

جداسازی کالکوسیت از پیریت به روش شناورسازی با کنترل پتانسیل اکسیداسیون-احیا پالپ

بیژن طاهری^۱، محمود عبدالهی^{۲*}، سیدضیاءالدین شفائی تنکابنی^۳، سهیلا جوادیان فرزانه^۴

۱. دانشجوی دکتری فراوری مواد معدنی، دانشگاه تربیت مدرس (tymaz530@gmail.com)

۲. استاد فراوری مواد معدنی، دانشگاه تربیت مدرس (minmabd@modares.ac.ir)

۳. استاد فراوری مواد معدنی، دانشگاه تهران (zshafae@ut.ac.ir)

۴. دانشیار شیمی فیزیک، دانشگاه تربیت مدرس (javadian_s@modares.ac.ir)

مشخصات مقاله	چکیده
تاریخچه مقاله: دریافت: ۲۲ آذر ۹۱ دریافت پس از اصلاح: ۲۵ اردیبهشت ۹۲ پذیرش نهایی: ۱۳ مرداد ۹۲ کلمات کلیدی: شناورسازی با کنترل پتانسیل پتانسیل اکسیداسیون-احیا پالپ کالکوسیت پیریت ولتامتری چرخه‌ای	در این تحقیق اثر کنترل پتانسیل اکسیداسیون-احیا پالپ (E_h) بر روی جدایش کالکوسیت از پیریت به روش شناورسازی در حضور اتیل گزنتات پتاسیم در pH های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. برای کنترل پتانسیل از مواد شیمیایی اکسند (پراکسید هیدروژن) و کاهنده (دی تیونات سدیم) استفاده شده است. نتایج نشان داده است که جدایش این دو کانی شدیداً وابسته به پتانسیل اکسیداسیون-احیا و pH پالپ می‌باشد. بیشترین جدایش در $pH=11$ و در محدوده پتانسیل بین $(SHE) -100mV$ تا صفر حاصل شده است. مطالعات ولتامتری چرخه‌ای برای تحلیل رفتار شناورسازی این دو کانی مورد استفاده قرار گرفته است. بر اساس نتایج حاصل از آزمایش‌های شناورسازی و ولتامتری چرخه‌ای، علت جدایش موثر این دو کانی در شرایط فوق‌الذکر، تشکیل و غالب بودن گونه اتیل گزنتات مس بعنوان عامل شناورسازی کالکوسیت و عدم تشکیل و یا کافی نبودن دی گزنتوژن بعنوان عامل شناورسازی پیریت، استنباط شده است.

۱- مقدمه

هیدرازین (N_2H_4) [۳۱]، دی‌تیونات سدیم ($Na_2S_2O_4$) [۲۰]، Na_2S [۳۴، ۳۳، ۲۹]، سولفید سدیم (Na_2S) [۳۴، ۳۳، ۲۹]، سولفیت سدیم (Na_2SO_3) [۳۵]، هیدروسولفید سدیم ($NaHS$) [۳۳، ۲۹]، بی‌سولفیت سدیم ($NaHSO_3$) [۳۷، ۳۶]، سولفات آهن ($Fe_2(SO_4)_3$) [۳۲]، پرسولفات آمونیوم ($(NH_4)_2S_2O_8$) [۳۴] و... هستند که برای تنظیم پتانسیل پالپ در یک محدوده خاص بکار می‌روند و در مقایسه با روش قبل (پتانسیل ایستایی^۴) محیط الکتروشیمیایی یکپارچه‌تری در اطراف ذرات سولفیدی در پالپ ایجاد می‌کنند و لذا در عملیات صنعتی کاربرد بیشتری دارد ولی انعطاف کمتری نسبت به روش اعمال پتانسیل خارجی دارد. البته لازم به ذکر است که روش‌های دیگری از جمله استفاده از گازهای مختلف از جمله اکسیژن (هوا)، نیتروژن [۳۲، ۳۸-۴۰] و بعضاً گاز دی‌اکسید گوگرد [۴۱] و همچنین با استفاده از تغییرات pH [۳۱، ۳۲، ۴۲] در واکنش‌هایی که یون‌های H^+ یا OH^- نقش بسزایی دارند، نیز می‌توان پتانسیل پالپ را کنترل کرد. هدف غایی این تحقیق جداسازی کالکوسیت از پیریت جهت تهیه یک نمونه کالکوسیت پرعیار می‌باشد که تحت کنترل شیمیایی پتانسیل پالپ با استفاده از پراکسید هیدروژن (H_2O_2) بعنوان عامل اکسنده و دی‌تیونات سدیم ($Na_2S_2O_4$) بعنوان عامل کاهنده انجام شده است و برای تحلیل رفتار مشاهده شده تحت شرایط مختلف از روش الکتروشیمیایی ولتامتری چرخه‌ای^۵ که یکی از روش‌های پرکاربرد جهت پیش‌بینی واکنش‌های اکسایش و کاهش بر روی سطح کانی‌ها در شرایط مختلف پتانسیل می‌باشد [۱۸، ۴۳-۴۷]، استفاده گردیده است.

۲- روش‌ها و آزمایش‌ها

۲-۱. تهیه و آماده‌سازی نمونه

نمونه مورد استفاده برای جداسازی کالکوسیت از پیریت، بصورت دست‌چین از یکی از جبهه‌کارهای معدن مس سرچشمه تهیه گردید و پس از چندین مرحله جداسازی به روش سنگ‌جوری سعی گردید تا حدامکان نمونه مورد آزمایش عاری از ناخالصی‌ها باشد. نمونه مذکور ابتدا توسط

اهمیت و نقش پتانسیل پالپ در شناورسازی کانی‌های سولفیدی بدلیل خواص نیمه‌رسانایی این کانی‌ها بر هیچ محقق پوشیده نیست. اختلاف در شناورسازی کانی‌های سولفیدی نسبت به پتانسیل پالپ، انتظار می‌رود مجالی برای جدا کردن کانی‌های مختلف را ایجاد کند. بعنوان مثال چاندر^۱ و فورستینو^۲ [۱] نشان دادند که کالکوسیت را می‌توان با کنترل پتانسیل پالپ از مولیبدنیت جدا نمود. در مطالعات دیگر کنترل پتانسیل منجر به جدایش کالکوپیریت از پیریت [۲-۴]، کالکوپیریت از ارسنوپیریت [۵] گردیده است. مطالعات دیگر [۶-۸] در این زمینه نشان داده است که رفتار الکتروشیمیایی کانی‌های ترکیبی غالباً متفاوت از رفتار تک تک آن‌هاست که علت این پدیده اغلب بدلیل اثر گالوانیکی و یا برهم‌کنش‌های متقابل کانی‌های مختلف بر همدیگر گزارش شده است. بررسی اثر گالوانیک کانی‌های سولفیدی بر رفتار شناورسازی همدیگر توسط محققین زیاد [۲، ۴، ۹-۱۱] مویده پدیده فوق است. کالکوسیت بعنوان یک کانی سولفیدی مس، غالباً با پیریت همراه است. در فرایند شناورسازی با کلکتورهای سولفیدریل بویژه گزنتات‌ها، هر دو این کانی‌ها شناور می‌شوند [۵، ۱۲] و جدایش آن‌ها از همدیگر به سختی صورت می‌گیرد. در رابطه با شناورسازی کالکوسیت [۱، ۷، ۱۳-۲۱] و پیریت [۷، ۱۰، ۲۲-۲۵] در حضور گزنتات‌ها و اثر پتانسیل بر رفتار شناورسازی آن‌ها مطالعات متعددی وجود دارد. اما در رابطه با رفتار ترکیبی این دو کانی بویژه نقش پتانسیل پالپ و کنترل آن برای جدایش این دو کانی از همدیگر تاکنون مطالعه‌ای صورت نگرفته است. بدلیل نیاز به کالکوسیت با خلوص بالا در یک کار تحقیقاتی، رفتار شناورسازی این دو کانی در pH‌های مختلف و در حضور اتیل گزنتات پتاسیم (KEX) در دو حالت بدون کنترل پتانسیل و با کنترل پتانسیل پالپ در تحقیق حاضر مورد بررسی قرار گرفته است. بطور کلی، دو روش عمده برای کنترل پتانسیل پالپ در سیستم فلوئوتاسیون کانی‌های سولفیدی، بکار می‌رود: یکی استفاده از یک منبع تغذیه خارجی [۱۹، ۲۶-۲۸] است که در این روش با اعمال پتانسیل خارجی توسط یک پتانسیواستات^۳، می‌توان پتانسیل پالپ را در یک مقدار دلخواه، تنظیم و کنترل نمود. دیگری، استفاده از مواد شیمیایی اکسنده و کاهنده از جمله پراکسید هیدروژن (H_2O_2) [۲۹-۳۲]، هیپوکلریت سدیم ($NaOCl$) [۳۳]،

¹ Chander² Fuerstenau³ Potentiostat⁴ Potentiostatic⁵ Cyclic Voltammetry

جدایش کالکوسیت از پیریت به روش شناورسازی با کنترل پتانسیل اکسیداسیون-احیا پالپ

جدول (۱) آنالیزهای شیمیایی نمونه برای آزمایش‌های شناورسازی

آنالیز شیمیایی (%)									
غیره	S	SiO ₂	P ₂ O ₅	K ₂ O	Al ₂ O ₃	CaO	Fe	CuO	Cu
۴/۶۳	۵/۳۴	۴۰/۲۱	۲/۱۲	۳/۵۵	۲۲/۰۹	۱۱/۱۰	۳/۰۸	۰/۲۵	۷/۶۳

جدول (۲) آنالیزهای مینرالوژیکی نمونه برای آزمایش‌های شناورسازی

نوع کانی	ترکیب شیمیایی	درصد وزنی	نوع کانی	ترکیب شیمیایی	درصد وزنی
کالکوسیت	Cu ₂ S	۹/۴۷	لیمونیت	FeOOH	۰/۰۲۴
پیریت	FeS ₂	۶/۳۹	اسفالریت	ZnS	۰/۰۲۴
کالکوپیریت	CuFeS ₂	۰/۰۴۸	هماتیت	Fe ₂ O ₃	۰/۰۷۸
کولیت	CuS	۰/۰۵۴	مگنتیت	Fe ₃ O ₄	۰/۰۲۳
بورنیت	Cu ₅ FeS ₄	۰/۰۰۶	کانی‌های باطله آلومینوسیلیکات‌ها		۸۳/۸۸۳

جدول (۳) آنالیزهای شیمیایی و مینرالوژیکی نمونه‌های خالص برای ساخت الکترودهای کانی

نمونه	Cu	Fe	Al ₂ O ₃	SiO ₂	S	سایر ناخالصی‌ها	خلوص کانی (%)
پیریت	۰/۲۸	۴۵/۸۲	۰/۶۸	۰/۵۶	۵۲/۳۹	۰/۲۷	۹۸/۱۸
کالکوسیت	۷۸/۸۸	۰	۰/۴۱	۰/۸۲	۱۹/۷۶	۰/۱۳	۹۸/۶

مورد استفاده قرار گرفت. همه مواد شیمیایی مورد استفاده دارای خلوص آزمایشگاهی^۱ می‌باشند.

۲-۳. روش کار و تجهیزات مورد استفاده

آزمایش‌های پرعیارسازی کالکوسیت و تعیین شرایط بهینه جداسازی کالکوسیت از پیریت در سلول‌های آزمایشگاهی دنور ۴ لیتری و با استفاده از کلکتور اتیل‌گزنات در چهار سطح pH، در دو حالت با کنترل پتانسیل شیمیایی (با استفاده از دی‌تیونات سدیم و آب اکسیژنه) و بدون کنترل پتانسیل (در پتانسیل مدار باز) انجام شد. در آزمایش‌های با کنترل پتانسیل از گاز نیتروژن و در آزمایش‌های بدون کنترل پتانسیل از هوا و گاز نیتروژن بطور جداگانه استفاده شد. شرایط انجام آزمایش‌های پرعیارسازی کالکوسیت بر اساس تجربیات و تدابیر شخصی و نیز یافته‌های محققین پیشین [۷، ۱۳-۱۵، ۱۷-۱۹، ۲۱] تعیین گردید. بر این اساس محدوده pH بین ۸ تا ۱۱ و در آزمایش‌های با کنترل پتانسیل، محدوده پتانسیل الکتروشیمیایی بین (۲۰۰+ تا ۳۰۰-) mV(SHE) مورد بررسی قرار گرفت. سایر شرایط از جمله میزان کلکتور مورد استفاده حدود ۲۰ gr/ton اتیل‌گزنات پتاسیم (KEX) و مقدار کف‌ساز حدود ۳۰ gr/ton متیل‌ایزوبوتیل‌کربنول

سنگ‌شکن فکی آزمایشگاهی و سپس توسط آسیای دیسکی و با کنترل زمان خردایش (بازه‌های کوتاه زمانی برای جلوگیری از تولید نرمه)، به ابعاد زیر ۱۰۰ میکرون رسانده شد بطوری‌که از ۷۵ آن d₈₀ میکرون بود. نتایج آنالیزهای شیمیایی و مطالعات مینرالوژیکی نمونه مذکور به ترتیب در جدول ۱ و ۲ آورده شده است. برای تهیه الکتروده کانی جهت مطالعات ولتامتری چرخه‌ای، از بلورهای خالص کالکوسیت و پیریت که توسط واحد زمین‌شناسی مجتمع مس سرچشمه تهیه شده بود، استفاده گردید. آنالیز شیمیایی این نمونه‌ها، در جدول ۳ آورده شده است.

۲-۲. مواد شیمیایی مورد استفاده

مواد شیمیایی شامل اتیل‌گزنات پتاسیم (KEX) بعنوان کلکتور، متیل‌ایزوبوتیل‌کربنول (MIBC) بعنوان کف‌ساز، اسیدفسفریک (H₃PO₄) و سود سوزآور (NaOH) برای تهیه محلول‌های بافر pH، آب اکسیژنه (H₂O₂) بعنوان عامل اکسنده و دی‌تیونات سدیم (Na₂S₂O₄) بعنوان عامل کاهنده برای تنظیم و کنترل پتانسیل الکتروشیمیایی در این مطالعه

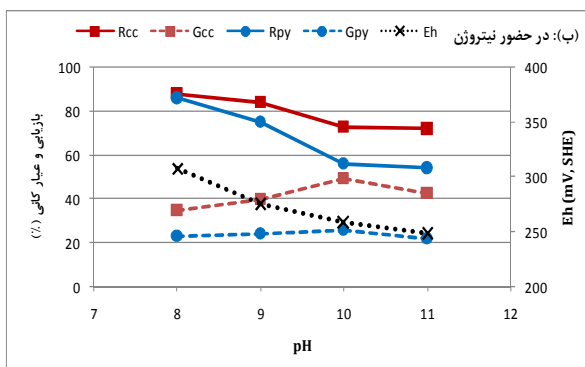
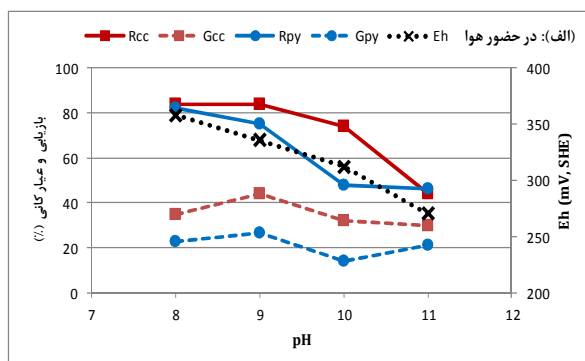
¹ Analytical Grade

تغییرات مقادیر pH تا حدود ± 0.2 واحد و تغییرات Eh تا حدود ± 15 mV، مجاز در نظر گرفته شد. برای تنظیم pH متر از محلول‌های بافر استاندارد ۷ و ۱۱ و برای تنظیم Eh متر از محلول استاندارد فریک فرو [۵۲] و برای شستشوی الکتروده E_h متر و الکتروده پلاتین از محلول ۴ مولار اسیدنیتریک استفاده می‌شد.

تمام آنالیزهای شیمیایی جهت تعیین عیار عناصر موجود در نمونه‌ها توسط روش‌های جذب اتمی^۶ (AAS) با دستگاه واریان^۷ (مدل A220) و فلورسانس اشعه ایکس^۸ (XRF) با دستگاه فیلیپس^۹ (مدل PW-1480) و آنالیزهای مینرالوژیکی جهت تعیین عیار کانی‌ها در نمونه‌ها با استفاده از روش شمار نقطه‌ای با دستگاه میکروسکوپ نوری و نرم‌افزار مربوطه انجام شده است.

۳- ارائه یافته‌ها و نتایج

نتایج آزمایش‌های اولیه شناورسازی (تغییرات عیار و بازیابی کالکوسیت و پیریت نسبت به pH) در پتانسیل مدار باز (بدون تغییر و تنظیم پتانسیل) در حضور هوا و گاز نیتروژن در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل (۱) تغییرات عیار و بازیابی کالکوسیت و پیریت نسبت به pH در پتانسیل‌های مدار باز (R) مخفف بازیابی، G مخفف عیار، cc مخفف کالکوسیت و py مخفف پیریت است)

(MIBC) و زمان آماده‌سازی (شامل اختلاط کامل پالپ، تنظیم پتانسیل، تنظیم pH، افزودن کلکتور و کفساز) حدود ۱۵ دقیقه و زمان کف‌گیری برابر ۱۲ دقیقه بر اساس مطالعات اولیه در نظر گرفته شد.

روش ولتامتری چرخه‌ای با استفاده از یک سیستم پتانسیوستات متصل به کامپیوتر به همراه نرم‌افزار مربوطه و با استفاده از یک سلول سه الکترودی که در آن از الکتروده کانی (کالکوسیت و پیریت) بعنوان الکتروده کار^۱، الکتروده پلاتین بعنوان الکتروده مخالف^۲ و الکتروده Ag/Ag-Cl بعنوان الکتروده مرجع^۳ مطابق روش‌های گزارش شده در مقالات [۴۶، ۴۸-۵۰]، استفاده گردید. برای ساخت الکتروده کانی، طبق روش ارائه شده توسط گوکتپه^۴ [۵۱] از بلورهای تقریباً خالص کالکوسیت و پیریت، نمونه‌های مکعبی شکل با سطح مقطع $1\text{cm} \times 1\text{cm}$ تهیه گردید و این نمونه‌ها توسط چسب نقره به یک تکه سیم مسی متصل شد و توسط رزین اپوکسی^۵ بصورت یک قالب لوله‌ای شکل در آمد. قبل و بعد از هر بار استفاده از آن برای حذف آلودگی‌های سطح با استفاده از کاغذ سنباده نرم، سطح الکتروده صیقل و سپس با آب مقطر شستشو داده می‌شد.

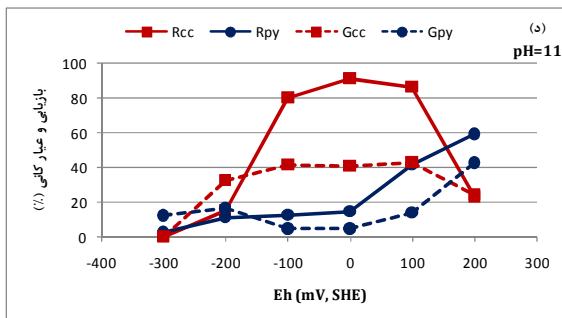
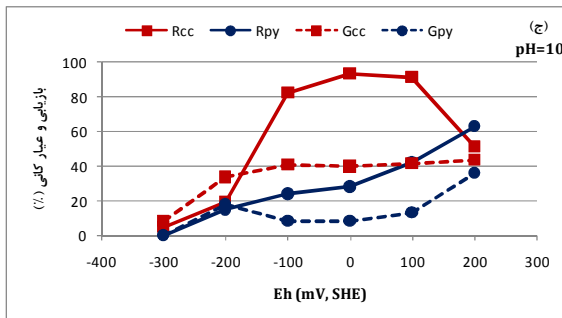
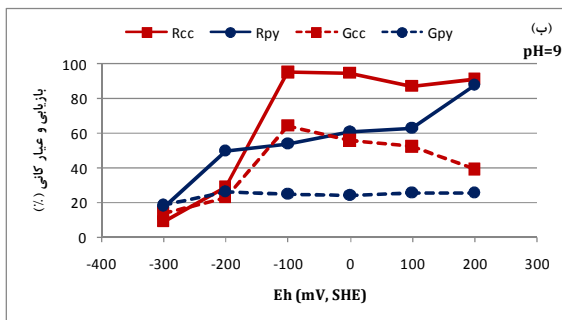
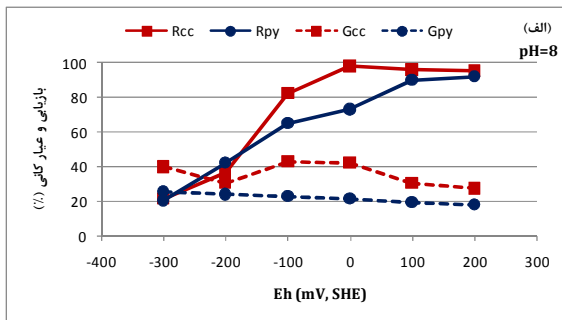
برای تنظیم pH و جلوگیری از تغییرات آن در مقابل تغییرات Eh از محلول‌های بافر پایه فسفات استفاده گردید. نحوه تهیه این محلول‌های بافر به این صورت بود که ابتدا مقدار ۰/۱ مول اسید فسفریک را در مقداری آب حل کرده و سپس محلول غلیظ NaOH به آن اضافه می‌شد تا pH موردنظر حاصل گردد و سپس محلول به حجم (یک لیتر) رسانده می‌شد و بر این اساس در تمام آزمایش‌ها از محلول ۰/۱ مولار اسید فسفریک به همراه سود سوزآور بعنوان محلول بافر استفاده گردید تا اثر آن بر تمام آزمایش‌ها یکسان بوده و از خطای احتمالی ناشی از آن بتوان صرف‌نظر کرد.

مقادیر pH و Eh در طول آزمایش‌ها بطور دائم اندازه‌گیری و کنترل می‌گردید. برای اندازه‌گیری pH از دستگاه pH متر (مدل Metrohm-826) و برای اندازه‌گیری Eh از دستگاه Eh متر (مدل WTW-325) استفاده می‌شد. برای بیان پتانسیل‌ها بر حسب SHE، مقادیر اندازه‌گیری شده با الکتروده Ag-AgCl با عدد ۲۲۸ mV (مربوط به الکتروده مورد استفاده) جمع شده است. در آزمایش‌های با کنترل پتانسیل،

¹ Working Electrode
² Counter Electrode
³ Reference Electrode
⁴ Goktepe
⁵ Epoxy Resin

⁶ Atomic Absorption Spectroscopy
⁷ Varian
⁸ X-Ray fluorescence
⁹ Philips

جدایش کالکوسیت از پیریت به روش شناورسازی با کنترل پتانسیل اکسیداسیون-احیا پالپ



شکل (۲) تغییرات عیار و بازیابی کالکوسیت و پیریت نسبت به پتانسیل پالپ در pH های مختلف

نیز افزایش یافته است، به گونه‌ای که عیار پیریت به مقادیر زیر ۱۰٪ رسیده است. همان طوری که مشاهده می‌شود، در محدوده پتانسیل بالای صفر میلی ولت، بازیابی کالکوسیت روند کاهشی داشته ولی بازیابی و عیار پیریت افزایش یافته است.

همان طوری که مشاهده می‌شود، حد پایین پتانسیل برای شناورسازی کالکوسیت، تقریباً مستقل از pH ولی حد بالای پتانسیل برای شناورسازی آن، وابسته به pH می‌باشد،

میانگین مقادیر پتانسیل پالپ در هر pH نیز در شکل فوق نشان داده شده است. لازم به ذکر است پتانسیل پالپ در حضور هوا نسبت به زمان بسیار متغیر بود و لذا مقادیر پتانسیل نشان داده شده، میانگین تغییرات پتانسیل پالپ می‌باشد که این مقادیر در حضور هوا با ± 50 mV و در حضور گاز نیتروژن با ± 10 mV خطا همراه بوده است. همان طوری که مشاهده می‌شود، جدایش چندان موثری در هیچ یک از pH های مورد بررسی حاصل نشده است و بازیابی و عیار هر دو کانی با اختلاف ناچیز از همدیگر نسبت به pH های مختلف، تغییر کرده است. از آنجایی که دستیابی به کالکوسیت با عیار بالا و تقریباً عاری از پیریت هدف اصلی این تحقیق بوده است، لذا آزمایش‌های شناورسازی با کنترل پتانسیل الکتروشیمیایی پالپ با جزئیات بیشتری مورد بررسی قرار گرفته است که نتایج حاصل از این آزمایش‌ها (تغییرات عیار و بازیابی کالکوسیت و پیریت) در pH های مختلف نسبت به تغییرات پتانسیل اکسیداسیون-احیا پالپ در شکل ۲ نشان داده شده است.

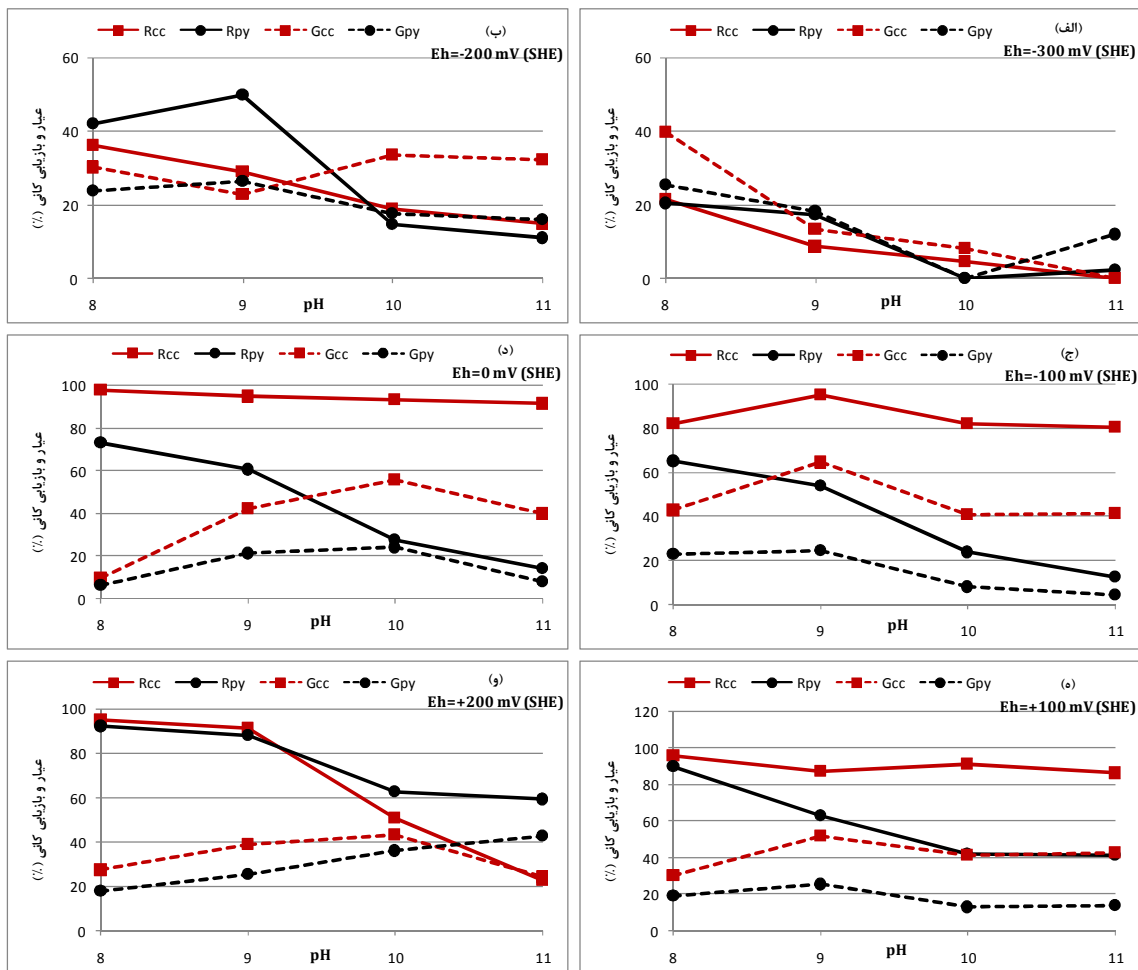
همان طور که مشاهده می‌شود در $\text{pH}=8$ ، بازیابی هر دو کانی پیریت و کالکوسیت بطور همزمان و با اختلاف کم از همدیگر، افزایش می‌یابد. اختلاف بین عیار این دو کانی نیز در این شرایط چندان چشمگیر نمی‌باشد. در $\text{pH}=9$ نیز، بازیابی هر دو کانی با افزایش پتانسیل، افزایش یافته است. در محدوده پتانسیل بین -100 تا $+100$ میلی‌ولت، اختلاف قابل ملاحظه‌ای بین عیار و بازیابی کالکوسیت و پیریت مشاهده می‌شود. اختلاف بیشتری نسبت به شرایط قبل بین بازیابی و عیار این دو کانی در $\text{pH}=10$ حاصل شده است. همان طوری که مشاهده می‌شود، در محدوده پتانسیل بین -100 تا $+100$ میلی‌ولت عیار کانی پیریت در کنسانتره حاوی حدود ۴۰٪ کالکوسیت، به مقدار حدود ۱۰٪ رسیده است در صورتی که در شرایط قبل، عیار پیریت بالای ۲۰٪ بوده است. بازیابی پیریت در این شرایط بندرت از ۴۰٪ فراتر رفته است. بازیابی کالکوسیت نیز به مقادیر بالاتر از ۹۰٪ نیز رسیده است. البته با افزایش پتانسیل در مقادیر بالاتر از $+100$ mV منجر به کاهش بازیابی کالکوسیت و افزایش سریع بازیابی پیریت شده است. در $\text{pH}=11$ نیز روند تغییرات عیار و بازیابی کالکوسیت و پیریت کمابیش مشابه روند مشاهده شده در $\text{pH}=10$ است، با این تفاوت که اختلاف بازیابی‌ها در بازه پتانسیل -100 تا صفر میلی‌ولت بیشتر از حالت قبل است و نیز اختلاف عیار دو کانی

در مورد پیریت در همه pHها، با افزایش پتانسیل پالپ، بازیابی پیریت، روند صعودی دارد. ولی نرخ تغییرات بازیابی نسبت به پتانسیل پالپ، متأثر از pH محیط است. بطوری که در pH=8، با افزایش پتانسیل، بازیابی پیریت با نرخ نسبتاً ثابتی، افزایش یافته است. اما با افزایش pH، نرخ تغییرات بازیابی آن، به مراتب کاهش یافته است، بگونه‌ای که کمترین تغییرات بازیابی پیریت در pH=11 و در محدوده پتانسیل -200 mV تا صفر، مشاهده می‌شود.

برای درک بهتر نتایج آزمایش‌های فوق، تغییرات عیار و بازیابی کالکوسیت و پیریت نسبت به pH پالپ در پتانسیل‌های متوسط پالپ در شکل 3 نشان داده شده است.

یعنی در همه pHهای مطالعه شده، در پتانسیل‌های پایین (کمتر از -200 mV)، شناورسازی کالکوسیت بسیار ناچیز و به محض افزایش پتانسیل در مقادیر بالاتر از -200 mV ، شناورسازی آن، بشدت افزایش می‌یابد.

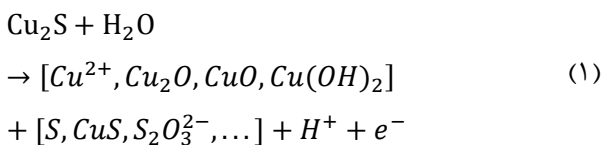
در واقع حد پایین پتانسیل برای شروع شناورسازی کالکوسیت در همه pHها، یکسان است. اما حد بالای پتانسیل برای شناورسازی کالکوسیت، در pHهای قلیایی ضعیف (pH=8 و pH=9) با pHهای قلیایی قوی (pH=10 و pH=11)، متفاوت است. بطوری که در pHهای بالا (pH=10 و pH=11)، حد بالای پتانسیل، حدود $+100\text{ mV}$ است و پس از آن بازیابی کالکوسیت، کاهش یافته است، در حالی که در pHهای پایین (pH=8 و pH=9)، تا پتانسیل $+200\text{ mV}$ ، همچنان شناورسازی خوب کالکوسیت، حاصل شده است.



شکل (3) تغییرات بازیابی و عیار کالکوسیت و پیریت نسبت به pH در پتانسیل‌های متوسط

دی گزنتوزن اکسید شده و بر روی پیریت دی گزنتوزن تشکیل می‌گردد. بنابراین تشکیل و پایداری گونه‌های دی گزنتوزن و گزنتات‌های مس می‌تواند رفتار شناورسازی این کانی‌ها را توجیه نماید. مطالعات ولتامتری چرخه‌ای بعنوان یک روش توانمند برای بررسی واکنش‌های الکتروشیمیایی سطح جامدات، بر روی الکترودهای کانی در pHهای مختلف، در غیاب و حضور کلکتور به ترتیب در شکل ۴ و ۵ آورده شده است. جهت روبش از پتانسیل‌های منفی (از -400 mV) به سمت پتانسیل‌های مثبت (تا $+400\text{ mV}$) و برعکس می‌باشد.

همان طوری که از شکل ۴ مشاهده می‌شود در غیاب کلکتور و تقریباً در همه pHهای مورد مطالعه، کالکوسیت غالباً دارای یک پیک اکسیداسیون (پیک A) در پتانسیل‌های بالای $E_h = +300\text{ mV}$ می‌باشد. محققین [۵۴، ۱] واکنش کلی اکسیداسیون کالکوسیت را طبق رابطه زیر گزارش کرده‌اند:



محصولات اکسیداسیون جامد حاوی مس بعنوان گونه‌های هیدروفیل شناخته شده‌اند که وقتی مقدار آن‌ها زیاد باشند، انتقال بار در سطح الکتروود را کاهش می‌دهند، ولی اثر کمی در شناورسازی با کلکتور دارند. عکس واکنش اکسیداسیون کالکوسیت (پیک C) در پتانسیل حدود $E_h = +100\text{ mV}$ اتفاق افتاده است که مقدار آن بستگی به میزان محصولات اکسیداسیون موجود اولیه دارد؛ یعنی هرچه شدت پیک آندیک بیشتر باشد، شدت پیک کاتدیک نیز بیشتر است که این واقعیت در شکل ۴ بخوبی قابل مشاهده است.

در مورد پیریت، در غیاب کلکتور پیک مجزا و قابل تمیزی در شکل ۴ دیده نمی‌شود که این امر می‌تواند ناشی از واکنش‌های کند اکسیداسیون پیریت و یا همپوشانی واکنش‌های متعدد اکسیداسیون پیریت با یکدیگر باشد که بصورت یک روند صعودی کلی در گراف‌های ولتامتری چرخه‌ای ظاهر شده‌اند.

واکنش‌های اکسیداسیون پیریت در غیاب کلکتور بسته به شرایط الکتروشیمیایی پالپ در pHهای مورد بررسی، بصورت زیر می‌باشند [۵]:

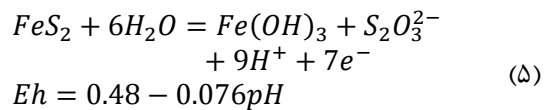
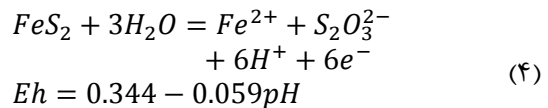
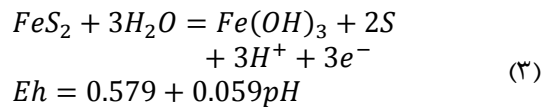
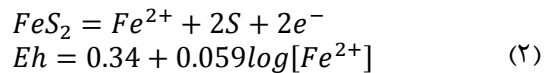
همان طوری که مشاهده می‌گردد، در محیط‌های احیایی بالا (پتانسیل‌های -300 تا -200 میلی‌ولت) اختلاف بین عیار و بازیابی این دو کانی پایین است و جدایش خوبی صورت نگرفته است ولی با افزایش پتانسیل در مقادیر بالاتر از mV -200 ، جدایش بهتری صورت گرفته است. اختلاف عیار و بازیابی این دو کانی با افزایش پتانسیل پالپ، شدیداً وابسته به pH می‌باشد. بطوری که این اختلاف عیار و بازیابی با افزایش pH، افزایش می‌یابد. همان طوری که از شکل ۳ (د) برمی‌آید، ماکزیمم جدایش در پتانسیل صفر و در $\text{pH} = 11$ حاصل شده است. مجدداً با افزایش پتانسیل به سمت محیط‌های اکسایشی، اختلاف بازیابی‌ها و نیز عیار کانی‌ها، کاهش یافته است. بطوری که، کمترین جدایش این دو کانی در پتانسیل $+200\text{ mV}$ و pHهای ۸ و ۹ اتفاق افتاده است.

بنابراین با توجه به نتایج آزمایش‌های فوق، بهترین بازه پتانسیل برای جدایش موثر کالکوسیت و پیریت، محدوده -100 تا صفر میلی‌ولت و مناسب‌ترین pH، برای این منظور $\text{pH} = 11$ می‌باشد.

۴- تحلیل نتایج و بحث

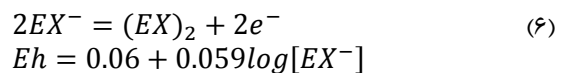
از آنجایی که کانی‌های سولفیدی دارای خواص نیمه‌رسانایی می‌باشند، لذا اغلب واکنش‌های مرتبط با شناورسازی آن‌ها در حضور گزنتات‌ها، واکنش‌های الکتروشیمیایی است. بنابراین، رفتار متفاوت شناورسازی کالکوسیت و پیریت در شرایط مختلف محیط شناورسازی نیز متأثر از واکنش‌های الکتروشیمیایی بین این کانی‌ها و محیط شناورسازی می‌باشد. جدا از اندرکنش‌های گالوانیکی بین این دو کانی، گونه‌های مختلف ترکیبات کانی-کلکتور ناشی از واکنش‌های الکتروشیمیایی در مقادیر مختلف پتانسیل و pH محیط، عامل اصلی رفتار شناورسازی این دو کانی می‌باشد. طبق مطالعات محققین متعدد [۵، ۱۲، ۱۴، ۱۵، ۱۸، ۲۳] عامل اصلی شناورسازی پیریت، دی گزنتوزن است در صورتی که عامل اصلی شناورسازی کالکوسیت، گزنتات مس است و دی گزنتوزن اثری بر شناورسازی کالکوسیت ندارد. زیرا پتانسیل آزاد کالکوسیت در همه pHها کمتر از پتانسیل آزاد پیریت می‌باشد [۵۳] و پتانسیل برگشت‌پذیری تبدیل یون گزنتات به دی گزنتوزن مابین پتانسیل‌های آزاد این دو کانی قرار دارند [۱۲]، لذا کالکوسیت قبل از تشکیل دی گزنتوزن، اکسید شده و با یون گزنتات، تشکیل گزنتات مس می‌دهد، در حالی که یون گزنتات قبل از اکسیداسیون پیریت، به

واکنش‌ها بسته به میزان در دسترس بودن یون گزنتات، می‌تواند یکی از واکنش‌های زیر [۵، ۱۵] باشد.

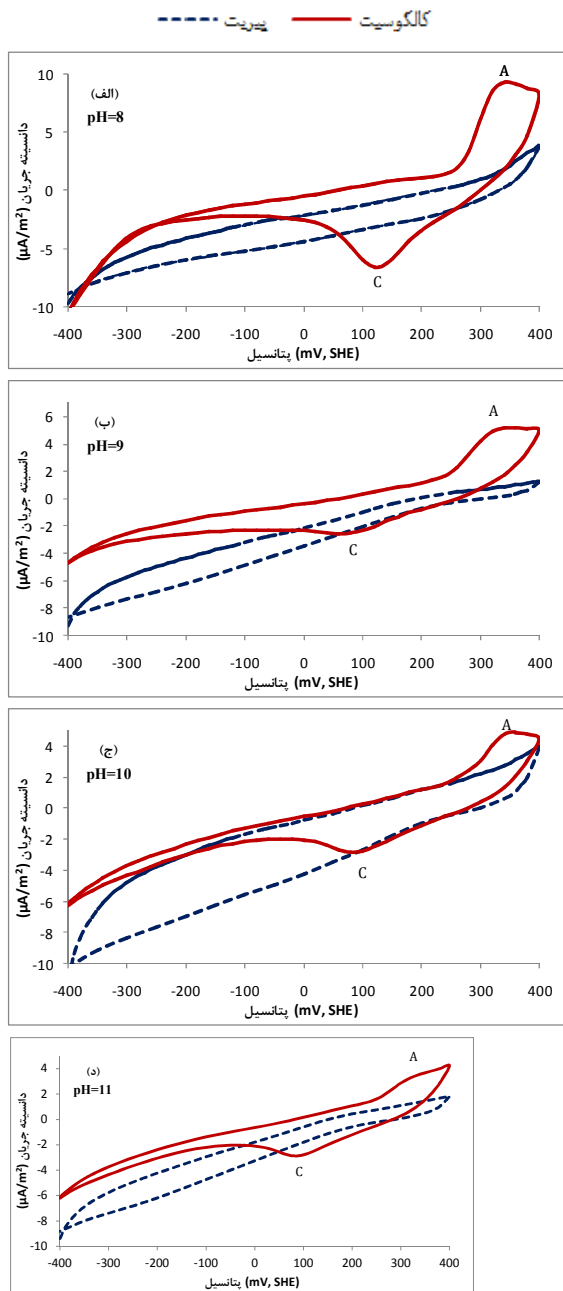


نتایج مطالعات ولتامتری چرخه‌ای کالکوسیت و پیریت در حضور اتیل گزنتات پتاسیم، در pHهای مختلف در شکل ۵ (صفحه بعد) نشان داده شده است. همان‌طوری که مشاهده می‌شود، پیک‌های جدیدی که ناشی از اندرکنش این کانی‌ها با اتیل گزنتات پتاسیم می‌باشد، در منحنی‌های ولتامتری چرخه‌ای ظاهر شده‌اند.

همان‌طوری که مشاهده می‌شود، در همه pHها، تنها یک پیک آندیک (A) که موید یک واکنش اکسیداسیون بر روی الکتروپیریت است، در منحنی ولتامتری پیریت، مشاهده می‌شود. اما موقعیت آن در pHهای مختلف، تغییر کرده است. این موضوع بیان‌گر آن است که واکنش اکسیداسیون مرتبط با این پیک در pHهای مختلف، بشدت وابسته به پتانسیل محیط است. یعنی، پتانسیلی که این واکنش در آن اتفاق می‌افتد، با افزایش pH، افزایش می‌یابد. این پیک می‌تواند ناشی از تشکیل دی‌گزنتوژن بر روی سطح پیریت باشد (واکنش ۶).



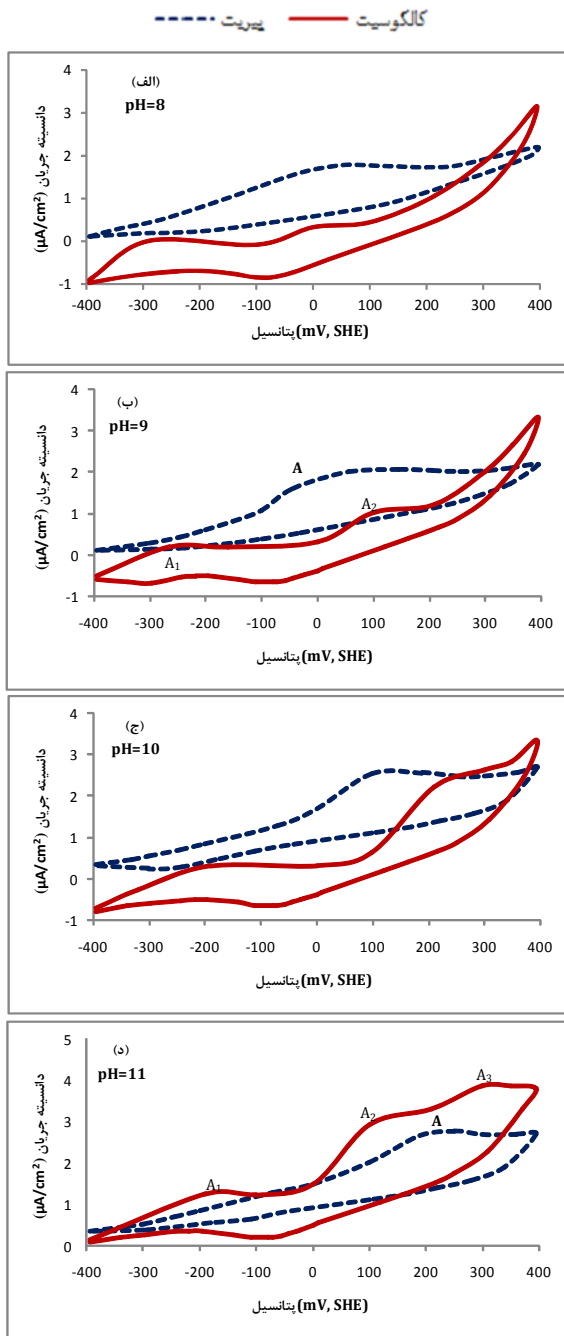
منحنی ولتامتری چرخه‌ای کالکوسیت، در pHهای ۸، ۹ و ۱۰، تنها دو پیک (A₁ و A₂) و در pH=۱۱، سه پیک آندیک (A₁، A₂ و A₃) را نشان می‌دهد. محققین [۵، ۱۵] پیک اول (A₁) را ناشی از جذب تک‌لایه‌ای گزنتات و پیک دوم (A₂) را ناشی از جذب توده‌ای گزنتات بر روی کالکوسیت می‌دانند. بنابراین واکنش‌های اکسیداسیون ناشی از برهم‌کنش‌های الکتروشیمیایی بین کالکوسیت و یون گزنتات، می‌تواند عامل اصلی شناورسازی کالکوسیت در شرایط فوق‌الذکر باشد. این



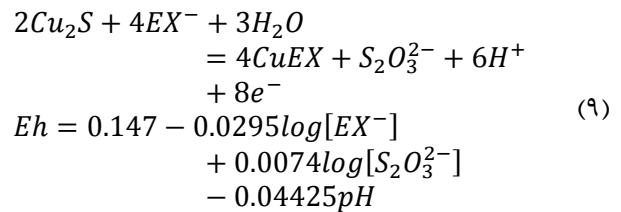
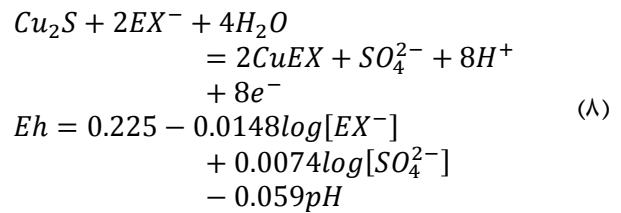
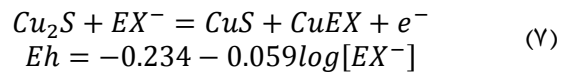
شکل (۴) منحنی‌های ولتامتری چرخه‌ای الکترودهای پیریت و کالکوسیت در pHهای مختلف در غیاب کلکتور با نرخ روبش ۰/۱ ولت بر ثانیه

جدایش کالکوسیت از پیریت به روش شناورسازی با کنترل پتانسیل اکسیداسیون-احیا پالپ

است. بازداشت کالکوسیت در پتانسیل‌های بالا و در pH‌های قلیایی نیز می‌تواند ناشی از تشکیل گونه‌های هیدروفیل $Cu(OH)_2$ ، $HCuO_2^-$ یا CuO_2^{2-} ناشی از واکنش‌های اخیر باشد.

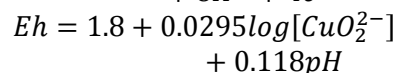
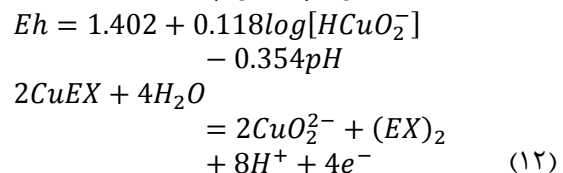
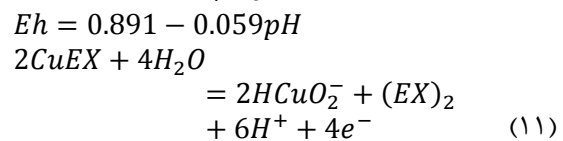
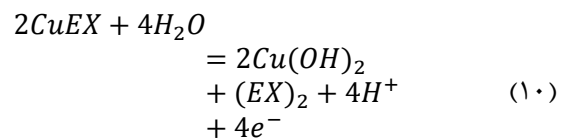


شکل (۵) منحنی‌های ولتامتری چرخه‌ای الکترودهای پیریت و کالکوسیت در pH‌های مختلف در حضور KEX با نرخ روبش ۰/۱ ولت بر ثانیه



گونه $CuEX$ یک گونه بسیار پایدار است و در محدوده وسیعی از پتانسیل پایدار می‌ماند [۱۲]. بنابراین بنظر می‌رسد رفتار متفاوت کالکوسیت و پیریت در شرایط مطالعه شده و جدایش موثر آن در شرایطی که قبلاً ذکر شد، ناشی از تشکیل و پایداری گونه گزنتات مس ناشی از واکنش‌های فوق بعنوان عامل شناورسازی کالکوسیت و عدم تشکیل یا کافی نبودن گونه دی‌گزنتوزن بعنوان عامل شناورسازی پیریت باشد.

پیک اکسیداسیون سوم (A_3) بر روی الکتروده کالکوسیت در pH=۱۱ در پتانسیل‌های بسیار اکسنده (بالای +۲۰۰ mV) می‌تواند ناشی از تجزیه گونه گزنتات مس طبق یکی از واکنش‌های زیر [۲۵، ۵] باشد:



با توجه به واکنش‌های فوق، یکی از محصولات واکنش‌های تجزیه گونه اتیل گزنتات مس، گونه دی‌گزنتوزن می‌باشد که می‌تواند شناورسازی پیریت را شدت بخشد که این موضوع در رفتار شناورسازی پیریت و کالکوسیت در pH=۱۱ و پتانسیل‌های بالا (حدود +۲۰۰ mV) بوضوح قابل مشاهده

۵- نتیجه گیری

نتایج آزمایش‌های شناورسازی با کنترل پتانسیل برای جدایش کالکوسیت از پیریت در حضور اتیل گزنتات پتاسیم، حاکی از آن است که رفتار شناورسازی این دو کانی در حضور اتیل گزنتات پتاسیم، بشدت وابسته به پتانسیل اکسیداسیون-احیا پالپ و pH محیط می‌باشد و لذا با کنترل پتانسیل و pH پالپ، جدایش موثر این دو کانی امکان‌پذیر است. در صورتی که بدون کنترل پتانسیل پالپ (در پتانسیل‌های مدار باز پالپ)، جدایش موثری حاصل نمی‌شود. امکان جدایش این دو کانی در شرایط قلیایی و در پتانسیل‌های خنثی (حدود صفر) بیشتر است. بهترین شرایط برای جدایش این دو کانی در $pH=11$ و محدوده پتانسیل بین صفر تا -100 میلی‌ولت می‌باشد. نتایج مطالعات ولتامتری چرخه‌ای حاکی از آن است که تشکیل و پایداری گونه اتیل گزنتات مس عامل اصلی شناورسازی کالکوسیت می‌باشد. در صورتی که تشکیل دی گزنتوژن ناشی از اکسایش یون گزنتات و یا تجزیه اتیل گزنتات مس، عامل اصلی شناورسازی پیریت می‌باشد. بنابراین با کنترل شرایط برای تشکیل اتیل گزنتات مس و عدم تشکیل دی گزنتوژن، می‌توان کالکوسیت را بخوبی از پیریت جدا کرد که این امر با کنترل پتانسیل اکسیداسیون-احیا پالپ و pH محیط شناورسازی، امکان‌پذیر است.

تشکر و قدردانی

نگارندگان این مقاله مراتب قدردانی خود را بخاطر حمایت مالی و آزمایشگاهی دانشگاه تربیت مدرس و مجتمع مس سرچشمه اعلام می‌دارند.

مراجع

- [5] Y. Hu, *et al.*, (2009), *Electrochemistry of Flotation of Sulphide Minerals*: Tsinghua University Press.
- [6] R. Woods, (2003), "Electrochemical Potential Controlling Flotation," *Int. J. Miner. Process.*, vol. 72, pp. 151-162.
- [7] J. E. Gebhardt and P. E. Richardson, (1987), "Differential Flotation of A Chalcocite-Pyrite Particle Bed By Electrochemical Control," *Miner. Metall. Process.*, vol. 4, pp. 140-145.
- [8] X. Cheng and I. Iwasaki, (1992), "Effect of Chalcopyrite and Pyrrhotite Interaction on Flotation Separation," *Miner. Metall. Process.*, vol. 9, pp. 73-79.
- [9] G. Gu, *et al.*, (2004), "Galvanic Coupling and Its Effect on Origin Potential Flotation System of Sulfide Minerals," *J. Cent. South Univ. Technol.*, vol. 11, pp. 275-279.
- [10] G. Huang and S. Grano, (2005), "Galvanic Interaction of Grinding Media with Pyrite and Its Effect on Flotation," *Minerals Engineering*, vol. 18, pp. 1152-1163.
- [11] M. K. Yelloji Rao and K. A. Natarajan, (1988), "Influence of Galvanic Interactions Between Chalcopyrite and Some Metallic Materials on Flotation," *Minerals Engineering*, vol. 1, pp. 281-294
- [12] M. C. Fuerstenau, *et al.*, (1985), *Chemistry of flotation*: AIMM, Kingsport Press.
- [13] J. S. Hanson and D. W. Fuerstenau, (1991), "The Electrochemical and Flotation Behavior of Chalcocite and Mixed Oxide/Sulfide Ores," *Int. J. Miner. Process.*, vol. 33, pp. 33-47.
- [14] G. W. Heyes and W. J. Trahar, (1979), "Oxidation-Reduction Effects in the Flotation of Chalcocite," *Int. J. Miner. Process.*, vol. 6, pp. 229-252.
- [15] C. S. O'Dell, *et al.*, (1986), "Electrochemistry of the Chalcocite-Xanthate System," *J. Applied Electrochem.*, vol. 16, pp. 544-554..
- [16] M. S. Raghavan and B. S. Unger, (1983), "Interaction of Thioglycolic Acid with Chalcocite," *Trans. Instn. Min. Metall.*, vol. 92, pp. 95-99.
- [17] P. E. Richardson, *et al.*, (1984), "Electrochemical Flotation of Sulphides: Chalcocite-Ethylxanthate Interactions," *Int. J. Miner. Process.*, vol. 12, pp. 73-93.
- [18] J. R. Roos, *et al.*, (1990), "Electrochemical Control of Chalcocite and Covellite-Xanthate Flotation," *Int. J. Miner. Process.*, vol. 29, pp. 17-30.
- [19] G. W. Walker, *et al.*, (1984), "Electrochemical Flotation of Sulphides: Reactions of Chalcocite in Aqueous Solution," *Int. J. Miner. Process.*, vol. 12, pp. 55-72.
- [20] R. Woods, *et al.*, (1993), "The Potential Dependence of Flotation of Chalcocite with Diethyl Dithiophosphate," *Int. J. Miner. Process.*, vol. 39, pp. 101-106.
- [21] R. Woods, *et al.*, (1990), "Ethyl Xanthate Chemisorption Isotherm and Eh-pH Diagrams for the
- [1] S. Chander and D. W. Fuerstenau, (1983), "Electrochemical Flotation Separation of Chalcocite From Molybdenite," *Int. J. Miner. Process.*, vol. 10, pp. 89-94.
- [2] Z. Ekmekci and H. Demirel, (1997), "Effect of Galvanic Interaction on Collectorless Flotation Behaviour of Chalcopyrite and Pyrite," *Int. J. Miner. Process.*, vol. 52, pp. 31-48.
- [3] S. He, *et al.*, (2006), "Effect of Oxidation Potential and Zinc Sulphate on the Separation of Chalcopyrite from Pyrite," *Int. J. Miner. Process.*, vol. 80, pp. 169-176.
- [4] Y. Peng, *et al.*, (2003), "Control of Grinding Conditions in the Flotation of Chalcopyrite and its Separation from Pyrite," *Int. J. Miner. Process.*, vol. 69, pp. 87-100.

- [36] T. N. Khmeleva, *et al.*, (2005), "Depression Mechanisms of Sodium Bisulphite in the Collectorless Flotation of Copper Activated Sphalerite," *Int. J. Miner. Process.*, vol. 76, pp. 43-53.
- [37] T. N. Khmeleva, *et al.*, (2006), "Depression Mechanisms of Sodium Bisulphite in the Xanthate-Induced Flotation of Copper Activated Sphalerite," *Int. J. Miner. Process.*, vol. 79, pp. 61-75.
- [38] X. M. Yuan, *et al.*, (1996), "Flotation of a Complex Sulphide Ore I. Cu/Zn Selectivity Control by Adjusting Pulp Potential with Different Gases," *Int. J. Miner. Process.*, vol. 46, pp. 155-179.
- [39] M. Poorkani and S. Banisi, (2005), "Industrial use of nitrogen in flotation of molybdenite at Sarcheshmeh Copper Complex," *Minerals Engineering*, vol. 18, pp. 735-738.
- [40] V. V. Hintikka and J. O. Leppinen, (2000), "Potential control in the flotation of sulphide minerals and precious metals," *Minerals Engineering*, vol. 8, pp. 1151-1158, 1995.
- [41] S. Chander and A. Khan, "Effect of Sulfur Dioxide on Flotation of Chalcopyrite," *Int. J. Miner. Process.*, vol. 58, pp. 45-55.
- [42] J. Ralston, (1991), "Eh and Its Consequences in Sulphide Mineral Flotation," *Minerals Engineering*, vol. 4, pp. 859-878.
- [43] V. A. Chanturiya, *et al.*, (2004), "The Hydrophilic-Hydrophobic Transitions on Chalcopyrite: Electrochemical Study," *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, vol. 38, pp. 65-78.
- [44] J. R. Gardner and R. Woods, (1979), "An Electrochemical Investigation of the Natural Floatability of Chalcopyrite," *Int. J. Miner. Process.*, vol. 6, pp. 1-16.
- [45] T. Guler and C. Hicyilmaz, (2004), "Hydrophobicity of Chalcopyrite with Dithiophosphate and Dithiophosphinate in Electrochemically Controlled Condition," *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, vol. 235, pp. 11-15.
- [46] A. Khan and S. Kelebek, (2004), "Electrochemical Aspects of Pyrrhotite and Pentlandite in Relation to their Flotation with Xanthate. Part-I: Cyclic Voltammetry and Rest Potential Measurements," *J. Applied Electrochem.*, vol. 34, pp. 849-856.
- [47] W. Tolley, *et al.*, (1996), "Fundamental Electrochemical Studies Of Sulfide Mineral Flotation," *Minerals Engineering*, vol. 9, pp. 603-637.
- [48] J. R. Gardner and R. Woods, (1979), "A Study of the Surface Oxidation of Galena Using Cyclic Voltammetry," *J. Electroanal. Chem.*, vol. 100, pp. 447-459.
- [49] A. Sudarsono, (1999), "Linear Potential Sweep Voltammetry in Conjunction with Small Amplitude Cyclic Voltammetry Study for Chalcopyrite - Xanthate Electrochemical Flotation System," *Jurusan Teknik Pertambangan, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesa 10, Bandung 40132*.
- [50] J. R. Gardner and R. Woods, (1973), "The Use of Particulate Bed Electrode For the Electrochemical Copper-Water-Xanthate and Chalcocite-Water-Xanthate Systems," *Int. J. Miner. Process.*, vol. 30, pp. 17-33.
- [22] G. Bulut and S. Atak, (2002), "Role of Dixanthogen on Pyrite Flotation: Solubility, Adsorption Studies and Eh, FTIR Measurements," *Miner. Metall. Process.*, vol. 19, pp. 81-86.
- [23] F. Garip and H. Ozdag, (1998), "The Adsorption of Potassium Ethyl Xanthate on Pyrite and Effect of Na₂S on the Concentration of Xanthate Ion in the Potassium Ethyl Xanthate Solution," *Int. J. Miner. Process.*, vol. 55, pp. 129-137.
- [24] S. He, *et al.*, (2005), "Correlation Between Copper-Activated Pyrite Flotation and Surface Species: Effect of Pulp Oxidation Potential," *Minerals Engineering*, vol. 18, pp. 1208-1213.
- [25] G. W. J. Heyes and W. J. Trahar, (1984), "The Flotation of Pyrite and Pyrrhotite in the Absence of Conventional Collectors In: P. E. Richardson et al. eds., Electrochemistry in Mineral and Metal Processing," *Electro. Chem., Soc.*, vol. 10, pp. 219-232.
- [26] J. R. Roos, *et al.*, (1990), "Electrochemical Control of Metallic Copper and Chalcopyrite-Xanthate Flotation," *Int. J. Miner. Process.*, vol. 28, pp. 231-245.
- [27] H. Guo and W. T. Yen, (2003), "Pulp Potential and Floatability of Chalcopyrite," *Minerals Engineering*, vol. 16, pp. 247-256.
- [28] H. Guo and W. T. Yen, (2005), "Surface Potential and Dixanthogen Stability on Chalcopyrite Surface," *Int. J. Miner. Process.*, vol. 76, pp. 205-213.
- [29] D. Kocabag and T. Guler, (2007), "Two-Liquid Flotation of Sulphides: An Electrochemical Approach," *Minerals Engineering*, vol. 20, pp. 1246-1254.
- [30] M. H. Jones, (1991), "Some recent developments in the measurement and control of xanthate, perxanthate, sulphide, and redox potential in flotation," *Int. J. Miner. Process.*, vol. 33, pp. 193-205.
- [31] S. R. Grano, *et al.*, (1990), "Influence of Electrochemical Environment and the Flotation Behavior of Mount Isa Copper and Lead-Zinc Ores," *Int. J. Miner. Process.*, vol. 30, pp. 69-97.
- [32] F. Goktepe and K. Williams, (1995), "Electrochemical Effects in Flotation of a Turkish Complex Ore," *Minerals Engineering*, vol. 8, pp. 1035-1048.
- [33] R. A. Hayes and J. Ralston, (1988), "The collectorless flotation and separation of sulphide minerals by Eh control," *Int. J. Miner. Process.*, vol. 23, pp. 55-84.
- [34] Q. Zhang, *et al.*, (2006), "FTIR Spectroscopic Study of Electrochemical Flotation of Jamesonite-Diethyldithiocarbamate System," *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, vol. 16, pp. 493-496.
- [35] W. Z. Shen, *et al.*, (2001), "Flotation of Sphalerite and Pyrite in the Presence of Sodium Sulfite," *Int. J. Miner. Process.*, vol. 63, pp. 17-28.

[53] T. Chmielewski and R. Kaleta, (2011), "Galvanic Interactions of Sulfide Minerals In Leaching of Flotation Concentrate from Lubin Concentrator," *Physicochemical Problems of Mineral Processing*, vol. 46, pp. 21-34.

[54] S. Chander and D. W. Fuerstenau, (1974), "The Effect of Potassium Diethyldithiophosphate on the Electrochemical Properties of Platinum, Copper and Copper Sulfide in Aqueous Solutions," *Electroanal. Chem. Interfacial Electrochem.*, vol. 56, pp. 217-247.

Investigation of Metal and Sulphide Flotation," *Aust. J. Chem.*, vol. 26, pp. 1635-1644.

[51] F. Goktepe, (2002), "Effect of pH on Pulp Potential and Sulphide Mineral Flotation," *Turkish J. Eng. Env. Sci.*, vol. 26, pp. 309-318.

[52] T. S. Light, (1972), "Standard solution for redox potential measurements," *Anal. Chem.*, vol. 44, pp. 1038-1039.

Flotation Separation of Chalcocite from Pyrite Using Controlled Redox Potential

Bijan Taheri¹, Mahmoud Abdollahy^{2,*}, Sied Ziaedin Shafaei Tonkaboni³, Soheila Javadian⁴

1. PhD Candidate of Mineral Processing, Tarbiat Modares University
(tymaz530@gmail.com)

2. Professor of Mineral Processing, Tarbiat Modares University (minmabd@modares.ac.ir)

3. Professor of Mineral Processing, Tehran University (zshafaie@ut.ac.ir)

4. Associate Professor of Chemistry, Tarbiat Modares University (javadian_s@modares.ac.ir)

ABSTRACT

A controlled potential flotation separation of chalcocite from pyrite using potassium ethyl xanthate (PEX) as a collector was investigated at different pH values. It was found that the oxidation-reduction state of the pulp can have a pronounced influence on the flotation separation of these minerals. Potential range between -100 mV to 0 mV (SHE) at pH 11 was found as optimum condition for separation of chalcocite from pyrite. Cyclic voltammetry method was used to identify the flotation behavior of these minerals. According to flotation results and cyclic voltammetry curves, appropriate separation of chalcocite from pyrite at above mentioned condition attributed to the formation and stability of copper-xanthate species which is responsible for the flotation of chalcocite and the instability or lack of dixanthogen that is responsible for the flotation of pyrite.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 12 Dec 2012

Revised: 15 May 2013

Accepted: 4 Aug 2013

Key words:

Controlled Potential

Flotation

Redox Potential

Chalcocite

Pyrite

Cyclic Voltammetry

All right reserved.

* Corresponding author