علوم و تکنولوژی محیط زیست ، دوره شانزدهم، شماره دو، تابستان ۹۳

جداسازی آلومینا از لجن رنگ صنایع خودروسازی با روش لیچینگ

سید مصطفی خضری[۱]

فاطمه عبداله[۲] *

fateme.abdollah@yahoo.com

تاریخ دریافت:۹۲/۴/۲۲ **تاریخ پذیرش:۹۳/۳/۱۷**

چکیده

لجن رنگ صنایع خودروسازی به علت دارابودن فلزات سنگین، پلیمرهای پخت نشده و آلاینده های آلی و معدنی جزء مواد زاید خطرناک دسته بندی شده است. به همین دلیل، دفع صحیح آن با مشکلات زیادی روبه رو است. روش های متعددی جهت کاهش آثار زیست محیطی لجن رنگ، توسط شرکت های خودروسازی بزرگ دنیا توسعه یافته است. یکی از روش های موثر جهت کاهش آلودگی که دارای صرفه اقتصادی نیز می باشد، جداسازی فلزات سنگین از این لجن می باشد. تحقیق حاضر با هدف بررسی آلایندگی لجن رنگ صنایع خودروسازی، کاهش آلودگی آن در سطح استانداردهای زیست محیطی و بازیابی آلومینا از لجن رنگ با روش لیچینگ انجام یافته است . پس از انجام آزمایش های XRD و XRF بر روی لجن رنگ مشخص گردید که درصد آلومینا در این ترکیب به نسبت زیاد است. با توجه به ارزشمندی اقتصادی و کاربردهای گوناگون آلومینا در صنایع مختلف، جداسازی آن مد نظر قرار گرفت. پس از بررسی روش های مرسوم جدایش مشخص شد با بهینه سازی پارامترهای درجه حرارت و ابعاد ذرات و غلظت اسید سولفوریک در روش لیچینگ می توان آلومینا را ۷۰٪ بازیابی نمود.

واژه های کلیدی: صنایع خودروسازی، لجن رنگ، آلومینا، لیچینگ، شرکت خودروسازی سایپا.

۱- دانشیار، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران

۲- کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست– منابع آب، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران*، ایران (مسئول مکاتبات)

مقدمه

صنایع خودروسازی یکی از بزرگ ترین صنایع جهان است و در کشور ما نیز از اهمیت خاصی برخوردار می باشد. صنایع خودروسازی از نظر طبقه بندی بانک جهانی می تواند جزء پروژه هایی باشد که اثرات مشخص و ناسازگار زیست محیطی دارد(۱). لجن رنگ تولیدی در سالن رنگ صنایع خودروسازی به علت وجود مواد خطرناک نظیر رنگ های حاوی فلزات سنگین، حلال های مختلف نظیر تینر و انواع ترکیبات قلیایی و اسیدی و غیره دارای پتانسیل آلودگی بالایی است و تبعاً دفع صحیح آن با مشکلات زیادی روبه رو است. دفع لجن رنگ نیازمند تمهیدات ویژه ای است و در صورت تخلیه کنترل نشده به محیط زیست، خسارات جبران ناپذیری به منابع آب، خاک و هوا وارد می سازد و باعث بروز صدمات به اکوسیستم و در نهایت انسان می گردد. این موضوع ضرورت اجرا و استفاده از فرایندهایی که علاوه بر کاهش بار آلاینده، امکان تولید موادی ارزشمند را نیز فراهم آورد، یادآور می شود. با پیشرفت فن‌آوری و توسعه کشورها از نظر اقتصادی و فرهنگی، مصرف محصولات فلزی شتاب فزاینده‌ای به خود گرفته است. این امر صنایع معدنی و متالورژی را با مشکلات عدیده‌ای روبه رو ساخته است. عواملی چون نیاز روز افزون به مواد اولیه و کاهش ذخایر معدنی پر عیار، توجه به بازیابی مواد معدنی و فلزات از ضایعات جانبی صنایع و جلوگیری از هدر رفتن مواد اولیه، ضرورت مصرف بهینه انرژی و رعایت دقیق معیارهای زیست محیطی، باعث رشد فزاینده فن‌آوری زیستی در صنعت استحصال فلزات شده است(۲).

یکی از ترکیباتی که در لجن رنگ به میزان قابل توجهی وجود دارد، آلومینا است.امروزه در جهان رشد چشم گیری برای استخراج آلومینا از منابع گوناگون خصوصا مواد زاید به وسیله روش های مختلف وجود دارد. آلومینا معمولا از بوکسیت به وسیله فرایند بایر تولید می شود. روش بایر یکی از پیچیده ترین، پرهزینه ترین و زمان بر ترین فرایندهای هیدرومتالورژی است و به همین دلیل در حین عملیات با چالش های عملیاتی زیادی مواجه است. بسیاری از محققان در تلاش اند تا فرایند بایر را اصلاح کنند و یا از مواد دیگری غیر از بوکسیت، آلومینا را استخراج کنند. به دلیل نبود ذخایر بوکسیتی در ایران منابع غیر بوکسیتی در این زمینه از اهمیت ویژه ای برخوردار است.

در سال های گذشته در کشورهای مختلف جهان، تحقیقات مختلفی توسط کارخانجات بزرگ خودروسازی در زمینه تبدیل لجن رنگ به محصولات جانبی مفید مانند تهیه رنگ از لجن رنگ توسط شرکت بین المللی کاترپیلار و شرکت آلمانی کریسلر(۳و۴)، تهیه سیمان از لجن رنگ توسط شرکت میتسوبیشی(۵) ، تهیه جاذب و کامپوزیت های سرامیکی ضد آب توسط شرکت فورد(۶) ، تبدیل لجن رنگ به قطعات لرزه گیر و همچنین استفاده از مواد بازیافتی به عنوان کاهش دهنده انفجار در کوره های تولید فولاد به وسیله شرکت ژاپنی گونما(۷) ، تولید نرده های محافظ جاده و اتوبان و بلوک های پارکینگ، مواد پوشش سقف، بتن با مقاومت پایین و کف پوش های ساختمانی توسط شرکت تویوتا (۸) ، به عنوان پرکن در محصولاتی نظیر درزگیرها، پلاستیک ها، رنگ ها و پوشش های سقف به وسیله صنایع ناسکوته با همکاری EPI (۹) ، تهیه مصالح دانه سبک توسط شرکت کانادایی آگلوریکاری(۱۰) ، صورت گرفته است. در ایران تحقیقات اندکی از جمله امکان سنجی استفاده از محصول بازیافتی لجن رنگ به عنوان مکمل بتن و آسفالت (۱۱) ، استخراج دی اکسید تیتانیم از لجن رنگ(۱۳و۱۲) ، همچنین استفاده مجدد از لجن فاضلاب صنایع رنگ سازی برای ساخت مجدد رنگ(۱۴) ، صورت گرفته است.

البته لازم به ذکر است که اکثر نتایج مطالعات صورت گرفته در کارخانجات بزرگ خودروسازی دنیا جزء اسناد محرمانه این شرکت ها می باشد و دسترسی به آن ها به سادگی امکان پذیر نیست. تاکنون تحقیقی با عنوان بازیابی آلومینا از لجن رنگ صنایع خودروسازی در دنیا انجام نیافته است و این تحقیق از این لحاظ دارای نوآوری می باشد.

لذا تحقیق حاضر با هدف بررسی آلایندگی لجن رنگ صنایع خودروسازی، کاهش آلودگی آن در سطح استانداردهای زیست

محیطی و بازیابی آلومینا از لجن رنگ با روش لیچینگ مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش ها

۱- مواد به کار رفته

مطالعه موردی در این تحقیق شرکت خودروسازی سایپا بوده است و در آزمایش ها از لجن رنگ تولیدی در سالن رنگ جدید استفاده شد. در این سالن از رنگ های پایه آب جهت رنگ کاری بدنه اتومبیل استفاده می شود. از لجن رنگ این سالن طی دو مرحله و در تاریخ های ۸۹/۷/۷، ۸۹/۱۰/۶ از مخزن نگه داری لجن رنگ (محل دپو) در محوطه بیرون سالن، نمونه گرفته شد.

در مرحله اول نمونه گیری، هدف شناخت و آنالیز عنصری و ترکیبی لجن رنگ بود و در مرحله دوم به منظور بازیابی آلومینا از لجن رنگ نمونه گیری صورت گرفت. برای انجام فرآیند بازیابی از اسید سولفوریک ۹۸٪ ساخت شرکت مرک آلمان استفاده شد.

۲- آماده سازی نمونه لجن رنگ و تجهیزات مورد استفاده

نمونه های لجن رنگ برای مدت ۴۸ ساعت در آون در دمای $۱۰۵^{0}C$ قرار داده شد. سپس بر اساس روش مخروط و چهار قسمت کردن نمونه های لجن رنگ به دو بخش تقسیم شد. یک بخش در کوره با درجه حرارت مناسب (برای حذف همه ترکیبات آلی) قرار داده شد و بخش دیگر به صورت خام مورد آزمایش قرار گرفت. در ادامه هر دو نمونه لجن رنگ تا ابعاد مناسب توسط دستگاه پودرکننده آسیا شد. برای تعیین میزان و نوع عناصر موجود در نمونه، از لجن رنگ آزمایش های XRD وXRF و برای سنجش میزان آلومینا از محلول آزمون ICP گرفته شد.

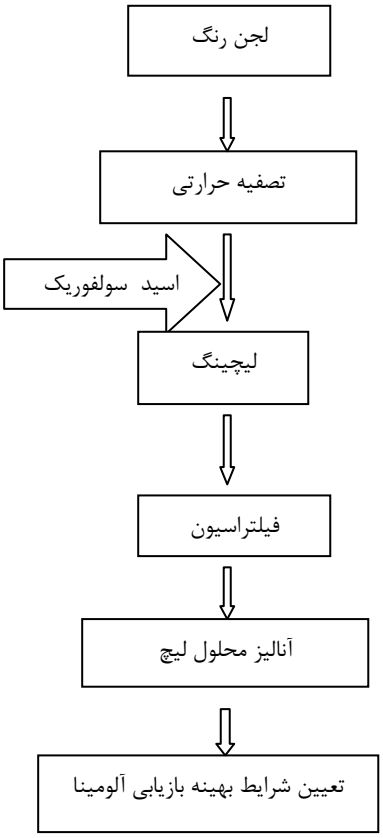
۳- عمل آوری لجن رنگ برای بازیابی آلومینا

با توجه به مطالعات و بررسی های انجام یافته دو روش برای بازیابی آلومینا از لجن رنگ می توان در نظر گرفت. یک روش این است که نمونه لجن رنگ خشک، خرد شده و به صورت خام مورد آزمایش قرار گیرد، روش دوم این که نمونه لجن رنگ خشک، خرد و حرارت دهی شده و سپس آزمایش شود. شرایط و نتایج آزمایش در جدول۱ ارایه شده است.

۴- فرآیند بازیابی آلومینا

برای بازیابی آلومینا از بقیه اکسیدها، از روش لیچینگ اسیدی استفاده شد. در این روش، مقداری از لجن خام و خشک شده توزین شده و داخل بشر قرار گرفت. سپس به داخل هر یک از نمونه ها، غلظت مشخصی از اسید سولفوریک(۳۰٪ و ۷۰٪) اضافه گردید. در ادامه بشرها بر روی هیتر در دماهای تعیین شده ($۳۰\ ^{0}C$، $۴۵\ ^{0}C$، $۶۰\ ^{0}C$ و $۷۰\ ^{0}C$) قرار گرفتند. پس از سپری شدن زمان واکنش (۲/۵ساعت) ، پالپ فیلتر و قسمت محلول برای آزمون ICP مورد استفاده قرار گرفت.

شکل ۱ دیاگرام روش قابل استفاده برای بازیابی آلومینا از لجن رنگ صنایع خودروسازی را نشان می دهد. زمان واکنش و مقدار نمونه به دلیل صرفه جویی در زمان و تعداد آزمایش های مورد نیاز ثابت در نظر گرفته شد.



شکل ۱- دیاگرام روش بازیابی آلومینای لجن رنگ صنایع خودروسازی

نتایج

۱- مقایسه نتایج نمونه لجن رنگ خام و نمونه حرارت دهی شده

آزمایش بر طبق جدول۱ انجام یافت و محلول آزمایش از لحاظ میزان آلومینا به وسیله تست *ICP* مورد سنجش قرار گرفت. مشخص شد که بازیابی آلومینا در نمونه لجن رنگ حرارت دهی شده خیلی بیشتر است.

جدول۱- مقایسه نتایج نمونه لجن رنگ خام و لجن رنگ تصفیه حرارتی شده

نمونه لجن رنگ	غلظت اسید	زمان واکنش	درجه حرارت	ابعاد ذرات	بازیابی (٪)
قبل از کوره	٪۵۰	۱/۵ h	۵۰ ^{O}C	۱۲۵µ	۱۹/۰۸۶
بعد از تصفیه	٪۵۰	۱/۵ h	۵۰^{O}C	۱۲۵µ	۴۹/۹۰

با مقایسه این دو آزمایش نتیجه حاصل شد که عدم تصفیه حرارتی به طور مهمی بازیابی آلومینا را بدتر می کند.بنابراین آزمایش ها بر روی نمونه لجن رنگ تصفیه حرارتی شده انجام یافت.

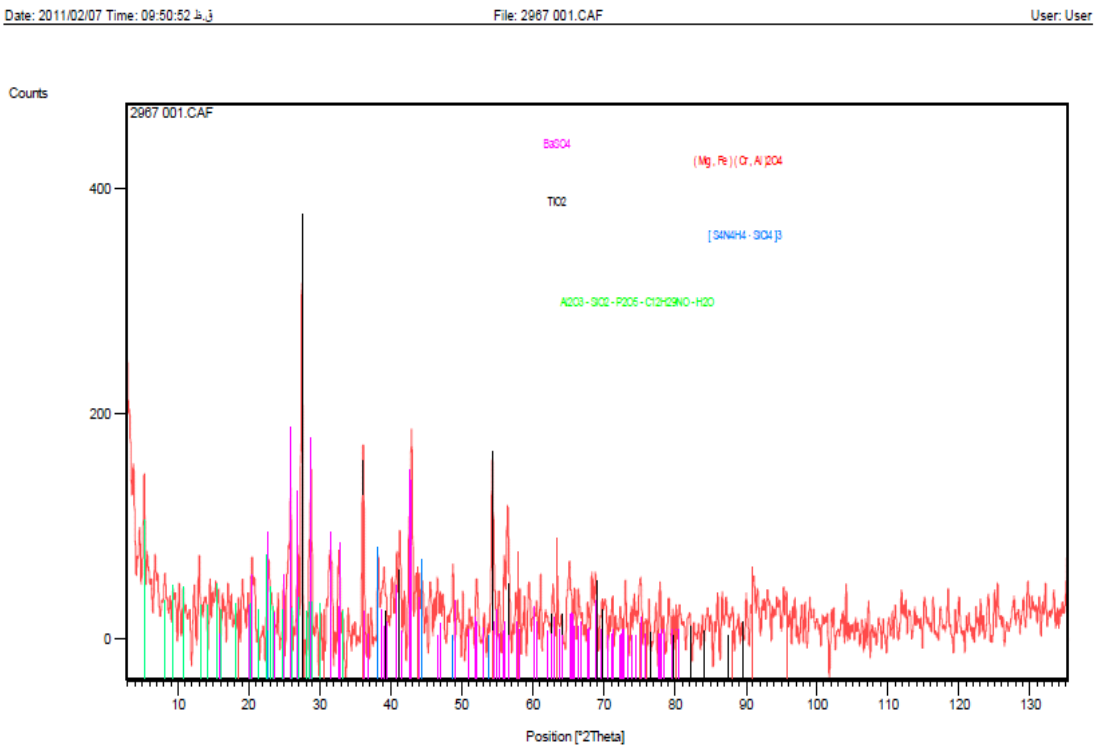
۲- نتایج آزمایش های XRD و XRF

برای تعیین میزان و نوع عناصر موجود در نمونه تصفیه حرارتی شده از نمونه موجود آزمایش های *XRD* و *XRF* گرفته شد. نتیجه آزمایش *XRD* در جدول۲ و نمودار ۱ و نتیجه آزمایش *XRF* در جدول ۳ آورده شده است.

جدول۲- آنالیز *XRD* ترکیبات لجن رنگ حرارت دهی شده

نام ترکیب	فرمول شیمیایی
روتیل	TiO_2
باریت	$BaSO_4$
منیزیم،کروماید، فرو،آلومینیم	$(Mg,Fe)(Cr,Al)_2O_4$
سولفورآمید سیلیکون کلراید نوع۳	$S_4N_4H_4Si\ Cl_4)_3)$
آلومینا	Al_2O_3
فسفات	P_2O_5
سیلیکات	SiO_2
تترا پروپیل آمونیوم هیدروکساید هیدرات	$C_{12}H_{29}NO\text{-}H_2O$

جدول ۲ و نمودار ۱ بیانگر این است که ترکیبات آلومینا، روتیل، باریت و غیره در لجن رنگ وجود دارند.



نمودار ۱ - نمودار *XRD*

جدول ۳- آنالیز ***XRF*** نمونه لجن رنگ حرارت دهی شده

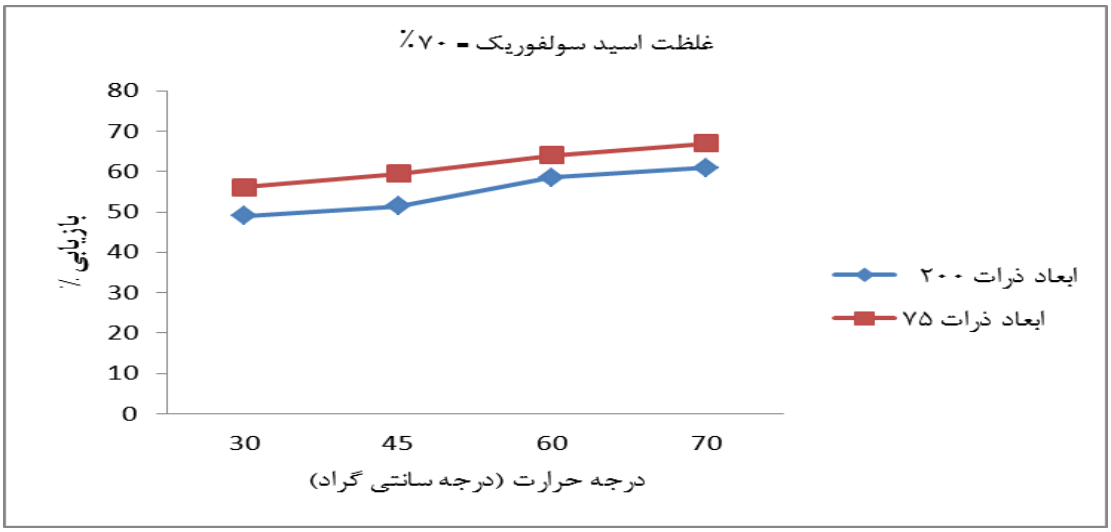
نام آنالیت	مقدار آنالیت	واحد مقدار
Na_2O	۱/۷۹	w/w%
Al_2O_3	۲۷/۵۹	w/w%
SiO_2	۲/۴۷	w/w%
P_2O_5	۰/۲۹	w/w%
SO_3	۹/۹۹	w/w%
Cl	۸۵۰	ppm
K_2O	۵۵۰	ppm
CaO	۵/۲۰	w/w%
TiO_2	۲۶/۸۳	w/w%
Cr_2O_3	۱/۱۲	w/w%
Fe_2O_3	۴/۸۷	w/w%
Cu_2O	۴۵۰	ppm
Zn	۰/۱۶	w/w%
Sr	۰/۱۴	w/w%
BaO	۱۸/۶۷	w/w%

همان گونه که از جدول مشخص است آلومینا (Al_2O_3) بیشترین حجم نمونه (۲۷/۵۹٪) و اکسید تیتانیوم (TiO_2) و اکسید باریم (BaO) و غیره در رده های بعدی قرار دارند.

۳- نتایج تاثیر درجه حرارت و ابعاد ذرات بر بازیابی آلومینای لجن رنگ

در این تحقیق از میان پارامترهای موثر بر لیچینگ تاثیر درجه حرارت و ابعاد ذرات بر بازیابی آلومینا در دو غلظت ۳۰٪ و ۷۰٪ اسید سولفوریک آزمایش شد. منحنی تغییرات میزان بازیابی آلومینا بر حسب درجه حرارت های ^0C ۳۰، ^0C ۴۵، ^0C ۶۰ و ^0C ۷۰ و ابعاد ذرات ۷۵ µ و ۲۰۰ µ در دو غلظت ۳۰٪ و ۷۰٪ اسید سولفوریک در شکل های ۲و ۳ آمده است.

شکل۲- تاثیر درجه حرارت و ابعاد ذرات بر بازیابی آلومینا در غلظت اسید سولفوریک ۳۰٪



شکل۳- تاثیر درجه حرارت و ابعاد ذرات بر بازیابی آلومینا در غلظت اسید سولفوریک ۷۰٪

در غلظت۳۰٪ اسید سولفوریک، تغییر درجه حرارت از ۳۰ تا ^0C ۷۰ بازیابی آلومینا را در ابعاد ۷۵ µ از۵۷/۹۶٪ به ۶۶/۷۴٪ افزایش می دهد و در ابعاد ذرات ۲۰۰µ بازیابی از ۵۲/۳۳٪ به ۶۰/۰۳٪ افزایش می یابد. در غلظت۷۰٪ اسید سولفوریک،

تغییر درجه حرارت از ۳۰ تا ^0C ۷۰ بازیابی آلومینا را در ابعاد μ ۷۵ از ۵۶/۱۳٪ به ۶۷/۰۳٪ افزایش می دهد و در ابعاد ذرات μ ۲۰۰بازیابی از۴۹/۰۱٪ به ۶۰/۸۸٪ افزایش می یابد. در هر دو غلظت اسید سولفوریک با افزایش درجه حرارت از ^0C ۳۰ به ^0C ۷۰ بازیابی به طور بارز و در حدود ۱۰٪ بیشتر می شود. همچنین بازیابی آلومینا در هر دو غلظت اسید مورد آزمایش با کاهش ابعاد ذرات از ۷۵ به ۲۰۰ میکرون در حدود ۶٪ افزایش می یابد. ولی با افزایش غلظت اسید سولفوریک از۳۰٪ به ۷۰٪ تغییر چشم گیری(کمتر از۱٪) در بازیابی آلومینا مشاهده نشد.

بحث و نتیجه گیری

در مراحل رنگ کاری دو نوع لجن، لجن مربوط به مراحل آستری و رنگ رویه که ماهیت یکسانی دارند و لجن مربوط به مرحله ورنی تولید می شود. لجن رنگ نهایی که از کارخانه خارج می شود، مخلوطی از این دو نوع لجن می باشد.

بررسی نتایج نشان می دهد که لجن رنگ دارای رطوبت بالایی در حدود ۷۰٪ است و به دلیل دارا بودن ترکیبات گوگرد در آن، بوی نا مطبوع دارد. خشک کردن لجن باعث کاهش بوی نا مطبوع آن می گردد. با انجام آزمایش های *XRD* و *XRF* نوع ترکیبات موجود در لجن شناسایی و مشخص شد. در اثر حرارت دادن لجن رنگ، ترکیبات مضر همچون سولفیدها و ترکیبات آلی از بین می روند و تنها مخلوطی از اکسیدهای فلزات باقی می ماند. پس از بررسی این اکسیدها، با توجه به ارزش ریالی و درصد بالای آلومینا (۲۷/۵۹٪) این نتیجه حاصل شد که با توجه به قیمت بالای اکسید آلومینیم این اکسید از بقیه جداسازی شود. بر اساس مطالعات انجام شده قبلی از میان روش های مرسوم،روش لیچینگ می تواند به عنوان روشی موثر در استحصال آلومینا از لجن رنگ صنایع خودروسازی به کار رود.

- مطالعات *XRD* و *XRF* نمونه تهیه شده از لجن رنگ صنایع خودروسازی سایپا نشان می دهد که لجن رنگ حاوی آلومینا بوده و میزان Al_2O_3 ۲۷/۵۹٪ است و سایر ناخالصی های آن شامل دی اکسید تیتانیوم، دی اکسید سیلسیم، و اکسید آهن و غیره می باشد.
- بدون تصفیه حرارتی، آلومینای بازیابی ۱۹/۰۸۶٪ است. ولی با انجام عملیات لیچینگ بر روی نمونه حرارت دهی شده، بازیابی آلومینا را می توان تا ۴۹/۹۰٪ بهبود بخشید.
- یکی از عوامل موثر در فرآیند لیچینگ تاثیر غلظت اسید بر بازده استخراج می باشد. در زمینه تاثیر غلظت انواع اسید ها بر استخراج عناصر مختلف از منابع متفاوت، بررسی هایی انجام گرفته است. در تحقیقی که با عنوان، مطالعه روی فرایند لیچینگ بوکسیت انجام یافت، از اسید کلریدریک ۱۰٪ استفاده شد و بازده استخراج آلومینا ۹۵٪ به دست آمد (۱۵). در تحقیق دیگر که بر روی استخراج آلومینا از خاکستر فرار زغال سنگ انجام شد از اسید سولفوریک ۶ مولار استفاده شد و در پایان بازیابی آلومینیم به حدود ۲۳/۵٪ رسید(۱۶). در زمینه تاثیر غلظت اسید سولفوریک بر بازیابی آلومینا از منابع مختلف تحقیقات مختلفی انجام گرفته است. بر طبق این تحقیقات با افزایش غلظت اسید سولفوریک، بازیابی و استخراج آلومینا افزایش می یابد. به عنوان نمونه بر اساس تحقیقی که برای استخراج آلومینا از خاکستر فرار صورت گرفت، مشخص شد که با افزایش غلظت اسید سولفوریک از N ۳ به N ۳۶ بازیابی آلومینا افزایش می یابد(۱۷). نتایج به دست آمده در تحقیق استخراج آلومینا از پسماندهای آلومینیم نشان می دهد که با افزایش غلظت اسید از ۲۰٪ به ۴۰٪ بازده از ۸۰٪ به ۸۶٪ می رسد. در این تحقیق در ابتدا با افزایش غلظت اسید بازده بازیابی افزایش می یابد و سپس با افزایش غلظت اسید بیشتر از یک مقدار خاص، بازیابی تقریبا ثابت می ماند و تغییر چشم گیری ندارد (۱۸). این نتایج با

نتیجه تحقیق حاضر مطابقت دارد. در تحقیق حاضر پس از انجام آزمایش ها مشخص شد که افزایش غلظت اسید سولفوریک از ۳۰٪ به ۷۰٪ تاثیر بارزی بر بازده بازیابی آلومینا از لجن رنگ صنایع خودروسازی ندارد.

تفاوت در بازده بازیابی در تحقیقات بالا به این دلیل است که نمونه های مورد آزمایش از نظر ترکیبات و عناصر موجود و درصد مواد تشکیل دهنده بسیار با یکدیگر متفاوت می باشند. در نمونه لجن رنگ عناصر Fe, Ti, K, Na ,Mg ,Ca با درصدهای مختلف وجود دارد که به طور همزمان با آلومینیوم در اسید سولفوریک حل می شود و این مسئله باعث می شود که افزایش غلظت اسید، تاثیر چشم گیری بر بازده بازیابی آلومینا نداشته باشد.

- در اکثر تحقیقات صورت گرفته در زمینه استخراج عناصر مختلف با روش لیچینگ، درجه حرارت به عنوان یکی از پارامترهای مهم و موثر در فرایند لیچینگ مورد بررسی قرار می گیرد(۱۵و۱۶). بر اساس تحقیقی که برای تعیین شرایط بهینه استخراج آلومینا از خاکستر فرار و پسماندهای آلومینیم صورت گرفت، مشخص شد که با افزایش درجه حرارت تا ۱۰۰ درجه سانتی گراد و ۲۰۰ درجه سانتی گراد بازده بازیابی آلومینا حداکثر خواهد شد(۱۷و۱۸). اثر مثبت افزایش درجه حرارت بر بازیابی آلومینا در تحقیقات ذکر شده با نتیجه تحقیق حاضر مطابقت دارد و نمایانگر تاثیر مثبت افزایش درجه حرارت بر بازیابی آلومینا از لجن رنگ صنایع خودروسازی است. به طوریکه با افزایش درجه حرارت از ۳۰ به ^0C ۷۰ بازیابی نیز افزایش می یابد.
- ابعاد ذرات پارامتری موثر در فرایند لیچینگ می باشد و در اکثر تحقیقات انجام یافته برای تعیین شرایط بهینه استخراج و بازیابی مورد بررسی قرار گرفته است. برای مثال در تحقیقی با عنوان استخراج آلومینیم باروش لیچینگ، شرایط بهینه و حداکثر استخراج آلومینیم زمانی به دست آمد که سایز ذرات ۷۴ میکرون بود(۱۹). در فرایند لیچینگ بوکسیت، حداکثر میزان بازیابی زمانی به دست آمد که آزمایش روی ذرات کوچک تر از ۵۵ میکرو متر انجام یافته بود (۱۵). در تحقیق استخراج آلومینا از خاکستر فرار، نمونه ها در حدود ۱ میلی متر خرد شده و تمام آزمایش ها بر روی این ذرات انجام یافته است(۱۷). این نتایج با نتیجه این تحقیق همخوانی دارد. در تمام این تحقیقات با کاهش اندازه ذرات، بازیابی افزایش می یابد. تحقیق حاضر نمایانگر این است که ابعاد ذرات تاثیر منفی بر بازیابی آلومینا از لجن رنگ صنایع خودروسازی دارد، به طوری که با کاهش ابعاد ذرات، بازیابی آلومینا افزایش می یابد. دلیل این مسئله این است که با کاهش اندازه ذرات و افزایش نسبت سطح به حجم به دلیل نفوذ بیش تر و بهتر اسید در نمونه ها بازده بازیابی افزایش می یابد.
- با انجام این آزمایش ها شرایط بهینه برای بازیابی آلومینا از لجن رنگ صنایع خودروسازی تعیین گردید و مشخص شد که تحت شرایط درجه حرارت: ^0C ۷۰، ابعاد ذرات : μ ۷۵ و غلظت اسید سولفوریک: ۷۰٪ ، بازیابی آلومینا حدود ۷۰٪ می باشد.

منابع

۱. فراهانی، مریم؛"بررسی و سامان دهی معضلات زیست محیطی پساب صنایع خودروسازی"، چهارمین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، (۱۳۸۹)، تهران، ایران.

۲. منافی، زهرا؛ "فرایند بیوهیپ لیچینگ با نگرشی ویژه به کانسنگ معدن دره زار"، نشریه داخلی شرکت ملی صنایع مس ایران، سال اول، شماره یک، (فروردین ۱۳۸۸).

3. Water wash Overspray Paint Recovery Caterpillar,www.eere.energy.gov,(1995).
4. Daimler Chrysler,"New process for converting paint sludge into methanol", www.new-cars.com/news/021111-Chrysler-paint-sludge.html, (2002).
5. Mitsubishi manufacturing, "Environmental report",www.Mitsubishi-motors.com, (2000).
6. Nakouzi, S., et al., (Jan1998). "A novel approach to paint sludge recycling", Journal of Material Research, Vol.13, No. 1.
7. FUJI Heavy Industries (SUBARU), "Environmental & Social report", www.fhi.co.jp, (2007).
8. Happel, L, (2003), "Toyota targets zero land filling", waste news, vol. 9, No, 3-1.
9. Nashville, (2007), "Best Practice: Paint Sludge Recycling" http://www.bmpcoe.org.
10. Gerace, M.J., (Nov, 1992),"Method of making a filler from automotive paint sludge, filler, and sealant containing a filler", US patent No.5160628.

۱۱. جعفری، احد؛ ذکایی، فرزین؛ "امکان سنجی استفاده از محصول بازیافتی از ضایعات رنگ به عنوان مکمل آسفالت و بتن"، اولین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، (۱۳۸۵)، تهران، ایران.

12. Khezri, S.M., Bloorchian, A., 2009," Titanium dioxide extraction from paint sludge of Automotive industry", Environmental engineering & management journal, vol 8, No.1, 2009, 141-145.
13. Khezri, S.M., Shariat, S.M., Tabibian, S.,(2011)," Reduction of pollutants in painting operation and suggestion of an optimal technique for extracting titanium dioxide from paint sludge in car manufacturing industries", Toxicology and industrial health.

۱۴. ربیعی، آناهیتا؛ نبی بیدهندی،غلامرضا؛ مهردادی، ناصر ؛ ."استفاده مجدد از لجن فاضلاب صنایع رنگسازی برای کاهش آلودگی محیط زیست"، دومین همایش تخصصی مهندسی محیط زیست، ۱۳۸۷، تهران، ایران.

15. ZHAO, Ai-chun., et al, January (2013), "Thermodynamics study on leaching process of gibbsitic bauxite by hydrochloric" acid Transactions of Nonferrous Metals Society of China,Volume 23, Issue 1, Pages 266-270.
16. Shemi, A., et al, July (2012), "Alternative techniques for extracting alumina from coal fly ash", Minerals Engineering, Volume 34, Pages 30-37.
17. Nayak, Niva, Chitta R.Panda, (2010),"Aluminum extraction and leaching characteristics of fly ash" , Fuel, 8953-58.
18. Dash, B., B. R. Das, (2008) "Acid dissolution of alumina from waste aluminum dross", Hydrometallurgy, 92, 48-53.
19. WU, Cheng-you, et al,(September 2012), "Extraction of aluminum by pressure acid leaching method from coal fly ash", Transactions of Nonferrous Metals Society of China, Volume 22, Issue 9, Pages 2282-2.