ليچينگ انتخابي روي و اينديم از كنسانتره تشويه شده سولفيد روي

سيد محمد جواد كليني[۱]، كمال صابريان[۲]، محمود عبداللهي[۳]، حسين مهرپويا[۴]

۱- استاديار گروه فرآوري مواد معدني، دانشگاه تربيت مدرس (**koleini@modares.ac.ir**)

۲ - استاديار پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌اي، سازمان انرژي اتمي

۳- دانشيار گروه فرآوري مواد معدني، دانشگاه تربيت مدرس

۴ - دانشجوي كارشناسي ارشد گروه فرآوري مواد معدني، دانشگاه تربيت مدرس (**mehr_poho@yahoo.com**)

چكيده

كانه اسفالريت مهمترين كانه حاوي فلز روي و اينديم است. روش رايج براي بازيـابي روي و اينـديم از كنسـانتره اسـفالريت شـامل، تشـويه كنسانتره سولفيد روي، ليچينگ دو مرحله‌اي (مرحله اول با هدف بازيابي روي و مرحله دوم با هدف بازيابي اينديم) و مراحل تصفيه و تغليـظ از محلول‌هاي حاوي روي و اينديم (مرحله قبلی) است. جهت انجام اين مطالعه از كنسانتره اسفالريت كارخانه سرب و روي ايرانكوه اصـفهان كه حاوي تقريبا ۵۵% روي و **ppm** ۴۰ اينديم است استفاده گرديد. در مرحله اول ليچينگ پارامترهاي موثر شامل **pH**، زمـان، دمـا و درصـد جامد در محلول، به روش طراحي آزمايش‌هاي تاگوچي(**L۹**) به گونه‌اي بهينه‌سازي شدكه حداكثر روي حل شود و حداكثر اينديم در پسـماند حاصل از ليچينگ باقي بماند و مقادير بهينه اين پارامترها به ترتيب ۳، ۷۵ دقيقه، **c** °۶۰ و ۱۵۰گرم بر ليتـر بـه دسـت آمـد. در مرحلـه دوم ليچينگ با در نظر گرفتن شرايط مناسب براي مراحل بعدي بازيابي اينديم (تصفيه و تغليظ به روش ترسيب و استخراج حلالـي)، پارامترهـاي غلظت اسيد، دما ، زمان و مقدار احياكننده لازم جهت احياء آهن بهينه‌سازي شد و مقادير بهينه اين پارامترها به ترتيب۱۰۰ گرم بر ليتر، **c**°۹۰، ۳ ساعت و ۱/۵ برابر نسبت استكيومتري به آهن، به دست آمد.

كلمات كليدي: كنسانتره اسفالريت، اينديم، ليچينگ دو مرحله‌ای، طراحي آزمايش‌هاي تاگوچي

The Selective Zinc And Indium Leaching Of The Roasted Zinc Sulphide Concentrate

Sphalerite in zinc sulphide ores is the main mineral source for the zinc and indium production. Usual methods of zinc and indium recovery from sphalerite concentrate are, roasting stage of zinc sulphide concentrate, tow stages leaching (first leaching for zinc recovery and second leaching for indium recovery) and purification and enrichment stages of liquid leaching contain zinc and indium. In this study, Irankoh zinc sulphide concentrate that is containing 55% and 40 ppm indium was used. In the first stage of the leaching, effective parameters such as pH, temperature, leaching time and density pulp were optimized by were optimized Taguchi method (L9) , optimum value of effective parameters were found 3, 60°c, 75 minute and 150 gram per liter respectively. Also In the second stage of the leaching, effective parameters are acid concentration, temperature, time and amount of reduction agent for reducing iron were optimized to be 100 gram per liter, 90°c, 3 hour and 1.5 times of amount total iron in soil respectively. (first leaching residue).

Key words: sphalerite concentrate, indium, tow stages leaching, Taguchi design experimental

۱- مقدمه

اسفالريت (ZnS) مهمترين كانه حاوي روي و اينديم مي‌باشد[۳و۴]. روش‌های رایج بازيابي روي و اينديم از اسفالريت(كنسانتره سولفيد روي) شامل مراحل زير است.

۱. تشويه كنسانتره سولفيد روي.
۲. ليچينگ كنسانتره تشويه شده با اسيد سولفوريک نسبتاً رقيق جهت بازيابي انتخابي روي از اينديم.
۳. ليچينگ پسماند حاوي اينديم با اسيد سولفوريک غليظ و گرم به منظور انحلال اينديم و روي باقيمانده (كه به صورت فريت در پسماند وجود دارد).
۴. از محلول حاصل از ليچينگ مرحله اول به روش‌هاي متداول و شناخته شده(تصفيه و الكتروليز) روي استحصال مي‌گردد.
۵. اينديم نيز از محلول ليچينگ دوم به روش‌هاي ترسيب، استخراج حلالي، سمنتاسيون و الكتروينينگ بازيابي مي‌شود[۳و۴و۵].

۲- روش آنالیز

در اين مطالعه، آزمايش‌هاي تشويه با آناليز XRD مورد مطالعه قرار مي‌گيرند و در آزمايش‌هاي ليچينگ، روي، انيديم و آهن كل با جذب اتمي آناليز مي‌شوند، آهن ۲ ظرفيتي به روش تيتراسيون با بي‌كرومات پتاسيم آناليز مي‌شود و غلظت آهن ۳ ظرفيتي از كسر غلظت آهن ۲ ظرفيتي از غلظت آهن كل حاصل مي‌شود.

۳- آزمایش‌ها

۳-۱- كنسانتره سولفيد روي

براساس مطالعاتي كه بر روي كنسانتره‌هاي سولفيد روي توليدي در ايران انجام شده است فقط كنسانتره اسفالريت معادن سرب و روي ايرانكوه اصفهان و كوشک يزد حاوي اينديم مي‌باشند كه به ترتيب دارای ۴۰ ppm و ۲۳ اينديم هستند[۱]. در اين مطالعه با توجه به غلظت بالاتر اينديم در كنسانتره اسفالريت معدن سرب و روي ايرانكوه، از اين كنسانتره استفاده شده است.

۳-۲- فرآيند تشويه

تشويه معمولا به واكنش سولفيد فلزي با اكسيژن و تشكيل اكسيد فلز و دي اكسيد سولفيد(SO_2) اطلاق مي‌شود [۷و۹]. هدف از فرآيند تشويه كنسانتره سولفيد روي، تبديل سولفيد روي(ZnS) كم محلول در اسيد سولفوريک به اكسيد روي (ZnO) قابل حل در اين اسيد است. معادله ۱ واكنش تشويه سولفيد فلزي را بيان مي كند[۷].

$$(Zn_{1-x}Fe)S+\frac{3}{2}O_2\longrightarrow(Zn_{1-x}Fe)O+SO_2 \quad (۱)$$

با توجه به حضور سولفيد آهن در كنسانتره سولفيد روي و تبديل آن به اكسيد آهن در حين فرآيند تشويه، فريت روي ($ZnFe_2O_4$) در اثر همجواري اكسيد روي و آهن تشكيل مي‌شود.(معادله۲)

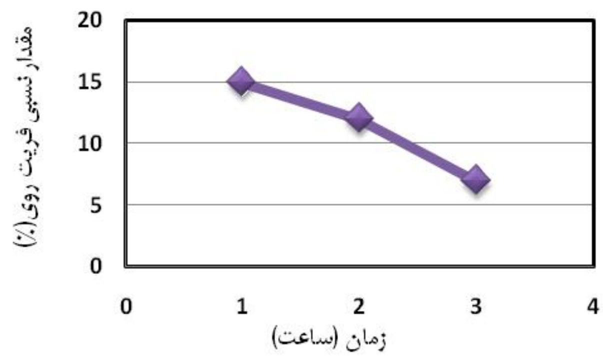
$$2(Zn_{1-x}Fe_x)O+\frac{x}{2}O_2\longrightarrow(2-3x)ZnO+xZnFe_2O_4 \quad (۲)$$

فريت روي تركيبي بسيار پايدار است كه در اسيد سولفوريک رقيق حل نمي‌شود و به همين دليل جهت بازيابي روي از آن نياز به اسيد غليظ و گرم است. اما با توجه به تحقيقات و مطالعات جديدي كه در زمينه فرآيند تشويه و تشكيل فريت روي در حين فرآيند تشويه انجام شده است، مشاهده شده است كه اگر زمان ماند ذرات در كوره به قدر كافي زياد باشد فريت روي به اكسيد روي و اكسيد آهن تجزيه مي‌شود (معادله ۳)[۷].

$$2(Zn_{1-x}Fe_x)O+\frac{x}{2}O_2\longrightarrow2(1-x)ZnO+xFe_2O_3 \quad (۳)$$

با توجه به مطالعات انجام شده بر روي فرآيند تشويه كنسانتره سولفيد روي معدن سرب و روي ايرانكوه اصفهان دماي مناسب جهت فرآيند تشويه، ۹۵۰ $^{\circ}c$ است[۱۰]. جهت بهينه‌سازي فرآيند تشويه با هدف كاهش مقدار فريت روي در محصول ، فرآيـنـد تشـويه در

زمان‌هاي مختلف (۲،۱و۳ ساعت) انجام شد و محصول فرآيند جهت تعيين مقدار نسبي فريت مورد مطالعـات XRD قـرار گرفـت. همانگونه که در شکل ۱ نيز به وضوح قابل مشاهده است (با توجه به آناليز XRD تهيه شده است) مقـدار فريـت روي بـا افـزايش زمان تشويه کاهش مي‌يابد و با توجه به افزايش اکسيد روي و آهن، تاييـدي بـر تجزيـه فريـت روي بـه اکسـيد روي و آهـن اسـت. بنابراين زمان مناسب جهت فرآيند تشويه، ۳ ساعت است.

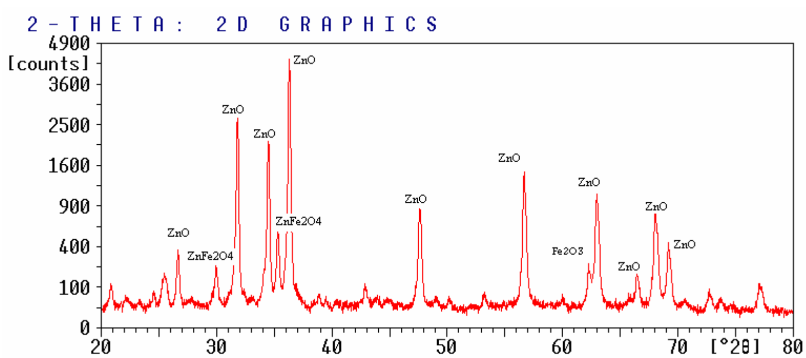


شکل۱ -تغييرات مقدار نسبي فريت روي نسبت به زمان.

ترکيب شيميايي و نمودار XRD نمونه تشويه شده در شرايط بهينه بيان شده در جدول ۲ و شکل ۲ ارائه شده است.

جدول۱- ترکيب شيميايي کنسانتره تشويه شده سولفيد روي معدن ايرانکوه در شرايط بهينه شده

ترکيب	درصد وزني	ترکيب	درصد وزني
Zn	٦٨/٧	MgO	١/٢١
Fe_2O_3	٦	Al_2O_3	٠/٢٥٦
SO_3	٥/٦	Ba	٠/٢٨٥
SiO_2	١	K_2O	١/٠١
Pb	١/٨	Cu	٠/٣
CaO	٠/٨	LOI	٨/٥



شکل۲- نمودار **XRF** کنسانتره تشويه شده سولفيد روي معدن ايرانکوه در شرايط بهينه شده.

۳-۳- ليچينگ مرحله اول

در ليچينگ مرحله اول، با هدف حداکثر نمودن بازيابي روي در حين حداقل بازيابي ايندیم، پارامترهاي pH، دما، زمان و نسبت جامد به مايع به عنوان پارامتر موثر انتخاب گرديده است. با توجه به اينکه کنسانتره تشويه شده روي شديداً قليايي است (ZnO>۶۷%) اگر از غلظت کم اسيد سولفوريک (۱-۳ g/L) استفاده شود فوراً محيط ليچينگ خنثي گرديده و فرآيند ليچينگ

موثر نخواهد بود و اگر از اسید سولفوریک با غلظت‌هاي بالا (بیشتر از۱۰ g/L) استفاده شود مقدار قابل توجهي از ایندیم حل خواهد شد (۴۰% - ۲۰)[۱و۶]. بنابراین با توجه به اینکه اکسید روي در pHهاي۱-۴ به راحتي حل مي‌شود[۲و۵و۶]، پارامترpH به عنوان پارامتر مورد بررسی انتخاب گردیدند و pH محلول لیچینگ در طول مدت زمان مد نظر فرآیند بر روي pH مورد نظربا اضافه کردن اسید ثابت گردید[۲].

جهت بهینه‌سازي پارامترها در لیچینگ مرحله اول از روش طراحي آزمایش‌هاي تاگوچي استفاده شد که با توجه به انتخاب ۴ پارامتر و هر کدام در سه سطح، آرایه متعامد L9 (با دوبار تکرار) انتخاب شد. تحلیل داده‌های مقدار بازیابي روي و ایندیم به روش آنالیز واریانس (ANOVA) در نرم افزار Excel انجام شد[۱۳].

جدول۲- سطوح مورد بررسي پارامترهاي در لیچینگ مرحله اول به روش تاگوچي *

پارامتر	سطوح مورد بررسي		
	۱	۲	۳
PH	۱/۵	۲/۵	۳/۵
زمان (دقیقه)	٦۰	۷۵	۹۰
دما (سانتیگراد)	۵۰	٦۰	۷۰
دانسیته پالپ (گرم بر لیتر)	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰

سطوح مورد بررسي پارامترها در لیچینگ مرحله اول با توجه به مراجع ۱و۲و۶ انتخاب شده‌اند.

در جدول ۲، مقادیر هر کدام از پارامترها در هر آزمایش، بازیابي روي و ایندبم در هر آزمایش ارائه شده است.

جدول۳- مقادیر پارامترها و بازیابي روي وایندیم در هر آزمایش

ردیف	pH	زمان (دقیقه)	دما (سانتیگراد)	دانسیته پالپ (گرم بر لیتر)	بازیابي روي (%)	بازیابي ایندیم (%)
۱	۱/۵	٦۰	۵۰	۱۰۰	۸۹/۷۱	۳۰/۸۱
۲	۱/۵	۷۵	۶۰	۱۵۰	۹٤/٤۷	۳۱/٤۰
۳	۱/۵	۹۰	۷۰	۲۰۰	۸۷/۹۵	۳۱/٦۹
٤	۲/۵	٦۰	۵۰	۲۰۰	۹۱/۸۱	۱۳/۳۷
۵	۲/۵	۷۵	۶۰	۱۰۰	۸۹/۱۸	۱۱/۹۲
٦	۲/۵	۹۰	۷۰	۱۵۰	۸۹/۱۵	۱۲/۲۸
۷	۳/۵	٦۰	۵۰	۱۵۰	۸۷/۵۵	۷/۲۷
۸	۳/۵	۷۵	۶۰	۲۰۰	۸۸/۷۵	٦/۱۰
۹	۳/۵	۹۰	۷۰	۱۰۰	۹۰/۱۲	۸/۱٤

همانگونه که در جدول ۳ مشاهده مي‌شود بازیابي روي در همه شرایط بالا بوده است که این خود تاکیدکننده تاثیر زمان طولاني تشویه در تجزیه فریت روي به اکسید روي و اکسیدآهن است. با توجه به این مطلب، پارامترهاي موزد بررسی در لیچینگ مرحله اول را با هدف حداقل انحلال ایندیم بهینه‌سازي شدند.

در جدول ۴ در صد تاثیر هر پارامتر در حداکثر نمودن بازیابي روي و یا حداقل نمودن بازیابي ایندیم و مقادیر بهینه پارامترها با اهداف بیان شده ارائه شده است.

جدول٤- در صد تاثیر هر پارامتر در حداکثر نمودن بازیابي روي و یا حداقل نمودن بازیابي انیدیم و مقادیر بهینه پارامترها

پارامتر	روي		ایندیم	
	درصد تاثیر	مقدار بهینه	درصد تاثیر	مقدار بهینه
PH	٢٦/٥٢٩	۱/۵	۹۸/٦۹۱	۳/۵
زمان (دقیقه)	٥/۳٤۹	۷۵	۰/۸۳	۷۵
دما (سانتیگراد)	٤۱/٦۸۹	٦۰	۰/۱۱۳	۷۰

دانسیته پالپ (گرم بر لیتر)	۱۵/۸	۱۵۰	۰/۳٤٦	۱۰۰

همانگونه که در جدول ۴ مشاهده مي‌شود چنانچه انتظار مي‌رفت، pH (غلظت اسید در هر لحظه) بیشترین تاثیر را در انحلال ایندیم دارد. و سایر پارامترها چندان تاثیري در انحلال ایندیم ندارند. بنابراین شرایط بهینه لیچینگ بدین‌گونه در نظر گرفته مي‌شود که pH که بیشترین تاثیر را در انحلال ایندیم دارد متناسب با حداقل نمودن انحلال ایندیم و سایر پارامترها (که تاثیر چنداني در انحلال ایندیم ندارند) که در انحلال روي موثرند را متناسب با حداکثر نمودن بازیابي روي انتخاب مي‌شوند. در جدول ۵ مقادیر بهینه پارامترهاي موثر ارائه شده است.

جدول۵- مقادیر بهینه پارامترهاي موثر در لیچینگ مرحله اول به دست آمده به روش تاگوچي

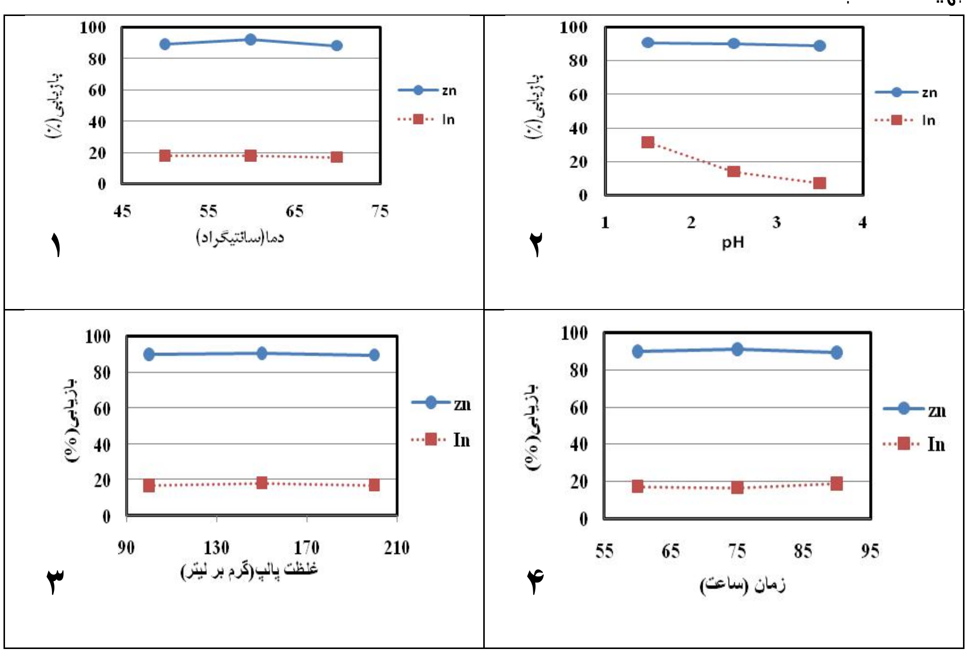
عامل موثر	مقدار بهینه
PH	۳/۵
زمان (دقیقه)	۷۵
دما (سانتیگراد)	۶۰
دانسیته پالپ (گرم بر لیتر)	۱۵۰

با مقادیر بهینه پارامترهاي موثر، یک آزمایش لیچینگ انجام شد و بازیابي روي و ایندیم به ترتیب۹۰و۶/۵ درصد به دست آمد.
با توجه به اینکه pH بیشترین تاثیر را در انحلال ایندیم دارد، این پارامتر را به صورت تک عاملی در حالیکه بقیه پارامترهاي موثر در شرایط بهینه انتخاب شده بوده‌اند، مجدداً بررسی می‌شود. شرایط انجام آزمایش و بازیابي روي و ایندیم در جدول ۷ ارائه شده است.

جدول٦- شرایط انجام آزمایش و بازیابي روي و ایندیم در **pH**هاي مختلف در شرایط بهینه سایر پارامترها

pH	بازیابي روي (%)	بازیابي ایندیم (%)
۳	۹۱/۵	۶/۵
۳/۵	۹۰	۶/۵
۴	۸۶/۴۶	۶

از آنجا که تغییر pH در این رنج تاثیري در انحلال ایندیم ندارد و با کاهش pH بازیابي روي اندکي افزایش یافته است pH، ۳ به عنوان مقدار بهینه انتخاب شد.



شکل۳- تغيرات بازيابي روي و اينديم نسبت به ۱- دما ۲- **pH** ۳- غلظت پالپ و ۴- زمان در ليچينگ مرحله اول.

۳-۴- ليچينگ مرحله دوم

ترکيب شيميايي پسماند ليچينگ مرحله اول در جدول ۸ ارائه شده است. همچنين عيار اينديم در اين پسماند ۱۸۰ppm است.

جدول۷- ترکيب شيميايي پسماند ليچينگ مرحله اول

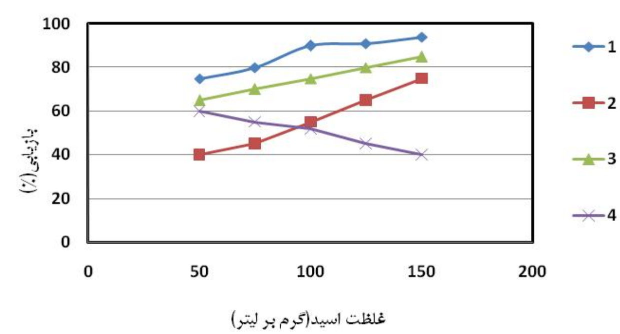
ترکيب	درصد وزني	ترکيب	درصد وزني
ZnO	٢٥/٧	MgO	١/٤
Fe_2O_3	١٢/٦	Al_2O_3	١/٤
SO_3	٣٣/٢	BaO	٠/٧
SiO_2	١١	K_2O	٠/٣
PbO	٢/٧	Cu2O	٠/٢
CaO	١/٧	LOI	٩/١

جهت بهينه‌سازي پارامترهاي موثر در ليچينگ مرحله دوم از روش بررسي تک عاملي استفاده شد. پارامترهاي مورد بررسي شامل غلظت اسيد، دما، زمان و ميزان احياء کننده لازم (جهت احياء آهن ۳ ظرفیتی به آهن ۲ ظرفیتی) می‌باشد[۲].

با توجه به آنکه هدف از ليچينگ مرحله دوم جهت بازيابي اينديم، ترسيب انتخابي اينديم از محلول ليچينگ است، به همين دليل بايد قبل از فرآيند ترسيب، با استفاده از يک احياء کننده مناسب آهن ۳ را به آهن ۲ احياء کرد. در مطالعات انجام شده در مورد اين فرآيند از سولفيدسديم به عنوان احياء کننده استفاده شده است[۵و۶].

۳-۴-۱- تاثير غلظت اسيد

نظر به اينکه هدف از بهينه‌سازي پارامترهاي موثر در ليچينگ مرحله دوم، افزايش بازيابي اينديم است و بحث ليچينگ انتخابي وجود ندارد، مي‌توان پارامتر غلظت اسيد را به جاي پارامتر pH در نظر گرفت. آزمايش‌هاي بررسي تاثير غلظت اسيد در شرايط دماي ۹۰ درجه سانتيگراد، غلظت پالپ ۱۰۰ گرم بر ليتر و غلظت سولفيدسديم مساوي نسبت استکيومتري با آهن انجام گرفت. نتايج به دست آمده از اين آزمايش‌ها در مورد بازيابي اينديم، آهن، روي و نسبت احياء آهن ۳ به آهن ۲ در غلظت‌هاي مختلف اسيد در شکل۴ ارائه شده است.



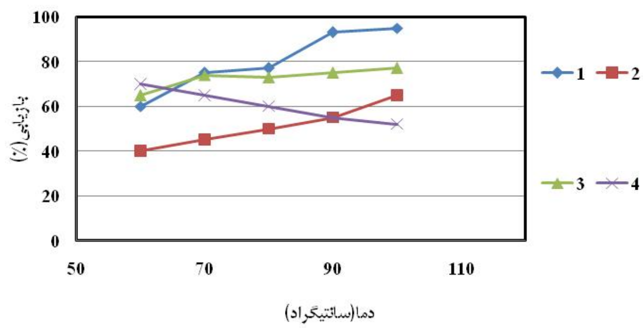
شکل۴- تغيرات بازيابي ۱- اينديم ۲- آهن ۳- روي ۴- نسبت آهن ۲ به آهن کل نسبت تغيرات غلظت اسيد در ليچينگ مرحله دوم.

با توجه به اينکه افزايش غلظت اسيد از ۱۰۰به ۱۵۰ گرم بر ليتر در بازيابي اينديم تاثير قابل توجهي ندارد، ولي تاثير اين افزايش بر روي بازيابي آهن و احياء آهن ۳ به آهن ۲ به وضوح قابل مشاهده است، بنابراين غلظت ۱۰۰ گرم بر ليتر را به عنوان مقدار بهينه پارامتر غلظت اسيد در نظر مي‌گيريم.

۳-۴-۲- بررسي تاثير دما

آزمايش‌هاي بررسي تاثير دما در شرايطي مشابه با آزمايش بررسي تاثير غلظت اسيد انجام شد و غلظت اسيد در اين آزمايش‌ها، ۱۰۰ گرم بر ليتر در نظر گرفته شد. نتايج به دست آمده از اين آزمايش‌ها در شکل ۵ ارائه شده است.

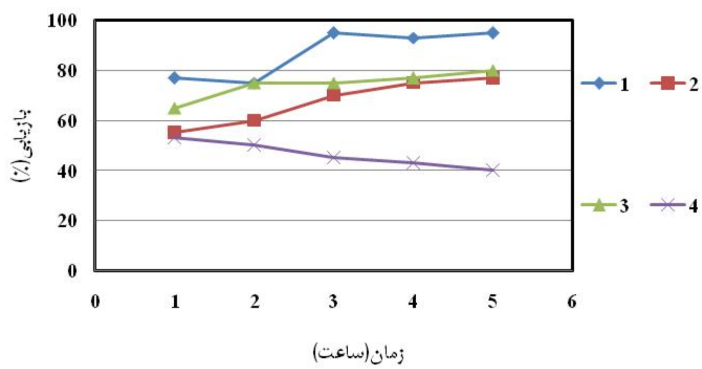
با توجه به بازيابي بالاي اينديم و نرخ مناسب احياء آهن، مقدار بهينه دماي ليچينگ مرحله دوم را ۹۰°c انتخاب مي‌کنيم.



شکل۵- تغيرات بازيابي ۱- اينديم ۲- آهن ۳- روي ۴- نسبت آهن ۲ به آهن کل، نسبت تغيرات دما در ليچينگ مرحله دوم.

۳-۴-۳- بررسي تاثير زمان

آزمايش‌هاي بررسي تاثير دما در شرايطي مشابه با آزمايش‌هاي بررسي تاثير دما انجام شد و دما در اين آزمايش‌ها، ۹۰°c در نظر گرفته شد. نتايج به دست آمده از اين آزمايش‌ها در شکل۶ ارائه شده است.

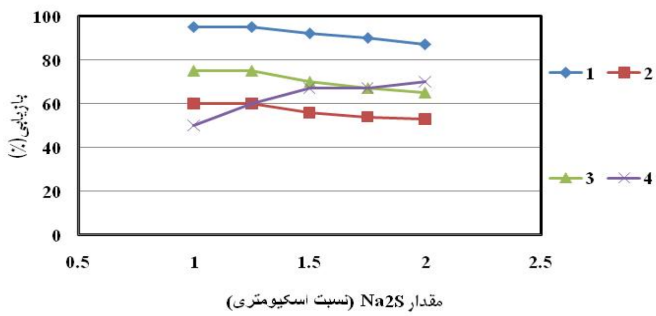


شکل ۶: تغيرات بازيابي ۱- اينديم ۲- آهن ۳- روي ۴- نسبت آهن ۲ به آهن کل، نسبت تغيرات زمان در ليچينگ مرحله دوم.

با افزايش زمان ليچينگ از ۱ ساعت به ۳ ساعت، بازيابي اينديم و نرخ احياء آهن افزايش يافته است، ولی افزايش زمان از ۳ ساعت به ۵ ساعت تاثير چندانی در بازيابي اينديم و نرخ احياء آهن ندارد، بنابراين زمان ۳ ساعت جهت ليچينگ مرحله دوم انتخاب شد.

۳-۴-۴- بررسي تاثير مقدار عامل احياء

در اين مطالعه، براي احياء آهن ۳ ظرفيتی به آهن ۲ ظرفيتی از سولفيدسديم استفاده شد. شرايط انجام آزمايش‌ها بررسي تاثير مقدار عامل احياء، مشابه آزمايش‌ها بررسي تاثير زمان است و زمان آزمايش‌ها ۳ ساعت در نظر گرفته شد. نتايج آزمايش‌هاي بررسي تاثير مقدار عامل احياء در شکل۷ ارائه شده است.



شکل۷- تغیرات بازیابي ۱- ایندیم ۲- آهن ۳- روي ۴- نسبت آهن ۲ به آهن کل، نسبت به مقدار $\mathbf{Na_2S}$ در لیچینگ مرحله دوم.

با توجه به اینکه افزایش مقدار سولفیدسدیم بیش از ۱/۵ برابر نسبت استکیومتري تاثیر چنداني در احیاء آهن ندارد و همچنین سبب کاهش بازیابي ایندیم مي‌شود، مقدار مناسب سولفیدسدیم، ۱/۵ برابر نسبت استکیومتري با آهن در نظر گرفته شده است.

۴- نتایج

۱. با توجه به مطالعات انجام شده، اگر زمان فرآیند تشویه کنسانتره سولفید روي به اندازه کافي طولاني باشد، فریت روي به اکسید روي و اکسید آهن تجزیه مي‌شود، به همین دلیل فرآیند تشویه کنسانتره سولفید روي معدن سرب و روي ایرانکوه اصفهان در دماي ۹۵۰ درجه سانتیگراد و به مدت ۳ ساعت انجام شد.

۲. مهمترین عامل در لیچینگ انتخابي روي از ایندیم در لیچینگ مرحله اول، pH مي‌باشد.

۳. عوامل pH، زمان، دما و مقدار جامد در پالپ لیچینگ مرحله اول، با هدف بازیابي انتخابي روي از ایندیم به روش طراحي آزمایش‌هاي تاگوچي بهینه‌سازي شد و مقدار بهینه این عوامل موثر به ترتیب ۳، ۶۰دقیقه، ۷۵°C ، ۱۵۰ گرم برلیتر به دست آمد.

۴. تاثیرعوامل غلظت اسید، دما، زمان و مقدار عامل احیاء جهت احیاء آهن در لیچینگ مرحله دوم مورد بررسي قرار گرفت و مقادیر بهینه این عوامل به ترتیب شامل ۱۰۰ گرم بر لیتر، ۹۰درجه سانتیگراد، سه ساعت و ۱/۵ برابر نسبت استیکیومتري به دست آمد..

۵. بازیابي کلی روي در دو مرحله لیچینگ بیش از % ۹۵ و بازیابي ایندیم در مرحله دوم لیچینگ و در شرایط بهینه بیش از ۹۲% است.

۵- مراجع

[۱]کرمي ،محسن، ۱۳۸۵" امکان پذيري بازيابي اينديم از کنسانتره سولفيد روي "پايان نامـه کارشناسـي ارشـد فـرآوري مـواد معـدني ، دانشگاه تربيت مدرس.

[۲] مـرادي، سـعيد، ۱۳۸۰، بررسـي بازيـابي روي از باطلـه‌هـاي خـط(۰-۲)ميليمتـر کارخانـه فلوتاسـيون انگـوران بـه روش هيدرومتالورژي"، پايان نامه کارشناسي ارشد فرآوري مواد معدني ، دانشگاه تربيت مدرس

[3] John Wiley & Sons Inc; 1993; “Indium and Indium Compound”, *Ullmann’s Encyclopedia of Industrial Chemistry*, 5th Edition, Vol. A14, and pp: 157 – 166.

[4] Alfantazi, A.M.; 2003; “*Processing of Indium: a review*”, Minerals Engineering, Vol. 16, pp: 687 – 694

[5] Doran, H.M; 1940; “*Recovery of Indium*”, Unite States Patent: 238461011.

[6] LI Shi-qing, TANG Mo-tang, HE Jing, YANG Sheng-hai, TANG Chao-bo, CHEN Yong-ming; 2006;" *Extraction of indium fiom indium-zinc concentrates*" ,Transactions of Nonferrous Metals Society of China, C. hina 16-pp 1448-1454.

[7] Julio Cezar Balarini, Ludmila de Oliveira Polli, Tania Lucia Santos Miranda,Roberto Machado Zica de Castro, Adriane Salum; 2008; "*importance of roasted sulphide concentrates characterization in the hydrometallurgical extraction of zinc"*; minerals engineering 21 , 100–1105.

[8] Paiva, A.P; 2001; “*Recovery of Indium from aqueous solutions by solvent extraction*”; Separation Science and Technology, Vol. 36, Issue 7, pp: 1395 – 1419 6. 29.

[9] Nyberg, J; 2004; “*Characterization and control of the zinc roasting process*”; M.Sc. final thesis, Department of Process and Environmental Engineering, University of Oulu, Finland.

[10] S M Javad Koleini, K Saberian, M Abdolahi, H Mehrpouya; 2008; " *Optimization of effective parameters in roasting process of zinc sulfide concentrate* ", mineral processing technology conference Indian(MPT).

[11] C. A. R. Queiroz, R. J. Carvalho and F. J. Moura; 2005; "*Oxidation of zinc sulfide concentrate in fluidized bed reactor – Part 1: Characterization of the Fluid dynamics of practical bed"*, Brazilian Journal of Chemical engineering, Vol.22, No.01, pp.117-125, January-March.

[12] C. A. R. Queiroz, R. J. Carvalho and F. J. Moura; 2005*;" Oxidation of zinc sulfide concentrate in fluidized bed reactor– Part2: The influence of experimental variables on the kinetics"*, Brazilian Journal of Chemical engineering, Vol.22, No.01, pp.127-133, January-March.

[13] Roy, R.K; 1995; “*A primer on the Taguchi method*”, Van Nostrand Reinhold, New York.

[14] Fossi, P; 1983; “*Process for the recovery of Indium*”, United States Patent: 4372922.