

بازداشت پیریت در مدار فرآوری کانسنگ چند فلزی سولفیدی با کنترل پتانسیل

پالپ

خداکرم غریبی^{۱*}؛ مریم آل محمدی^۲

۱- استادیار دانشکده مهندسی معدن و متالورژی دانشگاه یزد، khgharibi@yahoo.com

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی معدن و متالورژی دانشگاه یزد

(دریافت ۶ مرداد ۱۳۹۴، پذیرش ۳ مهر ۱۳۹۵)

چکیده

در این تحقیق اثر کنترل پتانسیل اکسیداسیون-احیا روی بازداشت پیریت از کانسنگ‌های پلی‌متال سرب و روی کوشک در pH های مختلف و در شرایط الکتروشیمیایی متفاوت بررسی شده است. برای کنترل پتانسیل از روش اعمال پتانسیل خارجی (روش کروئوآمپرومتری) استفاده شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که در pH های خنثی و قلیایی بازداشت پیریت بالای ۹۰٪ است. بیشترین جدایش بین پیریت از گالن و اسفالریت در $pH=7-9$ و $Eh=-600mV$ تا $Eh=-100mV$ رخ داده است. کمترین جدایش بین پیریت با گالن و اسفالریت (کمتر از ۵٪) در $pH=11$ و $Eh=+250mV$ تا $Eh=+1100mV$ رخ داده است. از ولتامتری چرخه‌ای برای تحلیل بازداشت پیریت استفاده شد. برای این کار مطالعه ولتامتری چرخه‌ای روی الکتروود کانی پیریت در pH های مختلف بررسی شد. جهت روبش از پتانسیل-های منفی ($-100mV$) (در مقیاس کالومل) به سمت پتانسیل‌های مثبت ($+50mV$) و برعکس است. براساس نتایج آزمایش‌های بازداشت و مطالعات ولتامتری چرخه‌ای، عامل بازداشت پیریت گونه‌های آب‌دوست از قبیل $Fe(OH)_3$ ، $S_2O_3^{2-}$ است که در طی واکنش‌های اکسایش پیریت در محیط شکل گرفته است.

کلمات کلیدی

فلوتاسیون الکتروشیمیایی، کنترل پتانسیل پالپ (اعمال پتانسیل خارجی)، بازداشت پیریت

۱- مقدمه

سولفیدهای فلزی اغلب نیمه هادی هستند و در مقایسه با سایر کانی‌ها هدایت الکتریکی نسبتاً خوبی دارند، بنابراین تا حدودی منبع الکترون هستند و می‌توانند با محیط فرآیند و سایر کانی‌های موجود تبادل الکترون نمایند و واکنش‌های الکترودی را در سطح کانی فراهم سازند [۲]. اهمیت و نقش پتانسیل پالپ در شناورسازی کانی‌های سولفیدی بر هیچ محقق پوشیده نیست. اختلاف در شناورسازی کانی‌های سولفیدی نسبت به پتانسیل پالپ شرایطی برای جدا کردن کانی‌های مختلف را ایجاد می‌کند [۳].

پیریت فراوان‌ترین کانی سولفیدی است که در کانسنگ‌های پلی‌متال یافت می‌شود. پیریت خصوصیتی مشابه با کالکوپیریت، گالن و اسفالریت از خود نشان می‌دهد. به همین دلیل وجود پیریت در فرآیند فلوتاسیون منجر به مشکلاتی در دستیابی به فلوتاسیون مطلوب می‌شود. به این دلیل، درک تأثیر مکانیسم‌های الکتروشیمیایی در واکنش مواد شیمیایی مختلف با سطح کانی سولفیدی در محیط آبی، اهمیت زیاد برای بهبود عملکرد فلوتاسیون با کلکتور دارد [۸].

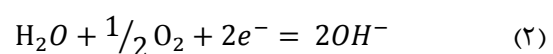
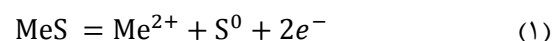
مطالعات نشان داده است که رفتار الکتروشیمیایی کانی‌های ترکیبی، غالباً متفاوت از رفتار تک تک آن‌هاست که علت این پدیده اغلب به دلیل اثر گالوانیکی و یا برهم‌کنش متقابل کانی‌های مختلف بر همدیگر گزارش شده است [۳].

تماس بین یک سطح کاتدیک (گیرنده الکترون) و یک سطح آندیک (دهنده الکترون) منجر به ایجاد یک سلول گالوانیکی می‌شود. در ترکیب دو کانی سولفیدی، آن‌که دارای پتانسیل آزاد بیشتری است به‌عنوان کاتد و کانی با پتانسیل آزاد کمتر کانی فعال بوده و به‌عنوان آند عمل می‌کند. همانگونه که در رابطه (۱) و (۲) مشاهده می‌شود، در نیم واکنش آندی اکسیداسیون کانی با پتانسیل کمتر انجام می‌شود و احیای اکسیژن نیز توسط نیم واکنش کاتدی در سطح کانی با پتانسیل بیشتر اتفاق می‌افتد [۱].

۲- مواد و آزمایش‌ها

۲-۱- تهیه و آماده‌سازی نمونه

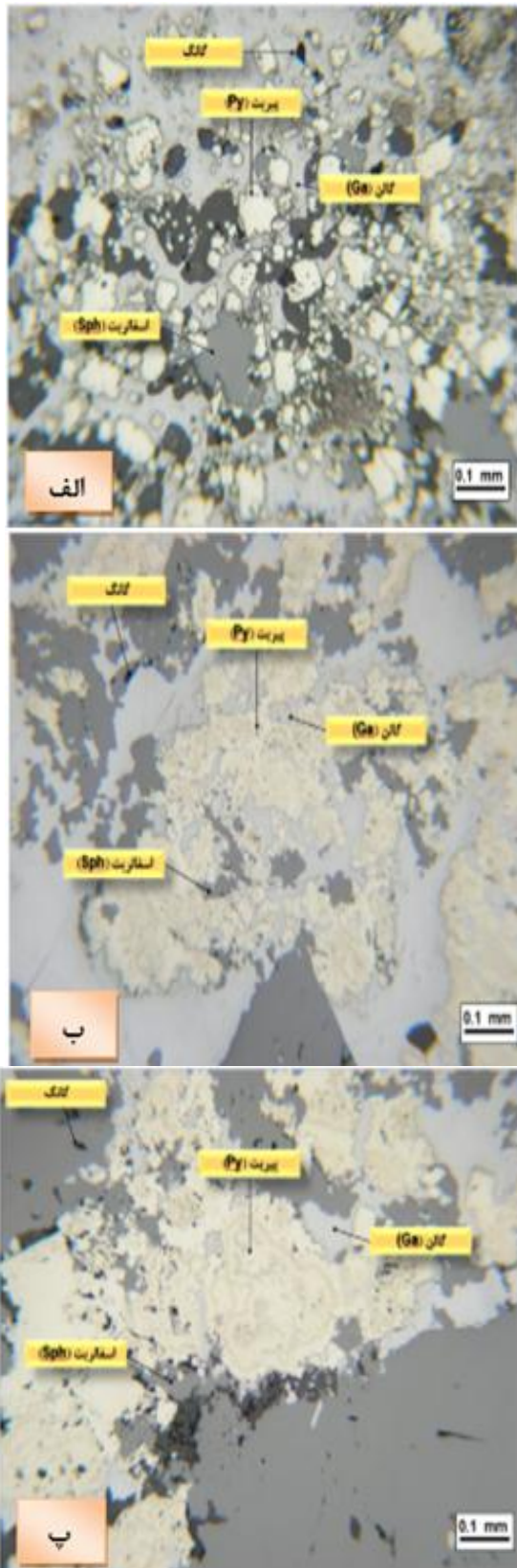
نمونه مورد استفاده در این تحقیق، به‌صورت تکه‌ای از یکی از دپوهای ناحیه زردو در کانسار سرب و روی کوشک تهیه شد. نمونه مذکور ابتدا توسط سنگ‌شکن‌های فکی و استوانه‌ای، سپس با آسیای گلوله‌ای تا ابعاد ۷۵- میکرون مورد خردایش



پیریت که بیشترین پتانسیل آزاد را در میان سولفیدها دارد، به‌عنوان کاتد عمل کرده و در نتیجه اکسیداسیون سایر

کانی‌ها را تسریع می‌سازد. اندرکنش کانی‌های سولفیدی می‌توانند خواص سطحی کانی‌ها و در نتیجه قابلیت شناورسازی آن‌ها را تحت تأثیر قرار دهد. بسته به فعالیت کانی‌ها، کانی‌های سولفیدی مختلف دارای عکس‌العمل‌های متفاوتی در فلوتاسیون هستند.

دو روش عمده برای کنترل پتانسیل پالپ در سیستم فلوتاسیون کانی‌های سولفیدی، به‌کار می‌رود: یکی استفاده از مواد شیمیایی کاهنده و اکسنده و دیگری، استفاده از یک منبع تغذیه خارجی است که در این روش با اعمال پتانسیل خارجی توسط پتانسیواستات، می‌توان پتانسیل پالپ را در یک مقدار معین، تنظیم و کنترل کرد [۳]. در این روش با شناسایی دامنه مؤثر پتانسیل اکسیداسیون-احیا کانی‌های موردنظر، پتانسیل لازم برای رسیدن به چنین شرایطی، روی الکتروکد کار که با الکتروکد کمی یک مدار بسته را می‌سازند، اعمال می‌شود. بدین وسیله شرایط لازم برای انجام فرآیند اکسیداسیون-احیا در مسیر دلخواه فراهم می‌شود. شناخت فرآیندها و واکنش‌هایی که در سطح کانی‌های فلوته شونده یا بازداشت شونده در محیط فلوتاسیون اتفاق می‌افتد، راه حل‌های مناسبی را برای انجام فلوتاسیون الکتروشیمیایی در اختیار قرار می‌دهد. در حقیقت با شناخت این فرآیندها و تأثیر پارامترهای الکتروشیمیایی از جمله پتانسیل پالپ، pH و یا اعمال پتانسیل خارجی می‌توان تشکیل مواد آبران را در سطح کانی‌های فلوته شونده، کنترل و فلوتاسیون را به مسیر مطلوب هدایت کرد [۵]. در این تحقیق از روش دوم برای کنترل پتانسیل پالپ استفاده شد. هدف نهایی در این تحقیق بازداشت پیریت از کانسنگ پلی‌متال سرب و روی با اعمال پتانسیل خارجی است و برای تحلیل رفتار مشاهده شده تحت شرایط مختلف از روش ولتامتری چرخه‌ای که یکی از روش‌های پرکاربرد برای پیش‌بینی واکنش‌های اکسایش و کاهش بر روی سطح کانی‌ها در شرایط مختلف پتانسیل می‌باشد، استفاده شده است.



شکل ۱: درگیری پیریت با سایر کانی‌ها در نمونه مورد مطالعه

قرار گرفت. سپس با استفاده از روش‌های تقسیم نمونه، نمونه‌های ۱ کیلویی تهیه شد. در این آزمایش‌ها برای تقسیم نمونه از روش چهار قسمتی استفاده شد.

مطالعات کانی‌شناسی روی مقاطع صیقلی به‌منظور شناسایی کانی‌های مختلف در نمونه خوراک، انجام شد. نتایج آنالیزهای کانی‌شناسی نمونه مورد مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. وضعیت کلی درگیری پیریت با سایر کانی‌ها در شکل ۱ نشان داده شده است.

۲-۲- مواد شیمیایی مورد استفاده

مواد شیمیایی شامل اتیل‌گزان‌تات سدیم و گازوئیل به‌عنوان کلکتور، روغن کاج به‌عنوان کف‌ساز، آهک برای تنظیم pH پالپ و محلول‌های بافر با pH های مختلف در این مطالعات استفاده شد.

۲-۳- روش کار و تجهیزات مورد استفاده

یکی از تجهیزات مورد نیاز، سلول فلوتاسیون‌الکتروشیمیایی است. به‌منظور افزایش واسطه‌های تبادل الکترون یعنی یون‌های آزاد در محیط فرآیند، سلول فلوتاسیون‌الکتروشیمیایی شامل دو بخش الکترولیتی و فرآیند است که این دو بخش توسط یک دیواره تراوای یونی از هم جدا شده است.

برای کنترل پارامترهای الکتروشیمیایی در محیط فلوتاسیون تجهیزاتی از قبیل پتانسیواستات به‌عنوان منبع اعمال پتانسیل، انواع الکتروده‌های مرجع ($Ag/AgCl$)، کمکی (گرافیت صفحه‌ای) و کار (گرافیت صفحه‌ای و الکترو پیریت)، مورد نیاز بود که متناسب با آزمایش‌ها تهیه شد.

الکترو پیریت کار (گرافیت صفحه‌ای) روی دیواره سلول در بخش فلوتاسیون و الکترو پیریت کمکی روی دیواره سلول در بخش الکترولیت نصب شد.

جدول ۱: آنالیز کانی‌شناسی نمونه برای آزمایش‌ها

نام کانی	ترکیب شیمیایی	درصد وزنی (%)
گالن		۱۰-۲۰
اسفالریت		۲۵-۳۰
پیریت		۳۵-۵۰
شیل	-	۱۰-۱۵
گانگ کربناته	-	۵-۱۰

الکتروود کار و مرجع ($Ag/AgCl$) با استفاده از یک دستگاه ولت‌متر دیجیتال انجام شده است.

در این آزمایش‌ها، میزان کلکتور اتیل گزانتات سدیم $20\text{ gr}/\text{ton}$ ، مقدار کف‌ساز $30\text{ gr}/\text{ton}$ زمان آماده‌سازی و کف‌گیری به ترتیب ۱۵ دقیقه و ۱۰ دقیقه است.

در این تحقیق برای کنترل و شناسایی گونه‌های آبران و آب‌دوست از روش ولتامتری چرخه‌ای استفاده شده است. بدین ترتیب، آزمایش‌های ولتامتری چرخه‌ای در مقادیر مختلف pH در محیط پالپ انجام شده است. در این آزمایش‌ها الکتروود مرجع و الکتروود کمکی و الکتروود کار به ترتیب الکتروود کالومل، پلاتین، کانی پیریت است. پتانسیل مورد نیاز توسط پتانسیواستات متصل به کامپیوتر به سلول اعمال شد و تغییرات جریان نسبت به پتانسیل ثبت شد.

برای ساخت الکتروود کانی پیریت، طبق روش ارائه شده توسط گوگتپه [۷] از بلورهای تقریباً خالص کانی پیریت با سطح مقطع $1\text{ cm} \times 1\text{ cm}$ تهیه شد. به این ترتیب که نخست سیم اتصال که شامل یک سیم مسی است را با استفاده از چسب اپوکسی به یک سطح بلور اتصال، سپس این سیم را برای محفوظ ماندن از تماس با محیط محلول در داخل یک لوله شیشه‌ای قرار داده شد. با قرار دادن سر لوله شیشه‌ای که با بلور در تماس است در داخل قالب، آن را با چسب اپوکسی پر نموده تا فقط یک سطح بلور در تماس با هوای آزاد قرار گیرد. در هر بار آزمایش سطح پیریت، پولیش داده شد تا سطح تازه بلور در معرض محلول قرار گیرد.

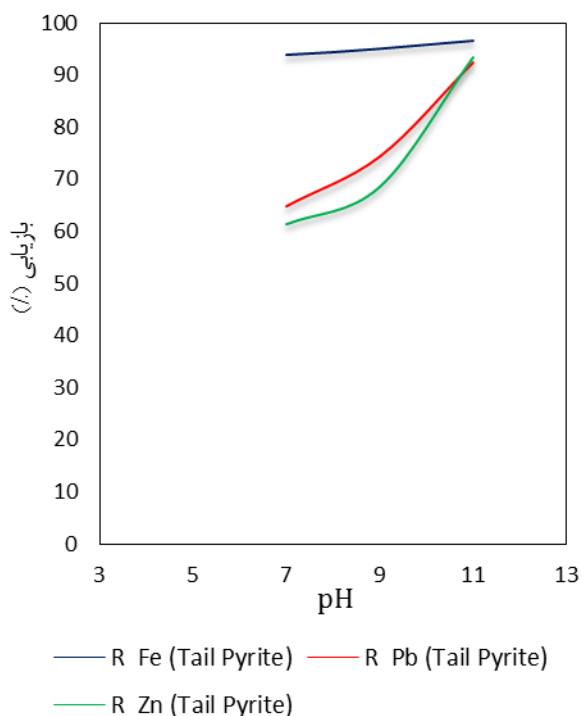
۳-ارائه یافته‌ها و نتایج

در جهت اثبات فرضیات تحقیق در خصوص بازداشت پیریت با کنترل پتانسیل پالپ و اعمال پتانسیل خارجی ضروری بود که مشخصات کمی و کیفی محصولات آزمایش‌ها مورد مطالعه قرار گیرد. آنالیز عیاری محصولات به منظور بررسی موفقیت فرآیند بازداشت کانی پیریت انجام شده است. نتایج میزان آهن در باطله آزمایش‌های T_1 تا T_8 در جدول ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده شده است، میزان بازداشت پیریت در آزمایش‌ها بالای ۹۰٪ است. می‌توان نتیجه گرفت که با کنترل پتانسیل پالپ، گونه‌های آب‌دوست در اثر اکسایش پیریت در محیط شکل گرفته و منجر به بازداشت پیریت شده است. لازم به توضیح است که با توجه به مندرجات جدول شماره ۱ تنها کانی آهن‌دار نمونه مورد

در روش کروئوآمپرومتری با اعمال پتانسیل ثابت روی الکتروود کار، تغییرات جریان بر حسب زمان ثبت می‌شود. کروئوآمپرومتری در مقایسه با سایر تکنیک‌های آمپرومتری پاسخ بهتری به اغتشاش می‌دهد [۵]. در این روش از سه الکتروود کار، کمکی و مرجع استفاده می‌شود و اعمال پتانسیل ثابت، با استفاده از یک پتانسیواستات انجام می‌گیرد. با اعمال پتانسیل بر روی الکتروود کار، بین این الکتروود و الکتروود کمکی یک اختلاف پتانسیل برقرار می‌شود. با توجه به مقاومت الکتریکی محیط فرآیند، تغییرات جریان نسبت به زمان بیان‌گر واکنش‌های اکسیداسیون-احیایی است که در محیط فرآیند اتفاق افتاده است. مهم‌ترین این واکنش‌ها اکسیداسیون کانی-های سولفیدی موجود در محیط و احیای گونه‌های آبران یا آب‌دوست در محیط فرآیند می‌باشد. بدیهی است با نشست گونه‌های آبران بر روی کانی مورد نظر آن کانی شناور می‌شود و با جذب گونه آب‌دوست بر روی سطح کانی دیگر آن کانی بازداشت می‌شود [۴].

هر آزمایش عموماً در دو مرحله شامل مرحله اول حذف شیل و مرحله دوم بازداشت پیریت انجام شده است. در مرحله حذف شیل کلکتور غیر یونیک (گازوئیل) و کف‌ساز روغن کاج استفاده شد. مرحله دوم، شامل بازداشت پیریت از گالن و اسفالریت است. در پتانسیل‌هایی که پیریت خاصیت آب‌دوستی داشته و غوطه‌ور شده است، اسفالریت و گالن به صورت شیمیایی آبران و شناور شده و فلوتاسیون معکوس پیریت انجام شده است. در هر آزمایش پارامترهای الکتروشیمیایی محیط از جمله pH ، Eh ، محیط، پتانسیل بین الکتروود کار و مرجع اندازه‌گیری شده است. پتانسیل پالپ با قرائت، پتانسیل بین

از $pH=8/5$ با افزایش pH میزان بازیابی گالن و اسفالریت کاهش یافته است. بر اساس شکل‌های ۲ تا ۳ ملاحظه می‌شود که بیشترین و کمترین جدایش پیریت از گالن و اسفالریت به ترتیب در $pH=7-9$ و $pH=11$ اتفاق افتاده است.



شکل ۲: نمودار بازیابی- pH پیریت در باطله آزمایش‌های بازداشت پیریت

آزمایش پیریت است. بنابراین همبستگی معناداری بین میزان آهن و پیریت وجود دارد و می‌توان مقدار آهن را به پیریت نسبت داد.

جدول ۲: میزان Fe در باطله آزمایش‌های بازداشت پیریت

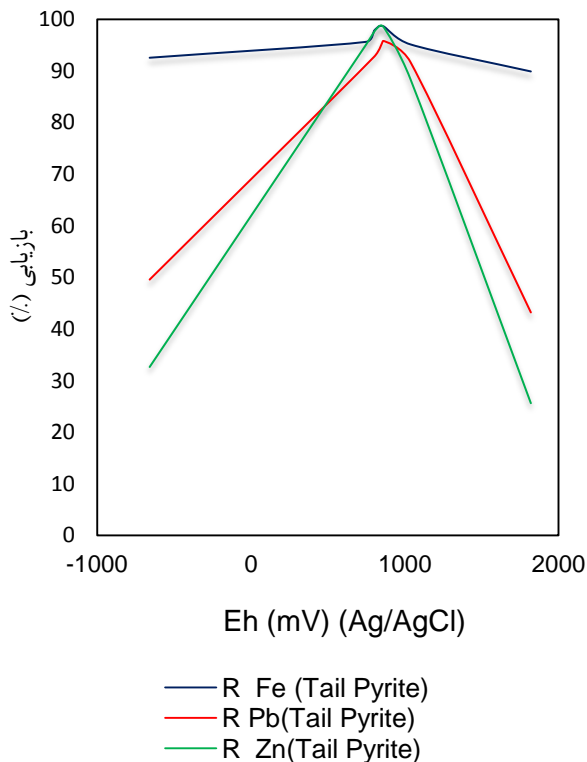
آزمایش‌های بازداشت پیریت	پتانسیل عملی	شرایط آزمایش	میزان Fe در باطله آزمایش (%)
آزمایش T_1	$-5V$ تا $+5V$	$pH=11$ $t_1=t_2=900s$	95/15
آزمایش T_2	$-3V$ تا $+3V$	$pH=11$ $t_1=t_2=900s$	97/78
آزمایش T_3	$-5V$ تا $+5V$	$pH=9$ $t_1=t_2=900s$	89/91
آزمایش T_4	$-3V$ تا $+3V$	$pH=9$ $t_1=t_2=900s$	98/67
آزمایش T_5	$-3V$ تا $+3V$	$pH=7$ $t_1=t_2=900s$	95/65
آزمایش T_6	$-2V$ تا $0V$	$pH=7$ $t_1=t_2=900s$	92/58
آزمایش T_7	$-2V$ تا $0V$	$pH=7$ $t_1=t_2=900s$	90/30
آزمایش T_8	$-2V$ تا $0V$	$pH=9$ $t_1=t_2=450s$	94/31

نمودارهای بازیابی- pH در آزمایش‌های بازداشت در شکل-های ۲ تا ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که در نمودارهای بازیابی- pH پیریت در باطله مشاهده شده است، با افزایش pH ($pH=7$ تا $pH=11$)، بازیابی پیریت و گالن و اسفالریت به ترتیب از ۹۴٪ تا ۹۷٪، ۶۴٪ تا ۹۲٪، ۶۲٪ تا ۹۲٪ افزایش یافته است. با توجه به این که در محیط فرآیند ارتباط معنی‌داری بین pH و Eh (ناشی از اعمال پتانسیل) وجود دارد، بنابراین می‌توان اثر تأثیر پتانسیل بر بازیابی را به صورت اثر pH بر بازیابی در نظر گرفت. چون pH به راحتی قابل اندازه‌گیری است. این رابطه به صورت $Eh = pH + 0.253$ است.

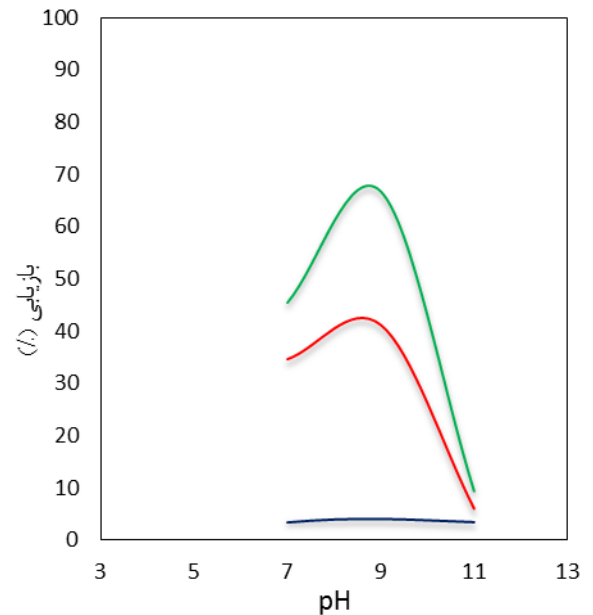
در نمودار بازیابی- pH کنسانتره تجمعی گالن و اسفالریت همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقدار بازیابی پیریت کمتر از ۴٪ است. بازیابی گالن و اسفالریت در کنسانتره تجمعی گالن و اسفالریت، با افزایش pH تا مقدار ۸/۵، افزایش در حالی که بعد

اندکی افزایش و بعد از $Eh=+10\text{mV}$ ، با افزایش Eh میزان بازیابی گالن در کنسانتره تجمعی گالن و اسفالریت کاهش می‌یابد. همچنین بازیابی اسفالریت با افزایش Eh از $Eh=0\text{mV}$ تا $Eh=+60\text{mV}$ ، تقریباً ثابت و بعد از $Eh=+60\text{mV}$ ، با افزایش Eh میزان بازیابی اسفالریت در کنسانتره تجمعی گالن و اسفالریت کاهش می‌یابد.

براساس نمودارهای بازیابی Eh -آزمایش‌های بازداشت، می‌توان چنین استنتاج نمود که بیشترین و کمترین جدایش بین پیریت با گالن و اسفالریت به ترتیب در $Eh=-600\text{mV}$ تا $Eh=-100\text{mV}$ و $Eh=+250\text{mV}$ تا $Eh=+1100\text{mV}$ اتفاق افتاده است.



شکل ۴: نمودار بازیابی Eh - در باطله آزمایش‌های بازداشت پیریت

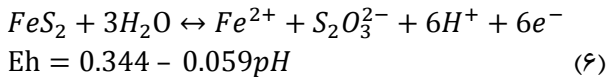
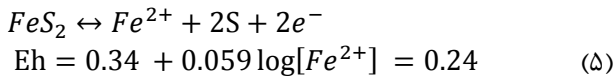


شکل ۳: نمودار بازیابی pH - کنسانتره تجمعی گالن و اسفالریت در آزمایش‌های بازداشت

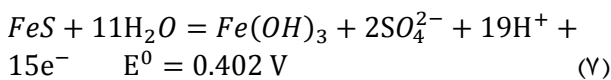
نمودارهای بازیابی Eh -آزمایش‌های بازداشت در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است. در نمودار بازیابی Eh - پیریت در باطله (شکل ۴) مشاهده شده است که با افزایش Eh از $Eh=-600\text{mV}$ تا $Eh=+700\text{mV}$ ، بازیابی پیریت از ۹۲٪ تا ۹۵٪ با سرعت کم، افزایش یافته است. در $Eh=+800\text{mV}$ مقدار بازیابی پیریت ماکزیمم و برابر با ۹۸٪ است. بعد از $Eh=+800\text{mV}$ ، با افزایش Eh مقدار بازیابی پیریت با سرعت کم، کاهش یافته است. میزان بازیابی گالن و اسفالریت با افزایش Eh از $Eh=-600\text{mV}$ تا $Eh=+800\text{mV}$ افزایش، بعد از $Eh=+800\text{mV}$ با افزایش Eh ، میزان بازیابی گالن و اسفالریت کاهش یافته است.

همان‌طور که در نمودار بازیابی Eh - کنسانتره تجمعی گالن و اسفالریت (شکل ۵) مشاهده می‌شود، میزان بازیابی پیریت، گالن و اسفالریت در کنسانتره تجمعی گالن و اسفالریت به ترتیب کمتر از ۷٪ و ۷۰٪ و ۴۲٪ می‌باشد. در نمودار بازیابی Eh - کنسانتره تجمعی گالن و اسفالریت مشاهده شده است که با افزایش Eh از $Eh=0\text{mV}$ تا $Eh=+250\text{mV}$ ، بازیابی پیریت در کنسانتره تجمعی گالن و اسفالریت، تغییر محسوسی ندارد در حالی که با افزایش Eh از $Eh=0\text{mV}$ تا $Eh=+10\text{mV}$ ، بازیابی گالن در کنسانتره تجمعی گالن و اسفالریت به میزان

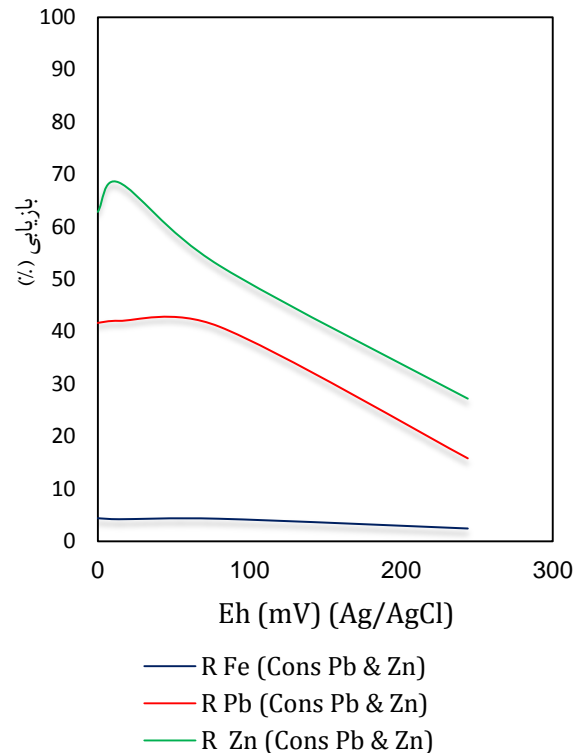
$$7e^- \quad Eh = 0.48 - 0.076pH \quad (4)$$



در اثر اندرکنش گالوانیکی، پیریت که به عنوان کاتد عمل نموده و پیریت به شکل یک سلول موضعی (معادله ۷) شدیداً اکسید می‌شود که این معادله نیز موجب بازداشت پیریت می‌شود [۱].



در شکل‌های ۶ و ۷ پیک‌های قابل تشخیص و مجزای آندی در (A_1) مشاهده شده است. پیک آندی در شکل‌های ۶ و ۷ در محدوده پتانسیل $+200V$ تا $-100V$ (در مقیاس $Ag/AgCl$) است. در شکل ۶ واکنش‌های اکسایش پیریت که به صورت پیک آندیک (A_1) در منحنی نشان داده شده است، معادله‌های (۵) و (۶) و (۷) است. واکنش‌های اکسایش پیریت در پیک آندیک (A_1) در شکل ۷، معادله (۴) و (۵) و (۷) است [۶، ۱]. واکنش‌های اکسایش پیریت در پیک آندیک (A_1) در شکل ۸، معادله (۳) و (۴) و (۷) است [۶، ۱].

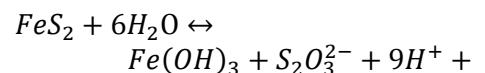
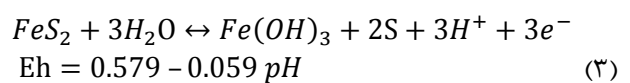


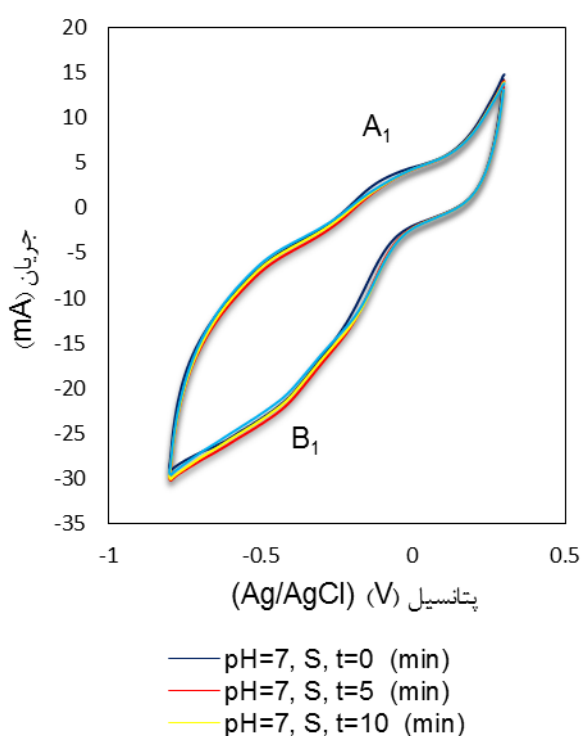
شکل ۵: نمودار بازیابی Eh -کنسانتره تجمعی گالن و اسفالریت در آزمایش‌های بازداشت پیریت

۴- بحث و نتایج

سطوح آبران و آب‌دوست در سطح کانی‌های سولفیدی ناشی از واکنش‌های سطحی است که طی مراحل مختلف پدیده‌های الکتروشیمیایی صورت می‌گیرد [۳]. جدا از اندرکنش‌های گالوانیکی بین کانی‌های سولفیدی موجود در پالپ (پیریت و اسفالریت و گالن)، تشکیل گونه‌های آب‌دوست از قبیل $Fe(OH)_3$ ، $S_2O_3^{2-}$ ناشی از واکنش‌های الکتروشیمیایی در مقادیر مختلف Eh و pH محیط، عامل بازداشت پیریت است.

شکل‌های ۶ تا ۱۰، مطالعات ولتامتری چرخه‌ای الکتروود پیریت در محیط پالپ (چند کانی) در pH های مختلف را نشان داده شده است. واکنش‌های اکسیداسیون پیریت بسته به شرایط الکتروشیمیایی پالپ در pH های مورد بررسی، به صورت معادلات (۳) و (۴) و (۵) و (۶) می‌باشند [۳، ۶].

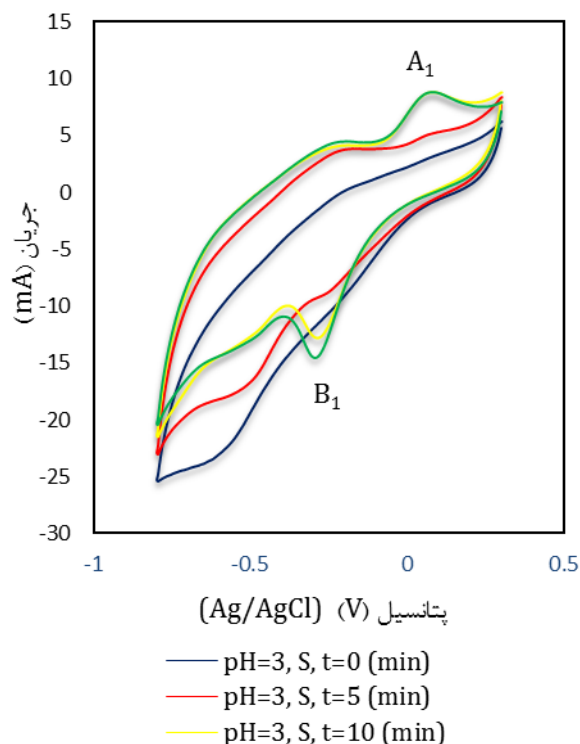




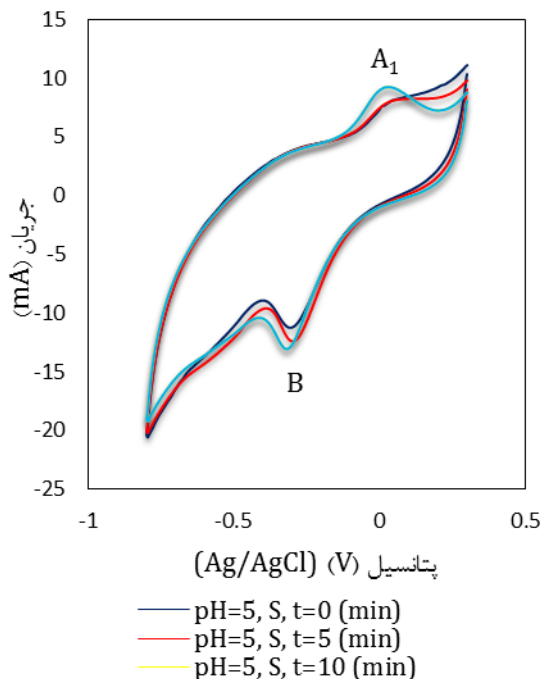
شکل ۸: منحنی ولتامتری چرخه‌ای الکتروود پیریت در $pH=7$ در محیط پالپ با زمان آماده‌سازی متفاوت

در شکل‌های ۹ و ۱۰ پیک‌های آندی قابل تشخیص و مجزایی مشاهده نمی‌شود، این امر ناشی از واکنش‌های کند اکسیداسیون پیریت و یا هم‌پوشانی واکنش‌های متعدد اکسیداسیون پیریت با یکدیگر می‌باشد که به صورت یک روند صعودی کلی در گراف‌های ولتامتری چرخه‌ای پیریت ظاهر شده‌اند [۳].

واکنش‌های اکسیداسیون پیریت که در $pH=9$ و $pH=11$ اتفاق افتاده‌است، معادله‌های (۳) و (۴) و (۷) است. عکس این واکنش‌های اکسایش در پیک کاتدی اتفاق افتاده‌است [۶،۱]. در معادله‌های (۳) و (۴) و (۶) و (۷) گونه‌های آب‌دوست در اثر اکسایش پیریت در سطح کانی تشکیل و منجر به بازداشت پیریت می‌شود. در معادله‌های (۵) و (۳) اگرچه گونه آبران (گوگرد عنصری) در محیط تشکیل شده است ولی گونه‌های آب‌دوست تشکیل شده در محیط اثر آبرانی گوگرد عنصری را کاهش داده و منجر به بازداشت پیریت در محیط شده است.



شکل ۶: منحنی ولتامتری چرخه‌ای الکتروود پیریت در $pH=3$ در محیط پالپ با زمان آماده‌سازی متفاوت



شکل ۷: منحنی ولتامتری چرخه‌ای الکتروود پیریت در $pH=5$ در محیط پالپ با زمان آماده‌سازی متفاوت

در شکل ۸ پیک‌های قابل تشخیص و مجزای آندی (A_1) مشاهده شده‌است. پیک آندی در شکل ۸ در محدوده پتانسیل 0.7 تا -2.0 V (در مقیاس $Ag/AgCl$) است.

۴- نتیجه گیری

۱- پدیده اثر گالوانیک در اثر اختلاف در پتانسیل آزاد کانی‌ها انجام می‌شود. هر چند پدیده اثر گالوانیک را باید در فلوتاسیون الکتروشیمیایی کانی‌های مخلوط در نظر گرفت، اما شناخت رفتار یک کانی و تعیین محدوده‌ای از پتانسیل که در آن خاصیت آب‌دوستی یا آبرانی دارد، می‌تواند راهنمای خوبی برای تعیین رفتار آن کانی در یک سیستم پیچیده پالپ باشد.

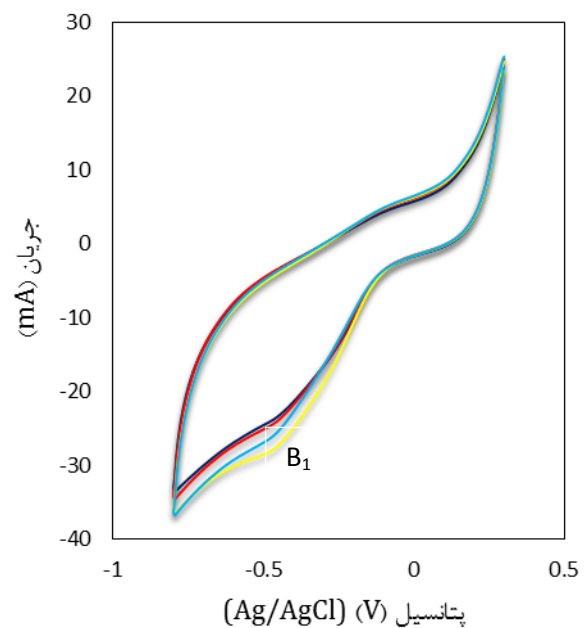
۲- در فلوتاسیون الکتروشیمیایی پیریت با اعمال پتانسیل خارجی، عامل بازداشت پیریت گونه‌های آب‌دوست از قبیل $Fe(OH)_3$ ، $S_2O_3^{2-}$ است که در طی واکنش‌های اکسایش پیریت در محیط شکل گرفته است. وجود گونه‌های آب‌دوست با استفاده از آزمایش‌های ولتامتری چرخه‌ای اثبات شده است. پیک‌های A_1 در ولتاگرام‌های نشان داده شده در شکل‌های ۶ و ۷ و بیان‌گر این گونه‌ها است.

۳- نتایج آزمایش‌های بازداشت پیریت نشان داده است که در تمام آزمایش‌ها، پیریت بازداشت شده است. در pH ‌های خنثی و قلیایی بازداشت پیریت بالای ۹۰٪ می‌باشد که نشان‌گر این است که عملیات بازداشت پیریت با اعمال پتانسیل خارجی موفقیت‌آمیز بوده است.

۴- براساس نمودارهای بازیابی- Eh و نمودارهای بازیابی- pH آزمایش‌های بازداشت، بیشترین جدایش پیریت از گالن و اسفالریت در $pH=7-9$ و $-600mV$ تا $-100mV$ رخ داده است. کمترین جدایش پیریت از گالن و اسفالریت در $pH=11$ و $+250mV$ تا $+1100mV$ رخ داده است.

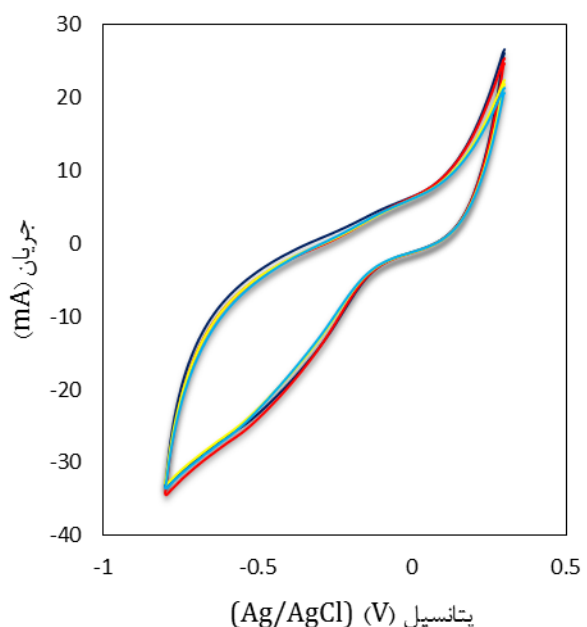
مراجع

- [۱] رضایی بهرام، "پدیده‌های اندرکنش در فرآوری مواد معدنی"، تهران، جهاد دانشگاهی، واحد صنعتی امیرکبیر، ۱۳۹۱، ص ۵۹۴، ۵.
- [۲] رضایی بهرام، "فلوتاسیون"، انتشارات دانشگاه هرمزگان، ۱۳۷۸، ص ۴۴۳.
- [۳] طاهری بیژن، عبدالهی محمود، شفائی تنکابنی سید ضیال‌الدین، جوادیان فرزانه سهیلا، "جداسازی کالکوسیت از پیریت به روش شناورسازی با کنترل پتانسیل اکسیداسیون-احیا پالپ"، ۱۳۹۲، علوم و مهندسی جدایش، ۵، ۳۵-۴۷.
- [۴] غریبی خداکرم، "بازداشت کانی‌ها در فلوتاسیون- خارجی (مطالعه موردی بازداشت کالکوپیریت در مدار فرآوری



شکل ۹: منحنی ولتامتری چرخه‌ای الکترود پیریت در $pH=9$ در محیط پالپ با زمان آماده‌سازی متفاوت

— pH=9, S, t=0 (min) — pH=9, S, t=5 (min)
— pH=9, S, t=10 (min) — pH=9, S, t=15 (min)



شکل ۱۰: منحنی ولتامتری چرخه‌ای الکترود پیریت در $pH=11$ در محیط پالپ با زمان آماده‌سازی متفاوت

— pH=11, S, t=0 (min)
— pH=11, S, t=5 (min)
— pH=11, S, t=10 (min)

مولیبدن"، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۳۹۲، ص ۱۳۹.

[۵] غریبی خداکرم، شفائی تنکابنی سید ضیاالدین، زارع حمیدرضا، یاراحمدی محمد رضا، زید آبادی صدیقه، "حذف کالکوپیریت از کنسانتره مس- مولیبدن به روش فلوتاسیون- الکتروشیمیائی با اعمال پتانسیل خارجی"، نشریه علمی پژوهشی مهندسی معدن شماره ۱۶، خرداد ۹۱، ص ۵۳-۶۷.

[۶] هو یوهوآ، سون وس، دیاندزو وانگ، "الکتروشیمی فلوتاسیون کانی‌های سولفیدی"، رضایی بهرام، شهابی‌آذر علی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۹۱، ص ۳۹۴.

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

[8] Hicyilmaz, C., Altun, E., Ekmekci, Z., Pyrite-DTPI interaction as a "Gokagac, G., (2004). . Colloids and "function of pulp potential and PH Surfaces A: Physicochem. *Eng. Aspects* 233. pp11-24

