

## انحلال گالوانیکی کالکوپیریت در محیط سولفات‌ها در حضور یون فریک با استفاده از کاتالیزور پیریت

سید محمد جواد کلینی<sup>۱\*</sup>، مجید جعفریان<sup>۲</sup>، محمود عبدالمهی<sup>۳</sup>، سهیلا جوادیان<sup>۴</sup>، والچ آقازاده<sup>۵</sup>

۱. دانشیار گروه فرآوری مواد معدنی، دانشگاه تربیت مدرس (Koleini@modares.ac.ir)\*

۲. استاد گروه شیمی، دانشگاه خواجه نصیر طوسی

۳. استاد گروه فرآوری مواد معدنی، دانشگاه تربیت مدرس

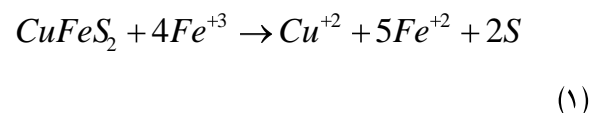
۴. استادیار گروه شیمی فیزیک، دانشگاه تربیت مدرس

۵. دانشجوی دکتری فرآوری مواد معدنی، دانشگاه تربیت مدرس

مشخصات مقاله	چکیده
تاریخچه مقاله : دریافت ۲۱ دی ۱۳۸۸ دریافت پس از اصلاحات ۲۶ تیر ۱۳۸۹ پذیرش نهایی ۲۲ آبان ۱۳۸۹	کالکوپیریت مقاوم‌ترین کانی در مقابل انحلال در محیط سولفات‌ها می‌باشد که علت آن تشکیل لایه مقاوم اطراف ذرات کالکوپیریت حین انحلال می‌باشد. برای افزایش انحلال کالکوپیریت در محیط سولفات‌ها فرآیندهای تحت فشار، بیوانحلال، خردایش زیاد و افزودن کاتالیزورها مانند یون نقره، یون کلر یا کربن فعال استفاده می‌شود. در این تحقیق برای افزایش انحلال کالکوپیریت از پیریت خالص به عنوان کاتالیزور استفاده شده است. اثر پارامترهایی همچون سرعت همزدن، نسبت پیریت به کالکوپیریت، پتانسیل محلول، دما و غلظت اسید بر انحلال کالکوپیریت در حضور کاتالیزور پیریت بررسی شده است. نتایج نشان داد که در فشار اتمسفری در سرعت همزدن ۱۱۵۰ دور در دقیقه، نسبت پیریت به کالکوپیریت ۴، پتانسیل‌های پایین، ۴۱۰ میلی ولت در مقیاس Ag/AgCl، دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد و غلظت اسید ۴۵ گرم در لیتر حدود ۹۶ درصد انحلال در ۲۴ ساعت بدست آمد.
کلمات کلیدی : انحلال کالکوپیریت پیریت کاتالیزور اثر گالوانیک	
* عهده دار مکاتبات	حقوق ناشر محفوظ است.

## ۱- مقدمه

کالکوپیریت مهمترین کانی سولفیدی مس، با ساختار بلوری، نیمه هادی و فرمول شیمیایی  $CuFeS_2$  می باشد که در آن مس ظرفیت +۱ و آهن ظرفیت +۳ دارد [۱،۲،۳]. این کانی فراوانترین کانی مس در طبیعت بوده و حدود ۷۰ درصد ذخایر مس دنیا را تشکیل می دهد [۴،۵]. در حال حاضر مس از این کانی به روش پیرومتالورژی بعد از تولید کنسانتره به روش فلوتاسیون تولید می شود اما به علل وجود مشکلات زیست محیطی ناشی از انتشار گاز دی اکسید کربن و هزینه های سرمایه گذاری بالا در روش پیرومتالورژی تمایل به استفاده از روش های هیدرومتالورژی روبه افزایش می باشد [۵،۶]. در حال حاضر تولید بیش از ۲۰ درصد مس در دنیا بروش هیدرومتالورژی می باشد که عمدتاً این مقدار مس تولیدی از انحلال کانی های اکسیدی و سولفیدی ثانویه مس بدست می آید. کالکوپیریت مقاومترین کانی در برابر انحلال می باشد لذا از اسیدها، بازها و اکسیدان های مختلف برای انحلال آن استفاده شده است [۷-۱۰]. از مهمترین اسیدها و اکسیدان ها می توان به اسید سولفوریک به همراه سولفات فریک و اسید کلریدریک به همراه کلرید فریک اشاره کرد [۵،۶]. اسید سولفوریک به همراه سولفات فریک برای انحلال کالکوپیریت به علت ساده بودن شیمی فرآیند، کم هزینه بودن، خورنده نبودن محیط و استفاده از استخراج با حلال و الکترووینینگ مرسوم، مناسبترین محیط می باشد [۱۱،۱۲]. به علت نیمه هادی بودن کالکوپیریت اعتقاد بر این است که واکنش انحلال کالکوپیریت در محیط سولفات با یون فریک یک واکنش الکتروشیمیایی بوده و با رابطه (۱) قابل توصیف است [۶،۷].



اغلب محققین اعتقاد دارند که علت پایین بودن سرعت انحلال کالکوپیریت در محیط سولفات به خاطر تشکیل لایه دور سطح ذرات کالکوپیریت (روئین شدن

سطح کالکوپیریت) می باشد. اما علی رغم این یافته ها هنوز ترکیب شیمیایی این لایه مورد مجادله محققین می باشد. لیکن تخلخل و هدایت الکتریکی کم آن مورد تایید اکثر محققین واقع شده است. چهار نظریه در مورد علل پایین بودن سرعت انحلال کالکوپیریت در محیط سولفات با یون فریک وجود دارد که عبارتند از:

- تشکیل گوگرد عنصری اطراف ذرات کالکوپیریت لیچ شده [۳،۱۳]،
- تشکیل ترکیبات میانی مانند بورنیت و کوولیت [۱۴]

- تشکیل لایه پلی سولفید غنی از مس [۳،۱۵،۱۶]
- تشکیل ترکیبات آهن دار مانند ژاروسیت [۸،۱۷،۱۸].

انحلال کالکوپیریت در فشار اتمسفری و دمای پایین (کمتر از ۱۰۰ درجه سانتی گراد) با اسید سولفوریک و یون فریک به علت مزایای فراوان از جمله هزینه پایین مورد توجه قرار گرفته است. لیکن انحلال کالکوپیریت تحت این شرایط انحلال پایین کالکوپیریت از معایب این روش می باشد. برای افزایش انحلال کالکوپیریت در محیط سولفات از فرآیندهای تحت فشار، بیوانحلال، خردایش زیاد، و افزودن کاتالیزورها مانند یون نقره، یون کلر یا کربن فعال استفاده می شود. هر یک از موارد ذکر شده دارای معایب و مزایا می باشد لیکن در حال حاضر برای انحلال کنسانتره کالکوپیریتی اقتصادی نیستند.

در این تحقیق برای افزایش انحلال کالکوپیریت از پیریت خالص به عنوان کاتالیزور با اسید سولفوریک و یون فریک استفاده شده است. نظر به اینکه عموماً پیریت با کالکوپیریت در سنگ معدن همراه می باشد لذا این فرآیند دارای هزینه های کمتری خواهد بود. تاکنون تحقیقات بسیار کمی در خصوص انحلال گالوانیکی کالکوپیریت در حضور پیریت صورت گرفته است، در این تحقیق اثر پارامترهایی همچون سرعت همزدن، نسبت پیریت به کالکوپیریت، پتانسیل محلول، دما و غلظت اسید بر روی انحلال کالکوپیریت در حضور کاتالیزور پیریت بررسی شده است.

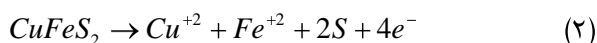
## ۲- بررسی اثر کاتالیزوری پیریت در انحلال

### کالکوپیریت

Buehler و Gotschalk از اولین محققانی می‌باشند که در سال ۱۹۱۰ مشاهده کردند سرعت اکسیداسیون کانی‌های طبیعی سولفیدی در حضور پیریت یا مارکازیت افزایش می‌یابد. این محققین علت این امر را به حضور حامل‌های اکسیژن مانند نمک‌های آهن‌دار و تولید اسید سولفوریک توسط اکسیداسیون سولفیدهای آهن نسبت داده‌اند. مطالعات بیشتر توسط همین محققین در سال ۱۹۱۲ نشان داد که در مخلوطی از دو کانی سولفیدی یکی از کانی‌ها سرعت اکسیداسیون بالایی پیدا می‌کند و در همان حال کانی دیگر به صورت گالوانیکی محافظت می‌شود و علت آنرا تفاوت در پتانسیل این کانی‌ها ذکر کردند [۲۰]. همچنین Y گزارش نمود که کالکوپیریت‌های درگیر با پیریت از سرعت انحلال بالایی برخوردار می‌باشند و علت آن را به تشکیل پیل گالوانیک بین آن دو نسبت داد. اثر گالوانیک بین کانی‌ها در محیط میکروبی از محیط شیمیایی قوی‌تر است که علت آنرا بیشتر به تسریع تبدیل یون فرو به فریک در حضور باکتری نسبت می‌دهند یعنی در محیط گالوانیک و در حضور باکتری میزان انحلال کانی‌هایی که به عنوان آند عمل می‌کند افزایش می‌یابد [۲۰]. Dutrizac و همکاران در سال ۱۹۷۳ بیان کرده‌اند که انحلال کانی کالکوپیریت در حضور پیریت، مولیبدنیت و استینیت افزایش ولی در حضور گالن کاهش می‌یابد [۱۹]. از دیگر نتایج در این مورد می‌توان به انحلال سریع پیریت نسبت به کالکوپیریت به صورت تنها در محیط شیمیایی یا در محیط میکروبی اشاره کرد. اما در حضور یکدیگر کالکوپیریت نسبت به پیریت انحلال بیشتری پیدا می‌کند که علت آن اثر گالوانیک بین این دو کانی می‌باشد [۲۰، ۲۱]. علت تشکیل پیل گالوانیک به خاطر اختلاف در پتانسیل آزاد (تعادل) کانی‌های سولفیدی می‌باشد. پتانسیل آزاد پیریت و کالکوپیریت نسبت به هیدروژن نرمال در محیط اسید سولفوریک یک نرمال و دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد به

ترتیب ۰/۶۳ و ۰/۵۲ ولت می‌باشد [۱۵]. نظر به اینکه واکنش انحلال کالکوپیریت با یون فریک و اسید سولفوریک یک واکنش الکتروشیمیایی می‌باشد، لذا می‌توان آنرا به صورت دو نیم واکنش آندی و کاتدی نوشت.

نیم واکنش آندی: اکسیداسیون کالکوپیریت



نیم واکنش کاتدی: احیا یون فریک



در عدم حضور پیریت هر دو نیم واکنش آندی و کاتدی در سطح کالکوپیریت اتفاق می‌افتد [۲۲]. Tshilombo و همکاران [۱۳] ادعا کردند که کند بودن واکنش کاتدی در سطح کالکوپیریت عامل پایین بودن انحلال کالکوپیریت می‌باشد لذا با وجود سطح مناسب برای انجام نیم واکنش کاتدی یعنی احیای یون فریک، می‌تواند سرعت انحلال کالکوپیریت را افزایش دهد. به علت همراه بودن پیریت با کالکوپیریت در سنگ معدن می‌توان از آن ماده برای افزایش انحلال کالکوپیریت استفاده کرد. بنابراین در صورت حضور پیریت به همراه کالکوپیریت در محیط انحلال این دو کانی به علت اختلاف در پتانسیل آزاد پیل گالوانیک تشکیل می‌دهند و واکنش کاتدی یعنی احیای یون فریک در سطح پیریت با سرعت بیشتری انجام می‌گیرد که نتیجه این عمل در نهایت منجر به افزایش انحلال کالکوپیریت می‌شود. در حضور پیریت نیم واکنش کاتدی در سطح پیریت و نیم واکنش آندی در سطح کالکوپیریت اتفاق می‌افتد.

## ۳- مواد و روش تحقیق

## ۳-۱- مواد

کالکوپیریت و پیریت از قسمت پرعیار معدن مس مزرعه واقع در استان آذربایجان شرقی به صورت دستی تهیه شد. نمونه‌های تهیه شده از هر دو کانی بعد از خردایش در سنگ شکن و آسیا به روش فلوتاسیون پرعیار شدند. نتایج آنالیز کانی‌شناسی به روش XRD و آنالیز شیمیایی به روش XRF نمونه‌های مذکور در جدول‌های (۱) و (۲) آورده شده است.

برای انجام آزمایش‌های انحلال نمونه‌های خرد شده هر دو کانی به بخش‌های ۷۵+۳- و ۳۷+۳- میکرون به روش تر دانه‌بندی شدند.

جدول (۱): آنالیز کانی‌شناسی بروش XRD نمونه‌های پرعیار شده کالکوپیریت و پیریت

نمونه‌های پرعیار شده	کالکوپیریت (%)	پیریت (%)	کلینوکلر (%)
کالکوپیریت	۹۷	۳	-
پیریت	۶	۹۲	۲

جدول (۲): آنالیز شیمیایی بروش XRF نمونه‌های پرعیار شده کالکوپیریت و پیریت

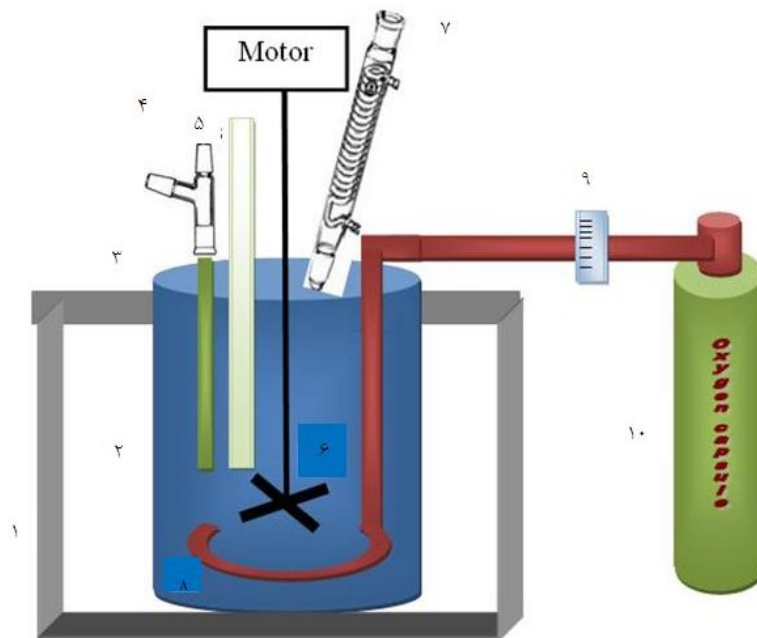
نمونه‌های پرعیار شده	Cu(%)	Fe(%)	S(%)	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO(%)	Mo(%)	L.O.I(%)
کالکوپیریت	۳۱/۶۱	۳۱/۰۶	۲۹/۱۷	۳/۳۱	۱/۸۵	۰/۱۵	ناچیز	۲/۴۵
پیریت	۴/۴۶	۴۵/۹۶	۳۲/۰۷	۲/۱۱	۱/۴۸	-	-	۱۳/۹۵

اندازه‌گیری Eh محلول انحلال استفاده شد. پتانسیل‌های گزارش شده در این مقاله نسبت به Ag/AgCl می‌باشد. تمامی آزمایش‌ها با درصد وزنی جامد ۲/۵ و میزان اولیه آهن کل ۵ گرم بر لیتر انجام شد. در تمامی آزمایش‌ها ۵ گرم کالکوپیریت و به مقدار مناسب پیریت (۵،۴،۳،۲،۱) برابر وزنی کالکوپیریت) به راکتور انحلال اضافه شد. محدوده سایر پارامترها باتوجه به نتایج آزمایش‌های اولیه و استفاده از سوابق تحقیق انتخاب گردیدند.

از اسید سولفوریک با عیار ۹۸ درصد، سولفات فرو هپتاهیدرات ( $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ ) با عیار حدود ۱۰۰ درصد، سولفات فریک ( $Fe_2(SO_4)_3 \cdot xH_2O$ ) با عیار ۸۲-۷۶ درصد همگی ساخت شرکت مرک المان و از آب مقطر برای انجام آزمایش‌ها استفاده شد.

## ۳-۲- تجهیزات

برای انجام آزمایش‌های انحلال از راکتور انحلال شیشه‌ای به حجم ۱/۵ لیتر استفاده شد. برای تنظیم دمای انحلال، حمام آبگرم با کنترل اتوماتیک دما با دقت  $\pm 2$  درجه سانتی‌گراد استفاده شد. پتانسیل ابتدایی محلول با نسبت یون فریک به فرو تنظیم شد. پتانسیل محلول در حین انحلال با دمش اکسیژن به داخل راکتور انحلال توسط اسپارجر کنترل گردید. کنترل پتانسیل محلول داخل راکتور انحلال با دقت  $\pm 25$  میلی‌ولت صورت گرفت. نمایی از سیستم انحلال در شکل (۱) نشان داده شده است. در زمان‌های مختلف نمونه‌های محلول توسط سرنگ به حجم ۵ میلی‌لیتر برداشته شد و به روش جذب اتمی میزان مس در آنها اندازه‌گیری شد. از دستگاه اهم متر مدل pH Lab 827 برای

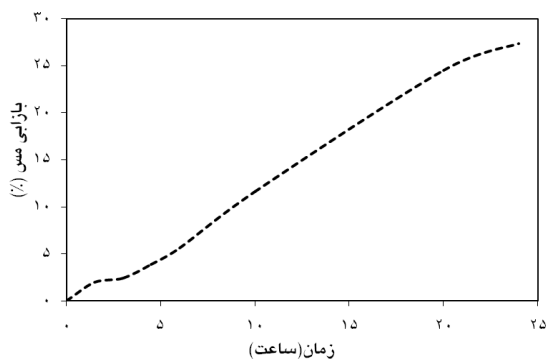


شکل (۱): راکتور انحلال و تجهیزات جانبی، ۱- حمام آبگرم دیجیتالی، ۲- راکتور انحلال، ۳- درب مخصوص از جنس پلی تترا فلورو اتیلن PTFE، ۴- محل ورود سیستم نمونه‌گیری، ۵- محل ورود الکتروود دستگاه pH و Eh متر، ۶- همزن مکانیکی از جنس فولاد ضد زنگ، ۷- کندانسور، ۸- اسپارجر، ۹- فلومتر و ۱۰- کپسول اکسیژن

#### ۴- ارائه نتایج و تحلیل یافته ها

##### ۴-۱- انحلال کالکوپیریت بدون حضور پیریت

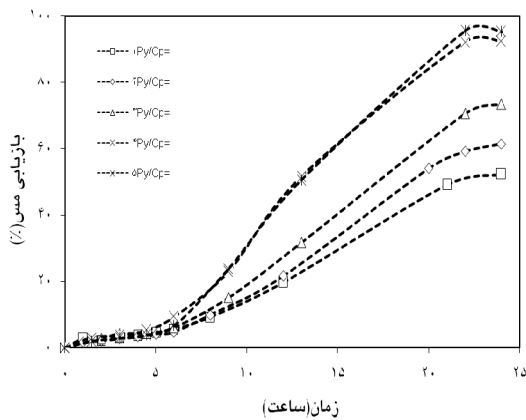
برای بررسی میزان انحلال کالکوپیریت بکار گرفته شده در این تحقیق در عدم حضور پیریت، یک آزمایش انجام گرفت. در شکل (۲) انحلال مس نسبت به زمان در سرعت همزدن پالپ ۱۱۵۰ دور در دقیقه، پتانسیل محلول ۴۱۰ میلی ولت، دما ۶۸ درجه سانتی گراد، ابعاد ذرات کالکوپیریت ۷۵-۵۳+ میکرون و غلظت اولیه اسید ۱۵ گرم بر لیتر نشان داده شده است. همانطوری که از شکل پیداست ابتدا سرعت انحلال کالکوپیریت کم و غیر خطی است لیکن با افزایش زمان، سرعت انحلال آن به طور خطی افزایش می یابد. برخی از محققین همچون Hirato و همکاران [۲۳] این مدل انحلال کالکوپیریت را تایید کرده‌اند.



شکل (۲): انحلال مس بدون حضور پیریت

##### ۴-۲-۱- اثر همزدن

در شکل (۳) اثر سرعت همزدن بر انحلال کالکوپیریت در نسبت‌های مختلف همزدن، نسبت پیریت به کالکوپیریت ۲، پتانسیل محلول ۴۱۰ میلی ولت، دما ۶۸ درجه سانتی گراد، ابعاد ذرات کالکوپیریت و پیریت ۷۵-۵۳+ و غلظت اولیه اسید ۱۵ گرم بر لیتر نشان داده شده است. همانطوری که از شکل مشخص است رفتار انحلال کالکوپیریت در سرعت‌های ۸۵۰، ۱۱۵۰ و ۱۴۵۰

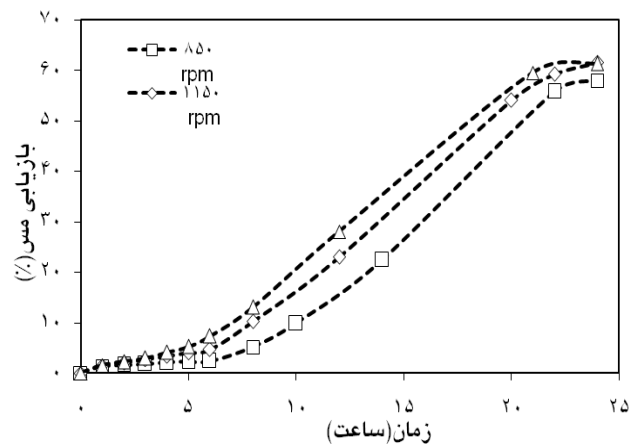


شکل (۴): انحلال مس در نسبت‌های مختلف پیریت به کالکوپیریت

#### ۴-۲-۳- اثر نسبت یون فریک به فرو (پتانسیل محلول)

پتانسیل پالپ با تغییر نسبت یون فریک به فرو قابل تغییر است. با افزایش نسبت یون فریک به فرو مطابق رابطه نرنست پتانسیل محلول افزایش می‌یابد. در این آزمایش‌ها نسبت یون فریک به فرو برابر ۰/۱، ۰/۰۱ و ۱ که به ترتیب برابر پتانسیل‌های ۳۵۷، ۴۱۰ و ۴۴۶ میلی‌ولت در دمای ۶۸ درجه سانتی‌گراد در مقیاس  $Ag/AgCl$  می‌باشد و سایر شرایط ابعاد ذرات کالکوپیریت و پیریت ۷۵-۵۳ میکرون، غلظت اولیه اسید ۱۵ گرم بر لیتر، سرعت همزدن ۱۱۵۰ دور در دقیقه و نسبت پیریت به کالکوپیریت ۴ انتخاب شد. تنظیم پتانسیل محلول و پیدا کردن مقدار بهینه آن بسیار مهم است زیرا مقدار پتانسیل محلول باید در حدی باشد که پیریت اکسید نشود و فقط کالکوپیریت اکسید شود. در صورت بالا بودن پتانسیل محلول، پیریت نیز اکسید می‌شود لذا نقش کاتالیزوری پیریت به علت کاهش سطح در دسترس جهت انجام واکنش‌های احیاء کاهش می‌یابد. همانطوری که از شکل (۵) مشخص است پتانسیل محلول یک پارامتر بسیار تأثیرگذار بر انحلال کالکوپیریت می‌باشد و بهترین پتانسیل در نسبت یون فریک به فرو ۰/۱ یعنی پتانسیل ۴۱۰ میلی‌ولت در دمای ۶۸ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

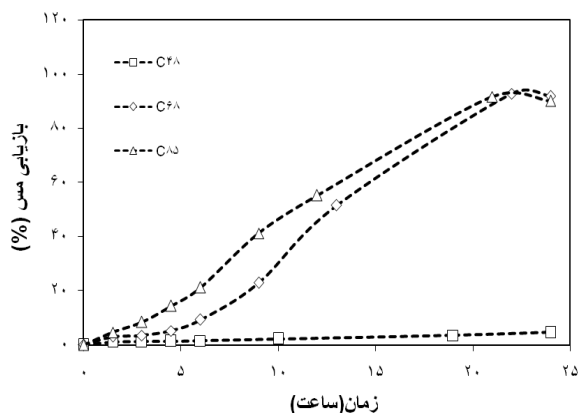
دور در دقیقه باهم تفاوت چندانی ندارند. توافق بر این است که همزدن تأثیر آنچنانی بر سرعت انحلال کالکوپیریت ندارد لذا سرعت واکنش انحلال از طریق انتقال جرم در لایه مرزی مایع کنترل نمی‌شود. اما همزدن جهت نگهداشتن پالپ به صورت معلق لازم می‌باشد [۲۴].



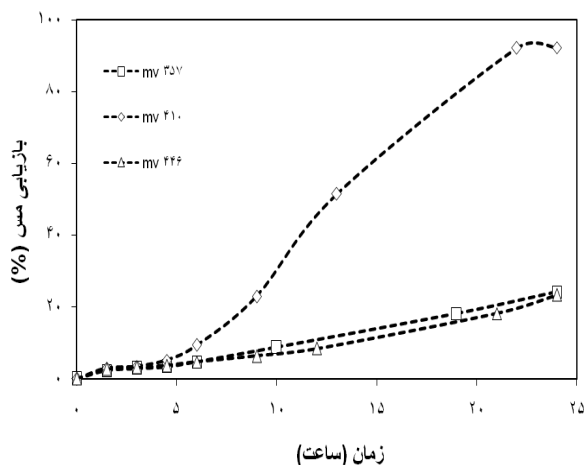
شکل (۳): تأثیر سرعت همزدن بر انحلال مس

#### ۴-۲-۲- اثر نسبت پیریت به کالکوپیریت

اثر نسبت وزنی پیریت به کالکوپیریت بر انحلال کالکوپیریت در پتانسیل محلول ۴۱۰ میلی‌ولت، دما ۶۸ درجه سانتی‌گراد، ابعاد ذرات کالکوپیریت و پیریت ۷۵-۵۳ میکرون، غلظت اولیه اسید ۱۵ گرم بر لیتر و سرعت همزدن ۱۱۵۰ دور در دقیقه در شکل (۴) نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشخص است با افزایش نسبت وزنی پیریت به کالکوپیریت انحلال کالکوپیریت افزایش می‌یابد. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که انحلال کالکوپیریت در حضور پیریت به علت تشکیل پیل گالوانیک و تسریع در واکنش‌های کاتدی در سطح پیریت افزایش می‌یابد هر قدر سطح کاتدی، یعنی سطح در دسترس پیریت نسبت به کالکوپیریت افزایش یابد، انحلال کالکوپیریت افزایش می‌یابد [۱۹، ۲۵]. نتایج این تحقیق نشان داد وقتی که نسبت وزنی پیریت به کالکوپیریت به ۴ می‌رسد دیگر با افزایش بیشتر نسبت وزنی پیریت به کالکوپیریت تغییر قابل ملاحظه‌ای در افزایش انحلال کالکوپیریت صورت نمی‌گیرد.



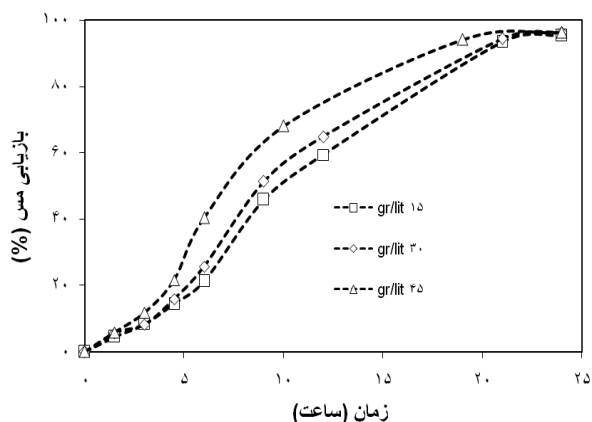
شکل (۶): انحلال مس در دماهای مختلف



شکل (۵): انحلال مس در نسبت‌های مختلف یون فریک به فرو(پتانسیل‌های مختلف پالپ)

#### ۴-۲-۵- اثر غلظت اولیه اسید

اثر غلظت اسید بر انحلال کالکوپیریت در حضور پیریت، پتانسیل محلول ۴۱۰ میلی ولت، نسبت پیریت به کالکوپیریت ۴، ابعاد ذرات کالکوپیریت و پیریت ۷۵-۵۳+ میکرون، دما ۸۵ درجه سانتی گراد و سرعت همزدن ۱۱۵۰ دور در دقیقه در شکل (۷) نشان داده شده است. در این تحقیق از غلظت‌های اسید ۱۵، ۳۰ و ۴۵ گرم بر لیتر که معادل ۰/۱۵، ۰/۳۱ و ۰/۴۶ مولار می‌باشد، استفاده شد. نتایج برخی از مطالعات نشان می‌دهد که غلظت اسید در کمتر از یک مولار تاثیر چندانی در انحلال کالکوپیریت ندارد اما حداقل غلظتی از اسید لازم است (بزرگتر از ۰/۱ مولار) تا از رسوب و هیدرولیز یون فریک جلوگیری کند [۲۴]. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که با افزایش غلظت اسید انحلال کالکوپیریت افزایش می‌یابد.



شکل (۷): انحلال مس در غلظت‌های مختلف اسید

#### ۴-۲-۴- اثر دما

در شکل (۶) اثر دما بر انحلال کالکوپیریت در حضور پیریت، پتانسیل محلول ۴۱۰ میلی ولت، نسبت پیریت به کالکوپیریت ۴، ابعاد ذرات کالکوپیریت و پیریت ۷۵-۵۳+ میکرون، غلظت اولیه اسید ۱۵ گرم بر لیتر و سرعت همزدن ۱۱۵۰ دور در دقیقه نشان داده شده است. با توجه به شکل دما نقش مهمی در انحلال کالکوپیریت دارد. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که به ازای افزایش هر ۱۰ درجه سانتی‌گراد سرعت واکنش دو برابر افزایش می‌یابد [۲۰]. اثر دما برای مرحله دوم انحلال کالکوپیریت که نسبت به زمان خطی می‌باشد توسط Hirato T., et al [۲۳] بررسی شده و نتایج نشان داد که با افزایش دما سرعت انحلال کالکوپیریت به شدت افزایش می‌یابد. پتانسیل آزاد کانی کالکوپیریت با افزایش دما کاهش می‌یابد لذا با افزایش دما کالکوپیریت فعال تر می‌شود و در نتیجه سرعت انحلال آن افزایش می‌یابد [۱۳].

## مراجع

- [1] L. M. Yuri, V. T. Yevgeny, P. A. S Anov; V. O. Alexander, A. V. Arnek and V. Denis(2004), "Spectroscopic and electrochemical characterization of the surface layers of chalcopyrite (CuFeS<sub>2</sub>) reacted in acidic solutions", *Applied Surface Science*, 225, 395-409.
- [2] M. Carneiro and V.A. Le?o(2007), "The role of sodium chloride on surface properties of chalcopyrite leached with ferric sulphate", *Hydrometallurgy*, 87,73-82.
- [3] R.P. Hackl, D.B. Dreisinger, E. Peters and J.A. King(1995), "Passivation of chalcopyrite during oxidative leaching in sulfate media", *Hydrometallurgy*, 39,25-48.
- [4] E.M. C?rdoba, J.A. Mu?oz, M.L., Bl?zquez, F. Gonz?lez and A. Ballester (2008), "Leaching of chalcopyrite with ferric ion. Part I-General aspects", *Hydrometallurgy*, 93,81-87.
- [5] V. Mahajan, M. Misra, K. Zhong and M.C. Fuerstenau(2007), "Enhanced leaching of copper from chalcopyrite in hydrogen peroxide-glycol system", *Minerals Engineering*, 20, 670-674.
- [6] M. Misra and M.C. Fuerstenau(2005), "Chalcopyrite leaching at moderate temperature and ambient pressure in the presence of nanosize silica", *Minerals Engineering*, 18,293-297.
- [7] H.R. Watling(2006), "The bioleaching of sulphide minerals with emphasis on copper sulphides — A review" *Hydrometallurgy*, 84, 81-108.
- [8] E.M. C?rdoba; J.A. Mu?oz, M.L. Bl?zquez, F. Gonz?lez and A. Ballester, "Leaching of chalcopyrite with ferric ion. Part II -Effect of redox potential", *Hydrometallurgy*, 93,88-96.
- [9] K.A. Third, R. Cord-Ruwisch. and H.R.; Watling(2000), "The role of iron-oxidizing bacteria in stimulation or inhibition of chalcopyrite bioleaching", *Hydrometallurgy*, 57, 225-233.

Tshilombo A.F., et al ادعا کرده‌اند که علت این امر احتمالاً بخاطر افزایش اثر پدیده گالوانیک در غلظت‌های بالای اسید، راسب نشدن ترکیبات آهن‌دار در غلظت‌های بالای اسید یا انحلال غیراکسیداسیونی کالکوپیریت که توسط Lazaro و Nicol ارائه شده، می‌باشد [۱۳].

## ۵- نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج آزمایش‌های انجام شده مشخص گردید که پیریت به عنوان کاتالیزور و با تشکیل پیل گالوانیک با کالکوپیریت به علت اختلاف در پتانسیل آزاد آنها اثر قابل توجهی بر انحلال کالکوپیریت دارد که علت آن افزایش سرعت واکنش کاتدی در سطح پیریت می‌باشد. در عدم حضور پیریت بیشترین بازیابی مس از کالکوپیریت کمتر از ۳۰ درصد در ۲۴ ساعت بدست آمد. پارامترهای بررسی شده در این تحقیق سرعت همزدن، نسبت وزنی پیریت به کالکوپیریت، پتانسیل محلول، دما و غلظت اسید می‌باشد. دو پارامتر سرعت همزدن و غلظت اسید تأثیر قابل توجهی در افزایش انحلال کالکوپیریت ندارند. پارامترهای نسبت وزنی پیریت به کالکوپیریت، پتانسیل محلول و دما تأثیر به سزایی در انحلال کالکوپیریت دارند. بیشترین انحلال کالکوپیریت در سرعت همزدن ۱۱۵۰ دور در دقیقه، نسبت وزنی پیریت به کالکوپیریت ۴، پتانسیل ۴۱۰ میلی ولت در مقیاس Ag/AgCl، دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد و غلظت اسید ۴۵ گرم بر لیتر برابر حدود ۹۶ درصد در ۲۴ ساعت بدست آمد.

## ۶- تشکر و قدردانی

بدینوسیله از دانشگاه تربیت مدرس و مجتمع مس سرچشمه به خاطر فراهم آوری امکانات انجام این تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود.



- of Galvanic Interaction to Acid-Bacterial Leaching of Mixed Metal Sulfides”, *Hydrometallurgy*, 9, 235-256.
- [20] V.K. Berry, L.E. Murr and J.B. Hiskey, (1978), “Galvanic Interaction between Chalcopyrite and Pyrite during Bacterial Leaching of Low-Grade Waste”, *Hydrometallurgy*, 3, 309-326.
- [21] P. Nowak, E. Krauss and A. Pomianowski(1984), “The Electrochemical Characteristics of the Galvanic Corrosion of Sulphide Minerals in Short-Circuited Model Galvanic Cells” ,*Hydrometallurgy*, 12, 95-110.
- [22] www.Galvanox.com, 2009.
- [23] T. Hirato, H. Majima and Y. Awakura, (1987), “The Leaching of Chalcopyrite with Ferric Sulfate” *Metallurgical Transactions B*, 18, 489-496.
- [24] J.E. Dutrizac(1981), “The Dissolution of Chalcopyrite in Ferric Sulfate and Ferric Chloride Media”, *Metallurgical Transactions B*, 12, 371-378.
- [25] D.G. Dixon and A.F. Tshilombo(2005), “Leaching Process for Copper Concentrates”, US Patent, Pub No.: US2005/0269208A1.
- [10] D Ikiz, M., Gulfen and A.O. Aydın (2006), “Dissolution kinetics of primary chalcopyrite ore in hypochlorite solution”, *Minerals Engineering*, 19, 972-974.
- [11] P.B. Mounoz, J.D, Miller and M.E.Wadsworth(1977), “Reaction Mechanism for the Acid Ferric Sulfate Leaching of Chalcopyrite”, *Metallurgical Transactions B*, 10,149-158.
- [12] N. A. Osman, P. Sabri, E. Zafer and P. Mehmet(2001), “Determination of the Optimum Conditions for Leaching of Malachite Ore in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> Solutions”, *Chem. Eng. Technol.*, 24, 409-413.
- [13] A.F. Tshilombo, J. Petersen and D.G. Dixon(2002), “The influence of applied potentials and temperature on the electrochemical response of chalcopyrite during bacterial leaching”, *Minerals Engineering*, 15, 809-813.
- [14] R. S. McMillan, D. J. MacKinnon and J. E Dutrizac(1982), “ Anodic dissolution of n-type and p-type chalcopyrite”, *Journal of Applied Electrochemistry*, 12, 743-757.
- [15] G.W. Warren, M.E. Wadsworth and S.M. El-Raghy(1979), “Passive and Transpassive Anodic Behavior of Chalcopyrite in Acid Solutions”, *Metallurgical Transactions B*, 13, 571-579.
- [16] A.F. Tshilombo(2004), “*Mechanism and Kinetics of chalcopyrite Passivation and depassivation during Ferric and Microbial Leaching*”, PhD Thesis, UBC,
- [17] A. Parker, C. Klauber, A. Kougianos, H.R. Watling, and W. Van Bronswijk (2003), “An X-ray photoelectron spectroscopy study of the mechanism of oxidative dissolution of chalcopyrite”, *Hydrometallurgy*, 71, 265-276.
- [18] M.B. Stott, H.R. Watling, P.D. Franzmann and D. Sutton(2000), “The Role of Iron-Hydroxy Precipitates in the Passivation of Chalcopyrite during Bioleaching”, *Minerals Engineering*, 13, 1117-1127.
- [19] A.P. Mehta and L.E. Murr(1983), “Fundamental Studies of the Contribution

## Galvanic dissolution of chalcopyrite in sulphate media in the presence of ferric ion and using pyrite as a catalyst

S. M. J. Koleini<sup>1\*</sup>, M. Jafarian<sup>2</sup>, M. Abdolahy<sup>3</sup>, S. Javadian<sup>4</sup>, V. Aghazadeh<sup>5</sup>

1. Associate Professor of Mineral processing, Tarbiat Modares University.
2. Professor of Chemistry, Khajeh Nasir Tosi University.
3. Professor of Mineral processing Engineering, Tarbiat Modares University.
4. Assistant Professor of Physical Chemistry, Tarbiat Modares University.
5. PhD Student of Mineral processing Engineering, Tarbiat Modares University.

---

### ARTICLE INFO

---

#### Article history :

Received 11 January 2010

Received in revised form 17 July 2010

Accepted 13 November 2010

---

#### Keywords:

Leaching  
Chalcopyrite  
Catalyst Pyrite  
Galvanic Effect

---

### ABSTRACT

Chalcopyrite is one of the most resistant minerals against leaching, because of passive layer formation around chalcopyrite particles during leaching. High pressure process, bioleaching, ultra fine grinding and catalyst such as silver ion, chloride ion and activated carbon for enhancing the leaching of chalcopyrite in sulphate media have been used. In this investigation, pure pyrite was used as a catalyst for enhancing the chalcopyrite leaching. The effect of some important factors in galvanic leaching such as stirring speed, pyrite to chalcopyrite ratio, solution potential, temperature and initial acid concentration were investigated. Experimental results showed that maximum copper recovery (96%) in 24 hour was obtained in stirring speed 1150 rpm, pyrite to chalcopyrite ratio 4, solution potential 410 mV, temperature 85 °C and initial sulfuric acid concentration of 45gr/lit.

---

All rights reserved.

انحلال گالوانیکی کالکوپیریت در محیط سولفات‌ها در حضور یون فریک با استفاده از کاتالیزور پیریت

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.