



## بهینه سازی پارامترهای موثر بر فرآیند فرسایشی اسیدی کاتالیست مس استفاده شده در صنعت پتروشیمی

رضا رحیمی<sup>۱</sup>، مهدی جلیلی قاضی زاده هاشمی<sup>۲</sup>، نیما متولی<sup>۳</sup>، فرناز تاکیزاد<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲- دانشیار، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۳- کارشناسی ارشد، دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

۴- دانشجوی دکتری، دانشکده عمران، دانشگاه Texas A&M، تگزاس، ایالات متحده آمریکا

[Rezarahimi@modares.ac.ir](mailto:Rezarahimi@modares.ac.ir)

### چکیده

کاربرد کاتالیست‌ها در صنایع مختلف به ویژه در صنعت نفت، گاز و پتروشیمی به دلایل مختلف بالاخص با توجه به اثرگذاری آنها بر افزایش کیفیت و تسریع فرآیندها، به طور روزافزون در حال گسترش است. کاتالیست‌ها به دلایل متعدد پس از مدتی غیرفعال شده و کارایی خود را از دست می‌دهند. بازیافت کاتالیست‌های مستعمل به علت وجود فلزات گران‌بها درون آنها دارای ارزش اقتصادی قابل توجه است. در این پژوهش فرآیند استحصال مس از کاتالیست مستعمل مس پتروشیمی به شیوه هیدرومتالورژی مورد بررسی و بهینه سازی قرار گرفت. تاثیر پنج پارامتر نوع اسید، غلظت اسید، نسبت جامد به مایع، خردایش و زمان بر راندمان فرآیند مورد بررسی قرار گرفت. اسید سولفوریک به عنوان اسید بهینه، غلظت اسید معادل ۰/۷۵ مول بر لیتر، نسبت جامد به مایع برابر ۱ به ۳۰، زمان فرآیند معادل با ۶۰ دقیقه و خردایش تا مش ۲۰۰ به عنوان مقادیر بهینه پارامترها تعیین گردید. در این حالت راندمان استخراج مس از کاتالیست معادل با ۹۴/۷۲ درصد به دست آمد.

**کلمات کلیدی:** پسماند صنعتی، کاتالیست مستعمل، هیدرومتالورژی

### ۱- مقدمه

بر اساس اصول توسعه پایدار و در راستای حداقل سازی کاهش آلودگی محیط زیست و حداکثر سازی بازیابی منابع، بازیافت فلزات از اهمیت دو چندان برخوردار است. همچنین در سال‌های اخیر کاهش منابع طبیعی فلزات گران‌بها، بازیافت فلزات از ضایعات پسماندهای مختلف را به امری اجتناب ناپذیر مبدل کرده است. این امر علاوه بر رفع مشکل زیست محیطی، نیاز بازار به فلزات را نیز مرتفع می‌نماید (Marafi و Stanislaus؛ ۲۰۰۸).

منابع ثانویه فلزات زاید شامل کاتالیستهای مستعمل، پسماندهای الکترونیکی، آهنرباهای مصرف شده و باتری‌های مصرف شده می‌باشد (Scott و Mecucci؛ ۲۰۰۲). سالانه مقدار قابل توجهی از کاتالیست‌ها در صنایع شیمیایی، پالایش نفت و پتروشیمی مورد استفاده و جایگزینی قرار می‌گیرند (Marafi و Stanislaus؛ ۲۰۰۸). این کاتالیست‌ها حاوی فلزات، اکسیدهای فلزی یا سولفیدها هستند (Asghari و همکاران؛ ۲۰۱۳). عموماً کاتالیست‌ها در طول عمر مفید خود به دلایل زیر غیرفعال می‌شوند: گرفتگی<sup>۱</sup>، مسمومیت<sup>۲</sup> یا تخریب حرارتی<sup>۳</sup> (Al-Dalama و Stanislaus؛ ۲۰۰۶). کاتالیست‌های مذکور، کاتالیست مستعمل نامیده می‌شوند.

کاتالیست‌ها در درجه حرارت بالاتر از حد مجاز، به صورت کلوخه در آمده و فعالیت آنها کاهش می‌یابد. علت رخ دادن این پدیده کاهش سطح کاتالیست در اثر کلوخه شدن می‌باشد. با کاهش سطح، سرعت واکنش کاهش یافته و پایه کاتالیست در اثر حرارت بالا، استقامت و ساختمان

<sup>۱</sup> Fouling  
<sup>۲</sup> poisoning  
<sup>۳</sup> Thermal Degradation

کریستالی خود را از دست داده و در نتیجه سطح کل کاتالیست کاهش می‌یابد. پدیده فولینگ در کاتالیست‌ها می‌تواند ناشی از تولید کک بر رو کاتالیست باشد.

عامل دیگر فولینگ ناشی از تجمع فلزاتی نظیر نیکل بر رو سطح کاتالیست است، این پدیده موجب پوشاندن سطح کاتالیست، بستن منافذ و کاهش یا افزایش مقاومت در برابر انتقال جرم می‌شود. ناخالصی‌ها موجود در خوراک که وجود آن‌ها اثرات نامطلوبی بر رو کاتالیست می‌گذارد، می‌تواند موجب از بین رفتن نقاط فعال در سطح کاتالیست شوند. چنانچه مقادیر این مواد نظیر آرسنیک، سرب، وانادیوم، جیوه و غیره در کاتالیست از ۲٪ بیش تر باشد، امکان احیاء وجود نخواهد داشت.

روش‌های مختلفی برای مدیریت کاتالیست‌های مستعمل وجود دارد که بسته به نوع تغییر شیمیایی و ساختار کاتالیست در زمان مصرف شامل احیاء و استفاده مجدد، بازیافت کل یا قسمتی از اجزا آن، استفاده از کاتالیست مستعمل در فرآیند دیگر و دفن آن‌ها می‌باشد. اگر کاتالیست در اثر فولینگ یا عوامل دیگر، خصوصیات خود را از دست دهد امکان احیاء وجود دارد. احیاء کاتالیست مستعمل هنگام تغییر ساختار کاتالیست مثل زمان کلوخه شدن، غیر ممکن می‌شود و در این مورد کاتالیست باید مورد بازیافت قرار گیرد (گیتی پور و همکاران، ۱۳۹۶).

حجم کاتالیست‌های مستعملی که تنها در صنعت نفت و گاز تولید می‌شود سالانه بالغ بر چندین هزار تن می‌باشد. در حاضر مدیریت و دفع پسماندهای کاتالیست مستعمل یکی از معضلات زیست محیطی عمده صنایع نفت و گاز می‌باشد (Singh؛ ۲۰۰۹).

بازیافت فلز از کاتالیست‌های مستعمل را به می‌توان با استفاده از سه شیوه اصلی پیرومتالورژی هیدرومتالورژی و یا بیومتالورژی انجام داد (Asghari و همکاران؛ ۲۰۱۳). معمولاً استفاده از شیوه هیدرومتالورژی برای مدیریت کاتالیست‌های مستعمل نسبت به روش‌های پیرومتالورژی و بیومتالورژی ترجیح داده می‌شود، زیرا شیوه پیرومتالورژی مصرف انرژی بالایی دارد و شیوه بیومتالورژی سرعت پایینی دارد (Parhi و همکاران؛ ۲۰۱۵).

روش هیدرومتالورژی به عنوان یکی از روش‌های دوست دار محیط‌زیست در بازیافت فلزات از کاتالیست مستعمل بسیار پرکاربرد بوده و از مزایای آن می‌توان به مصرف کم انرژی، تولید آلاینده‌های گازی کم‌تر و بازدهی و راندمان بالای بازیابی در مقایسه با سایر روش‌ها اشاره کرد (Arshadi و همکاران؛ ۲۰۱۶).

فرآیند هیدرومتالورژی برای جداسازی فلز از کاتالیست مستعمل شامل سه قسمت اصلی خردایش پسماند تا مش مورد نظر، اختلاط کاتالیست و اسید و فروشویی<sup>۱</sup> کاتالیست به مدت زمان مشخص و جداسازی فاز جامد و مایع می‌باشد.

فروشویی فلز فعال و جدا کردن آن از ماده پایه کاتالیست توسط حلال‌های مناسب امکان‌پذیر است. روش هیدرومتالورژی برای بازیافت کاتالیست‌ها مستعمل مس کارایی مناسبی داشته و در اکثر مطالعات انجام شده، استفاده از اسیدهای معدنی در فرآیند فروشویی راندمان مناسبی داشته و منجر به استحصال مقادیر قابل توجهی فلز گردیده است (Swaroop و همکاران، ۲۰۱۳؛ Parhi و همکاران، ۲۰۱۵).

در این پژوهش تاثیر پارامترهای نوع اسید، غلظت اسید، نسبت جامد به مایع، خردایش و مدت زمان واکنش بر راندمان استخراج مس از کاتالیست مستعمل پتروشیمی به کمک فرآیند هیدرومتالورژی مورد بررسی قرار گرفته است.

## ۲- روش بررسی

### ۲-۱- مواد مورد استفاده

در این مطالعه، از کاتالیست مستعمل  $\text{CuO-Al}_2\text{O}_3$  شرکت پتروشیمی زاگرس که تصویر آن در شکل (۱) نشان داده شده است، استفاده گردید. مشخصات کاتالیست مورد استفاده که به کمک آنالیزهای XRF و AAS به دست آمد، در جدول شماره (۱) نشان داده شده است. همچنین در این پژوهش از اسید سولفوریک با خلوص ۹۸، اسید نیتریک با خلوص ۶۵ درصد و اسید هیدروکلریک با خلوص ۳۷ درصد ساخت شرکت مجلی و آب دیونیزه دوبار تقطیر استفاده شد.

جدول شماره (۱). آنالیز ترکیبات سازنده کاتالیست مستعمل مس

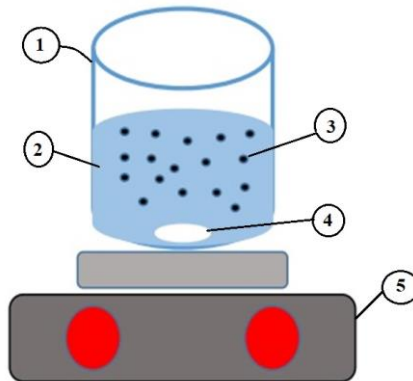
L.O.I	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Zn	Cu	عنصر
۶/۷۳	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۱۶	۱/۴۵	۲۱/۳۲	۱۸/۶۶	۵۰/۳۱	درصد وزنی



شکل شماره ۱. تصویر کاتالیست مستعمل مس به کار برده شده در پژوهش.

## ۲-۲- روش انجام تحقیق

طرح شماتیک سیستم مورد استفاده در این مطالعه که در مقیاس آزمایشگاهی و به صورت ناپیوسته انجام پذیرفته در شکل (۲) نشان داده شده است. در این تحقیق از یک راکتور استوانه‌ای شکل، با حجم مفید ۵۰۰ میلی لیتر برای انجام آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفت.



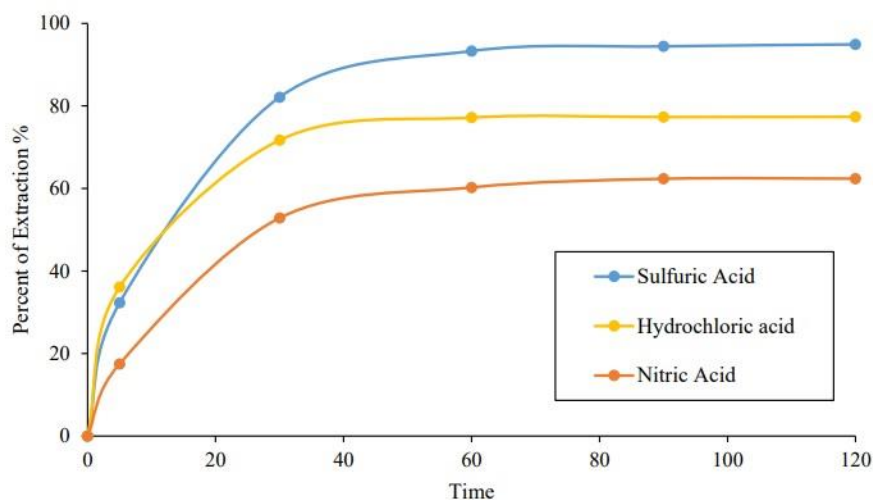
شکل شماره ۲. تصویر شماتیک راکتور مورد استفاده  
۱. بشر شیشه‌ای؛ ۲. محلول اسیدی؛ ۳. کاتالیست؛ ۴. مغنت استیرر؛ ۵. همزن

در هر آزمایش ابتدا حجم مشخصی از اسید با غلظت مشخص به داخل راکتور منتقل و سپس مقدار مشخصی از کاتالیست به آن افزوده شد. در ادامه، با تنظیم سایر پارامترهای موثر بر واکنش، فرآیند آغاز گردید. در نهایت نیز در فواصل زمانی مشخص نمونه برداری از راکتور انجام پذیرفت. به منظور ترسیب ذرات جامد نمونه‌های اخذ شده به مدت زمان مشخص در درون دستگاه سانتریفیوژ قرار گرفته و سپس مورد آنالیز قرار گرفتند. در این تحقیق به منظور تعیین مقدار بهینه پارامترها از روش کلاسیک<sup>۱</sup> OFAT استفاده شد. بدین منظور، ابتدا تاثیر استفاده از سه نوع اسید، سولفوریک اسید، نیتریک اسید و هیدروکلریک اسید مقایسه گردید و سپس غلظت اسید در ۴ سطح (۰/۵، ۰/۶، ۰/۷۵ و ۱ مول بر لیتر)، نسبت جامد به مایع در ۵ سطح (۱ به ۱، ۱ به ۲، ۱ به ۳ و ۱ به ۴) در دو حالت کاتالیست خرد نشده و کاتالیست خرد شده تا قطر ۰/۷۵ میکرومتر مورد آزمایش و آنالیز قرار گرفت و در پایان، مدت زمان آزمایش نیز مورد بهینه‌سازی قرار گرفت. برای اندازه‌گیری مقدار مس فروشویی شده از روش رنگ سنجی و به کمک دستگاه اسپکتروفوتومتر (Unico, ۲۱۵۰) استفاده شد. بدین منظور غلظت سولفات مس در طول موج ۸۵۰ نانومتر اندازه‌گیری شده و به کمک رسم منحنی کالیبراسیون مقادیر مس فروشویی شده تعیین گردید.

### ۳- نتایج

#### ۳-۱- تاثیر نوع اسید

جهت تعیین تاثیر نوع اسید مورد استفاده بر عملکرد سیستم، به عنوان یکی از پارامترهای اصلی تاثیر گذار بر فرآیند فروشویی کاتالیست مس، آزمایش‌ها در شرایط کاتالیست خرد نشده، نسبت جامد به مایع ۱ به ۲، مدت زمان ۲ ساعت و غلظت‌های اسید برابر با ۰/۷۵ مول بر لیتر و با سه نوع اسید (اسید سولفوریک، اسید نیتریک و اسید هیدروکلریک) انجام پذیرفت. نتایج مربوط میزان استحصال فلز مس و راندمان فرآیند در فواصل زمانی مشخص در شکل‌های ۳ ارائه شده است.



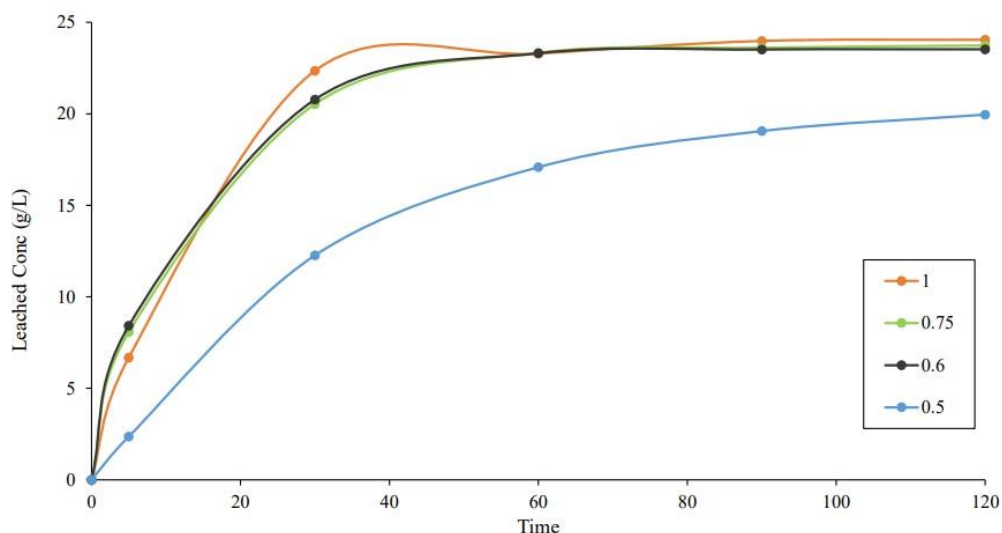
شکل شماره ۳. غلظت مس فروشویی شده به کمک اسیدهای مختلف (شرایط آزمایش: کاتالیست خرد نشده، ۲۵ گرم کاتالیست، نسبت مایع به جامد ۱ به ۲ و ۲۰ و غلظت اسید برابر با ۰/۷۵ مول بر لیتر)

<sup>۱</sup> One Factor At Time

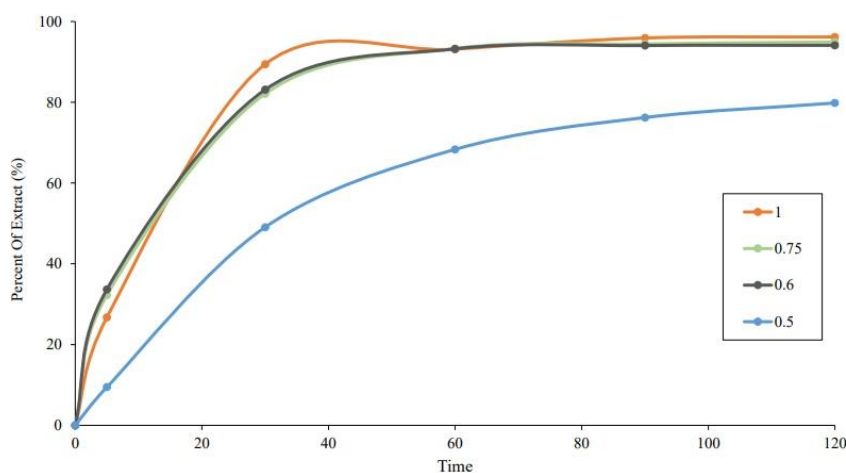
همانطور که از شکل شماره ۳ مشخص است راندمان نهایی استحصال مس در سه حالت استفاده از اسید سولفوریک، اسید نیتریک و اسید هیدروکلریک به ترتیب برابر با ۹۴/۹۲، ۶۲/۳۸ و ۷۷/۳۵ درصد به دست آمده است. نتایج به دست آمده توانایی بالاتر اسید سولفوریک را در فروشویی مس نشان می‌دهد. این نتایج با نتایج مطالعات El-Okazy و همکاران؛ ۲۰۱۸ و Habbache و همکاران؛ ۲۰۰۹ که نشان دادند اسید سولفوریک دارای راندمان بالاتری نسبت به دو اسید دیگر است، مطابقت دارد. با توجه به داده‌های به دست آمده سولفوریک اسید به عنوان اسید بهینه برای آزمایش‌های بعدی انتخاب گردید.

### ۳-۲- تأثیر غلظت اسید

جهت تعیین تأثیر غلظت اسید مورد استفاده بر عملکرد سیستم، به عنوان یکی از پارامترهای اصلی تأثیر گذار بر فرآیند فروشویی کاتالیست مس، آزمایش‌ها در شرایط کاتالیست خرد نشده، نسبت جامد به مایع ۱ به ۲۰، مدت زمان ۲ ساعت و غلظت‌های مختلف اسید (۰/۵، ۰/۶، ۰/۷۵ و ۱ مول بر لیتر) انجام پذیرفت. نتایج مربوط به میزان استحصال فلز مس و راندمان فرآیند در فواصل زمانی مشخص در شکل‌های ۴ و ۵ ارائه شده است.



شکل شماره ۴. غلظت مس فروشویی شده در غلظت‌های مختلف اسید  
(شرایط آزمایش: کاتالیست خرد نشده، ۲۵ گرم کاتالیست و نسبت مایع به جامد ۱ به ۲۰)



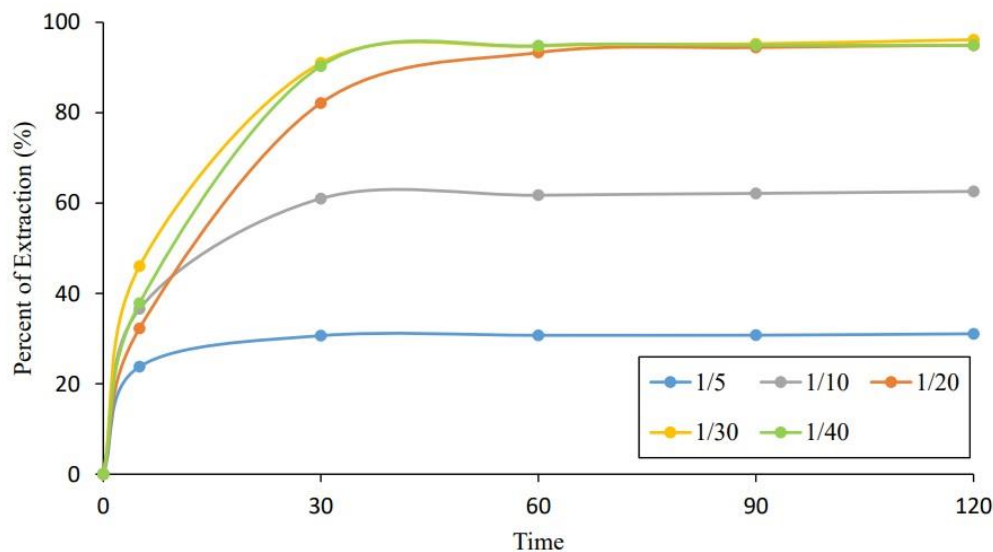
شکل شماره ۵. درصد استخراج مس در غلظت‌های مختلف اسید  
(شرایط آزمایش: کاتالیست خرد نشده، نسبت مایع به جامد ۱ به ۲۰)

همانطور که در شکل های ۴ و ۵ مشاهده می شود، با افزایش غلظت اسید مورد استفاده، میزان مس فروشویی شده و درصد راندمان فرآیند افزایش پیدا کرده است. راندمان فرآیند استخراج مس برای غلظت‌های مختلف ۰/۵، ۰/۶، ۰/۷۵ و ۱ مول بر لیتر به ترتیب برابر با ۷۹/۸۲، ۹۴/۰۹، ۹۴/۴۴ و ۹۶/۱۸ درصد در مدت زمان ۱۲۰ دقیقه به دست آمد. با توجه به نتایج به دست آمده و با توجه به اینکه تفاوت قابل توجهی در میزان افزایش راندمان فرآیند استخراج در غلظت‌های ۰/۶، ۰/۷۵ و ۱ وجود نداشته و با در نظر گرفتن جنبه‌های اقتصادی دو غلظت ۰/۶ و ۰/۷۵ مول بر لیتر به عنوان غلظت‌های مناسب شناسایی شد.

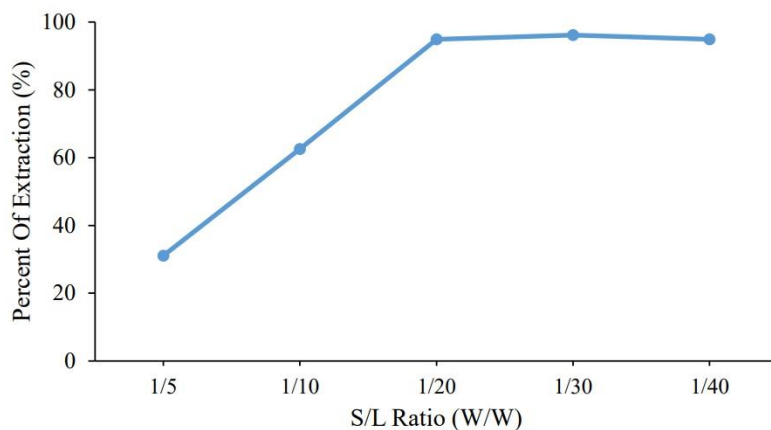
با توجه به این احتمال که در مراحل بعدی و در استفاده از مقادیر بالاتر نسبت جامد به مایع، میزان اسید پاسخگوی حجم بالاتر مس نباشد، غلظت ۰/۷۵ مول بر لیتر به عنوان غلظت بهینه در نظر گرفته شد، این نتایج مطابقت نزدیکی با نتایجی که در پژوهش Parhi و همکاران در سال ۲۰۱۵ به دست آمد و نشان داده شد که در شرایط مشابه غلظت بهینه اسید ۰/۵ مول بر لیتر است مطابقت دارد.

### ۳-۳- تاثیر نسبت جامد به مایع

به منظور تعیین تاثیر نسبت جامد به مایع و در واقع بررسی تاثیر نسبت وزنی کاتالیست به اسید بر عملکرد سیستم آزمایش‌ها در پنج نسبت وزنی مختلف جامد به مایع (۱ به ۵، ۱ به ۱۰، ۱ به ۲۰، ۱ به ۳۰ و ۱ به ۴۰) با ثابت نگه داشتن غلظت اسید برابر ۰/۷۵ مول بر لیتر و با ثابت نگه داشتن دیگر پارامترهای موثر بر واکنش، انجام پذیرفت. نتایج مربوطه در شکل ۶ و ۷ ارائه شده است



شکل شماره ۶. درصد استخراج مس در نسبت‌های مختلف جامد به مایع در طول زمان (شرایط آزمایش: کاتالیست خرد نشده، غلظت اسید برابر با ۰/۷۵ مول بر لیتر)



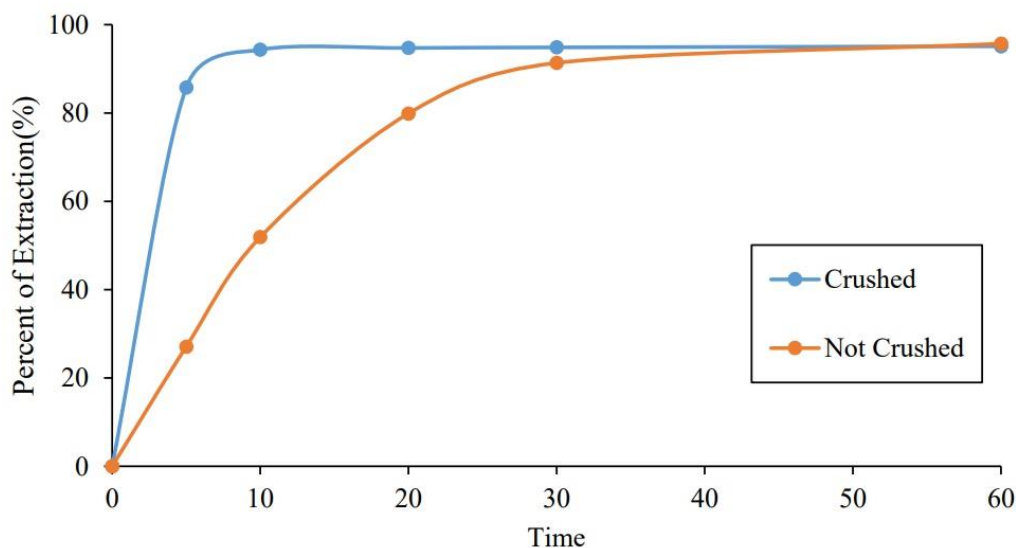
شکل شماره ۷. تاثیر نسبت‌های مختلف جامد به مایع بر درصد استخراج مس (شرایط آزمایش: کاتالیست خرد نشده، غلظت اسید برابر با ۰/۷۵ مول بر لیتر)

همان‌طور که در شکل‌های ۶ و ۷ مشاهده می‌شود، با افزایش نسبت جامد به مایع، میزان مس فروشویی شده و درصد راندمان فرآیند کاهش پیدا کرده است. راندمان فرآیند استخراج مس برای نسبت‌های (۱ به ۱، ۱ به ۱۰، ۱ به ۲۰، ۱ به ۳۰ و ۱ به ۴۰) به ترتیب برابر با ۳۱/۰۷، ۶۲/۵۸، ۹۴/۹۲، ۹۶/۱۵ و ۹۴/۹۲ درصد در مدت زمان ۱۲۰ دقیقه به دست آمد.

با توجه به نتایج به دست آمده و با توجه به اینکه تفاوت قابل توجهی در میزان افزایش راندمان فرآیند استخراج در غلظت‌های ۱ به ۲۰، ۱ به ۳۰ و ۱ به ۴۰ وجود نداشته و با در نظر گرفتن اینکه با افزایش نسبت جامد به مایع از ۱ به ۳۰ و ۱ به ۴۰ کاهش راندمان را شاهد هستیم، نسبت جامد به مایع برابر با ۱ به ۳۰، که معادل با چگالی جامدات ۳/۳ درصد است به عنوان نسبت بهینه در نظر گرفته شد. در پژوهشی مشابه که Parhi و همکاران در سال ۲۰۱۵ انجام دادند و مقدار چگالی ۲/۵ درصد را به عنوان مقدار بهینه معرفی نمودند، مطابقت نزدیکی دارد.

### ۳-۴- تاثیر خردایش

به منظور تعیین تاثیر سایز ذرات کاتالیست بر راندمان و سرعت استخراج مس از درون کاتالیست آزمایش‌ها در دو حالت کاتالیست خرد نشده و کاتالیست خرد شده تا مش ۲۰۰، در شرایط غلظت اسید برابر ۰/۷۵ مول بر لیتر و با نسبت جامد به مایع ۱ به ۳۰ با ثابت نگه داشتن سایر پارامترها در مدت زمان ۶۰ دقیقه انجام پذیرفت که نتایج مربوطه در شکل ۸ ارائه شده است.



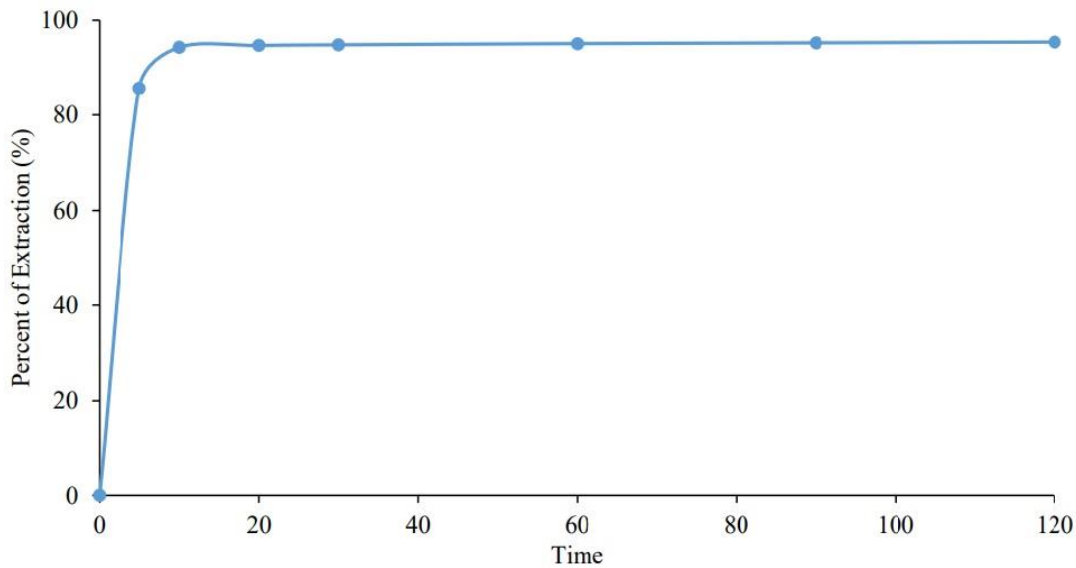
شکل شماره ۸. تاثیر خردایش بر درصد استخراج مس (شرایط آزمایش: غلظت اسید برابر با ۰/۷۵ مول بر لیتر، نسبت جامد به مایع برابر با ۱ به ۳۰)

همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، با خردایش قطعات کاتالیست تا مش ۲۰۰، میزان مس فروشویی شده و درصد راندمان فرآیند در انتهای مدت زمان ۶۰ دقیقه تفاوت قابل توجهی با کاتالیست خرد نشده نداشته است. نکته قابل توجه تفاوت چشمگیر در سرعت پیشرفت واکنش در دو حالت کاتالیست خرد شده و خرد نشده است. راندمان فرآیند استخراج مس در حالت کاتالیست خرد نشده در زمان‌های (۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰ و ۶۰ دقیقه) پس از شروع واکنش به ترتیب برابر با ۲۷/۰۹، ۵۱/۸۹، ۷۹/۸۸، ۹۱/۳۳، ۹۵/۶۹ و ۹۵/۱۱ درصد به دست آمده در حالیکه راندمان استخراج مس برای کاتالیست خرد شده در زمانهای مشابه به ترتیب ۸۵/۷۴، ۹۴/۳۳، ۹۴/۷۲، ۹۴/۸۵، ۹۵/۱۱ درصد به دست آمده است.

همانطور که از نتایج به دست آمده مشخص است، خرد شدن کاتالیست تاثیر بسیار قابل توجهی بر سرعت واکنش داشته است. این مسئله به دلیل اصلاح سطح و افزایش سطح تماس موثر بین ذرات جامد و محلول اسیدی در اثر خردایش بوده است. نتایج به دست آمده با نتایج پژوهشی که Swaroopa و همکاران در سال ۲۰۱۳ انجام دادند و نشان دادند که با خردایش کاتالیست تا مش ۲۰۰، سرعت استخراج افزایش می‌یابد، مطابقت دارد.

### ۳-۵- تاثیر زمان

به دلیل آنکه زمان پارامتری تاثیر گذار بر فرآیند مورد استفاده در این تحقیق می‌باشد، در ادامه تاثیر این پارامتر بر عملکرد سیستم در شرایط بهینه بدست آمده از آزمایش‌های قبلی مورد بررسی قرار گرفت که نتایج مربوطه در شکل (۹) ارائه شده است



شکل شماره ۹. تاثیر زمان بر عملکرد فرآیند

(شرایط آزمایش: غلظت اسید برابر با ۰/۲۵ مول بر لیتر، نسبت جامد به مایع برابر با ۱ به ۳۰، کاتالیست خرد شده)

همان‌طور که در شکل شماره ۹، مشاهده می‌شود سرعت واکنش در دقایق ابتدایی واکنش بسیار بالا بوده و پس از ۲۰ دقیقه پس از شروع واکنش به حداکثر میزان راندمان رسیده و عملاً پس از ۶۰ دقیقه از شروع واکنش پیشرفت قابل توجهی را شاهد نیستیم. در نتیجه مدت زمان ۶۰ دقیقه به عنوان زمان بهینه در نظر گرفته شد.

### ۴- نتیجه گیری

در این پژوهش از فرآیند فروشویی اسیدی برای استخراج مس از کاتالیست مستعمل پتروشیمی زاگرس مورد استفاده قرار گرفته و میزان بهینه پارامترهای موثر به روش تک فاکتوری تعیین گردید. در این تحقیق تاثیر پارامترهای نوع اسید، غلظت اسید، نسبت جامد به مایع، خردایش و زمان بر عملکرد





فرآیند فروشویی مورد ارزیابی قرار گرفت. در این پژوهش اسید سولفوریک به عنوان عامل اسیدی بهینه تعیین شد. بر اساس نتایج حاصل غلظت بهینه اسید برابر با ۰/۷۵ مول بر لیتر، نسبت جامد به مایع بهینه برابر با ۱ به ۳۰، خردایش تا مش ۲۰۰ میکرون و مدت زمان بهینه برابر با ۶۰ دقیقه تعیین گردید.

## ۵- تقدیر و تشکر

بدینوسیله از شرکت مدیریت پسماند شیمی کشاورز به خاطر حمایت مادی و معنوی از پژوهش حاضر صمیمانه تشکر و قدردانی می‌شود.

## ۶- مراجع

گیتی پوره، اکبرپور سراسکانرود و فیروزبخت، ۲۰۲۰. مطالعه سینتیک فروشویی نیکل از کاتالیست های مستعمل با اسید نیتریک. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۲۲(۳)، ۲۱۵-۲۰۵pp.

Asghari, S.M. Mousavi, F. Amiri, S. Tavassoli, Bioleaching of spent refinery catalysts: a review, J. Ind. Eng. Chem. ۱۹ (۲۰۱۳) ۱۰۶۹-۱۰۸۱.

K. Al-Dalama, A. Stanislaus, Comparison between deactivation patterns of catalyst in fixed bed and ebullating bed residue hydroprocessing units, Chem. Eng. J. ۱۲۰ (۲۰۰۶) ۳۳-۴۲.

M. Arshadi, S. Yaghmaei, S.M. Mousavi. ۲۰۱۶. Bioleaching of Electronic Waste: A Review. Iranian Chemical Engineering Journal. ۱۵ (۸۵): ۵۰-۶۱. (In Persian)

M. Marafi, A. Stanislaus, A review part I—developments in hydroprocessing catalyst waste reduction and use, Res. Cons. Recycle ۵۲ (۲۰۰۸) ۸۵۹-۸۷۳.

Mecucci, K. Scott, Leaching and electrochemical recovery of copper, lead and tin from scrap printed circuit boards, J. Chem. Technol. Biotechnol. ۷۷ (۲۰۰۲) ۴۴۹-۴۵۷.

P.K. Parhi, T.R. Sethy, P.C. Rout, K. Sarangi, Selective dissolution of copper from copper-chromium spent catalyst by baking-leaching process, J. Ind. Eng. Chem. ۲۱ (۲۰۱۵) ۶۰۴-۶۰۹.

Singh, Treatment of spent catalyst from the nitrogenous fertilizer industry—a review of the available methods of regeneration, recovery and disposal, J. Hazard. Mater. ۱۶۷ (۲۰۰۹) ۲۴-۳۷.

Swaroop, S., Ghosh, M.K., Sanjay, K. and Mishra, B.K., ۲۰۱۳. Extraction of Cu and Cr from a spent Cu-Cr catalyst: recovery enhancement through mechanical activation. Hydrometallurgy, ۱۳۶, pp. ۸-۱۴.

Habbache, N., Alane, N., Djerad, S. and Tifouti, L., ۲۰۰۹. Leaching of copper oxide with different acid solutions. Chemical Engineering Journal, ۱۵۲(۲-۳), pp. ۵۰۳-۵۰۸.

El-Okazy, M.A., Zewail, T.M. and Farag, H.A.M., ۲۰۱۸. Recovery of copper from spent catalyst using acid leaching followed by electrodeposition on square rotating cylinder. Alexandria engineering journal, ۵۷(۴), pp. ۳۱۱۷-۳۱۲۶.