

رسالة الرجل من الرجل



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه اکتشاف معدن

مطالعات کانی شناسی - ژئوشیمیائی بر روی پیریت های موجود در سنگ معدن، باطله های معدنی و باطله های فرآوری معدن مس سرچشمه از دیدگاه زیست محیطی

طیبه نیک زاد

استاد راهنما:

دکتر آرزو عابدی

اساتید مشاور:

دکتر سعید یوسفی

مهندس عصمت اسماعیل زاده

پایان نامه جهت اخذ درجه ی کارشناسی ارشد

اسفند ۱۳۹۴



دانشکده : مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

گروه : اکتشاف معدن

پایان نامه کارشناسی ارشد خانم طیبه نیک زاد به شماره دانشجویی: ۹۲۱۴۷۷۴

تحت عنوان:

مطالعات کانی شناسی - ژئوشیمیایی بر روی پیریت های موجود در سنگ معدن، باطله های معدنی و باطله های فرآوری معدن مس سرچشمه از دیدگاه زیست محیطی

در تاریخ ۱۳۹۴/۱۲/۱۵ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی : دکتر سعید یوسفی		نام و نام خانوادگی : دکتر آرزو عابدی

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی : دکتر اصغر عزیزی		نام و نام خانوادگی : دکتر محمد کارآموزیان دکتر رضا قوامی ریابی

تقدیم به

پدر و مادر عزیز و مهربانم که در سختی‌ها و دشواری‌های زندگی همواره یآوری دلسوز و فداکار و پشتیبانی محکم و مطمئن برایم بوده‌اند.

تشکر و قدردانی

شکر شایان نثار ایزد منان که توفیق را رفیق راهم ساخت تا این پایان نامه را به پایان برسانم . از استاد گرانقدر سرکار خانم دکتر آرزو عابدی به عنوان استاد راهنما که همواره مرا را مورد لطف و محبت خود قرار داده اند و بخاطر راهنمایی‌های ارزشمندشان در تمام مراحل انجام این پایان نامه کمال تشکر را دارم.

جناب آقای دکتر یوسفی استاد مشاور، که در طول نگارش این مجموعه، همواره از نظرات کارشناسانه شان بهره جستیم.

این پژوهش با حمایت‌های مادی و معنوی امور تحقیق و توسعه مجتمع مس سرچشمه انجام شده است. به این وسیله مراتب تشکر و قدردانی خود را از مدیریت محترم امور تحقیق و توسعه خانم مهندس نوروژی، ریاست محترم بخش تحقیقات آب و محیط زیست و همچنین مشاور صنعتی این پروژه خانم مهندس اسماعیل زاده ابراز می‌نمایم.

و از دوستان عزیزم خانم لیلا فلاحی زاده، فاطمه گل محمدی، اعظم سقلاطون، فاطمه سلیمانی و فاطمه خسروی که فضایی آرام و دوستانه را با آنان تجربه کردم و دیگر دوستانی که مرا در انجام این تحقیق یاری نمودند، قدردانی و تشکر می‌نمایم.

در نهایت وظیفه خود می‌دانم که از پدر و مادر مهربانم و خواهر عزیزم فاضله بخاطر زحمات و از خود گذشتگی‌هایشان در مسیر انجام این تحقیق تشکر و قدردانی کنم.

طیبه نیک‌زاد

اسفندماه ۱۳۹۴

تعهد نامه

اینجانب طیبه نیک‌زاد دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی معدن گرایش اکتشاف دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه مطالعات کانی‌شناسی- ژئوشیمیایی بر روی پیریت های موجود در سنگ معدن، باطله های معدنی و باطله های فرآوری معدن مس سرچشمه از دیدگاه زیست محیطی

تحت راهنمایی دکتر آرزو عابدی متعهد می شوم:

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

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

هوازدگی کانی پیریت به عنوان یک فاز کانیایی غالب در ذخایر مس پورفیری منجر به تولید پساب اسیدی می‌شود. ترکیب شیمیایی پیریت، مشخصات کانی‌شناسی و بافتی پیریت و همچنین همراهی با دیگر کانی‌ها در نرخ اکسیداسیون این کانی و آزادسازی عناصر سمی از آن موثر می‌باشد. در این پایان‌نامه به بررسی ترکیب شیمیایی پیریت‌های معدن مس سرچشمه پرداخته می‌شود. مطالعات کانی‌شناسی بر روی حدود ۱۵۰ مقطع صیقلی از نمونه‌های دمپ باطله، سنگ معدن و باطله فرآوری و آنالیز حدود ۲۰۰ نقطه از پیریت صورت گرفته‌است. مهم‌ترین کانی‌های شناسایی شده در دمپ باطله، سنگ معدن و باطله فرآوری به ترتیب شامل: پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، گالن، کوولیت و مگنتیت؛ پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، کالکوزیت، کوولیت، دیژنیت و مولیبدنیت؛ پیریت و کالکوپیریت. بررسی ترکیب شیمیایی در نمونه‌های فوق توسط آنالیز الکترون مایکروپروب (EPMA) صورت گرفت. براساس نتایج حاصل از آنالیز الکترون مایکروپروب محدوده غلظت عناصر زیر در پیریت دمپ باطله، سنگ معدن و باطله فرآوری به ترتیب زیر است: آهن (۴۸/۶۳ - ۴۵/۶۸) درصد وزنی، گوگرد (۵۵/۲۸ - ۴۹/۴۸) درصد وزنی، آرسنیک (۸۴۰۰ - ۱۰۰) گرم بر تن، مس (۱۱۳۰۰ - ۱۰۰) گرم بر تن، نیکل (۲۹۰۰ - ۱۰۰) گرم بر تن، کبالت (۱۹۰۰ - ۱۰۰) گرم بر تن، کادمیم (۹۰۰ - ۱۰۰) گرم بر تن، آنتیموان (۵۰۰ - ۱۰۰).

عنصر آرسنیک به عنوان یک عنصر فرار و بسیار سمی محسوب می‌شود و دارای مقادیر بالایی در پیریت‌های مورد مطالعه می‌باشد. این عنصر می‌تواند سبب ایجاد آلودگی در منطقه شود. همچنین منشا آرسنیک در پیریت‌های دمپ باطله علاوه بر پیریت، کانی سولفوسالت نیز می‌باشد.

کلمات کلیدی: پیریت، زهاب اسیدی، کانی‌شناسی، آنالیز EPMA، معدن مس سرچشمه

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

- مطالعات کانی شناسی به عنوان راهکاری برای تعیین عناصر بالقوه سمی در پیریت های دمپ باطله مطالعه موردی: دمپ ۱۹ و ۳۱ معدن مس سرچشمه دومین کنگره بین المللی زمین شناسی کاربردی مشهد، اردیبهشت ۹۴
- بررسی غلظت آرسنیک در پیریت های دمپ باطله مطالعه موردی: دمپ ۱۹ و ۳۱ معدن مس سرچشمه هفتمین همایش انجمن زمین شناسی اقتصادی، دامغان شهریور ۹۴

فهرست مطالب

۱	فصل اول: کلیات و مروری بر مطالعات پیشین
۲	۱-۱ مقدمه
۴	۲-۱ اهمیت مطالعات کانی‌شناسی در معدن‌کاری مدرن به ویژه پیریت
۵	۱-۲-۱ پیریت از دیدگاه زیست محیطی و فرآوری
۵	۲-۲-۱ اکسیداسیون پیریت
۶	۱-۲-۲-۱ اندازه ذره پیریت، تخلخل و ناحیه سطحی آن
۷	۲-۲-۲-۱ بلورشناسی پیریت
۷	۳-۲-۲-۱ جانشینی عناصر کمیاب
۷	۴-۲-۲-۱ حضور دیگر سولفیدها
۸	۵-۲-۲-۱ دمای باطله‌ها
۸	۶-۲-۲-۱ غلظت اکسیژن در محیط آبی و گاز
۹	۷-۲-۲-۱ غلظت دی‌اکسید کربن در محیط آبی و گاز
۹	۸-۲-۲-۱ فراوانی آب
۹	۹-۲-۲-۱ نسبت $\frac{Fe^{+2}}{Fe^{+3}}$ در محلول
۱۱	۳-۱ معرفی منطقه مورد مطالعه
۱۱	۱-۳-۱ موقعیت جغرافیایی، راه‌های دسترسی و پوشش گیاهی منطقه

۱۲	۲-۳-۱ زمین‌شناسی معدن مس سرچشمه
۱۴	۴-۱ مرور مطالعات زیست‌محیطی پیشین در منطقه سرچشمه
۱۸	۵-۱ پیشینه تحقیق
۱۹	۶-۱ ضرورت انجام و هدف از پژوهش
۲۰	۷-۱ ساختار پایان نامه
۲۱	۸-۱ روش مطالعه
۲۳	فصل دوم: نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها
۲۴	۱-۲ مقدمه
۲۴	۲-۲ نمونه‌برداری
۲۴	۱-۲-۲ نمونه‌برداری از سنگ معدن
۲۶	۲-۲-۲ نمونه‌برداری از دمپ باطله
۲۷	۳-۲-۲ نمونه‌برداری از باطله‌های فرآوری
۳۱	۳-۲ آماده‌سازی نمونه‌ها جهت تهیه مقاطع صیقلی
۳۲	۴-۲ آماده‌سازی نمونه‌ها جهت آنالیز الکترون میکروپروب
۳۲	۵-۲ روش آنالیز نمونه‌ها
۳۲	۱-۵-۲ آنالیز الکترون میکروپروب (EMPA)
۳۵	فصل سوم: بررسی‌های کانی‌شناسی بر روی دمپ باطله معدن مس سرچشمه
۳۶	۱-۳ مقدمه
۳۶	۲-۳ کانه‌نگاری مقاطع صیقلی تهیه شده از نمونه‌های دمپ باطله معدن مس سرچشمه

۴۰	۳-۳ آنالیز الکترون مایکروپروب پیریت نمونه‌های دمپ باطله معدن مس سرچشمه
۵۳	فصل چهارم: بررسی‌های کانی‌شناسی بر روی سنگ معدن مس سرچشمه
۵۴	۱-۴ مقدمه
۵۴	۲-۴ کانه‌نگاری مقاطع صیقلی تهیه شده از نمونه‌های سنگ معدن مس سرچشمه
۶۱	۳-۴ آنالیز الکترون مایکروپروب پیریت نمونه‌های سنگ معدن مس سرچشمه
۶۷	فصل پنجم: بررسی‌های کانی‌شناسی بر روی باطله فرآوری معدن مس سرچشمه
۶۸	۱-۵ مقدمه
۶۸	۲-۵ کانه‌نگاری مقاطع صیقلی تهیه شده از نمونه باطله فرآوری معدن مس سرچشمه
۷۲	۳-۵ آنالیز الکترون مایکروپروب پیریت نمونه‌های باطله فرآوری معدن مس سرچشمه
۷۹	فصل ششم: بحث و نتیجه‌گیری و پیشنهادات
۸۰	۱-۶ مقدمه
۹۱	۲-۶ نتیجه‌گیری
۹۳	۳-۶ پیشنهادات

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱ تصویر میکروسکوپی پیریت فرامبوئیدال ۶
- شکل ۲-۱ نقشه راه‌های ارتباطی استان کرمان و موقعیت معدن مس سرچشمه ۱۲
- شکل ۳-۱ موقعیت کانسار مس سرچشمه بر روی کمربند دهج- ساردوئیه ۱۳
- شکل ۴-۱ دیاگرام مراحل اجرای پایان نامه ۲۱
- شکل ۱-۲ نمایی از پیت معدن مس سرچشمه ۲۵
- شکل ۲-۲ نمونه‌های برداشت شده از پیت معدن مس سرچشمه ۲۵
- شکل ۳-۲ نقشه دمپ‌های معدن مس سرچشمه ۲۶
- شکل ۴-۲ موقعیت نقاط نمونه‌برداری از سد رسوبگیر معدن مس سرچشمه ۲۸
- شکل ۵-۲ بخش‌های مختلف سد رسوبگیر مجتمع مس سرچشمه ۳۰
- شکل ۶-۲ حوضچه باتلاقی در سد رسوبگیر معدن مس سرچشمه ۳۰
- شکل ۷-۲ نمونه‌برداری از سد رسوبگیر معدن مس سرچشمه ۳۱
- شکل ۱-۳ پیریت در مقاطع صیقلی دمپ باطله- نور انعکاسی ppl ۳۷
- شکل ۲-۳ کالکوپیریت در مقاطع صیقلی دمپ باطله- نور انعکاسی ppl ۳۸
- شکل ۳-۳ شکل گالن در مقاطع صیقلی دمپ باطله- نور انعکاسی ppl ۳۹
- شکل ۴-۳ اسفالریت و کوولیت در مقاطع صیقلی دمپ باطله- نور انعکاسی ppl ۳۹
- شکل ۵-۳ مگنتیت در مقاطع صیقلی دمپ باطله- نور انعکاسی ppl ۴۰
- شکل ۶-۳ تصاویر میکروسکوپ الکترونی نقاط آنالیز شده در نمونه‌های دمپ باطله ۴۷
- شکل ۷-۳ تصاویر میکروسکوپ الکترونی نقاط آنالیز شده در نمونه‌های دمپ باطله ۴۸

- شکل ۳-۸ تصاویر میکروسکوپ الکترونی نقاط آنالیز شده در نمونه‌های دمپ باطله ۴۹
- شکل ۳-۹ تصاویر میکروسکوپ الکترونی نقاط آنالیز شده در نمونه‌های دمپ باطله ۵۰
- شکل ۳-۱۰ تصاویر میکروسکوپ الکترونی نقاط آنالیز شده در نمونه‌های دمپ باطله ۵۱
- شکل ۳-۱۱ تصاویر میکروسکوپ الکترونی نقاط آنالیز شده در نمونه‌های دمپ باطله ۵۲
- شکل ۴-۱ پیریت در مقاطع صیقلی سنگ معدن- نور انعکاسی ppl ۵۶
- شکل ۴-۲ همراهی پیریت و کالکوپیریت در مقاطع صیقلی سنگ معدن- نور انعکاسی ppl ۵۷
- شکل ۴-۳ کالکوپیریت در کنار کانی‌های دیگر در مقاطع صیقلی سنگ معدن- نور انعکاسی ppl ۵۹
- شکل ۴-۴ کالکوپیریت در کنار کانی‌های دیگر در مقاطع صیقلی سنگ معدن- نور انعکاسی ppl ۶۰
- شکل ۴-۵ کالکوسیت، کوولیت و دیژنیت در مقاطع صیقلی سنگ معدن- نور انعکاسی ppl ۶۱
- شکل ۴-۶ تصاویر میکروسکوپ الکترونی نقاط آنالیز شده در نمونه‌های سنگ معدن ۶۴
- شکل ۴-۷ تصاویر میکروسکوپ الکترونی نقاط آنالیز شده در نمونه‌های سنگ معدن ۶۵
- شکل ۴-۸ تصاویر میکروسکوپ الکترونی نقاط آنالیز شده در نمونه‌های سنگ معدن ۶۶
- شکل ۵-۱ پیریت در مقاطع صیقلی باطله فرآوری- نور انعکاسی ppl ۶۹
- شکل ۵-۲ پیریت در کنار کالکوپیریت در مقاطع صیقلی باطله فرآوری- نور انعکاسی ppl ۷۰
- شکل ۵-۳ کالکوپیریت در مقاطع صیقلی باطله فرآوری- نور انعکاسی ppl ۷۱
- شکل ۵-۴ تصاویر میکروسکوپ الکترونی نقاط آنالیز شده در نمونه‌های باطله فرآوری ۷۵
- شکل ۵-۵ تصاویر میکروسکوپ الکترونی نقاط آنالیز شده در نمونه‌های باطله فرآوری ۷۶
- شکل ۵-۶ تصاویر میکروسکوپ الکترونی نقاط آنالیز شده در نمونه‌های باطله فرآوری ۷۷

- شکل ۱-۶ میانگین، حداقل و حداکثر غلظت آرسنیک در پیریت‌های دمپ باطله، سنگ معدن و باطله
فرآوری ۸۸
- شکل ۲-۶ میانگین، حداقل و حداکثر غلظت مس در پیریت‌های دمپ باطله، سنگ معدن و
باطله فرآوری ۸۸
- شکل ۳-۶ میانگین، حداقل و حداکثر غلظت روی در پیریت‌های دمپ باطله، سنگ معدن و
باطله فرآوری ۸۹
- شکل ۴-۶ میانگین، حداقل و حداکثر غلظت کادمیم در پیریت‌های دمپ باطله، سنگ معدن و
باطله فرآوری ۸۹
- شکل ۵-۶ میانگین، حداقل و حداکثر غلظت کبالت در پیریت‌های دمپ باطله، سنگ معدن و
باطله فرآوری ۹۰
- شکل ۶-۶ میانگین، حداقل و حداکثر غلظت نیکل در پیریت‌های دمپ باطله، سنگ معدن و
باطله فرآوری ۹۰
- شکل ۷-۶ میانگین غلظت عناصر موجود در پیریت‌های دمپ باطله، سنگ معدن و باطله فرآوری ۹۱

فهرست جدول‌ها

- جدول ۱-۲ مشخصات نمونه‌برداری از سنگ معدن ۲۴
- جدول ۲-۲ مشخصات ترانسه‌های نمونه‌برداری شده از دمپ‌های ۱۹ و ۳۱ معدن مس سرچشمه ۲۷
- جدول ۳-۲ مشخصات نمونه‌برداری از سایت تیلینگ معدن مس سرچشمه ۲۹
- جدول ۱-۳ غلظت عناصر در پیریت‌های دمپ باطله معدن مس سرچشمه ۴۱
- جدول ۲-۳ غلظت عناصر در کالکوپیریت‌های دمپ باطله معدن مس سرچشمه ۴۵
- جدول ۳-۳ غلظت عناصر در گالن دمپ باطله معدن مس سرچشمه ۴۶

- جدول ۳-۴ غلظت عناصر در اسفالریت دمپ باطله معدن مس سرچشمه ۴۶
- جدول ۳-۵ غلظت عناصر در تنانتیت دمپ باطله معدن مس سرچشمه ۴۶
- جدول ۴-۱ غلظت عناصر در پیریت‌های سنگ معدن مس سرچشمه ۶۲
- جدول ۵-۱ غلظت عناصر در پیریت‌های باطله فرآوری معدن مس سرچشمه ۷۳

فصل اول

کلیات و مروری بر مطالعات پیشین

۱-۱ مقدمه

به طور کلی عملیات معدن کاری مشکلات فراوانی را برای محیط زیست فراهم می‌آورد که از جمله آن‌ها می‌توان به تولید باطله، تولید پساب اسیدی و در نتیجه تحرک و آزادسازی فلزات سمی و سنگین، آلودگی خاک، آلودگی هوا، آلودگی آب، خطرات سلامتی برای انسان و سایر موجودات اشاره نمود [۱]. کانی‌های سولفیدی به ویژه پیریت نیز یکی از عوامل اصلی آلاینده در معدنکاری محسوب می‌شوند. پساب اسیدی (AMD)^۱ به عنوان ناهنجارترین مشکل زیست محیطی در معادن سولفیدی فلزی در نتیجه هوازدگی کانی پیریت به عنوان فراوان‌ترین کانی سولفیدی در پوسته زمین رخ می‌دهد و مهم‌ترین علت تولید پساب اسیدی می‌باشد. ذخایر فلزی (Fe, U, Ni, Au, Zn, Pb, Cu)، ذخایر فسفاتی، رگه‌های زغال‌سنگ و شیل‌های گازی ممکن است حاوی پیریت باشند. پیریت یک فاز کانیایی غالب در ذخایر مس پورفیری است که در حال حاضر بزرگترین منبع مس و مولیبدن دنیا محسوب می‌شوند [۲]. همچنین، پیریت می‌تواند حاوی عناصر جزئی مانند Au, Ag, Cu, Pb, Zn, Co, Ni, As, Sb, Se, Te, Hg, Tl و Bi باشد ([۳]، [۴]، [۵]، [۶]، [۷]، [۸]). بنابراین با هوازدگی و اکسایش این کانی بسیاری از این عناصر آزاد شده و وارد محیط آب و رسوب می‌شوند. اکسیداسیون پیریت زمانی اتفاق می‌افتد که کانی مذکور در معرض هوا و آب قرار می‌گیرد. فرایند اکسیداسیون به دلیل درگیر بودن عوامل کانی‌شناسی و فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و تغییر در شرایط محیطی فرایند پیچیده‌ای است. خواص کانی‌شناسی شامل اندازه ذره، تخلخل، سطح تماس، خصوصیات بلورشناسی و ظرفیت جانشینی عناصر کمیاب است. عوامل خارجی شامل حضور دیگر سولفیدها، غلظت دی‌اکسید کربن، اکسیژن، دما و نسبت $\frac{Fe^{+2}}{Fe^{+3}}$ در محلول است. بنابراین یک قانون خاص برای شرح سرعت اکسیداسیون پیریت در شرایط مختلف وجود ندارد [۹].

^۱ Acide mine drainage

کانسارهای مس پورفیری در حال حاضر بزرگ‌ترین منبع مس جهان محسوب شده و توسط مس با عیار پایین همراه با مقدار جزئی کانی‌سازی طلا و یا مولیبدن مشخص می‌شوند ([۱۰]، [۱۱]). معدن پورفیری مس سرچشمه نیز به عنوان یکی از بزرگ‌ترین ذخایر مس در جهان محسوب می‌شود. بیش از ۳۳ سال فعالیت این معدن منجر به تولید بیش از ۳۰۰ میلیون تن مواد باطله شده‌است [۱۲]. تحقیقات گسترده‌ای در زمینه آلودگی‌های موجود در معدن مس سرچشمه انجام شده‌است که از جمله آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: علیرضا کمیزی و همکاران (۱۳۷۹)، ساوه‌ایی و همکاران (۱۳۸۶) و خراسانی‌پور و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی آلودگی آب، ساوه‌ایی و همکاران (۱۳۸۷) به بررسی پراکندگی عناصر در گونه گیاهی در اطراف معدن مس سرچشمه، خراسانی‌پور و همکاران (۱۳۸۶) و کرباسی و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی رسوبات بستر و آب رودخانه شور، خراسانی‌پور و آفتابی (۲۰۱۱) و راست منش و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی خاک منطقه سرچشمه، شفایی و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی اکسیداسیون پیریت، اورندی و همکاران (۱۳۸۴) و علیزادگان (۱۳۸۹)، جان‌نثار ملکوتی و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی سد باطله، یوسفی و همکاران (۲۰۱۳) و یوسفی و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی دمپ باطله، کشاورزی و همکاران (۱۳۸۵) و میرحسینی و همکاران (۱۳۸۸) به بررسی آلودگی هوای مجتمع مس سرچشمه پرداختند. ([۱۳]، [۱۴]، [۱۵]، [۱۶]، [۱۷]، [۱۸]، [۱۹]، [۲۰]، [۲۱]، [۲۲]، [۱]، [۲۳]، [۲۴]، [۲۵]، [۲۶]، [۲۷]، [۲۸]). در همه تحقیقات انجام شده به پیریت به عنوان کانی سولفیدی غالب و مهم‌ترین کانی آلاینده اشاره شده‌است. بنابراین با توجه به آلودگی‌های ایجاد شده در منطقه سرچشمه و با توجه به اهمیت کانی پیریت در تحقیقات گذشته، در این پایان‌نامه به بررسی ترکیب شیمیایی پیریت در سنگ معدن ورودی به کارخانه، دمپ باطله و باطله فرآوری پرداخته می‌شود.

۱-۲ اهمیت مطالعات کانی‌شناسی در معدن‌کاری مدرن به ویژه پیریت

زمان، تلاش و پول قابل توجهی توسط صنعت معدن‌کاری جهت پیش‌بینی احتمال تولید اسید صرف می‌شود. با توجه به اینکه Ph پساب اسیدی عمدتاً توسط اکسیداسیون سولفیدهای تولیدکننده اسید و انحلال کانی‌های خنثی‌کننده اسید (به ویژه کربنات‌ها) کنترل می‌شود. به این دلیل شناسایی فازهای کانیایی موجود در باطله‌های معدنی جهت پیش‌بینی تولید اسید و خنثی‌سازی آن دارای اهمیت می‌باشد [۲۹]. معدن‌کاری مدرن نقش کانی‌شناسی را دریافته‌است. به عنوان مثال فرض می‌شد که پیریت سولفید اکسید شونده غالب می‌باشد، اما دریافتند که پیریت فرامبوئیدال^۱ بسیار سریع‌تر از پیریت‌های دانه درشت بلورین اکسید می‌شوند ([۹]، [۳۰]). همچنین نرخ خنثی‌سازی کربنات‌ها به شناسایی کانی‌های کربناته موجود بستگی دارد. به عنوان مثال، در باطله‌های فرآوری، کلسیت حلال‌ترین کربنات می‌باشد و انحلال سریع را نشان می‌دهد در حالی که دولومیت و آنکرایت دارای انحلال آهسته‌تر از کلسیت می‌باشند البته همچنان ظرفیت خنثی‌سازی دارند [۳۱]. که پیش‌بینی این نکته نیز توسط شناسایی کانی‌های کربناته حاضر قابل انجام است. همچنین مطالعات کانی‌شناسی جهت شناسایی اکسی‌هیدروکسیدهای آهن دارای اهمیت می‌باشد زیرا هر کدام از آن‌ها توانایی‌های مختلفی برای جذب یا دفع فلزات سمی دارند [۳۲].

بسیاری از محققان جهت پیش‌بینی کیفیت آب در دریاچه‌های دره‌های اطراف معادن به توسعه مدل‌های ژئوشیمیایی پرداختند تا آلودگی آب‌های زیرزمینی و سطحی را به حداقل برسانند [۳۳]. دریاچه‌های اطراف پیت معدن سیستم‌های زیست‌محیطی پیچیده‌ای هستند در نتیجه داشتن اطلاعات دقیق کانی‌شناسی، مساحت سطحی و نرخ واکنش کانی‌های اولیه و ثانویه جهت ورودی برای مدل‌های ژئوشیمیایی ضروری می‌باشد [۳۴].

^۱ پیریت فرامبوئیدال پیریتی با بلورهای کمتر از یک میکرون است.

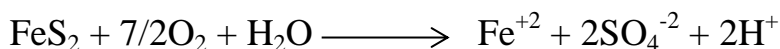
۱-۲-۱ پیریت از دیدگاه زیست محیطی و فرآوری

اهمیت مطالعه پیریت در فرآوری نیز توسط ابرائیس و همکاران (۲۰۰۴) به خوبی بیان شده است. به این ترتیب که رفتار پیریت در مدارهای فلوتاسیون متغیر است. دلایل احتمالی این رفتار عبارتند از: تنوع در محتوای عناصر کمیاب و فرعی کانی، بافت‌های متفاوت و هم‌رشدی در مجموعه مواد معدنی. همچنین تغییر در خواص الکتروشیمیایی پیریت که متأثر از ترکیب شیمیایی آن بوده که بر روی فرآیندهای الکتروشیمیایی فرآوری نیز اثر می‌گذارد [۳۵].

در حالت کلی نسبت S/Fe در کانی پیریت نزدیک به دو است، اما پیریت می‌تواند به عنوان میزبانی برای عناصر فرعی و کمیابی همچون Ag، As، Au، Bi، Cd، Co، Cu، Hg، Mo، Ni، Pb، Pd، Ru، Sb، Se، Sn، Te، Tl و Zn عمل کند. عناصر فرعی اغلب در بین شبکه کانیایی پیریت، ممکن است در مقادیر بالای چندین درصد نیز حضور داشته باشند که این عناصر عبارتند از: As، Co، Ni، Sb و احتمالاً Cu، Ag، Au، Sn. پیریت‌های آرسنیک‌دار ممکن است بالای ۱۰٪ آرسنیک داشته باشند و این چنین پیریت‌هایی از سایر عناصر فرعی و کمیاب به ویژه Au نیز غنی می‌باشند. این چنین به نظر می‌رسد که پیریت‌های غنی از As در دماهای نسبتاً پایین تشکیل شده‌اند و اغلب اشکالی را تشکیل می‌دهند که تاییدکننده سرعت تشکیل بالای کانی می‌باشد [۳۵].

۱-۲-۲ اکسیداسیون پیریت

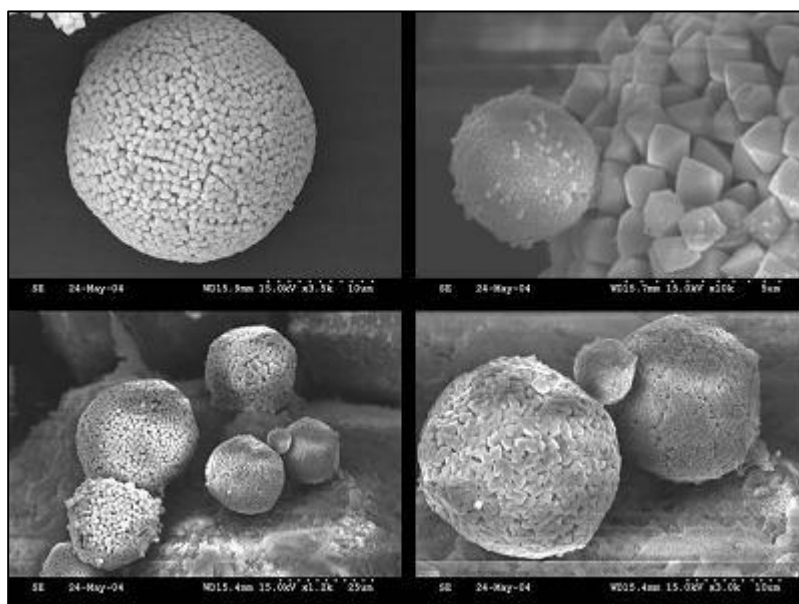
پیوند آهن - گوگرد موجود در پیریت از نوع پیوند نسبتاً ضعیف اشتراکی (کووالانسی) است که باعث ناپایداری پیریت و تمایل این کانی برای اکسید شدن توسط اکسیژن آب و اتمسفر می‌شود. در اثر اکسیداسیون پیریت یک مول Fe(II)، دو مول SO₄ و دو مول H⁺ آزاد می‌شود [۳۶]:



در مناطق با کانه‌زایی شدید، تاثیرات اکسیداسیون پیریت کاملا واضح و آشکار است، زیرا اسید سولفوریک تولیدی، آب‌های سطحی را اسیدی کرده و مقادیر بسیاری از آهن و بقیه فلزات را حل می‌کند. همانگونه که در بالا ذکر شد عواملی در سرعت اکسیداسیون پیریت تاثیر دارند که عبارتند از:

۱-۲-۲-۱ اندازه ذره پیریت، تخلخل و ناحیه سطحی آن

از آنجایی که واکنش‌های اکسیداسیون بر روی سطوح پیریت صورت می‌گیرد، کوچک بودن اندازه ذره و وسیع بودن سطح تماس، باعث افزایش واکنش‌پذیری پیریت می‌شود. حفرات، شکاف‌ها، منافذ و ادخال‌های جامد و مایع مکان‌هایی هستند که حداکثر اکسیداسیون سطحی پیریت رخ می‌دهد. پیریت فرامبوئیدال پیریتی است با بلورهای کوچک (کمتر از یک میکرون) که در زمینه پراکنده‌اند (شکل ۱-۱). این نوع پیریت به علت سطح تماس و خلل و فرج بیشتر در واحد حجم، از دیگر اشکال پیریت (بلورهای مکعبی پیریت یا پیریت‌های درشت دانه) فعال‌تر است. بنابراین اکسیداسیون پیریت توسط واکنش‌های سطحی کنترل می‌شود ([۹]، [۳۷]).



شکل ۱-۱: تصویری میکروسکوپی از پیریت فرامبوئیدال

۲-۲-۲-۱ بلورشناسی پیریت

ساختمان پیریت‌هایی با شبکه بلورین ضعیف و ناقص، در برابر تنش‌های فیزیکی از مقاومت کانی در برابر حملات شیمیایی برخوردارند ([۳۷]، [۳۸]).

۳-۲-۲-۱ جانشینی عناصر کمیاب

عناصر کمیاب می‌توانند به شکل ادخال‌های کوچک و به صورت ناخالصی‌های شیمیایی در شبکه بلوری کانی پیریت حضور داشته باشند که این موضوع باعث تغییر شکل ساختمان، ابعاد بلور و مقاومت سولفیدها در برابر اکسیداسیون می‌شود. به عنوان مثال، وجود آرسنیک در پیریت از مقاومت پیریت در برابر اکسیداسیون به مقدار زیادی می‌کاهد ([۳۸]، [۳۹]).

۴-۲-۲-۱ حضور دیگر سولفیدها

باطله‌های سولفیدی به طور معمول، حاوی سولفیدهای دیگری غیر از پیریت نیز هستند. در صورتی که حداقل بین دو کانی سولفیدی متفاوت، تماس فیزیکی مستقیمی وجود داشته باشد، باعث حرکت الکترون‌ها در بین سولفیدها شده و یک سلول گالوانیکی را به وجود می‌آورند. به این ترتیب، کانی سولفیدی با پتانسیل الکترودی بالاتر در طول هوازدگی، توسط این پیل شیمیایی (گالوانیکی) از اکسیداسیون محافظت می‌شود. این در حالی است که کانی با پتانسیل الکترودی پایین‌تر هوازدگی شدیدتری می‌یابد ([۹]، [۴۰]، [۴۱]).

برای مثال، در میان سه کانی معمول سولفیدی (پیریت، گالن و اسفالریت) بالاترین پتانسیل الکترودی مربوط به پیریت، بعد گالن و سپس اسفالریت است. مقدار تقریبی پتانسیل الکترودی پیریت، گالن و اسفالریت به ترتیب برابر با ۰/۶، ۰/۲ و ۰/۱ می‌باشد [۴۲].

اگر این کانی‌ها در تماس با یکدیگر باشند، ابتدا اسفالریت هوازده می‌شود و از اکسیداسیون پیریت کاسته می‌شود. از این‌رو، شدت واکنشی که پیریت در حالت جدا از دیگر کانی‌ها انجام می‌دهد، به شدت بیشتر از حالتی است که در تماس مستقیم با دیگر سولفیدها باشد [۴۳].

دمای باطله‌ها

اکسیداسیون پیریت یک فرایند گرمازا است. از آن جایی که افزایش دما مزیتی برای رشد باکتری‌های گرمادوست محسوب می‌شود، این باکتری‌ها مقداری از انرژی آزاد شده را برای فرایندهای سوخت و ساز خود استفاده می‌کنند. اگرچه بیشتر انرژی به صورت گرما و در داخل محدوده دمپ‌های باطله و سدهای باطله آزاد می‌شود ولی انتشار گرما به علت ضعیف بودن هدایت گرمایی کانی‌های باطله، پایین است. بنابراین، دمای باطله‌های پیریت‌دار افزایش یافته و در نهایت باعث افزایش سرعت اکسیداسیون پیریت خواهد شد به طوری که با افزایش دمای هر 10°C ، سرعت اکسیداسیون پیریت تقریباً دو برابر می‌شود [۴۴].

۱-۲-۵ غلظت اکسیژن در محیط آبی و گاز

اکسیداسیون پیریت می‌تواند در دو محیط آب و یا هوا صورت گیرد و ارتباط مشخصی بین سرعت اکسیداسیون آن و غلظت اکسیژن محیط اکسیداسیون وجود دارد. وجود اکسیژن برای اکسیداسیون سولفیدها عاملی ضروری محسوب می‌شود و معمولاً با افزایش غلظت اکسیژن، سرعت اکسیداسیون هم افزایش می‌یابد.

۱-۲-۲-۶ غلظت دی اکسید کربن در محیط آبی و گاز

تنها منشا کربن آلی مورد نیاز برای رشد و بقا باکتری‌های بی هوازی اکسید کننده سولفیدها، دی اکسید کربن می‌باشد [۴۵]. دی اکسید کربن در دمپ‌های باطله سولفیدی، از طریق انحلال کربنات‌ها تولید شده و داخل فضاهای منفذی آزاد می‌شود. به این ترتیب دی اکسید کربن مورد نیاز برای رشد باکتری‌های غیرهوازی فراهم می‌شود و در نتیجه اکسیداسیون پیریت افزایش می‌یابد [۴۶].

۱-۲-۲-۷ فراوانی آب

بعضی از محققین آب را عامل اصلی واکنش در اکسیداسیون پیریت می‌دانند. در حالی که عده‌ای دیگر آن را یک محیط واکنشی در نظر می‌گیرند ([۳۷]، [۴۰]). به هر حال، آب در اکسایش سولفیدها، یک محیط انتقالی مهم محسوب می‌شود و مرطوب و خشک شدن متناوب سولفیدها، باعث تسریع فرآیند اکسیداسیون می‌شود.

۱-۲-۲-۸ نسبت $\frac{Fe^{+2}}{Fe^{+3}}$ در محلول

در مقایسه با اکسیژن یون Fe^{+3} موثرترین اکسیدکننده پیریت است، زیرا Fe^{+3} پیریت را سریع‌تر از اکسیژن اکسید می‌کند [۴۶]. بنابراین میزان پیریتی که تخریب می‌شود تحت کنترل میزان تولید Fe^{+3} قرار دارد. علاوه بر پیریت سایر کانی‌های سولفیدی چون مارکازیت، پیروتیت، کالکوپیریت و انارژیت وقتی در معرض اکسیژن قرار بگیرند دچار هوازدگی می‌شوند و تولید اسید می‌کنند. اما یون Fe^{+3} محلول در آب که محصول جانبی اکسیداسیون سولفید آهن می‌باشد یک عامل اکسیداسیون بسیار قوی است که با سایر کانی‌های سولفیدی واکنش می‌دهد و تولید مقدار اسید حاصل از آن، بسیار زیادتر نسبت به اسید حاصل از اکسیداسیون توسط اکسیژن می‌باشد. بنابراین به طور کلی مجموعه کانی‌هایی که حاوی درصد

بالائی سولفید آهن می‌باشند و با کانی‌های سولفیدی که آهن جزئی از ترکیب آن‌هاست مثل کالکوپیریت و یا اسفالریت غنی از آهن، اسید بیشتری نسبت به سولفیدهای فاقد آهن تولید می‌کنند.

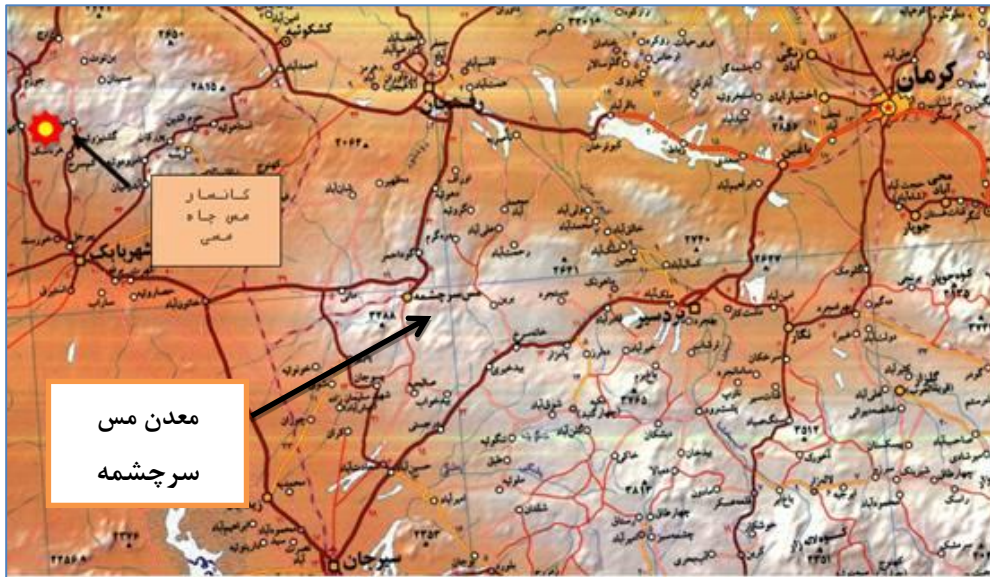
لذا مطالعه کانی‌شناسی - ژئوشیمیائی کانی پیریت از جنبه‌های زیر اهمیت دارد:

- ✓ پیریت منشاء آزادسازی عناصر سمی در دمپ‌ها و سدهای باطله معدنی است.
 - ✓ پیریت می‌تواند حاوی محتوای اقتصادی عناصر ارزشمندی چون طلا و نقره باشد.
 - ✓ حضور برخی از عناصر خاص در پیریت باعث ناپایداری پیریت و سرعت بالاتر اکسایش زیست محیطی پیریت می‌شود [۳۹].
 - ✓ ترکیب ژئوشیمیایی پیریت در سیکل ذوب تاثیر دارد به طوری که حضور عناصر مزاحمی چون آرسنیک می‌تواند باعث سمی شدن گاز خروجی از کارخانه ذوب شود.
 - ✓ مشخصات کانی‌شناسی و بافتی پیریت چون اندازه ذرات، شبکه بلورشناسی و همراهی با سایر سولفیدها در نرخ اکسایش پیریت و در نتیجه آزادسازی عناصر سمی موثر است [۴۷].
 - ✓ رفتار پیریت تاثیر مستقیم در خط فلوئاسیون دارد. به دلیل گوناگونی و تغییر در میزان عناصر فرعی و ناخالص موجود در پیریت؛ بافت و هم‌رشدی‌های گوناگون در مجموعه کانسنگ و همچنین تغییر در خواص الکتروشیمیائی پیریت [۳۵].
- ریچ و همکاران (۲۰۱۳) نیز به بررسی شیمی پیریت در بزرگ‌ترین ذخیره مس پورفیری چین پرداخته‌اند که این تحقیق اولین پایگاه داده جامع از عناصر موجود در پیریت در ذخیره مس پورفیری می‌باشد [۴۸].

۳-۱ معرفی منطقه مورد مطالعه

۱-۳-۱ موقعیت جغرافیایی، راه‌های دسترسی و پوشش گیاهی منطقه

معدن پورفیری مس سرچشمه در ۱۶۰ کیلومتری جنوب غرب کرمان و ۵۰ کیلومتری جنوب غرب رفسنجان واقع شده است. این معدن از طریق جاده آسفالت به کرمان، رفسنجان و سیرجان مرتبط است (شکل ۱-۲). منطقه مس سرچشمه در ارتفاع ۲۶۰۰ متری از سطح دریا واقع شده است و بلندترین نقطه‌ی آن از سطح دریا ۳۲۸۰ متر ارتفاع دارد و به دلیل قرار گرفتن در منطقه کوهستانی، سردسیر و معتدل می‌باشد [۱۳]. بادخیزی منطقه نسبتاً شدید است. سرعت باد در این ناحیه گاهی به ۱۰۰ کیلومتر در ساعت نیز می‌رسد. به علت کوهستانی بودن منطقه حدود ۳ الی ۴ ماه در سال پوشیده از برف است. بارندگی سالیانه در منطقه ۴۴۰ میلی‌متر است. این ریزش‌ها غالباً در فواصل زمانی آذرماه تا فروردین مشاهده می‌شود که یکی از پرباران‌ترین زیرحوضه‌های غرب تا جنوب غرب کرمان محسوب می‌شود [۴۹].

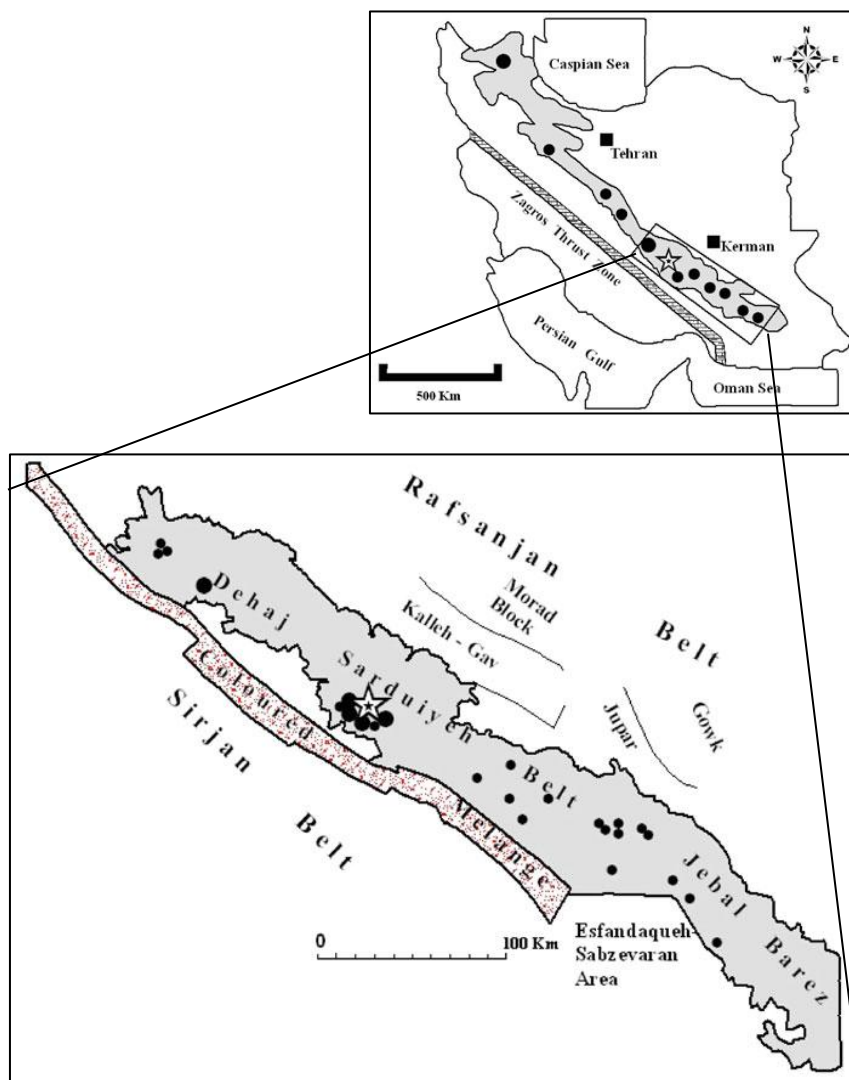


شکل ۱-۲ نقشه راه‌های ارتباطی استان کرمان و موقعیت معدن مس سرچشمه [۵۰]

۱-۳-۲ زمین‌شناسی معدن مس سرچشمه

معدن مس پورفیری سرچشمه از لحاظ زمین‌شناسی بخشی از بخشی از کمر بند ولکانو- پلوتونیک دهج- سادوئیه و در حقیقت ادامه کمر بند آتشفشانی ارومیه- دختر است (شکل ۱-۳). تشکیلات ائوسن با ترکیب عمدتاً سنگ‌های بیرونی تا حد واسط تراکی بازالت- تراکی آندزیت (بیش از ۷۰ درصد) مهم‌ترین و گسترده‌ترین واحدهای زمین‌شناسی این کمر بند را تشکیل می‌دهند [۵۱]. کانسار سازی مس پورفیری در توده نفوذی به سن الیگومیوسن و با ترکیب کوارتز مونزونیت-گرانودیوریت از مهم‌ترین رخداد های این

منطقه می باشد. مهم ترین کانی های سولفیدی این منطقه پیریت، کالکوپیریت، مولیبدنیت و در مقادیر جزئی تتراهدريت، تنانتیت و بورنیت می باشد [۵۱].



Central Iranian volcano- plutonic copper belt

☆ Sarcheshmeh Porphyry Copper Deposit

●● Porphyry Copper Mineralization

شکل ۱-۳ موقعیت کانسار مس سرچشمه بر روی کمربند دهج- ساردوئیه [۵۱]

۴-۱ مرور مطالعات زیست‌محیطی پیشین در منطقه سرچشمه

➤ در منطقه سرچشمه تاکنون مطالعات زیادی در رابطه با زمین‌شناسی منطقه صورت گرفته است که در اینجا فقط به مطالعات قبلی انجام شده مرتبط با زیست‌محیطی اشاره می‌گردد:

➤ علیرضا کمیزی و همکاران (۱۳۷۹) به منظور بررسی کاتیون‌های فلزی در آب رودخانه شور مجتمع مس سرچشمه نشان دادند که به جر چند عنصر، بیشتر عناصر مورد بررسی به علت رقیق شدن و افزایش PH آب رودخانه، غلظت کمتری از حد مجاز استانداردهای زیست‌محیطی دارند [۱۳].

➤ وحید سلطان‌محمدی و همکاران (۱۳۸۳) با بررسی تاثیر هوازگی پیریت بر دمپ‌های باطله معدن مس سرچشمه نشان داده‌است. بر این اساس Ph سه دمپ ۵، ۱۵ و ۳۱ معدن مس سرچشمه و تاثیر هوازگی پیریت بر آنها مورد مطالعه قرار گرفت. Ph این دمپ‌ها قبل از تاثیر پیریت با استفاده از محلول بافر به ترتیب ۵/۵، ۶ و ۶ بدست آمد و پس از تاثیر هوازگی پیریت به ترتیب ۳/۴۳، ۴/۴۵ و ۴/۹ تخمین زده شد [۵۲].

➤ کشاورزی و همکاران (۱۳۸۵)، به بررسی آلودگی اسیدی اتمسفر، بارش‌های اسیدی و تولید زهاب اسیدی در مناطق مجاور مجتمع مس سرچشمه پرداختند. براساس مطالعه انجام شده انتشار گاز SO₂ در نتیجه ذوب سنگ معدن سولفیدی سبب آلودگی اتمسفر در مناطق مجاور کارخانه گردیده‌است [۲۷].

➤ اورندی و همکاران (۱۳۸۴) به بررسی تاثیر دمپ‌های باطله در ایجاد زهاب اسیدی معدن مس سرچشمه پرداخته‌است. مقایسه داده‌ها بیشترین خطرات زیست‌محیطی را ناشی از دمپ ۳۱ به دلیل مقادیر بالای آرسنیک، کادمیم، کروم و یون سولفات و دامپ ۱۱ با داشتن مقادیر بالای

نیکل، آنتیموان، سرب، آلومینیوم، منگنز و مس نشان می‌دهد که باید مورد توجه جدی قرار گیرد [۲۲].

➤ ساوه‌ایی و همکاران (۱۳۸۶) با بررسی میزان آلودگی آرسنیک در آب آشامیدنی مناطق مسکونی در اطراف منطقه کانسارسازی سرچشمه نشان می‌دهد در بسیاری از منابع آب مقدار عنصر آرسنیک از حد مجاز استانداردهای بین‌المللی بالاتر است و این مقدار تا ۲۰۰ میکروگرم بر لیتر افزایش داشته‌است [۱۴].

➤ خراسانی‌پور و همکاران (۱۳۸۶) به بررسی مقادیر عناصر سنگین در رسوبات رودخانه شور سرچشمه در طول مسیر این رودخانه که پساب‌های خروجی معدن مس سرچشمه و واحدهای مختلف معدن سرچشمه به آن وارد می‌گردد، پرداختند. بر این اساس، عناصر Cu، Mo، Sb، Pb، Cd، Bi، Zn، As، Sn، W به ترتیب بیشترین آلودگی را در رسوبات این رودخانه نشان می‌دهد [۱۷].

➤ ساوه‌ایی (۱۳۸۷) و همکاران پراکندگی و اثرات زیست‌محیطی دو عنصر آرسنیک و سلنیم بر روی یک گونه گیاهی خاص در اطراف معدن مس سرچشمه بررسی کرده‌است. بر این اساس تمام غلظت‌های هر دو عنصر در آرسنیک و سلنیم در گیاه آرتمیزیا بالاتر از حد مجاز استانداردهای گیاه و شاهد منطقه می‌باشد [۱۶].

➤ میرحسینی و همکاران (۱۳۸۸) به بررسی تولید و پراکندگی آلاینده گاز SO₂ در مجتمع مس سرچشمه پرداختند. براساس مقایسه متوسط سالیانه غلظت SO₂ در مجتمع که گاهی به ۱۷۰ ppb نیز می‌رسد با حد مجاز غلظت SO₂ (۳۰ ppb)، متوسط سالیانه غلظت آلودگی در مجتمع را بیش از حد نشان می‌دهد [۲۸].

- علیزادگان (۱۳۸۹) در بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی دپ‌های باطله معدن مس سرچشمه غنی شدگی آرسنیک را گزارش کرده‌است [۱].
- دوراندیش (۱۳۸۹) در بررسی پدیده زهاب اسیدی در چندین حوضچه در محدوده معدن مس سرچشمه نشان داد که تولید زهاب اسیدی در معدن مس سرچشمه یک مساله جدی بوده و برای جلوگیری از ایجاد آلودگی‌های بیشتر باید تمهیداتی اندیشید [۵۳].
- کرباسی و همکاران (Karbasi et al., 2008) در بررسی غلظت‌های عناصری مثل Pb، Cd، Zn، Cu، Fe، Ca و Al در رسوبات بستر رودخانه شور و آب اطراف معدن مس سرچشمه دریافتند که، کادمیم و روی بیشترین مقدار را نشان می‌دهد.
- راست‌منش و همکاران (Rastmanesh et al., 2010a) غنی‌شدگی فلزات سنگین را در خاک مجتمع مس سرچشمه بررسی کردند. نتایج حاصل نشان داد که ذوب مس در مجتمع مس سرچشمه به خصوص در مجاورت کارخانه ذوب منجر به آلودگی خاک شده‌است. سطح خاک در منطقه مذکور از فلزات سمی چون (As، Cu، Pb، Zn، Mo و Cd غنی شده‌است [۲۰].
- راست‌منش و همکاران (Rastmanesh et al., 2010b) غلظت فلزات سنگین را در گونه‌های گیاهی خاک‌های آلوده معدن مس سرچشمه نشان داده‌اند. آلودگی فلزاتی چون Cu، As، Pb، Mo، Cd و Zn در گیاه آرتمیزیا که حاصل از سه دهه فرآیند ذوب در مجتمع مس سرچشمه است [۵۴].
- خراسانی‌پور و آفتابی (Khorasani Pour and Aftabi, 2011) توزیع ژئوشیمیایی فلزات سنگین سمی را در نمونه‌های خاک اطراف کارخانه ذوب معدن مس سرچشمه مورد بررسی قرار دادند. عناصر مشاهده شده در نمونه‌های خاک عبارتند از : Cu، As، Pb، Sb، Mo، Sn، Cd، Bi، Zn. میزان عناصر با افزایش فاصله از کارخانه کاهش می‌یابد [۱۹].

➤ شفایی و همکاران (Shafaei et al., 2011) اکسیداسیون پیریت و مشکلات مربوط به سدهای باطله سولفیدی تولید شده توسط کارخانه فرآوری معدن مس سرچشمه بررسی کردند. نتایج نشان داد که اکسیداسیون پیریت در سد باطله PH را تا محدوده ۲/۹ تا ۳/۵ کاهش داده و باعث افزایش غلظت SO_4 ، Fe و فلزات سنگین شده است [۲۱].

➤ جان نثار ملکوتی و همکاران (Malakouti et al., 2013) به بررسی خصوصیات باطله فرآوری معدن مس سرچشمه پرداختند. طبق نتایج به دست آمده از ترانسه‌ها و نمونه‌های خاک موجود پیریت کانی سولفیدی اصلی در سد باطله می‌باشد. براساس اسن تحقیق Zn، Pb، Rb، U، Hf، Zr، Ga تقریباً یک روند ثابت را نسبت به عمق نشان داد و Cd، Sr، Th، La و Ce با افزایش عمق تیلینگ افزایش داشت. در حالی که عناصری چون Mo، Ag، Mn، As، Cu، Ti، V، Co و Ni در ابتدا از سطح باطله یک روند کاهش داشته که در عمق ۰/۹ تا ۱/۲ متری متغیر بوده است [۲۳].

➤ خراسانی پور و اسلامی (Khorasani Pour and Eslami., 2014) بررسی‌های ژئوشیمیایی و هیدروژئوشیمی را جهت شناسایی پتانسیل آلودگی در سد باطله معدن مس سرچشمه انجام دادند. طبق نتایج به دست آمده رفتار ژئوشیمیایی عناصر سمی در طول هوازگی متفاوت است. طبقه‌بندی میزان تحرک عناصر سمی آزاد شده در نتیجه اکسیداسیون سولفید و هوازگی عبارتند از : $Pb = Sb = Bi = Fe > Se > As > Sn > Cr > S > Mn > Ni > Zn > Co > Cd > Cu > Mo$ [۵۵].

➤ یوسفی و همکاران (Yousefi et al., 2014) به بررسی گونه‌پذیری کبالت و نیکل به عنوان عناصر بالقوه سمی در دمپ باطله معدن مس سرچشمه پرداختند. براساس نتایج کبالت توسط کانی‌های

هیدروکسی سولفات، موسکویت و اکسی هیدروکسیدهای آهن و منگنز محدود می‌شود و نیکل توسط اکسی هیدروکسیدهای آهن و منگنز کنترل می‌شود [۲۵].

➤ یوسفی و همکاران (Yousefi et al., 2014) به تعیین منشا و رفتار Zn و Pb, Mo, Cr, Cu, Cd در دمپ باطله معدن مس سرچشمه از طریق تجزیه و تحلیل آماری پرداختند. یوسفی بر این اساس پیریت را منبع اصلی آلودگی معرفی کرده‌است. همچنین کانی‌های هیدروکسی سولفات، اکسی هیدروکسیدهای آهن و منگنز، موسکویت و کلریت غلظت عناصر سمی در دمپ‌های باطله معدن مس سرچشمه را کنترل می‌کنند [۲۶].

۵-۱ پیشینه تحقیق

▪ سلطانی‌نژاد (۱۳۸۷، ۱۳۹۰، ۱۳۹۰، ۱۳۹۰) به بررسی ترکیب شیمیایی پیریت‌های پراکنده و رگچه‌ای در زون‌های دگرسانی معدن مس س سرچشمه پرداخته‌است. براین اساس نتایج زیر بدست آمده‌است: در پیریت‌های زون سوپرژن، آرسنیک و در پیریت‌های زون هیپوژن، روی بیشترین مقدار را در بین عناصر به خود اختصاص می‌دهند. در دگرسانی آرژیلیک، در پیریت‌های رگچه‌ای و پراکنده، عنصر آرسنیک بیشترین غلظت را به خود اختصاص داده‌است. در دگرسانی پتاسیک، در پیریت‌های رگچه‌ای عنصر روی و در پیریت‌های پراکنده عنصر کبالت بیشترین غلظت را دارا می‌باشند. در دگرسانی پروپلیتیک، در پیریت‌های رگچه‌ای و پراکنده، عناصر آرسنیک و نقره بیشترین غلظت را در بین عناصر فرعی موجود در این کانی دارند [۵۶].

[۵۷]، [۵۸]، [۵۹].

▪ ریچ و همکاران (۲۰۱۳) از طریق آنالیز EPMA و SIMS به بررسی شیمی پیریت در ذخیره دگسینگ به عنوان بزرگ‌ترین ذخیره مس پورفیری چین پرداخته‌است. به این ترتیب در میان عناصر آنالیز شده مس، آرسنیک، طلا و نیکل دارای فراوان‌ترین غلظت که از چندین پی‌پی‌ام تا

چند درصد وزنی متغیر بوده‌اند. به عنوان مثال مس دارای غلظت ۶ درصد وزنی، آرسنیک دارای غلظت ۳ درصد وزنی، طلا دارای غلظت ۰/۲۵ درصد وزنی و نیکل دارای غلظت ۰/۲ درصد وزنی می‌باشد. همچنین در این تحقیق بیان شده‌است که پیریت می‌تواند نقش مهمی را به عنوان جاذب فلزات و نشان‌دهنده تغییرات سیال در سیستم هیدروترمال ایفا نماید [۴۸].

۱-۶ ضرورت انجام و هدف از پژوهش

صنعت معدن کاری یکی از عوامل آلاینده محیط زیست محسوب می‌شود. از جمله آلاینده‌های مهم زیست محیطی، معدن کاری سولفیدی است که پیریت مهم‌ترین عامل آن محسوب می‌شود. اکسیداسیون کانی پیریت به عنوان فراوان‌ترین کانی سولفیدی پوسته زمین می‌تواند سبب ایجاد پساب اسیدی شود [۶۳]. ذخیره مس سرچشمه با ۱۲۰۰ میلیون تن سنگ معدن فلزی دارای ۰,۶۹ درصد Cu و ۰,۰۳ درصد Mo یکی از بزرگ‌ترین ذخایر مس در جهان می‌باشد که در جنوب شرقی ایران قرار گرفته‌است [۶۴]. تولید مقادیر عظیمی از مواد غنی از سولفید شامل باطله‌های سنگی و باطله‌های فرآوری ممکن است سبب ایجاد نگرانی‌های زیست‌محیطی در رابطه با مجتمع مس سرچشمه شود. یوسفی و همکاران (۱۳۹۳) با استفاده از آزمایش استخراج ترتیبی، پیریت را منشا عناصری مانند آرسنیک، کادمیم، کبالت، کروم، مس، نیکل، سرب و روی معرفی کرده‌است [۶۵].

با توجه به موارد ذکر شده در بالا در این پایان نامه به منظور آگاهی از اینکه آیا پیریت منشا اصلی عناصر سمی در معدن مس پورفیری سرچشمه می‌باشد، از طریق آنالیز الکترون میکروپروب به بررسی شیمی پیریت‌های نمونه‌های سنگ معدن، دمپ باطله و باطله فرآوری می‌پردازیم.

از اهداف این پژوهش می‌توان موارد زیر را برشمرد:

۱- مطالعات کانی‌شناسی و شناسایی کانی‌های سولفیدی موجود در نمونه‌ها

۲- بررسی عناصر موجود در پیریت با استفاده از آنالیز الکترون میکروپروب

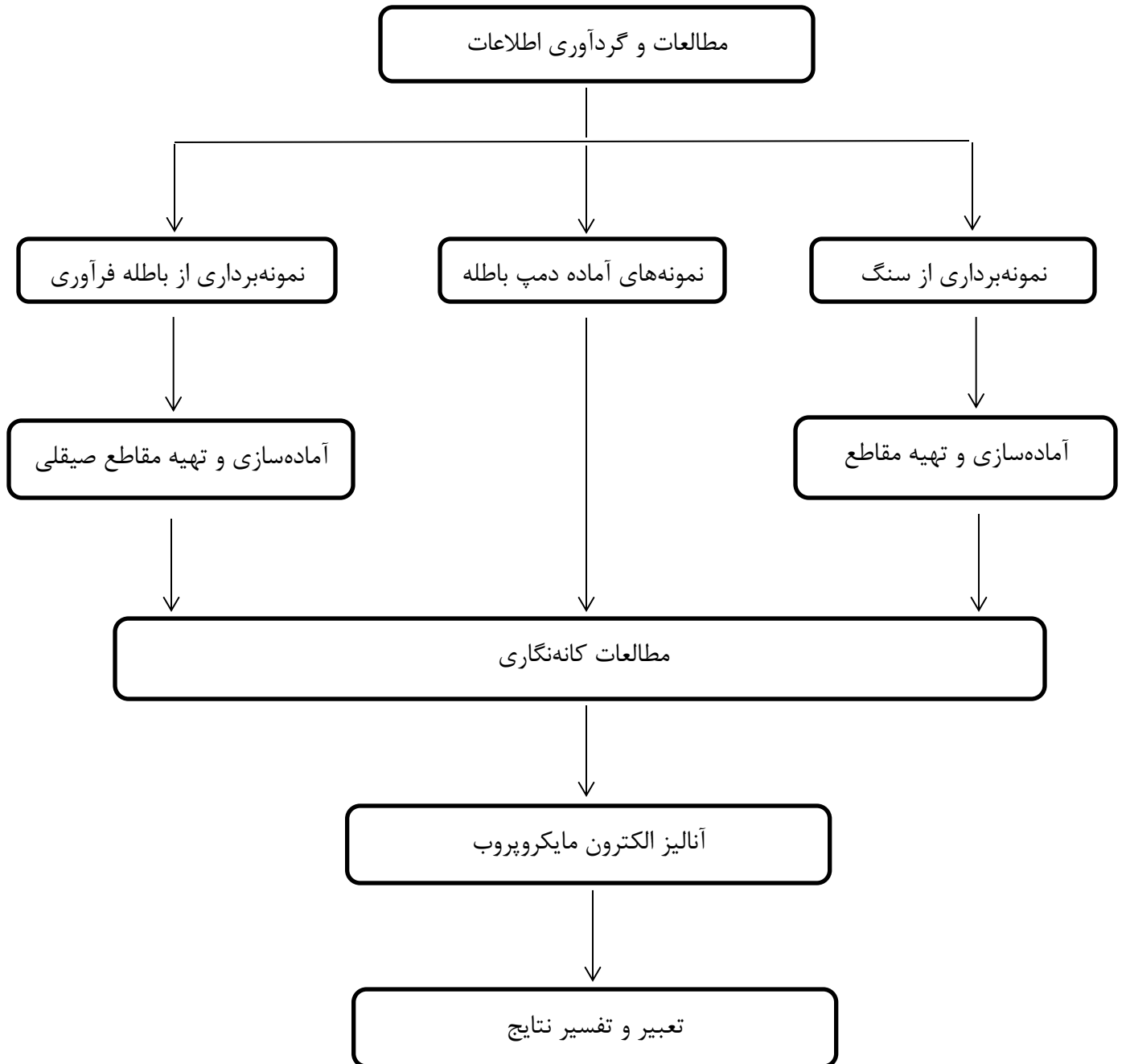
۳- مقایسه عناصر سمی موجود در پیریت معدن مس سرچشمه با سایر ذخایر پورفیری

۷-۱ ساختار پایان نامه

این پایان نامه در شش فصل تدوین شده که فصل اول مربوط به کلیاتی در مورد پیریت و همچنین اهداف و ضرورت انجام تحقیق است. فصل دوم مربوط به نمونه‌برداری و مطالعات مربوط به کانه‌نگاری و آنالیز الکترون میکروپروب نمونه‌های دمپ باطله در فصل سوم، سنگ معدن در فصل چهارم و باطله فرآوری در فصل پنجم ارائه می‌گردد. در فصل ششم به بررسی و مقایسه محتوای عناصر پیریت در دمپ باطله، سنگ معدن و باطله فرآوری معدن مس سرچشمه پرداخته و در نهایت، نتیجه‌گیری و پیشنهادهای تحقیق ارائه می‌گردد.

۸-۱ روش مطالعه

شکل ۴-۱ دیاگرامی از مراحل مختلف انجام این پایان نامه را ارائه می‌دهد:



شکل ۴-۱ دیاگرام مراحل اجرای پایان نامه

فصل دوم

نمونه برداری و آماده سازی نمونه ها

۱-۲ مقدمه

این فصل چگونگی نمونه‌برداری از سنگ معدن (خوراک ورودی به کارخانه)، دمپ‌های باطله، باطله‌های فرآوری و آماده‌سازی نمونه‌ها برای مطالعات کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی را دربرمی‌گیرد.

۲-۲ نمونه‌برداری

۱-۲-۲- نمونه‌برداری از سنگ معدن

نمونه‌برداری از سنگ معدن در بهمن ماه ۱۳۹۳ به صورت تصادفی و از پله‌هایی که خوراک ورودی به کارخانه را تشکیل می‌دهند انجام شده‌است. در شکل (۱-۲) نمایی از پیت معدن در زمان نمونه‌برداری مشاهده می‌شود. نمونه‌برداری به صورت دستی و با استفاده از یک چکش فلزی و در ۱۲ ایستگاه صورت گرفته‌است (شکل ۲-۲). در هر ایستگاه چند نمونه سنگ با وزن تقریبی ۵۰۰ گرم برداشت شد. لذا در مجموع ۳۰ نمونه ۵۰۰ گرمی برداشت شد (شکل ۲-۲). پس از آن نمونه‌ها در دمای اتاق خشک شدند. جدول (۱-۲) مشخصات ایستگاه‌های نمونه‌برداری را نشان می‌دهد.

جدول ۱-۲ مشخصات نمونه‌برداری از سنگ معدن

نام ایستگاه	مختصات نقطه	نام ایستگاه	مختصات نقطه
S1	N 2957071 E 55 52 240	S7	N 29 56 839 E 55 51 758
S2	N 29 57 155 E 55 51 668	S8	N 29 56 785 E 55 51 833
S3	N 29 56 602 E 55 51 369	S9	N 29 56 756 E 55 51 804
S4	N 29 56 892 E 55 51 375	S10	N 29 56 817 E 55 52 227
S5	N 29 57 007 E 55 51 347	S11	N 29 71 662 E 55 51 225
S6	N 29 56 879 E 55 51 762	S12	N 29 78 231 E 55 51 572



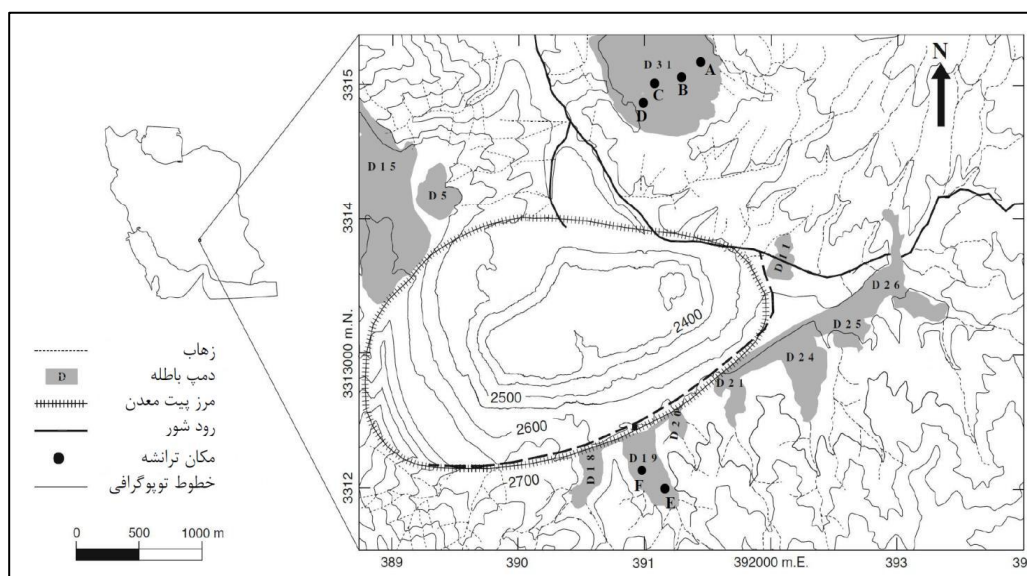
شکل ۱-۲ نمایی از پیت معدن مس سرچشمه



شکل ۲-۲ نمونه‌های برداشت شده از پیت معدن مس سرچشمه

۲-۲-۲- نمونه برداری از دمپ باطله

در این بخش از مقاطع صیقلی تهیه شده مربوط به رساله دکتری آقای سعید یوسفی استفاده شده است. نحوه نمونه برداری به شرح زیر است: به این ترتیب که نمونه برداری عمقی از دمپ‌های ۱۹ و ۳۱ معدن مس سرچشمه در آبان ماه ۱۳۹۰ انجام شد (شکل ۲-۳). در این مرحله با حفر ۶ ترانشه A، B، C، D، E و F در اعماق مشخصی از سطح دمپ تا عمق ۶٫۵ متری، تعداد ۵۰ نمونه به صورت عمقی گرفته شد (جدول ۲-۲). عملیات حفر ترانشه به منظور دسترسی به اعماق مختلف و بالا بردن ایمنی در حین نمونه برداری در دو مرحله انجام شد. در مرحله اول، با استفاده از بولدوزر تا عمق ۲ متری حفر و نمونه برداری تا این عمق انجام شد. سپس در مرحله دوم با استفاده از یک دستگاه بیل مکانیکی تا عمق ۶٫۵ متری عملیات حفاری ادامه یافت. انجام نمونه برداری به صورت دستی و با استفاده از چکش زمین‌شناسی و بیلچه پلاستیکی و به گونه‌ای انجام شد که از آلوده شدن نمونه‌ها جلوگیری شود [۱۲].



شکل ۲-۳ نقشه دمپ‌های معدن مس سرچشمه [۱۲]

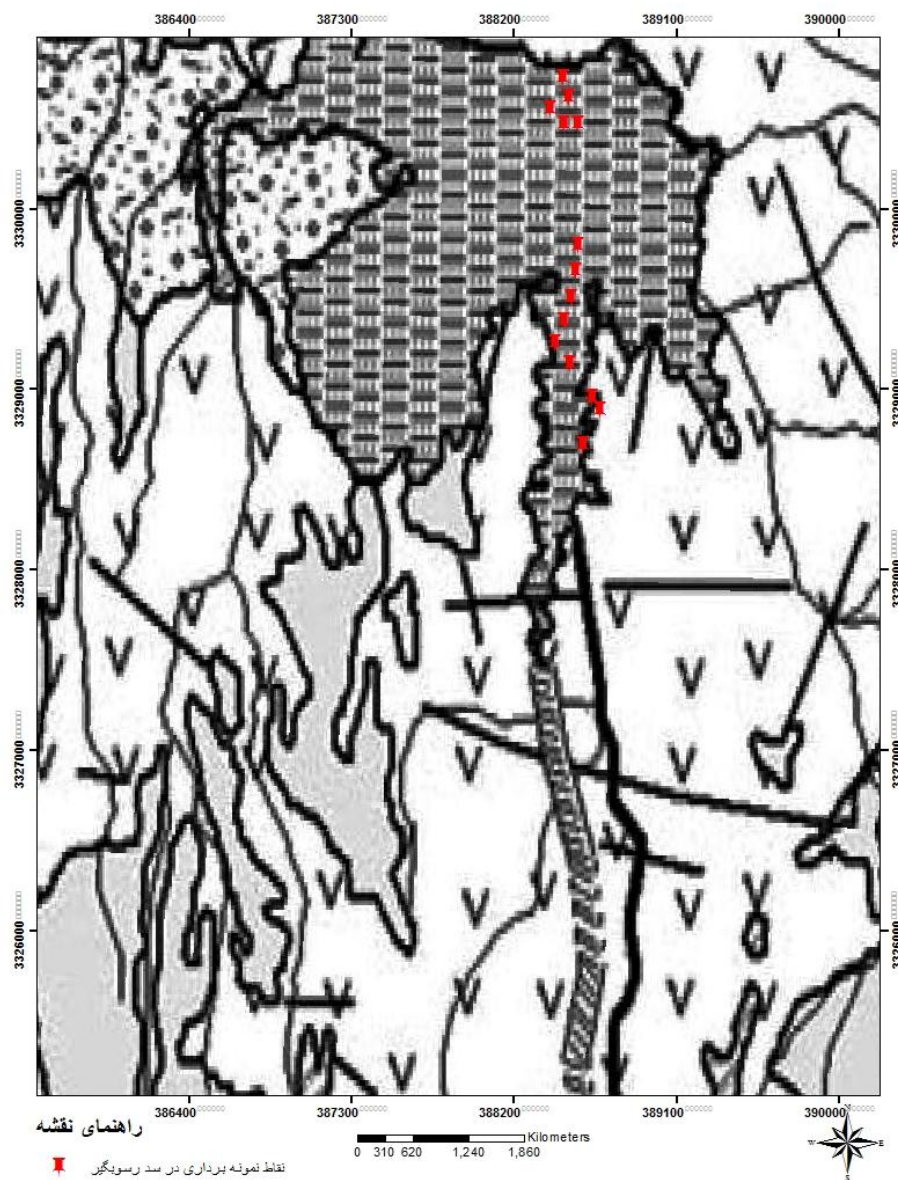
جدول ۲-۲ مشخصات مربوط به ترانسه‌های نمونه‌برداری شده از دمپ‌های ۱۹ و ۳۱ معدن مس سرچشمه

ترانسه	دمپ	X	Y	ارتفاع (m)	تعداد نمونه عمقی
A	۳۱	۳۹۱۶۶۹	۳۳۱۵۱۱۶	۲۷۴۷	۸
B	۳۱	۳۹۱۱۷۵	۳۳۱۵۳۹۷	۲۷۴۷	۹
C	۳۱	۳۹۱۵۷۵	۳۳۱۵۵۸۲	۲۷۷۹	۱۲
D	۳۱	۳۹۹۱۱۷۵	۳۳۱۵۵۸۲	۲۷۷۹	۵
E	۱۹	۳۹۱۵۵۰	۳۳۱۱۴۶۸	۲۸۲۲	۱۴
F	۱۹	۳۹۱۵۱۴	۳۳۱۰۶۷۷	۲۸۱۹	۱۲

۲-۲-۳- نمونه‌برداری از باطله‌های فرآوری

سد رسوبگیر معدن مس سرچشمه که در فاصله ۱۹ کیلومتری شمال این معدن واقع شده‌است، مشتمل بر چندین حوضچه تخلیه باطله می‌باشد. سدهای فعال که در حال حاضر باطله فراوری به آن‌ها تخلیه می‌شود حالت باتلاقی داشته و رنگ باطله‌ها نیز تیره متمایل به خاکستری است در حالی که با گذشت زمان و در اثر تخریب کانی‌های سولفیدی موجود در لایه‌های سطحی باطله‌های قدیمی، این باطله‌ها کاملاً اکسید شده‌اند. به دلیل باتلاقی بودن سد رسوبگیر (سایت تیلینگ) شماره ۲ هیچ نمونه‌ای برداشت نشده‌است (شکل ۲-۶). نمونه‌برداری فقط از سدهای رسوبگیر شماره ۱ و ۳ نمونه‌برداری انجام شده‌است. شکل (۲-۵) و (۲-۷) قسمت‌های مختلف سد رسوبگیر شماره ۱ و ۳ معدن مس سرچشمه را نشان می‌دهد که نمونه‌برداری از آن صورت گرفته‌است. در مجموع ۱۶ ایستگاه در سد رسوبگیر معدن مس سرچشمه جهت نمونه‌برداری انتخاب شدند که در جدول (۲-۳) مشخصات نقاط نمونه‌برداری از سد رسوبگیر معدن مس سرچشمه آورده شده‌است. در هر ایستگاه دو نمونه خاک یکی از سطح و دیگری با حفر ۷۰-۵۰ سانتی‌متر از زمین برداشت شدند. انجام نمونه‌برداری به صورت دستی و با استفاده از بیلچه انجام شد و نمونه‌ها به صورت جداگانه در پاکت‌های پلاستیکی قرار گرفتند. همه نمونه‌ها در ابتدا دردمای

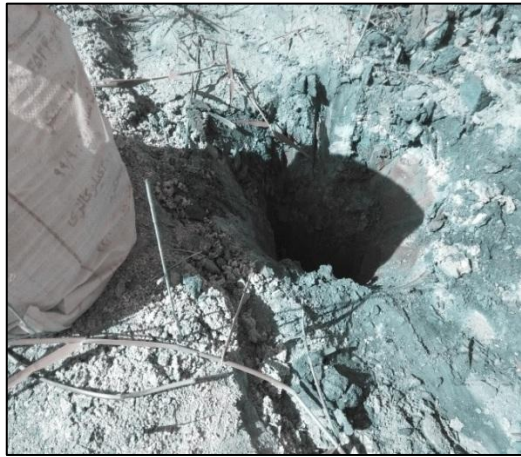
اتاق خشک شد و پس از آن در آزمایشگاه کارخانه پایلوت معدن مس سرچشمه با استفاده از رول یک دست شدند. . موقعیت نقاط نمونه برداری از سد رسوبگیر که مربوط به فاز دوم نمونه برداری است بر روی نقشه در شکل ۴-۲ نشان داده شده است.



۴-۲ موقعیت نقاط نمونه برداری از سد رسوبگیر معدن مس سرچشمه

جدول ۲-۳ مشخصات نمونه برداری از سد رسوبگیر معدن مس سرچشمه

شماره ایستگاه	ارتفاع	X	Y
۱	۷۲۸۹	۳۸۸۶۷۹	۳۳۲۸۸۸۲
۲	۷۲۷۳	۳۸۸۶۳۳	۳۳۲۸۹۵۵
۳	۷۲۴۷	۳۸۸۵۸۲	۳۳۲۸۶۹۰
۴	۷۲۵۰	۳۸۸۵۷۴	۳۳۲۹۰۵۷
۵	۷۲۴۷	۳۸۸۵۱۴	۳۳۲۹۱۳۶
۶	۷۲۴۷	۳۸۸۴۲۸	۳۳۲۹۲۵۲
۷	۷۲۴۰	۳۸۸۴۸۴	۳۳۲۹۳۷۴
۸	۷۲۴۰	۳۸۸۵۲۲	۳۳۲۹۵۰۳
۹	۷۲۳۰	۳۸۸۵۴۴	۳۳۲۹۶۵۵
۱۰	۷۲۳۴	۳۸۸۵۵۵	۳۳۲۹۷۹۴
۱۱	۷۲۱۷	۳۳۸۴۰۱	۳۳۳۰۴۴۹
۱۲	۷۲۱۰	۳۸۸۴۷۹	۳۳۳۰۴۶۹
۱۳	۷۱۸۸	۳۸۸۵۶۱	۳۳۳۰۴۷۰
۱۴	۷۲۰۴	۳۸۸۵۰۴	۳۳۳۰۶۱۲
۱۵	۷۱۸۸	۳۸۸۴۷۲	۳۳۳۰۷۲۷
۱۶	۷۲۲۴	۳۸۸۴۰۱	۳۳۳۰۵۵۱



شکل ۲-۵ بخش‌های مختلف سد رسوبگیر مجتمع مس سرچشمه



شکل ۲-۶ حوضچه باتلاقی در سد رسوبگیر معدن مس سرچشمه



شکل ۲-۷ نمونه برداری از سد رسوبگیر معدن مس سرچشمه

۳-۲ آماده سازی نمونه ها جهت تهیه مقاطع صیقلی

نمونه های سنگ برداشت شده از سنگ معدن (خوراک ورودی به کارخانه) ابتدا در به صورت دستی مورد مطالعه قرار گرفت و نمونه های سنگ از چند جهت تراش داده شد سپس نمونه های دارای بهترین کانی ها و همچنین نمونه های خاک برداشت شده از باطله فرآوری معدن مس سرچشمه جهت تهیه مقاطع صیقلی به کارگاه تهیه مقاطع دانشکده معدن دانشگاه تهران ارسال گردید. ۳۵ مقطع صیقلی از نمونه های سنگ معدن و ۳۲ مقطع صیقلی از نمونه های باطله فرآوری (تیلینگ) مس سرچشمه برای مطالعه کانی شناسی تهیه شد. مقاطع تهیه شده و همچنین مقاطع موجود از

دمپ باطله (تهیه شده توسط آقای دکتر یوسفی) در آزمایشگاه کانی‌شناسی دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود توسط اینجانب مورد مطالعه قرار گرفت.

۲-۴ آماده‌سازی نمونه‌ها جهت آنالیز الکترون مایکروپروب

تعداد ۱۲ نمونه از نمونه‌های سنگ معدن، ۱۲ نمونه از نمونه‌های باطله‌های فراوری (تیلینگ) و ۱۴ نمونه از نمونه‌های دمپ باطله جهت آنالیز الکترون مایکروپروب به مرکز فراوری کرج ارسال گردید. مقاطع براساس وجود پیریت‌های دارای اشکال و اندازه‌های مختلف و همچنین وجود پیریت در کنار کانی‌های دیگر انتخاب شدند. در این مرکز پیریت‌های موجود در مقاطع صیقلی جهت تعیین عناصر کمیاب مورد آنالیز قرار گرفتند. پیریت‌های مربوط به نمونه‌های دمپ باطله در ۸۰ نقطه، و پیریت‌های مربوط به سنگ معدن و باطله فراوری هرکدام در ۴۰ نقطه مورد آنالیز الکترون مایکروپروب قرار گرفتند. در آنالیز پیریت‌ها سعی شد که نقاط انتخاب شده پیریت‌های مختلف را شامل شود.

۲-۵ روش آنالیز نمونه‌ها

۲-۵-۱ آنالیز الکترون مایکروپروب (EPMA)

در مطالعه حاضر به منظور آنالیز نمونه‌های پیریت از روش الکترون مایکروپروب (EPMA) استفاده شده‌است که در زیر توضیح مختصری برای معرفی این روش آورده شده‌است.

شیمی مواد معدنی به معنای ترکیب شیمیایی فاز جامد، می‌تواند در مطالعات کانی‌شناسی دارای اهمیت باشد. به عنوان مثال اندازه‌گیری میزان Fe(II) در دولومیت یا آنکربیت پیش‌بینی ظرفیت خنثی‌سازی این کانی‌ها را فراهم می‌نماید. عناصر کمیاب موجود در سولفیدها نیز دارای اهمیت بسیاری است زیرا همانطور

که قبلاً گفته شد اکسیداسیون و انحلال کانی‌های سولفیدی می‌تواند باعث خروج عناصر سمی از این کانی‌ها شده و اثرات جدی را ایجاد نماید [۲۹].

آنالیز الکترون میکروپروب (EPMA) آنالیز کمی با قدرت تفکیک مکانی بالا را فراهم می‌آورد به طوری که دانه‌های با ضخامت چند میکرومتر را می‌توان مورد آنالیز قرار داد. این نوع آنالیز به ویژه زمانی دارای اهمیت است که نیاز به تشخیص فازهای مشابه باشد. به عنوان مثال اسکوردیت، آرسنات فریک آبدار و هیدروکسید آهن حاوی آرسنیک براساس تفاوت‌های کوچک در نسبت Fe/As متمایز می‌شوند [۶۶]، [۶۷]. در کارهای اولیه آنالیز به شیوه‌های توده‌ای یا بالک انجام می‌شده‌است که دارای محدودیت بوده‌است. محدودیت اصلی روش توده‌ای این است که شناسایی کانی‌های کمتر از چند درصد کل نمونه بسیار دشوار است. علاوه بر این مواد با ساختمان بلوری ضعیف و آمورف که معمولاً شامل بسیاری از فازهای ثانویه باطله معدن می‌شوند نور را به خوبی انکسار نمی‌دهند. با EPMA، به طور معمول امکان آنالیز دقیق عناصر کمیاب با غلظت‌های کمتر از چند صد ppm وجود دارد. این روش می‌تواند به سوالات مربوط به ترکیب کانی‌های کربناته، فلزات کمیاب موجود در سولفیدهای اولیه و کانی‌های ثانویه پاسخ دهد [۲۹].

اساس کار این روش بمباران الکترونی حجم بسیار کوچکی از نمونه توسط یک تفنگ الکترونی با انرژی ۵ تا ۳۰ کیلو الکترون ولت و اندازه‌گیری میزان فوتون‌های اشعه ایکس ساطع شده توسط نمونه می‌باشد. از آنجایی که طول موج اشعه ایکس ساطع شده، مشخصه عنصر معینی می‌باشد، ترکیب نمونه به سادگی شناسایی می‌گردد. الکترون میکروپروب روشی است که قادر است بدون تخریب نمونه، حجم بسیار کوچکی (در حد میکرومتر) از نمونه را با حساسیت حدود ppm تجزیه کند.

دستگاه EPMA مورد استفاده برای آنالیز نمونه‌ها در مرکز فرآوری مواد معدنی کرج، CAMECA SX 100 و ساخت شرکت CAMECA فرانسه می‌باشد.

فصل سوم

بررسی‌های کانی‌شناسی بر روی دمپ باطله معدن مس سرچشمه

- کانه‌نگاری

- آنالیز الکترون میکروپروب

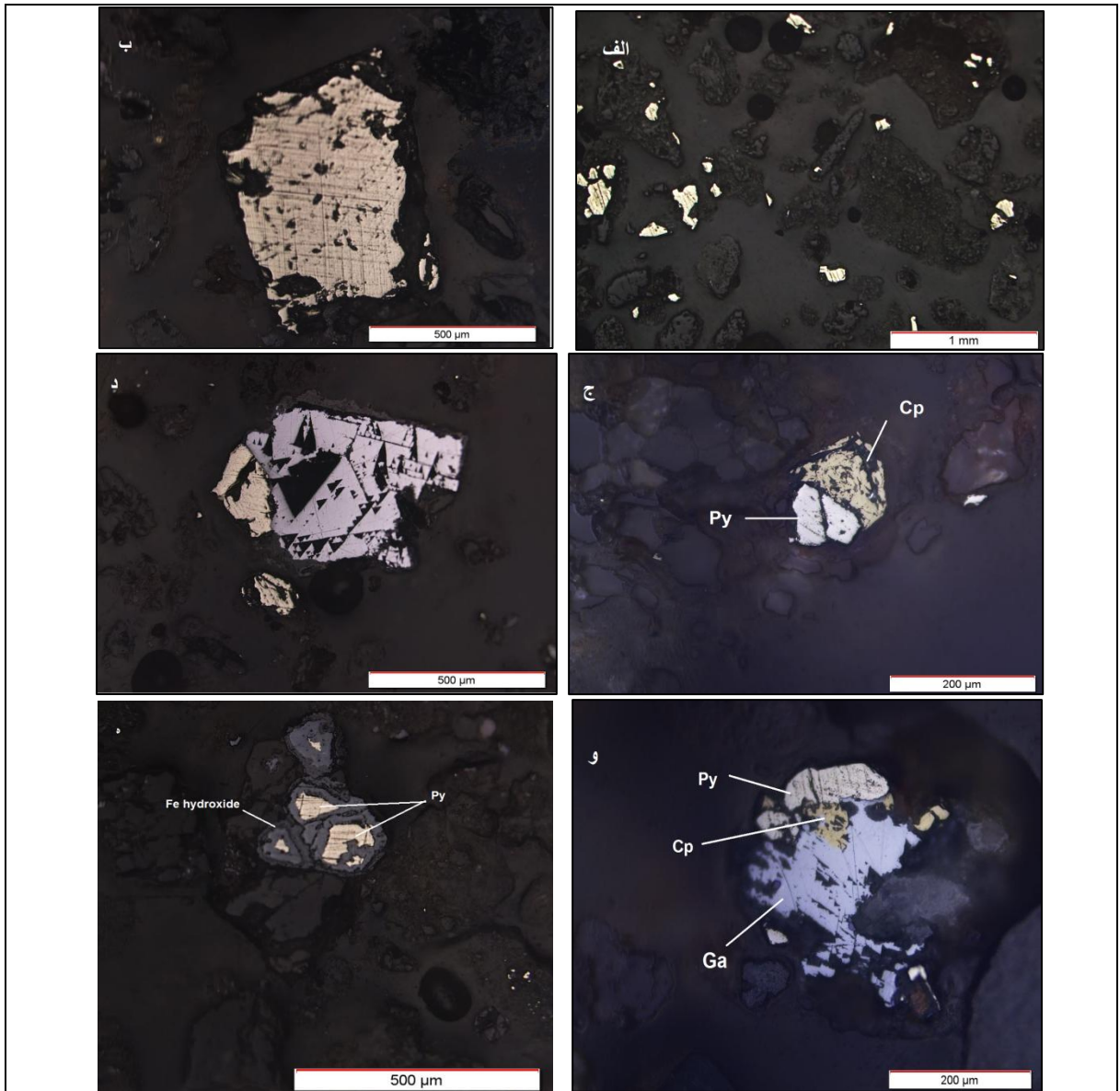
۳-۱ مقدمه

مطالعات دقیق کانه‌نگاری به منظور شناسایی کانی‌ها، روابط بافتی و اندازه ذرات بر روی تعداد ۵۰ مقطع صیقلی تهیه شده از نمونه‌های خاک و سنگ مربوط به دمپ باطله معدن مس سرچشمه صورت گرفت. پس از مطالعات دقیق کانه‌نگاری، تعداد ۱۴ مقطع جهت بررسی ترکیب شیمیایی پیریت و برخی دیگر از سولفیدها، جهت آنالیز الکترون میکروپروب انتخاب گردیدند. مقاطع جهت آنالیز الکترون میکروپروب بر این اساس انتخاب شدند که پیریت به اشکال مختلف، اندازه‌های مختلف و همچنین در کنار کانی‌های دیگر در مقاطع وجود داشته باشند. در این فصل به ارائه مطالعات کانه‌نگاری و نتایج حاصل از EPMA پرداخته می‌شود.

۳-۲ کانه‌نگاری مقاطع صیقلی تهیه شده از نمونه‌های دمپ باطله معدن مس سرچشمه

با توجه به بررسی‌های کانه‌نگاری توسط میکروسکوپ نور انعکاسی کانی‌های اصلی مشاهده شده در مقاطع صیقلی تهیه شده از نمونه‌های دمپ باطله عبارت از: پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، گالن، کوولیت و مگنتیت است. همچنین در آنالیز الکترون میکروپروب کانی سولفوسالت مس نیز شناسایی شد. پیریت با علامت اختصاری Py، کالکوپیریت Cp، گالن Ga، اسفالریت Sph، مگنتیت Mag نشان داده شدند.

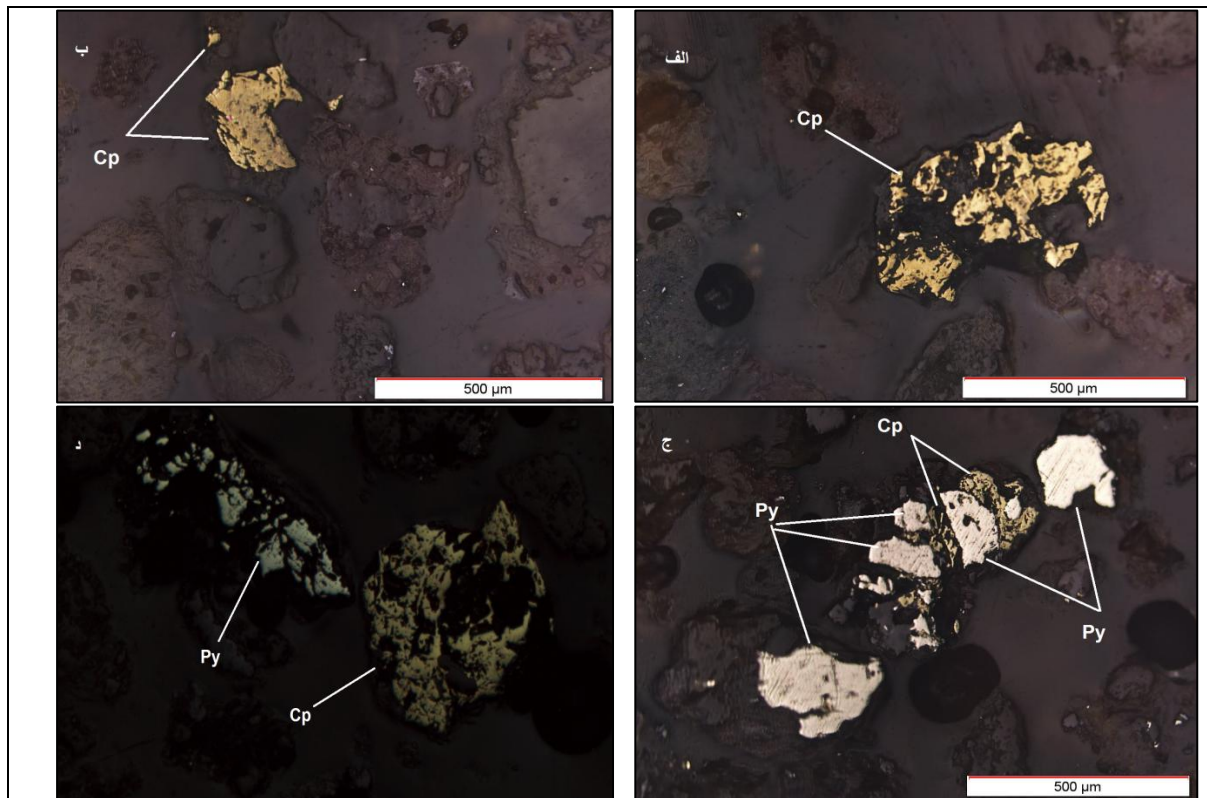
پیریت: در غالب مقاطع صیقلی مطالعه شده پیریت به صورت پراکنده در زمینه و اکثراً بی‌شکل و نیمه‌شکل‌دار و در اندازه‌های متفاوت دیده می‌شود (شکل ۳-۱-الف). برخی از آن‌ها آزاد بوده و به صورت مستقل در زمینه دیده می‌شوند (شکل ۳-۱-ب) و برخی همراه با کانی‌هایی مانند کالکوپیریت و گالن می‌باشند (شکل ۳-۱-ج-د-و). در بعضی از مقاطع صیقلی تهیه شده از نمونه‌های خاک پیریت هوازده شده و از اطراف به اکسید آهن تبدیل می‌شود (شکل ۳-۱-ه). ابعاد دانه‌ها از ۱۰ میکرون تا ۸۰۰ میکرون می‌باشد. فراوانی پیریت در مقاطع مورد مطالعه از ۱ تا ۲۰ درصد متغیر می‌باشد.



شکل ۱-۳ پیریت در مقاطع صیقلی دمپ باطله- نور انعکاسی ppl

- الف - پیریت پراکنده در زمینه
- ب- پیریت بی شکل
- ج- پیریت در کنار کالکوپیریت
- د- پیریت در کنار گالن
- و- پیریت، کالکوپیریت و گالن
- ه- پیریت هوازده

کالکوپیریت: در مقاطع مطالعه شده، تعداد کمی دانه کالکوپیریت به صورت مستقل و بی‌شکل مشاهده شده‌است (شکل ۲-۳-الف و ب). همچنین در برخی مقاطع این کانی به صورت هم‌رشدی با پیریت نیز مشاهده شده‌است. (شکل ۲-۳-ج و د). ابعاد ذرات کالکوپیریت در مقاطع از کمتر از ۱۰ میکرون تا ۱۰۰ میکرون است. فراوانی در این کانی در مقاطع جمعا کمتر از ۵ درصد می‌باشد.

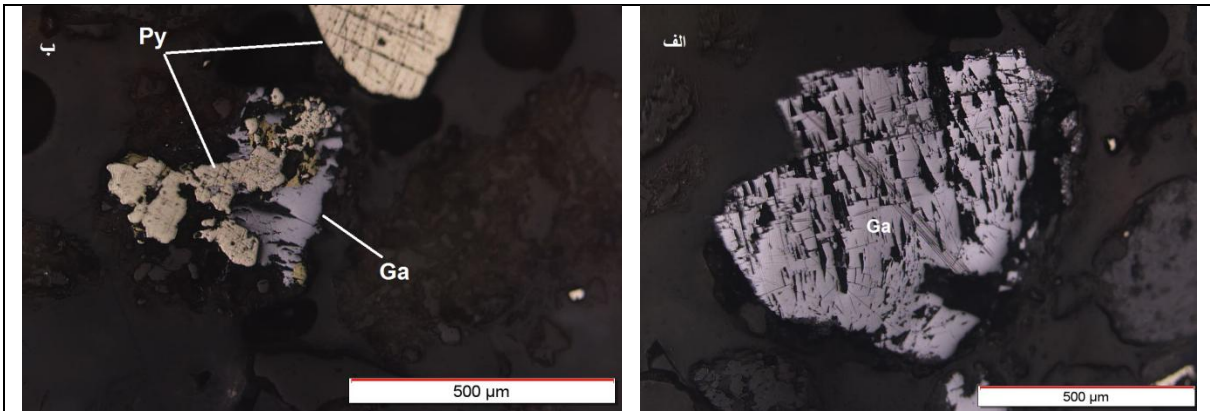


شکل ۲-۳ کالکوپیریت در مقاطع صیقلی دمپ باطله- نور انعکاسی ppl

الف و ب- کانی مستقل کالکوپیریت

ج و د- کالکوپیریت در کنار پیریت

گالن: تعداد گالن در مقاطع مورد مطالعه انگشت شمار می‌باشد. گالن‌ها سالم بوده و هم به صورت مستقل و آزاد (شکل ۳-۳-الف) و هم به صورت درگیر با پیریت و کالکوپیریت وجود دارد (شکل ۳-۳-ب). فراوانی گالن در مقاطع صیقلی کمتر از یک درصد می‌باشد.

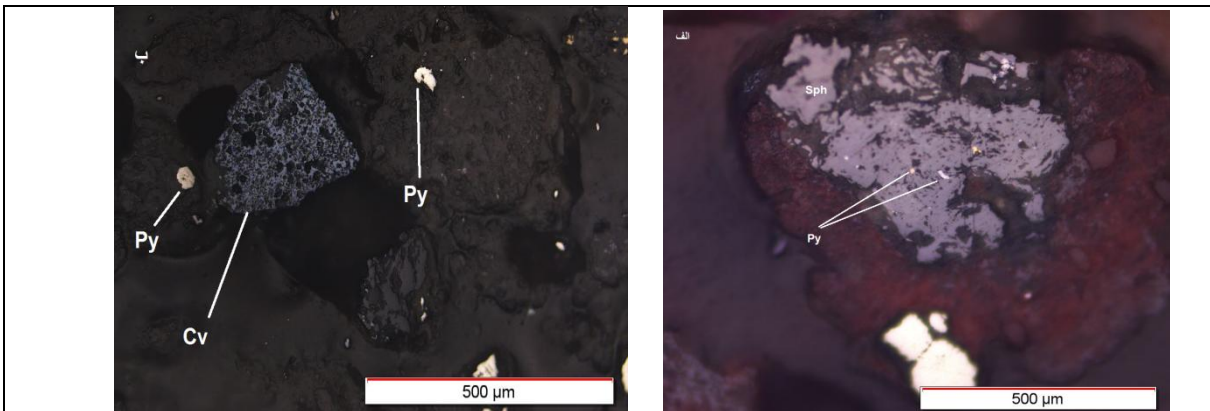


شکل ۳-۳ گالن در مقاطع صیقلی دمپ باطله- نور انعکاسی ppl

الف- کانی مستقل گالن در نور ppl

ب- کانی گالن در کنار پیریت در نور ppl

اسفالریت و کولیت : این دو کانی در مقاطع مطالعه شده فقط در یک نقطه مشاهده شدند. اسفالریت مشاهده شده با ادخال‌هایی از کانی پیریت یا کالکوپیریت همراه می‌باشد (شکل ۳-۴-الف). کولیت به صورت بلور مستقل در مقاطع وجود دارند (شکل ۳-۴-ب).

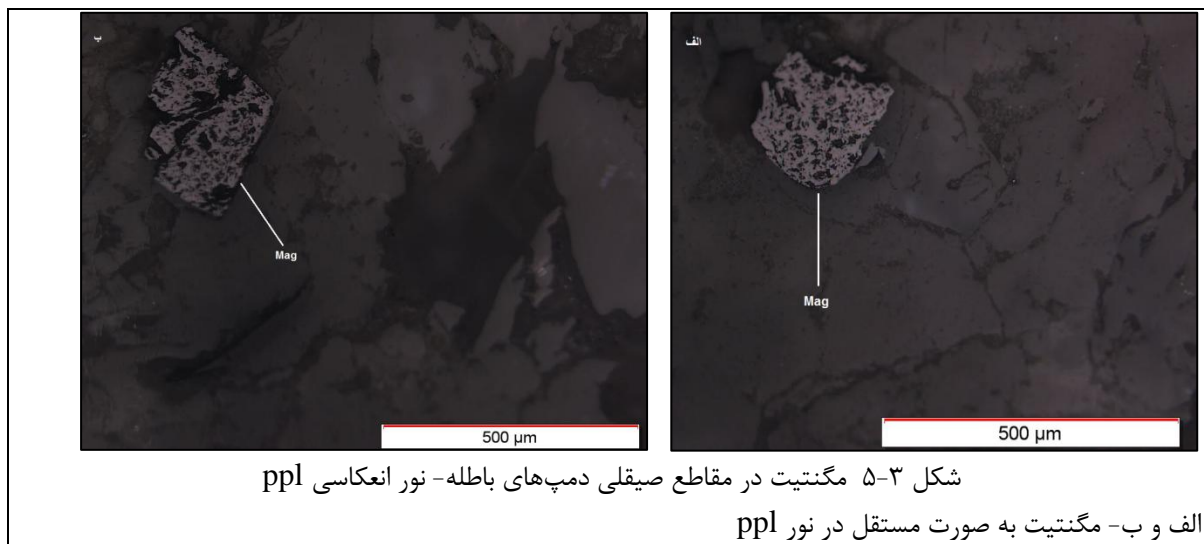


شکل ۴-۳ اسفالریت و کولیت در مقاطع صیقلی دمپ باطله- نور انعکاسی ppl

الف- اسفالریت همراه با ادخال‌هایی از کانی پیریت در نور ppl

ب- کانی کولیت به صورت مستقل در نور ppl

مگنتیت: در مقاطع مورد مطالعه چند بلور مگنتیت با فراوانی کمتر از ۵ درصد مشاهده می‌شود. بلورهای این کانی به صورت مستقل و آزاد وجود داشته و با کانی دیگری ارتباط نداشتند. (شکل ۳-۵ - الف - ب).



۳-۳ آنالیز الکترون میکروپروب پیریت نمونه‌های دمپ باطله معدن مس سرچشمه

پس از مطالعات کانه‌نگاری روی مقاطع صیقلی تهیه شده از نمونه‌های دمپ باطله، تعدادی از مقاطع برای انجام آنالیز الکترون میکروپروب انتخاب شدند. در انتخاب مقاطع دقت شد که پیریت‌ها دارای اشکال مختلف، پیریت‌های مستقل، هم‌رشد و همراه با دیگر کانی‌ها مورد آنالیز قرار گیرند. علاوه بر پیریت، کانی‌های دیگری مانند کالکوپیریت، اسفالریت، گالن و تنانتیت نیز در چند نقطه مورد آنالیز قرار گرفتند (جدول ۳-۱ تا ۳-۴). در ادامه نتایج حاصل از آنالیز EPMA و تصاویر میکروسکوپ الکترونی نقاط آنالیز شده ارائه می‌گردد.

پیریت: تعداد نقاطی که در آن‌ها پیریت نمونه‌های دمپ باطله معدن مس سرچشمه مورد آنالیز قرار گرفت، ۹۰ نقطه می‌باشد که این تعداد نقاط متعلق به ۱۴ مقطع صیقلی تهیه شده از نمونه‌های برداشت

شده از دمپ‌های باطله ۱۹ و ۳۱ معدن مس سرچشمه است. این پیریت‌ها به منظور تعیین عناصری مانند Fe، S، Ni، Co، Cd، As، Zn، Cu، Hg، Pb و Sb مورد آنالیز قرار گرفتند (جدول ۳-۱).

با توجه به جدول (۳-۱)، آهن در پیریت‌های دمپ باطله دارای غلظت ۴۵/۶۸ تا ۴۸/۴۹ درصد وزنی، گوگرد دارای غلظت ۴۹/۴۸ تا ۵۴/۴۲ درصد وزنی، آرسنیک دارای غلظت‌های کمتر از ۱۰۰ تا ۸۴۰۰ گرم بر تن، مس دارای غلظت‌های کمتر از ۱۰۰ تا ۱۱۳۰۰ گرم بر تن، نیکل دارای غلظت‌های کمتر از ۱۰۰ تا ۱۶۰۰ گرم بر تن، کبالت دارای غلظت‌های کمتر از ۱۰۰ تا ۶۰۰ گرم بر تن، روی دارای غلظت‌های کمتر از ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ گرم بر تن، کادمیم دارای غلظت‌های کمتر از ۱۰۰ تا ۷۰۰ گرم بر تن، جیوه دارای غلظت‌های کمتر از ۱۰۰ تا ۲۵۰۰ گرم بر تن و آنتیموان دارای غلظت‌های کمتر از ۱۰۰ تا ۳۰۰ گرم بر تن می‌باشد. در پیریت‌های آنالیز شده، سرب فقط در یک نقطه با غلظت ۵۱۰۰ گرم بر تن و در بقیه نقاط کمتر از حد تشخیص دستگاه یعنی کمتر از ۱۰۰ گرم بر تن گزارش شده‌است. تصاویر حاصل از میکروسکوپ الکترونی و نقاط آنالیز شده نشان داده شده در شکل (۳-۶ تا ۳-۱۱) آمده‌است.

جدول ۳-۱ غلظت عناصر در پیریت‌های دمپ باطله معدن مس سرچشمه (غلظت آهن و گوگرد براساس درصد وزنی و واحد سایر عناصر گرم بر تن می‌باشد)

نقاط آنالیز	S	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Sb	Hg	Pb	Total
1	53.83	46.66	<100	<100	200	<100	2600	<100	<100	1700	<100	100.96
2	53.9	45.78	<100	<100	<100	<100	2900	200	<100	<100	<100	99.99
3	54.42	45.68	<100	<100	<100	300	8400	<100	<100	100	<100	100.74
4	54.01	46.53	<100	<100	<100	<100	3100	<100	<100	<100	<100	100.87
5	54.29	45.91	<100	1600	<100	<100	<100	200	100	<100	<100	100.39
6	54.24	46.3	<100	<100	100	200	2900	<100	<100	200	<100	100.89
7	54.25	46.18	<100	<100	2200	<100	2500	<100	<100	<100	<100	100.9
8	54.31	46.01	<100	<100	1400	<100	1900	<100	<100	1000	<100	100.75
9	52.61	46.37	<100	<100	<100	<100	1800	300	<100	<100	<100	99.19
10	53.6	46.64	<100	<100	100	100	1500	100	<100	1000	<100	100.54

ادامه جدول ۳-۱ غلظت عناصر در پیریت‌های دمپ باطله معدن مس سرچشمه (غلظت آهن و گوگرد براساس درصد وزنی و واحد سایر عناصر گرم بر تن می‌باشد)

نقاط آنالیز	S	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Sb	Hg	Pb	Total
11	53.44	46.07	<100	100	<100	<100	1300	<100	300	900	<100	99.84
12	52.73	46.36	<100	<100	500	<100	<100	300	<100	400	<100	99.21
13	51.85	46.28	<100	<100	<100	<100	6000	<100	<100	<100	<100	98.97
14	54.08	46.13	<100	<100	4300	<100	2400	<100	100	<100	<100	100.89
15	53.19	46.55	<100	<100	2800	<100	900	200	<100	<100	<100	100.13
16	53.78	46.14	<100	<100	<100	700	4900	<100	<100	<100	<100	100.48
17	52.83	47.91	<100	<100	1500	<100	100	100	100	<100	<100	100.92
18	51.97	47.48	<100	<100	<100	<100	800	<100	<100	1300	<100	99.66
19	52.9	47.88	400	<100	<100	200	300	500	<100	<100	<100	100.97
20	52.62	48.01	<100	<100	<100	<100	<100	100	200	<100	<100	100.67
21	50.79	47.87	<100	<100	100	<100	300	<100	<100	<100	<100	98.71
22	53.46	47.13	<100	<100	<100	400	200	600	200	<100	<100	100.73
23	53.88	47.06	<100	<100	100	<100	200	<100	<100	2000	<100	101.17
24	52.79	47.42	<100	<100	300	<100	200	<100	200	400	<100	100.32
25	53.58	47.14	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	900	<100	100.84
26	53.16	47.33	<100	<100	300	400	500	<100	<100	1600	<100	100.8
27	53.55	47.33	<100	<100	100	<100	700	100	<100	300	<100	101.01
28	53.48	47.52	<100	<100	200	<100	200	300	200	<100	<100	101.1
29	53.75	47.04	<100	<100	100	<100	400	<100	<100	<100	<100	100.86
30	54.11	47.11	<100	<100	<100	<100	300	<100	<100	800	<100	101.34
31	53.02	47.71	<100	<100	1100	1000	800	<100	100	<100	<100	101.05
32	52.55	48.05	<100	<100	500	<100	200	300	200	<100	<100	100.74
33	52.94	47.18	<100	<100	2200	<100	500	400	<100	<100	5100	100.94
34	53	47.74	<100	100	<100	<100	600	<100	<100	800	<100	100.91
35	53.35	47.04	<100	<100	<100	<100	600	<100	<100	<100	<100	100.46
36	53.07	47.37	100	500	<100	<100	500	100	<100	<100	<100	100.59
37	53.05	47.34	<100	<100	800	400	600	<100	<100	<100	<100	100.61
38	53.11	47	<100	<100	500	200	200	400	<100	<100	<100	100.24
39	54.31	46.83	<100	<100	<100	<100	600	<100	<100	<100	<100	101.2
40	53.24	46.98	<100	<100	700	100	300	400	<100	2000	<100	100.54
41	52.35	47.81	<100	<100	<100	200	300	<100	<100	300	<100	100.24
42	54.09	47.15	<100	<100	100	<100	300	<100	<100	400	<100	101.32
43	53.27	47.13	<100	<100	300	400	200	<100	<100	400	<100	100.53
44	53.53	47.24	<100	<100	300	<100	400	<100	<100	<100	<100	100.84
45	53.15	47.51	<100	<100	<100	<100	100	100	<100	800	<100	100.76

ادامه جدول ۳-۱ غلظت عناصر در پیریت‌های دمپ باطله معدن مس سرچشمه (غلظت آهن و گوگرد براساس درصد وزنی و واحد سایر عناصر گرم بر تن می‌باشد)

نقاط آنالیز	S	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Sb	Hg	Pb	Total
46	51.99	46.51	<100	<100	<100	400	<100	<100	<100	200	<100	98.57
47	52.11	47.01	<100	<100	<100	500	300	<100	<100	1600	<100	99.36
48	51.36	46.91	<100	200	<100	200	<100	<100	<100	<100	<100	98.49
49	49.48	47.95	<100	<100	<100	100	<100	100	100	<100	<100	97.46
50	52.17	47.08	<100	<100	300	100	<100	<100	<100	<100	<100	99.31
51	51.99	47.83	<100	<100	<100	200	400	300	<100	900	<100	100
52	52.57	47.85	<100	<100	100	600	700	300	100	<100	<100	100.6
53	52.07	47.52	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	100	<100	99.6
54	52.19	48.49	<100	<100	11300	200	400	<100	<100	<100	<100	100.76
55	52.54	48.21	<100	<100	<100	<100	400	<100	<100	600	<100	100.85
56	52.39	48.48	100	<100	300	300	<100	300	<100	600	<100	101.02
57	52.81	48.17	100	<100	<100	200	400	<100	<100	700	<100	101.11
58	52.81	47.81	100	<100	<100	200	<100	<100	<100	<100	<100	100.65
59	52.46	48.11	<100	<100	200	<100	400	<100	<100	<100	<100	100.63
60	52.29	47.87	100	<100	300	200	300	500	<100	<100	<100	100.3
61	52.47	47.82	200	<100	<100	<100	1200	<100	300	<100	<100	100.45
62	52	47.44	100	<100	100	500	700	300	<100	<100	<100	99.6
63	52.41	47.72	100	<100	300	<100	<100	<100	<100	<100	<100	100.18
64	52.66	48.32	<100	<100	500	<100	300	<100	<100	<100	<100	101.07
65	52.45	48.16	100	<100	<100	<100	100	400	<100	500	<100	100.71
66	53.35	48.19	<100	<100	500	300	700	<100	<100	<100	<100	101.7
67	52.94	48.32	<100	<100	<100	100	800	<100	<100	<100	<100	101.36
68	52.57	48.04	<100	<100	200	<100	100	400	<100	<100	<100	100.69
69	53.1	48.26	<100	<100	600	<100	<100	<100	<100	1000	<100	101.51
70	52.83	47.93	<100	<100	200	<100	500	<100	<100	<100	<100	100.83
71	52.79	47.6	100	<100	<100	300	400	<100	<100	1200	<100	100.6
72	52.99	47.4	<100	<100	300	100	600	<100	<100	<100	<100	100.49
73	53.34	47.47	<100	<100	100	300	900	<100	<100	<100	<100	100.94
74	53.02	47.6	<100	<100	100	300	300	<100	<100	<100	<100	100.7
75	53.73	47.1	<100	<100	300	200	100	<100	<100	<100	<100	100.89
76	53.91	47.91	<100	<100	100	200	500	<100	<100	400	<100	101.95
77	53.18	47.59	<100	<100	<100	200	200	<100	<100	600	<100	100.87
78	53.87	47.96	<100	<100	100	<100	<100	700	<100	<100	<100	101.91
79	53.24	47.11	100	<100	200	400	500	<100	100	600	<100	100.54
80	53.17	47.39	200	<100	<100	300	<100	100	<100	1200	<100	100.76

ادامه جدول ۳-۱) غلظت عناصر در پیریت‌های دمپ باطله معدن مس سرچشمه (غلظت آهن و گوگرد براساس درصد وزنی و واحد سایر عناصر گرم بر تن می‌باشد)

نقاط آنالیز	S	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Sb	Hg	Pb	Total
81	53.18	46.89	<100	<100	300	<100	400	<100	<100	100	<100	100.19
82	53.37	46.33	100	<100	<100	100	600	500	<100	800	<100	99.91
83	53.21	46.93	600	<100	600	<100	300	<100	200	100	<100	100.26
84	53.62	46.4	100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	1300	<100	100.2
85	53.68	46.53	100	<100	<100	400	<100	100	<100	<100	<100	100.3
86	53.15	46.94	<100	<100	200	100	<100	600	200	2500	<100	100.52
87	53.59	47.06	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	100.71
88	53.12	47.4	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	1300	<100	100.65
89	53.32	47.07	100	<100	<100	<100	700	700	<100	900	<100	100.65
90	53.56	46.76	<100	<100	400	600	<100	<100	<100	<100	<100	100.42

کالکوپیریت: تعداد نقاطی که در آنها کالکوپیریت نمونه‌های دمپ باطله معدن مس سرچشمه مورد آنالیز قرار گرفت، ۱۱ نقطه می‌باشد. با توجه به جدول (۳-۲)، گوگرد در کالکوپیریت نمونه‌های دمپ باطله در محدوده ۳۲/۳۹ تا ۳۶/۹۱ در صد وزنی و آهن ۲۹/۸۱ تا ۳۳/۳۴ قرار دارد. مس دارای غلظت‌های ۳۲ تا ۳۴/۷۲ درصد وزنی می‌باشد. آرسنیک در کالکوپیریت‌های آنالیز شده دارای غلظت‌های کمتر از ۱۰۰ تا ۵۲۰۰ گرم بر تن، کادمیم کمتر از ۱۰۰ تا ۳۰۰ گرم بر تن، آنتیموان دارای غلظت کمتر از ۱۰۰ گرم بر تن و جیوه دارای غلظت‌های کمتر از ۲۰۰ تا ۱۲۰۰ گرم بر تن می‌باشد. سرب، نیکل، کبالت و روی در همه نقاط کمتر از حد تشخیص دستگاه یعنی کمتر از ۱۰۰ گرم بر تن گزارش شده‌است.

جدول ۲-۳) غلظت عناصر در کالکوپیریت‌های دمپ باطله معدن مس سرچشمه (غلظت آهن و گوگرد و مس براساس

درصد وزنی و واحد بقیه عناصر گرم بر تن می‌باشد)

نقاط آنالیز	S	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Sb	Hg	Pb	Total
1	36.91	29.88	<100	<100	33.59	<100	500	<100	100	800	<100	100.52
2	35.67	29.81	<100	<100	33.02	<100	1300	<100	100	600	<100	98.7
3	35.13	30.68	<100	<100	32.72	<100	5200	100	<100	800	<100	99.14
4	35.14	30.22	<100	<100	33.21	<100	2600	<100	<100	800	<100	98.91
5	35.78	29.96	<100	<100	33.06	<100	2000	200	<100	<100	<100	99.02
6	34.66	31.26	<100	<100	32	<100	1400	<100	100	800	<100	98.15
7	35.27	31.08	<100	<100	34.2	<100	400	0<100	<100	300	<100	100.62
8	35.33	31.11	<100	<100	34.06	<100	100	<100	<100	<100	<100	100.51
9	34.14	31.19	<100	<100	34.72	<100	<100	<100	<100	1200	<100	100.17
10	34.22	30.85	<100	<100	34.32	<100	<100	300	<100	200	<100	99.44
11	32.39	33.34	<100	<100	32.52	<100	4400	<100	<100	<100	<100	98.79

گالن و اسفالریت و تنانتیت: این سه کانی به ترتیب در ۳ و ۱ و ۴ نقطه آنالیز شدند. با توجه به جدول (۳-۳)، عناصر موجود در گالن دارای غلظت‌های زیر می‌باشند: آرسنیک کمتر از ۱۰۰ تا ۲۴۰۰ گرم بر تن ، کادمیم کمتر از ۱۰۰ تا ۲۰۰ گرم بر تن ، جیوه ۴۰۰ تا ۱۳۰۰ گرم بر تن ، مس کمتر از ۱۰۰ تا ۳۰۰۰ گرم بر تن ، روی کمتر از ۱۰۰ تا ۴۰۰ گرم بر تن و سرب موجود در گالن ۸۷/۸۶، ۸۷/۰۹ و ۷۱/۷۳ درصد وزنی می‌باشد. عناصری چون کبالت، نیکل و آنتیموان در گالن آنالیز شده کمتر از حد تشخیص دستگاه یعنی کمتر از ۱۰۰ گرم بر تن گزارش شده‌است. با توجه به جدول (۴-۳) عناصر موجود در اسفالریت دارای غلظت‌های زیر می‌باشند: آرسنیک ۱۰۰ گرم بر تن ، کادمیم ۲۸۰۰ گرم بر تن ، آنتیموان ۲۰۰ گرم بر تن ، جیوه ۷۰۰ گرم بر تن ، مس ۱۰۰ گرم بر تن و روی موجود در اسفالریت ۶۱/۰۸ درصد وزنی می‌باشد. عناصری چون کبالت، نیکل و سرب در اسفالریت آنالیز شده کمتر از حد

تشخیص دستگاه یعنی کمتر از ۱۰۰ گرم بر تن گزارش شده است. با توجه به جدول (۳-۵) عناصر موجود در تنانتیت دارای غلظت‌های زیر می‌باشند: آرسنیک ۱۳/۹۸ و ۱۹/۱۵ درصد وزنی، کادمیم کمتر از ۱۰۰ تا ۷۰۰ گرم بر تن، آنتیموان ۱/۶۳ تا ۱۰/۶۴ درصد وزنی، روی ۲۲۵۰۰ و ۴۳۳۰۰ گرم بر تن، مس ۳۸/۶۲ و ۴۲/۰۵ گرم بر تن، جیوه کمتر از ۱۰۰ تا ۴۰۰ گرم بر تن، کبالت کمتر از ۱۰۰ تا ۱۰۰ گرم بر تن و عناصری چون نیکل و سرب در همه نقاط کمتر از ۱۰۰ گرم بر تن گزارش شده‌اند.

جدول ۳-۳ غلظت عناصر در گالن دمپ باطله معدن مس سرچشمه (غلظت آهن و گوگرد، و سرب براساس درصد وزنی و واحد بقیه عناصر گرم بر تن می‌باشد)

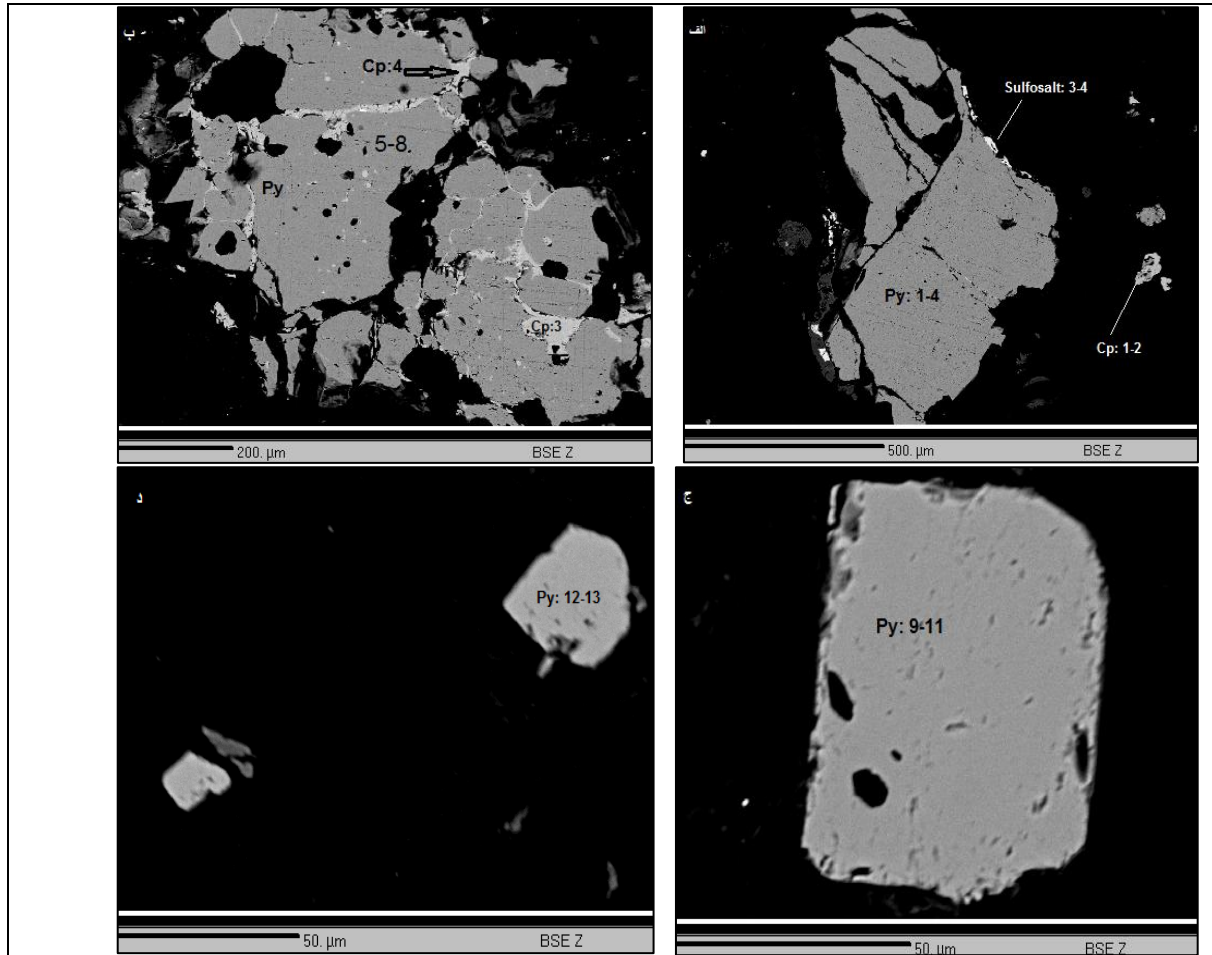
نقاط آنالیز	S	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Sb	Hg	Pb	Total
1	15.37	11.08	<100	<100	3000	<100	<100	200	<100	1800	71.73	98.68
2	11.06	0.27	<100	<100	<100	400	2400	400	<100	400	87.86	99.35
3	10.92	<100	<100	<100	<100	<100	900	<100	<100	1300	87.09	98.23

جدول ۳-۴ غلظت عناصر در اسفالریت دمپ باطله معدن مس سرچشمه (غلظت آهن و گوگرد و روی براساس درصد وزنی و واحد بقیه عناصر گرم بر تن می‌باشد)

نقاط آنالیز	S	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Sb	Hg	Pb	Total
1	29.52	2.13	<100	<100	100	61.08	100	2800	200	700	<100	93.12

جدول ۳-۵ غلظت عناصر در تنانتیت دمپ باطله معدن مس سرچشمه (غلظت آهن و گوگرد، آنتیموان، مس و آرسنیک براساس درصد وزنی و واحد بقیه عناصر گرم بر تن می‌باشد)

نقاط آنالیز	S	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Sb	Hg	Pb	Total
1	26.3	4.58	100	<100	38.62	22500	13.98	<100	10.64	<100	<100	96.38
2	27.87	5.26	<100	<100	39.88	24800	17.8	400	4.83	<100	<100	98.16
3	29.7	2.75	<100	<100	42.05	43300	19.15	100	1.63	400	<100	99.66
4	29.69	3.11	<100	<100	40.31	41300	18.08	700	2.56	<100	<100	98.22



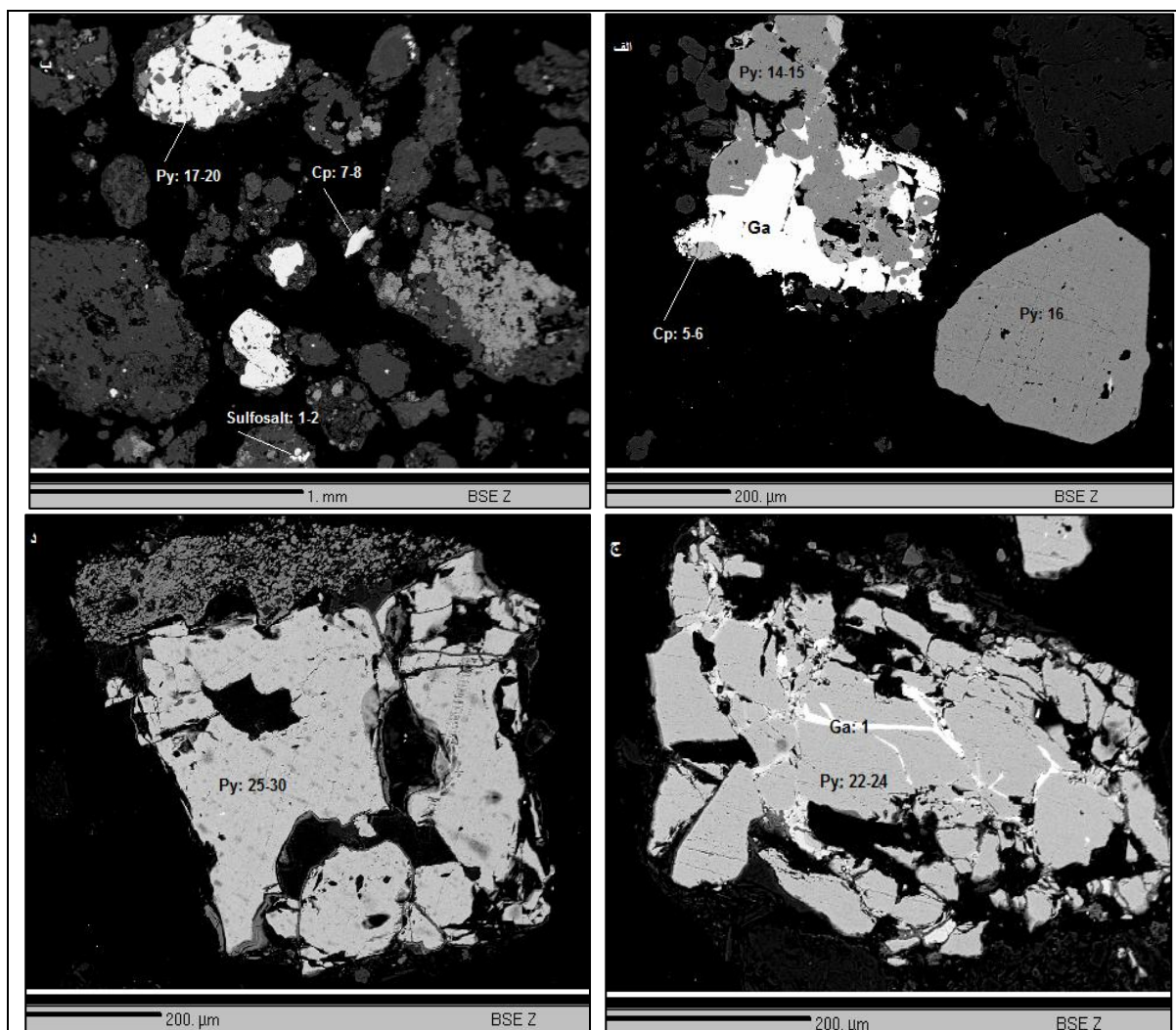
شکل ۳-۶ تصاویر میکروسکوپ الکترونی کانی‌ها و نقاط آنالیز شده در نمونه‌های دمپ باطله معدن مس سرچشمه

الف- پیریت همراه با نوار باریک سولفوسالت (تنانتیت) در کنار کالکوپیریت

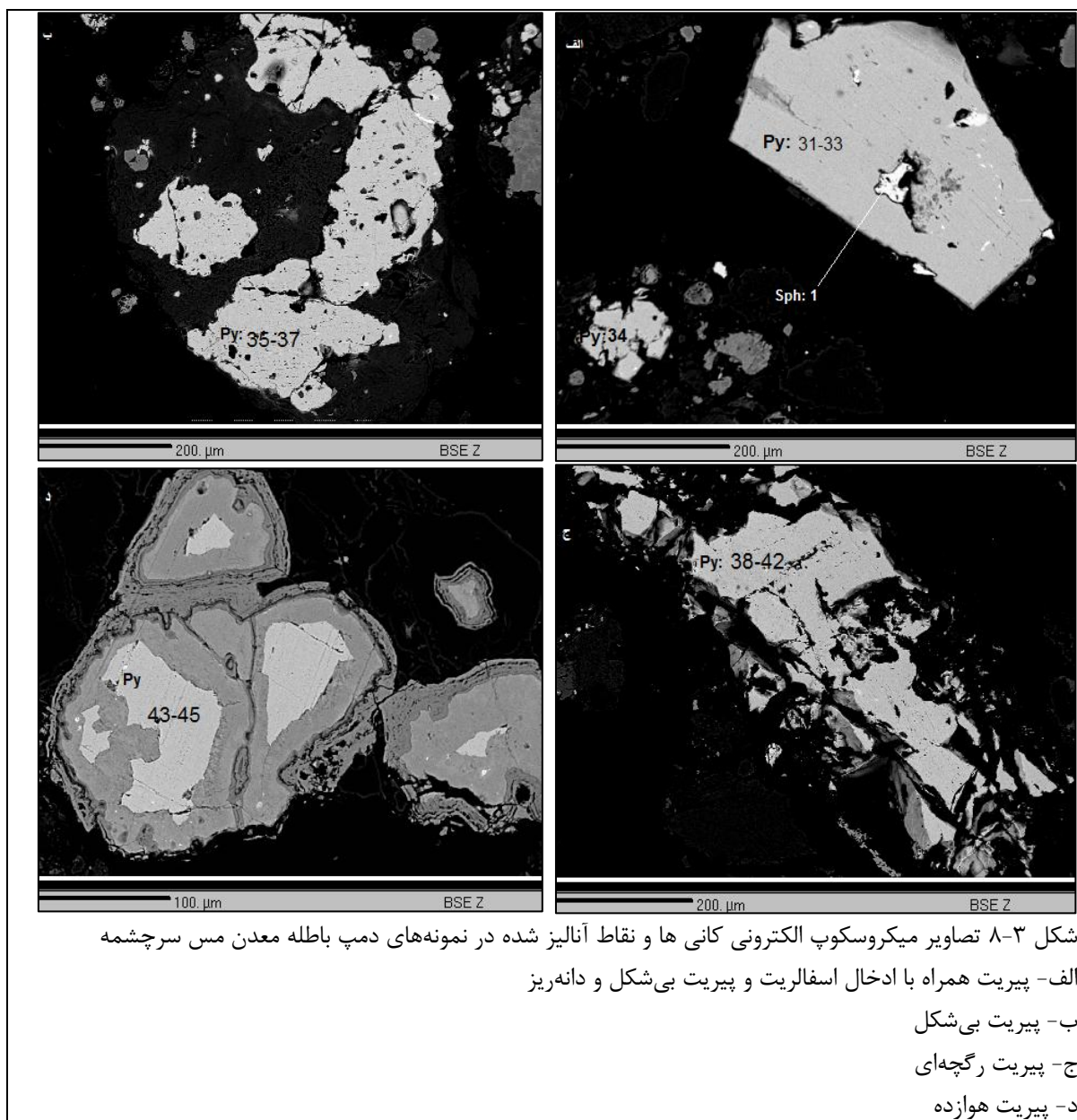
ب- پیریت همراه با کالکوپیریت در شکستگی‌های آن

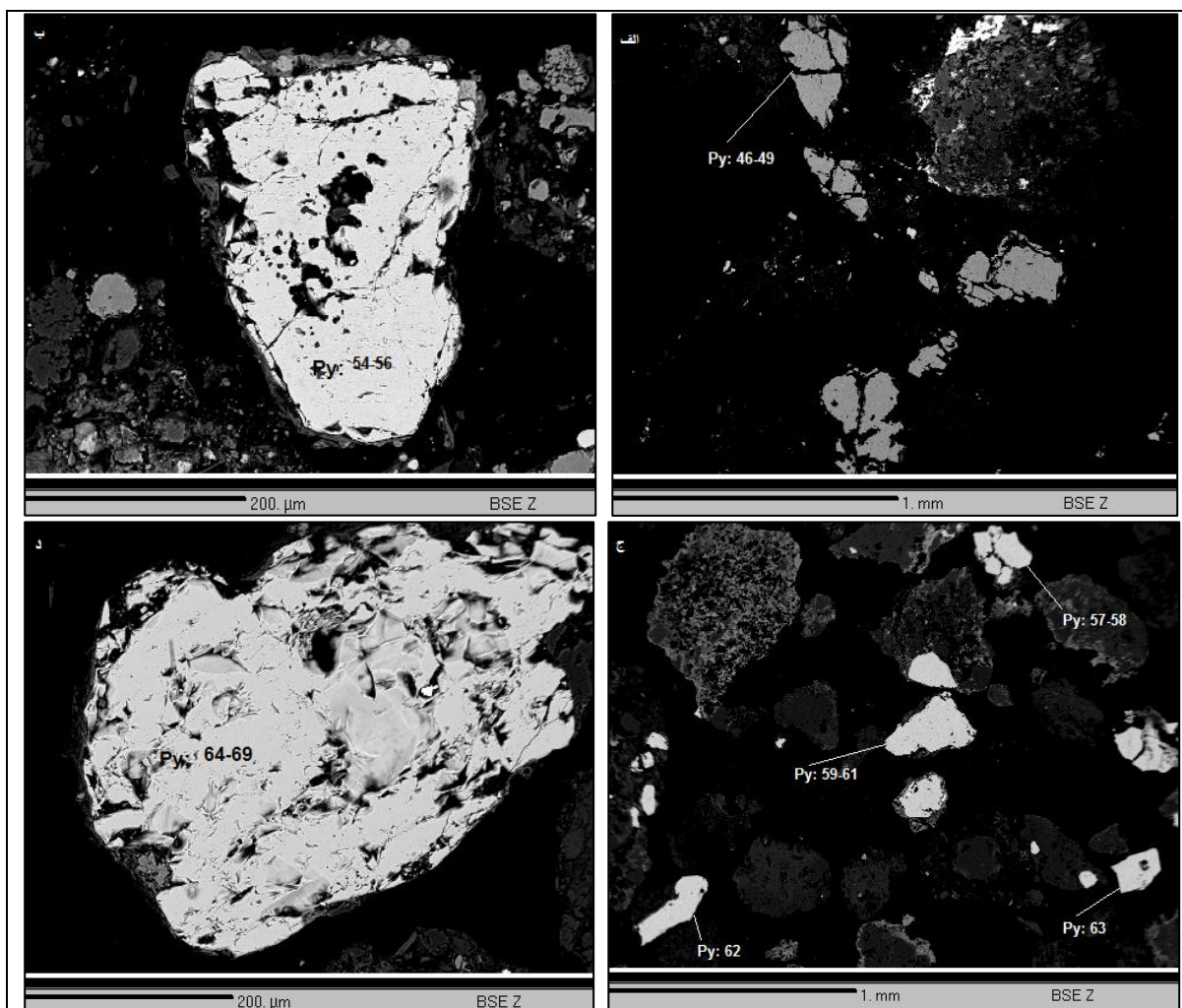
ج- پیریت شکل‌دار

د- پیریت دانه ریز و پراکنده در زمینه



شکل ۳-۷ تصاویر میکروسکوپ الکترونی کانی‌ها و نقاط آنالیز شده در نمونه‌های دمپ باطله معدن مس سرچشمه
 الف- پیریت مستقل و هم‌رشدی پیریت گالن و کالکوپیریت
 ب- پیریت، کالکوپیریت و سولفوسالت
 ج- پیریت همراه با گالن در شکستگی‌های آن
 د- پیریت بی‌شکل





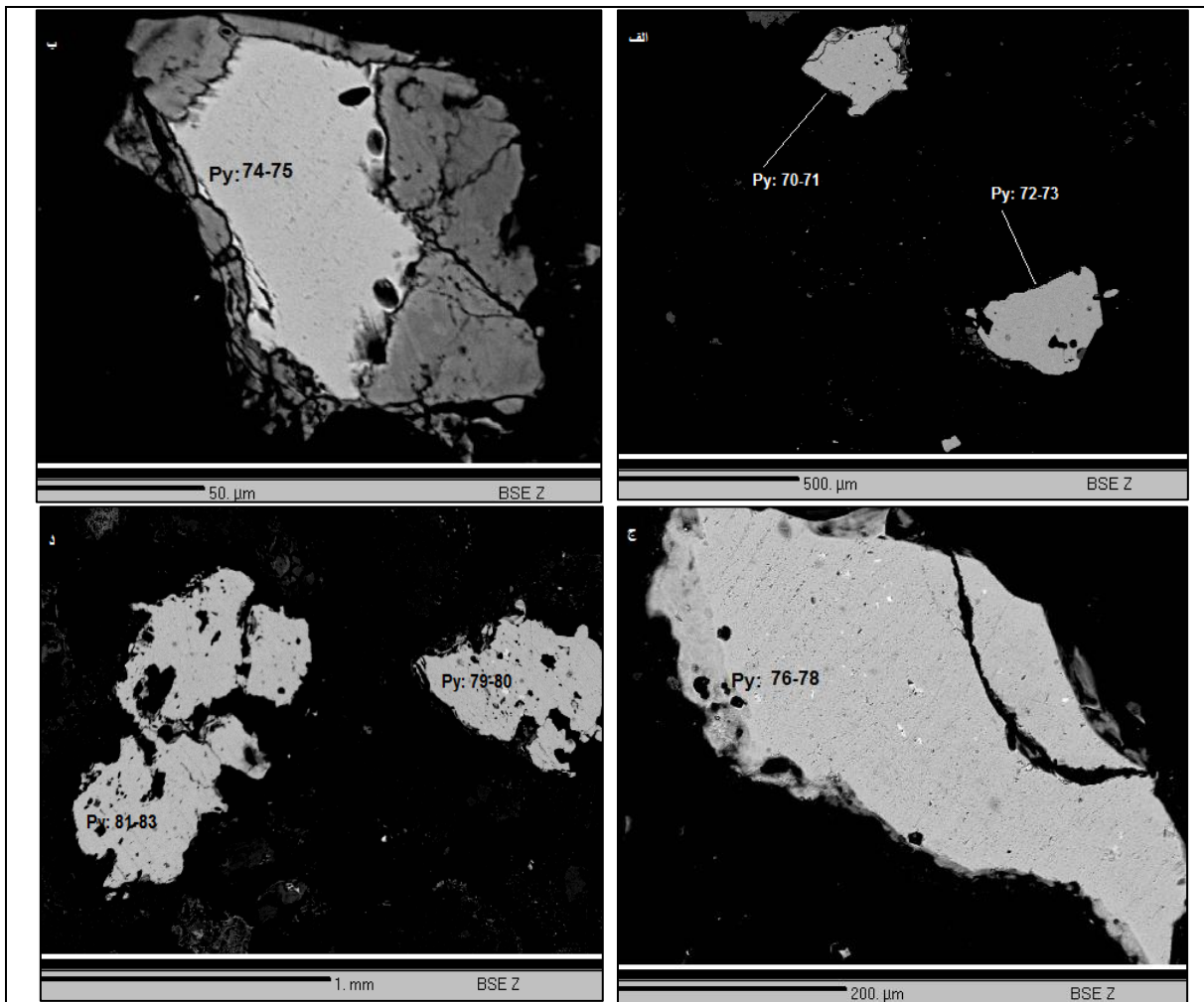
شکل ۳-۹ تصاویر میکروسکوپ الکترونی کانی‌ها و نقاط آنالیز شده در نمونه‌های دمپ باطله معدن مس سرچشمه

الف- پیریت‌های دانه ریز در زمینه

ب- پیریت مستقل و بی‌شکل

ج- پیریت‌های دانه ریز در زمینه

د- پیریت مستقل و بی‌شکل



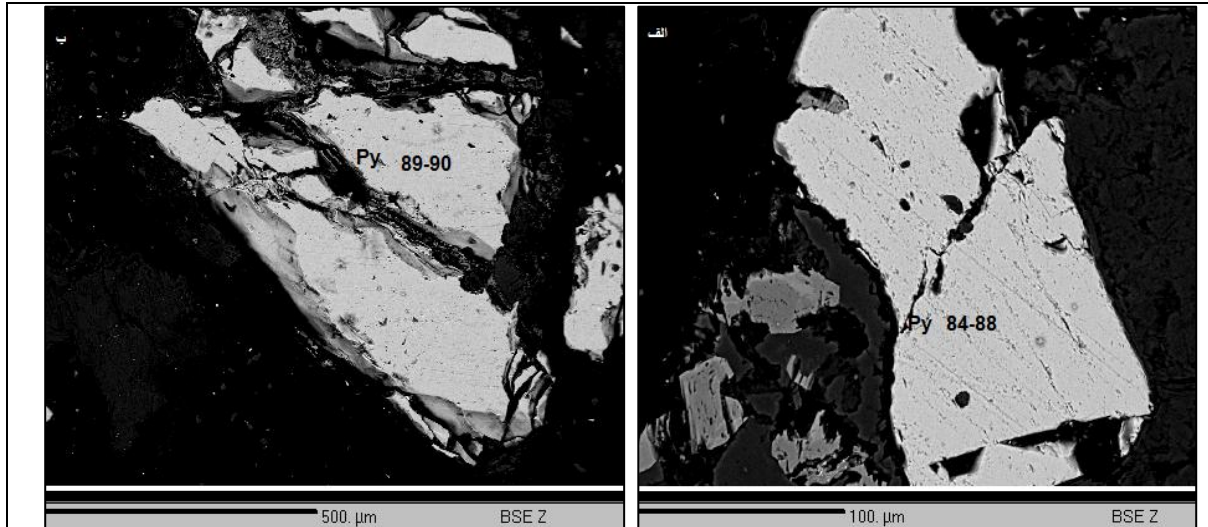
شکل ۳-۱۰ تصاویر میکروسکوپ الکترونی کانی‌ها و نقاط آنالیز شده در نمونه‌های دمپ باطله معدن مس سرچشمه

الف- پیریت‌های بی شکل

ب- پیریت بی شکل

ج- پیریت بی شکل

د- پیریت‌های بی شکل



شکل ۳-۱۱ تصاویر میکروسکوپ الکترونی کانی‌ها و نقاط آنالیز شده در نمونه‌های دمپ باطله معدن مس سرچشمه
الف و ب- پیریت بی‌شکل

فصل چهارم

بررسی‌های کانی‌شناسی بر روی سنگ معدن مس سرچشمه

- کانه‌نگاری

- آنالیز الکترون میکروپروب

۴-۱ مقدمه

مطالعات دقیق کانه‌نگاری به منظور شناسایی کانی‌ها، روابط بافتی و اندازه ذرات بر روی تعداد ۳۵ مقطع صیقلی تهیه شده از نمونه‌های سنگ مربوط به سنگ معدن (خوراک ورودی به کارخانه) صورت گرفت. پس از مطالعات دقیق کانه‌نگاری، تعداد ۱۲ مقطع جهت بررسی ترکیب شیمیایی پیریت از طریق آنالیز الکترون مایکروپروب انتخاب گردید. مقاطع صیقلی براساس وجود پیریت‌های در اشکال و اندازه‌های مختلف و در کنار کانی‌های دیگر انتخاب شدند. در این فصل مطالعات کانه‌نگاری و نتایج حاصل از EPMA ارائه می‌گردد.

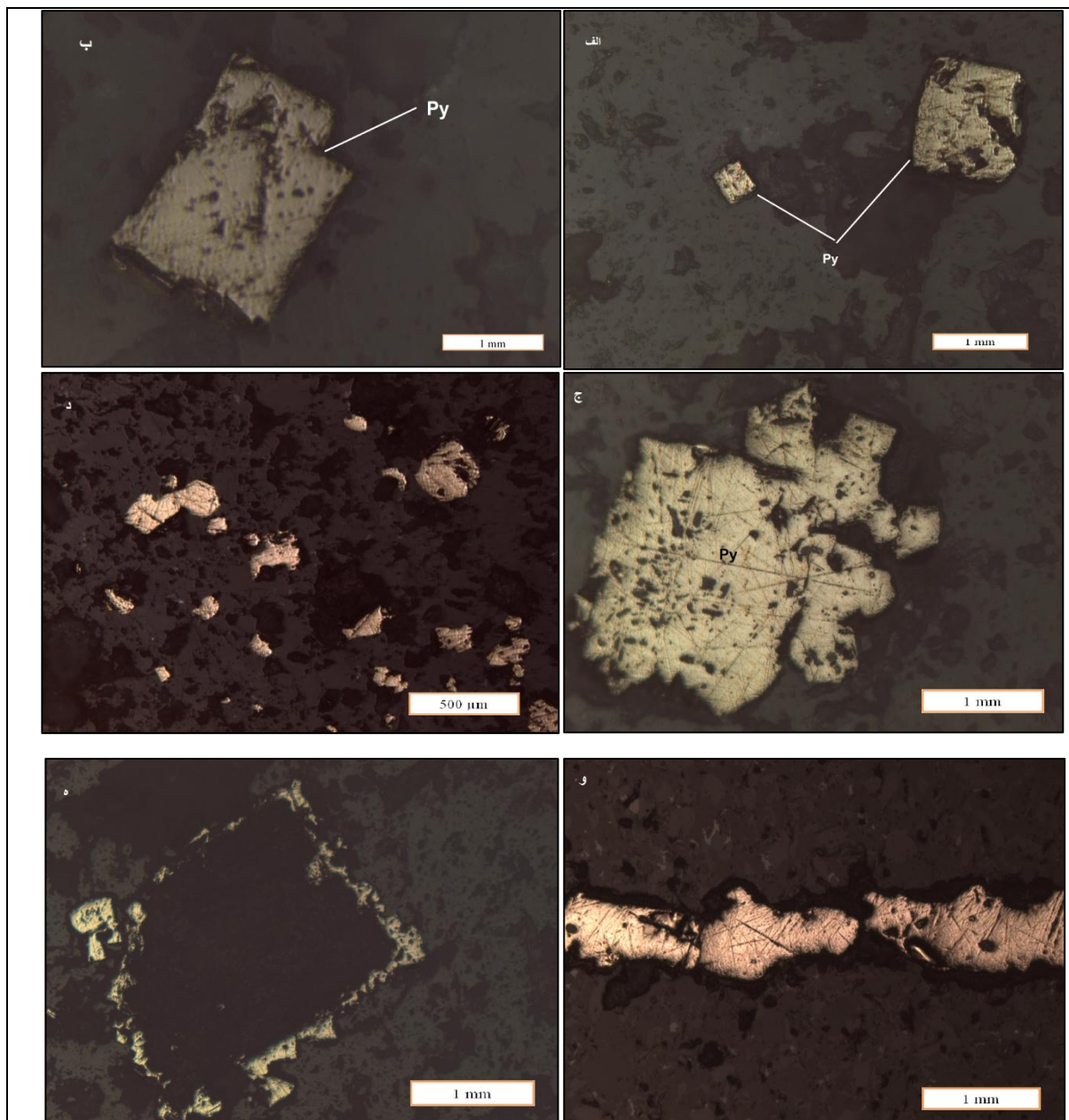
۴-۲ - کانه‌نگاری مقاطع صیقلی تهیه شده از نمونه‌های سنگ معدن مس سرچشمه

با توجه به بررسی‌های کانی‌شناسی توسط میکروسکوپ نور انعکاسی کانی‌های اصلی مشاهده شده در مقاطع صیقلی تهیه شده از سنگ معدن (خوراک ورودی به کارخانه) عبارتند از: پیریت، کالکوپیریت، کالکوزیت، بورنیت، کوولیت، دیژنیت، تنانتیت و مولیبدنیت.

پیریت با علامت اختصاری Py، کالکوپیریت Cp، کالکوزیت Cc، بورنیت Bn، کوولیت Cv، دیژنیت Dj، مولیبدنیت Mo نشان داده شدند.

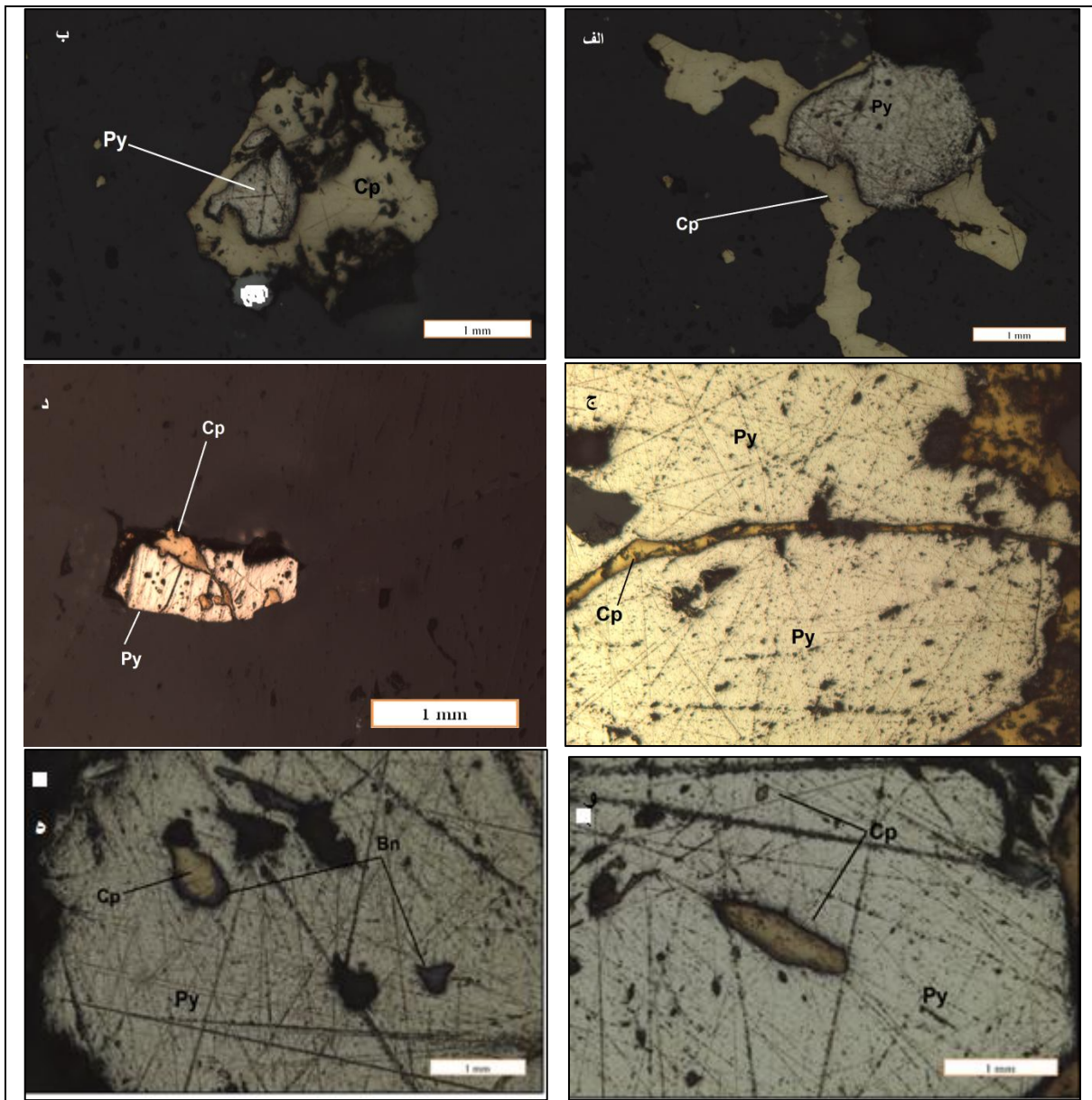
پیریت: در مقاطع صیقلی مطالعه شده پیریت به صورت کریستال‌های خود شکل، نیمه خود شکل تا بی شکل با فراوانی کمتر از ۵ درصد تا ۷۰-۶۰ درصد در مقاطع مشاهده می‌شوند (شکل ۴-۱ الف-ب-ج). این کانی به صورت پراکنده در متن سنگ و در برخی قسمت‌ها داخل رگه-رگچه‌ها دیده می‌شود (۴-۱-د-و). ابعاد دانه‌ها از ۱۰ میکرون تا ۲۰۰۰ میکرون متغیر است. برخی از آن‌ها آزاد بوده و به صورت مستقل در زمینه دیده می‌شوند و برخی دیگر به صورت هم رشد و همراه با کانی‌هایی مانند کالکوپیریت و

بورنیت هستند. این همراهی در برخی مقاطع به صورت پرشدگی شکستگی‌های پیریت توسط کالکوپیریت و بورنیت می‌باشد (شکل ۲-۴-ج-د). در تعدادی از مقاطع، کالکوپیریت و بورنیت به صورت ادخال‌هایی در پیریت یافت می‌شود (شکل ۲-۴-و-ه). همچنین در بعضی نقاط پیریت به طور کامل توسط کالکوپیریت دربرگرفته شده‌است و یا در زمینه‌ای از کالکوپیریت قرار دارد (شکل ۲-۴-الف-ب). در برخی موارد در اثر تجزیه کل کانی پیریت اولیه، فقط شبیحی از آن بجا مانده است (شکل ۲-۴).



شکل ۴-۱ پیریت در مقاطع صیقلی سنگ معدن- نور انعکاسی ppl

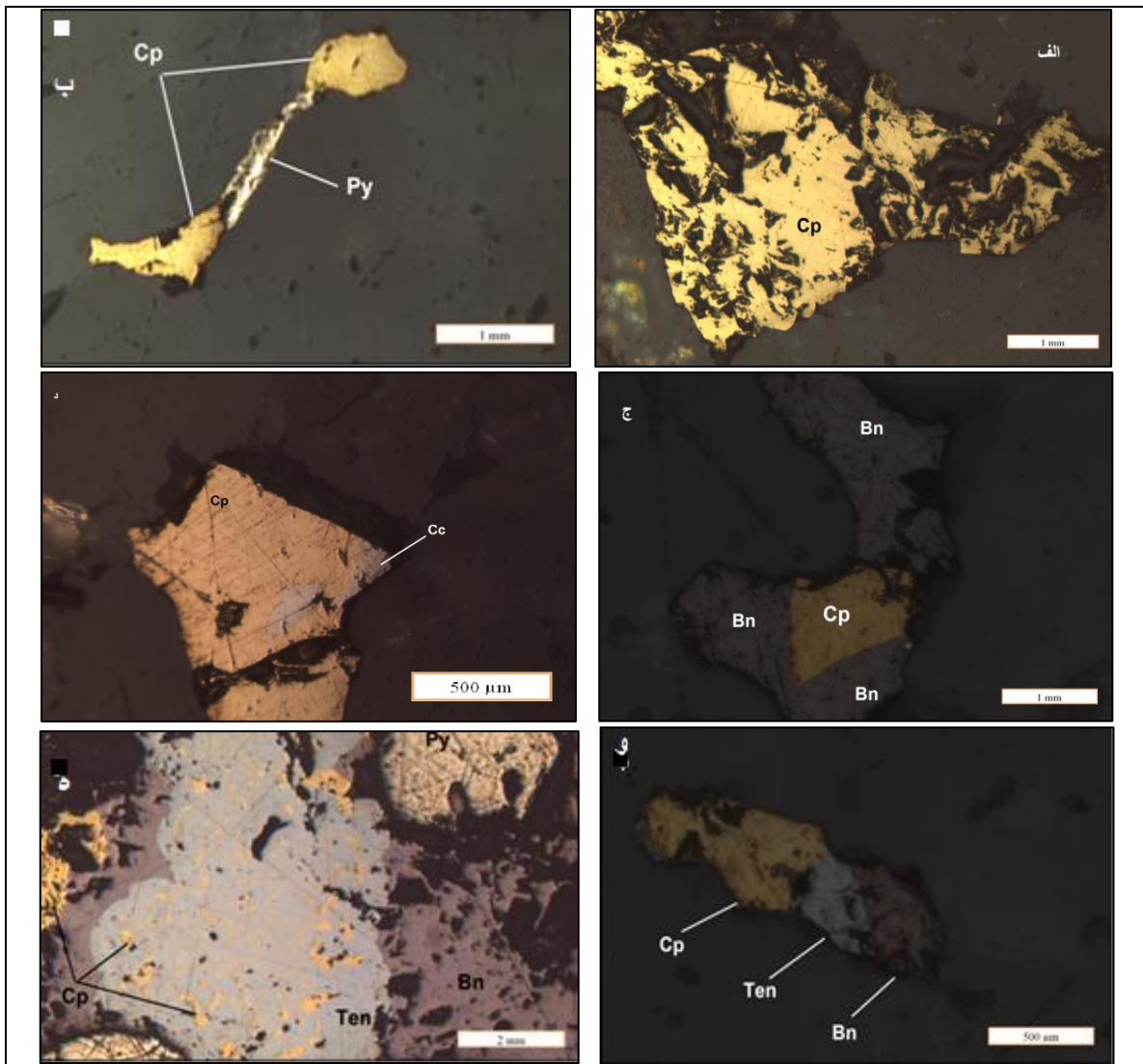
- الف- پیریت شکل دار
- ب- پیریت نیمه شکل دار
- ج- پیریت بی شکل
- د- پیریت‌های پراکنده در زمینه
- و- پیریت رگچه‌ای
- ه- پیریت تجزیه شده



شکل ۲-۴ همراهی پیریت و کالکوپیریت در مقاطع صیقلی سنگ معدن - نور انعکاسی ppl

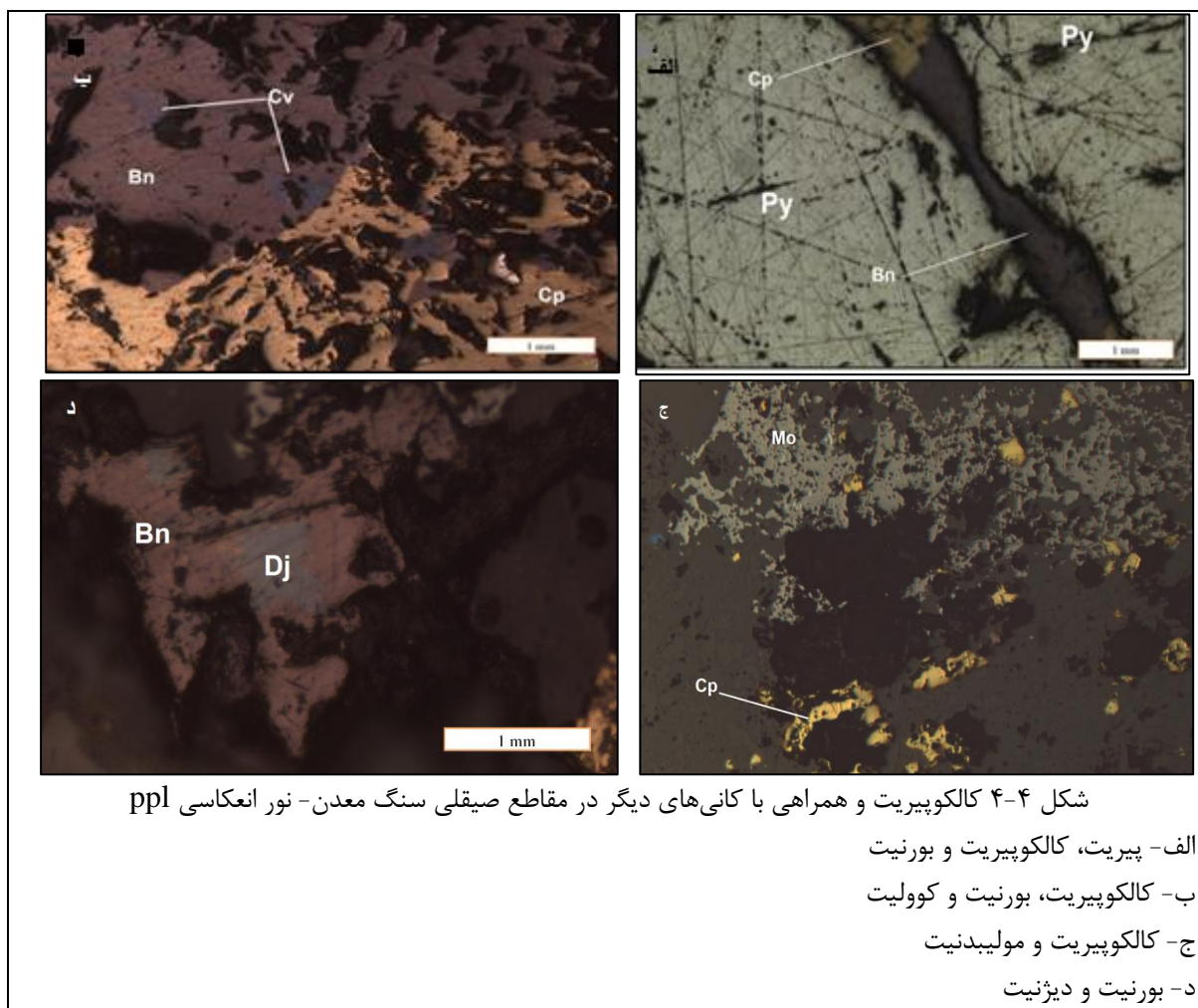
- الف - کالکوپیریت به صورت نواری در اطراف پیریت
- ب- پیریت به صورت ادخالی در کالکوپیریت
- ج- پرشدن شکستگی پیریت توسط کالکوپیریت
- د- درگیری پیریت و کالکوپیریت
- و- پیریت همراه با ادخال‌های کالکوپیریت
- ه- پیریت همراه با ادخال‌های کالکوپیریت و بورنیت

کالکوپیریت و بورنیت: در مقاطع صیقلی مطالعه شده کالکوپیریت به صورت بی‌شکل دیده می‌شود و معمولاً در یک امتداد قرار گرفته و حالت رگچه‌ای را تداعی می‌کنند. این کانی بعد از پیریت فراوان‌ترین کانی سولفیدی موجود در مقاطع می‌باشد. کالکوپیریت دارای فراوانی کمتر از ۱ درصد تا ۳۰-۲۰ درصد می‌باشد. ابعاد ذرات آن ۱۰ تا ۱۰۰۰ میکرون متغیر است. کالکوپیریت در مقاطع مطالعه شده به صورت مستقل (شکل ۴-۳-الف) و همچنین همراه با پیریت، بورنیت، کالکوسیت و تنانتیت مشاهده می‌شود (شکل ۴-۳-ب-ج-و-ه). بورنیت نیز به صورت ذرات بی‌شکل و معمولاً در یک امتداد قرار می‌گیرند و حالت رگچه‌ای را به وجود می‌آورند (شکل ۴-۴-الف). بلورهای بورنیت در بعضی نقاط از حاشیه به کولیت و دیژنیت تبدیل می‌شود (شکل ۴-۴-ب-د). همچنین کانی کالکوپیریت در کنار مولیبدنیت مشاهده شده است (شکل ۴-۴-ج). فراوانی بورنیت در بعضی مقاطع به ۱۰ درصد می‌رسد. ابعاد ذرات این کانی از کمتر از ۱۰ میکرون تا ۵۰۰ میکرون متغیر می‌باشد.

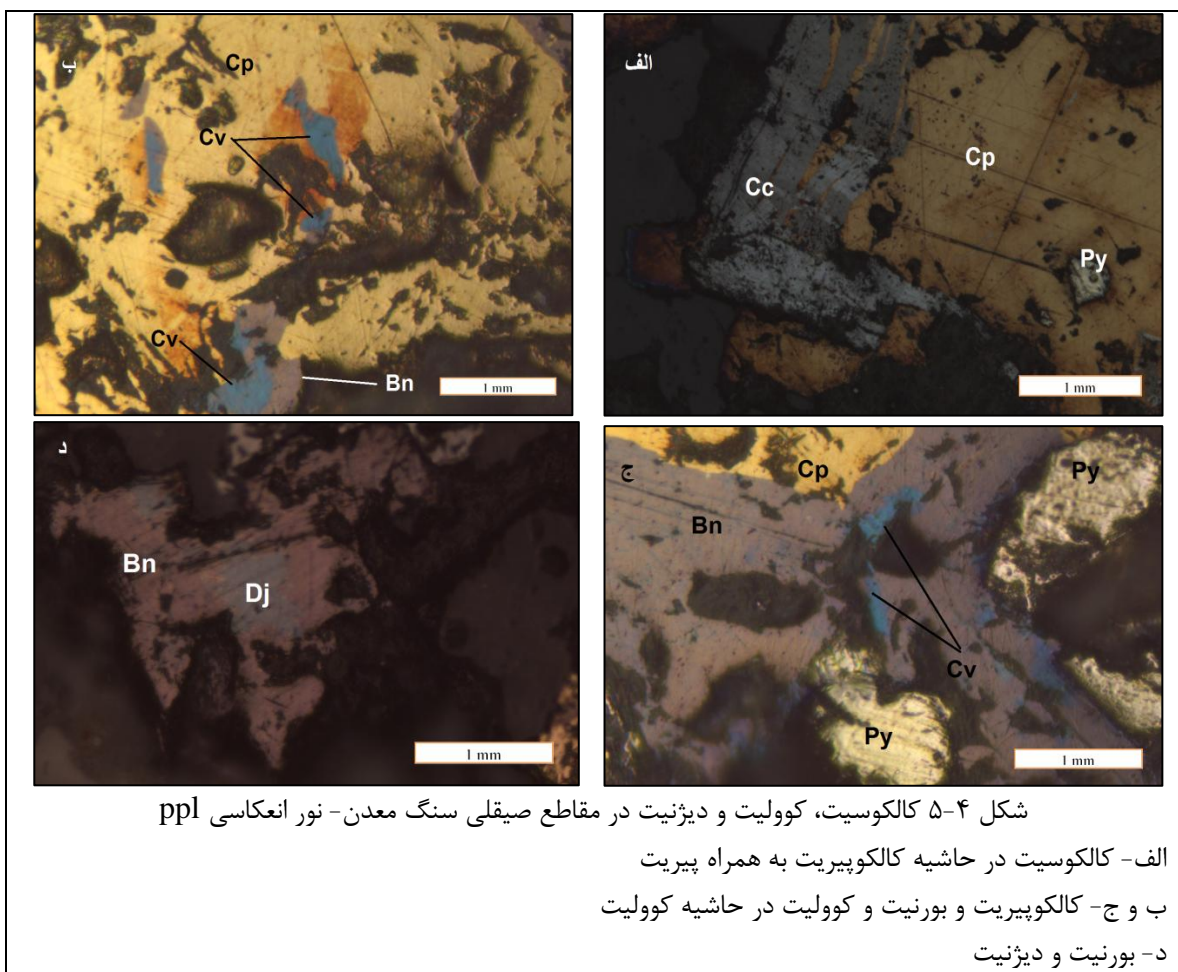


شکل ۳-۴ کالکوپیریت در کنار کانی‌های دیگر در مقاطع صیقلی سنگ معدن - نور انعکاسی ppl

- الف - کالکوپیریت بی‌شکل
- ب- کالکوپیریت و پیریت
- ج - کالکوپیریت و بورنیت
- د- کالوپیریت و کالکوسیت
- و- کالکوپیریت، تنانتیت و بورنیت
- ه- کالکوپیریت، بورنیت و تنانتیت



کالکوسیت، کوولیت و دیژنیت: در مقاطع مطالعه شده، کالکوسیت، کوولیت و دیژنیت به صورت انگشت شمار مشاهده می‌شود. این کانی‌ها بیشتر در حاشیه بلورهای کالکوپیریت و بورنیت مشاهده می‌شوند (شکل ۴-۵-الف-ب-ج-د). فراوانی این سه کانی در مقاطع کمتر از ۵ درصد می‌باشد و ابعاد ذرات آن کمتر از ۱۰۰ میکرون می‌باشد.



۴-۳ آنالیز الکترون مایکروپروب پیریت نمونه‌های سنگ معدن مس سرچشمه

پس از مطالعات کانه‌نگاری روی مقاطع صیقلی تهیه شده از نمونه‌های سنگ معدن، تعدادی از مقاطع برای انجام آنالیز الکترون مایکروپروب روی پیریت انتخاب شدند.

پیریت: تعداد نقاطی که در آن‌ها پیریت نمونه‌های سنگ معدن مس سرچشمه مورد آنالیز قرار گرفت، ۴۲ نقطه می‌باشد که این تعداد نقاط متعلق به ۱۲ می‌باشد. این پیریت‌ها به منظور تعیین عناصری مانند Fe، S، Ni، Co، Cd، As، Zn، Cu، Ti و Sb مورد آنالیز قرار گرفتند (جدول ۴-۱).

با توجه به جدول ، آهن در پیریت‌های سنگ معدن دارای ۴۵/۸ تا ۴۷/۶۳ درصد وزنی، گوگرد دارای ۵۱/۹۷ تا ۵۳/۶۸ درصد وزنی، آرسنیک دارای غلظت‌های کمتر از ۱۰۰ تا ۱۹۰۰ گرم بر تن ، مس دارای غلظت‌های کمتر از ۱۰۰ تا ۱۵۰۰ گرم بر تن ، نیکل دارای غلظت‌های کمتر از ۱۰۰ تا ۲۹۰۰ گرم بر تن ، کبالت دارای غلظت‌های کمتر از ۴۰۰ تا ۱۶۰۰ گرم بر تن ، روی دارای غلظت‌های کمتر از ۱۰۰ تا ۸۰۰ گرم بر تن ، کادمیم دارای غلظت‌های کمتر از ۱۰۰ تا ۶۰۰ گرم بر تن ، تیتانیم دارای غلظت‌های کمتر از ۱۰۰ تا ۲۰۰ گرم بر تن و آنتیموان دارای غلظت‌های کمتر از ۱۰۰ تا ۵۰۰ گرم بر تن می‌باشد. تصاویر الکترونی حاصل از میکروسکوپ الکترونی نقاط نشان داده شده در جداول زیر در شکل (۴-۶ تا ۴-۸) آمده‌است.

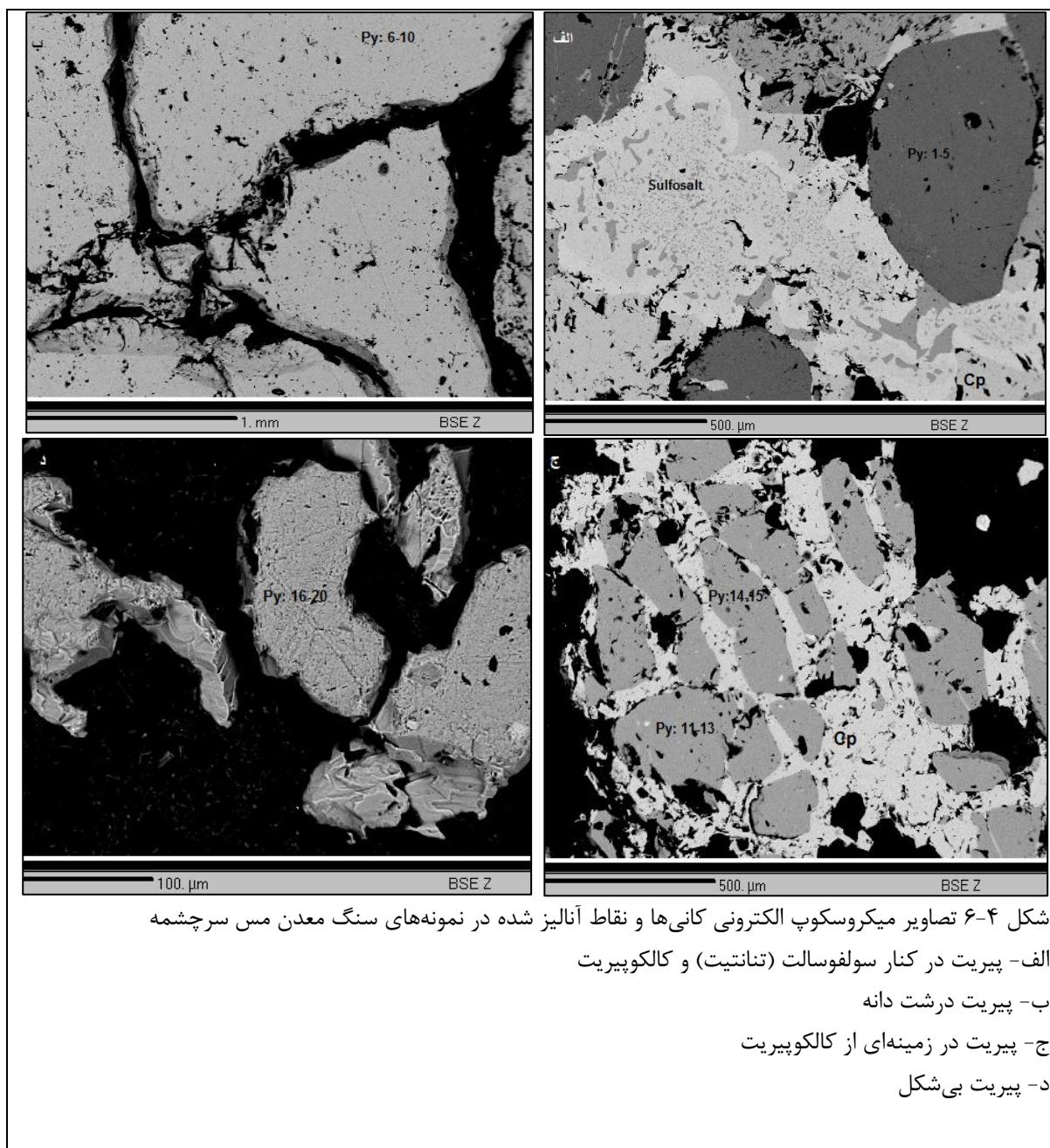
جدول ۴-۱ غلظت عناصر در پیریت‌های سنگ معدن مس سرچشمه (غلظت آهن و گوگرد براساس درصد وزنی و واحد بقیه

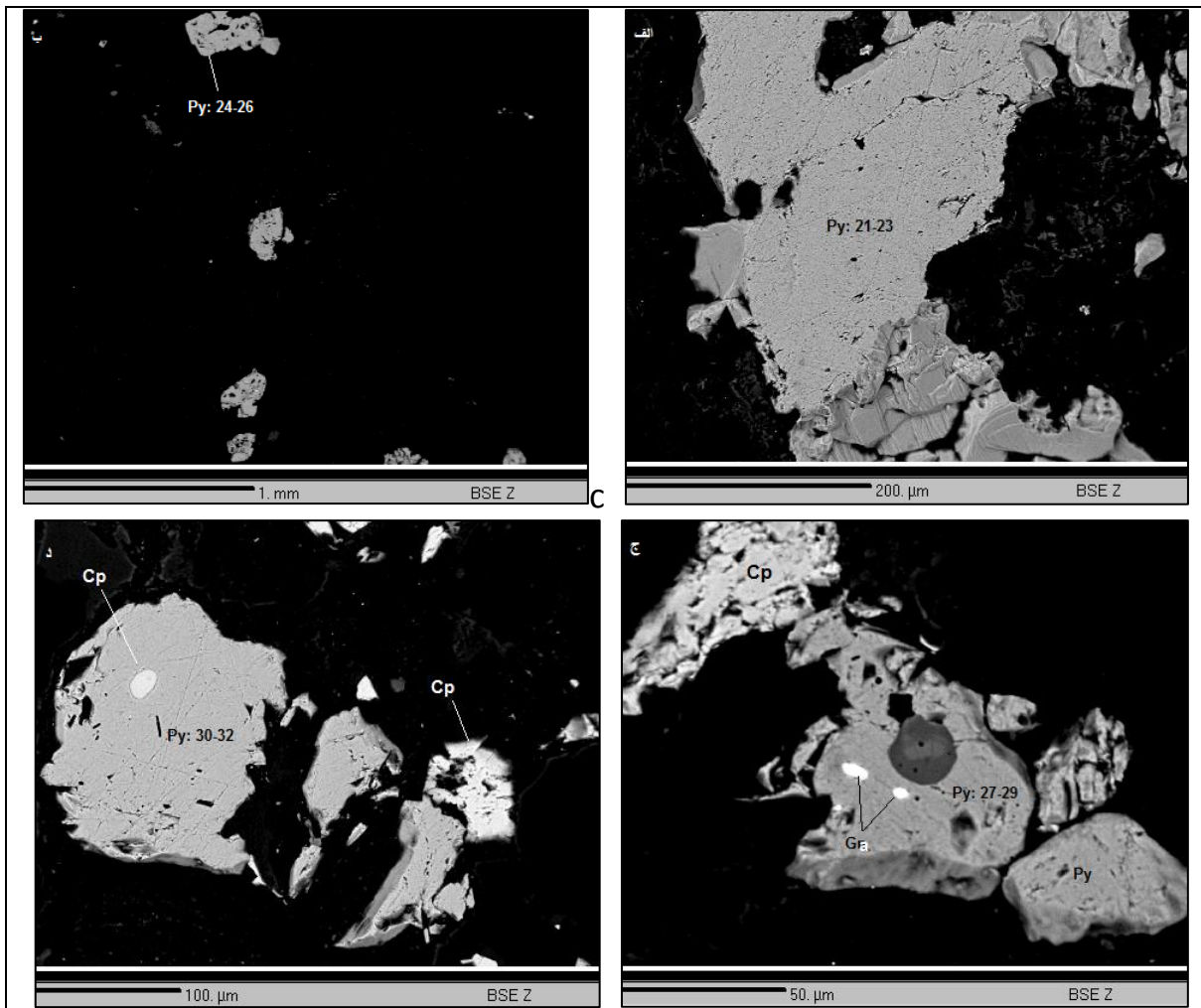
عناصر گرم بر تن می‌باشد)

نقاط آنالیز	S	Fe	Ti	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Sb	Total
1	52.79	46.38	100	<100	<100	300	<100	100	<100	<100	99.22
2	53.53	47.4	<100	<100	<100	400	<100	200	<100	<100	100.99
3	53.38	47.27	<100	<100	<100	<100	<100	700	300	<100	100.75
4	52.81	46.27	<100	<100	100	600	200	200	400	<100	99.23
5	52.39	47.2	<100	<100	<100	1000	<100	500	<100	<100	99.74
6	53.12	47.54	<100	<100	<100	300	<100	1200	<100	<100	100.81
7	52.63	47.93	200	<100	100	<100	<100	900	<100	<100	100.68
8	51.97	47.37	<100	<100	<100	<100	400	500	<100	<100	99.43
9	53.27	47.06	100	<100	100	<100	200	200	600	<100	100.45
10	52.67	47.65	<100	<100	200	300	<100	300	<100	<100	100.4
11	52.52	46.32	100	<100	<100	1500	<100	300	<100	<100	99.02
12	52.98	46.33	<100	<100	<100	1500	300	<100	<100	<100	99.5
13	53.34	45.8	<100	<100	200	1000	<100	700	100	<100	99.34
14	53.22	46.81	<100	<100	<100	700	700	700	<100	<100	100.23
15	53.07	46.26	<100	<100	100	900	<100	100	<100	<100	99.45
16	53.35	47.12	<100	<100	1400	600	100	500	<100	<100	100.73
17	52.03	46.83	<100	<100	500	300	<100	600	<100	<100	100
18	52.38	46.65	<100	<100	1000	<100	<100	200	100	100	99.17

ادامه جدول ۱-۴ غلظت عناصر در پیریت‌های سنگ معدن مس سرچشمه (غلظت آهن و گوگرد براساس درصد وزنی و واحد بقیه عناصر گرم بر تن می‌باشد)

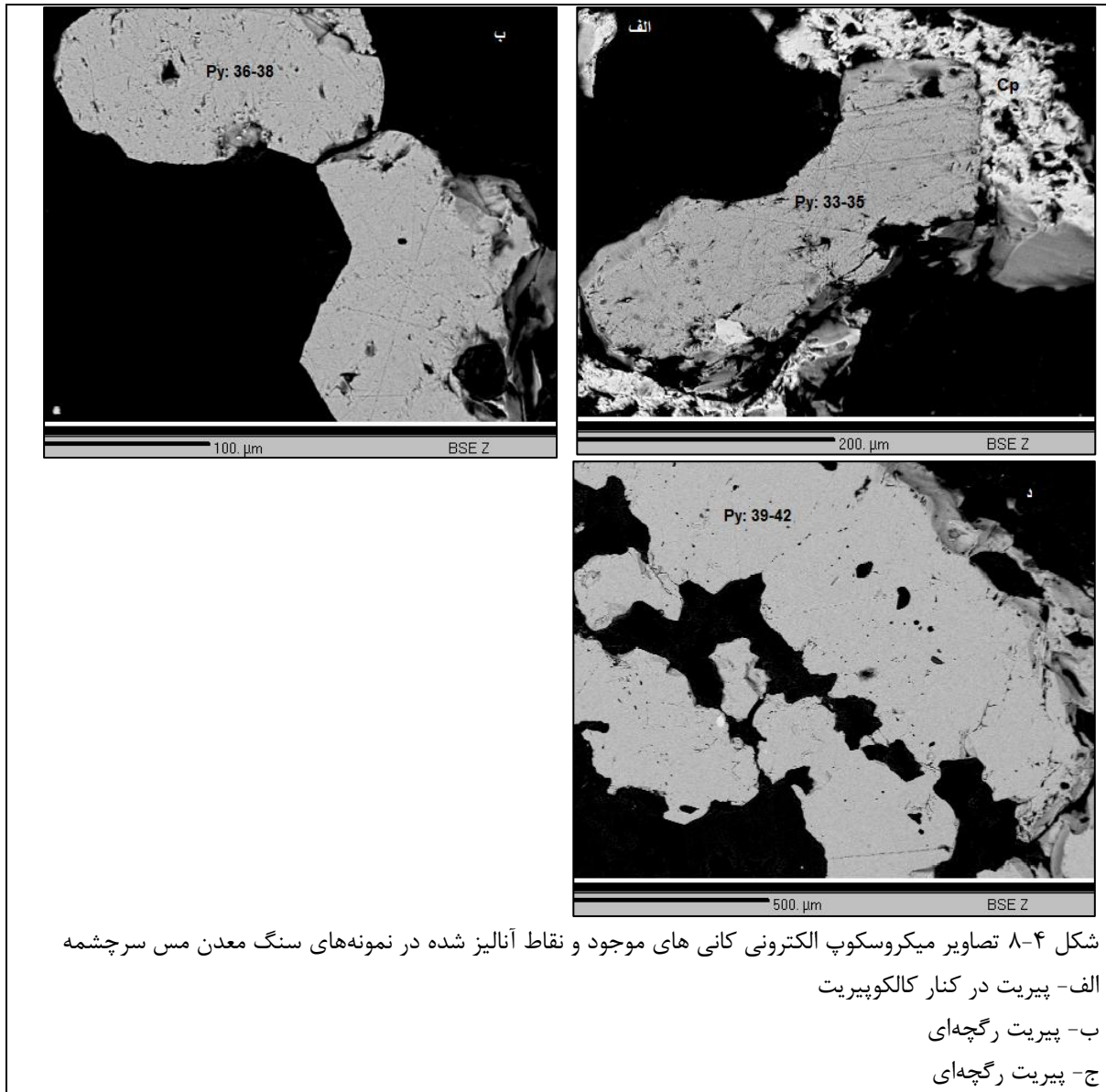
نقاط آنالیز	S	Fe	Ti	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Sb	Total
19	53.68	46.83	100	<100	1200	<100	300	300	100	200	100.73
20	52.86	47.38	<100	<100	600	<100	100	400	200	<100	100.37
21	52.03	47.09	100	<100	200	<100	<100	<100	<100	<100	99.15
22	52.99	46.65	<100	<100	300	100	800	600	<100	<100	99.82
23	52.92	46.77	<100	<100	600	<100	<100	400	100	200	99.8
24	53.33	47.16	200	400	300	<100	200	300	200	500	100.7
25	53.42	47.12	<100	<100	100	<100	200	500	200	<100	100.64
26	53.5	47.13	<100	<100	700	<100	<100	500	<100	<100	100.75
27	53.68	46.67	<100	1200	2900	<100	<100	600	<100	<100	100.82
28	53.21	47.17	100	1600	2300	<100	<100	400	<100	<100	100.82
29	53.76	46.2	<100	<100	300	100	400	100	400	<100	100.09
30	53.27	46.68	100	<100	100	<100	<100	400	<100	<100	100.01
31	53.39	47.23	100	<100	200	300	500	300	<100	100	100.77
32	53.05	47.46	<100	<100	200	500	<100	400	100	<100	100.63
33	53.07	47.05	100	<100	<100	400	<100	900	<100	<100	100.27
34	53.27	47.09	<100	<100	<100	100	<100	600	<100	200	100.45
35	53.3	47.12	<100	<100	<100	400	<100	700	<100	<100	100.54
36	53.34	47.19	100	<100	100	100	100	1900	<100	<100	100.75
37	53.26	47.11	100	<100	400	<100	<100	500	200	<100	100.49
38	53.34	47.38	100	<100	<100	200	<100	400	600	<100	100.85
39	53.19	47.63	100	<100	100	<100	100	300	<100	<100	100.88
40	53.31	47.02	<100	<100	300	100	400	100	<100	<100	100.42
41	53.68	47.65	200	1200	2300	1500	700	1200	600	200	100.71
42	53.76	47.93	200	1600	2900	1500	800	1900	600	500	100.77





شکل ۴-۷ تصاویر میکروسکوپ الکترونی کانی‌ها و نقاط آنالیز شده در نمونه‌های سنگ معدن مس سرچشمه

الف- پیریت
 ب- پیریت‌های ریزدانه در زمینه
 ج- پیریت همراه با ادخال گالن در کنار کالکوپیریت
 د- پیریت همراه با ادخال کالکوپیریت



فصل پنجم

بررسی‌های کانی‌شناسی بر روی باطله فرآوری معدن مس

سرچشمه

- کانه‌نگاری

- آنالیز الکترون میکروپروب

۵-۱ مقدمه

مطالعات دقیق کانه‌نگاری به منظور شناسایی کانی‌ها، روابط بافتی و اندازه ذرات بر روی تعداد ۳۲ مقطع صیقلی تهیه شده از نمونه‌های خاک مربوط به باطله فرآوری معدن مس سرچشمه صورت گرفت. پس از مطالعات دقیق کانه‌نگاری تعداد ۱۲ مقطع جهت بررسی ترکیب شیمیایی پیریت از طریق آنالیز الکترون مایکروپروب انتخاب گردیدند. از ۱۲ مقطع انتخاب شده، ۶ مقطع صیقلی سطحی و ۶ مقطع صیقلی عمقی می‌باشند. در این فصل به بررسی مطالعات کانه‌نگاری و نتایج حاصل از EPMA پرداخته می‌شود.

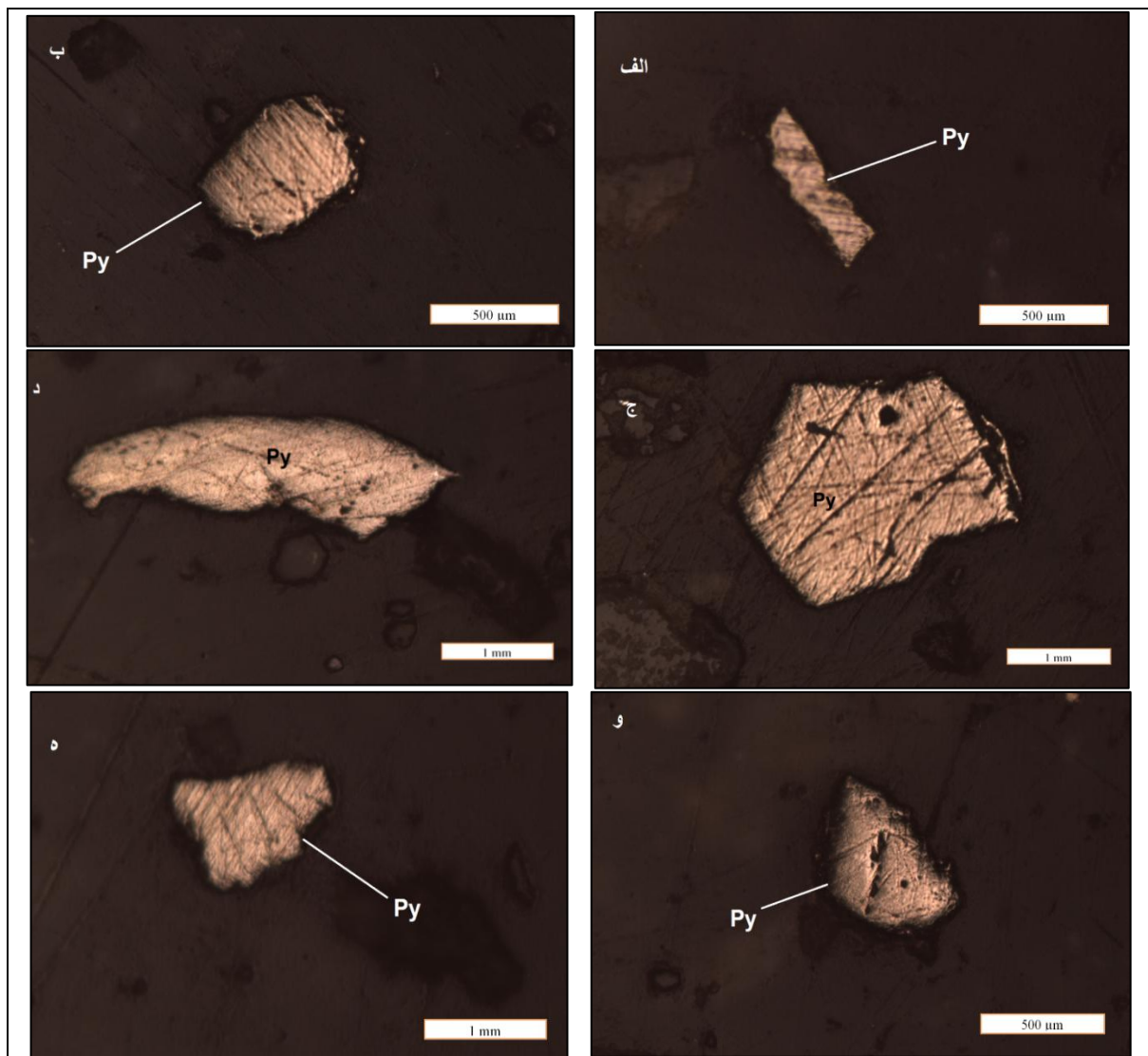
۵-۲ کانه‌نگاری مقاطع صیقلی تهیه شده از نمونه‌های باطله فرآوری معدن مس سرچشمه

با توجه به بررسی‌های کانه‌نگاری توسط میکروسکوپ نور انعکاسی کانی‌های مشاهده شده در مقاطع صیقلی مربوط به باطله‌های فرآوری فقط شامل پیریت و کالکوپیریت می‌باشد. از آنجا که این مقاطع از باطله‌های نهایی کارخانه فرآوری تهیه شده‌اند اندازه ابعاد کانی‌ها بسیار کوچک می‌باشد. همانطور که قبلاً ذکر شده‌است نمونه‌های برداشت شده از باطله‌های فرآوری شامل نمونه‌های سطحی و عمقی می‌باشد. از آنجایی که اکسیژن در سطح باطله‌ها به آسانی در دسترس می‌باشد بنابراین نرخ اکسیداسیون پیریت بسیار بالا می‌باشد. در نتیجه فراوانی و همچنین ابعاد پیریت موجود در نمونه‌های سطحی کمتر از نمونه‌های عمقی می‌باشد و در بعضی نمونه‌ها برداشت شده از سطح باطله‌های فرآوری هیچ پیریتی وجود ندارد.

پیریت: کانی پیریت مهم‌ترین کانی سولفیدی موجود در نمونه‌های سد باطله می‌باشد. در مقاطع صیقلی مطالعه شده مربوط به باطله‌های فرآوری پیریت به صورت پراکنده و ریزدانه در متن سنگ و نیمه شکل‌دار تا بی‌شکل مشاهده می‌شود (شکل ۵-۱). ابعاد دانه‌ها از کمتر از ۱۰ میکرون تا ۲۰۰ میکرون متغیر می

باشد. این کانی در برخی نقاط محدود در کنار کالکوپیریت نیز مشاهده می‌شود (شکل ۵-۲). فراوانی

پیریت در مقاطع کمتر از ۵ درصد می‌باشد.

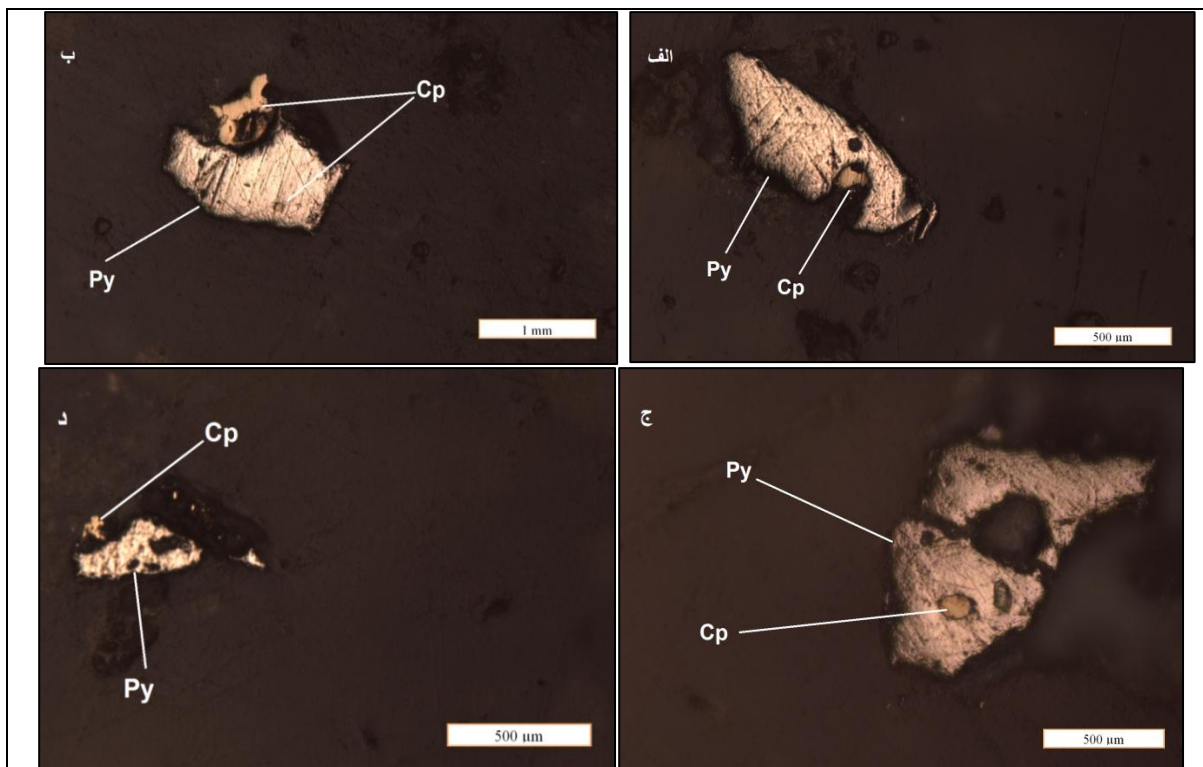


شکل ۵-۱ پیریت در مقاطع صیقلی باطله فرآوری- نور انعکاسی ppl

الف و ب- پیریت به صورت نیمه شکل دار

ج و د- پیریت بی شکل

ه- پیریت بی شکل



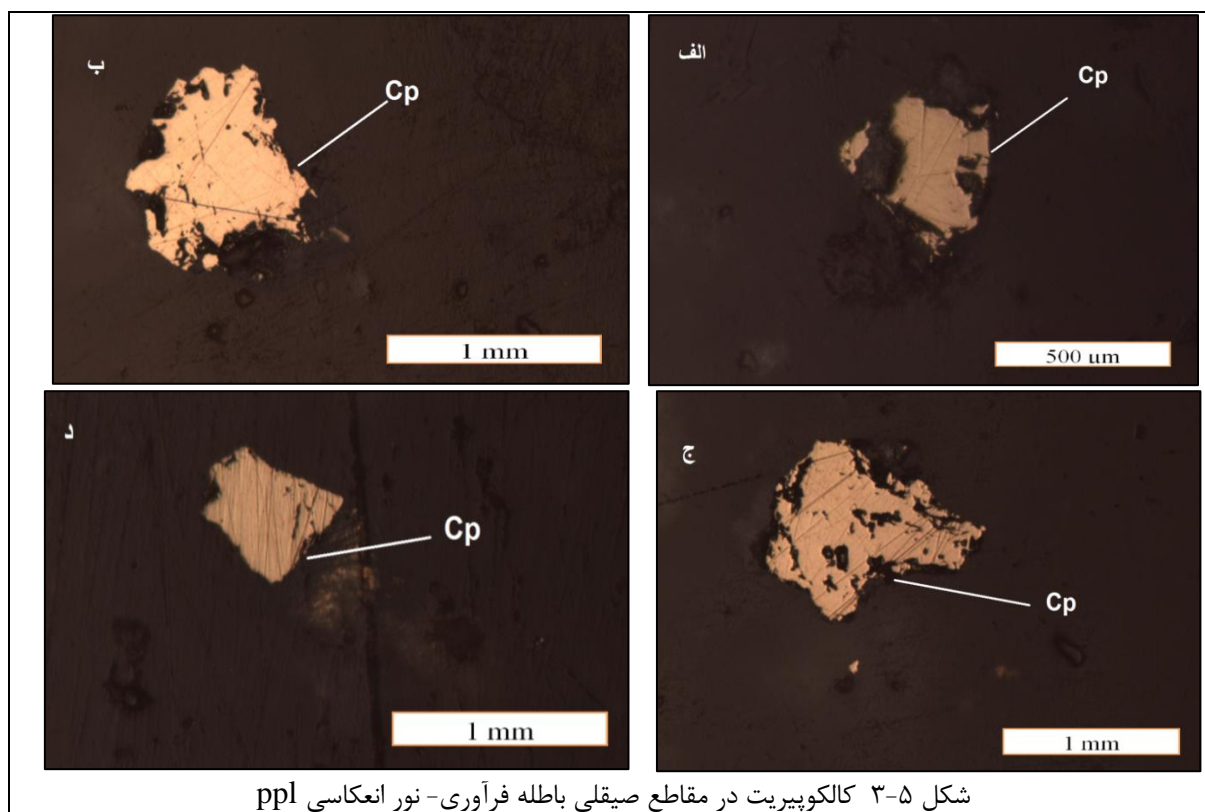
شکل ۵-۲ پیریت در کنار کالکوپیریت در مقاطع صیقلی باطله فرآوری- نور انعکاسی ppl

الف و ب- پیریت و کالکوپیریت

ج- ادخال کالکوپیریت در پیریت

د- پیریت و کالکوپیریت

کالکوپیریت: در مقاطع مطالعه شده کانی کالکوپیریت به صورت انگشت شمار مشاهده می‌شود که به صورت بی‌شکل و پراکنده در متن سنگ و گاهی در کنار پیریت وجود دارد (شکل ۳-۵). فراوانی کالکوپیریت در مقاطع صیقلی موجود کمتر از ۱ درصد می‌باشد.



۵-۳ آنالیز الکترون میکروپروب پیریت نمونه‌های باطله فرآوری معدن مس سرچشمه

پس از مطالعات کانه‌نگاری روی مقاطع صیقلی تهیه شده از نمونه‌های سنگ معدم، تعدادی از مقاطع برای انجام آنالیز الکترون میکروپروب روی پیریت انتخاب شدند. مقاطع انتخاب شده شامل ۶ مقطع سطحی و ۶ مقطع عمقی می‌باشند.

پیریت: تعداد نقاطی که در آن‌ها پیریت نمونه‌های سنگ معدن مس سرچشمه مورد آنالیز قرار گرفت، ۴۰ نقطه می‌باشد که این تعداد نقاط متعلق به ۱۲ می‌باشد. این پیریت‌ها به منظور تعیین عناصری مانند Fe، S، Ni، Co، Cd، As، Zn، Cu و Sb مورد آنالیز قرار گرفتند (جدول ۵-۱).

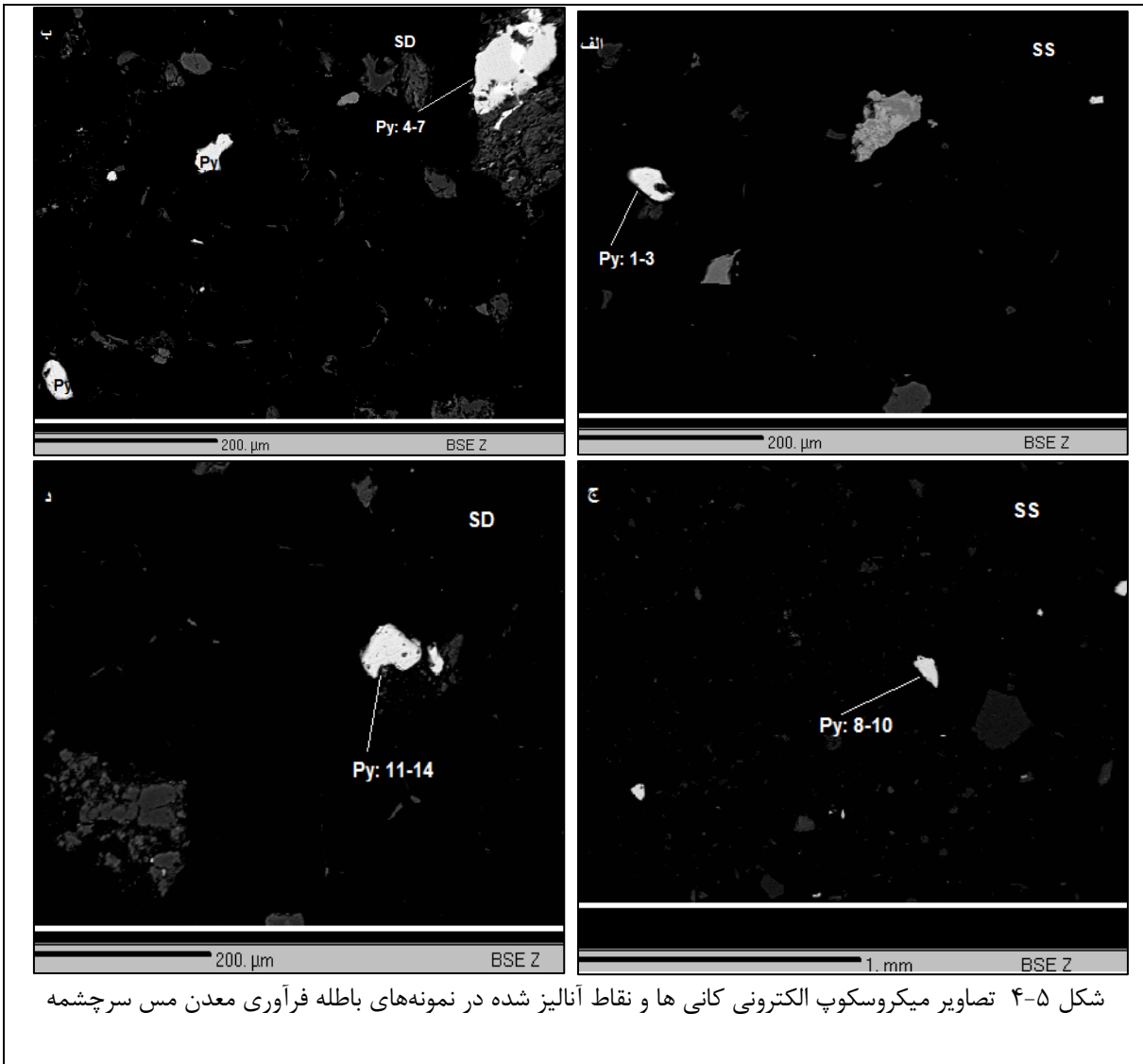
با توجه به جدول (۵-۱)، آهن در پیریت‌های باطله فرآوری در محدوده ۴۵/۱۸ تا ۴۸/۶۱ درصد وزنی و گوگرد در محدوده ۵۱/۴۴ تا ۵۵/۲۸ درصد وزنی قرار دارد. آرسنیک دارای غلظت‌های کمتر از ۱۰۰ تا ۳۰۰۰ گرم بر تن، مس دارای غلظت‌های کمتر از ۱۰۰ تا ۱۵۰۰ گرم بر تن، نیکل دارای غلظت‌های کمتر از ۱۰۰ تا ۲۱۰۰ گرم بر تن، کبالت دارای غلظت‌های کمتر از ۱۰۰ تا ۱۹۰۰ گرم بر تن، روی دارای غلظت‌های کمتر از ۱۰۰ تا ۸۰۰ گرم بر تن، کادمیم دارای غلظت‌های کمتر از ۱۰۰ تا ۹۰۰ گرم بر تن و آنتیموان دارای غلظت‌های کمتر از ۱۰۰ تا ۳۰۰ گرم بر تن می‌باشد. تصاویر الکترونی حاصل از میکروسکوپ الکترونی نقاط نشان داده شده در جداول زیر در شکل (۵-۴ تا ۵-۶) آمده‌است. تصاویر مربوط به مقاطعی سطحی با SS و مقاطع عمقی با SD نشان داده شده‌اند.

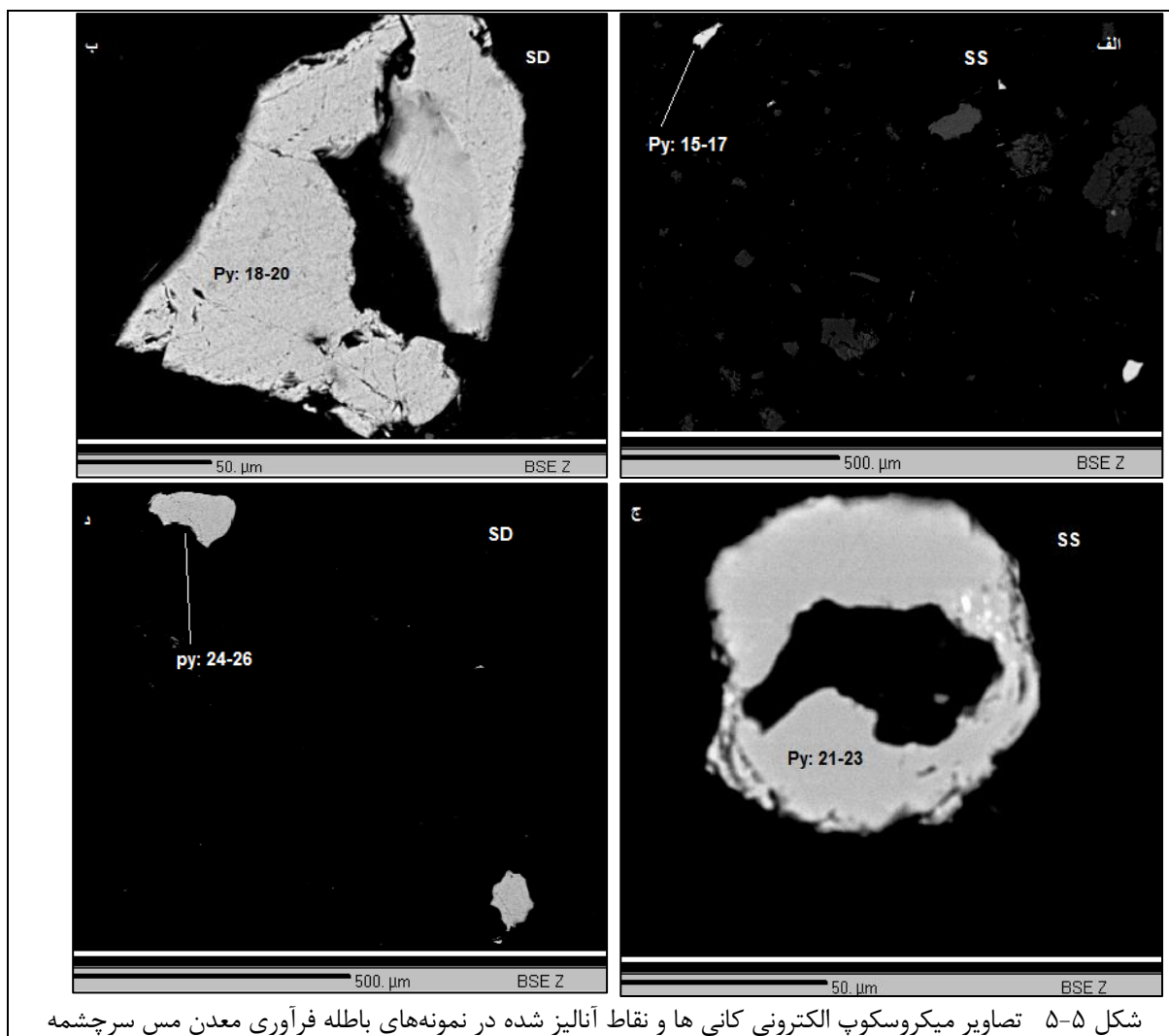
جدول ۵-۱ غلظت عناصر در پیریت‌های باطله فرآوری معدن مس سرچشمه (غلظت آهن و گوگرد براساس درصد وزنی و واحد بقیه عناصر ppm می‌باشد)

	نقاط آنالیز	S	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Sb	Total
SS	1	52.74	46.83	<100	<100	400	<100	800	<100	100	99.71
SS	2	52.79	46.45	<100	100	400	500	300	<100	<100	99.37
SS	3	53.1	45.67	<100	200	1500	<100	1100	200	<100	99.11
SD	4	53.17	47.5	<100	100	400	300	600	<100	<100	100.82
SD	5	52.76	46.91	<100	<100	200	<100	<100	300	<100	99.72
SD	6	53.49	46.28	<100	100	<100	<100	<100	100	<100	99.79
SD	7	52.93	46.64	<100	<100	300	<100	<100	<100	100	99.62
SS	8	55.28	45.18	<100	<100	<100	200	100	300	<100	100.52
SS	9	52.5	46.36	1900	300	<100	300	300	900	<100	99.23
SS	10	52.81	46.17	<100	<100	700	<100	400	100	<100	99.1
SD	11	53.67	46.93	<100	300	400	<100	900	<100	<100	100.76
SD	12	53.28	46.76	<100	400	<100	<100	1900	<100	<100	100.27
SD	13	53.32	46.78	<100	400	<100	100	1700	100	<100	100.3
SD	14	53.36	46.09	<100	300	600	<100	1700	300	<100	99.74
SS	15	53.8	46.54	<100	<100	<100	<100	400	<100	<100	100.39
SS	16	52.31	47.33	<100	100	100	300	300	<100	<100	99.72
SS	17	52	47.8	<100	300	<100	<100	100	<100	100	99.85
SD	18	53.49	46.03	<100	<100	<100	<100	<100	<100	<100	99.52
SD	19	52.01	47.07	<100	<100	800	300	<100	<100	<100	99.16
SD	20	51.95	47.61	<100	100	<100	<100	1500	<100	<100	99.72
SS	21	53.57	47.18	<100	<100	200	300	<100	500	<100	100.85
SS	22	53.28	47.41	<100	200	100	<100	700	<100	<100	700.79
SS	23	53.43	47.28	<100	400	200	<100	<100	200	<100	100.79
SD	24	52.03	48.14	<100	<100	800	<100	<100	400	<100	100.29
SD	25	53.07	47.46	<100	200	300	<100	<100	<100	200	100.6
SD	26	53.06	47.29	<100	<100	100	800	700	600	<100	100.57
SS	27	53	47.39	<100	300	100	300	300	<100	200	100.51
SS	28	53.21	46.59	<100	300	100	<100	200	<100	<100	99.86
SS	29	53.58	46.1	<100	<100	300	<100	500	400	<100	99.8
SD	30	51.55	47.96	600	100	200	700	300	<100	100	99.71
SD	31	52.81	47.43	<100	100	<100	<100	200	<100	<100	100.28
SD	32	51.44	48.61	<100	100	300	<100	<100	<100	<100	100.09
SS	33	53.23	46.04	<100	<100	300	500	500	600	<100	99.46
SS	34	52.76	47.43	<100	2100	300	<100	700	<100	<100	100.5

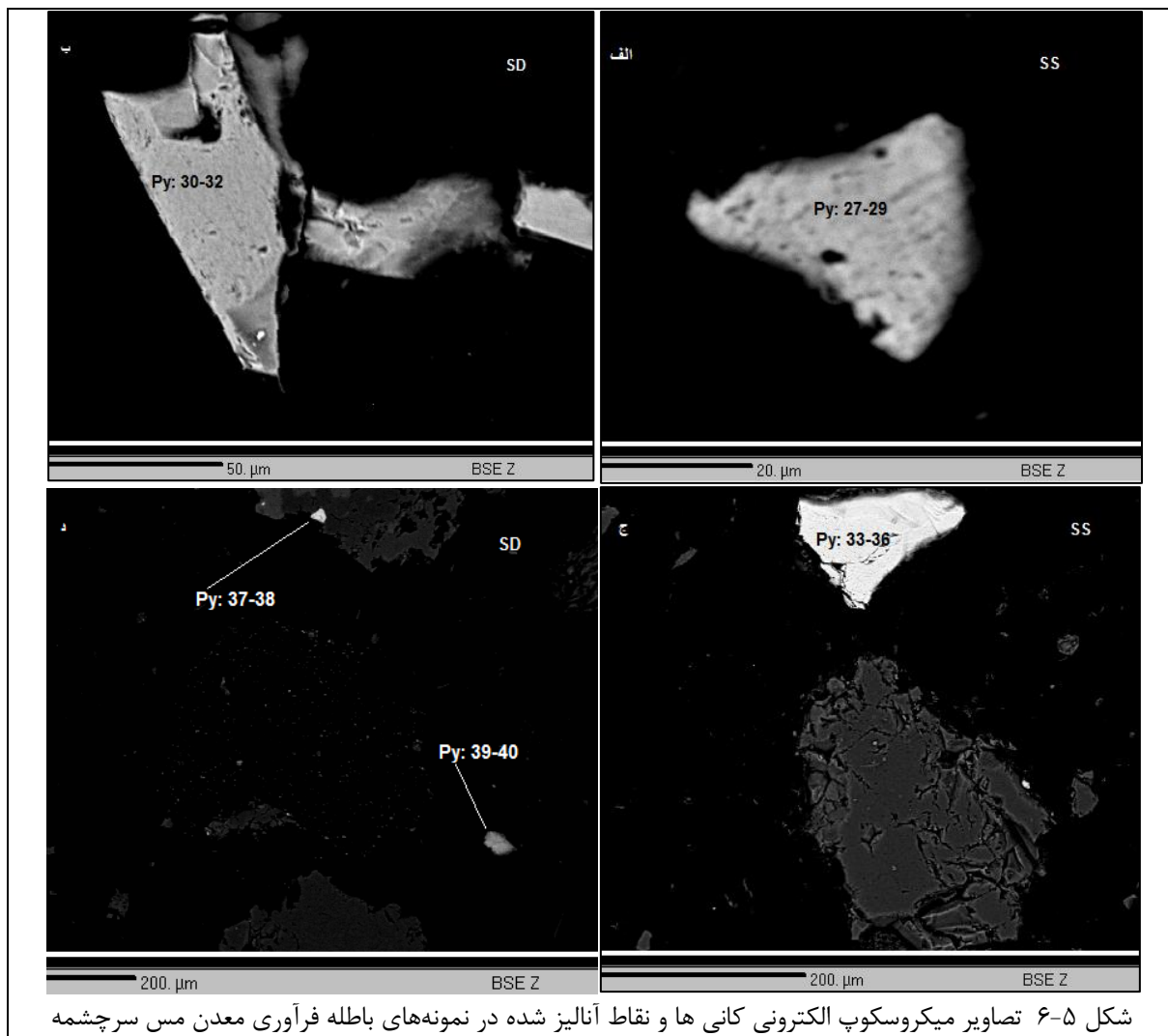
ادامه جدول ۵-۱ غلظت عناصر در پیریت‌های سنگ معدن مس سرچشمه (غلظت آهن و گوگرد براساس درصد وزنی و واحد بقیه عناصر ppm می‌باشد)

	نقاط آنالیز	S	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Sb	Total
SS	35	52.03	48.07	<100	<100	300	500	300	<100	<100	100.21
SS	36	52.21	46	<100	<100	200	300	400	<100	<100	98.3
SD	37	52.15	47.31	<100	<100	900	500	1400	100	<100	100.28
SD	38	53	46.84	<100	200	<100	200	3000	<100	100	100.19
SD	39	52.25	46.55	<100	<100	300	500	500	200	100	98.96
SD	40	53.05	47.02	<100	100	500	<100	1200	500	300	100.33





شکل ۵-۵ تصاویر میکروسکوپ الکترونی کانی ها و نقاط آنالیز شده در نمونه‌های باطله فرآوری معدن مس سرچشمه



فصل ششم

بحث و نتیجه‌گیری و پیشنهادات

عناصر کمیاب به دلیل ارتباط با مسائل زیست‌محیطی، سلامت گیاهان، حیوانات و انسان‌ها دارای اهمیت قابل توجهی می‌باشند. این عناصر دارای منابع طبیعی و انسانی هستند. منابع طبیعی شامل هوازدگی سنگ‌ها، آتشفشان‌ها، چشمه‌های آب گرم، رسوبات رودخانه‌ای و پوشش گیاهی می‌باشد و منابع انسانی معدن‌کاری فلزی، ذوب، احتراق زغالسنگ و عملیات صنعتی را دربر می‌گیرد که در این بین اغلب بر روی منابع انسانی تاکید می‌شود. به عنوان مثال منبع اصلی روی ممکن است یک کارخانه ذوب، نیروگاه و تولید کود باشد و فعالیت‌های آتشفشانی یک منبع قابل توجهی برای بعضی عناصر کمیاب مانند Se و Sb به حساب می‌آید [۶۸]. آلودگی خاک به فلزات سنگین در اطراف کاخارنه‌های ذوب و سایت‌های باطله معدنی یک مشکل زیست‌محیطی شایع می‌باشد. خاک به عنوان بخشی از سیستم بیوژئوشیمی نقش حیاتی را در چرخه عناصر دارد و دارای عملکرد مهمی به عنوان ذخیره‌کننده، انتقال‌دهنده و حمایت‌کننده روابط بین اجزای زنده و غیرزنده است [۶۹]. معدن‌کاری فلزی و فرآوری باعث تولید فلزات سنگین بیش از غلظت طبیعی خاک می‌شود [۷۰]. در طول معدن‌کاری و ذوب سنگ معدن فلزدار بسیاری از فلزات شامل Sb، As، Bi، Cd، Cr، Co، Cu، Pb، Hg، Ni و Zn داخل خاک آزاد می‌شوند [۷۱]. پیریت احتمالاً به دلیل گرایش زیاد به اکسیداسیون و تولید اسید سولفوریک در طول هوازدگی مورد توجه‌ترین کانی از نظر زیست‌محیطی می‌باشد. شیمی ایده‌آل پیریت توسط فرمول FeS_2 نشان داده می‌شود که در نمونه‌های طبیعی با آن مواجه نمی‌شویم. پیریت‌های طبیعی علاوه بر عناصر اصلی و ضروری Fe و S حاوی مقادیر کمی از عناصر فرعی و عناصر کمیاب می‌باشند. فلزات سنگین توسط فرآیندهایی مانند جانشینی یونی، جذب فیزیکی و شیمیایی و ... در پیریت گنجانیده می‌شوند [۷۲]. شعاع یونی و بار یونی دو عاملی هستند که جانشینی براساس آن‌ها انجام می‌شود. در نتیجه جانشینی اتمی در می‌یابیم که بیشتر

کانی‌ها نه تنها دارای عناصر مشخص کننده نوع خاص خود می‌باشند، بلکه سایر عناصر نیز می‌توانند خود را در شبکه بلورین آن‌ها جای دهند.

در این فصل به بررسی علل احتمالی غلظت عناصر ناخالص موجود در پیریت‌های دمپ باطله، سنگ معدن و باطله فرآوری معدن مس سرچشمه پرداخته می‌شود.

○ آرسنیک

امروزه از آرسنیک به عنوان مهمترین آلاینده طبیعی یاد می‌شود، به طوری که در سازمان‌های جهانی^۱ و محیط زیست، به عنوان اولین عنصر سمی طبقه بندی شده است [۷۳]. فرآیندهای طبیعی مثل هوازدگی، فعالیت‌های بیولوژیکی و فوران‌های آتشفشانی باعث آزادسازی آرسنیک از ترکیبات خود می‌شود. بیشتر مشکلات زیست محیطی آرسنیک نیز به دلیل تحرک پذیری آن تحت شرایط طبیعی است. یکی از مهمترین عواملی که باعث می‌شود ترکیبات آرسنیک در شرایط هوازدگی قرار بگیرند و آرسنیک آزاد کنند، فعالیت‌های معدنی بشر می‌باشد.

فعالیت‌های معدنی باعث اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی شده، در نتیجه آرسنیک در غلظت‌های بالایی آزاد می‌شود [۷۴]. این امر منجر به غلظت‌های بالای آرسنیک در آب‌های سطحی [۷۵]، آب‌های زیرزمینی [۷۴]، خاک و پوشش گیاهی می‌شود [۷۶]. به طور کلی، شیمی As شدیداً از شیمی گوگرد تبعیت می‌کند، به طوری که بیشترین غلظت این عنصر در کانی‌های سولفیدی رخ می‌دهد که پیریت مهم‌ترین آن‌هاست. As در کانی‌های پیریت، کالکوپیریت، گالن و مارکازیت دارای غلظت‌های متغیری است. آرسنیک در ساختار بلوری بیشتر کانی‌های سولفیدی می‌تواند جانشین گوگرد شود. برای مثال، در طول تشکیل پیریت فرامبوئیدال، این احتمال نیز وجود دارد که تا As نیز در ساختار آن گنجانده شود. در

1- WHO

کانی‌های اکسیدی و هیدروکسیدی نیز ممکن است As با غلظت‌های بالایی وجود داشته باشد ([۷۲]).

[۷۴]. نکته دارای اهمیت در مورد آرسنیک این است که عموماً با افزایش مقدار As، محتوای عناصر کمیاب موجود در پیریت نیز افزایش می‌یابد ([۴]، [۶۰]). جانشینی As در شبکه پیریت ممکن است به تغییر ساختمان پیریت منجر شود، به طوری که ساختمان پیریت به یک ساختمان ناقص تبدیل گردد [۶۰].

میانگین، حداقل و حداکثر غلظت آرسنیک در پیریت‌های دمپ باطله، سنگ معدن و باطله فرآوری در شکل (۱-۶) آورده شده است. میانگین غلظت آرسنیک در پیریت‌های دمپ باطله، سنگ معدن و باطله فرآوری به ترتیب برابر است با: ۷۴۱، ۵۱۹ و ۷۶۷ گرم بر تن. حداقل غلظت عناصر همانطور که قبلاً ذکر شد کمتر از حد تشخیص دستگاه یعنی کمتر از ۱۰۰ گرم بر تن می‌باشد. حداکثر غلظت آرسنیک در پیریت‌های دمپ باطله، سنگ معدن و باطله فرآوری به ترتیب برابر است با: ۸۴۰۰، ۱۹۰۰ و ۳۰۰۰ گرم بر تن. با توجه به شکل (۱-۶) عنصر آرسنیک در پیریت‌های دمپ باطله دارای بیشترین مقدار می‌باشد.

براساس جدول (۱-۳) نقاط ۱ تا ۴، بیشترین میزان غلظت آرسنیک در پیریت‌های دمپ باطله در نقطه‌ای یافت شده است که کانی سولفوسالت مس (تنانتیت) به صورت نوار باریکی در کنار آن قرار گرفته است (شکل ۱-۳-الف). براساس مطالعات انجام شده توسط یوسفی (۱۳۹۳) از طریق آزمایش استخراج ترتیبی فقط پیریت عامل آزادسازی عناصری مانند آرسنیک بیان شده است [۶۵]. در صورتی که کانی سولفوسالت هم منشأ عنصر آرسنیک است. همچنین براساس پلوملی (۱۹۹۹) وجود پیریت در کنار سایر کانی‌سازی‌ها منجر به افزایش نرخ اکسیداسیون می‌شود زیرا وجود پیریت باعث اسیدی‌تر شدن محیط می‌شود [۳۹]. در نتیجه با اکسیداسیون کانی‌های موجود آلودگی فراوانی وارد محیط خواهد شد. با توجه به جدول (۱-۵) بیشترین میزان آرسنیک در پیریت‌های باطله فرآوری در نقطه شماره ۳۸ که یک نمونه عمقی است، گزارش شده است. تصویر میکروسکوپ الکترونی این نقطه در شکل (۵-۶-د) آورده شده است. با توجه به

جدول (۱-۴) حداکثر میزان آرسنیک در پیریت‌های سنگ معدن در نقاط شماره ۴۱ و ۴۲ گزارش شده‌ایت که مربوط به یک پیریت رگچه‌ای می‌باشد که در شکل (۴-۸-ج) نشان داده شده‌است. این نتایج با داده‌های حاصل از کار سلطانی پور همخوانی دارد. با توجه به مطالعات سلطانی پور غلظت آرسنیک در آلتراسیون‌های آرژیلیک، فیلیک و پروپیلیتیک در پیریت‌های رگچه‌ای بیشتر از پیریت‌های پراکنده بیان شده‌است ([۵۷]، [۵۸]، [۵۹]).

○ مس

وان و گریک (۱۹۷۸) پیریت طبیعی را حاوی ۱۰ wt % Cu دانسته‌اند که به محلول جامد بین CuS_2 و FeS_2 در دما و فشارهای بالا محدود می‌شود [۷۷]. قابل ذکر است که به مقادیر بالای Cu در پیریت‌های حاوی As اشاره شده‌است [۷۸]. همچنین گیرفین و همکاران (۱۹۹۱) یک همبستگی قوی بین مقادیر As و Cu در آنالیزهای پیریت بافتند [۶۰]. با توجه به شکل (۶-۲) میانگین عنصر مس در پیریت‌های دمپ باطله، سنگ معدن و باطله فرآوری به ترتیب برابر با ۷۸۴، ۵۸۸ و ۳۹۰ گرم بر تن و حداقل میزان مس در همه موارد کمتر از ۱۰۰ رگم بر تن می‌باشد. حداکثر غلظت عنصر مس در پیریت‌های دمپ باطله، سنگ معدن و باطله فرآوری به ترتیب شامل ۱۱۳۰۰، ۱۵۰۰ و ۱۵۰۰ گرم بر تن می‌باشد. توجه به جدول (۱-۳) بیشترین مقدار مس در پیریت‌های دمپ باطله مربوط به نقطه شماره ۵۴ می‌باشد که پیریت در کنار کالکوپیریت قرار داشته‌است. تصویر میکروسکوپ الکترونی این نقطه در شکل (۳-۹-ب) نشان داده شده‌است. با توجه به جدول (۱-۴) نقاط شماره ۱۱، ۱۲، ۴۱ و ۴۲ بیشترین مقدار مس را در پیریت‌های سنگ معدن نشان می‌دهد. با توجه به شکل‌های (۴-۶-ج) و (۴-۸-ج) این نقاط مربوط به پیریتی است که کالکوپیریت در کنار آن قرار گرفته و پیریت رگچه‌ای نیز دارای حداکثر میزان مس می‌باشد. با توجه به جدول (۱-۵) بیشترین میزان مس در پیریت‌های باطله فرآوری مربوط به نقطه شماره

۳ که یک نمونه سطحی است، می باشد. تصویر الکترونی این نقطه در شکل (۵-۴-الف) نشان داده شده است.

○ سرب، روی و کادمیم

هاستن و همکاران (۱۹۹۵) محتوای Zn، Pb و Cd موجود در پیریت را به حضور انکلوژیون‌های کوچک کانی‌های حاوی سرب و روی مانند گالن و اسفالریت نسبت داده‌اند. این محققان مقادیر بالای سرب و روی را به طور معمول مرتبط با پیریت‌های کلوفرم دانسته‌اند و بیان کردند که ته نشینی سریع پیریت باعث به دام افتادن اذخال‌های کانی‌های حاوی سرب و روی در پیریت می‌شود [۶۱]. گریفین و همکاران (۱۹۹۱) نیز به طور مشابه مقادیر بالای سرب و روی را در پیریت در صورت عدم حضور اذخال‌های گالن و اسفالریت به شدت رد کردند [۶۰]. ابرتو و همکاران (۱۹۹۷) مقادیر سرب و روی موجود در پیریت را در مجموعه‌ای که شامل فازهای حاوی سرب یا روی نمی‌باشد مورد بررسی قرار دادند و میزان متوسط سرب و روی را به ترتیب ۹ و ۹۶ گرم بر تن گزارش دادند. براین اساس، به نظر می‌رسد که شبکه پیریت به آسانی با غلظت‌های بالای سرب و روی سازگار نیست. با این حال، در مجموعه کانی‌های سرب و روی که حاوی پیریتی می‌باشند که به سرعت ته‌نشین شده‌اند، اذخال‌هایی از گالن و اسفالریت در مقیاس میکروسکوپی می‌تواند منجر به مقادیر بالای ۹۰۰۰ ppm، سرب و روی شود. همچنین اشاره شده است که چنین پیریت‌هایی به طور کلی غنی از آرسنیک می‌باشند [۶۲].

با توجه شکل (۶-۳) میانگین عنصر روی در پیریت‌های دمپ باطله، سنگ معدن و باطله فرآوری به ترتیب برابر با ۲۶۵، ۳۲۳ و ۳۴۵ گرم بر تن است. حداقل میزان عنصر روی در همه موارد کمتر از ۱۰۰ گرم بر تن و حداکثر میزان روی در پیریت‌های دمپ باطله، سنگ معدن و باطله فرآوری به ترتیب برابر با ۱۰۰۰، ۸۰۰ و ۸۰۰ گرم بر تن می‌باشد. با توجه به جدول (۳-۱) حداکثر مقدار روی در پیریت‌های دمپ باطله

در پیریتی یافت شده است که دارای ادخال اسفالریت بوده است که تصویر الکترونی این نقطه در شکل (۳-۸-الف) نشان داده شده است. با توجه به جدول (۴-۱) بیشترین مقدار روی در پیریت‌های سنگ معدن در نقاط ۲۲ و ۴۲ یافت شده است. با توجه به شکل (۴-۷-الف) و (۴-۸-ج) این نقاط مربوط به ترتیب مربوط به پیریت بی‌شکل و پیریت رگچه‌ای می‌باشد. با توجه به جدول (۵-۱) نقطه شماره ۲۶ بیشترین غلظت روی را در پیریت‌های باطله فرآوری نشان می‌دهد که مربوط به یک نمونه عمقی است.

با توجه به شکل (۶-۴) میانگین عنصر کادمیم در پیریت‌های دمپ باطله، سنگ معدن و باطله فرآوری به ترتیب برابر با ۲۶۶، ۲۳۳ و ۲۵۲ گرم بر تن می‌باشد. بیشترین مقدار کادمیم در پیریت‌های باطله فرآوری در نقطه ۹ یافت شده که مربوط به یک نمونه سطحی است (جدول ۵-۱). تصویر الکترونی این نقطه در شکل (۵-۴-ج) نشان داده شده است. بیشترین مقدار کادمیم در پیریت‌های دمپ باطله در نقاط ۷۸ و ۸۹ در جدول (۳-۱) گزارش شده است. با توجه به شکل (۳-۱۰-ج) و (۳-۱۱-ب) این نقاط به ترتیب مربوط به پیریت‌های بی‌شکل می‌باشد. بیشترین مقدار روی در پیریت‌های سنگ معدن مربوط به نقاط ۳۸ و ۴۲ می‌باشد (جدول ۴-۱). براساس تصاویر الکترونی این نقاط در شکل‌های (۴-۸-ب) و (۴-۸-ج) این نقاط به ترتیب مربوط به پیریت درشت دانه و پیریت رگچه‌ای در سنگ معدن می‌باشد.

با توجه به نتایج آنالیز پیریت‌های دمپ باطله سرب فقط در یک نقطه دارای غلظت ۵۲۰۰ گرم بر تن بوده و در سایر نقاط کمتر از حد تشخیص دستگاه یعنی کمتر از ۱۰۰ گرم بر تن گزارش شده است. اما حضور پیریت در کنار گالن که با توجه به مطالعات کانه‌نگاری در چند نقطه مشاهده شده است (۳-۷-الف و ۳-۷-ج) می‌تواند حائز اهمیت باشد. براساس کروم و همکاران (۲۰۰۱) در صورت قرارگیری این کانی‌ها در معرض هوازدگی، گالن زودتر اکسید شده و در نتیجه سرب بالایی وارد محیط می‌شود [۴۳].

○ کبالت و نیکل

کبالت و نیکل می‌توانند به صورت گسترده جایگزینی برای Fe در پیریت باشند، که نشان می‌دهد Co^{+2} و Ni^{+2} شعاع یونی مشابه Fe^{+2} دارند در نتیجه CoS_2 و NiS_2 در ساختار پیریت پذیرفته می‌شود [۷۷].

با توجه به نمودار شکل (۵-۶) میانگین غلظت کبالت در پیریت‌های دمپ باطله، سنگ معدن و باطله فرآوری به ترتیب برابر با ۱۴۸، ۶۵۰ و ۲۶۴ گرم بر تن می‌باشد. حداقل میزان کبالت در همه موارد کمتر از ۱۰۰ گرم بر تن و حداکثر غلظت کبالت در پیریت‌های دمپ باطله، سنگ معدن و باطله فرآوری به ترتیب برابر با ۶۰۰، ۱۶۰۰ و ۱۹۰۰ گرم بر تن می‌باشد. بیشترین مقدار کبالت در پیریت‌های باطله فرآوری مربوط به نقطه ۹ که یک نمونه سطحی است، می‌باشد (جدول ۵-۱). تصویر میکروسکوپ الکترونی این نقطه در شکل (۵-۴-ج) نشان داده شده است. بیشترین مقدار کبالت در پیریت‌های سنگ معدن مربوط به نقاط ۲۷، ۲۸، ۴۱ و ۴۲ است (جدول ۴-۱). نقاط ذکر شده مربوط به پیریت بی‌شکل با ادخال گالن و پیریت رگچه‌ای می‌باشد. تصاویر میکروسکوپ الکترونی این نقاط در شکل‌های (۴-۷-ج) و (۴-۸-ج) نشان داده شده است. با توجه به جدول (۱-۳) بیشترین مقدار کبالت در پیریت‌های دمپ باطله در نقطه ۸۳ گزارش شده است که مربوط به یک پیریت بی‌شکل می‌باشد (شکل ۳-۱۰-د).

با توجه به شکل (۶-۶) میانگین غلظت نیکل در پیریت‌های دمپ باطله، سنگ معدن و باطله فرآوری برابر با ۳۸۶، ۶۸۳ و ۲۹۶ گرم بر تن است. بیشترین میزان نیکل در پیریت‌های سنگ معدن مربوط به نقاط ۲۷، ۲۸، ۴۱ و ۴۲ است (جدول ۴-۱). نقاط ذکر شده مربوط به پیریت بی‌شکل با ادخال گالن و پیریت رگچه‌ای می‌باشد. تصاویر میکروسکوپ الکترونی این نقاط در شکل‌های (۴-۷-ج) و (۴-۸-ج) نشان داده شده است.

براساس جدول (۵-۱) بیشترین مقدار کبالت در پیریت‌های باطله فرآوری مربوط به نقطه ۳۴ است که یک نمونه سطحی است. تصویر الکترونی این نقطه در شکل (۵-۶-ج) نشان داده شده است.

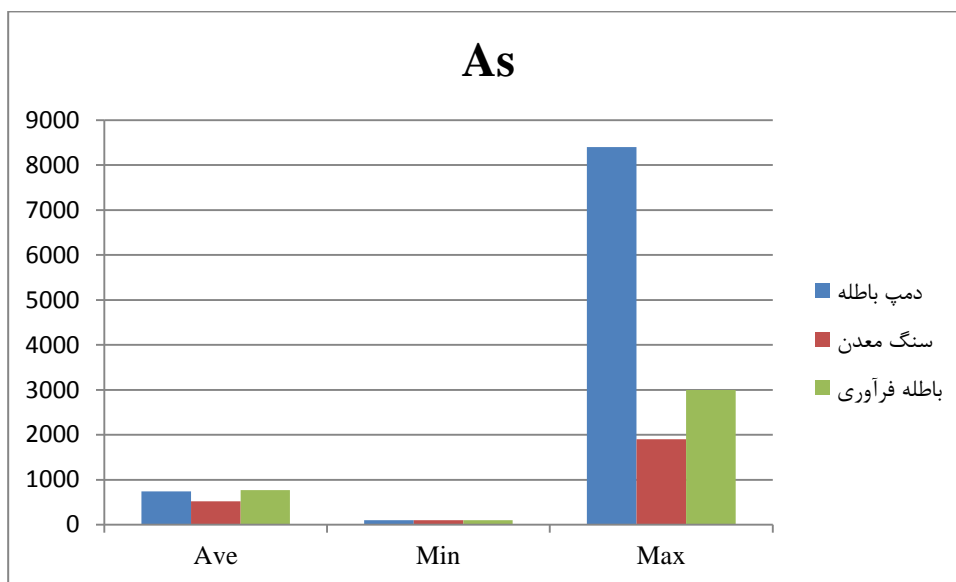
بیشترین میزان کبالت در پیریت‌های دمپ باطله در نقطه ۵ گزارش شده است (جدول ۳-۱). با توجه به تصویر میکروسکوپ الکترونی در شکل (۳-۶-ب) این نقطه مربوط به پیریتی است که کالکوپیریت در شکستگی‌های آن قرار گرفته است.

○ جیوه

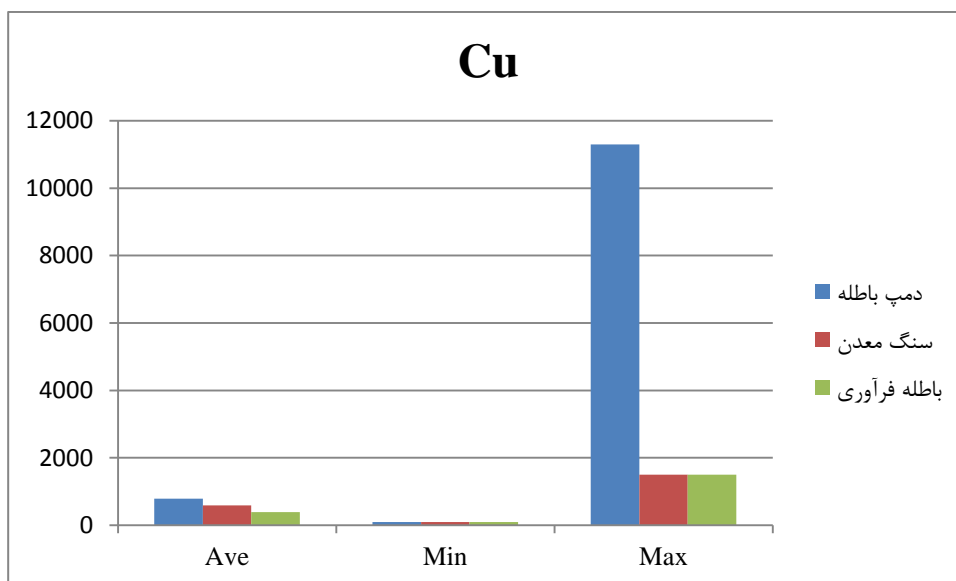
جیوه یک عنصر با فراوانی بسیار کم در پوسته زمین می‌باشد. با این حال، به دلیل تمایل به همراهی در ذخایر سولفیدی به آسانی توسط فعالیت‌های معدن کاری حاصل می‌شود. سینابر (HgS) کانی غالب جیوه می‌باشد. در سال ۱۹۵۰ مشخص شده که انتشار جیوه در محیط زیست می‌تواند اثرات جدی بر سلامت انسان داشته باشد [۷۹].

با توجه به جدول (۳-۱) جیوه موجود در پیریت‌های دمپ باطله در محدوده کمتر از ۱۰۰ و حداکثر میزان ۲۵۰۰ گرم بر تن می‌باشد. اما چون جیوه عنصر فراری است و با توجه به اینکه این عنصر دارای همپوشانی الکترونی با گوگرد می‌باشد ممکن است با این عنصر نیز تداخل داشته باشد. بنابراین نتیجه به دست آمده دارای اطمینان کافی نمی‌باشد و باید مورد مطالعه بیشتری قرار گیرد. در مطالعات انجام شده توسط ریچ و همکاران (۲۰۱۳) میزان پیریت موجود در پیریت‌های ذخیره مس پورفیری چین، در محدوده ۴۰۰ تا ۱۲۰۰ گرم بر تن گزارش شده است.

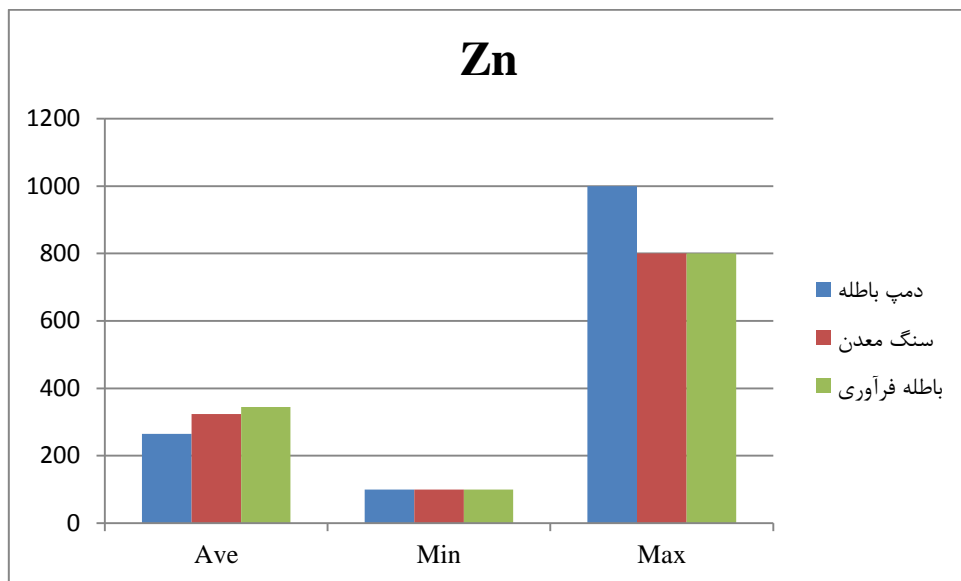
با توجه به شکل (۶-۷) که میانگین غلظت عناصر موجود در پیریت‌های دمپ باطله، سنگ معدن و باطله فرآوری را نشان می‌دهد، پیریت‌های موجود در سنگ معدن و باطله فرآوری در مقایسه با دمپ باطله به هم نزدیک‌تر می‌باشند. که این تفاوت در منشا پیریت، در سنگ‌های معدن و روباره‌های معدنی است.



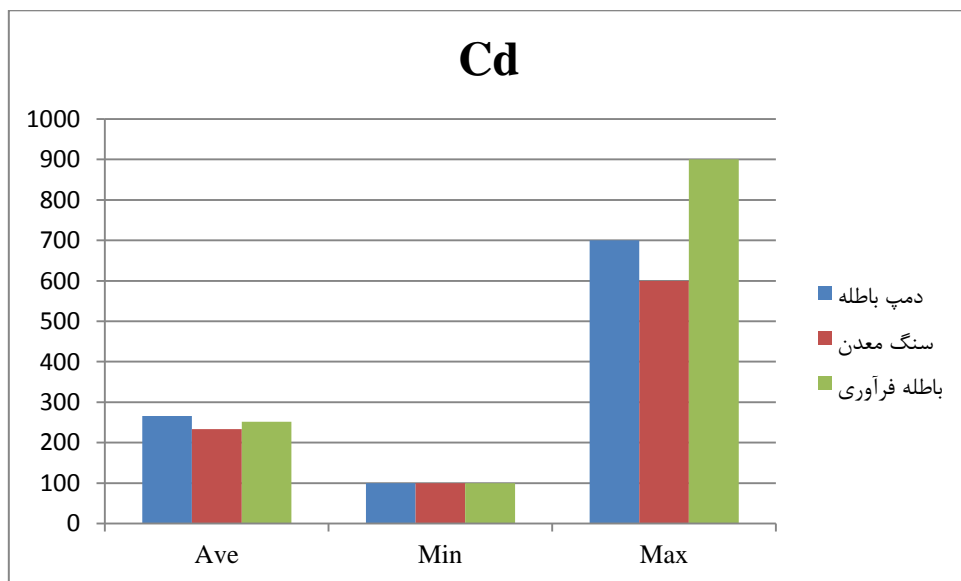
شکل ۶-۱ میانگین، حداقل و حداکثر غلظت آرسنیک در پیریت‌های دمپ باطله، سنگ معدن و باطله فرآوری (گرم بر تن)



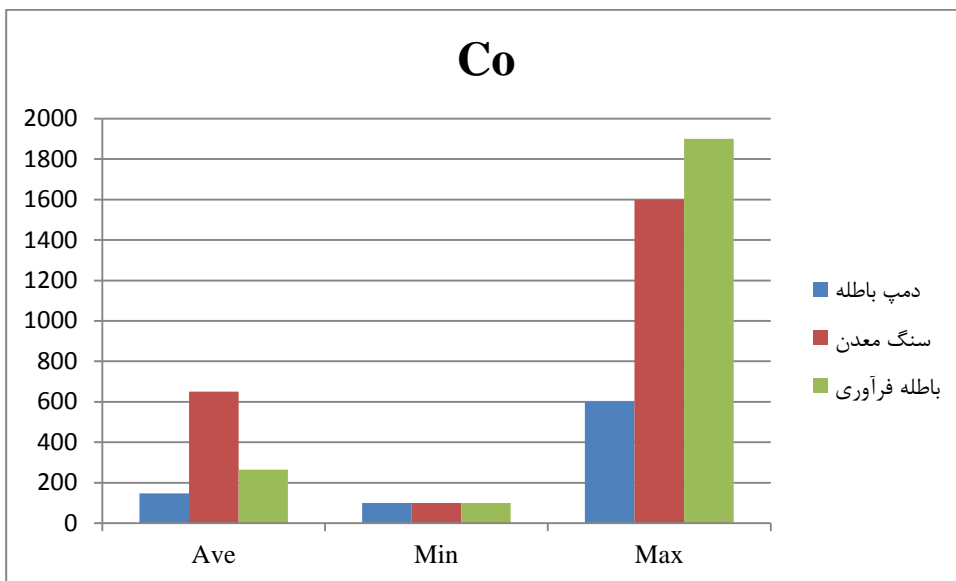
شکل ۶-۲ میانگین، حداقل و حداکثر غلظت مس در پیریت‌های دمپ باطله، سنگ معدن و باطله فرآوری (گرم بر تن)



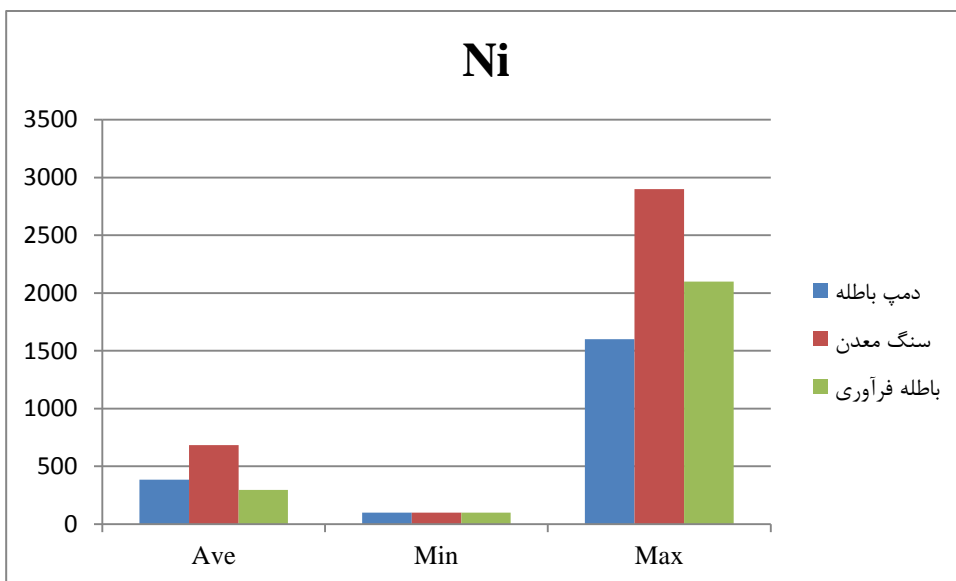
شکل ۳-۶ میانگین، حداقل و حداکثر غلظت روی در پیریت‌های دمپ باطله، سنگ معدن و باطله فرآوری (گرم بر تن)



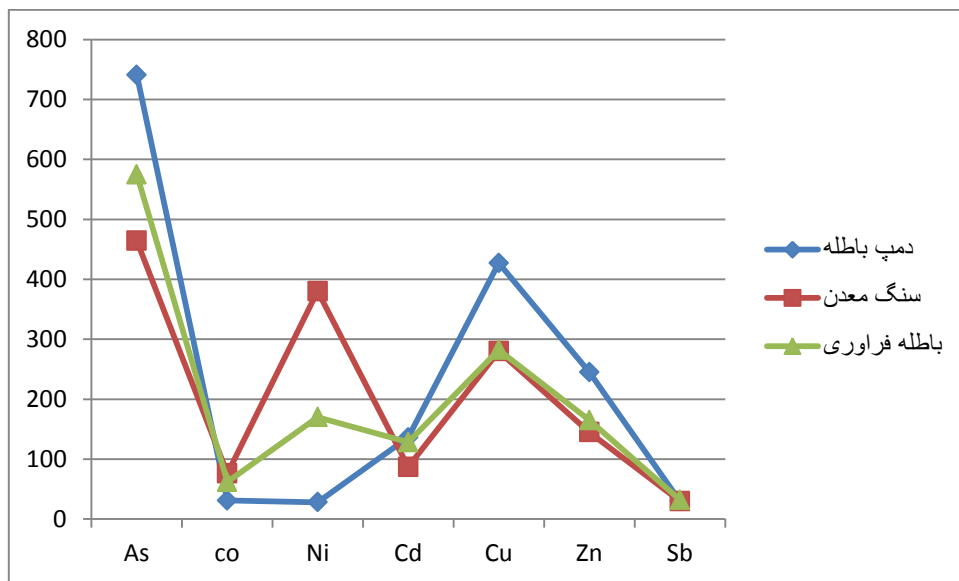
شکل ۴-۶ میانگین، حداقل و حداکثر غلظت کادمیم در پیریت‌های دمپ باطله، سنگ معدن و باطله فرآوری (گرم بر تن)



شکل ۵-۶ میانگین، حداقل و حداکثر غلظت کبالت در پیریت‌های دмп باطله، سنگ معدن و باطله فرآوری (گرم بر تن)



شکل ۶-۶ میانگین، حداقل و حداکثر غلظت نیکل در پیریت‌های دмп باطله، سنگ معدن و باطله فرآوری (گرم بر تن)



شکل ۶-۷ میانگین غلظت عناصر موجود در پیریت‌های دمپ باطله، سنگ معدن و باطله فرآوری (گرم بر تن)

۲-۶ نتیجه‌گیری

- کانی‌های مشاهده شده در دمپ باطله، سنگ معدن و باطله فرآوری به ترتیب شامل: پیریت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت، کوولیت و مگنتیت؛ پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، کالکوزیت، کوولیت، دیژنیت، تنانتیت و مولیبدنیت؛ پیریت و کالکوپیریت.
- پیریت‌های مشاهده شده در دمپ باطله دارای ابعاد ۱۰ تا ۸۰۰ میکرون و فراوانی ۱ تا ۲۰ درصد متغیر است. پیریت‌ها به صورت بی‌شکل، مستقل و همچنین همراه با کانی‌هایی مانند کالکوپیریت و گالن مشاهده شدند.
- پیریت‌های مشاهده شده در سنگ معدن دارای ابعاد ۱۰ تا ۲۰۰۰ میکرون و حداکثر فراوانی ۵۰-۶۰ درصد می‌باشد. پیریت‌ها به صورت شکل‌دار، بی‌شکل، نیمه شکل‌دار، پراکنده در سنگ، رگچه‌ای، مستقل و همراه با کانی‌هایی مانند کالکوپیریت و بورنیت مشاهده شدند.

- پیریت های مشاهده شده در سنگ معدن دارای ابعاد ۱۰ تا ۲۰۰ میکرون و فراوانی ۵ درصد می باشد. پیریت ها به صورت ریزدانه و پراکنده در زمینه و در موارد جزئی در کنار کالکوپیریت وجود داشتند.
- در بین عناصر کمیاب مورد آنالیز، آرسنیک بیشترین تمرکز را در پیریت های دمپ باطله، سنگ معدن و باطله فرآوری به خود اختصاص داده است.
- با توجه به مطالعات انجام شده توسط EPMA کانی سولفوسالت در دمپ باطله شناسایی شد که نشان می دهد پیریت تنها منشا آرسنیک در دمپ باطله نیست و آرسنیک از سولفوسالت نیز منشا می گیرد.
- بررسی ها نشان داد پیریت های موجود در سنگ معدن و سد باطله به لحاظ محتوای عناصر سمی همخوانی دارند. در حالی که محتوای آن ها در باطله ها متفاوت است. به نظر می رسد این تفاوت در منشا پیریت در سنگ های معدن و روباره های معدنی باشد.
- بررسی های کانی شناسی در سد باطله نشان داد که اکسیداسیون پیریت نسبت به عمق کاهش یافته به طوری که حداکثر اکسیداسیون در افق های سطحی مشاهده شد. این نتیجه بر خلاف سیستم اکسیداسیون مشاهده شده در دمپ باطله توسط یوسفی (۱۳۹۳) است.
- به نظر می رسد که استفاده از آنالیز پیریت که منبع آلودگی در دمپ ها و سدهای باطله معدنی می باشد به دلیل صرف وقت و هزینه کمتر روش بهتری نسبت به مطالعه مناطق تحت تاثیر معدن کاری مانند آب و خاک است.

۳-۶ پیشنهادات

- ✓ مطالعات کانی شناسی به منظور مطالعات بافت پیریت به دلیل بررسی نرخ اکسیداسیون پیریت بسیار موثر است. لذا بهتر است در سایر مطالعات با صرف هزینه بیشتر به این عمل پرداخته شود.
- ✓ به دلیل غلظت بالای آرسنیک در پیریت و به دلیل وجود پیریت در فرآیند فراوری، مطالعه بیشتر روی این عنصر ضروری به نظر می‌رشد.
- ✓ جیوه در پیریت مورد مطالعه دارای مقدار قابل توجهی بوده است، اما به دلیل فرار بودن این عنصر و همچنین قابلیت تداخل با عناصر دیگر نیازمند مطالعات بیشتری می‌باشد.

منابع و مراجع

[۱]. علیزادگان، ع، (۱۳۸۹)؛ پایان نامه کارشناسی ارشد: " بررسی ویژگی های ژئوشیمیایی و کانی شناسی کپه های باطله با دیدگاه اقتصادی و زیست محیطی در معدن مس سرچشمه کرمان، زون ارومیه- دختر، ایران"، دانشکده زمین شناسی، دانشگاه تهران.

[2]. Reich, M, Deditius, A, Chryssoulis, S, Li, J. W, Ma, C. Q, Parada, M. A, Barra, F, Mittermayr, F, (2013), Pyrite as a record of hydrothermal fluid evolution in a porphyry copper system: A SIMS/EMPA trace element study, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 104 (2013) 42–62.

[3]. Large R. R., Danyushevsky L. V., Hollit C., Maslennikov V., Meffre S., Gilbert S. E., Bull S., Scott R. J., Emsbo P., Thomas H., Singh B. and Foster J. (2009) Gold and trace element zonation in pyrite using a laser imaging technique: implications for the timing of gold in orogenic and Carlin-style sedimenthosted deposits. *Econ. Geol.* 104, 635–668.

[4]. Huston, D.L., Sie, S.H., Suter, G.F., Cooke, D.R., Both, R.A., 1995. Trace elements in sulfide minerals from Eastern Australian volcanic- hosted massive sulfide deposits: Part 1. Proton microprobe analyses of pyrite, chalcopyrite and sphalerite, and Part II. Selenium levels in pyrite: comparison with $\delta^{34}\text{S}$ values and implications for the source of sulfur in volcanogenic hydrothermal systems. *Economic Geology* 90, 1167–1196.

[5]. Yamaguchi K. and Ohmoto H. (2006) Evidence from sulfur isotope and trace elements in pyrites for their multiple post-depositional processes in uranium ores at the Stanleigh Mine, Elliot Lake, Ontario, Canada. *GSA Memoirs* 198, 143–156.

[6]. Deditius A., Utsunomiya S., Reich M., Kesler S. E., Ewing R. C., Hough R. and Walshe J. (2011) Trace metal nanoparticles in pyrite. *Ore Geol. Rev.* 42, 32–46.

[7]. Sung Y. H., Brugger J., Ciobanu C. L., Pring A., Skinner W. and Nugus M. (2009) Invisible gold in arsenian pyrite and arsenopyrite from a multistage Archaean gold deposit: Sunrise Dam, Eastern Goldfields Province, Western Australia. *Mineral. Deposita* 44, 765–791.

[8]. Koglin N., Frimmel H. E., Lawrie Minter W. E. and Brañtz H. (2010) Trace-element characteristics of different pyrite types in Mesoarchean to Palaeoproterozoic placer deposits. *Mineral. Deposita* 45, 259–280.

[9]. Evangelou, V. P., (1995), " Pyrite oxidation and its control. CRC Press, Boca Raton.

[10]. Sillitoe R. H. (2010) Porphyry copper systems. *Econ. Geol.* 105, 3– 41.

[11]. Richards J. (2003) Tectono-magmatic precursors for porphyry Cu– (Mo–Au) deposit formation. *Econ. Geol.* 98, 1515–1533.

[۱۲]. یوسفی، س، (۱۳۹۳)، رساله دکتری: "ارائه روش جدید برای گونه‌پذیری و پهنه‌بندی ریسک آلودگی عناصر سمی در محیط GIS مطالعه موردی: معدن مس سرچشمه"، دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه شاهرود.

[۱۳]. کمیزی، ع، خشنودی، م، حاج احمدی، م، دهقان، ر، (۱۳۷۹); بررسی کاتیونهای فلزی در آب رودخانه شور مجتمع مس سرچشمه، سومین همایش ملی بهداشت محیط.

[۱۴]. عربعلی ساوه‌یی، ع؛ رادفر، ش؛ شهاب پور، ج؛ بهروز، م، (۱۳۸۶)، "بررسی آلودگی و اثرات زیست محیطی آرسنیک در آب مصرفی مناطق مسکونی اطراف معدن مس سرچشمه"، نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، کرمان، دانشگاه شهید باهنر، انجمن مهندسی آبیاری و آب.

[15]. Khorasanipour M., Eslami A. (2014). "Hydrogeochemistry and Contamination of Trace Elements in Cu-Porphyry Mine Tailings: A Case Study from the Sarcheshmeh Mine, SE Iran" *Mine Water Environ.*

[۱۶]. عربعلی ساوه‌یی، ع؛ شهاب پور، ج؛ رادفر، ش؛ بهروز، م، (۱۳۸۷)، "بررسی پراکندگی و اثرات زیست محیطی آرسنیک و سلنیم بر گونه Artemisia در اطراف معدن مس سرچشمه"، دومین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران، دانشگاه تهران، دانشکده محیط زیست.

[۱۷]. خراسانی پور، م؛ آفتابی، ع؛ اسماعیل زاده، ع؛ نیکویی، م، (۱۳۸۶) "الگوی ژئوشیمیایی و توزیع عناصر مسمومیت زای سنگین در رسوبات رودخانه شور معدن مس سرچشمه" کرمان، بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین، تهران، وزارت صنایع و معادن، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

[18]. Karbassi A. R., Monavari S. M., Nabi Bidhendi Gh. R., Nouri J., Nematpour K. (2008). "Metal pollution assessment of sediment and water in the Shur River" *Environ Monit Assess*, 147:107–116.

[19]. Khorasanipour M., Aftabi A. Kharrati Kopaei M., Keshavarzi B., Behrouz M., (2010). "Heavy metal enrichment of soil in Sarcheshmeh copper complex, Kerman, Iran" *Environ Earth Sci* (2011) 62:329–336

[20]. Rastmanesh F., Moore F., Keshavarzi B. (2010). "Speciation and Phytoavailability of Heavy Metals in Contaminated Soils in Sarcheshmeh Area, Kerman Province, Iran" *Bull Environ Contam Toxicol* . 85:515–519.

[21]. Shafaei Tonkaboni S. Z., Jannesar Malakooti S., Doulati Ardejani F., Singh R., Soleimani E., Noaparast M., Naseh R. (2011). "pyrite oxidation in the sarcheshmeh copper mine tailings dam, Kerman, Iran" *Mine Water*.

[۲۲]. اورندی، س؛ یعقوب پور، ع؛ نخعی، م؛ مهرابی، ب؛ صحرایی، ح، (۱۳۸۴)، " تاثیر دامپ های باطله در تولید زهاب اسیدی معدن مس سرچشمه " سازمان زمین شناسی کشور، سمپوزیوم علوم زمین.

[23]. Jannesar Malakooti S., Shafaei Tonkaboni S. Z., Noaparast M., Doulati Ardejani F., Naseh R. (2013). "Characterisation of the Sarcheshmeh copper mine tailings, Kerman province, southeast of Iran" *Environ Earth Sci*.

[24]. Yousefi S., Doulati Ardejani F., Ziaii M., Esmaeil Zadeh E., Abedi A., Karamoozian M. (2013). "Identification of the Origin and Behaviour of Arsenic in Mine Waste Dumps Using Correlation Analysis: A Case Study Sarcheshmeh Copper Mine" *Int. J. Min.& Geo-Eng. Vol.47, No.2, Dec. 2013, pp. 139- 149*.

[25]. Yousefi S., Doulati Ardejani F., Ziaii M., Karamoozian M. (2014). "The speciation of cobalt and nickel at mine waste dump using improved correlation analysis: a case study of Sarcheshmeh copper mine" *Environ Dev Sustain*.

[26]. Yousefi S., Doulati Ardejani F., Ziaii M., Abedi A., Esmaeil Zadeh. (2014). "Investigating the origin and geochemical behaviour of toxic elements within the waste dumps using statistical analyses: a case study at waste dumps of Sarcheshmeh copper mine, SE of Iran" *Environ Earth Sci*.

[۲۷]. کشاورزی، ب؛ میرحسینی، م؛ شهاب پور، ج؛ ناصح، ر، (۱۳۸۵)، " بررسی آلودگی اسیدی اتمسفر و زهاب های اسیدی معدن در مناطق مجاور مجتمع مس سرچشمه " ششمین همایش ایمنی، بهداشت و محیط زیست در معادن و صنایع معدنی، تهران، شرکت معدنی و صنعتی چادرملو.

[۲۸]. میرحسینی، م؛ شهاب پور، ج؛ عابدپور، ز؛ اسدپور، ع؛ (۱۳۸۸)، " بررسی تولید و پراکندگی آلاینده SO₂ در مجتمع می سرچشمه طی استحصال مس از سنگ معدن سولفیدی"، سومین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران، دانشگاه تهران، دانشکده محیط زیست.

[29]. Jamieson H. e., Walker S. R., Parsons M. B, (2015). "Mineralogical characterization of mine waste" *Applied Geochemistry* 57 . 85–105.

[30]. Rose, A.W., Cravotta, C.A., (1999), "Geochemistry of coal mine drainage. In: Coal Mine Drainage Prediction and Pollution Prevention in Pennsylvania", The Pennsylvania Department of Environment Protection, Chapter 1.

[31]. Jambor J. L., Blowes D. W., (1998), "Theory and applications of mineralogy in environmental studies of sulfide-bearing mine wastes . In: Jamieson H. e., Walker S. R.,

Parsons M. B, (2015). “Mineralogical characterization of mine waste” *Applied Geochemistry* 57 . 85–105.

[32]. Alpers C. N., Blowes D. W., Nordstrom D. K., Jambor J. L., (1994). “Secondary minerals and acid mine-water chemistry. In: Jamieson H. e., Walker S. R., Parsons M. B, (2015). “Mineralogical characterization of mine waste” *Applied Geochemistry* 57 . 85–105.

[33]. Bowell R. J., (2002), “The hydrogeochemical dynamics of mine pit lakes. In: Jamieson H. e., Walker S. R., Parsons M. B, (2015). “Mineralogical characterization of mine waste” *Applied Geochemistry* 57 . 85–105.

[34]. Castendyk D. N., Webster-Brown J. G., (2007). “Sensitivity analyses in pit lake prediction, Martha mine, New Zealand 2: geochemistry, water–rock reactions, and surface adsorption. In: Jamieson H. e., Walker S. R., Parsons M. B, (2015). “Mineralogical characterization of mine waste” *Applied Geochemistry* 57 . 85–105.

[35]. Abraitis, P.K., Patrick, R.A.D., Vaughan, D.J., 2004, Variation in the compositional, properties of natural pyrite: a review: *International journal textural and electrical of mineral processing*, v., 74, p.41-59.

[36]. Nordstrom, D. K. (1982) Aqueous pyrite oxidation and the consequent formation of secondary iron minerals, *In* Kittrick, J. A., Fanning, D. S., and Hossner, L. R., eds., *Acid Sulfate Weathering*, Soil Sci. Soc. Am. Publ., 37-56.

[37]. Rose, A.W., Cravotta, C.A., (1999), “Geochemistry of coal mine drainage. In: *Coal Mine Drainage Prediction and Pollution Prevention in Pennsylvania*”, The Pennsylvania Department of Environment Protection, Chapter 1.

[38]. Hutchison, I., Ellison, R., (1992a), “*Mine waste management*”, Lewis Publishers, Boca, Raton.

[39]. Plumlee, G. S., Smith, K. S., Montour, M. R., Ficklin, W. H., Mosier, E. L., (1999), “Gelodic cotrols composition of natural waters and mine waters drainage diverse mineral-deposit type. In: Filipek LH.

[40]. Evangelou, V. P., Zhang, Y. L., (1995), A review: Pyrite oxidation mechanisms and acid mine drainage prevention, *Crit Rev Environ Sci Technol* 25, pp. 141- 199.

[41]. Norstrom, D.K., Alpers, C. N., (1999), “Geochemistry of acid mine waters”.

[42]. Sato, M, (1992), “Persistency-field Eh-PH diagrams for sulfides and their application to supergene oxidation and enrichment of sulfide orebodies”, *Geochim Cosmochim Acta* 56: 1202- 1231.

[43]. Cruz R, Bertrand V, Monroy M, Ganzalez I, (2001). Effect of sulfide impurities on the reactivity of pyrite and pyritic concentrations: A multi- tool approach. *Appl Geochem* 16:803- 819.

[44]. Smith A, Robertson A, Barton- Bridges J, Hutchison IPG (1992) Prediction of acid generation potential. In: Hutchison IPG, Ellison RD (eds) *Mine waste management*. Lewis Publishers, Boca Raton, pp 123- 199.

[45]. Ledin, M., Pederson, K., (1996), "The environment impact of mine wastes- roles of microorganisms and their significance in treatment of mine waste. *Earth- Sci Rev* 41: 67- 108.

[46]. Ritchie, A.I.M, (1994), "Sulfide oxidation mechanisms: Controls and rates of oxygen transport", In: Jambor JI, Blowes DW (eds). *The environmental geochemistry of sulfide mine- wastes*". Mineralogical Association of Canada, Nepean (Short course handbook, Vol22, pp 201- 245).

[46]. Luther, G. W., (1987), "Pyrite Oxidation and reduction: Molecular orbital theory considerations", *Geochim Cosmochim Acta* 51. pp. 3193- 3199.

[47]. Lottermoser, B. G, (2007), "Mine waste characterization, treatment, environment impacts", second edition , Springer- Verlag Berlin, Heidelberg, pp.303.

[48]. Reich, M, Deditius, A, Chryssoulis, S, Li, J. W, Ma, C. Q, Parada, M. A, Barra, F, Mittermayr, F, (2013), Pyrite as a record of hydrothermal fluid evolution in a porphyry copper system: A SIMS/EMPA trace element study, *Geochimica et Cosmochimica Acta* 104 (2013) 42–62.

[۴۹]. اورندی، س، (۱۳۸۵)، پایان نامه ارشد، " تاثیر دامپ‌های باطله در ایجاد زهاب اسیدی معدن مس سرچشمه"، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت معلم تهران.

[۵۰]. برگرفته از پایگاه ملی داده‌های علوم زمین "[www. Ngdir.ir](http://www.Ngdir.ir)".

[51]. Dimitrijevic M.D., (1973), " Geology of Kerman region: Institute for geological and mining exploration and investigation of nuclear and other mineral raw material". *Iran Geol Survey Rept Yu/52, Beograd–Yugoslavia*.

[۵۲]. سلطان محمدی، و؛ اکبری، ح؛ اصانلو، م؛ (۱۳۸۳)، " بررسی تأثیر پیریت بر دمپ‌های باطله معدن مس سرچشمه " کنفرانس مهندسی معدن ایران، دانشگاه تربیت مدرس.

[۵۳]. دوراندیش، م؛ (۱۳۸۱)، پایان نامه ارشد، " نقش هوازدگی در تولید زهاب اسیدی در معادن فعال استان کرمان"، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

[54]. Rastmanesh F., Moore F., Keshavarzi., B., (2010)., "Speciation and Phytoavailability of Heavy Metals in Contaminated Soils in Sarcheshmeh Area, Kerman Province, Iran" Bull Environ Contam Toxicol (2010) 85:515–519.

[55]. Khorasanipour M., Eslami A., (2014), "Hydrogeochemistry and Contamination of Trace Elements in Cu-Porphyry Mine Tailings: A Case Study from the Sarcheshmeh Mine, SE Iran" Mine Water Environ.

[۵۶]. سلطانی نژاد، ا؛ شهاب پور، ج؛ زیدآبادی، ص؛ نیکوئی، م؛ (۱۳۸۷)، " تمرکز عناصر فرعی در پیریت معدن مس سرچشمه و ارتباط آن با زون‌های کانه‌زایی "، شانزدهمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی شناسی ایران.

[۵۷]. سلطانی نژاد، ا؛ شهاب پور، ج؛ (۱۳۹۰)، " مقایسه غلظت عناصر فرعی پیریت‌های رگچه‌ای و پراکنده موجود در دگرسانی پروپیلیتیک معدن مس سرچشمه، کرمان "، چهارمین همایش ملی زمین شناسی اقتصادی.

[۵۸]. سلطانی نژاد، ا؛ شهاب پور، ج؛ زیدآبادی، ص؛ نیکوئی، م؛ (۱۳۹۰)، " خصوصیات ژئوشیمیایی پیریت در دگرسانی پتاسیک معدن مس سرچشمه، کرمان "، پنجمین همایش تخصصی زمین شناسی.

[۵۹]. سلطانی نژاد، ا؛ شهاب پور، ج؛ زیدآبادی، ص؛ نیکوئی، م؛ (۱۳۹۰)، " مقایسه غلظت عناصر فرعی پیریت‌های پراکنده و رگچه‌ای همراه با دگرسانی آرژیلیک در معدن مس سرچشمه، کرمان "، پنجمین همایش تخصصی زمین شناسی.

[60]. Griffin, W.L., Ashley, P.M., Ryan, C.G., Soey, H.S., Suter, G.F., 1991. Pyrite geochemistry in the North Arm epithermal Ag–Au deposit, Queensland, Australia: a proton-microprobe study. Canadian Mineralogist 29, 185–198.

[61]. Huston, D.L., Sie, S.H., Suter, G.F., Cooke, D.R., Both, R.A., 1995. Trace elements in sulfide minerals from Eastern Australian volcanic- hosted massive sulfide deposits: Part 1. Proton microprobe analyses of pyrite, chalcopyrite and sphalerite, and Part II. Selenium levels in pyrite: comparison with (d34S values and implications for the source of sulfur in volcanogenic hydrothermal systems. Economic Geology 90, 1167–1196.

[62]. Oberthur, T., Cabri, L.J., Weiser, T.W., McMahon, G., Muller, P., 1997. Pt, Pd and other trace elements in sulfides of the main sulfide zone, Great Dyke, Zimbabwe: a reconnaissance study. *Canadian Mineralogist* 35, 597–609.

[63]. Lottermoser, B. (2003), *Mine waste*, Springer- Verlag New York, 277p.

[64]. Shahabpour J, Doorandish M. (2008). "Mine drainage water from the Sarcheshmeh porphyry copper mine, IR Iran". *Environmental monitoring and assessment* 2008;141:105-120.

[۶۵]. یوسفی، س؛ (۱۳۹۳)، رساله دکتری، "ارائه روش جدید برای گونه پذیری و پهنه بندی ریسک آلودگی عناصر سمی در محیط GIS، مطالعه موردی: معدن مس سرچشمه"، دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه شاهرود.

[66]. Paktunc, D., Dutrizac, J., Gertsman, V., 2008. Synthesis and phase transformations involving scorodite, ferric arsenate and arsenical ferrihydrite: implications for arsenic mobility. *Geochim. Cosmochim. Acta* 72, 2649–2672.

[67]. DeSisto, S., Jamieson, H.E., Parsons, M.B., 2011. Influence of hardpan layers on arsenic mobility in historical gold mine tailings. *Appl. Geochem.* 26, 2004–2018.

[68]. E.J. Mroz, W.H. Zoller, Composition of atmospheric particulate matter from the eruption of Heimaey, Iceland, *Science* 190_1975. 461–464. In: Dalway J (2000), Why trace elements are important, *Fuel Processing Technology* 65–66_2000. 21–33.

[69]. Merian E (1991) *Metals and their compounds in the environment: Occurrence, analysis, and biological relevance*. VCH Publ, Weinheim .In: A. Kabata-Pendias, B. Mukherjee, *Trace Elements from Soil to Human*(2007).

[70]. Dudka S, Adriano DC (1997) Environmental impacts of metal ore mining and processing: a review. *J Environ Qual* 26:590–602.

[71]. Selinus O (2005) *Essential of medical geology, impacts of the natural environment of public health*. Elsevier, Amsterdam, p 793.

[72]. Kornicker, W.A. and Morse, J.W. (1991) Interactions of divalent cations with the surface of pyrite. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 55, 2159–2171.

[73] Modabberi, S., (2004). *Environmental Geochemistry and Trace element anomaly in the Takab area and Their impact on the Zarrineh Roud Reservoir Dam, With special reference to Zarshuran Deposit*, Unpub. PH.D. thesis Shiraz University, P. 200.

[74]. Smedley P. L., Kinniburgh D. G., (2002), "A review of the source, behaviour and distribution of arsenic in natural waters" *Applied Geochemistry* Volume 17, Issue 5, Pages 517–568.

[75]. Williams, M., Fordyce, F., Pajitprapapon, A., Charoenchaisri, P., 1996. Arsenic contamination in surface drainage and groundwater in part of the southeast Asian tin belt, Nakhon Si Thammarat Province, southern Thailand. *Environ. Geol.* 27, 16–33.

[76]. Amasa, S.K., 1975. Arsenic pollution at Obuasi goldmine, town and surrounding countryside. *Environ. Health Perspect.* 12, 131–135.

[77]. Vaughan, D.J., Craig, J.R., 1978. *Mineral Chemistry of Metal Sulfides*. Cambridge Univ. Press, Cambridge.

[78]. Einaudi, M.T., 1968. Copper zoning in pyrite from Cerro de Pasco, Peru. *American Mineralogist* 53, 1748– 1752.

[79]. Friberg, L.; Vostal, J., Eds. "Mercury in the Environment—An Epidemiological and Toxicological Appraisal"; CRC Press; Cleveland, Ohio, 1972. In: William H. Schroeder., *Sampling and analysis of mercury and its compounds in the atmosphere*.

Abstract

Pyrite oxidation as ubiquitous mineral phase in porphyry copper deposits results in producing acid mine waste. Chemical composition, mineralogical and texture characteristic of Pyrite and also accompany with other minerals Influence on oxidation rate of Pyrite and Release of toxic elements from this mineral. In this thesis will be discussed study the chemical composition of Sarcheshmeh Porphyry Copper Mines Pyrites. Mineralogical studies on about 150 polished sections from the dumps, ore body and tailings samples and analysis was done about 200 points of pyrite. The important minerals identified in Waste dumps, ore body and tailings were respectively: pyrite, chalcopyrite, sphalerite, galena, covellite and magnetite; pyrite, chalcopyrite, bornite, chalcocite, covellite, Digenite and molybdenite; pyrite, chalcopyrite. Chemical composition analysis in above samples by Electron microprobe analysis (EMPA) was used. Due to the results of electron microprobe analysis range of element concentration in Waste dumps, ore body and tailings Pyrites is as follows: Iron(45.68- 48.63)wt%, sulfur(49.48- 55.28)wt%, arsenic(<100- 8400)ppm, copper (<100- 11300)ppm, nickel(<100- 2900)ppm, cobalt(<100- 1900)ppm, cadmium(<100- 900)ppm, antimony(< 100- 500)ppm. mercury in Pyrites of Waste dumps is (<100- 2500) ppm. The present Pyrite is included a large amount of arsenic and mercury that are volatile and highly toxic elements. This Element can result in polluting the area. Also, the source of Arsenic in Waste dumps Pyrites in addition to pyrite, minerals sulfosalts as well.

Keywords: Pyrite, Acid mine waste, Mineralogy, EMPA analysis, Sarcheshmeh copper mine.



Shahrood University of Technology

Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics

Mineralo-geochemical investigation on pyrites from ore ,waste and tailing dumps of Sarcheshmeh Mine, An environmental perspective

Tayebeh nikzad

Supervisors:

Dr. Arezoo Abedi

Advisors:

Dr. Saeed Yousefi

Ms Esmat Emael Zade

March 2016

