بررسی آماری روش جدید ژئوکت برای استحصال میکروبی کنسانتره طلای موته

منوچهر اولیازاده
دانشیار گروه مهندسی معدن - دانشکده فنی - دانشگاه تهران
احمدرضا شاهوردی
استادیار دانشکده داروسازی - دانشگاه تهران
محمد داودی
فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد فرآوری مواد معدنی - دانشکده فنی - دانشگاه تهران
حسین کاظمی
فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد اکتشاف معدن- دانشکده فنی - دانشگاه تهران
(تاریخ دریافت ، ۸۲/۱/۱۷ تاریخ تصویب ۸۲/۱۲/۲۳)

چکیده

بیواکسیداسیون توده‌ای یک روش پیش فرآوری کنسانتره‌های مقاوم طلا است که با اکسید نمودن کنسانتره می‌تواند سبب افزایش بازیابی طلا در مرحله سیانوراسیون شود. این روش از نظر هزینه و مسائل محیط زیستی نسبت به سایر روش‌های پیش فرآوری کانسنگ‌های مقاوم طلا برتری دارد. از آنجا که به علت ریزدانه بودن کنسانتره نمی‌توان آن را به روش توده‌ای فرآوری نمود لذا در روش جدید ژئوکت، کنسانتره بر روی یک سنگ پایه قرار می‌گیرد. در این مقاله تاثیر سه پارامتر موثر در روش ژئوکت کنسانتره مقاوم معدن طلای موته، به روش تحلیل پراش بررسی و سپس تفسیر شده است. این سه پارامتر عبارتند از: درجه انباشتگی آسیا، زمان ماند و تعداد سیکل پاشش کنسانتره. نتایج حاصل نشان داد که درجه انباشتگی کم آسیا به دلیل افزایش نسبت سطح مورد پاشش به وزن مواد، بیشترین تاثیر را بر افزایش درصد کنسانتره پوشش یافته دارد اما افزایش زمان ماند تاثیر کمی بر افزایش درصد پوشش دارد. میزان بهینه زمان ماند باید با بررسی‌های فنی - اقتصادی تعیین گردد. در نهایت هر چه تعداد سیکل پاشش بیشتر شود درصد پوشش افزایش خواهد یافت. بنابراین مناسب است که تعداد سیکل را حداکثر نمود یعنی پاشش به صورت پیوسته انجام شود.

واژه‌های کلیدی: کانسنگ مقاوم، بیواکسیداسیون، پوشش دادن، تحلیل پراش، اثر تداخل

مقدمه

در فرآوری مواد معدنی سولفیدی طلادار، به کانسنگ‌هایی که بازیابی طلای آنها به روش سیانوراسیون کمتر از ۸۰ درصد باشد کانسنگ مقاوم گفته می‌شود. به منظور افزایش بازیابی طلا می‌توان از خردایش زیاد کانسنگ و یا اکسیداسیون استفاده نمود. خردایش زیاد کانسنگ مقاوم برای دستیابی به آزادی بیشتر ذرات طلا صورت می‌گیرد که عملیاتی پرهزینه است. راه‌حل کم‌هزینه‌تری که برای افزایش بازیابی طلا ارائه شده اکسید نمودن کانسنگ مقاوم می‌باشد. عملیات اکسیداسیون می‌تواند به روش‌های حرارتی، اکسیداسیون تحت فشار و بیواکسیداسیون انجام شود. روش حرارتی (تشویه) که از دیرباز در صنعت به کار می‌رفته است به علت تصاعد گازهای سولفوره از نظر محیط زیست بسیار آلوده‌کننده است. اکسیداسیون تحت فشار، روشی جدید با بازیابی بسیار بالا است که به طور صنعتی تنها در تعداد محدودی از معادن دنیا مورد استفاده قرار گرفته است. این روش بیشتر برای کانسنگ‌های پرعیار و یا

کنسانتره‌ها مطرح است. عیب عمده این روش نیاز به هزینه‌های سرمایه‌ای زیاد می‌باشد. اکسیداسیون بیولوژیکی نیز فرایندی جدید است که علاوه بر بازیابی بالا و هزینه سرمایه‌ای کم، مشکلات زیست‌محیطی بسیار کمی دارد، اما در عوض فرایندی زمان‌بر است. معمولا بیواکسیداسیون برای کانسنگ‌های سولفیدی کم‌عیار به کار می‌رود. بیواکسیداسیون به دو روش متداول مخزن همزن‌دار و فروشویی توده‌ای[1] انجام می‌شود. سیستم مخزن همزن‌دار در مقایسه با روش توده‌ای سرعت اکسیداسیون بالاتری دارد ولی پرهزینه‌تر است. روش توده‌ای را می‌توان هم بر روی کانسنگ بسیار کم‌عیار و هم کنسانتره کانسنگ سولفیدی اجرا نمود که انتخاب یکی از این دو حالت بستگی به بررسی‌های فنی - اقتصادی دارد. در صورتی که از کنسانتره به عنوان خوراک استفاده شود می‌توان با عملیات آگلومراسیون کنسانتره را به صورت قطعات درشت‌تر درآورد تا محلول باکتری‌دار و هوای لازم بتوانند به طور پیوسته با این قطعات در تماس باشند و عمل بیواکسیداسیون بهتر انجام شود[۱]. روش مناسب‌تر برای این منظور استفاده از تکنیک ژئوکت[2] است. اساس این روش پوشش دادن کنسانتره سولفیدی مقاوم طلادار بر روی یک سنگ پایه می‌باشد. اکسیداسیون کنسانتره پوشش داده شده نسبت به روش آگلومراسیون، زمان بسیار کمتری نیاز دارد. پس از مرحله بیواکسیداسیون، کنسانتره از سطح سنگ پایه شسته شده، pH آن تنظیم و سپس طلای آن به روش سیانوراسیون بازیابی می‌شود. روش ژئوکت، علاوه بر هزینه بسیار پایین و زمان کمتر نسبت به سایر روش‌های بیواکسیداسیون توده‌ای این مزیت را دارد که امکان فرآوری سنگ پایه نیز پس از گذشت مدتی فراهم می‌شود[۲].

در این مقاله عملیات پوشش دادن کنسانتره مقاوم معدن طلای موته بر روی کانسنگ سولفیدی کم‌عیار آن معدن، در مقیاس آزمایشگاهی انجام شده و تاثیر سه پارامتر اصلی بر میزان کنسانتره پوشش داده شده بررسی شده است.

فرایند ژئوکت

همان طور که ذکر شد روش بیواکسیداسیون توده‌ای یک نوع پیش فرآوری است که با اکسید نمودن کنسانتره‌های مقاوم سبب افزایش بازیابی طلا در مرحله سیانوراسیون می‌شود. به علت ریزدانه بودن کنسانتره باید ابتدا کنسانتره حاصل از فلوتاسیون (یا جدایش ثقلی) بر روی یک سنگ پایه پوشش داده شود و سپس سنگ‌های پایه پوشش داده شده در هیپ انباشته شوند و به آن‌ها فرصت داده شود تا به اندازه کافی اکسید شوند. برای اجرای عملیات پوشش دادن می‌توان پالپ کنسانتره با درصد جامد بالا را بر روی سنگ پایه خشک اسپری نمود و یا اینکه کنسانتره خشک را بر روی سنگ پایه مرطوب پاشید. آبرانی کنسانتره باعث می‌شود که یک پوشش نازک نسبتا یکنواخت (به ضخامت تقریبی یک میلیمتر) روی سطح سنگ پایه تشکیل گردد. نسبت وزنی سنگ پایه به کنسانتره به طور معمول در محدوده ۵ به ۱ تا ۱۰ به ۱ قرار دارد. ابعاد قطعات سنگ پایه در هیپ (معمولا شش تا بیست میلیمتر) باید نسبتا یکنواخت باشد تا فضاهای خالی بیشتری برای عبور هوا و جریان محلول باکتری‌دار پدید آید. اکسیژن مورد نیاز برای واکنش‌های بیواکسیداسیون از طریق یک دمنده هوا (با فشار کم) تامین می‌شود. از آنجا که باکتری‌ها در دمای خاصی بیشترین فعالیت را دارند می‌توان با تغییر دبی هوای دمش شده به داخل هیپ به دمای مطلوب دست یافت.

اکسیداسیون در این روش معمولا سی تا نود روز طول می‌کشد در حالی که در اکسیداسیون به روش آگلومراسیون و یا هیپ درجا (که فقط در شرایط خاص زمین‌شناسی و ... امکانپذیر است) به دویست تا سیصد روز زمان نیاز است. همچنین مزیت دیگر این روش آن است که اگر کنسانتره بر روی باطله‌های سولفیدی کم‌عیار (که به هرحال باید نگهداری شوند) پوشش داده شود، هم کنسانتره و هم کانی‌های سولفیدی موجود در باطله (سنگ پایه)، اکسید شده و میزان فلز بیشتری استخراج خواهد شد. این امر اجازه می‌دهد که مواد با عیار کمتر از عیارحد اقتصادی نیز مورد بهره‌برداری قرار گیرند[۲].

مواد و روش‌ها

برای ارزیابی پارامترهای موثر بر فرایند پوشش دادن آزمایش‌های متعددی تحت شرایط متفاوت انجام شد. در این پژوهش پارامترهای زمان ماند (مدت زمانی که فرایند پوشش دادن انجام می‌شود)، درصد انباشتگی آسیا (نسبت حجم سنگ پایه پوشش داده شده به کل حجم آسیا) و تعداد سیکل‌های کاری (تعداد دفعات پاشش کنسانتره بر روی سنگ پایه در طول زمان ماند) مورد بررسی قرار گرفته است. به این منظور تعداد ۱۲۰ آزمایش پوشش دادن تحت شرایط مختلف زمان ماند، درصد انباشتگی آسیا و تعداد سیکل کاری انجام شد تا تاثیر هر پارامتر بر میزان پوشش مشخص گردد. نحوه انجام آزمایش بدین صورت بود که پس از ریختن مقدار معینی سنگ پایه به داخل آسیای آزمایشگاهی و گردش آسیا، محلول باکتریایی و کنسانتره پیریت به طور متناوب بر روی آن پاشیده شد. آزمایش‌ها در چهار درجه انباشتگی ۶ ، ۱۳ ، ۲۰ و ۲۸ درصد، شش زمان ماند (۱۰۰ ، ۲۰۰ ، ۳۰۰ ، ۳۶۰ ، ۶۰۰ و ۹۰۰ ثانیه) و تعداد سیکل‌های کاری یک تا ده سیکل انجام شد. به عنوان مثال اگر در آزمایشی برای پوشش دادن ۸۰۰ گرم کنسانتره، زمان ماند ۲۰۰ ثانیه و تعداد پنج سیکل مورد نظر باشد، هر ۴۰ ثانیه مقدار ۱۶۰ گرم از کنسانتره بر روی سنگ پایه پاشیده شد.

در این آزمایش‌ها از کانسنگ کم‌عیار سولفیدی معدن طلای موته به عنوان سنگ پایه استفاده شد. این کانسنگ تا ابعاد ۲/۵-۱/۵ سانتیمتر خرد شده و توسط آسیای بدون گلوله در محیط تر به مدت یک ساعت آماده‌سازی شد تا گوشه‌های تیز دانه‌ها گرد شده و سطح مخصوص آن افزایش پیدا کند. کنسانتره‌ای که برای پوشش روی سنگ پایه به کار رفت کنسانتره پیریت طلادار معدن موته با عیار ۳۰ppm طلا بود.

آسیای به کار رفته دارای حجم $9000\ cm^3$ و سرعت چرخش ۵۸ rpm بود. میزان رطوبت برابر ۱۶٪ وزن کنسانتره درنظر گرفته شد. محلول باکتریایی به طور تقریبی شامل 10^8 سلول در هر میلی‌لیتر محیط کشت بود.

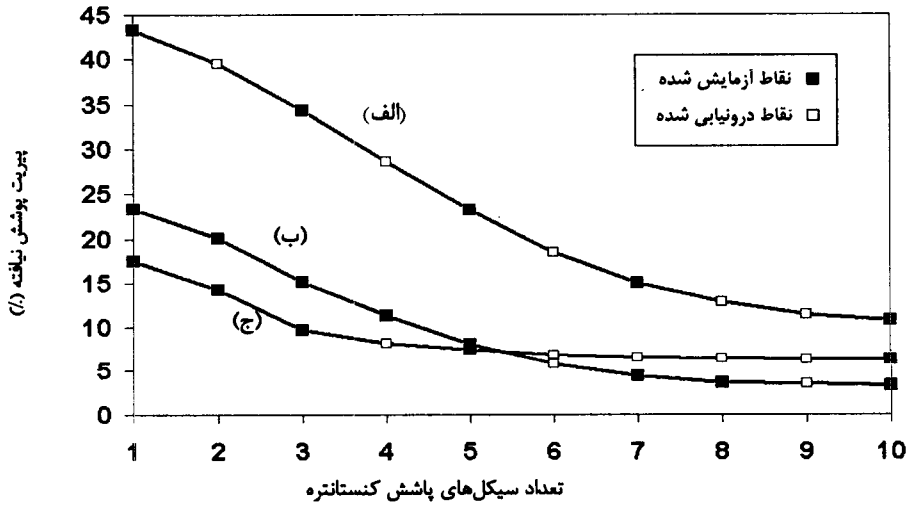
برای بررسی تاثیر عوامل موثر در پوشش دادن از تحلیل پراش استفاده شد. تحلیل پراش[۳] (ANOVA) یک تکنیک آماری است که می‌تواند وجود اختلاف معنی‌دار (از نظر آماری) بین میانگین‌های چندین مجموعه داده (که توسط یک یا چند فاکتور گروه‌بندی شده‌اند) را نشان دهد. اساس تحلیل پراش بر مبنای تجزیه تغییرپذیری به مولفه‌های آن است. در صورتی که وجود اختلاف معنی‌دار بین داده‌ها اثبات شود می‌توان فاکتورها (یا ترکیبی از فاکتورها) که سبب ایجاد اختلاف شده‌اند را شناخت [۴].

برای انجام تحلیل پراش به مجموعه کاملی از داده‌ها (که در آن برای تمام ترکیبات فاکتوری مقدار کمیت مطلوب معلوم باشد) نیاز است. در مطالعه حاضر سه فاکتور درجه انباشتگی، زمان ماند و تعداد سیکل‌ها به ترتیب دارای چهار، شش و ده سطح مختلف می‌باشند. بنابراین ۲۴۰ ترکیب از سطوح فاکتورهای مختلف وجود دارد. اما انجام این تعداد آزمون هم از نظر هزینه و هم زمان مورد نیاز معقول نیست[۳]. در این بررسی ابتدا حدود ۶۰ آزمایش پوشش دادن انجام شد. بررسی نتایج نشان داد که داده‌ها از الگوی خاصی تبعیت می‌کنند. با شناخت این الگوی تغییرات و استفاده از داده‌های موجود می‌توان مابقی داده‌ها را از طریق درونیابی با خطای ناچیزی تخمین زد. بدین منظور مجددا ۶۰ آزمایش دیگر به طور کاملا انتخابی انجام شد و از نتایج ۱۲۰ آزمایش انجام شده برای درونیابی استفاده گردید.

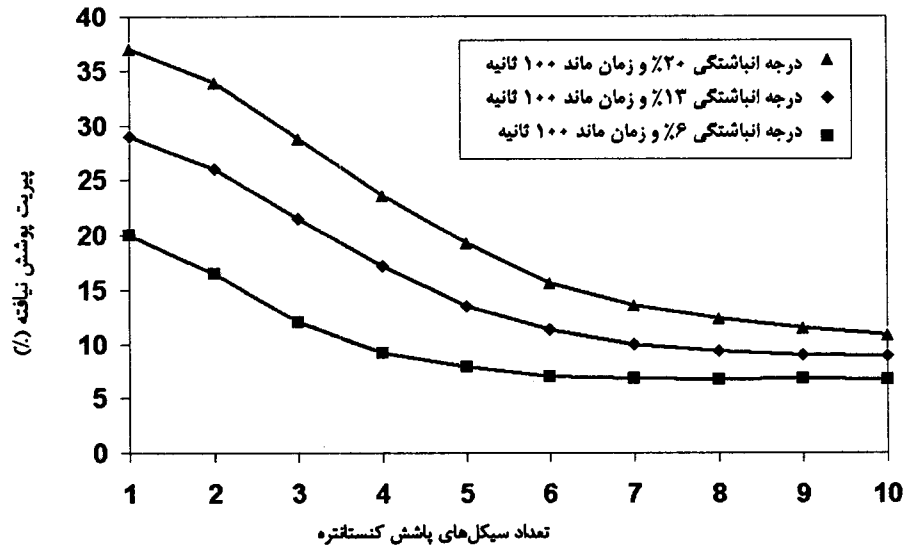
نتایج

نمودار تغییرات میزان پیریت پوشش نیافته نسبت به تعداد سیکل و درجه انباشتگی در شکل (۱) نشان داده شده است. این نمودار با داده های ۳۰ آزمایش رسم شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود منحنی ها دارای روند مشابهی هستند، بدین معنی که شیب زیاد منحنی در تعداد سیکل های کم با افزایش تعداد سیکل‌ها، به سمت خط افقی میل می‌کند. با توجه به اینکه داده های ۳۰ آزمایش دیگر نیز دارای همین الگوی تغییرات بوده‌اند، می‌توان این الگو را برای حالاتی که تنها بخشی از نقاط منحنی

در دسترس است تعمیم داد. البته باید توجه داشت که نقاط اندازه‌گیری شده باید به تعداد کافی باشند و علاوه بر این در قسمت‌های پرشیب منحنی تعدادشان بیشتر از قسمت‌هایی باشد که میزان پیریت پوشش نیافته چندان تغییری نمی‌کند و تقریبا به مقدار ثابتی رسیده است. این نکات در طراحی ۶۰ آزمایش بعدی به کار رفته است تا خطای درونیابی بقیه داده‌ها به حداقل برسد. به عنوان نمونه در شکل (۲) درونیابی‌های انجام شده در سه حالت مختلف آورده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود در هر سه منحنی نقاط پراهمیت توسط آزمایش اندازه‌گیری شده‌اند. در منحنی ج شکل (۲) نتایج سیکل‌های پنجم و دهم اختلاف اندکی دارند، بنابراین نقاط درونیابی شده بین آن‌ها نیز خطای بسیار ناچیزی خواهند داشت. لازم به ذکر است که درونیابی‌ها تقریبا خطی بوده و گاهی با توجه به الگوی منحنی‌ها، کمی از حالت خطی فاصله می‌گیرد.



شکل ۱: تغییرات میزان کنسانتره پوشش نیافته نسبت به تعداد سیکل و درجه انباشتگی .



شکل ۲: وضعیت داده‌های آزمایش شده و درونیابی شده در سه حالت مختلف. الف) درجه انباشتگی ۲۸٪ و زمان ماند ۶۰۰ ثانیه. ب) درجه انباشتگی ۱۳٪ و زمان ماند ۶۰۰ ثانیه. ج) درجه انباشتگی ۶٪ و زمان ماند ۲۰۰ ثانیه.

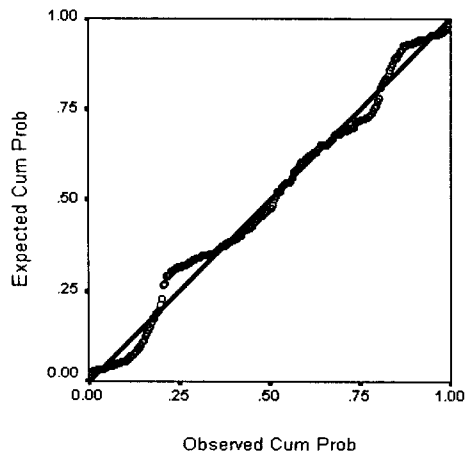
جدول ۱: نتایج تحلیل پراش با فرض عدم وجود اثر تداخل.

منبع تغییرپذیری	مجموع مربعات	درجه آزادی	میانگین مربعات	F	Prob > F
درجه انباشتگی	۱۲۳۹۳/۸	۳	۱۴۳۱/۲۶	۴۷۲/۹۳	۰/۰۰۰
زمان ماند	۹۸۹/۷	۵	۱۹۷/۹۳	۲۲/۶۶	۰/۰۰۰
تعداد سیکل	۱۴۸۱۱/۶	۹	۱۶۴۵/۷۳	۱۸۸/۴	۰/۰۰۰
خطا	۱۹۳۹/۳	۲۲۲	۸/۷۴		
کل	۳۰۱۳۴/۴	۲۳۹			

در نهایت تعداد ۲۴۰ داده (آزمایش شده و درونیابی شده) برای انجام تحلیل پراش به کار رفتند. برای بررسی تغییرپذیری نتایج آزمایشات در اثر تغییر سه پارامتر مورد بررسی، تحلیل پراش سه طرفه انجام شد. از آنجا که مقادیر معینی برای سطوح هر سه فاکتور انتخاب شده است از مدل اثر ثابت[۴] باید استفاده نمود. نکته مهم این که چون هر ترکیب از فاکتورها (یعنی هر رفتار[۵]) تنها یک بار آزمایش شده لذا اندازه‌گیری مولفه خطای تصادفی امکان‌پذیر نیست. بنابراین اثر تداخل[۶] را نمی‌توان بررسی کرد. یک راه‌حل این است که فرض شود اثر تداخل وجود ندارد و تنها تاثیر عوامل اصلی[۷] (فاکتورها) در نظر گرفته شود[۵]. جدول ۱ نتایج چنین تحلیل پراشی (توسط نرم‌افزار SPSS) را نشان می‌دهد. همانطور که از ستون آخر جدول مشخص است هر سه فاکتور مورد بررسی اختلاف بسیار معنی‌داری در نتایج پوشش دادن ایجاد می‌کنند. سطح معنی‌داری این اختلاف تا سه رقم اعشار صفر است.

به عبارت دیگر امکان اینکه این نتیجه‌گیری نادرست باشد کمتر از یک هزارم است.

از آنجا که در این تحلیل پراش فرض عدم تداخل فاکتورها در نظر گرفته شده بنابراین لازم است با بررسی داده‌ها و بازماندها[۸] صحت این فرض را سنجید[۵]. تحلیل بازماندها نقش مهمی در ارزیابی مدل برازش داده شده توسط ANOVA دارد. بازماند تفاضل بین مشاهدات و مقادیر تخمین زده شده (برازش داده شده) توسط مدل آماری است. به دلیل اینکه در محاسبه بازماندها مقادیر اثرات فاکتورهای اصلی حذف می‌شود بنابراین می‌توانند اطلاعاتی در مورد تغییرپذیری توجیه نشده ارائه دهند[۵]. توزیع بازماند یک مدل خوب برازش داده شده تقریبا نرمال خواهد بود. فرض نرمال بودن توزیع بازماندها را می‌توان با رسم نمودار احتمال-احتمال[۹] کنترل کرد. شکل (۳) نمودار P-P را برای بازماندها نشان می‌دهد. نقاط رسم شده در این نمودار به خط مستقیم (توزیع نرمال) بسیار نزدیکند و می‌توان نتیجه گرفت که بازماندها توزیع نرمال دارند.



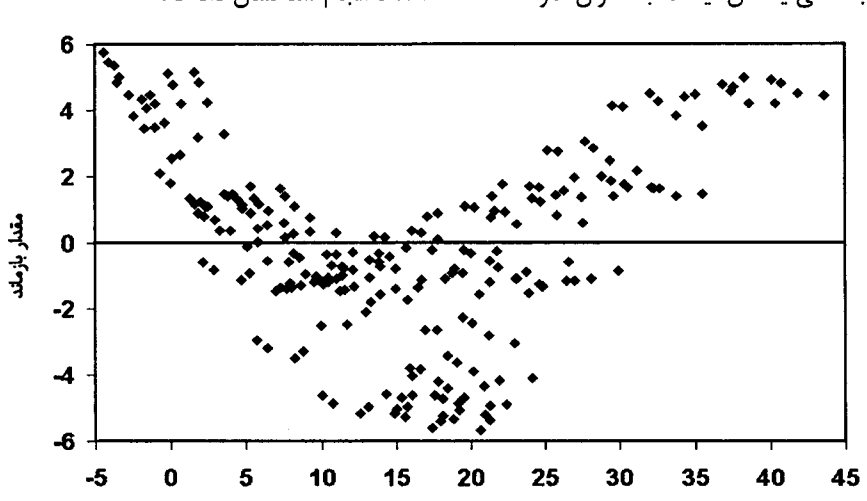
شکل ۳: نمودار P-P بازماندهای مدل تحلیل پراش (با فرض عدم وجود اثر تداخل).

ویژگی دیگر یک مدل ANOVA مناسب این است که تغییرپذیری بازماندها به مقدار برازش داده شده وابسته نیست[۵]. نمودار بازماندها در مقابل مقادیر برازش داده شده در شکل (۴) رسم شده است. همان طور که از این شکل مشخص است مدل خوب برازش نیافته و یک سری تغییرپذیری‌های توجیه نشده در داده‌ها وجود دارد که احتمالا این تغییرپذیری‌ها ناشی از وجود اثر تداخل می‌باشند.

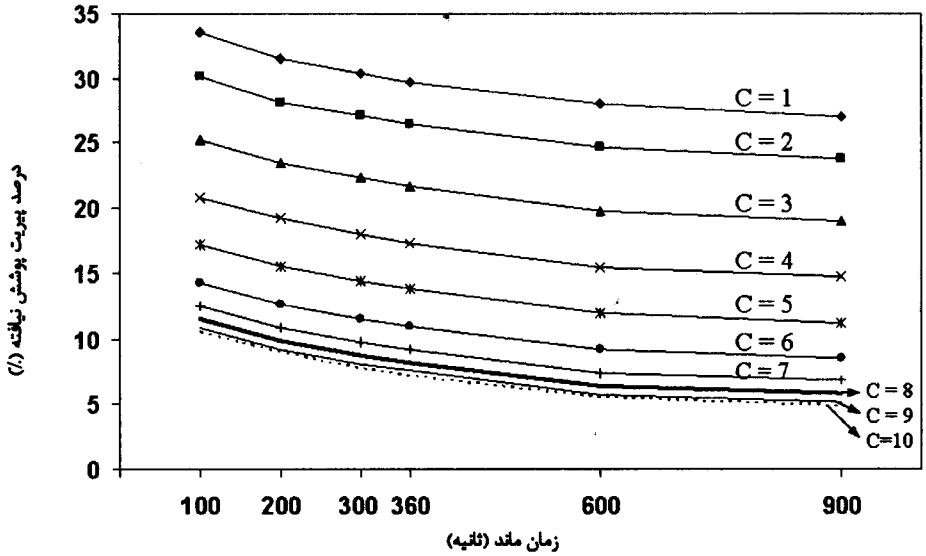
وقتی اثر تداخل بزرگی بین دو فاکتور وجود داشته باشد اثرات اصلی هر کدام از دو فاکتور اعتبار چندانی نخواهند داشت. زیرا ممکن است اثر تداخل، معنی‌داری تاثیر عوامل اصلی را بپوشاند. بنابراین دانستن تداخل بین دو فاکتور مفیدتر از دانستن اثرات اصلی آن‌هاست[۵].

در ادامه برای تحقیق در مورد اینکه این تداخل بین کدام فاکتورهاست نمودارهای تداخل دو فاکتوری[۱۰] رسم شد. شکل (۵) میانگین پیریت پوشش نیافته را در مقابل سطوح متفاوت زمان ماند (برای تعداد سیکل‌های مختلف) نشان می‌دهد. در این نمودار هر نقطه معرف میانگین درصد پیریت پوشش نیافته در شش زمان ماند مختلف است. موازی بودن منحنی‌ها در نمودار به معنی عدم تداخل دو فاکتور می‌باشد. از آنجا که در نمودار دو فاکتوری درجه انباشتگی - زمان (شکل ۶) نیز منحنی‌ها تقریبا موازی هستند می‌توان نتیجه گرفت که تداخل معنی‌داری بین این دو عامل نیز وجود ندارد. اما در شکل (۷) که نمودار دو فاکتوری درجه انباشتگی – تعداد سیکل را نشان می‌دهد، منحنی‌های مربوط به تعداد سیکل‌های زیاد و کم، موازی نیستند و این مساله وجود اثر تداخل را نشان می‌دهد. در واقع تداخل این دو فاکتور به این معنی است که تفاوت در مقدار پیریت پوشش نیافته بین سطوح مختلف تعداد سیکل در همه سطوح فاکتور درجه انباشتگی یکسان نیست. به عنوان نمونه برای تعداد سیکل‌های کم، تغییر درجه انباشتگی از ۶٪ به ۲۸٪ تفاوت زیادی (در حدود ۳۰٪) در میزان پوشش ایجاد می‌کند. اما همین امر برای تعداد سیکل‌های زیاد تفاوت کمتری (حدود ۱۰٪) ایجاد می‌کند. به عبارت دیگر تاثیر تعداد سیکل بستگی به سطوح فاکتور درجه انباشتگی دارد.

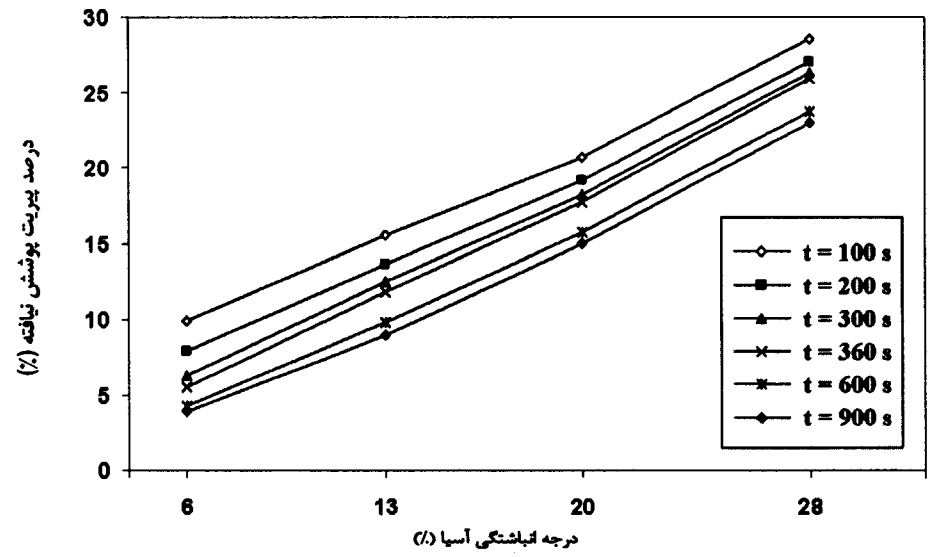
برای اینکه نتایج بدست آمده از شکل‌های (۵) تا (۷) به طور کمّی تایید شوند به یک تحلیل پراش کامل (تمام فاکتوری) که اثرات تداخل را هم در نظر بگیرد نیاز است. بنابراین برای هر ترکیب از سطوح فاکتورها باید بیش از یک مشاهده داشته باشیم. به دلیل آن که آزمایش‌های انجام شده در مراحل مختلف با دقت بالایی انجام شده‌اند لذا مقادیر پیریت پوشش نیافته خطای ناچیزی (در حد کمتر از یک درصد) دارند. با در نظر گرفتن این نکته می‌توان یک سری داده دیگر را با افزودن مقدار معقول و مورد انتظار از خطای آزمایشگاهی تولید کرد. به این منظور یک بار به تمام داده‌های پیریت پوشش نیافته یک درصد اضافه و یک بار یک درصد از آن کسر شد. میانگین این دو مقدار معادل مقدار اندازه‌گیری شده در آزمایش است. اکنون برای هر ترکیب از سطوح فاکتورها دو مشاهده موجود است. لازم به ذکر است که این کار صرفا جهت تایید وجود اثر تداخل توسط تحلیل پراش صورت می‌گیرد. تحلیل پراشی که روی این داده‌ها انجام شد نشان داد که:



شکل ۴: نمودار مقادیر بازماند در مقابل مقادیر برازش داده شده.



شکل ۵: نمودار تداخل دو فاکتوری زمان ماند و تعداد سیکل.



شکل ۶: نمودار تداخل دو فاکتوری درجه انباشتگی – زمان ماند.

(۱) اثر سه فاکتور اصلی در ایجاد اختلاف بین نتایج بسیار معنی‌دار است و سطح معنی‌داری تا سه رقم اعشار صفر است.

(۲) اثر تداخل زمان ماند در سیکل به هیچ وجه معنی‌دار نیست (p = ۱/۰۰۰).

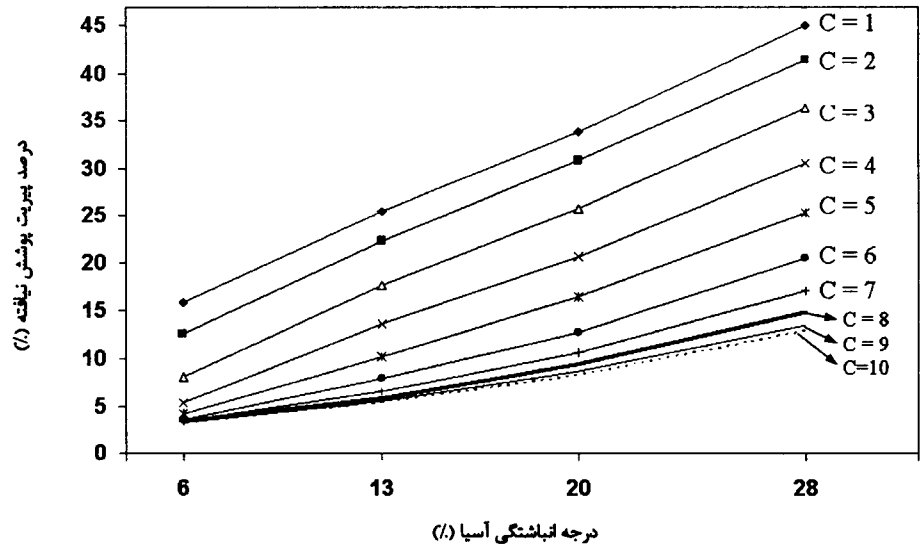
(۳) اثر تداخل درجه انباشتگی در زمان نیز معنی‌دار نیست (p = ۰/۹۹۸).

(۴) دو عامل درجه انباشتگی و تعداد سیکل تداخل شدیدی دارند (p = ۰/۰۰۰).

(۵) تداخل همزمان سه فاکتور معنی‌دار نیست (p = ۱/۰۰۰).

بحث

نمودارهای تداخل دو فاکتوری برای ارائه نتایج آزمایش‌ها و تفسیر آن‌ها نیز مفیدند. با توجه به بررسی‌های انجام شده می‌توان مطالب زیر را در مورد سه پارامتر مورد بررسی بیان نمود:



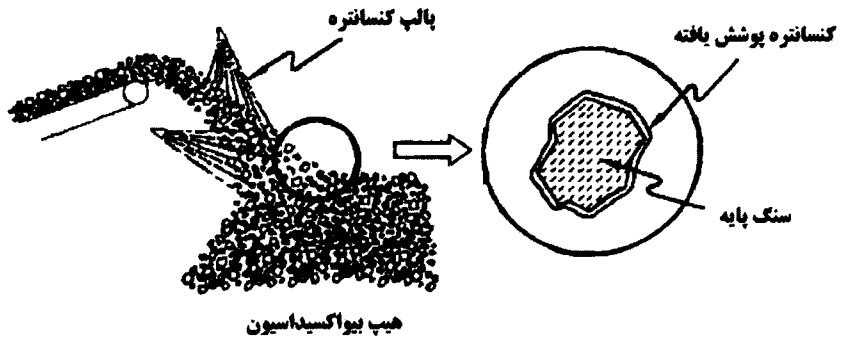
شکل ۷: نمودار تداخل دو فاکتوری درجه انباشتگی – تعداد سیکل.

(الف) زمان ماند: مطابق شکل‌های (۵) و (۶)، با افزایش زمان ماند مقدار پیریت پوشش نیافته کمتر می‌شود. دلیل این امر این است که کنسانتره فرصت بیشتری برای تماس و چسبیدن به سنگ پایه دارد. زمان ماند بهینه با بررسی‌های فنی – اقتصادی تعیین می‌گردد. زمان ماند را باید تا جایی افزایش داد که سود حاصل از پوشش بیشتر کنسانتره، از هزینه‌های افزایش زمان ماند بیشتر باشد.

(ب) تعداد سیکل: با توجه به شکل‌های (۵) و (۷) هر چه تعداد سیکل پاشش بیشتر شود کنسانتره بیشتری روی سنگ پایه قرار می‌گیرد. به دلیل اینکه در تعداد سیکل‌های کم مقدار پیریت بیشتری در هر سیکل بر روی سنگ پایه پاشیده می‌شود بنابراین ذرات پیریت احتمال بیشتری برای برخورد و چسبیدن به یکدیگر دارند. در چنین حالاتی به طور تجربی بخشی از پیریت پوشش نیافته به صورت آگلومره مشاهده می‌شد. با توجه به موارد فوق مناسب است که بیشترین تعداد سیکل پاشش انتخاب شود. بدین منظور می‌توان با پاشش پیوسته بهترین نتایج را انتظار داشت. در این صورت احتمال آگلومره شدن کنسانتره به حداقل مقدار خود خواهد رسید.

(ج) درجه انباشتگی: بر اساس شکل‌های (۶) و (۷) میزان کنسانتره پوشش نیافته با افزایش درجه انباشتگی (تحت دیگر شرایط ثابت) افزایش می‌یابد. هر چه درجه انباشتگی آسیا کمتر باشد فضای اشغال شده توسط سنگ پایه عمق کمتری خواهد داشت و بنابراین ذرات پیریت شانس کمتری برای تماس با قطعات زیرین دارند. از شکل (۶) معلوم می‌شود که در درجه انباشتگی ۶٪ به طور متوسط حدود ۹۰٪ ذرات پیریت در صد ثانیه اول پوشش می‌یابند و این نشان دهنده سرعت بالای چسبیدن کنسانتره بر سنگ پایه می‌باشد. بنابراین برای کسب نتایج بهتر باید احتمال برخورد ذرات پیریت با سنگ پایه در ثانیه‌های آغازین به حداکثر برسد. ماهیت آبران ذرات پیریت پوشش نیافته باعث می‌شود که در صورت تماس با دیگر ذرات پیریت احتمال آگلومره شدن آن‌ها افزایش یابد. آگلومره شدن سبب افزایش زمان اکسیداسیون و کاهش بازیابی طلا می‌شود. زیرا در مدت زمانی که پیریت‌های پوشش یافته اکسید می‌شوند، هسته قطعات آگلومره به میزان کمتری اکسید می‌شوند.

با توجه به جمیع جهات می توان نتیجه گرفت که بهترین نتایج عملیات پوشش دادن در شرایط حداکثر سطح قابل دسترس سنگ پایه، پاشش



شکل ۸: نحوه اجرای عملیات پوشش دادن به کمک نوار نقاله [۱].

پیوسته کنسانتره و زمان ماند نسبتا کم انجام می‌شود. همچنین می‌توان این نتایج را در پوشش دادن کنسانتره روی سنگ پایه‌ای که توسط نوار نقاله به هیپ حمل می‌شود اجرا نمود. در این صورت بهتر است که عمل پاشش به طور پیوسته و از چندین نقطه انجام شود (شکل ۸).

نتیجه‌گیری

(۱) درجه انباشتگی مهمترین پارامتر موثر بر درصد کنسانتره پوشش یافته است. درجه انباشتگی کم به دلیل نسبت بیشتر سطح مورد پاشش به وزن مواد سبب بهبود نتایج پوشش دادن می‌گردد.

(۲) از آنجا که افزایش زمان ماند تاثیر کمی بر افزایش درصد پوشش دارد باید میزان بهینه زمان ماند با بررسی‌های فنی - اقتصادی تعیین گردد.

(۳) هر چه تعداد سیکل پاشش بیشتر شود درصد پوشش افزایش خواهد یافت. بنابراین مناسب است که تعداد سیکل را بسیار زیاد نمود یعنی پاشش به صورت پیوسته انجام شود.

مراجع

1- Brierley, J. A. (1994). "Biooxidation heap technology for pretreatment of refractory sulfidic gold ore." *Biomine 94. Adelaide,* Australia: Australian mineral foundation.

2 - Rawlings, D. E. (1997). *Biomining: theory, microbes and industrial processes*, Springer-Verlag.

3 - Chabuka, C. and Witika, L. K. (2001). "Optimisation of the Baluba east ore treatment." *African Journal of Science and Technology* , Vol. 1, No. 4, PP. 36-42.

۴ - حسنی‌پاک، ع. و شرف‌الدین، م. "تحلیل داده‌های اکتشافی." انتشارات دانشگاه تهران، (۱۳۸۰).

5 - Montgomery, D. C. and Runger, G. C. (1999). *Applied statistics and probability for engineers.* 2nd edition, John Wiley & Sons, Inc.

واژه‌های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1 - Heap leaching
2 – Geocoat
3 - Analysis of variance
4 - Fixed-effect model
5 – Treatment
6 – Interaction
7 - Main effects
8 – Residuals
9 - P-P plot
10 - Two-factor interaction plots