

ارزیابی تعیین نرخ اکسیداسیون سولفور کم عیار دامپ ۱۱ در معدن مس میدوک

صدیقه اکبری کنگی^{۱*}، بابک شغائی شهربابکی^۲

۱- عضو هیئت علمی گروه مهندسی معدن، واحد شهربابک، s.akbari1389@yahoo.com

۲- کارشناس ارشد، مهندسی معدن (استخراج مواد معدنی)، babakshafae4@gmail.com

تحقیق حاضر با هدف ارزیابی تعیین نرخ اکسیداسیون سولفور کم عیار دامپ ۱۱ در معدن مس میدوک انجام شد. تعداد نقاط نمونه برداری ۲۴ نقطه بود و در دو نقطه ترانشه عمیق تر حفر شد. نمونه برداری در عمق های ۶،۴،۲ و ۸ متری صورت گرفت و در هر عمق متناسب با کل وزن مورد نیاز نمونه برداری شده است. مجموع نمونه های بدست آمده از یک نقطه با یکدیگر مخلوط شده (بدون اختلاط با دیگر نقاط) و بوسیله کامیون به معدن پوکه جهت خردایش منتقل شدند. در مرحله بعد و در بخش آماده سازی نمونه، هر نمونه به صورت جداگانه و بدون اختلاط با سایر نمونه ها تا ابعاد ۸ میلی متر خرد شد و با توجه به فرمول جی و حداکثر خطای مذکور میزان ۵۰-۷۰ کیلو گرم نمونه برداشته و به تهران منتقل شد. نتایج نشان داد از کانی های سولفوری مس که مستقل از کالکوپیریت می باشد ندرتا نوع سوپرژن شامل کوولین و احتمالا کالکوزین مشاهده گردید که با توجه به عدم آلتراسیون قطعات پیریتی امکان اکسیداسیون و غنی شدگی سوپرژن وجود نداشته و همراهی این قطعه با پیریت سالم نشان می دهد که بلوکهای انفجاری از همی این زونها در عمق ۰ تا ۸ متر دامپ حضور دارد.

کلمات کلیدی: نرخ اکسیداسیون، سولفور کم عیار، دامپ ۱۱، معدن مس میدوک

۱. مقدمه

از آنجایی که این دامپ بروی توپوگرافی اولیه قرار گرفته است بارگیری از آن جهت خوراک کارخانه به نسبت سایر دامپ ها آسان تر می باشد و میتوان برنامه ریزی تولید را با کمک کم عیار های استخراجی از معدن هم زمان با این دامپ را انجام داد با مدل سازی دامپ های کم عیار ۶ و ۹ و برورسانی نقشه دامپ کم عیار ۱۱، گزارش تکمیلی با در نظر گرفتن بلندیتگ مناسب از کم عیار های استخراجی در برنامه تولید آتی معدن در آینده نزدیک مجددا ارسال خواهد شد [۱]. اسید سولفوریک ماده شیمیایی خورنده و واکنش دهنده است که به هر نسبتی در آب حل می شود. این ماده نامهای دیگری مثل سولفوریک اسید، جوهرگرگوردوسولفات هیدروژن دارد. اسید سولفوریک از مواد شیمیایی پرکاربرد است و در واکنش های شیمیایی و فرآیند تولید ترکیبات مختلف کاربرد زیادی دارد. یکی از موارد استفاده از اسید سولفوریک، برای استخراج مس می باشد. مس از جمله فلزاتی است که علاوه بر ترکیب به صورت آزاد هم در طبیعت یافت می شود. خواص مکانیکی آلیاژهای مس با قلع، روی، آلومینیوم و سایر عناصر نسبت به مس خالص بیشتر است و کاربرد زیادی در صنایع مختلف دارد. آلیاژ مس با آلومینیوم بیشترین استفاده را در صنعت دارد. کانه های مس به سه صورت سولفید، کربنات و سیلیکات در طبیعت یافت می شوند.

همچنین مس به صورت آزاد نیز در طبیعت وجود دارد. یکی از روش های فرآوری مس از کانه های معدنی، فرآیند هیدرومتالورژی استخراج مس است که بدلیل ویژگی های مثبتی که در زمینه اقتصادی و رعایت جوانب زیست محیطی دارد، نقش زیادی در تولید این فلز داشته است [۲].

در روش هیدرومتالورژی کانه مورد استفاده، کانه اکسیدی مس می باشد، البته امروزه تحقیقات و پژوهش های زیادی جهت ارائه روش های مناسب برای کانه های سولفیدی مس انجام گرفته است. کانه های کم عیار، یکی دیگر از ویژگی های مثبت فرآیند هیدرومتالورژی استحصال مس است که این ویژگی باعث افزایش کاربرد این روش طی چند سال اخیر شده. در ایران نیز واحد لیچینگ سرچشمه راه اندازی شده و هرسال با این روش مقداری کاند مس تولید میشود. استفاده از روش هیدرومتالورژی به دلیل میزان ذخایر موجود، رواج زیادی دارد. با رشد جمعیت میزان تقاضای جهانی برای فلز مس افزایش یافته است و از سوی دیگر با توجه به کاهش ذخایر کانه های پرعیار معدنی، در چند دهه ی اخیر فرآوری کانه های کم عیار مورد توجه محققین و صنایع قرار گرفته است [۳]. حال برای استخراج مس از این مواد نیازمند استفاده از روش هایی با هزینه پایین سرمایه گذاری و اجرایی است. در سال های اخیر استفاده روش (بیو)لیچینگ توده های برای انحلال مس توسعه یافته است. مس در طبیعت به دو صورت سولفیدی و اکسیدی یافت می شود. از مهم ترین کانی های سولفیدی مس، کالکوسیت و کوولیت به کانی های سولفیدی ثانویه و کالکوپیریت و بورنیت و انارژیت به کانی های سولفیدی اولیه معروفند. کانی های سولفیدی ثانویه در حضور یک اکسند مانند یون آهن سه ظرفیتی (Fe^{3+}) و در محیط اسیدی حل می شوند، در حالیکه کانی های سولفیدی اولیه با شرایط مذکور هم به سختی حل می شوند [۴]. افشون و مهرداد (۱۴۰۰)، در تحقیقی به بررسی کمی و کیفی زهاب اسیدی معدن های (AMD) در دامپ باطله معدن مس سونگون با تاکید بر تصفیه پذیری آن پرداختند که نتایج نشان داد به منظور تصفیه زهاب اسیدی دو سیستم تصفیه فعال و غیر فعال وجود دارد. انواع مختلفی از سیستم های تصفیه فعال و غیرفعال به تنهایی یا با ترکیب با یکدیگر راهکارهای مناسبی برای حذف فلزهای سنگین از زهاب اسیدی معدن ها می باشد. انتخاب این سیستم بستگی به ترکیب شیمیایی زهاب اسیدی، نوع ماده معدنی و شرایط توپوگرافی و آب و هوا، pH، اسیدیته، بار اسیدی، دبی و فعال بودن معدن دارد. با توجه به فعال بودن معدن، اسیدیته ۱۶۰۰ میلی گرم در لیتر، بارگذاری اسید ۴۴۲۳/۶۸ کیلوگرم بر رو ز، pH=3.94 و دبی ۳۲ لیتر بر ثانیه سیستم تصفیه فعال به روش DAOS پیشنهاد شده که روش پیشنهادی شامل مرحله های خنثی سازی با مواد شیمیایی، اکسیداسیون با روشهای مختلف و در نهایت رسوب دهی می باشد [۵].

روستا و همکاران (۱۳۹۶)، در تحقیقی به بررسی تعیین پارامترهای مقاومت برشی مواد دامپ باطله معدن با تکیه بر روش تحلیل برگشتی و تعیین ارتفاع پایدار و فاصله ی ایمن دامپ باطله تا دیواره ی معدن شماره یک گل گهر سیرجان پرداختند. نتایج بررسی های انجام شده نشان داد که در فواصل کمتر از ۱۵۰ متری دامپ از دیواره، فاکتور ایمنی دیواره با شیب بیشتری کاهش می یابد و این فاصله را می توان بعنوان فاصله ایمن در نظر گرفت [۶].

رفیعی کرکوندی و همکاران (۱۳۹۶)، تأثیر ذرات رسی بر بیولیچینگ کانه کم عیار مس با استفاده از مخلوط باکتریهای مزوفیل در دمای ۳۲ درجه سانتیگراد را بررسی کردند. در این تحقیق آنها از ذرات ابعاد کمتر از ۲ میلیمتر استفاده کرده اند. حذف ذرات رسی با دو روش سرنده کردن برای حذف ذرات زیر ۷۵ میکرون و همچنین رس شویی انجام شد. بر اساس نتایج آنها وجود ذرات رسی تأثیر منفی در انحلال مس دارد. بالاترین درصد استحصال مس برای نمونه رس شویی شده به دست آمد. میزان استحصال مس در نمونه سرنده شده تا ۳۰ درصد و در نمونه رسی تا ۷۰ درصد کاهش یافت [۷]. در سالهای اخیر تقاضای جهانی برای مس افزایش یافته یکی از عوامل موثر در فرایند هیپ (بیو) لیچینگ کانی است. با کاهش میزان ذخایر پر عیار، تمایل صنایع برای شناسی و تأثیرات متقابل کانی های مختلف بر فرآوری کانه های کم عیار، روباره ها و باطله های معدنی که طول فرایند است.

به همین دلیل شناخت و آگاهی دقیق از مورد استفاده قرار نمیگرفتند، افزایش یافته است. استخراج رفتار هر یک از کانی ها (کالکوسیت، کالکوپیریت و غیره) در مس از این مواد به صورت اقتصادی نیازمند استفاده از روش کانه های مختلف (سوپرژن و یا هیپوژن) برای بررسی هایی با هزینه پایین سرمایه گذاری و اجرایی است. در سال تحلیل عملکرد کلی فرایند بسیار مفید استهای اخیر استفاده از روش بیولیچینگ توده های برای استخراج فلزاتی مانند مس، طلا، نقره و اورانیوم از کانه های کم عیار و باطله ها مورد توجه قرار گرفته است. در این تحقیق اکسیداسیون شیمیایی کانه میدوک که کانی اصلی آن کالکوسیت است، مورد بررسی قرار گرفته است.

۲. مواد و روش ها

۲-۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

کانسار مس میدوک در ۴۰ کیلومتری شمال شهرستان شهربابک از توابع استان کرمان در موقعیت ۳۰ درجه و ۲۵ دقیقه شمالی و ۵۵ درجه و ۹ دقیقه شرقی قرار دارد. ارتفاع آن از سطح دریای آزاد بین ۲۳۰۰ الی ۲۸۰۰ متر متغیر است. ذخیره مس میدوک از نوع پرفیری است که از سه منطقه اکسیدی، سوپرژن، هیپوژن، تشکیل شده است؛ و معدن به روش روباز استخراج می شود. کانی های مس در منطقه اکسیدی عمدتاً آزوریت و مالاکیت، در منطقه سوپرژن کوولیت و کالکوسیت و در منطقه هیپوژن کالکوپیریت هستند. میزان ذخیره در بخش اکسیدی کانسار در حدود ۱/۴ میلیون تن با عیار متوسط مس ۱،۱ درصد برآورد شده است. در مورد زون سوپرژن و هیپوژن مقدار ذخیره برآورد شده با عیارهای حد مختلف مس شامل ۰/۳ درصد، ۰/۵ درصد و ۱ درصد به ترتیب در حدود ۱۴۰/۹، ۱۱۳/۴، ۳۳/۷ میلیون تن است. کانه استخراج شده از معدن میدوک، ممکن است به کارخانه تغلیظ، به امور لیچینگ جهت ساخت هیپ ها و یا به دیوها و انبارهای ماده معدنی منتقل شود. مواد سولفیدی پر عیار مس به کارخانه تغلیظ و مواد مخلوط اکسیدی و سولفیدی مس عمدتاً به واحد لیچینگ تحویل داده می شوند.

کارخانه تغلیظ با بار ورودی عیار ۰/۶۵ درصد مس و تناژ ۶/۵ میلیون تن در سال و تناژ متوسط ۸۰۴ تن بر ساعت تولید کنسانتره با عیار متوسط ۲۸/۴ درصد و تناژ ۱۷/۱ تن بر ساعت فعالیت می کند. به عبارت دیگر تناژ تولید سالانه کنسانتره مس در کارخانه تغلیظ حدود ۱۲۰ هزار تن است. بر اساس اطلاعات سال ۱۳۹۴ متوسط بازیابی مس این کارخانه برابر با ۸۹/۲۷ درصد می باشد. با افزایش تقاضا و صرفه اقتصادی به منظور بازیابی مس کانه های کم عیار، واحد هیپ لیچینگ در سال ۱۳۹۰ با استفاده از ماده معدنی کم عیار اکسیدی شروع به کار کرد. با کاهش ماده معدنی اکسیدی در نیمه دوم سال ۱۳۹۲ بارریزی با ماده معدنی سولفیدی کم عیار آغاز شده است. سطح مورد پاشش هیپ ۲۰ هکتار بوده است. در حالی که ماده معدنی های سولفیدی کم عیار حدود ۵۰ درصد مس اکسیدی می باشد بعد از ۱۸۰ روز پاشش ۴۰ درصد مس استحصال می شود. برای ماده معدنی اکسیدی نیز بعد از ۹۰ روز ۵۰ درصد استحصال مس مشاهده شده است. در حال حاضر تناژ هیپ شماره ۱ برابر ۱۲/۵ میلیون تن ماده معدنی می باشد که سالیانه بسته به عیار خاک در حدود ۲/۵ میلیون تن بار ریزی شده است. هیپ از لیفت هایی به ارتفاعی در حدود ۵ الی ۷ متر تشکیل شده است که بعضی از پدکها به ۱۱ لیفت رسیده است. دی پاشش محلول رافینیت ۳۰۰ مترمکعب بر ساعت می باشد که با افزایش ارتفاع هیپ، سطح پاشش فعلی برابر ۸ هکتار می باشد. مصرف اسید برابر ۵/۶ کیلوگرم بر تن می باشد و غلظت مس در محلول باردار خروجی از هیپ برابر ۲/۷ گرم بر لیتر می باشد. ظرفیت اسمی تولید مس کاتد در امور لیچینگ مجتمع مس میدوک ۵۰۰۰ تن در سال می باشد.

در ارزیابی ذخیره معدن میدوک از داده های زمین شناسی، گمانه ها، تونل، نمونه برداری و کانه آرای استفاده شده و نمونه ها در معدن سرچشمه آنالیز شده است. آنالیز کنترلی نیز توسط شرکت اتوکمپو فنلاند انجام گردیده است.

میزان ذخیره زمین شناسی کانسار ۱۷۰ میلیون تن با عیار ۰.۸۳٪ محاسبه گردیده که از این مقدار به میزان ۱۴۴ میلیون تن آن با عیار ۰.۸۵٪ قابل استخراج می باشد. عیار حد معدن ۰.۲۵٪ در نظر گرفته شده است. نسبت باطله به ماده معدنی برابر ۲.۴ به ۱ می باشد.

ذخیره کانه اکسیده ۱/۴ میلیون تن با عیار ۱/۱ درصد اکسید مس و ۰/۹۵ درصد مس می باشد. براساس آخرین نتایج تا سال ۲۰۰۲ کل ذخیره قطعی این معدن ۱۴۵ میلیون تن با عیار متوسط ۰/۸ درصد می باشد. عیار طلا در توده مس پورفیری میدوک در حد بلافصل دیوده کمتر از ۰/۴ گرم در تن و در محدوده سارا نزدیک به ۰/۵ گرم در تن گزارش شده است. براساس مطالعات فنی و اقتصادی انجام شده توسط شرکت های خارجی از جمله اتوکمپو، عملیات معدنی برای ۸۰ میلیون تن خاک معدنی و با عیار ۱ درصد توجیه اقتصادی دارد.

توده پورفیری با کانی سازی مس در میدوک با روش K/Ar مورد بررسی ژئوکرونولوژی واقع شده و نشان داده است بر عکس سن پلیوسن ارزیابی شده توسط یوگسلاوها (۱۹۷۱)، کانی سازی - دگرسانی در میدوک سنی برابر با میوسن میانی تا پسین دارد و از این نظر بسیار نزدیک به کانی سازی در سرچشمه است. کانی سازی در سارا نیز جوان تر از این دو می باشد. در معدن میدوک انواع آلتراسیون های پتاسیک، سدیک - پتاسیک، سدیک، فلیک و پروپلیتیک ردیابی شده اند. از نظر فضایی سه زون دگرسانی پتاسیک، پروپلیتیک و سیریتیک در این معدن قابل مشاهده است. زون دگرسانی پروپلیتیک ظاهراً در اثر فرسایش از بین رفته و آثار ناچیزی از آن به چشم می خورد. مطالعه ۵۲ عدد مقطع صیقلی از توده نفوذی میدوک نشان داده است که پیریت های اتومورف در عمق هیپوژن بیشتر سالم مانده اند و تبدیل شدگی بسیار کمی را نشان می دهند. حال آنکه پیریت های دیده شده در عمق کم توده به کانی های آهن دار ثانویه از جمله گوتیت و لیمونیت تبدیل شده اند. پیریت همراهی خوبی با کالکوپیریت دارد به طوری که گاهی به صورت رشد یافته در داخل هم دیده می شوند. این حالت در زون هیپوژن عمومیت دارد. در کنار این دو کانی و در عمق زیاد توده نفوذی، فیتیت مشاهده می شود که میزان آن پایین است. اسفالریت به مقدار کم و در تمام طول معدن دیده می شود. مولیبدن نیز به مقدار ناچیز حضور دارد.

در اثر فرآیند غنی شدگی، کانی های ثانویه سولفور مس و در نتیجه زون غنی شده سوپرژن پدید آمده است. در طی این فرآیند، کالکوپیریت به کالکوسیت، دیژنیت، کوولیت و بورنیت تبدیل شده است. لازم به ذکر است که در عمق زیاد سوپرژن و حتی در آغاز زون هیپوژن، کالکوپیریت مستقیماً به کوولیت تبدیل شده، در حالی که در اعماق متوسط زون سوپرژن، کالکوپیریت نخست به کالکوسیت و سپس به کوولیت تبدیل شده است.

در مناطق سطحی و زون اکسیدی، کانی های اکسیده و کربناته مس، آهن و ... به وفور دیده می شوند، که سطح گسترده ای از طبقات بالایی و سطح زمین را تشکیل داده اند. از جمله کانی های فراوان در این بخش می توان به مالاکیت، آزوریت، همتایت، گوتیت و لیمونیت اشاره نمود. گسترش فراوان سیلیس و رگچه های کوارتز در تمامی سطح توده نفوذی میدوک به گونه ای است که شاید بتوان گفت در این معدن هیچ کانی دیگری به اندازه کوارتز، کانی فلزی به همراه ندارد.

۲-۲. نمونه برداری

در این راستا ابتدا محدوده ای بر روی دامپ شماره ۱۱ در نظر گرفته شد که بتواند خوراک ۶ ماهه نخست کارخانه کم عیار را تامین کند، سپس نسبت به شبکه بندی آن اقدام شد. ارائه طرح استخراج بر روی سطح دامپ کم عیار موجود در معدن، به منظور تولید کنسانتره مس نیاز به برداشت نمونه می باشد.

لذا با توجه به کمبود اطلاعات و پایین بودن سطح اطمینان داده های موجود، به منظور پیشگیری از انجام هزینه های هنگفت و در راستای شناخت بهتر و افزایش سطح اطلاعات اولیه از دامپ موجود از منظر عیار، درصد بازیابی، عیار عناصر مزاحم و ... جهت انجام مطالعات امکان سنجی اولیه، پیشنهاد گردید تا با تعریف یک باندی از محل تامین خوراک ۶ ماه اول سال اول، اقدام به تعیین باندی عملیات با در نظر گرفتن عمق ۸ متر و لحاظ نمودن نظر کارشناس در خصوص امکان انجام عملیات در محدوده مذکور با توجه به فعال بودن دامپ، شد. عمق ۸ متر بر اساس توان حفر بیل های مکانیکی موجود در معدن در نظر گرفته شده است. حداقل نمونه معرف مورد نیاز جهت دستیابی به خطای عیاری ۰/۰۱ درصد مس با فرض بزرگترین ساینز ۰/۵ متر و آزادی کانی در اندازه ۷۵ میکرون با توجه به فرمول جی، ۱۸ تن در نظر گرفته شد. محدوده انتخاب شده مربوط به طرح ۶ ماهه اول، دارای طول تقریبی ۶۴۰ متر و عرض ۱۳۰ متر بوده است. با در نظر گرفتن وزن مخصوص ظاهری ۸،۱ تن بر متر مکعب، در ۶ ماه اول می بایست در حدود ۱/۲ میلیون تن کانسنگ کم عیار از دامپ برداشت شود.

پس از مشخص شدن محدوده طرح ۶ ماهه، اقدام به طراحی شبکه نمونه برداری شده است. در این راستا و با توجه به عدم شناخت کافی در مورد دامپ مذکور که اساساً با توجه به سکانس برداشت از معدن و انباشت مصالح در آن، از لحاظ ژئواستاتیکی می تواند یک محیط ناپیوسته باشد و لزوماً از قواعد آن تبعیت نکند و همچنین عدم شناخت از مقدار و توزیع عیار عناصر در آن، به بررسی فواصل مناسب شبکه نمونه برداری پرداخته شد. با توجه به بررسی های انجام شده و فاصله ۵۰ متری تعیین شده برای حفر گمانه های اکتشافی در معادن پورفیری و با در نظر گرفتن جنبه های عملیاتی کار، اقدام به طراحی شبکه ۴۰×۴۰ متر به منظور انجام نمونه برداری شد اما به علت محدودیت های حمل و همچنین محدودیت زمانی، در مرحله بعد، شبکه نمونه برداری به ۸۰×۸۰ متر تغییر یافت. این شبکه در محدوده تعیین شده که امکان انجام عملیات نمونه برداری از آن از منظر تخلیه مواد در دامپ وجود دارد، طراحی شد و جمعاً تعداد ۲۴ نقطه جهت حفر ترانشه و نمونه برداری در نظر گرفته شد. با توجه به این که نمونه ها در محل دامپ به صورت انباشت طبقاتی دپو شده بودند و عدم امکان دسترسی به نقاط شماره ۳، ۵، ۱۰، ۱۳ و ۱۹، این نقاط به نزدیک ترین نقطه ممکن در آن بلوک منتقل شدند. مختصات اولیه و تغییر یافته نقاط نمونه برداری در جدول ۱ ارایه شده است.

جدول ۱- مختصات ترانشه های اجرا شده

ترانشه	مختصات اولیه		مختصات تغییر یافته		ترانشه	مختصات اولیه		مختصات تغییر یافته	
	X	Y	X	Y		X	Y	X	Y
1	324862	3367578	-	-	13	324974	3367800	324963	3367809
2	324803	3367631	-	-	14	325034	3367746	-	-
3	324743	3367685	324742	3367632	15	325091	3367803	-	-
4	324801	3367741	-	-	16	325031	3367856	-	-
5	324860	3367688	324849	336695	17	324972	3367910	-	-
6	324905	3367647	-	-	18	324912	3367964	-	-
7	324977	3367690	-	-	19	325029	3367966	325032	3367934
8	324917	3367744	-	-	20	325088	3367913	-	-
9	324872	3367784	-	-	21	325148	3367859	-	-
10	324798	3367851	324830	3367841	22	325205	3367915	-	-
11	324855	3367908	-	-	23	325145	3367969	-	-
12	324915	3367854	-	-	24	325232	3367998	-	-

در بازدید اولیه از دامپ با توجه به تصاعد گاز سولفور از سطح دامپ حدس اولیه مبنی بر احتمال زیاد حضور پیریت فراوان در این دامپ بود که بر اثر بارندگی دچار تغییرات شیمیایی شده و زهاب اسیدی تولید نموده است و این زهاب باعث فروشویی مس شده است. برای جلوگیری از اختلاط نمونه با خاک بستر معدن پوکه، هنگام بارگیری نمونه از بستر، بارگیری با فاصله چند سانتی متری از کف زمین انجام شد. نمونه گیری از مدار خردایش به این صورت بود که در حین خردایش و در فواصل ۵ دقیقه ای یک نمونه به مدت دو ثانیه از هر سه نقطه (دو محصول زیر ۸ میلی متر و یک محصول ریجکت بالاتر از ۸ میلی متر) گرفته شده و مجموع سه نمونه (۵۰ تا ۷۰ کیلوگرم) به عنوان نمونه معرف شناخته شد.



شکل ۲- موقعیت مکانی محل معدن و خردایش

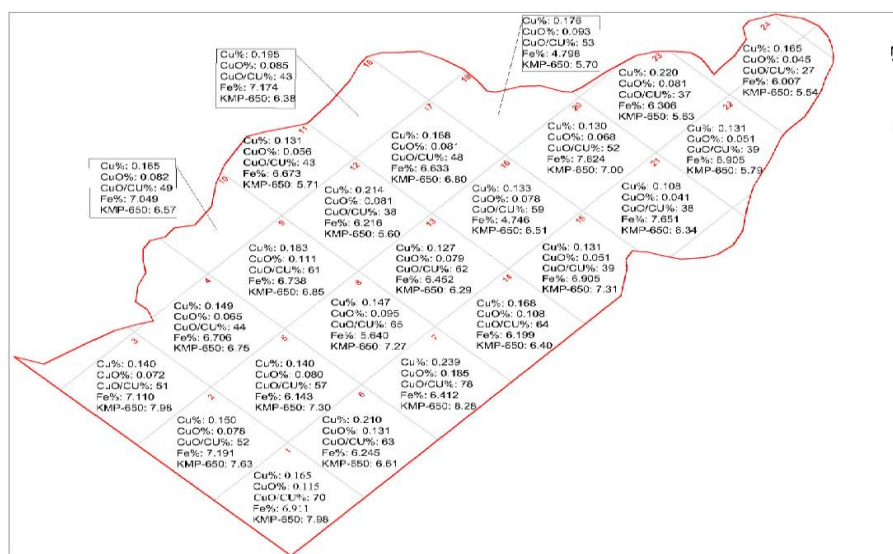
۲-۳. آزمایش و آنالیزها

با توجه به فرمول جی و ابعاد نمونه‌ها جهت تهیه نمونه معرف با خطای عیاری ۰/۰۱ درصد، از ۵۰ تا ۷۰ کیلوگرم نمونه هر ترانشه، ۱۵ الی ۲۰ کیلوگرم نمونه با استفاده از ریفل برداشت شد. نمونه‌ها به صورت جداگانه با استفاده از سرند کنترل و سنگ شکن غلطکی به ابعاد زیر ۸ مش رسید. سپس از هر نمونه ۱ تا ۱/۵ کیلوگرم با استفاده از ریفل نمونه جدا شد و با استفاده از پودرکن مخروطی، پودر شد. نمونه‌های پودر شده هر ترانشه به سه قسمت تقسیم شد. نمونه اول جهت آزمایش شیمی تر اسپکترومتر جذب اتمی (AAS) و اسپکترومتر نشر پلاسمای جفت شده القایی (ICP-OES)، نمونه دوم جهت آزمایش آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD) و نمونه سوم جهت آزمایش فاکتور KMP مورد استفاده قرار گرفت.

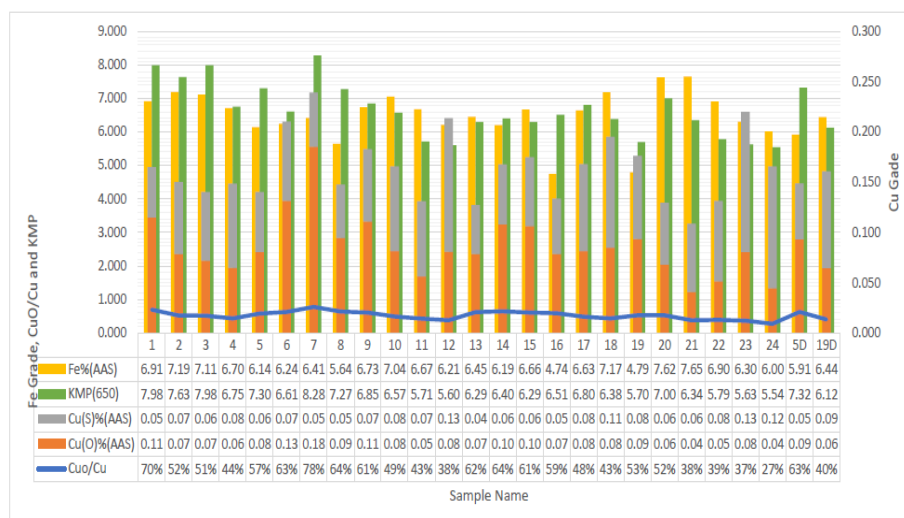
۳. نتایج آنالیز شیمیایی نمونه های تهیه شده

۳-۱. تحلیل عیاری بر اساس موقعیت جغرافیایی

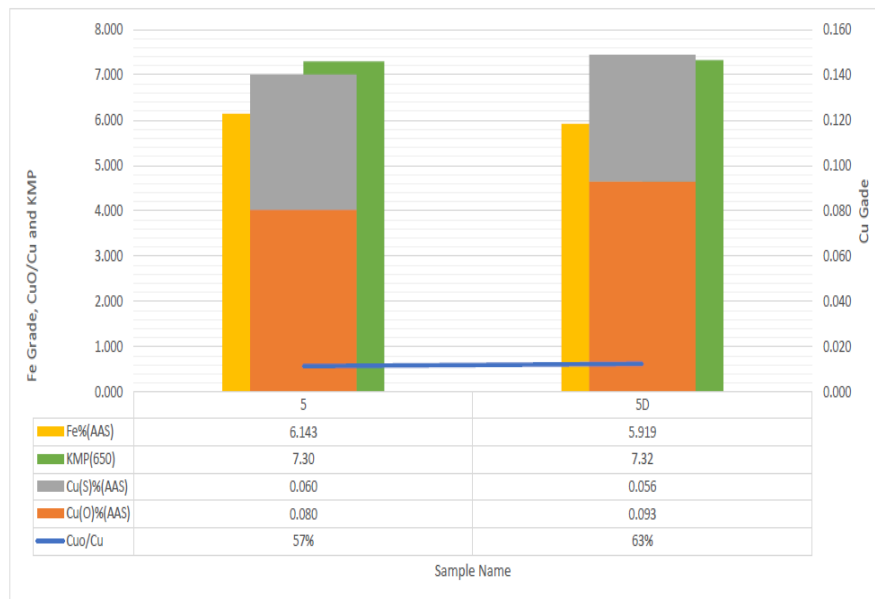
در شکل ۲ نتایج بر روی پلان پیاده سازی شده است که در آن عیار مس، مس اکسیده و آهن بر حسب درصد، همچنین نسبت مس اکسیده به مس کل بر حسب درصد و فاکتور KMP آمده است. همچنین در شکل ۲ نمودار نمونه ها، بر اساس عیار آهن، نسبت مس اکسیده به مس کل و فاکتور KMP آمده است.



شکل ۲- نتایج عیاری بر روی پلان دامپ

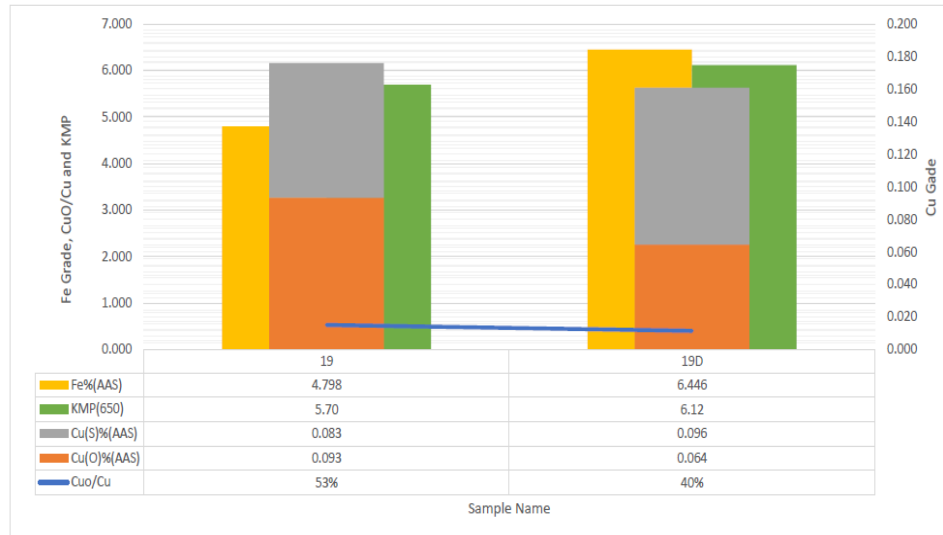


شکل ۳- مقایسه عیاری نمونه ها



شکل ۴- تغییرات عمقی عیار مس، مس اکسید، نسبت مس اکسید به کل، آهن و فاکتور KMP در ترانشه ۵

با توجه به شکل ۴ در ترانشه ۵ با افزایش عمق عیار مس از ۰/۱۴ درصد به ۰/۱۵ افزایش یافته است و درصد مس اکسید آن به کل مس آن از ۵۷٪ به ۶۳٪ افزایش یافته است. آهن از ۶/۱۴٪ به ۵/۱۹٪ کاهش یافته است. فاکتور KMP از ۶/۱۴ به ۵/۹۲ رسیده است.



شکل ۵- تغییرات عمقی عیار مس، مس اکسید، نسبت مس اکسید به کل، آهن و فاکتور KMP در ترانسه ۱۹

با توجه به شکل ۵ در ترانسه ۱۹ با افزایش عمق عیار مس از ۰/۱۸ درصد به ۰/۱۶ کاهش یافته است. و درصد مس اکسید آن به کل مس آن از ۵۳٪ به ۴۰٪ کاهش یافته است. آهن از ۰/۶۸۰٪ به ۰/۴۵٪ افزایش یافته است. فاکتور KMP از ۵/۷۵ به ۶/۱۲ رسیده است. با توجه به این که تنها دو ترانسه افزایش عمق ۶ متری داشته‌اند، نمی‌توان درباره تغییرات عمقی در این بازه ۶ متری نظر داد، لذا لازم است در صورت نیاز با حفر گمانه‌ها به اطلاعات بیشتر دست یافت.

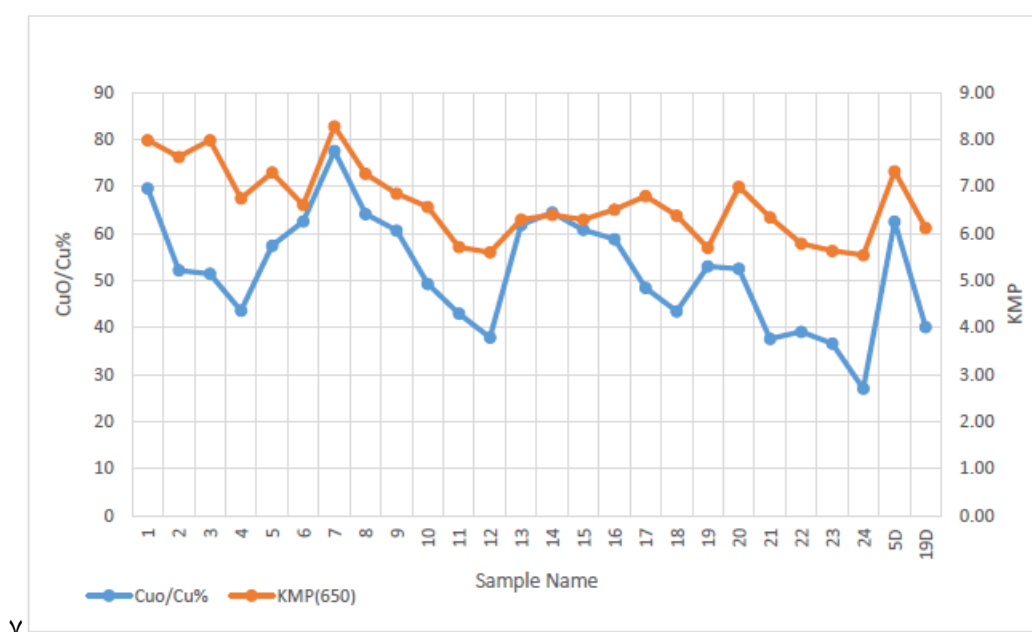


شکل ۶- تغییرات عیار مس، مس اکسید، نسبت مس اکسید به کل، آهن و فاکتور KMP در مقطع DD'

با توجه به شکل ۶ در مقطع DD' عیار مس از حدود ۰/۱۳ درصد در ترانشه ۱۱ تا ۰/۱۹ در ترانشه ۱۸ متغیر است که میانگین آن ۰/۱۲ درصد است. مقدار مس اکسیده آن به مس کل آن از ۰/۴۳ در ترانشه ۱۱ و ۱۳ تا ۰/۴۹ در ترانشه ۱۰ متغیر است که به طور متوسط ۰/۳۴ مس در این مقطع اکسیده است. آهن از ۰/۶۶ در ترانشه ۱۱ تا ۰/۱۷ در ترانشه ۱۸ متغیر است، که نشان دهنده پیریت بالا است که در بررسی‌های XRD هم این مهم ذکر شده است. فاکتور KMP میانگین ۴/۷۲ است که نشانگر میزان بالای مواد فرار از جمله گوگرد است، اما نسبت به دیگر مقاطع کمتر است.

۲-۳. مقایسه روند تغییرات مس اکسیده با کانی‌های رسی و پیریت

در شکل ۷، فاکتور KMP و نسبت مس اکسیده به مس کل بر اساس درصد (CuO/Cu%) مقایسه شده است.



شکل ۷- مقایسه فاکتور KMP و نسبت مس اکسیده به مس کل بر اساس درصد

همان طور که در شکل ۷ هم مشهود است فاکتور KMP و نسبت مس اکسیده به مس کل رفتار تقریباً یکسانی دارند و هر گاه KMP افزایش یافته، درصد مس هم اکسیده بیشتر شده است. همان طور که پیش از این ذکر شد بر اثر انفجار و حمل سنگ‌ها از حالت بکر خارج شده‌اند و به علت وجود پیریت در سنگ‌ها و بارندگی زهاب اسیدی تولید شده است که همواره مواد حاضر در دامپ را در معرض هوازدگی و فروشویی قرار داده است. این موضوع فرآوری ماده معدنی را با دشواری‌های تکنولوژیکی (دست یابی به عیار و بازیابی مطلوب) روبرو خواهد کرد و از لحاظ اقتصادی نیز هزینه فرآوری این کانسنگ بیشتر از فرآوری سنگ بکر استخراج شده است.

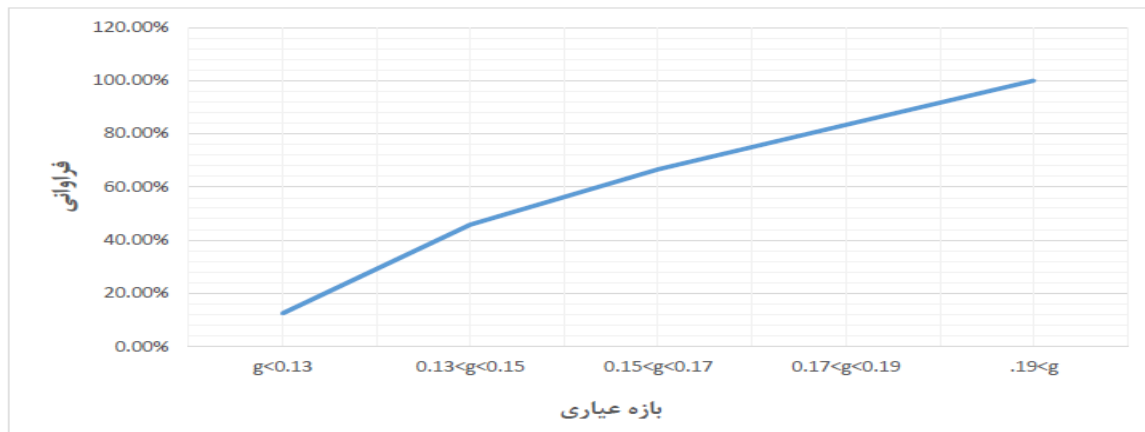
۳-۳. زونبندی عیاری

با توجه به مقاطع بخش روند منظمی در عیارها قابل مشاهده نیست و عیار مس از ۰/۱۰۸٪ تا ۰/۲۳۹٪ متغیر است. با توجه به اینکه تغییرات عیاری قابل قبول برای خوراک کارخانه نیست این بازه عیاری به ۵ قسمت کمتر از ۰/۱۳، ۰/۱۳ الی ۰/۱۵، ۰/۱۵ الی ۰/۱۷، ۰/۱۷ الی ۰/۱۹ و بیشتر از ۰/۱۹ درصد تقسیم شد که در جدول جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- تقسیم بندی بر اساس عیار

شماره ترانشه	Cu%(AAS)	Cu(O)%(AAS)	Cu(S)%(AAS)	Fe%(AAS)	Cuo/Cu
21	0.108	0.041	0.068	7.651	38%
13	0.127	0.079	0.049	6.452	62%
20	0.130	0.068	0.062	7.624	52%
11	0.131	0.056	0.075	6.673	43%
22	0.131	0.051	0.080	6.905	39%
16	0.133	0.078	0.055	4.746	59%
3	0.140	0.072	0.068	7.110	51%
5	0.140	0.080	0.060	6.143	57%
8	0.147	0.095	0.053	5.640	64%
4	0.149	0.065	0.084	6.706	44%
2	0.150	0.078	0.072	7.191	52%
1	0.165	0.115	0.050	6.911	70%
10	0.165	0.082	0.084	7.049	49%
24	0.165	0.045	0.121	6.007	27%
14	0.168	0.108	0.060	6.199	64%
17	0.168	0.081	0.087	6.633	48%
15	0.175	0.106	0.069	6.667	61%
19	0.176	0.093	0.083	4.798	53%
9	0.183	0.111	0.072	6.738	61%
18	0.195	0.085	0.110	7.174	43%
6	0.210	0.131	0.079	6.245	63%
12	0.214	0.081	0.133	6.216	38%
23	0.220	0.081	0.139	6.306	37%
7	0.239	0.185	0.054	6.412	78%

همان طور که در شکل ۸ قابل مشاهده است، بیش از ۶۰٪ ترانشه‌ها عیاری کمتر از میانگین دارند، که این موضوع بیانگر آن است که اکثر نمونه‌های ۶ ماهه نخست عیاری کمتر از عیار میانگین دارند.



شکل ۸- فراوانی ترانشه ها در بازه های عیاری

نتایج نمونه گیری به روش سطحی از دامپ کم عیار ۱۱ در جدول ۲ ذیل آورده شده است.

جدول ۲-۲

sample	Cu	CUO	FE
S-۴	۰.۱۴	۰.۰۶	۵.۶
S-۵	۰.۱۵	۰.۰۶	۶.۳
S-۶	۰.۱۷	۰.۰۷	۶.۲
S-۷	۰.۳۱	۰.۱۱	۵.۶
S-۸	۰.۱۶	۰.۰۸	۶.۴
S-۹	۰.۱۱	۰.۰۶	۵.۱
S-۱۰	۰.۱۸	۰.۰۸	۵.۶
S-۱۱	۰.۲	۰.۱۱	۵.۸
Total	۰.۱۸	۰.۰۸	۵.۸۳

با توجه به ادامه دار بودن بارریزی بر روی دامپ کم عیار ۱۱ نمونه گیری از بلاست های کم عیار معدن نیز انجام شد. نتایج آنالیز نمونه های بلاست های کم عیار معدن در جدول ۹ آورده شده است.

جدول ۹-

sample	Cu	CUO	FE
۲۲۲	۰.۱۱	۰.۰۵	
۲۲۱	۰.۲۱	۰.۰۵	
۲۰۰	۰.۳۳	۰.۰۴	۳.۱۶
۲۰۵	۰.۲۷	۰.۰۶	۵.۵۶
۴۹۶	۰.۲۸	۰.۰۳	۵
۴۸۴	۰.۱۳	۰.۰۲	۴.۶۶
۵۰۱	۰.۲۱	۰.۰۴	۴.۵۶
Total	۰.۲۲	۰.۰۴	۴.۷۳

۴. نتیجه گیری

فراوان ترین کانی فلزی پیریت است که به صورت نیمه شکل دار تا بی شکل مشاهده شده و فاقد آثار دگرسانی می باشد. و مربوط به ناحیه هیپوژن کانسار است. این کانی حداقل از دو نسل می باشد که بخشی به صورت قطعاتی بزرگتر و در عین حال منفصل از کانی های گانگ دیده می شود. وجود کانی های پیریت سالم مربوط به ناحیه هیپوژن همراه با قطعات اکسید (کوپریت) نشان می دهد که از بلوکهای انفجاری مختلف در دامپ تخلیه شده است.

قطعات پیریت در مجاورت قطعات مشکوک به کوپریت قابل مشاهده است.

بخشی از قطعات پیریتی نیز دارای ابعاد کوچکتری بوده و به صورت دسیمینه در زمینه کانی های گانگ مشهود

است، که اندازه قطعات مذکور در حد ۲۰ میکرون است. که در این فراکسیون درجه آزادی تأمین نگردیده است.

قطعه پیریت مجاور قطعه آغشته به کانی های اکسید مس دیده می شود. کانی های گانگ قطعات آتشفشانی اسیدی

(حاوی کوارتز) با ترکیب ریوداسیت (کوارتز لاتیت) علاوه بر قطعات مذکور که دگرسانی شده قطعات کوارتز نیز وجود دارد.

قطعات سنگ های ولکانیک اسیدی حاوی قطعات پیریت پراکنده و در مجاورت آن قطعه کوارتز دیده می شود.

(مقیاس هر درجه خط کش معادل ۸ میکرون است) قطعات کوارتز در این تصویر از منشا هیدروترمال می باشد و عموماً با

پیریت ارتباطی ندارد.

حداکثر اندازه آنکلوژین (درحقیقت پیریت های مس دار) حدود ۴۰ میکرون تعیین گردیده است.

حدوداً ۱۵ تا ۲۰ درصد قسمت اعظم قطعات خرده سنگ های سریسیتی و کمتر قطعات کوارتز است. قطعه قرمز

رنگ مشکوک به کانه کوپریت دیده می شود. در اینجا نیز بخش اعظم قطعات خرده سنگ های دگرسان شده سریسیتی و

بخش کمتر آن کوارتز است. قطعات مالاکیت و میکروکریستالین قرمز رنگ در مجاورت هم دیده می شود که مربوط به

کربنات و اکسیدی است.

قطعات خرده سنگی با آثار دگرسانی سریسیتی که در نور عادی بی رنگ است و در نور پلاریزه از ورقه های میکا

دانه ریز تشکیل شده است. خرده سنگ سریسیتی شده.

در این کانسنگ سولفور مس و اکسید های مس وجود داشته هم از نوع سوپرژن و هم از نوع هیپوژن است تعدادی

قطعات پیریت همراه با کانی های گانگ دیده می شود که مستقل و تفکیک شده از همدیگر هستند. مقدار پیریت قابل توجه

بوده و در شمارش انجام شده رقم به این صورت است:

میدان ۱: قطعه کل ۵۰ عدد ۱۵ عدد پیریت میدان ۲: قطعه کل ۴۰ عدد ۱۳ عدد پیریت در بین کانی‌های گانگ که شامل قطعات آتشفشانی سیلیسی دگرسان شده (سریسیتی) است و قطعات کوارتزی از منشاء هیدروترمال ندرتا قطعات دیگری با قدرت انعکاسی ضعیف ولی انعکاسات داخلی قرمز وجود دارد که مشکوک به کانی کوپریت است. این کانی خاص ناحیه اکسیداسیون کانسار های مس است. کانی های فلزی در نمونه پیریت است که به مقادیر بسیار جزئی حاوی اذخالیهای کالکوپریت و اسفالریت می باشد. مقدار پیریت قابل توجه است و در پیوست درصدهای تعیین شده ارائه می گردد. از کانی های سولفوری مس که مستقل از کالکوپریت می باشد ندرتا نوع سوپرزن شامل کوولین و احتمالا کالکوزین مشاهده گردید که با توجه به عدم آلتراسیون قطعات پیریتی امکان اکسیداسیون و غنی شدگی سوپرزن وجود نداشته و همراهی این قطعه با پیریت سالم نشان می دهد که بلوکهای انفجاری از همهی این زونها در عمق ۰ تا ۸ متر دامپ حضور دارد.

۵. مراجع

۱. آزماینده، م. (۱۳۸۸). بررسی واکنشهای شیمیایی موجود در فرایندهای هیپ لیچینگ و بیو هیپ لیچینگ کانسار کم عیار مس، پایان نامه کارشناسی ارشد، مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی سهند تبریز.
2. Dong, Y.Hai Lin , Xiaofang, bioleaching different copper sulfides by acidithiobacillus ferrooxidans and its adsorption on minerals, Hyrometallurgy, 2013, 42-47.
3. Roberto, A. (2016), Primary copper sulfides bioleaching vs. chloride leaching: Advantages and drawbacks, Hydrometallurgy.
۴. محمدیان، ص. (۱۳۸۸). استحصال مس از کنسانتره سولفیدی اکتیو شده مکانیکی از طریق فروشویی در اسید سولفوریک، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی مواد مجلسی، سال سوم، شماره اول، صفحه ۲۷ - ۱۹.
۵. افشون، م.ر و مهردادی ن. (۲۰۲۱). بررسی کمی و کیفی زهاب اسیدی معدن های (AMD) در دامپ باطله معدن مس سونگون با تاکید بر تصفیه پذیری آن، فصلنامه علوم محیطی، (۳) ۱۹، ۱۶۰-۱۴۳.
۶. روستا، م؛ غلام نژاد، ج؛ یاراحمدی بافقی، ع؛ محمدی، ح.ر؛ نجفی، م. (۲۰۱۸). تعیین پارامترهای مقاومت برشی مواد دامپ باطله معدن با تکیه بر روش تحلیل برگشتی و تعیین ارتفاع پایدار و فاصله ی ایمن دامپ باطله تا دیواره ی معدن (مطالعه ی موردی: معدن شماره یک گل گهر سیرجان)، نشریه انجمن زمین شناسی مهندسی ایران ، (شماره ۳ و ۴)، ۸۳-۸۸.
۷. رفیعی کرکوندی، ح ؛ دهقان، ر ؛ نادری، ح؛ ابراهیمی، ل (۱۳۹۶)، بیولیچینگ کانه کم عیار سولفیدی اکسیدی معدن مس میدوک با استفاده از باکتری های مزوفیل بومی، اولین کنفرانس بین المللی یافته های نوین در بیوتکنولوژی.