

پرعیار سازی کانسنگ فسفات رسوبی پارسا با استفاده از میز لرزان و لیچینگ با اسید استیک

دکتر سید ضیاءالدین شفائی
ایران-دانشگاه تهران
Kaveh_shafaei@yahoo.com

دکتر محمد نوع پرست
ایران-دانشگاه تهران
M.noparast@ut.ac.ir

محمد کیان ارثی *
ایران-دانشگاه تهران
Mohammad.kianersy@gmail.com

احمد امینی
ایران- سازمان زمین شناسی و اکتشافات کشور
birjandy@yahoo.com

خلاصه مقاله

در مقاله حاضر پرعیار سازی کانسنگ فسفات پارسا به منظور افزایش عیار مورد بررسی قرار گرفته است. طبق مطالعات کانی شناسی انجام شده، ذخیره از نوع کانسارهای رسوبی با عیار متوسط P_2O_5 ۱۵/۶٪ می باشد. کانی غالب حاوی فسفات، فلوئورآپاتیت و کانی های عمده باطله کلسیت و گلاکونیت بوده و اندیس کار آن ۹/۹۴ kwh/t است. مطالعات مقاطع نازک و صیقلی نشان می دهد درجه آزادی ۱۵۰ میکرون است. مطالعات بررسی قابلیت پرعیار سازی به روش های مختلف ثقلی انجام و از میز لرزان به عنوان یک مرحله پیش فرآوری استفاده شد. آزمایش های میز لرزان به روش فاکتوریل کامل طراحی و اثر ۳ پارامتر شیب، دبی آب خوراک و دبی آب شستشو بررسی شد. عیار محصول میز در شرایط بهینه ۲۰/۱۸ درصد و بازیابی ۸۳/۵۶ درصد بود. در طراحی آزمایش های لیچینگ از روش تاگوچی استفاده شد. آزمایش های لیچینگ با اسید استیک و به منظور حذف کربنات ها و افزایش عیار P_2O_5 انجام شد و تاثیر عواملی مانند زمان، دانه بندی، غلظت اسید، نسبت محلول به جامد و دور همزن بررسی شد. در تحلیل نتایج از رویکرد آنالیز واریانس (ANOVA) و نرم افزار Design Expert7 به منظور تعیین پارامترهای با بیشترین تأثیر بر هر یک از پاسخ ها استفاده شد. عیار محصول نهایی لیچینگ در شرایط بهینه، ۲۶/۶۴٪ P_2O_5 با بازیابی ۹۹/۹۸٪ بود. محصول نهایی حاصل از لیچینگ در شرایط بهینه بر روی محصول میز لرزان دارای عیار ۳۱/۴۸٪ و بازیابی نهایی ۸۳/۵۴ درصد بود.

ABSTRACT

In this study, sample from Parsa phosphate ore deposit was investigated to find a method for increasing the P_2O_5 content of concentrate. Mineralogical study showed that the ore is sedimentary type with fluoroapatite as phosphate mineral and Calcite and Glaucosite as gangue minerals. Different types of gravity method were tested from which the shaking table was used as a pre concentration stage. The tests were designed by means of full factorial method and effect of slope, feed water and cleaning water flow rates were investigated. Output product grade of 20.18% and recovery of 83.56% were obtained from shaking table in optimal condition. Leaching tests was also carried out by using acetic acid to eliminate carbonate minerals. The Taguchi experimental design method was used for determining the effect of time, particle size, acid concentration, liquid/solid ratio and agitation rate in leaching experiments. The analysis of variance (ANOVA) procedure and Design Expert7 software was used for analysis of the results in order to determine most effective parameters affecting the leaching and shaking table responses in each treatment. The final grade and recovery of leaching product under optimum condition were 26.64% and 99.98% respectively. Moreover, leaching treatment on shaking table product yielded a grade of 31.48% and recovery of 83.54% for P_2O_5 .

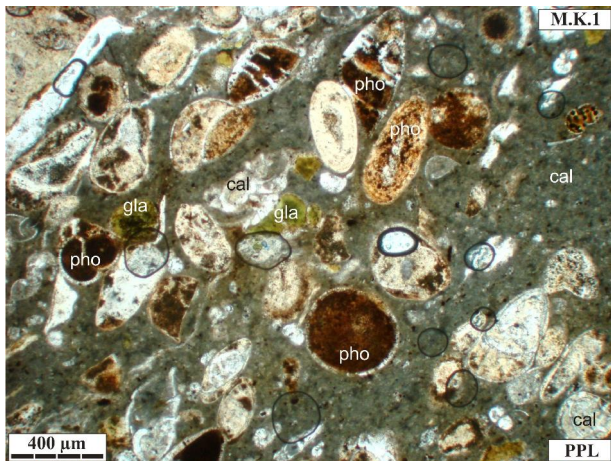
کلمات کلیدی: فسفات، میز لرزان، فاکتوریل کامل، لیچینگ، اسید استیک، تاگوچی، نرم افزار Design Expert7

نتایج حاصل از مطالعات XRD نشان داد که کانی‌های عمده موجود در کانسنگ عبارتند از: آپاتیت، کلسیت و گلوکونیت. نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی کامل نمونه در جدول ۱ درج شده است (اعداد بر حسب درصد می‌باشد).

L.O.I	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	SiO ₂	P ₂ O ₅
۱۹/۶	۱/۰۴	۰/۵	۰/۰۹	۲/۴۹	۱/۴۱	۱/۱	۱۵/۷	۳۹/۱۵

جدول ۱: نتایج آنالیز شیمیایی کامل نمونه

با توجه به ماهیت نمونه و همچنین مطالعات XRD و پتروگرافی می‌توان گفت فازهای مینرالی فسفات‌دار در سنگ شامل فلوروآپاتیت کربناته (CFA)، داهلیت و به احتمال زیاد، بخشی به صورت کولفان می‌باشد. مطالعات میکروسکوپی بر روی ده تیغه نازک از نمونه‌های کانسنگ اولیه و بخش‌های مختلف دانه‌بندی، انجام شد. نتایج نشان داد که فازهای مینرالی فسفات‌دار عموماً در اندازه‌های ریزتر از ۵۰ میکرون هستند. بخش اعظم کانی‌های فسفات‌دار به صورت جایگزینی یا پرکننده در داخل قطعات میکروفسیلی و قطعات گلاکونیتی و کمتر اشکال اولیتی و پلت تمرکز داشته و بخشی از آن نیز به صورت ذرات ریز پرکننده در زمینه میکرایتی (حدود ۱۵ الی ۲۰ درصد) دیده می‌شود. زمینه سنگ کلسیت ریز بلور (میکرایت) بوده، کلسیت درشت یا اسپاریت به مقدار کمتر در داخل قطعات فسیلی و به ندرت پرکننده شکستگی‌ها وجود دارد. شکل ۱ نمایی از مقطع نازک سنگ را نشان می‌دهد.



شکل ۱: مقطع نازک کانسنگ، نمایی از کانی‌های موجود در کانسنگ

روش‌ها

به دلیل اهمیت روش ثقلی به عنوان یک روش پیش‌فراوری، بویژه در خارج کردن گانگ این روش‌ها مد نظر قرار گرفت. از آنجا که در میان وسایل آرایش ثقلی احتمالاً میز لرزان موثرترین آنهاست، لذا این روش برای جدایش کانی‌ها مد نظر قرار گرفت. در مطالعات کانی‌شناسی کانی‌های اصلی موجود در کانسنگ کلسیت، آپاتیت (کولفان) و گلاکونیت تشخیص داده شد که وزن مخصوص آن‌ها به ترتیب ۲/۷، ۳/۲ و ۲/۴ می‌باشد. با توجه به رابطه زیر (تاگارت) که معیاری برای سنجش کیفیت پیر عیار سازی است، می‌توان از اختلاف چگالی بین کانی‌ها برای جدایش آنها به روش‌های ثقلی استفاده کرد (Weiss 1985). در زیر چگالی مؤثر به ترتیب برای آپاتیت - کلسیت و گلاکونیت - آپاتیت محاسبه شده است:

$$c.c = (\Delta H - \Delta F) / (\Delta L - \Delta F) = (3/2 - 1) / (2/7 - 1) = 1/29$$

$$c.c = (\Delta H - \Delta F) / (\Delta L - \Delta F) = (3/2 - 1) / (2/4 - 1) = 1/59$$

مقدمه

سنگ‌های فسفات منابع حیاتی و غیر قابل تجدیدی هستند که وجود آن‌ها به صورت کود شیمیایی در بخش کشاورزی ضروری است. حدود ۹۵٪ تولید سنگ‌های فسفات در صنایع کود شیمیایی مصرف می‌شود. تمام فسفات مورد نیاز از معدنکاری، فرآوری و فرآیندهای شیمیایی منابع طبیعی تامین می‌شود (Zafar and Abouzeid, 2008). ناخالصی‌های موجود در سنگ‌های فسفات مانند کربنات‌ها، سیلیکات‌ها، میکاها و رس‌ها باید با روش‌های فرآوری مختلف کاهش یابند تا سنگ‌های فسفات قابل استفاده در صنایع فسفات باشند. سنگ‌های فسفات باید حداکثر دارای ۸٪ کربنات، مقدار MgO کمتر از ۱ درصد و نسبت CaO/P₂O₅ حداکثر ۱/۶ باشند. فسفات‌های رسوبی و آذرین قابل عرضه در بازار باید به ترتیب دارای ۲۸-۳۶٪ و ۳۵-۳۹٪ P₂O₅ باشند (Gharabaghi et al., 2010).

روش فرآوری با توجه به نوع گانگ همراه، درجه آزادی کانی‌های فسفات و دیگر مشخصات کانه تعیین می‌شود. فرآیندهای مختلفی مانند اسکراب، شستشو، جدایش با مایع سنگین، کلسیناسیون، جدایش مغناطیسی، لیچینگ و فلوتاسیون در فرآوری کانه‌های فسفات استفاده می‌شود (Gharabaghi et al., 2009).

فلوتاسیون یکی از بهترین روش‌ها برای کانسنگ‌ها با کربنات‌های خوب متبلور است، اما در مواردی که کانسنگ حاوی کربنات‌های نرم و گچی باشد، فلوتاسیون نتیجه مناسبی نخواهد داشت. برای کانه‌های فسفات آذرین، فلوتاسیون بهترین روش به نظر می‌رسد. اما در کانه‌های رسوبی، جدایش کربنات‌ها از فسفات‌ها مشکل و پیچیده می‌باشد. این امر به دلیل خواص فیزیکی شیمیایی مشابه کانی‌های موجود در آن و محلول پیچیده محیط فلوتاسیون، حاصل از انحلال نمک‌های نیمه محلول، است (Zafar and Abouzeid, 2008; Gharabaghi et al., 2009; Abouzeid et al., 2009; Noaparast and Gharabaghi, 2007).

کلسیناسیون یکی از فرآیندهای پر عیار سازی کانی‌های کربناته می‌باشد که بسته به شرایط فرآیند می‌تواند منجر به حذف تمام کربنات‌ها شود. اما کلسیناسیون به دلیل هزینه سرمایه گذاری و انرژی بالا برای تمام کانی‌های رسوبی مناسب نیست. علاوه بر آن محصول تولید شده کیفیت پایین‌تری دارد. محصول کلسینه شده در فرآیند ساخت اسید فسفریک به روش تر، حلالیت و واکنش پذیری کمتری دارد. همچنین کلسیناسیون باعث تغییر خواص سطحی کانی‌های فسفات می‌شود (Zafar and abouzeid, 2008; Garabaghi et al., 2009).

کربنات‌های موجود در سنگ‌های فسفات را می‌توان بسته به پارامترهای فرآیند به روش لیچینگ با اسیدهای قوی یا اسیدهای آلی ضعیف کاهش داد. متاسفانه اسیدهای قوی در هنگام لیچ کانی‌های کربنات، آپاتیت را نیز حل می‌کنند. به منظور جلوگیری از لیچینگ کانی‌های فسفات، اسیدهای آلی ضعیف به عنوان یک عامل مناسب مورد توجه قرار گرفته است. معمولاً این اسیدها هزینه‌بر هستند. با این وجود، به دلیل پایین بودن هزینه سرمایه گذاری و اثر بالا در حذف کانی‌های کربناته، لیچینگ با اسیدهای آلی به کرات مورد مطالعه قرار گرفته است (sengul et al., 2006).

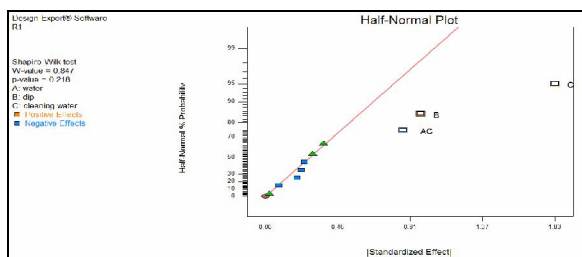
اسیدهای آلی ضعیف مانند اسید استیک، اسید سیتریک، اسید لاکتیک، اسید سوکسینیک و اسید فرمیک می‌توانند به منظور لیچینگ کانی‌های کربناته مورد استفاده قرار گیرند. از بین اسیدهای آلی اسید استیک به دلیل مزیت‌هایی مانند هزینه و در دسترس بودن بیشتر مورد توجه محققان بوده است (Gharabaghi et al., 2010).

روش‌ها و مواد

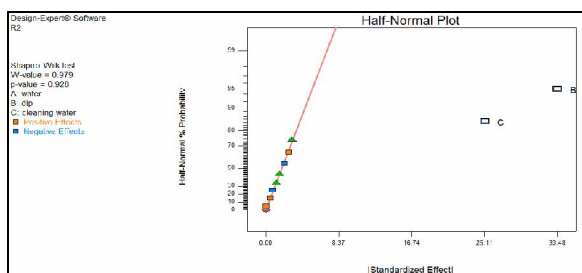
مواد

در این مطالعه از نمونه کانسنگ فسفات پارسا، واقع در منطقه کازرون که توسط سازمان زمین‌شناسی تهیه گردیده بود، استفاده شد.

به منظور شناسایی عوامل موثر بر پاسخها، از نمودار نصف نرمال که توسط نرم افزار رسم شده، استفاده شد. با توجه به نمودارهای نصف نرمال رسم شده توسط نرم افزار، آب شستشو، شیب و اثر متقابل آب خوراک و آب شستشو به ترتیب بیشترین اثر را بر مدل عیار داشته اند که در شکل ۲ نشان داده شده است. مطابق شکل ۳ شیب و آب شستشو دارای بیشترین اثر بر بازیابی می باشند.



شکل ۲: نمودار نصف نرمال عیار



شکل ۳: نمودار نصف نرمال بازیابی

به منظور کنترل درستی پارامترهای انتخاب شده جدول ANOVA بررسی شد. جدول ANOVA مربوط به عیار کنسانتره در جدول ۴ و بازیابی در جدول ۵ نشان داده شده است. ملاحظه می شود که مدل های انتخاب شده برای هر دو پاسخ از نظر آماری معنی دار است. سطح اعتماد در تحلیل نتایج ۹۵ درصد در نظر گرفته شد. مقادیر P-Value پارامترهای مؤثر در مدل های هر پاسخ کمتر از ۰/۰۵ می باشد. که بیانگر آن است که پارامترهای انتخاب شده به احتمال بیش از ۹۵ درصد صحیح است. در این جداول انحنا نیز از نظر آماری معنا دار است که نشان دهنده خطی نبودن پاسخ ها می باشد. همچنین این جداول نشان می دهد که نقصان در برآزش معنادار نمی باشد که بیانگر مطلوبیت مدل می باشد. چنانچه نقصان در برآزش (LOF) معنی دار باشد به این مفهوم است که واریانس تکرارها نسبت به مقادیر میانگینشان، کمتر از واریانس نقاط طراحی شده نسبت به مقادیر پیش بینی شده است. زمانی که LOF معنی دار است، یا آزمایشها تکرار شده مشکل دارند و یا مدل برآزش مناسب نیست. (در جداول زیر S مخفف significant و n مخفف not significant است)

با توجه به اینکه معیار پر عیار سازی بین ۱/۲۵ و ۲/۵ است، روش ثقلی به سختی امکان پذیر است و فقط می توان از آن به عنوان یک روش پیش فرآوری استفاده نمود.

آزمایش ها با میز لرزان موجود در آزمایشگاه فرآوری دانشکده مهندسی معدن دانشگاه تهران انجام شد. با توجه به اینکه در مطالعات کانی شناسی مشخص شد که در فراکسیون های ۵۰+ مش، ۷۰+ مش و ۱۰۰+ مش جدایش خوبی بین قطعات فسیلی حاوی فسفات و زمینه صورت گرفته است، تصمیم گرفته شد از خوراکی با ابعاد ۱۰۰+۳۰- مش (۱۵۰+۵۹۰ میکرون) استفاده شود.

آزمایش های لیچینگ به روش همزن به علت تأثیر بیشتر آن و در دامای آزمایشگاه انجام شد. تأثیر عوامل زمان، دانه بندی، غلظت اسید، نسبت محلول به جامد و دور همزن با روش تاگوجی مورد بررسی قرار گرفت. پس از انجام آزمایش ها جامد باقیمانده فیلتر و سپس شسته شد و مورد آنالیز شیمیایی قرار گرفت.

آزمایش ها و نتایج

میز لرزان

به منظور بهینه سازی شرایط آزمایشها، به بررسی تأثیر هر یک از عوامل در دو سطح به روش فاکتوریل کامل و نقطه مرکزی با چهار بار تکرار پرداخته شد. عیار و بازیابی P_2O_5 به عنوان پاسخ آزمایشها در نظر گرفته شد. سطوح انتخابی عوامل در جدول ۲ آورده شده است. در تمامی آزمایشها دبی جامد ۲۵۰ گرم بر دقیقه و فرکانس میز ۳۶۰ بود.

عوامل	سطح پایین	سطح میانی	سطح بالا
A: آب خوراک (lit/min)	۵	۷	۹
B: شیب (درجه)	۱۲	۱۴	۱۶
C: آب شستشو (lit/min)	۶	۸	۱۰

جدول ۲: عوامل اصلی و سطوح انتخابی عوامل میز لرزان

پس از انجام آزمایشها از کنسانتره میز نمونه گرفته شد و مورد آنالیز شیمیایی قرار گرفت. عیار P_2O_5 خوراک ۱۵/۹۹ درصد بود. جدول ۳ عیار و بازیابی کنسانتره میز لرزان را نشان می دهد.

شماره آزمایش	A	B	C	عیار درصد	بازیابی درصد
۱	۵	۱۲	۶	۱۸/۵۶	۸۰
۲	۹	۱۲	۶	۱۹/۳۲	۷۰
۳	۵	۱۶	۶	۱۹/۹	۴۳/۰۹
۴	۹	۱۶	۶	۲۰/۴۳	۴۳/۸۹
۵	۵	۱۲	۱۰	۲۱/۴۲	۵۳/۵۴
۶	۹	۱۲	۱۰	۲۰/۶۱	۵۰/۰۵
۷	۵	۱۶	۱۰	۲۲/۴۴	۱۸/۲
۸	۹	۱۶	۱۰	۲۱/۰۶	۱۸/۴۸
۹	۷	۱۴	۸	۲۰/۳۵	۳۹/۴۵
۱۰	۷	۱۴	۸	۲۱/۴۵	۳۸/۷۷
۱۱	۷	۱۴	۸	۲۰/۹۸	۴۱/۰۳
۱۲	۷	۱۴	۸	۲۱/۵۷	۳۷/۱۴

جدول ۳: شرایط و نتایج آزمایشهای میز لرزان

۸ آورده شده است. عیار خوراک برای سطح ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب برابر ۱۲/۵۷، ۱۲/۴۴، ۱۵/۴۸ و ۱۵/۵۵ بود.

عوامل	سطح ۱	سطح ۲	سطح ۳	سطح ۴
A: زمان (دقیقه)	۲۰	۴۰	۶۰	۸۰
B: غلظت حجمی اسید/%	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵
C: دانه بندی (میکرون)	-۷۵	۷۵-۱۵۰	۱۵۰-۳۰۰	۳۰۰-۶۰۰
D: نسبت مایع به جامد	۲:۱	۳:۱	۵:۱	۷:۱
E: دور همزن	۳۰۰	۵۰۰	۷۰۰	۱۰۰۰

جدول ۸: عوامل اصلی و سطوح انتخابی عوامل میز لرزان

پس از انجام آزمایش ها، از پسماند باقیمانده نمونه گیری شد مورد آنالیز شیمیایی قرار گرفت. جدول ۹ عیار و بازیابی P_2O_5 را در پسماند باقیمانده آزمایش ها نشان می دهد.

شماره آزمایش	A	B	C	E	D	عیار	بازیابی
۱	۴	۲	۳	۱	۴	۲۲/۹۶	۹۹/۷۵
۲	۴	۱	۴	۲	۳	۲۶/۶۴	۹۹/۹۸
۳	۳	۲	۴	۳	۱	۲۶/۱۲	۹۹/۱۱
۴	۴	۳	۲	۴	۱	۲۱/۵۷	۹۹/۵۶
۵	۳	۴	۲	۱	۳	۲۰/۴۳	۹۶/۲۴
۶	۲	۳	۴	۱	۲	۲۲/۵۸	۹۸/۷۴
۷	۳	۱	۳	۴	۲	۲۶/۶۲	۹۴/۵۸
۸	۱	۱	۱	۱	۱	۲۱/۰۸	۹۸/۶۱
۹	۲	۴	۳	۲	۱	۲۴/۷۲	۹۵/۸۱
۱۰	۱	۳	۳	۳	۳	۲۵/۶۱	۹۹/۹۳
۱۱	۳	۳	۱	۲	۴	۲۱/۴۱	۹۷/۷۷
۱۲	۴	۴	۱	۳	۲	۲۱/۱۸	۹۷/۳۹
۱۳	۱	۲	۲	۲	۲	۲۰/۸۴	۹۶/۸۰
۱۴	۱	۴	۴	۴	۴	۲۶/۴۶	۹۹/۱۲
۱۵	۲	۱	۲	۳	۴	۲۱/۲۳	۹۹/۳۴
۱۶	۲	۲	۱	۴	۳	۲۱/۳۳	۹۸/۷۶

جدول ۹: شرایط ونتایج آزمایش های لیچینگ

از نتایج به دست آمده مشاهده می شود بازیابی P_2O_5 مناسب است. دلیل بالا بودن بازیابی در پسماند، انتخابی عمل کردن اسید استیک در انحلال کلسیت می باشد. در تعیین سطوح بهینه از نتایج عیار استفاده شد. با توجه به نتایج عیارسنجی بالاترین عیار بدست آمده در آزمایش شماره ۲ بود که عیاری برابر ۲۶/۶۴ و بازیابی ۹۹/۹۸ حاصل شد. با استفاده از جدول ANOVA تاثیر پارامترهای مختلف بر عیار بررسی شد و پارامترهای اندازه ذرات و نسبت محلول به جامد به عنوان تاثیر گذارترین پارامترها شناخته شدند. همچنین این جدول نشان می دهد که مدل انتخاب شده از نظر آماری معنی دار است. سطح اعتماد در تحلیل نتایج ۹۵ درصد در نظر گرفته شد. مقادیر P-Value پارامترهای مؤثر در مدل های هر پاسخ کمتر از ۰/۰۵ می باشد. که بیانگر آن است که پارامترهای انتخاب شده به احتمال بیش از ۹۵ درصد صحیح است. نتایج در جدول ۱۰ و اشکال ۴ و ۵ آورده شده است.

source	Sum of square	df	Mean square	F value	P value prob F>P
Model	۱۰/۱۳	۳	۳/۳۸	۱۹/۱۴	۰/۰۰۰۹
B- dip	۱/۹۲	۱	۱/۹۲	۱۰/۸۸	۰/۰۱۳۱
C- cw	۶/۷۰	۱	۶/۷۰	۳۷/۹۵	۰/۰۰۰۵
AC	۱/۵۱	۱	۱/۵۱	۸/۵۸	۰/۰۲۲۱
curvature	۱/۰۳	۱	۱/۰۳	۵/۸۱	۰/۰۴۶۸
Residual	۱/۲۴	۷	۰/۱۸		
LOF	۰/۳۲	۴	۰/۰۷۹	۰/۲۶	۰/۸۸۸۵
Pure error	۰/۹۲	۳	۰/۳۱		
Cor total	۱۲/۳۹	۱۱			

جدول ۴: نتایج بررسی آنالیز واریانس برای عیار P_2O_5 در کنسانتره

source	Sum of square	df	Mean square	F value	P value prob F>P
Model	۳۵۰۹/۹	۲	۱۷۵۴/۹	۲۱۶/۵۳	۰/۰۰۰۱
B- dip	۲۲۴۲/۱	۱	۲۲۴۲/۱	۲۷۶/۶۴	۰/۰۰۰۱
C- cw	۱۲۶۷/۸	۱	۱۲۶۷/۸	۱۵۶/۴۲	۰/۰۰۰۱
curvature	۲۴۹/۸	۱	۲۴۹/۸	۳۰/۸۲	۰/۰۰۰۵
Residual	۶۴/۸۴	۸	۸/۱۱		
LOF	۲۴/۴۵	۵	۴/۸۹	۰/۳۶	۰/۸۴۸۲
Pure error	۴۰/۳۹	۳	۱۳/۴۶		
Cor total	۳۸۲۴/۶	۱۱			

جدول ۵: نتایج بررسی آنالیز واریانس برای بازیابی P_2O_5 در کنسانتره

در جدول ۶ مدل های ارائه شده برای پاسخ ها آورده شده است.

پاسخ	مدل پیشنهادی
عیار P_2O_5	$P_2O_5=20/47+0/91*C+0/49*B0/43*AC$
بازیابی	$Recovery=47/66-16/74*B-12/59*C$

جدول ۶: مدل های کدد پیشنهادی برای پاسخ ها

از آنجا که میز لرزان به عنوان یک مرحله پیش فرآوری در نظر گرفته شده بود، در مرحله تعیین شرایط بهینه توسط نرم افزار به بازیابی اهمیت بیشتری داده شد. شرایط بهینه تعیین شده با شرایط عیار و بازیابی ماکزیمم در جدول ۷ ارائه شده است. مقدار بهینه توسط نرم افزار محصولی با عیار ۲۰/۷۰ و بازیابی ۵۷ تخمین زده شد. پس از تخمین مقدار بهینه، آزمایش تأییدی با استفاده از شرایط بهینه به دست آمده انجام شد. نتیجه آزمایش محصولی با عیار ۲۰/۸۵ و بازیابی ۶۰/۳۴ بود. با یک مرحله رمق گیری محصول میانی، محصولی با عیار ۲۰/۱۸ و بازیابی ۸۳/۵۶ بدست آمد.

عوامل	سطح	مقدار
دبی آب خوراک (lit/min)	بالا	۹
شیب (درجه)	پایین	۱۲
دبی آب شستشو (lit/min)	پایین	۶

جدول ۷: سطوح بهینه و مقدار آن ها در آزمایش های میز لرزان

لیچینگ با اسید استیک

به منظور بهینه سازی شرایط آزمایش ها، به بررسی تاثیر هر یک از عوامل زمان، دانه بندی، غلظت اسید، نسبت محلول به جامد و دور همزن در ۴ سطح با آرایه L_{16} تاگوچی پرداخته شد (Taguchi, 1987). سطوح انتخابی عوامل در جدول

نتایج

به طور خلاصه می‌توان نتایج حاصل از مطالعات را به صورت زیر بیان کرد:

۱- مطالعات کانی شناسی کانسنگ فسفات پارسا نشان داد که این کانسنگ از نوع رسوبی می‌باشد و بخش اعظم باطله را کانی‌های کربناته و سیلیکاته تشکیل می‌دهند.

۲- با توجه به این موضوع که از میز لرزان به عنوان یک مرحله پیش‌فرآوری استفاده می‌شد، در هنگام تعیین شرایط بهینه به بازیابی اهمیت بیشتری داده شد. در شرایط بهینه محصولی با عیار P_2O_5 ۲۰/۸۵٪ و بازیابی ۶۰/۳۴٪ از خوراکی با عیار ۱۵/۹۹ P_2O_5 بدست آمد. شرایط بهینه، دبی آب خوراک ۹ لیتر بر دقیقه، شیب ۱۲ درجه و دبی آب شستشوی ۶ لیتر بر دقیقه بود. در این شرایط و با یک مرحله رمق‌گیری محصولی با عیار ۲۰/۱۸٪ P_2O_5 و بازیابی ۸۳/۵۶٪ بدست آمد.

۳- استفاده از روش لیچینگ با اسید استیک تأثیر زیادی در افزایش عیار P_2O_5 داشته است، به گونه‌ای که با استفاده از خورک با دانه‌بندی ۶۰۰-۳۰۰، اسید استیک با غلظت ۱۰ درصد، نسبت مایع به جامد ۱:۳ و دور همزن ۷۰۰ دور در دقیقه در مدت ۸۰ دقیقه محصولی با عیار ۲۶/۶۴٪ P_2O_5 و بازیابی ۹۹/۹۸ به دست آمد.

۴- با انجام آزمایش لیچینگ در شرایط بهینه بر روی محصول نهایی میز لرزان، محصولی با عیار ۳۱/۴۸٪ P_2O_5 و بازیابی کلی ۸۴/۳۲ بدست آمد.

مراجع

Abouzeid, A.Z.M., Negm, A.T., Elgillania, D.A., 2009. Upgrading of calcareous phosphate ores by flotation: effect of ore characteristics. International Journal of Mineral Processing, 90 (1-4), 81-89.

Gharabaghi, M., Irannajad, M., Noaparast, M., 2010, A review of the beneficiation of calcareous phosphate ores using organic acid leaching: Hydrometallurgy, Vol. 103, Issue 1-4, No. 12 (96-107).

Gharabaghi, M., Irannajad, M., Noaparast, M., 2009, Selective leaching kinetics of low-grade calcareous phosphate ore in acetic acid: Hydrometallurgy, Vol. 95, Issue 3-4, No. 5 (341-345).

Noaparast, M., Gharabaghi, M., 2007. Selective flotation of sedimentary phosphate from siliceous and carbonate gangues. In: Proceedings 11th International Conference on Environment and Mineral Processing. Technical University of Ostrava, Faculty of Mining and Geology, 31.5-2.6. 2007, Ostrava, Czech Republic, pp. 27-31.

Sengul, H., Ozer, A.K., Gulaboglu, M.S., 2006. Beneficiation of mardin-Mazidagi (Turkey) calcareous phosphate rock using dilute acetic acid solutions: Chemical Engineering, 122, 135-140.

Taguchi, G., 1987, System of experimental design, Vol 1, KRAVA International publication.

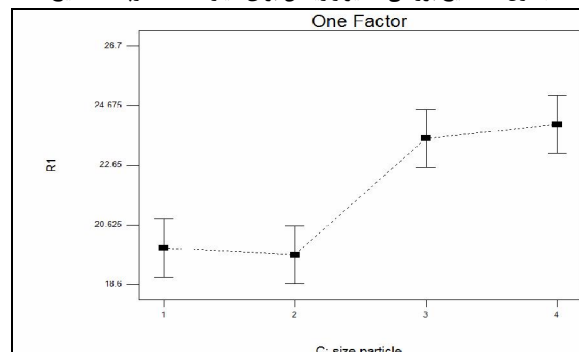
Taguchi, G., 1987, System of experimental design, Vol 2, KRAVA International publication.

Weiss, N.L., 1985, Mineral processing handbook, SME pub.

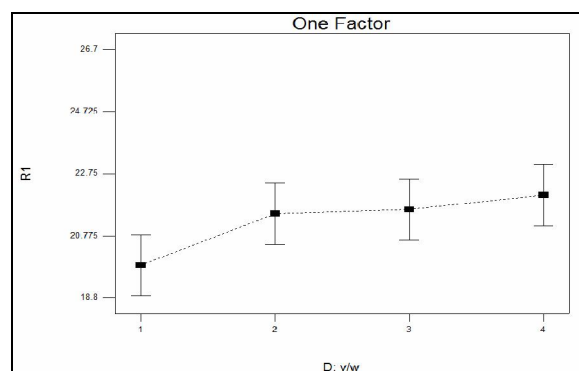
Zaher, A., Abouzeid, M., 2008, Physical and thermal treatment of phosphate ore-An overview: International Journal of Mineral Processing, 85, 59-84.

source	Sum of square	df	Mean square	F value	P value F>P	
Model	۷۸/۵۴	۶	۱۳/۰۹	۱۵/۱۹	۰/۰۰۰۳	s
C-size	۶۷/۱۴	۳	۲۲/۳۸	۲۵/۹۸	۰/۰۰۰۱	
D-v/w	۱۱/۴۰	۳	۳/۸۰	۴/۴۱	۰/۰۳۶۱	
Residual	۷/۷۵	۹	۰/۸۶			
Cor total	۸۶/۳۹	۱۵				

جدول ۱۰: نتایج بررسی آنالیز واریانس برای عیار P_2O_5 در پسماند لیچ



شکل ۵: اثر دانه‌بندی بر عیار محصول لیچینگ



شکل ۴: اثر نسبت محلول بر جامد بر عیار محصول لیچینگ

همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود بهترین نسبت محلول به جامد در سطح ۲ یعنی ۳:۱ قرار دارد.

با در نظر گرفتن شرایط فوق (دانه‌بندی در سطح ۴ و نسبت محلول به جامد در سطح ۲) و شرط عیار ماکزیمم، شرایط بهینه تعیین شد که در جدول ۱۱ آورده شده است.

مقدار	سطح	عوامل
۸۰	۴	زمان (دقیقه)
۱۰	۱	غلظت حجمی اسید٪
۶۰۰-۳۰۰+	۴	دانه‌بندی (میکرون)
۳:۱	۲	نسبت مایع به جامد
۷۰۰	۳	دور همزن

جدول ۱۱: سطوح بهینه و مقدار آن‌ها در آزمایش‌های لیچینگ

مقدار بهینه تخمین زده شده توسط نرم افزار عیار ۲۵/۶۷ و بازیابی ۹۹/۶۷ است. نتیجه حاصل از آزمایش در شرایط بهینه عیار ۲۶/۶۴ و بازیابی ۹۹/۹۸ درصد بود.

با انجام آزمایش لیچینگ در شرایط بهینه بر روی محصول نهایی میز لرزان، محصولی با عیار ۳۱/۴۸ و بازیابی کلی ۸۴/۳۲ بدست آمد.