

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛ شبکه های توجه گرافی (Graph Attention Networks)



کارگاه آنلاین مقاله نویسی IEEE و ISI (فوق لی مهندسی) ویژه فنی و مهندسی



لیچینگ کانسنگ اکسیده مس چیده

مهدی ایران نژاد^۱، اکبر شاهوردی^۲، مهدی سالاری راد^۳

۳- عضو هیئت علمی دانشکده معدن، متالورژی و نفت دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۲- کارشناسی ارشد فرآوری مواد معدنی دانشکده معدن، متالورژی و نفت

E-mail: iranajad@yahoo.com

چکیده:

کانسار چیده در ۹۰ کیلومتری شمال غرب قزوین و در ۴۰ کیلومتری شمال ابهر واقع شده است که حاوی مس اکسیده با عیار حدود ۰.۳٪ مس بوده و کانی اصلی آن مالاکیت می باشد. بازیابی مس به روش لیچینگ متلاطم و مخزنی انجام گردید.

در آزمایشات لیچینگ با استفاده از طراحی آزمایشات به روش تاکوچی، تاثیر پارامترهای مختلف از جمله غلظت اسید، زمان، ابعاد ذرات و رقت بر روی بازیابی مطالعه گردید. با استفاده از آزمایشات تفصیلی مقادیر بهینه هریک از پارامترها مشخص گردید. چهار آلتر ناتیبو برای لیچینگ ارائه گردیده است.

با بررسی اقتصادی و با در نظر گرفتن چهار آلتر ناتیبو برای لیچینگ و دو روش بازیابی مس از محلول باردار یعنی سمنتاسیون و استخراج حلالی- الکترووینینگ برای هر کدام، مجموعاً تعداد هشت آلتر ناتیبو مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا هزینه های سرمایه گذاری و عملیاتی برای هر کدام از روشها برآورد شد و سپس بروس مطالعه "رده بندی فرآیند"، هشت روش از جنبه مالی رده بندی شدند. بر اساس نتایج بدست آمده لیچینگ متلاطم ذرات با ابعاد زیر ۳۵۰ میکرون در زمان ۳ ساعت و ۴۵ دقیقه و در محلولی با غلظت اسید ۱۸۵ گرم در لیتر بهترین گزینه می باشد.

واژه های کلیدی: لیچینگ، کانیهای اکسیده مس، مالاکیت، مطالعات امکان سنجی مقدماتی، لیچینگ مخزنی، لیچینگ متلاطم.

^۱ دانشکده معدن، متالورژی و نفت دانشگاه صنعتی امیر کبیر



۱. مقدمه

در تحقیق حاضر انجام مطالعات امکان سنجی مقدماتی، برای انتخاب روش مطلوب فرآیند لیچینگ از بین سه روش معمول یعنی توده ای، مخزنی (vat) و متلاطم (Agitation) صورت گرفته است. در بررسی فنی، بهینه هر یک از عوامل مهم در لیچینگ از جمله غلظت اسید، دانه بندی و زمان با هدف بهترین بازایی به دست آمد و با تحلیل مالی بهترین گزینه انتخاب گردید.

از آنجایی که روش توده ای برای کانه های کم عیار (زیر ۱٪ مس) استفاده می شود [۱۹ و ۴] و نیز به دلیل شرایط آب و هوایی سرد منطقه چیده که باعث یخ بستن لوله ها می شود، از انجام آزمایشات لیچینگ توده ای (آزمایشات ستونی) صرف نظر شد و آزمایشات بر روی روش مخزنی و متلاطم متمرکز گردید. ابتدا ماده معدنی به روشهای مختلف کانی شناسی مورد بررسی قرار گرفته، سپس با انجام آزمایشات بروش "طراحی آزمایشات" و "آزمایشات تفصیلی" شرایط بهینه لیچینگ بدست آمده است. با انجام آزمایشات، آلترناتیوهای مختلفی حاصل می شود که با آنالیز اقتصادی، یکی از این آلترناتیو ها به عنوان مناسب ترین روش برای لیچینگ انتخاب گردید.

۲. روش، مواد و وسایل کار

۲-۱- شناسایی و آماده سازی نمونه

قبل از انجام آزمایشهای فرآوری، ماده معدنی با مطالعات میکروسکوپی، آنالیز شیمیایی (AAS)، مطالعه با پرتو مجهول (XRD) و آنالیز ابعادی مورد مطالعه قرار گرفت. برای آماده سازی نمونه از روش معمول تقسیم و خردایش تا ابعاد لازم بهره برده شد. در خردایش مواد بسته به نوع لیچینگ (متلاطم یا مخزنی)، از سنگ شکن فکی، غلطکی، گلوله ای و ارتعاشی مدل دنور استفاده شد.

۲-۲- لیچینگ متلاطم

در هر آزمایش به روش لیچینگ متلاطم، ۲۵۰ گرم نمونه در یک بشر یک لیتری ریخته شده، سپس محلول اسید سولفوریک به آن اضافه گردید. اسید سولفوریک مورد استفاده از نوع ۹۸ در صد شرکت شیمو لب بوده و از یک همزن با پره شیشه ای برای همزدن محلول استفاده شد که سرعت آن از صفر تا ۱۵۰۰ دور در دقیقه متغیر بود. آزمایشات لیچینگ متلاطم با سرعت ۷۰۰ دور در دقیقه انجام شد. بعد از عمل لیچینگ، فیلتراسیون پالپ حاصل توسط فیلتر فشاری ساخت شرکت دنور انجام پذیرفت. آنالیز شیمیایی نمونه های جامد و محلول به روش جذب اتمی صورت گرفته است.



۳-۲- لیچینگ مخزنی

در روش لیچینگ مخزنی نیز از بشر های شیشه ای یک لیتری استفاده شد. کانه تا ابعاد لازم خرد شده و همراه با محلول اسیدی در بشر ریخته می شد.. بعد از مدت زمان تعیین شده عمل فیلتراسیون انجام و سپس محصولات به روش جذب اتمی عیار سنجی گردیده اند.

۳. نتایج

۳-۱- شناسایی نمونه

۳-۱-۱- آنالیز شیمیایی

آنالیز شیمیایی نمونه ها در مرحله شناسایی نمونه با استفاده از XRF تعیین گردیده است. در جدول ۱ نتایج آنالیز نمونه متوسط همراه با آنالیز فراکسیونهای آن آورده شده است. همچنین آنالیز نمونه گانگ درج شده است.

جدول ۱- ترکیب شیمیایی فراکسیون های مختلف (بر حسب درصد)

نمونه متوسط	فراکسیونهای نمونه متوسط								
	+۹۵۰۰	+۶۳۰۰	+۴۰۰۰	+۳۳۵۰	+۲۸۰۰	+۲۰۰۰	+۸۵۰	-۸۵۰	
	ترکیب								
CuO	۶,۵	۴,۷	۴,۳۶	۴,۵	۴,۰۵	۴,۲۹	۳,۶۷	۳,۷۷	۴,۲۲
FerO _۳	۵,۸	۵,۷	۵,۵	۵,۶	۵,۶	۵,۷	۵,۵	۵,۶	۵,۸
Na _۲ O	۲,۳۹	۲,۵۸	۲,۷۴	۲,۹۹	۳,۰۴	۳,۰۶	۳,۳۳	۳,۰۸	۳,۱۵
MgO	۲,۰۷	۲,۱۹	۲,۱۵	۲,۰۳	۲,۱۳	۲,۱۴	۲,۰۹	۲,۱۲	۱,۹۷
Al _۲ O _۳	۱۵,۱	۱۵,۷	۱۵,۷	۱۵,۵	۱۵,۵	۱۵,۳	۱۵,۳	۱۵,۲	۱۵,۱
SiO _۲	۵۲,۳	۵۵,۳	۵۶,۶	۵۶,۱	۵۷,۵	۵۷,۴	۵۸,۹	۵۸,۵	۵۷,۲
P _۲ O _۵	۰,۱۸	۰,۲	۰,۲	۰,۲۱	۰,۲	۰,۲۲	۰,۲	۰,۲۴	۰,۲۱
K _۲ O	۲,۴	۲,۸۲	۲,۹۱	۲,۹۲	۳,۱۲	۳,۱۵	۳,۲۴	۳,۳۶	۳,۱۳
CaO	۳,۳۹	۲,۶	۲,۳۴	۲,۴۸	۲,۰۸	۲,۲۱	۱,۷۸	۱,۷۳	۲,۱۶
TiO _۲	۰,۷۲	۰,۷۲	۰,۷۱	۰,۷۴	۰,۷۴	۰,۷۶	۰,۷۶	۰,۷۵	۰,۷۵
V _۲ O _۵	۰,۰۲۱	۰,۰۱۸	۰,۰۲	۰,۰۲۲	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۲۳	۰,۰۱۹
MnO	۰,۱۶	۰,۱۲۱	۰,۱۱۲	۰,۱۱۹	۰,۱۱۶	۰,۱۱۹	۰,۱۱۶	۰,۱۱	۰,۱۱۶



بررسی جدول فوق نشان می دهد که مس عمدتا در فراکسیون درشت بیشتر بوده ولی میزان آهن تقریبا ثابت میباشد. در ضمن میزان مواد قلیایی که مصرف کننده اسید می باشند نسبتا زیاد می باشد ، لذا انتظار می رود در عملیات لیچینگ مصرف اسید سولفوریک نسبتا بالا باشد.

۳-۱-۲- آنالیز کانی شناسی

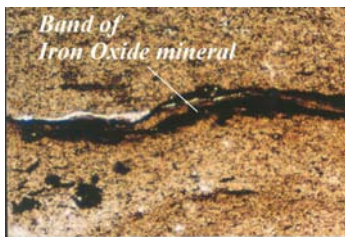
به منظور تعیین کانیهای تشکیل دهنده، نمونه متوسط کانسنگ و گانگ توسط پرتو مجهول (XRD) مورد مطالعه قرار گرفتند. در جدول ۲ کانیهای موجود در نمونه ها به ترتیب اهمیت آورده شده است.

جدول ۲- ترکیب کانی شناسی نمونه متوسط و گانگ

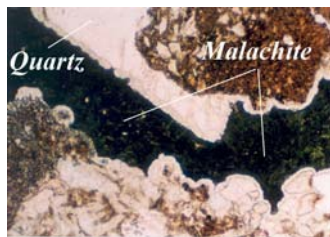
نمونه متوسط	نمونه گانگ
کوارتز	الیگوکلاز
الیگوکلاز	کوارتز
کلریت	کلریت
فلدسپات پتاسیم	کلسیت
مالاکیت	ایلیت
کلسیت	

۳-۱-۳- مطالعات میکروسکوپی

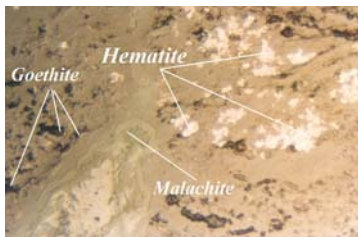
هدف از این مطالعات بررسی مشخصات کانی شناسی نظیر نوع کانی های تشکیل دهنده ، نحوه درگیری ، ساخت و بافت ، ابعاد و شکل آنها از دیدگاه فرآوری می باشد . بدین منظور ۱۳ مقطع نازک و ۳ مقطع صیقلی از نمونه های مختلف سنگی تهیه و مورد مطالعه قرار گرفت که تعدادی از این مقاطع در عکسهای شکل ۱ تا ۴ به تصویر کشیده شده است .



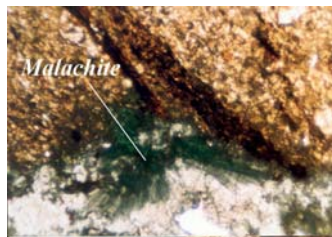
شکل ۲- توف آندزیتی شیشه ای با نوار قهوه ای کانیهای اکسیده آهن (بزرگنمایی ۴۰ ، نیکول خارج از مسیر)



شکل ۱- مالاکیت با رنگ سبز (بزرگنمایی ۴۰ ، نیکول خارج از مسیر)



شکل ۴- مالاکیت به همراه کانیهای اکسیده آهن دیده می شود(بزرگنمایی ۲۰۰ ، نیکول عمود)



شکل ۳- مالاکیت سبز در درون توف شیشه ای (بزرگنمایی ۴۰ ، نیکول خارج از مسیر)

با مطالعه مقاطع دو نوع توف در نمونه تشخیص داده شد:

۱. توف شیشه ای که کانی سازی به صورت رگه ای می باشد. کانی اصلی مالاکیت است که حاوی تقریباً ۲ تا ۴ درصد مالاکیت است. نوارهای اکسید آهن شامل گوتیت ، لیمونیت و به ندرت هماتیت وجود دارد.
۲. توف بلورین (یا کریستالین). در این فاز آلتراسیون سریسیتی وجود دارد و قطعات درشت بلورهای فلدسپات و پلاژیوکلاز دیده می شود. مقدار کمی کانی سازی مالاکیت در درزه و شکاف وجود دارد ولی به اندازه فاز توف شیشه ای نیست.



۳-۲- طراحی آزمایشات

آزمایشات بهینه یابی پارامترها در دو مرحله انجام پذیرفت. در مرحله اول به روش طراحی آزمایشات عمدتاً تاثیر پارامترهای مختلف شامل غلظت اسید، نسبت جامد به محلول، ابعاد ذرات و زمان برمتغیر پاسخ یعنی بازیابی مورد بررسی قرار گرفت. طراحی آزمایشات به روش تاگوچی (Taguchi Approach) انجام گرفته است. در طراحی پارامترها از آرایه متعامد L-۸ و محاسبات آن با استفاده از نرم افزار ۴ Qualitec انجام شد. این شیوه در مورد هر دو روش مخزنی و متلاطم انجام گرفته است.

۳-۲-۱- طراحی آزمایشات لیچینگ مخزنی

در جدول ۳ مرحله تحلیل نتایج به روش Anova و اثر پارامترهای مختلف بر بازیابی مس نشان داده شده است. ستون آخر این جدول در صد تاثیر هر یک از پارامترها را نشان می دهد به طوریکه تاثیر غلظت اسید سولفوریک بر روی بازیابی بسیار قابل ملاحظه می باشد. نسبت جامد به محلول نیز در درجه دوم اهمیت قرار دارد. کاهش ابعاد از ۱۵ به ۶٫۳ میلیمتر تاثیر مثبت بر روی بازیابی داشته است. همچنین نتایج طراحی آزمایشات نشان می دهد که فاکتور زمان روی بازیابی عملاً تاثیری نداشته است از آنجایی که محدوده زمانی در نظر گرفته شده ۳ تا ۵ روز می باشد، ممکن است عدم تاثیر زمان ناشی از انتخاب محدوده کم زمانی باشد. به هر حال این فاکتورها در مرحله آزمایشات تفصیلی مورد بررسی بیشتری قرار گرفته اند.

جدول ۳- نتایج طراحی آزمایشات و اثر پارامترهای مختلف بر بازیابی مس (با روش لیچینگ مخزنی)

ANOVA Table						
Qualitek-4						
Expt. File: VAT.Q4W		Data Type: Average/St.Dev. Values		Print OK		
		QC Type: Bigger is Better		Help Cancel		
Col# / Factor	DOF (f)	Sum of Sqrs. (S)	Variance (V)	F - Ratio (F)	Pure Sum (S')	Percent P(%)
1 Particle Size (m	1	31.442	31.442	943265.459	31.442	6.169
2 Acid Conc. (gr/li	1	336.182	336.182	10085465.624	336.182	65.965
3 Dilution(gr/cc)	1	139.946	139.946	4198387.071	139.946	27.46
4 Time (day)	1	2.06	2.06	61805.777	2.06	.404
Other/Error	3	.001	.001			.002
Total:	7	509.63				100.00%

Main Effects Pool Factor Auto Pool Unpool All Function Bar Graph Pie Chart Optimum



۳-۲-۲- طراحی آزمایشات لیچینگ متلاطم

بطور مشابه آزمایشات لیچینگ متلاطم نیز طراحی گردید تا اهمیت و تاثیر پارامترها بر روی لیچینگ متلاطم مورد بررسی قرار گیرند. جدول ۴ مرحله آنالیز نتایج به روش ANOVA و ستون آخر آن در صد تاثیر هر کدام از پارامترها را بر روی بازایی نشان می دهد .

جدول ۴- نتایج طراحی آزمایشات و اثر پارامترهای مختلف بر بازایی مس (با روش لیچینگ متلاطم)

Col # / Factor	DOF (f)	Sum of Sqrs. (S)	Variance (V)	F - Ratio (F)	Pure Sum (S')	Percent P (%)
1 Particle Size me	1	3.767	3.767	113015.299	3.767	.143
2 Acid Conc. gr/lit	1	1586.252	1586.252	47587568.288	1586.252	60.619
3 Dilution gr/cc	1	888.523	888.523	26655701.269	888.523	33.955
4 Time hour	1	138.194	138.194	4145848.445	138.194	5.281
Other/Error	3	-0.001	-0.001			.002
Total:	7	2616.737				100.00%

همانطور که از این جدول پیداست، غلظت اسید سولفوریک در محلول لیچ کننده بیشترین تاثیر را بر متغیر پاسخ داشته است. در مورد اثر ناچیز ابعاد می توان چنین استنباط کرد که در ابعاد پودر، کانی با ارزش عملا به درجه آزادی رسیده است، بنابراین خردایش ابعاد بیش از آن تاثیری نخواهد داشت.

۳-۳- آزمایشات تفصیلی

۳-۳-۱- لیچینگ در محیط اکسیده

پس از انجام مطالعات شناسایی نمونه برای حصول اطمینان از عدم وجود کانیهای اکسیده دیگری غیر از مالاکیت که ممکن است با سینتیک پایین تر با اسید لیچ شود (به عنوان مثال کریزوکولا به دلیل آمورف بودن در آنالیز XRD مشخص نمی شود و یا کوپریت با اسید سولفوریک به طور کامل حل نمی شود و مقداری از مس به شکل آزاد رسوب می کند و وارد فاز محلول نمی شود [۱])، اقدام به آزمایش لیچینگ اسیدی متلاطم به همراه آب اکسیژنه شد. نتایج آزمایشات نشان می دهد که افزایش عامل اکسید کننده



تاثیری در لیچینگ نداشته و استفاده از اسید سولفوریک به تنهایی می تواند مس موجود در کانه را در خود حل نماید. به علت عدم تاثیر این آزمایشات از ارائه نتایج صرف نظر شده است.

۳-۳-۲- مصرف اسید برای لیچینگ متلاطم

برای به دست آوردن مقدار اسید مصرفی، آزمایشاتی به شرح زیر انجام شد. ابتدا pH در یک مقدار مشخص و از پیش تعیین شده تنظیم و عمل لیچینگ آغاز گردید سپس به محض بالا رفتن pH مقداری اسید به آن اضافه می شد. این کار آنقدر ادامه پیدا می کرد تا pH ثابت باقی بماند و یا تغییرات جزئی داشته باشد. با این روش مقدار اسید مصرفی ۱۶۹/۶۴ کیلوگرم اسید برای یک تن ماده معدنی با ابعاد زیر ۱۰۵ میکرون و ۱۴۳/۹۴ کیلو گرم به ازای یک تن ماده معدنی با ابعاد زیر ۳۵۰ میکرون برای رسیدن به بازیابی ۹۰ در صد می باشد.

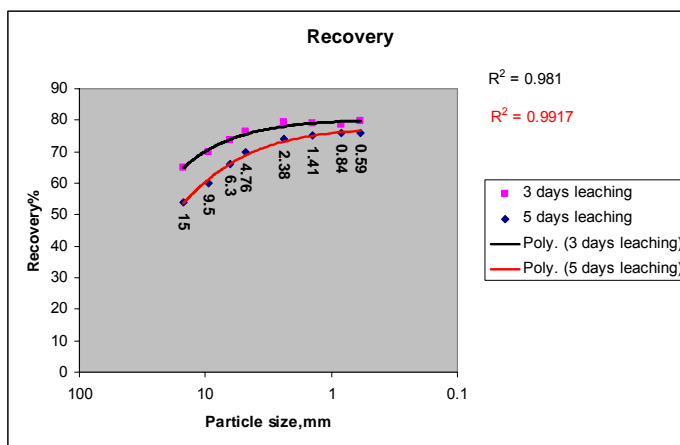
۳-۳-۳- بهینه ابعاد برای لیچینگ مخزنی

برای یافتن اندازه ذراتی که بیشترین بازیابی در آن حاصل می شود، ابتدا نمونه فراکسیون بندی شده و عیار مس هر فراکسیون تعیین گردید. بعد از عمل لیچینگ نیز نمونه، فراکسیون بندی و عیار سنجی گردید (جدول ۵). نتایج این آزمایشات نشان می دهد در فراکسیون های ریز تر از ۲/۳۸ mm بازیابی تقریباً بازیابی تغییر چندانی نداشته است. برای تایید این آزمایشات، دو سری آزمایش، یکی در زمان ۳ روز و دیگری در زمان ۵ روز انجام شد که در شکل ۵ نمودار بازیابی نسبت به ابعاد برای این آزمایشات نشان داده شده است. همانطور که از این شکل پیداست، بازیابی در هر دو آزمایش در ابعاد ریزتر از ۲/۳۸mm تقریباً ثابت می ماند. بنابراین این اندازه ذرات از نظر فنی بهینه ابعاد برای لیچینگ مخزنی انتخاب شد.



جدول ۵- نتایج آزمایشات بهینه یابی ابعاد

Particle size,mm	W(gr)	PER.(%)	Cu% Before leaching	Cu% after leaching	Recovery%
-۱۵ + ۹,۵	۳۷,۷۱	۱۷,۲۷	۲,۵۶	۲,۲۵	۱۲,۱۱
-۹,۵ + ۶,۳	۲۹,۸	۱۳,۶۵	۲,۵۰	۱,۹	۲۴,۰۰
-۶,۳ + ۴,۷۶	۲۳,۳۸	۱۰,۷۱	۲,۹۲	۱,۵۸	۴۵,۸۹
-۴,۷۶ + ۲,۳۸	۴۲,۶	۱۹,۵۱	۲,۷۵	۱,۲۶	۵۴,۲۵
-۲,۳۸ + ۱,۴۱	۲۹,۰۶	۱۳,۳۱	۳,۰۶	۰,۹	۷۰,۵۹
-۱,۴۱ + ۰,۸۴	۱۶,۳	۷,۴۷	۲,۹۷	۰,۷۸	۷۳,۶۹
-۰,۸۴ + ۰,۵۹	۹,۸۴	۴,۵۱	۳,۲۰	۰,۷۸	۷۵,۵۹
-۰,۵۹	۲۹,۶۱	۱۳,۵۶	۴,۴۲	۱,۰۶	۷۶,۰۲
	۲۱۸,۳	۱۰۰	۳,۰۰۶		

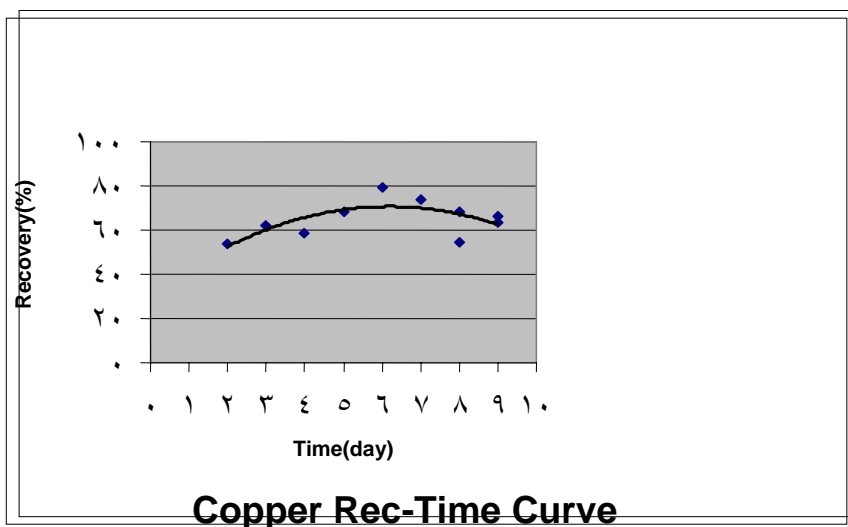


شکل ۵- بازیابی برای ۳ و ۵ روز لیچینگ



۳-۳-۴- زمان بهینه برای لیچینگ مخزنی

برای بدست آوردن زمان بهینه لیچینگ تعداد ۱۰ آزمایش با ابعاد زیر ۲,۳۸ mm (بهینه ابعاد) انجام گردید. نتایج به دست آمده از این آزمایشات و نیز رابطه برازش شده در شکل ۶ نشان داده شده است.

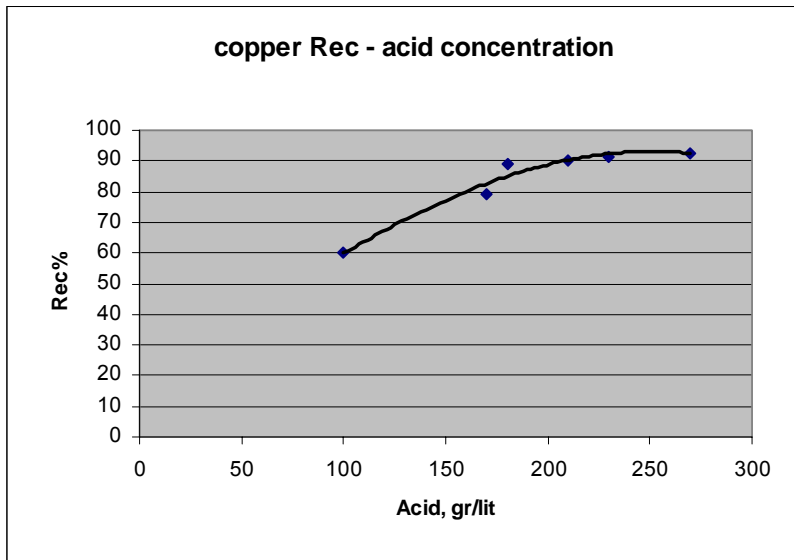


شکل ۶- نمودار بازیابی نسبت به زمان

نمودار بازیابی - زمان (شکل ۷) نشان می دهد که زمان بهینه برای لیچینگ حدود ۶/۵ روز می باشد. لذا این زمان به عنوان زمان بهینه لیچینگ انتخاب شد.

۳-۳-۵- میزان مصرف اسید در لیچینگ مخزنی

برای تعیین میزان مصرف اسید، تعداد ۴ آزمایش با اسید با غلظت ۱۰۰ تا ۲۷۰ کیلو گرم بر لیتر اسید با بهینه ابعاد یعنی زیر ۲/۳۸ میلیمتر و زمان ۶/۵ روز انجام پذیرفت. که نتایج آن در شکل ۷ نشان داده شده است.



شکل ۷- تاثیر افزایش غلظت اسید بر روی بازیابی مس

همانطور که ملاحظه می گردد، تاثیر افزایش اسید تا حدود ۲۲۰ گرم در لیتر به صورت خطی و سپس از تا تیر آن کاسته می شود.

۳-۴- نتیجه گیری از آزمایشات لیچینگ

به طور کلی با توجه به نتایج آزمایشات متعدد برای لیچینگ متلاطم و مخزنی، ۴ گزینه ارائه شده در جدول ۶ برای لیچینگ کانسنگ مس اکسیده منطقه چیده پیشنهاد می شود:



جدول ۶- چهار آلترا تئو پیشنهادی برای لیچینگ توده معدنی چیده

متغیر	گزینه	Vat(۱)	Vat(۲)	Agi(۱)	Agi(۱)
نوع لیچینگ	مخزنی	مخزنی	مخزنی	متلاطم	متلاطم
زمان لیچینگ	۶/۵ روز	۳ روز	۳ ساعت و ۴۵ دقیقه	۳ ساعت	۳ ساعت
ابعاد (صد در صد کوچکتر از)	۲/۳۸	۶/۳	۳۵۰ میکرون	۱۰۵ میکرون	۱۰۵ میکرون
غلظت اسید(گرم در لیتر)	۲۲۰	۲۵۰	۱۸۵	۲۰۰	۲۰۰
نسبت وزنی جامد به مایع (/.)	۵۰	۵۰	۵۰-۶۰	۵۰-۶۰	۵۰-۶۰
غلظت مس در محلول باردار(گرم در لیتر)	۱۰/۴	۱۱/۴	۱۲/۷	۱۰/۱	۱۰/۱
غلظت آهن در محلول باردار (گرم در لیتر)	۲/۸	۲/۸	-	۴/۲	۴/۲
pH	۱/۹۷	۲	۱	۱	۱
(%cu عیار باطله)	۰/۴	۰/۸۹	۰/۲۵	۰/۱۲	۰/۱۲
بازیابی %	۹۰	۸۰	۹۵	۹۷	۹۷

۴ . نتایج بررسی اقتصادی

هدف از انجام مطالعات مالی ، تعیین اقتصادی ترین روش از بین گزینه های به دست آمده در مرحله انجام آزمایشات می باشد. برای هر کدام از این گزینه ها دو روش بازیابی یعنی سمانتاسیون و استخراج حلالی در نظر گرفته شده است. به این ترتیب ۸ آلترا تئو بایستی از نظر اقتصادی بررسی شود. با توجه به ذخیره کانسار



که حدود ۵ میلیون تن کانسنگ قابل معدنکاری می باشد، تناژ روزانه ای معادل ۲۰۰۰ تن در روز در نظر گرفته شد. سپس تجهیزات و ماشین آلات لازم برای هر آلترناتیو مشخص شد (که بعلت حجم زیاد مطالب از ارائه این اطلاعات صرف نظر شده است). در تخمین هزینه های سرمایه گذاری از روش تخمین فاکتور تجهیزات (Equipment factored estimate) که براساس هزینه ماشین آلات اصلی بوده و نیز از سوابق پروژه های مشابه استفاده شده است. هزینه های عملیاتی نیز با توجه به میزان مواد مصرفی که از آزمایشات به دست آمد، برآورد شد [۱۰ تا ۱۶].

در این تحقیق آنالیز مالی به روش رده بندی فرآیند (Process Ranking Study) صورت گرفته است. این روش زمانی به کار برده می شود که با چند آلترناتیو از نظر فنی مواجه هستیم. در این روش ابتدا همه هزینه ها از نظر واحد یکسان شده (در اینجا \$/t ore)، سپس NPV نسبی آلترناتیوها در یک نرخ دلخواه (معمولاً ۱۰٪) به دست می آید و هر آلترناتیوی که بیشترین NPV را داشته باشد، آلترناتیو بهینه است. جدول ۷ نتایج مطالعات مالی را نشان میدهد.

جدول ۷- نتایج آنالیز مالی به روش رده بندی فرآیند

ALTERNATIVE NO.		۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
		Vat(۱)-Cementation	Vat(۲)-SX-EW	Vat(۳)-Cementation	Vat(۴)-SX-EW	Agil(۱)-Cementation	Agil(۲)-SX-EW	Agil(۳)-Cementation	Agil(۴)-SX-EW
Capital cost	\$million	۳۰.۵۶	۴۵.۷۵	۳۳.۳۷	۴۸.۶۵	۳۵.۵۳	۵۰.۷۸	۳۷.۴۴	۵۲.۶۹
Operating cost	\$/t ore	۵۱.۳۹	۳۲.۱۴	۵۴.۱۳	۳۴.۸۹	۵۱.۳۹	۳۲.۱۴	۵۴.۴۵	۳۵.۲۰
Recovery	%	۷۶.۸۰	۸۰.۰۰	۸۶.۴۰	۹۰.۰۰	۹۱.۲۰	۹۵.۰۰	۹۳.۱۲	۹۷.۰۰
Revenue	\$/t ore	۶۸.۶۶	۷۱.۵۲	۷۷.۲۴	۸۰.۴۶	۸۱.۵۳	۸۴.۹۳	۸۳.۲۵	۸۶.۷۲
Operating cost	\$/t ore	(۵۱.۳۹)	(۳۲.۱۴)	(۵۴.۱۳)	(۳۴.۸۹)	(۵۱.۳۹)	(۳۲.۱۴)	(۵۴.۴۵)	(۳۵.۲۰)
Capital Cost	\$/t ore	(۶.۱۱)	(۹.۱۵)	(۶.۶۷)	(۹.۷۳)	(۷.۱۱)	(۱۰.۱۶)	(۷.۴۹)	(۱۰.۵۴)
Cash flow	\$/t ore	۱۱.۱۶	۳۰.۲۳	۱۶.۴۲	۳۵.۸۴	۲۳.۰۴	۴۲.۶۳	۲۱.۳۱	۴۰.۹۸
Incremental	\$/t ore	-۳۱.۴۸	-۱۲.۴۱	-۲۶.۲۰	-۶.۷۹	-۱۹.۵۹	۰.۰۰	-۲۱.۲۲	-۱.۶۶
NPV@1۰٪	\$million	۲۶.۹۶	۷۳.۰۵	۳۹.۷۲	۸۶.۶۲	۵۵.۶۹	۱۰۳.۰۴	۵۱.۵۱	۹۹.۰۴



۵ . نتیجه گیری کلی

با توجه به نتایج به دست آمده از آزمایشهای لیچینگ که در جدول ۵ درج شده است و نیز از بررسی های اقتصادی که در جدول ۶ نتایج آن خلاصه شده است، ملاحظه می شود که لیچینگ متلاطم کانسنگ که تا زیر ۳۵۰ میکرون خرد شده است در محلول اسید به غلظت ۱۸۵ گرم در لیتر و در زمان ۳ ساعت و ۴۵ دقیقه که بازایی از محلول نیز به روش استخراج حلالی انجام می پذیرد، بالاترین NPV نسبی را به دست می دهد. لذا آلترناتیو ۶ (جدول ۷)، بعنوان بهترین آلترناتیو از نظر فنی- اقتصادی پیشنهاد می شود.

۶ . تقدیر و تشکر

از جناب دکتر علی نیا به خاطر کمکهایشان در انجام این تحقیق کمال تشکر را داریم. از مسئولین آزمایشگاههای کانی شناسی، کانه آرائی، هیدرومتالورژی و شیمی دانشگاه صنعتی امیر کبیر و نیز آزمایشگاه سرب و روی زنگان که نهایت همکاری را مبذول نمودند قدردانی مینمایم.

۷ . منابع و مراجع

- [۱] L. Dulas, H. Maas and R.B. Bhappu; (۱۹۷۴); “*Role of Mineralogy in Heap & in Situ Leaching of Copper Ores*”; Solution Mining Symposium, pp. ۱۹۳-۲۰۹.
- [۲] R.W. Bartlett; (۱۹۹۲); “*Solution Mining: Leaching and Fluid Recovery of Materials*” Gordon and Breach Science Pub.
- [۳] J.T. Bassarear, T.D. Henerson, Jr., and J.D.Vincent; (۱۹۸۵); “*Typical Copper Oxide Ore Leaching Operation*”; SME Mineral Processing Handbook, Vol. ۲/۱, Section ۱۴D, pp. ۱-۲۰.
- [۴] W. Dicoski; (۲۰۰۰); “*A Revolution in Copper Recovery*”; Mining Magazine, Vol. ۱۸۲, No. ۵, pp. ۲۵۸-۲۶۲.
- [۵] [Http://www.Genchem.Chem.Wisc.Edu/Lectures/Lecture_Docs/۳۹/Handouts/Copper_Background.Pdf](http://www.Genchem.Chem.Wisc.Edu/Lectures/Lecture_Docs/۳۹/Handouts/Copper_Background.Pdf) “*Hydrometallurgical Copper Extraction Leaching, Solvent Extraction, and Electrowinning*”
- [۶] [Http://www.innovations.Copper.Org/Bhp/Technology-Changes.Html](http://www.innovations.Copper.Org/Bhp/Technology-Changes.Html)
- [۷] Anon. (۱۹۹۴); “*Technical Resource Document, Extraction and Beneficiation of Ores and Minerals, Volume ۴, Copper*”, U.S. Environmental Protection Agency, Vol. ۴, pp ۴۵-۴۸.
- [۸] [Http://www.innovat.Ca](http://www.innovat.Ca)



- [۹] [Http://www.e-Mj.Com/Ac/December_۱۹۹۹](http://www.e-Mj.Com/Ac/December_۱۹۹۹) "Engineering & Mining Journal, Vat; An Overlooked Process".
- [۱۰] S.A. Stebbins; (۱۹۹۱); "*Cost Estimation Handbook for Small Placer Mines*"; US Bureau of Mine.
- [۱۱] A.L. Mullar; (۱۹۸۲); "*Mining and Mineral Processing Equipment Costs and Preliminary Capital Cost Estimations*"; the Canadian Institute of Mining and Metallurgy.
- [۱۲] Anon; (۱۹۸۸); "*Feasibility Study Report for Lince Project*", Michilla Drillings RTZ Engineers Ltd.
- [۱۳] B.P. Canning; (۱۹۸۶); "*Crushing and Grinding in the Small Plant*"; Design & installation of Comminution Circuit; Mullar, A.L., Editor, pp ۱۱۵-۱۲۳.
- [۱۴] B.H. Johnson and J.W. Scott; (۲۰۰۲); "*Financial and Feasibility Studies*" Mineral Processing Plant Design and Control, Mullar, A.L., Editor, pp ۲۸۰-۲۷۰.
- [۱۵] T.A. O'Hara; (۱۹۸۰); "*Quick Guides to the Evaluation of Ore bodies*", the Canadian Institute of Mining and Metallurgy.
- [۱۶] A.L. Mullar, R.B. Bhappu; (۱۹۸۰); "*Mineral Processing Plant Design*"; ۲E, SME.
- [۱۷] R. K. Roy; (۱۹۹۰); "*A Primer on the Taguchi Method*"; Van Nostrand Reinhold.
- [۱۸] F. Habashi; (۱۹۹۷); "*Hand Book of Extractive Metallurgy*" Vol.۲, Wily-Vch, pp ۴۹۲-۵۸۰.
- [۱۹] G.A. Kordosky; (?); "*Recovery of Copper from Oxide Ores: Today Practice*"; Hydrometallurgical Recovery from Ores, pp. ۱-۱۴.
- [۲۰] علی نیا فیروز؛ "کانی شناسی توصیفی"؛ جزوه درسی؛ دانشگاه صنعتی امیر کبیر.
- [۲۱] بیسواس دانیپورت و د. کومار، ترجمه حسین فرجی؛ (۱۳۷۱)؛ "فنون استخراج مس"؛ مرکز نشر دانشگاهی تهران.
- [۲۲] گزارشات شرکت توسعه معادن مس ماهین، (۱۳۷۸).
- [۲۳] -----، ۱۳۸۲، گزارش عملیات اکتشاف معدن مس چیده، شرکت معدنی کانسار کاو.

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛ شبکه های توجه گرافی (Graph Attention Networks)



کارگاه آنلاین مقاله نویسی IEEE و ISI ویژه فنی و مهندسی