۶ متر)
ضریب نفوذ مؤثر اکسیژن	$1 \times 10^{-8} \frac{m^2}{s}$
درصد اولیه پیریت	۱۸/۵ %
دانسیته باطله	2300 kg/m^3
دانسیته پیریت	5900 kg/m^3
سطح پیریت به واحد حجم باطله	۱۲۰ (۱/ m)
ثابت سینتیک درجه اول برای O_2	$2/21 \times 10^{-9} (\text{mol } O_2/\text{m}^2\text{s})$
ثابت سینتیک درجه اول برای FeS_2	$5/0 \times 10^{-10} (\text{mol } FeS_2/\text{m}^2\text{s})$
تعداد تکرارها	۵۰۰

۵-۷- شرایط مرزی

پروفیل باطله‌ها با عمق تقریبی ۳ متر را به عنوان مدل انتخابی به ۳۰ المان هم اندازه با طول ۰/۱۶۶ متر تقسیم می‌نماییم. شکل ۵-۳ نمایی از مدل انتخابی را نشان می‌دهد. مدل مورد نظر در امتداد محور Z مختصات دکارتی قرار گرفته است.



شکل ۵-۳- مش حجم های محدود دمپ باطله

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

۵-۷-۱- شرایط مرزی برای مدل اکسیژن

برای حل عددی معادلات دیفرانسیل حاکم بر نفوذ اکسیژن به داخل دمپ (معادله ۵-۶) و اکسایش پیریت (معادله ۵-۵) بایستی یکسری شرایط مرزی در سیستم تحت مدلسازی تعریف نمود تا اثرات خارجی سیستم در نظر گرفته شده و قیود لازم اعمال شده تا جواب واحدی برای مسئله تحت بررسی و برای متغیرهای مورد نظر حاصل شود. این شرایط به قرار زیر می‌باشند:

▪ شرط مرزی نوع اول:

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

$$C(Z=0, t) = C_0 \quad (۵-۸)$$

▪ شرط اولیه:

این شرط توزیع اکسیژن را در پروفیل باطله‌ها (مدل) قبل از فرآیند مدلسازی بیان می‌دارد. مقدار اکسیژن قبل از فرآیند شبیه‌سازی در طول مدل صفر در نظر گرفته شده و به صورت رابطه ۵-۹ خواهد بود:

$$C(Z, 0) = C_i \quad , \quad t=0 \quad , \quad Z>0 \quad (۵-۹)$$

▪ شرط مرزی نوع اول در مرز خروجی مدل:

در انتهای مدل غلظت اکسیژن را معادل مقدار اولیه‌اش در طول پروفیل قرار می‌دهند و از دیدگاه ریاضی به صورت رابطه ۵-۱۰ خواهد بود:

$$C(\infty, t) = 0 \quad (۵-۱۰)$$

۵-۲-۲- شرایط مرزی برای مدل اکسایش پیریت

برای مدل اکسایش پیریت تنها یک شرط اولیه وجود دارد که بیانگر درصد پیریت اولیه موجود در باطله‌ها می‌باشد. این شرط را بایستی در سراسر طول پروفیل باطله‌ها (مدل) اعمال نمود:

$$C(Z, 0) = C_i = 18/5 \%$$

که در آن:

C_i : درصد اولیه پیریت در باطله ها

پس از اعمال شرایط مرزی و اولیه مناسب مدل‌های نفوذ اکسیژن و اکسایش پیریت به روش عددی حجم‌های محدود توسط نرم افزار حل شدند.

۵-۲-۳- حل تحلیلی معادله نفوذ اکسیژن به داخل دمپ باطله

همانگونه که قبلاً بیان شد، فرآیند پخش یا نفوذ مولکولی تنها مکانیزم حاکم برای انتقال اکسیژن به داخل دمپ باطله‌ها خواهد بود. این مکانیزم در مورد لایه‌های رسی و آسترهای مصنوعی با ضریب تراوایی کم که معمولاً در طراحی کف هیپ‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند نیز عامل اصلی در انتقال آلاینده‌های فلزی به داخل منابع آب‌های زیرزمینی می‌باشد. معادله نفوذ اکسیژن تحت شرایط ناپایا (تابع زمان) و بدون در نظر گرفتن عبارت مصرف حجمی آن در واکنش با پیریت به قرار زیر خواهد بود.

$$(۱۲-۵) \quad \frac{\partial C}{\partial t} = D_e \frac{\partial^2 C}{\partial Z^2}$$

با در نظر گرفتن شرایط مرزی و اولیه (معادلات ۵-۸ تا ۵-۱۰):

حل معادله ۵-۱۲ به شکل تحلیلی به صورت زیر خواهد بود:

$$(۱۳-۵) \quad C(Z,t) = C_0 \operatorname{erfc} \left(\frac{Z}{\sqrt{4D_e t}} \right)$$

که در آن:

erfc = مکمل تابع خطای (erf)^{۱۷} که بر حسب پارامتر β به صورت زیر تعریف می‌شود

(Reddi and Inyang 2000):

¹⁷ - complement of the error function

(۱۴-۵)

$$\operatorname{erfc}(\beta) = 1 - \operatorname{erf}(\beta) = 1 - \left(\frac{2}{\sqrt{\pi}} \right) \int_0^\beta e^{-u^2} du$$

به ازای مقادیر مختلف پارامتر β ، تابع خطای erf و مکمل آن یعنی erfc در جدول ۵-۲ نشان داده شده اند. در این جدول مقادیر منفی β نشان داده نشده اند. برای یک مقدار منفی β ، تابع خطای مکمل از رابطه زیر به دست می آید:

$$\operatorname{erfc}(-\beta) = 1 + \operatorname{erf}(\beta) \quad (۱۵-۵)$$

همچنین در این مورد از روابط مفید زیر می توان بهره گرفت:

$$\operatorname{erf}(-\beta) = -\operatorname{erf}(\beta) \quad (۱۶-۵)$$

$$\operatorname{erfc}(\beta) = 1 - \operatorname{erf}(\beta) \quad (۱۷-۵)$$

جدول ۵-۲- مقادیر تابع خطا و مکمل آنها به ازای مقادیر مختلف β (Domenico and Schwartz 1990).

β	$\operatorname{erf}(\beta)$	$\operatorname{erfc}(\beta)$
0	0.000000	1.000000
0.05	0.056372	0.943628
0.1	0.112463	0.887537
0.15	0.167996	0.832004
0.2	0.222703	0.777297
0.25	0.276326	0.723674
0.3	0.328627	0.671373
0.35	0.379382	0.620618
0.4	0.428392	0.571608
0.45	0.475482	0.524518
0.5	0.520500	0.479500
0.55	0.563323	0.436677
0.6	0.603856	0.396144
0.65	0.642029	0.357971

0.7	0.677801	0.322199
0.75	0.711156	0.288844
0.8	0.742101	0.257899
0.85	0.770668	0.229332
0.9	0.796908	0.203092
0.95	0.820891	0.179109
1.0	0.842701	0.157299
1.1	0.880205	0.119795
1.2	0.910314	0.089686
1.3	0.934008	0.065992
1.4	0.952285	0.047715
1.5	0.966105	0.033895
1.6	0.976348	0.023652
1.7	0.983790	0.016210
1.8	0.989091	0.010909
1.9	0.992790	0.007210
2.0	0.995322	0.004678
2.1	0.997021	0.002979
2.2	0.998137	0.001863
2.3	0.998857	0.001143
2.4	0.999311	0.000689
2.5	0.999593	0.000407
2.6	0.999764	0.000236
2.7	0.999866	0.000134
2.8	0.999925	0.000075
2.9	0.999959	0.000041
3.0	0.999978	0.000022

۲-۵

ادامه جدول

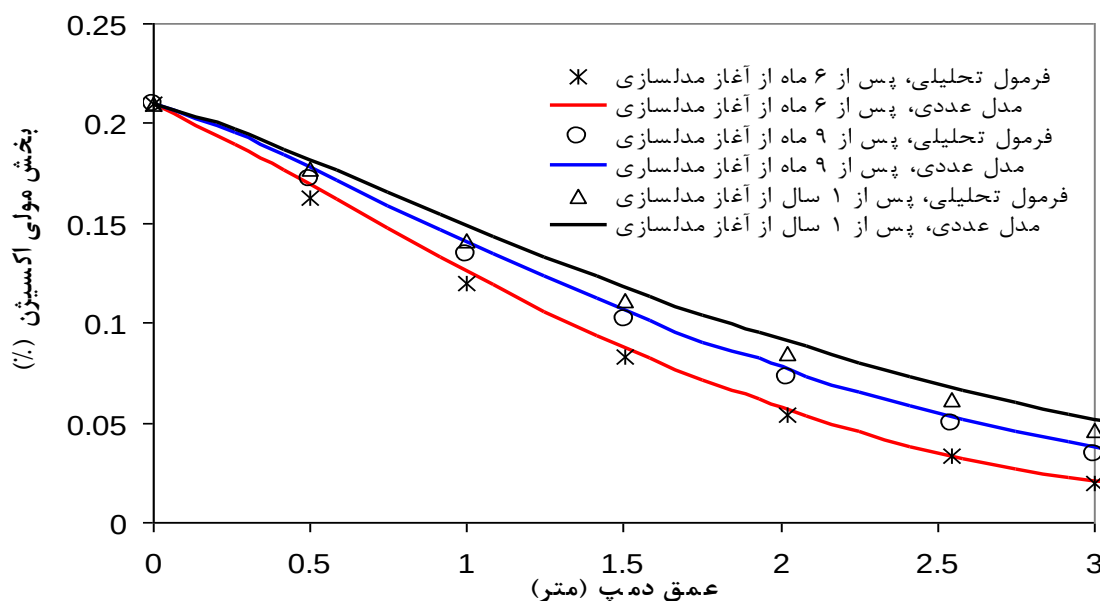
۵-۸

کالیبراسیون مدل نفوذ اکسیژن

جهت کالیبراسیون مدل عددی ارائه شده برای نفوذ اکسیژن به داخل باطله‌ها، ابتدا معادله ۵-۱۲ به صورت

عددی با نرم افزار حل شد. نتایج حاصل از مدل عددی با نتایج به دست آمده از فرمول تحلیلی

۵-۱۳ مقایسه گردید که حاکی از تطابق خیلی خوب نتایج دو روش حل برای نفوذ اکسیژن می‌باشد. این مقایسه در شکل ۵-۴ نشان داده شده است. در این شبیه‌سازی زمان نفوذ از ۶ ماه تا ۱ سال تغییر داده شد. ضریب نفوذ موثر برای اکسیژن $10^{-7} \times 1$ متر مربع بر ثانیه در نظر گرفته شد. قابل ذکر است که در این شبیه‌سازی عبارت مصرف اکسیژن در واکنش با پیریت در نظر گرفته نشده است

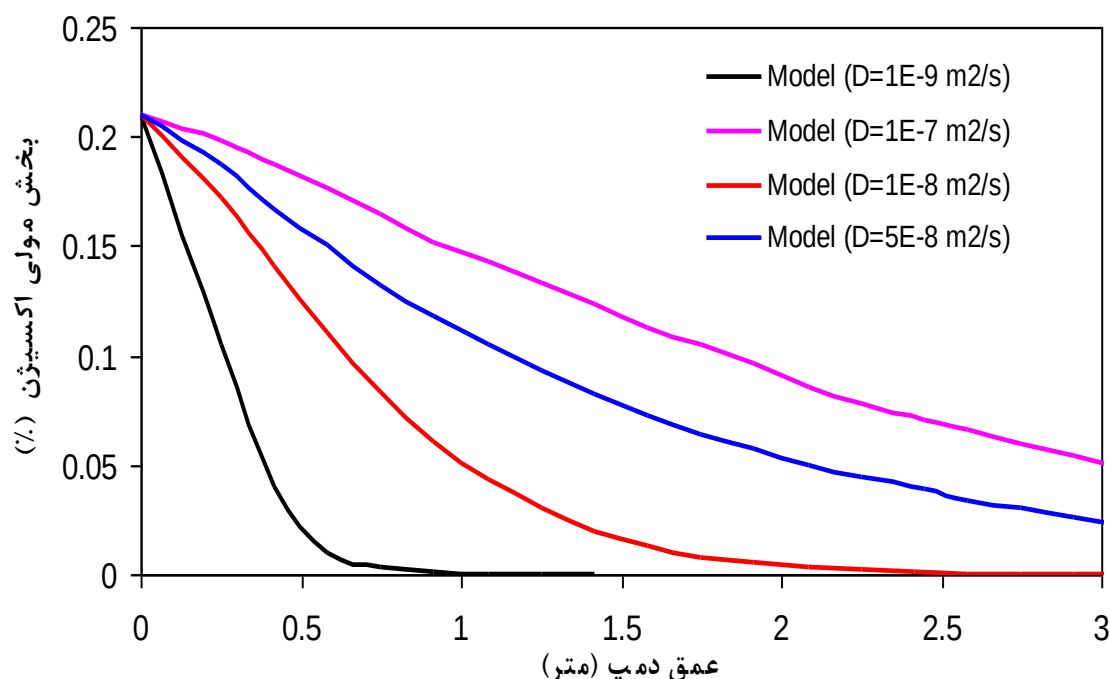


شکل ۵-۴- مقایسه نتایج مدل‌سازی‌های عددی (خطوط) و تحلیلی (نقاط) برای بررسی تغییرات بخش مولی اکسیژن نسبت به عمق دمپ و تابعی از زمان به ازای ضریب نفوذ موثر $10^{-7} \times 1$ مترمربع بر ثانیه

۵-۹- مدل‌سازی نفوذ اکسیژن در دمپ باطله

پس از انجام کالیبراسیون مدل نفوذ اکسیژن، مدل‌سازی همزمان معادلات نفوذ اکسیژن و اکسایش پیریت با در نظر گرفتن عبارت مصرف حجمی اکسیژن در واکنش پیریت - اکسیژن انجام گردید. مدل‌های مذکور با اعمال شرایط مرزی و اولیه مناسب به روش عددی حجم‌های محدود توسط نرم افزار حل شدند. با توجه به اینکه مقدار اکسیژن در طول مدل با توجه به ضریب نفوذ موثر آن تغییر می‌کند در نتیجه میزان اکسایش پیریت بسته به مقدار اکسیژن موجود در پروفیل متفاوت خواهد بود. در فرآیند مدل‌سازی، تغییرات بخش مولی

اکسیژن^{۱۸} بر حسب درصد با توجه به ضرایب نفوذ مؤثر مختلف (از 1×10^{-9} تا 1×10^{-7}) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مربوط به مدلسازی در شکل ۵-۵ آورده شده است. بهترین ضریب نفوذ مؤثر در مدل 1×10^{-8} متر مربع بر ثانیه انتخاب شد. این انتخاب بر اساس تحقیقات انجام شده روی دمپ های باطله در نقاط مختلف دنیا که در آن ذرات باطله ابعاد مشابه ای با ابعاد باطله های دمپ مورد مطالعه دارند، صورت پذیرفته است. بعلاوه اینکه با این ضریب نفوذ مؤثر انطباق مناسب بین داده های صحرایی و نتایج مدلسازی برای مدل اکسایش پیریت به دست آمد. مقدار بخش مولی اکسیژن در سطح دمپ ۰/۲۱ درصد می باشد. با افزایش عمق و نفوذ اکسیژن در باطله ها اکسیژن مصرف می شود. به طوریکه با ضریب نفوذ 1×10^{-9} متر مربع بر ثانیه اکسیژن تا عمق بیشتر از ۱/۰ متر نمی تواند نفوذ کند و تمامی آن مصرف می شود. با افزایش ضریب نفوذ مؤثر، اکسیژن تا اعماق بیشتری در دمپ باطله نفوذ می کند و میزان مصرف اکسیژن در واکنش با پیریت با سرعت کمتری انجام می پذیرد.



شکل ۵-۵- پیش‌بینی مدل برای تغییرات بخش مولی اکسیژن نسبت به عمق دمپ و به صورت تابعی از ضرایب نفوذ مؤثر مختلف (مدت زمان شبیه سازی ۲ سال و ثابت سینتیک $10^{-8} \times 1/0$ بر ثانیه انتخاب شده‌اند)

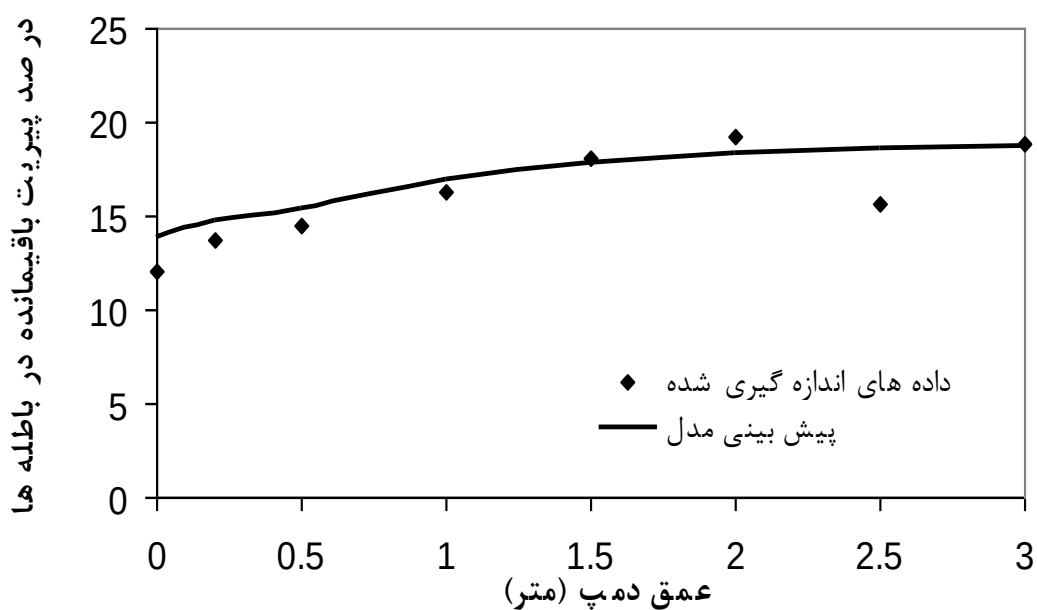
۵-۱۰- مدلسازی اکسیداسیون پیریت باطله ها

همانگونه که در بالا ذکر شد، با استفاده از نرم افزار ، مدل مغزۀ انقباضی اکسایش پیریت بطور همزمان با مدل نفوذ اکسیژن حل شد و نتایج مدلسازی عددی با داده‌های صحرایی برای تعیین پیریت باقیمانده در محل‌های نمونه‌برداری روی دمپ باطله مقایسه گردید. در این بررسی، در سه نقطه متفاوت روی دمپ باطله به صورت عمقی و در اعماق مختلف نمونه‌برداری شد و نمونه‌ها برای تعیین پیریت باقیمانده به روش جذب اتمی آنالیز گردید. داده‌های حاصل از آنالیز نمونه ۳ به دلیل خطای آزمایشگاهی و یا خطای نمونه‌برداری برای فرآیند مدلسازی مناسب تشخیص داده نشد و تنها نتایج مدلسازی با داده‌های صحرایی به دست آمده از دو نقطه دیگر روی دمپ مقایسه گردید که ذیلأ مورد بررسی قرار می‌گیرند:

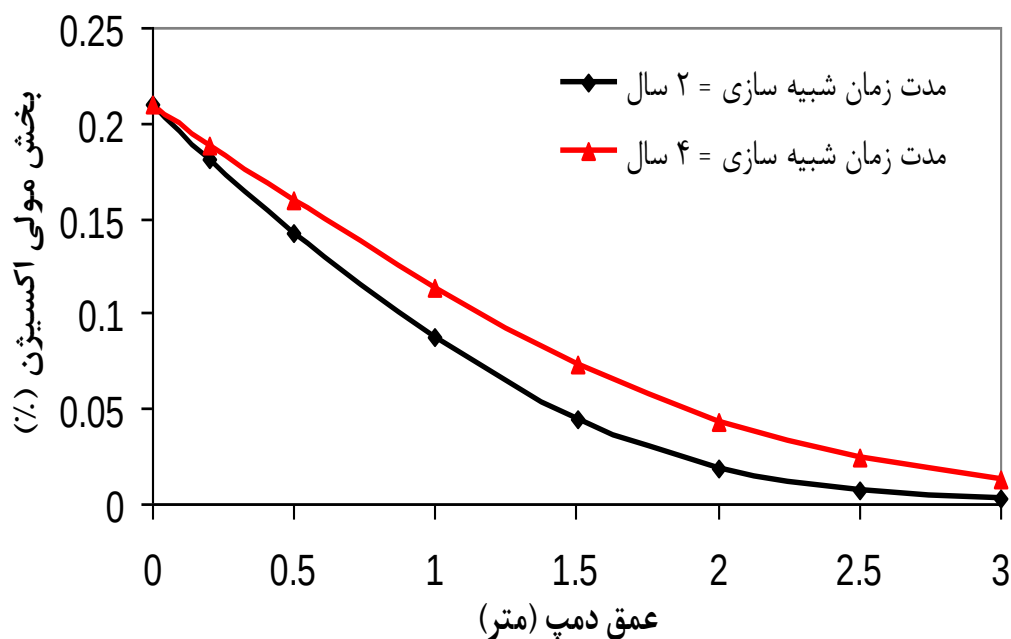
۵-۱۰-۱- نتایج مدلسازی اکسایش پیریت در نمونه ۱

شکل ۵-۶ نتایج مدل را برای مقدار پیریت باقیمانده در باطله‌ها نسبت به عمق باطله برای مدت زمان ۴ سال از آغاز اکسایش پیریت نشان می‌دهد. در این شکل نتایج مدلسازی عددی با داده‌های صحرایی (نمونه ۱) مقایسه شده است. تطابق نسبتاً مناسب بین داده‌های صحرایی و نتایج مدلسازی حاصل شد. داده‌های صحرایی نشان می‌دهد که مقدار پیریت باقیمانده در نمونه‌های سطحی حدود ۱۲ درصد است. با توجه به اینکه مقدار نفوذ اکسیژن با ضریب نفوذ مؤثر $10^{-9} \times 1$ متر مربع بر ثانیه تا ۲/۵ متر می‌باشد، از این عمق به بعد فرآیند اکسایش پیریت متوقف شده و پیریت باقیمانده در اعماق بیشتر از ۲/۵ متر به مقدار اولیه خود در باطله‌ها یعنی ۱۸/۸ درصد می‌رسد. مدل نیز روند مشابه‌ای را برای تغییرات پیریت باقیمانده از سطح دمپ تا عمق تقریبی ۲/۵ متر نشان می‌دهد. نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی نشان می‌دهد که پس از ۴ سال از آغاز فرآیند اکسایش، درصد پیریت باقیمانده در نمونه‌های سطحی به ۱۳/۸ درصد می‌رسد. این درصد

با افزایش عمق، به صورت تدریجی افزایش یافته تا اینکه در عمق تقریبی ۲/۵ متر به مقدار اولیه پیریت در باطله‌ها یعنی ۱۸/۷ درصد می‌رسد. در شکل ۵-۷ نتایج مدل برای بخش مولی اکسیژن نسبت به عمق باطله در نمونه ۱ با یک ضریب نفوذ موثر $10^{-8} \times 1/0$ متر مربع بر ثانیه، ثابت سینتیک $10^{-9} \times 2/2$ بر ثانیه و برای دو زمان مختلف شبیه‌سازی ۲ و ۴ سال نشان داده شده است. همانگونه که این شکل نشان می‌دهد، مقدار اکسیژن تدریجاً از سطح دمپ به داخل باطله‌ها کاهش نشان می‌دهد. برای یک مدت زمان شبیه‌سازی ۲ ساله، اکسیژن حداکثر تا عمق تقریبی ۲/۵ متر نفوذ می‌نماید حال آنکه وقتی زمان از دو سال به ۴ سال افزایش می‌یابد، عمق نفوذ اکسیژن نیز افزایش می‌یابد.



شکل ۵-۶- مقایسه داده‌های صحرایی (نقاط) و نتایج مدل (خط) برای تعیین درصد پیریت باقیمانده در نمونه ۱

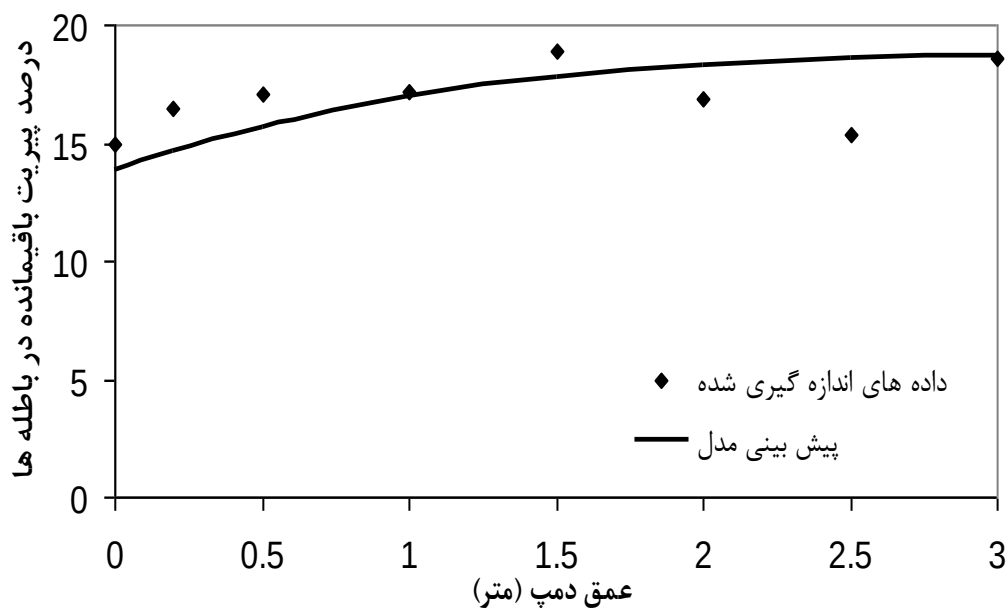


شکل ۵-۷- نتایج مدل برای بخش مولی اکسیژن نسبت به عمق دمپ (ضریب نفوذ موثر $10^{-8} \times 1/0$ متر مربع بر ثانیه و ثابت سینتیک 10^{-9} بر ثانیه انتخاب شده اند).

۵-۱۰-۲- نتایج مدل سازی اکسیداسیون پیریت در نمونه ۲

در شکل ۵-۸ نتایج حاصل از مدل عددی برای درصد پیریت باقیمانده در باطله‌ها نسبت به عمق، با داده‌های صحرایی مربوط به نقطه ۲ برای مدت زمان ۴ سال مقایسه شده است. با توجه به این شکل ملاحظه می‌گردد که با افزایش عمق پروفیل، درصد پیریت باقیمانده در باطله‌ها بتدریج از ۱۵ درصد در سطح دمپ باطله به ۱۸/۶ درصد در عمق حدود ۲/۵ متری می‌رسد. در عمق ۲/۵ متری درصد پیریت به دست آمده از نتایج آزمایشگاهی در تطابق خوبی با پیش‌بینی مدل قرار ندارد که آن هم ممکن است به دلیل وجود خطا در آزمایشات باشد. همچنین خطا ممکن است از نمونه‌برداری و مخلوط‌شدن نمونه‌ها حاصل شده باشد. در مجموع پیش‌بینی مدل برای تعیین میزان اکسایش پیریت نسبت به عمق پروفیل در انطباق خوبی با داده‌های صحرایی برخوردار است. با افزایش عمق پروفیل، مقدار پیریت اکسید شده، به دلیل کاهش مقدار اکسیژن نفوذی، کاهش می‌یابد بطوری که در عمق تقریبی بیش از ۲/۵ متر به علت کم‌شدن اکسیژن، فرآیند اکسایش پیریت

بشدت کاهش می‌یابد.



شکل ۵-۸- مقایسه داده‌های صحرایی و پیش‌بینی مدل برای تعیین درصد پیریت باقیمانده نسبت به عمق دمپ در نمونه ۲

۶-۱- مقدمه

با کاربرد روش استخراج با حلال و الکترووینینگ، لیچینگ به روش هیپ گسترش زیادی پیدا کرده است. در حال حاضر حدود ۱۵ درصد مس تولیدی در جهان به روش هیپ لیچینگ می‌باشد. شستشوی توده‌ای یکی از روشهایی است که بطور وسیع جهت جداسازی و فرآوری مواد معدنی با عیار پائین طلا، نقره، مس و اورانیوم مورد استفاده قرار می‌گیرد. جهت ایجاد سازه فروشویی، بایستی بستری غیرقابل نفوذ ایجاد نمود تا از نفوذ اسید به درون زمین و ایجاد آلودگی در محیط زیست و آب‌های زیرزمینی جلوگیری به عمل آید. مسائل زیست محیطی اهمیت روز افزونی در مکان‌یابی سازه‌های فروشویی توده‌ای، دارند. موارد مختلفی که مهمترین آنها جلوگیری از آلودگی آب‌های زیرزمینی و سطحی توسط محلول‌های فروشویی می‌باشد. بایستی مورد توجه قرار گیرند. با توجه به عمر محدود این بستر ناتراوا بایستی به مسائل زیست محیطی سازه، هم در کوتاه‌مدت و هم در درازمدت، توجه شود. سرریز شدن محلول در اثر نزولات جوی با شدت بالا، و آلوده کردن محیط‌های اطراف، نیز از جمله مسائلی است که بایستی مدنظر قرار

گیرد. در این تحقیق با انجام آزمایشات متعدد بر روی محلول حاصل از نشت و آب رودخانه در نقاط مختلف به اثرات زیست محیطی ناشی از سرریز شدن محلول به رودخانه در هنگام بارندگی های شدید و نشت محلول حاصل از شستشوی توده های در محدوده هیپ شماره ۳ معدن مس سرچشمه اشاره می شود. سازه های جمع آوری محلول اسیدی که حاوی غلظت های بالایی از فلزات سنگین می باشند به داخل رودخانه شور سرریز کرده و باعث آلودگی محیط زیست می شوند. همچنین رطوبت دراز مدت (معمولاً به طول یک ماه) و دوره های شدیداً مرطوب ممکن است منجر به ایجاد مشکلاتی در چرخه سیال درگیر با ذرات جامد موجود در سازه فروشوئی شوند، و در نتیجه افزایش ریسک سرریز شدن پوندها و نشت اسید به صورت چشمه در اطراف سازه های فروشوئی را به همراه داشته باشند. بنابراین پدیده های ذکر شده می توانند باعث سرریز شدن محلول اسیدی به داخل رودخانه شور شوند و در نتیجه آلودگی آب های سطحی و زیرزمینی، فرسایش توده فروشوئی و به دنبال آن آلودگی سیال درگیر با ذرات جامد را به همراه داشته باشند. مشکلات ویژه ای که می توانند در طول این پدیده ها رخ دهد شامل موارد زیر می باشد: شسته شدن جاده های دسترسی، خرابی دیوارهای نگهدارنده، سیلابی شدن آب آلوده، خرابی پوندهای آب در نتیجه فرسایش اولیه یا سرریز شدن آب، هدر رفتن سیال درگیر در چرخه، در نتیجه شکستن دیوارهای نگهدارنده یا پوندهای آب، فرسایش توده فروشوئی و به دنبال آن آلودگی سیال درگیر با ذرات جامد.

بنابراین ضرورت دارد که آلودگی ناشی از سرریز شدن محلول و نشت اسید در محدوده هیپ شماره ۳ معدن مس سرچشمه مورد بررسی قرار گیرد. و در نهایت راهکارهای مدیریتی صحیحی جهت کنترل این محلول ها صورت گیرد

۶-۲- روش تحقیق و مواد

نمونه برداری از آب، نیاز به آگاهی کامل از اصول نمونه برداری، آماده سازی و نگهداری آب دارد تا بتوان با استفاده از نتایج حاصل از آنالیز داده ها از اثرات منفی نشت مواد اسیدی و آلاینده ها به محیط زیست آگاه

شد. بدین منظور با رعایت اصول و نکات نمونه‌برداری از آب سعی در نمونه‌برداری دقیق از آب‌ها و محلول‌ها صورت گرفت. در این تحقیق، هفت ایستگاه جهت مطالعات آب و محلول‌های موجود در اطراف هیپ شماره ۳ معدن مس سرچشمه در نظر گرفته شد که موقعیت و مختصات جغرافیایی آنها در جدول ۶-۱ ذکر گردیده است. نمونه‌برداری به صورت دستی و در داخل ظروف پلاستیکی پلی‌اتیلنی با حجم ۱۰۰۰-۵۰۰ میلی‌لیتر صورت گرفته است. کلیه مراحل نمونه‌برداری بر اساس دستورالعمل‌های استاندارد موجود بوده است (Environmental Protection Agency (EPA)). نمونه‌های آب و محلول گرفته شده از اطراف هیپ شامل محلول ناشی از نشت اسید، محلول ناشی از سرریز کارخانه لیچینگ به داخل رودخانه شور و آب رودخانه شور در نقاط مختلف می‌باشند.

جدول ۶-۱- محل و موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های نمونه‌برداری آب و محلول

شماره ایستگاه	نام ایستگاه	علامت اختصاری	X(m)	y (m)
۱	سرریز کارخانه لیچینگ	S۱	۳۸۹۸۰۹	۳۳۱۵۷۹۲
۲	آب رودخانه (پایین‌دست کارخانه لیچینگ)	S۲	۳۸۹۷۳۷	۳۳۱۵۷۳۴
۳	محلول نشتی هیپ شماره ۲	S۳	۳۹۰۲۳۴	۳۳۱۵۰۹۵
۴	آب رودخانه (بالادست کارخانه لیچینگ)	S۴	۳۸۹۸۸۱	۳۳۱۵۵۸۶
۵	ترکیب محلول نشتی و آب رودخانه	S۵	۳۹۰۰۱۳	۳۳۱۵۴۲۲
۶	آب رودخانه (پایین‌دست سنگ شکن)	S۶	۳۹۰۰۱۳	۳۳۱۵۴۲۲
۷	آب رودخانه (بالادست سنگ شکن)	S۷	۳۳۹۷۶۵	۳۳۱۴۵۷۸

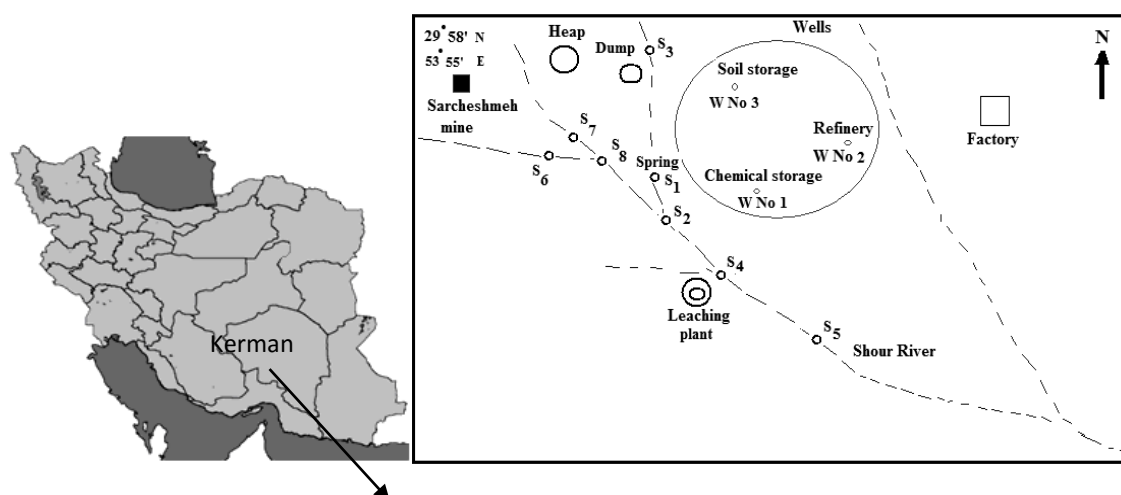
برای جلوگیری از تغییر مقادیر پارامترها عمل تثبیت بلافاصله پس از برداشت، با اضافه کردن اسید نیتریک به یکسری از بطری‌ها به ازای ۱۰۰۰ cc، ۱۰ cc اسید برای نگهداری آب‌ها تا زمان آنالیز بر روی نمونه‌ها انجام

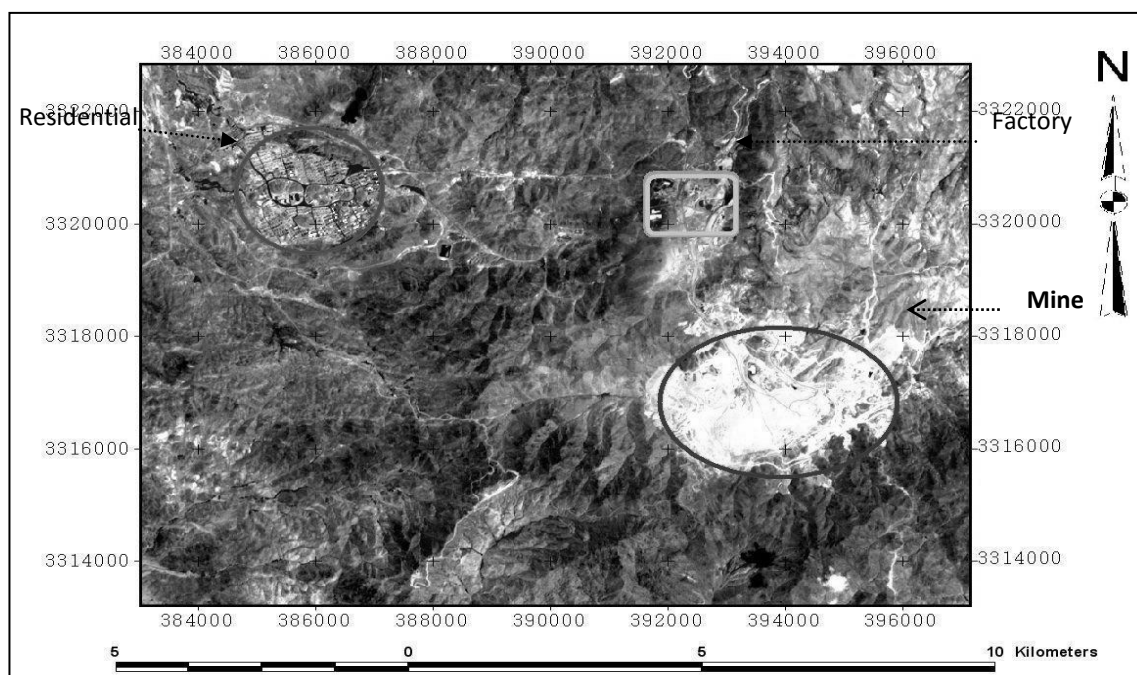
شده است (Xavier 1990). پس از آماده‌سازی، نمونه‌ها جهت آنالیز به آزمایشگاه مرکزی مجتمع مس سرچشمه فرستاده شدند و مقدار کل عناصر Cu، Mn، Fe، Mo، Cr، Ni، Co، Cd، Zn، Pb در هر یک از نمونه‌ها توسط دستگاه جذب اتمی اندازه‌گیری شد.

دستگاه‌های مورد استفاده در این مطالعه عبارتند از دستگاه جذب اتمی، ICP، آون، اتوکلاو، ترازو و نمونه‌گیر. در این مطالعه، جهت آنالیز فلزات سنگین در محدوده ppm از روش جذب اتمی شعله ای و در محدوده ppb از روش ICP استفاده شده است. جهت ثبت موقعیت مکانی محل‌های نمونه‌برداری توسط دستگاه GPS انجام شده است. پارامترهای صحرایی نظیر pH (خاصیت اسیدی آب) نیز بلافاصله بعد از نمونه‌برداری توسط دستگاه اندازه‌گیری و ثبت شد. در توصیف نتایج از نرم افزار Excel استفاده گردید.

۳-۶ مکان‌های نمونه‌برداری

در شکل ۱-۶ مکان‌های نمونه‌برداری مشخص گردیده است. نمونه‌برداری از سرریز کارخانه لیچینگ، آب رودخانه (پایین‌دست کارخانه لیچینگ)، محلول نشتی هیپ شماره ۲، آب رودخانه (بالادست کارخانه لیچینگ)، ترکیب محلول نشتی و آب رودخانه شور، آب رودخانه (پایین‌دست سنگ شکن) و آب رودخانه شور (بالادست سنگ شکن) صورت گرفته است.



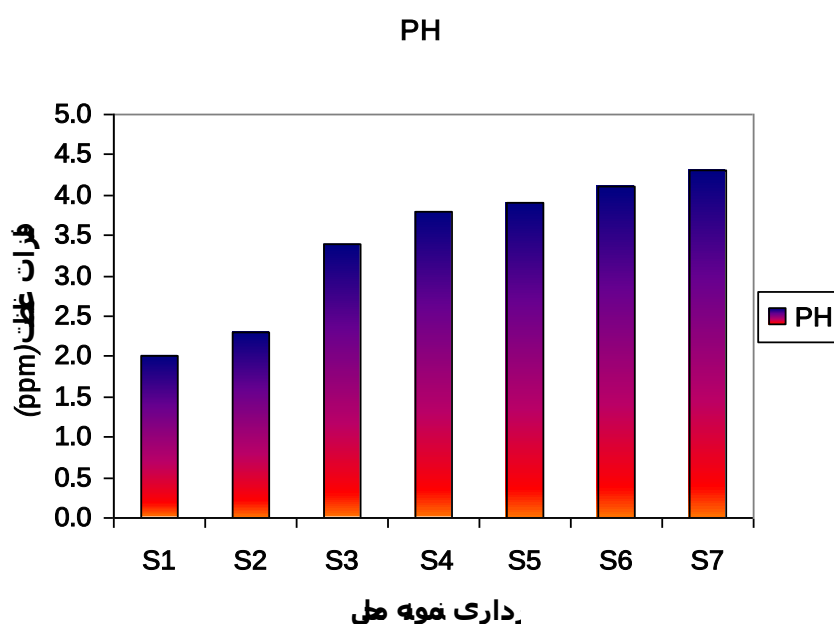


شکل ۶-۱- محل‌های نمونه‌برداری

۴-۶- بحث و نتیجه گیری

نتایج حاصل از محیط ژئوشیمیایی آبی و روند تغییرات عناصر در قالب نمونه‌های آب رودخانه، محلول ناشی از نشت اسید و محلول ناشی از سرریز کارخانه لیچینگ، مورد ارزیابی قرار گرفته است. تحرک عناصر مسمومیت‌زای سنگین در محیط آبی به عنوان بخش مهمی از چرخه ژئوشیمیایی در معادن سولفیدی محسوب می‌گردد. شرایط نمونه‌برداری و اندازه‌گیری عناصر آلاینده در محیط آبی بدلیل پایین بودن حساسیت غالب عناصر مسمومیت‌زا با سایر محیط‌های چرخه ژئوشیمیایی تفاوت فاحش دارد. علاوه بر این روند تغییرات عناصر در نمونه‌های آبی وابسته به روند تغییرات pH می‌باشد. که در قالب تحلیل‌های زیست محیطی باید مدنظر قرار گیرد؛ زیرا pH محیط آبی مهمترین نقش را در انتقال این عناصر ایفا می‌نماید (Stiefel and Busch 1983). جهت تعیین میزان pH نمونه‌ها و همچنین تاثیر آن در انتقال عناصر سنگین، ۷ ایستگاه در محدوده مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. رسم نمودار تغییرات pH در نمونه‌های

آب و محلول مربوط به ایستگاهها در محدوده هیپ شماره ۳ معدن مس سرچشمه دارای روند مشخص، بویژه در pH های اسیدی می‌باشند. بطوریکه محلول ناشی از سرریز کارخانه لیچینگ دارای pH اسیدی‌تری در مقایسه با سایر ایستگاهها می‌باشد. بنابراین درچنین pH هایی گونه‌های فلزی به صورت محلول می‌باشند. علت این موضوع به دلیل این است که محلول باردار حاوی مس، که مستقیماً در نتیجه پاشش اسید سولفوریک رقیق بر سازه فروشوئی حاصل شده دارای pH شدیداً اسیدی می‌باشد. نمودار شکل ۶-۲ روند تغییرات pH نمونه های مربوط به ایستگاههای مختلف را نشان می‌دهد.



شکل ۶-۲- روند تغییرات pH در ۷ ایستگاه در محدوده هیپ شماره ۳ معدن مس سرچشمه

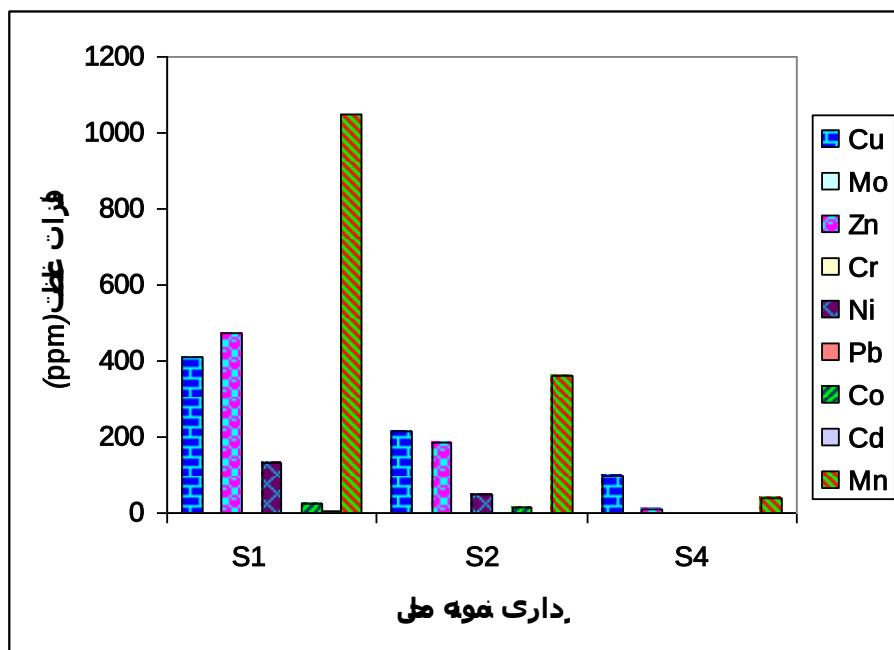
میزان غلظت فلزات سنگین اندازه گیری شده در ۷ ایستگاه در جدول ۶-۲ نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود در ایستگاه S۱ (سرریز کارخانه لیچینگ) و S۲ (محلول ناشی از نشت اسید)، مولیبدن کمترین و منگنز بیشترین غلظت آلاینده‌ها را شامل می‌شوند.

جدول ۶-۲- نتایج آنالیز فلزات سنگین بر حسب ppm در نمونه‌های مربوط به ۷ ایستگاه مختلف

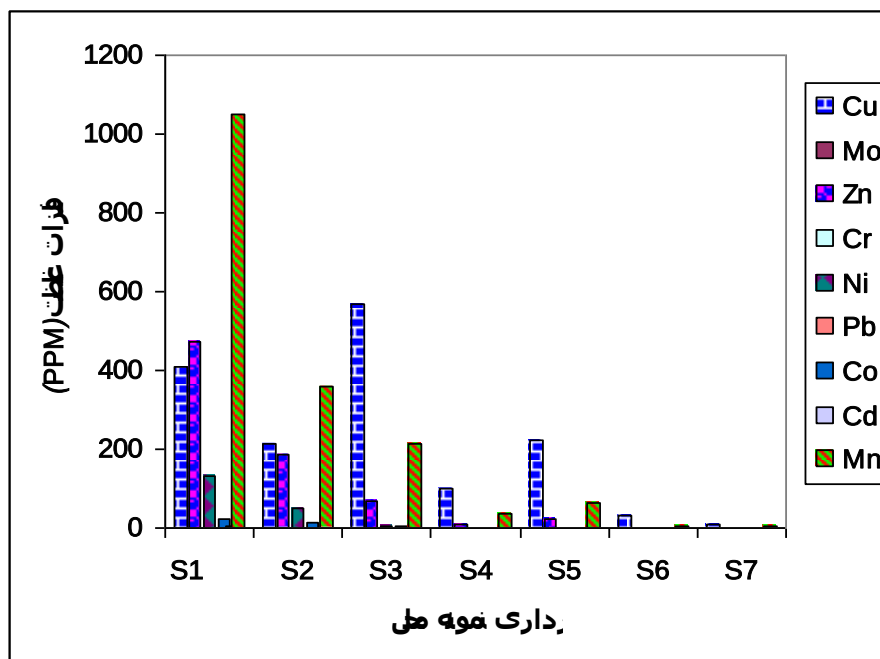
ایستگاه	S۱	S۲	S۳	S۴	S۵	S۶	S۷
فلز	(PPM)	(PPM)	(PPM)	(PPM)	(PPM)	(PPM)	(PPM)

۸۳	۳۲	۲۲۵	۱۰۰	۵۷۰	۲۱۵	۴۱۰	مس
۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۱	۰/۰۱	۰/۱	۰/۳	۰/۶	مولیبدن
۱/۱۳	۱/۵۱	۲۵	۱۰/۹	۶۷	۱۸۵	۴۷۵	روی
۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۲	۰/۷	۱/۳	کروم
۱/۱۵	۱/۱۷	۱/۰۷	۱/۷۲	۲/۶۰	۸۴/۵	۱۳۰	نیکل
۰/۱	۰/۱۸	۰/۲۲	۰/۱۳	۰/۴۰	۱/۰	۱/۸	سرب
۰/۱۲	۰/۱۷	۱/۵	۰/۵۰	۳/۹	۱۲/۵	۲۲/۴	کبالت
۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۱۷	۰/۰۸	۰/۴۵	۱/۷۰	۳/۸۰	کادمیوم
۴/۲	۵/۵	۶۲/۵	۳۷/۵	۲۱۵	۳۶۰	۱۰۵۰	منگنز

همچنین نتایج داده‌ها و آنالیز فلزات سنگین بیانگر ارتباط نزدیک افزایش غلظت عناصر و ضریب غنی‌شدگی این عناصر با منشا محلول‌های اسیدی در محدوده هیپ شماره ۳ می‌باشد، به گونه‌ای که غلظت تمامی عناصر سنگین در نمونه‌های مربوط به رودخانه شور که محلول ناشی از سرریز کارخانه لیچینگ (S۱) و محلول ناشی از نشت اسید (S۲) مستقیماً به آن وارد می‌گردند (به جزء غلظت مس در ایستگاه S۳)، نسبت به سایر نقاط افزایش مشخصی را نشان می‌دهند. نقش و اهمیت pH آب و ماهیت رفتار ژئوشیمیایی عناصر مختلف نسبت به آن با مقایسه غلظت عنصر منگنز با سایر عناصر مشخص می‌شود. غلظت این عنصر در نمونه‌های آب مربوط به سرریز کارخانه لیچینگ که شرایط محیط آبی آن به دلیل محلول‌های جمع‌آوری شده حاصل از عملکرد هیپ ماهیتی اسیدی داشته (گاهی $\text{pH} < 3$) بیشتر از سایر نقاط می‌باشد. این در صورتی است که غلظت سایر عناصر سنگین در این محل در حد پایین‌تری می‌باشد. علت این موضوع تشکیل کمپلکس‌های محلول Mn (ترکیبات منگان) در pH های اسیدی و شرایط احیایی می‌باشد. شکل های ۳-۶ و ۴-۶ بیانگر روند تغییرات غلظت عناصر در نمونه‌های آبی مختلف در محدوده هیپ شماره ۳ می‌باشند.



شکل ۳-۶- تغییرات غلظت عناصر در نمونه‌های آبی مختلف در منطقه مورد بررسی



شکل ۴-۶- تغییرات غلظت عناصر در نمونه‌های آب و محلول مربوط به ۷ ایستگاه مختلف، در محدوده هیپ شماره ۳

علاوه بر نمونه‌های آب گرفته شده در نقطه‌ای از آب در پایین دست کارخانه لیچینگ نیز تعداد ۴ نمونه جهت تجزیه، انتخاب و مقادیر عناصر Cu, Ni, Mo, As, Cd, Cr, Mn, Fe, Zn و Pb در آنها اندازه‌گیری شد. مقایسه

غلظت عناصر با مقادیر استاندارد آب آشامیدنی (سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا EPA) نشان می‌دهد که فقط مقادیر عناصر As, Mo و Zn در حد مجاز می‌باشند (شریعت فیض آبادی ۱۳۷۷).

جدول ۶-۳- مقایسه مقادیر عناصر مسمومیت‌زا در نمونه‌های آب رودخانه شور (پایین‌دست کارخانه لیچینگ) با استاندارد آب آشامیدنی (EPA) (تمامی مقادیر بر حسب ppb می‌باشد).

عنصر	Cu	Mo	Zn	Cr	Fe	Ni	Pb	As	Cd	Mn
EPA	۱۰۰۰	۷۰	۵۰۰۰	۰/۸۸	۳۰۰	۰/۰۱	۵۰	۵۰	۱۰	۵۰
آب رودخانه	۱۷۵۰۰	۱۰	۴۲۰۰	۱۰	۱۰۴۰۰	۲۶۰	۸۰	۱۰	۳۰	۱۲۰۰۰

لذا با توجه به تفاسیر بالا، در محیط‌های اسیدی قابلیت حل شدن و جابجایی فلزات تحت تاثیر عوامل مختلفی همچون pH، غلظت عناصر آهن و منگنز قرار می‌گیرد. برخی از این عناصر که حضور آنها موجب نگرانی است عبارتند از: روی، مس، سرب، کادمیم و جیوه، که از نظر زیست محیطی حائز اهمیت می‌باشند (United Nations Environment Programme, technical report 1994). کاتیون‌های فلزی آرسنیک، جیوه، سرب، نیکل، منگنز، مولیبدنیوم، از کاتیون‌های هستند که برای انسان و حیات وحش خطرناک هستند. کاتیون‌های مس، کروم و تمام کاتیون‌هایی که در مورد اول نام برده شدند برای حیات آبزیان خطرناک می‌باشند. و باعث می‌شوند که اکولوژی رودخانه به شدت تخریب شود (Robb and Robinson 1995). کاتیون‌های آهن، آلومینیوم و روی در صورتی که توسط گیاه جذب شوند سبب مسمومیت گیاهی می‌گردند.

۷-۱- کلیات

جهت ایجاد سازه فروشوئی، بایستی بستری غیر قابل نفوذ ایجاد نمود تا از نفوذ اسید به درون زمین و ایجاد آلودگی در محیط زیست و آب‌های زیرزمینی جلوگیری به عمل آید. مسائل زیست محیطی اهمیت روزافزونی

در مکان‌یابی سازه‌های فروشویی توده‌ای، دارند. موارد مختلفی که مهمترین آنها جلوگیری از آلودگی آب‌های زیرزمینی و سطحی توسط محلول‌های فروشویی می‌باشد، بایستی مورد توجه قرار گیرند. معمولاً در طراحی هیپ از یک بستر ناتراوا، که معمولاً از جنس HDPE می‌باشد، استفاده می‌کنند. با توجه به عمر محدود این بستر ناتراوا بایستی به مسائل زیست محیطی سازه، هم در کوتاه‌مدت و هم در درازمدت، توجه شود. سرریز شدن محلول‌های حاوی غلظت‌های بالای فلزات سنگین در اثر نزولات جوی با شدت بالا، و آلوده کردن محیط‌های اطراف، نیز از جمله مسائلی است که بایستی مدنظر قرار گیرد. همچنین ارائه مدلی که قادر به پیش‌بینی فرآیند درازمدت اکسایش پیریت، تولید اسید و شسته‌شدن و حمل مواد اسیدی حاوی یون‌های مختلف در محدوده هیپ شماره ۳ معدن مس سرچشمه باشد، حائز اهمیت می‌باشد. بنابر تفسیر بالا نتایج و کاربردهای حاصل از پارامترهای زیست محیطی موثر در طراحی، عملکرد و مدیریت سازه فروشویی هیپ شماره ۳ در جهت به حداقل رساندن آلودگی‌های ناشی از فرآیند فروشویی توده‌ای مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۷-۲- طراحی سیستم زهکشی

طراحی ساختار هیپ لیچینگ برای فرآیند هیدرومتالوژی نقش مهمی در میزان راندمان و بهبود کیفیت عملیاتی دارد. یکی از بخش‌های خیلی مهم در طراحی و ساختار کپه‌ها طراحی صحیح سیستم زهکشی محلول باردار از کپه می‌باشد. به طور معمول بعد از انجام کارهای مقدماتی بر روی سطح زمین از قبیل کوبیدن و فشرده‌سازی زمین و نصب ژئوممبران بر روی آن لایه‌ای از شن که دارای نفوذپذیری بالا و کافی می‌باشد در بالای آن قرار می‌گیرد. این لایه نفوذپذیر یک مکان مناسبی برای عبور دادن محلول باردار حاوی مس (PIS) در طول کپه می‌باشد. در بعضی از شرایط مخصوص ضخامت و نوع شن برای لایه زهکشی و قطر داخلی لوله‌های پلی اتیلن نادرست انتخاب می‌گردد. در چنین شرایطی، فشار بیش از اندازه ناشی از وزن باطله‌های اکسیده مس باعث کاهش قطر مقطع لوله‌های پلی اتیلین در راستای نیروی فشاری می‌شود و این امر تا حد زیاد و قابل توجهی باعث کاهش میزان اسید خروجی می‌گردد و تحت این شرایط مقدار اسید پاشیده شده برابر با مقدار اسید زهکشی شده نمی‌باشد. اگر به طور مداوم مقدار اسید در سطح کپه افزایش

پیدا کند باعث به وجود آمدن تبعات و مشکلاتی در فرآیند هیدرومتالوژی خواهد شد که تعدادی از آن در زیر بیان گردیده است:

۱- باعث افزایش زمان تماس بین اسید و کانی‌های موجود در سنگ باطله اکسیده مس خواهد شد که این عمل باعث کثیف شدن بیشتر محلول و حل شدن کانی‌های غیر قابل انتظار خواهد شد.

۲- باعث افزایش فشار هیدرولیکی محلول اسیدی در فصل مشترک میان کپه و ساختار کف آن خواهد شد که این مورد نیز سبب کاهش پایداری سازه‌های فروشوئی و افزایش برش یا تکه شدن کپه خواهد شد. بعضی از اثرات این مورد در سازه فروشوئی شماره ۲ که باعث ایجاد جریانهای ترجیحی و کانالیزه شدن سیستم فروشوئی شده، قابل مشاهده است.

۳- باعث افزایش مقدار جذب محلول توسط محیط و افزایش خطر آلودگی آب‌های زیرزمینی خواهد شد. در طراحی هیپ لیچینگ باید عواملی مانند سرعت، مصرف محلول، شیوه ساختار هیپ و وسایلی که مورد احتیاج است مد نظر قرار گرفته شود.

۷-۳- نحوه استقرار لاینر ژئوممبران

ژئو ممبران که به عنوان آستر هیپ لیچینگ مورد استفاده قرار می‌گیرد به منظور کاهش نفوذ پذیری سیستم کف پوش و همچنین جمع‌آوری مایع لیچ می‌باشد. بهینه‌سازی جمع‌آوری محول لیچ یکی از پیش شرط‌های اقتصادی بودن عملیات هیپ لیچینگ می‌باشد. معمولاً در هنگام ریختن و پهن کردن کوشین (ماسه ریزدانه) بر روی آستری پلاستیکی به عنوان لایه محافظت آستر امکان پاره‌شدگی و شکاف خوردن آن وجود دارد که در چنین شرایطی با استفاده از دستگاه جوش محل آسیب دیده جوشکاری و بهسازی می‌گردد، اثر این مورد در هنگام ساخت هیپ شماره ۳ مشهود می‌باشد. از دیدگاه محیط زیست باید این موضوع را توجه داشت که وجود شکاف در آستر باعث نشت محلول اسیدی به داخل محیط شده که در این صورت ممکن است خطراتی زیستی منطقه را تهدید می‌کند. به منظور جلوگیری از این اتفاق آستر را به

صورت چند طبقه و چند قسمتی طراحی می‌کنند و ترکیبی از ژئو ممبران و مواد طبیعی به صورت چندین لایه استفاده می‌کنند.

۷-۴- آلودگی ناشی از سرریز شدن محلول

در محلول باردار جمع‌آوری شده حاصل از عملکرد فروشوئی توده‌ای غلظت برخی از فلزات سنگین بسیار بالا می‌باشد. آلودگی خاک، آب‌های سطحی و زیرزمینی توسط فلزات سنگین در ارتباط با این محلول‌های اسیدی یک مشکل بزرگ زیست محیطی می‌باشد. آنالیزهای انجام شده بر روی نمونه‌های مربوط به محلول باردار حاوی مس بیانگر این موضوع است که کاهش pH سبب افزایش انحلال پذیری عناصر سنگین و غنی‌شدگی آنها شده است. حضور آب با اسیدیته بالا، حلالیت عناصر سنگین را افزایش داده و مقادیر آنها در آب‌های زهکش شده به طور قابل توجهی زیاد شده است. این مسئله سبب آلودگی سفره‌های آب زیرزمینی و آب رودخانه شور گردیده است. بسیاری از فلزات سنگین با غلظت‌های بالا اثرات کشنده مهمی روی ماهیها و سایر آبزیان دارد و اکولوژی رودخانه‌ها را ویران می‌سازد. فلزات سنگین می‌توانند در لابلای ذرات تشکیل دهنده خاکها قرار گیرند و اثرات زیست محیطی طولانی مدتی را به بار آورند. بسیاری از فلزات سنگین با غلظت‌های بالا بر رشد گیاهان اثرات نامطلوبی دارند. در شرایط معدنی خاص ممکن است تنها تعدادی از فلزات در غلظت‌های بالا و خطرناک یافت شوند که در صورت تولید پساب‌های اسیدی معدن این فلزات به محیط زیست اطراف حمل می‌شوند.

بنابراین باید حداقل امکان از سرریز کردن این محلول‌ها به محیط اطراف با اعمال روش‌های مدیریتی صحیح جلوگیری به عمل آید.

۷-۵- تاثیر دمپ‌های باطله در نحوه انتشار آلودگی در محدوده ساخت سازه فروشوئی

در اطراف هیپ شماره ۳ چندین دمپ باطله وجود دارد که حاوی کانیهای سولفوری می‌باشند اکسید شدن این کانی‌ها به ویژه پیریت توسط اکسیژن و آب خصوصاً در حضور یکسری باکتری‌های خاص موجب ایجاد پساب‌های اسیدی معدن می‌گردد. بنا بر تفاسیر بالا دمپ‌های

باطله موجود در اطراف هیپ باعث تولید اسید و انتشار آلاینده‌های فلزی در محدوده ساخت سازه فروشوئی و همچنین باعث آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی می‌شوند. به همین دلیل در این مطالعه روند اکسایش پیریت در دمپ باطله جهت تولید پتانسیل آلودگی با استفاده از نرم افزار کامپیو تری PHOENICS مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده از مدلسازی همزمان نفوذ اکسیژن و اکسایش پیریت و مقایسه نتایج مدل با داده‌های صحرایی، گویای تولید پساب اسیدی معدن در دمپ‌های باطله اطراف هیپ می‌باشند. از نتایج حاصل از چنین مدلسازی‌هایی می‌توان در پیش‌بینی نرخ اکسایش پیریت، تولید اسید و روند تولید و مهاجرت عناصر استفاده کرد. همچنین این مدل‌ها می‌توانند در کنترل اکسایش پیریت و تولید آلودگی موثر واقع شوند. بعلاوه اینکه مدل‌ها می‌توانند در ارائه راهکارهای مناسب جهت تصفیه آب‌های آلوده و به حداقل رساندن اثرات زیست محیطی مفید واقع گردند.

۶-۷- هیدرولوژی هیپ

جهت طراحی یک سازه آبی علاوه بر اطلاعات هواشناسی و هیدرولوژی اطلاعات دیگری از قبیل شرایط اجتماعی، خطرات و خسارات ناشی از شکست پروژه و غیره مورد نیاز می‌باشد. در واقع اطلاعات هیدرولوژی بخشی از اطلاعات مورد نیاز جهت طراحی را ارائه می‌کند. بنابراین نتیجه تحلیل‌های ارائه شده در این تحقیق بعنوان نتیجه کار خواهد بود. با این حال سعی شده است تا جای ممکن نقش اطلاعات هیدرولوژی در طراحی سازه فروشوئی ۳ مشخص گردد. در زیر خلاصه نتایج و کاربرد آنها در طراحی سازه فروشوئی ۳ مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱-۶-۷- بارندگی

در هنگام طراحی سازه فروشوئی، دو نوع فرآیند بارندگی و رواناب از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. اولین مولفه هیدرولوژی شامل بارندگی‌های کوتاه‌مدت و با شدت زیاد یا پدیده ذوب برف می‌باشد. دومین مولفه شامل دوره‌های تر یا خشک طولانی مدت می‌باشد. در بعضی از اوقات در مناطق پرباران، جهت مدیریت

محلول، احتیاج به خارج کردن آب مازادی که در سیستم جمع شده است، می باشد. همچنین ممکن است جهت جلوگیری از خرابی تجهیزات ذخیره آب، احتیاج به تصفیه و تخلیه محلول باشد.

افزایش حجم پوندها و استفاده از آنها بصورت توالی نیز در مناطق پرباران با اهمیت می باشد. با مهیا کردن پوندهای به اندازه کافی بزرگ و در نظر گرفتن یک پوند برای حوادث احتمالی نیاز به تخلیه را کاهش داده، احتمال خطر محدود می شود. این موضوع مستلزم بررسی دقیق تمامی ورودیها و خروجیها می باشد. البته قبل از تخلیه، سیال باید تصفیه گردد.

در فصل چهارم این تحقیق معیارهای انتخاب پدیده های مختلف بارندگی در طراحی سازه فروشوئی مورد بررسی قرار گرفت. با این حال انتخاب هر یک از پدیده های بارندگی بستگی به ارزش ماده معدنی و تجهیزات بکار رفته در ساخت سازه دارد. همچنین در بعضی از موارد نظر کارفرما نیز در انتخاب معیار طراحی، موثر خواهد بود.

میزان بارندگی، در اندازه و نحوه طراحی پوندها موثر خواهد بود. اندازه پوندها تابعی از میزان تبخیر، شدت و میزان بارندگی ها، سطح سازه فروشوئی، حجم ماده معدنی که بصورت روزانه در سازه فروشوئی مورد بهره برداری قرار می گیرد و خصوصیات ماده معدنی می باشد.

۷-۶-۲- درجه حرارت

درجه حرارت علاوه بر اینکه بر روی میزان تبخیر تاثیر می گذارد، می تواند عملکرد تجهیزات مورد استفاده در سازه فروشوئی را نیز تحت تاثیر قرار دهد. در مناطقی که درجه حرارت بسیار پائین می باشد، احتمال یخزدگی تاسیسات مورد استفاده وجود دارد. در صورت یخزدگی شبکه لوله ها، روند حرکت سیال در چرخه جداسازی ماده معدنی از باطله ها و همچنین جدا کردن ماده معدنی از سیال با مشکل روبرو خواهد شد. تحت این شرایط ممکن است روش های ویژه ای جهت ممانعت از یخزدگی شبکه لازم باشد. سیستم عایق گذاری به اندازه محل ذخیره محلول و شبکه چرخش سیال دارای اهمیت می باشد.

یکی از راه‌های عایق‌گذاری شبکه لوله بکار برده شده، استفاده از ماده معدنی جهت پوشش سیستم قطره‌ای شبکه لوله‌ها است. ضخامت لایه مورد استفاده بستگی به درجه حرارت مورد انتظار محیط و خصوصیات گرمائی ماده معدنی و سیستم چرخش سیال دارد. گرم کردن سیال در حال خروج که بطرف سازه فروشوئی جریان دارد، می‌تواند در تعادل حرارتی نقش داشته باشد. در حال حاضر در ساخت یک پروژه فروشوئی در آلاسکا جهت گرم کردن سیال از درجه حرارت آزاد شده در سازه فروشوئی استفاده می‌شود. همچنین ممکن است مخزن محلول باردار شبیه به مخزن سیال در داخل سازه فروشوئی عایق کاری شود. این امر مستلزم توجه خاص به طراحی در ارتباط با تعادل آب و خصوصیات ماده معدنی به همراه خصوصیات جذب رطوبت می‌باشد. با توجه به آنالیزهای انجام شده کمترین درجه حرارت مشاهده شده در منطقه ۲۲/۵- درجه می‌باشد. همچنین آمار موجود نشان می‌دهند که بطور متوسط در ۸ ماه از سال حداقل یک روز یخبندان وجود خواهد داشت. براساس آمار موجود بطور متوسط در دی ماه ۲۴ روز یخبندان است. لذا توجه به این امر از اهمیت خاصی برخوردار خواهد بود.

۷-۶-۳- تبخیر

در صورتیکه تبخیر در منطقه‌ای که سازه فروشوئی در آن اجرا می‌شود زیاد باشد، تبخیر بیش از حد می‌تواند منجر به عدم تعادل آبی در چرخه سیال شود. در مناطق با تبخیر بالا جهت نگهداشتن حجم آب در محدوده مورد نیاز، احتیاج به حجم بالایی از آب می‌باشد. لذا در این مناطق باید یک منبع تامین آب در نظر گرفت. در این مناطق جهت جلوگیری از تبخیر ممکن است بخش‌هایی از سازه فروشوئی پوشانده شود تا اینکه از تبخیر جلوگیری بعمل آید. همچنین در بعضی از موارد در ساعات با تبخیر بالا ممکن است عملیات فروشوئی متوقف شود.

۷-۶-۴- باد

میزان تبخیر سیال از سطح تپه‌های فروشوئی و همچنین از پاشنده‌ها بستگی به شدت باد نیز دارد. هر چه شدت باد بیشتر باشد به میزان تبخیر افزوده خواهد شد. لذا با دانستن این پارامتر می‌توان برآورد بهتری از میزان تبخیر به دست آورد.

۷-۷- پیشنهادات

۱- جهت بررسی آلودگی احتمالی ناشی از نشت اسید در محدوده هیپ شماره ۲ و ۳ و نفوذ آن به سفره های آب زیر زمینی توصیه می شود چندین چاهک مشاهده ای جهت رفتارنگاری آب های زیرزمینی در محل سازه فروشوئی احداث گردد.

۲- مطالعات هیدرولوژی نقش بسزائی در مراحل طراحی، ساخت و بهره برداری از هیپ و همچنین سایر سازه های آبی بر عهده دارند. اعتبار این مطالعات بستگی کامل به داده های اندازه گیری شده خواهد داشت. بنابراین پیشنهاد می گردد که وضعیت داده های آماری مورد رسیدگی قرار گرفته و نواقص احتمالی آنها برطرف گردد.

۳- به منظور بازیافت بیشتر فلز مس، افزایش راندمان تولید و همچنین جلوگیری از آلودگی آب های سطحی و زیر زمینی توصیه می شود که از سرریز کردن محلول باردار حاوی مس به داخل رودخانه جداً خودداری به عمل آید. و اقدام به احداث و ساخت پوند جهت جمع آوری محلول در مواقع اضطراری نمایند.

۴- در هنگام سرریز کردن محلول به داخل رودخانه با توجه به pH شدیداً اسیدی این محلول پیشنهاد می گردد که از مواد خنثی کننده همانند آهک استفاده کنند. ایجاد تالاب مصنوعی در منطقه جهت خنثی سازی اسیدیته و حذف فلزات یکی دیگر از مواردی است که می تواند در این موارد مورد استفاده قرار گیرد. تا اکولوژی رودخانه را کمتر تحت تاثیر قرار دهد.

۵- انتقال رس به اعماق پائینتر می تواند خسارات جبران ناپذیری بر سازه فروشوئی وارد کند. با توجه به این موضوع پیشنهاد می گردد که طرح تحقیقاتی در این زمینه تعریف گردد تا رفتار رس تحت شرایط مختلف (نوع سیال، درجه حرارت، سرعت پاشش، درصد رطوبت اولیه، استفاده از مواد شیمیائی مکمل و غیره) مشخص گردد.

۶- در صورتیکه سرعت پاشش بهینه نباشد احتمال می‌رود تا جریانات کانالیزه شده و همچنین جریانات ترجیعی ایجاد گردد. بر این اساس پیشنهاد می‌شود که با توجه به رفتار مواد تشکیل دهنده هیپ سرعت پاشش مناسب مشخص گردد.

۷- احداث یک کانال جهت انتقال سیلابهای بالادست به خارج محدوده ساخت هیپ ضروری به نظر می‌رسد.

۸- با توجه به اینکه چندین دمپ باطله در اطراف هیپ شماره ۲ و ۳ قرار دارد بنابراین چنانچه محل انباشت باطله ها در مجاورت هوازدگی و ریزش‌های جوی قرار گیرند، اکسید شدن کانیهای سولفوری به ویژه پیریت منجر به تولید پساب اسیدی می‌گردد. که با کاهش مقادیر pH، بالارفتن میزان غلظت یونهای فلزی و در نهایت افزایش میزان سولفات ها همراه می‌باشند. لذا توصیه می‌شود با پوشش مناسب باطله های معدن و با جلوگیری از نفوذ اکسیژن به داخل آنها تا حد زیادی از تشکیل اسید جلوگیری به عمل آید.

جدول (۱) : میزان کل بارش در ایستگاه معدن مس سرچشمه

ماه سال	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
1983	10.8	*	129.7	57	12.5	0	7	1.5	1.5	0	0	1
1984	19.8	42.1	173.8	22.2	32.8	0	0	0	0	0	8.5	1
1985	35.3	53.6	75	4	27.9	2	2	*	0	0	5.2	1
1986	3.4	50.3	165.8	33	3.5	1	0	6	0	0	48.6	4
1987	0	3.5	93.6	30.8	10	0	12	1.5	0	10.7	1.3	
1988	91.2	85.3	45.2	20.3	0	0	0	3.5	0	0	3	9
1989	20.7	12.6	61.5	20.5	0	0	0	0	0	0	18.4	3
1990	47.4	127.6	40.6	16	0	0	1.3	1	0	0	9	1
1991	84.2	47.2	192.6	22.1	0	0	0	0	0	3.4	7.8	1
1992	90.4	0	29.2	34.4	44	0	0	0	0	0	0	
1993	116	281	74.2	33.6	0	0	0	1	0	0.4	0	
1994	19.3	7	194.5	8	46.5	0	0	2	7.5	19.5	27	9
1995	68	266.2	137.8	87.2	6.2	0.4	0	0	0	18	0	8
1996	80.5	84.5	254.4	43.5	1	0	0	0	0	0	0.4	1
1997	81.4	17.5	155.5	58.5	7.5	1.5	0	0	0	21.7	48.1	6
1998	96	75.1	103.8	8.5	0	0	0	0	0	0	0	
1999	74.7	240	216.9	0	0	0	0	0	0	0	0.5	
2000	122.8	5.7	0.3	1	0	0	0	0	0	0	36.6	6
2001	7.9	28	24.2	0	2.5	16.3	9.3	0.3	4.1	0	4.5	9
جمع	1069.8	1427.2	2168	500.6	194.4	21.2	31.6	16.8	13.1	73.7	218.9	14
میانگین	56.31	79.29	114.1	26.35	10.23	1.12	1.66	0.93	0.69	3.88	11.52	8

جدول (۲) : میزان بارندگی در ایستگاه معدن مس سرچشمه

ماه سال	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November	December
1983	1.2	*	103.2	35.2	12.5	0	7	1.5	1.5	0	0	
1984	0	0	144.8	22.2	32.8	0	0	0	0	0	8.5	
1985	6.3	45.6	32	4	27.9	2	2	*	0	0	5.2	
1986	0	0	150.7	33	3.5	1	0	6	0	0	43.6	
1987	0	3.5	82.6	30.8	10	0	12	1.5	0	10.7	0	
1988	24	24	7.1	20.3	0	0	0	3.5	0	0	3	
1989	10.1	0	0	20.5	0	0	0	0	0	0	9.8	
1990	0	79.9	22.2	16	0	0	1.3	1	0	0	9	
1991	4	23.3	122.2	22.1	0	0	0	0	0	3.4	4.3	
1992	0	0	19	18.3	44	0	0	0	0	0	0	
1993	30	49	63.2	33.6	0	0	0	1	0	0.4	0	
1994	0	1	139.5	8	46.5	0	0	2	7.5	19.5	27	
1995	0	266.2	137.8	82.2	6.2	0.4	0	0	0	18	0	
1996	7	33	199.8	43.5	1	0	0	0	0	0	0.4	
1997	0	6	80.1	58.5	7.5	1.5	0	0	0	21.7	35.1	
1998	41.5	9.1	103.8	8.5	0	0	0	0	0	0	0	
1999	40.8	226	187.9	0	0	0	0	0	0	0	0.5	
2000	47.7	5.7	0.3	1	0	0	0	0	0	0	31.1	
2001	0	0	24.2	0	2.5	16.3	9.3	0.3	4.1	0	4.5	
جمع	212.6	772.3	1620.4	457.7	194.4	21.2	31.6	16.8	13.1	73.7	182	
میانگین	15.7	42.9	84	24.9	10.2	1.1	1.6	0.9	0.7	3.8	9.6	

جدول (۳) : میزان بارندگی در ایستگاه معدن مس سرچشمه

ماه سال	January	February	March	April	May	June	July	August	September	October	November
1983	9.6	*	26.5	21.8	0	0	0	0	0	0	0
1984	19.8	42.1	29	0	0	0	0	0	0	0	0
1985	29	8	43	0	0	0	0	*	0	0	0
1986	3.4	50.3	15.1	0	0	0	0	0	0	0	5
1987	0	0	11	0	0	0	0	0	0	0	1.3
1988	67.2	61.3	38.1	0	0	0	0	0	0	0	0
1989	10.6	12.6	61.5	0	0	0	0	0	0	0	8.6
1990	47.4	47.7	18.4	0	0	0	0	0	0	0	0
1991	80.2	23.9	70.4	0	0	0	0	0	0	0	3.5
1992	90.4	0	10.2	16.1	0	0	0	0	0	0	0
1993	86	232	11	0	0	0	0	0	0	0	0
1994	19.3	6	55	0	0	0	0	0	0	0	0
1995	68	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0
1996	73.5	51.5	54.6	0	0	0	0	0	0	0	0
1997	81.4	11.5	75.4	0	0	0	0	0	0	0	13
1998	54.5	66	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1999	33.9	14	29	0	0	0	0	0	0	0	0
2000	75.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5.5
2001	7.9	28	0	0	0	0	0	0	0	0	0
جمع	857.2	654.9	548.2	42.9	0	0	0	0	0	0	36.9
میانگین	43.3	36.5	27.5	2.1	0	0	0	0	0	0	1.95

اورندی، س. ۱۳۸۵. تاثیر دمپ های باطله در ایجاد زهاب اسیدی معدن مس سرچشمه. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم تهران.

گزارشات امور تحقیقات و مطالعات هیدرومتالورژی مس، ۱۳۸۵، مجتمع مس سرچشمه.

گزارشات بخش زمین شناسی معدن مس سرچشمه، ۱۳۸۵، مجتمع مس سرچشمه.

دوراندیش، م. ۱۳۸۱. بررسی اثرات زیست محیطی زهاب اسیدی در معدن مس سرچشمه، گزارش تحقیقاتی واحد آب و محیط زیست امور تحقیقات و مطالعات مجتمع مس سرچشمه، ۲۲۷.

جویاب نو، ۱۳۷۶. بازنگری مرحله اول مطالعات طرح استفاده بهینه و مرحله اول مطالعات تصفیه آب رودخانه شور.

شهاب پور، ج. ۱۳۷۶. پیدایش کانسار سرچشمه. دومین سمپوزیوم معدنکاری ایران، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

شفیعی، ب. ۱۳۷۹. مطالعه رخداد و پراکندگی ژئوشیمیایی و مدل فلززائی طلا و نقره در کانسار مس پورفیری سرچشمه. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

عبداللهی، م. ۱۳۷۸. هیدرومتالورژی، کلیات و لیچینگ کانیهای مختلف، ص ۱-۵۰.

قادری، م. ۱۳۸۳. قابلیت تولید پتانسیل زهاب اسیدی باطله های کارخانه زغالشویی البرز شرقی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

معطری، س. ۱۳۸۰. گزارش بازدید از کارخانه GSE تایلند، پروژه هیپ ۲. معدن مس سرچشمه.

وقار، ر. ۱۳۷۸. هیدرومتالورژی، انتشار شرکت ملی صنایع مس ایران، ص ۱-۱۰۰.

Atkin, A.S., and Pooley, F.D. 1982. **The effects of bio-mechanisms on acid mine drainage in coal mining. International Journal of Mine Water, NO. 1, PP.31-44.**

Bartlett, R.W. 1998. **Solution Mining**. Published by License under the Gordon and Breach Science Publishers Imprint, 2nd ed.

Cathles, L.M. and Apps, J.A. 1975. **A model of the dump leaching process that incorporates oxygen balance, heat balance and air convection**. Metallurgical Transactions B. Volume 6B. pp.617-624.

CHAM, 2006, **The PHOENICS On-Line Information System**,
http://www.cham.co.uk/phoenics/d_polis/polis.htm.

Davis, G.B. and Ritchie, A.I.M. 1986. **A model of oxidation in pyritic mine wastes: part 1: Equations and approximate solution**. *Applied Mathematical Modelling*, 10 (5), pp.314-322.

Doulati Ardejani, F., Singh, R.N. and Baafi, E.Y. 2004. **Use of PHOENICS for solving one dimensional mine pollution problems**. *The PHOENICS Journal: Computational Fluid Dynamics & its applications*, Volume 16, CHAM, UK, p 23.

Doulati Ardejani, F. 2003. **Hydrogeological Investigation of Backfilled Surface Coal Mine Sites**, *PhD Thesis*, University of Wollongong, Australia, p 435.

Domenico, P.A. and Schwartz, F.W. (1990). *Physical and chemical hydrogeology*, 1st edition, John Wiley & Sons, Inc., New York, 824 p.

Elberling, B, Nicholson, R.V. and Scharer, J.M. 1994. **A combined kinetic and diffusion model for pyrite oxidation in tailings: a change in controls with time**. *Journal of Hydrology*, 157(1), pp.47-60.

Environment Australia, 1997. **Managing sulphidic mine wastes and acid drainage. One booklet in a series on best practice environmental management in mining**. Commonwealth of Australia.

Environmental Protection Agency (EPA), 1999. **Standard Method**.

Freeze, R.A.1975. **Stochastic conceptual analysis of one-dimensional ground water flow in nonuniform heterogeneous media, water resources**. Res.vol 11, No 5,pp 725-741.

Garcia, C. and Miller, D., 2005. **Saturated Flow characteristics in column leaching as described by LB simulation**. Journal of Hydrology, 157(1), pp.47-60.

Hutchison, A. 1999. **Surface Water Control-Water Balance**. Journal of Hydrology, 127(1), pp.43-60.

Industrial Research Assistance Program (IRAP). **Demonstration of Application of Unsaturated Zone Hydrology for Heap Leach Optimization**, Industrial Contract #332407 and Okane Consultants inc.125 B105th Street East Saskatoon, Sk, S7N 1Z2, Report No 628-1.

James.B and Lancaster.T,1998. **Physical Parameters of Heap Leaching at Girilambone Copper Company**, ALTA. Res.vol 11, No 5,pp 725-741.

Jaynes, D.B. 1983. **Atmosphere and temperature within a reclaimed coal-stripmine and a numerical simulation of acid mine drainage from stripmined lands**. Ph.D. dissertation, Pa. State Univ., University Park, pp.161-170.

John, F. Lupo, Ph.D. 1995. **Design and Operation of Heap Leach Pads**.

Levenspiel, O. (1972) **Chemical Reaction Engineering**, John Wiley, New York, 578p.

Lottermoser, 2003. **Mine wastes**. Springer- Verlag New YORK, 227,p.

Nordstrom, 1982. **Aqueous Pyrite oxidation and the subsequent formation of secondary iron minerals**. In: **Acid sulphate weathering (Ed)**, Kitterick J and others. Madison, WI: SSSA.PP.

Readett, D.J. 1999. **Heap Leaching, Bio Mine 99 and Wammo 99**. , P.P.1063-1065.

Readett.D and Miller.G, 1996. **Practical Aspect of Heap Leaching**, ALTA.

Richard, F. 1986. **Design Strategies for Heap Leach in Extreme Environments**. , P.P.1063-1065.

Robb,G.A. and Robinson, J.D.F, 1995. **Acid drainage from mines**, The Geographical Journal.

Rogowski, A.S, Pionke, H.B., and Broyan, J.G. 1977. **Modelling the impact of strip mining and reclamation processes on quality and quantity of water in mined areas: A review**. Journal of Environmental Quality, 6 (3), pp.237-244.

Sams. I and Kevin M. Beer. 2000. **Effect of Coal Mine Drainage on Stream Water Quality**, U.S. Geological survey.

Smith ,M.E, Welkner, P. M, 1994. **Liner System in Chilean Copper and Gold Heap Leaching. Fifth International Conference on Geotextiles, Geomembranes and Related Products**, P.P.1063-1065.

Stiefel, R.C. and Busch, L,L,1983. **Surface water quality monitoring surface mining. Environmental monitoring and reclamation handbook**, L.V.A Sendlein, H. Yazicigil and C.L.Carlson, Elsevier Science Publishing Co.

Bouffard, S. and G.Dixon, 1985. **Heap leaching processes**. British columbia's Can **Environments**.ada V6T1Z4.

Van Zyl, D, Hutchison, I., and Kiel, J.E., 1988. **Introduction to Evaluation, Design and Operation of Precious Metal Heap Leaching Projects**, Society of Mining Engineers, Inc., Littleton, Colorado.

Van Zyl, D.J.A., and Kiel, J.E., 1990. **Environmental Control in Percolation Leaching, Environmental Control in Leaching**. Society of Mining Engineers, Inc., Littleton, Colorado.

www.ngdir.ir.

Xavier, R.N, 1990. **Environmental-biochemical aspect of heavy metals in acid mine water.**
International Symposium on acid water in Pyritic Environment, Lisbon.