مقایسه اقتصادی دو روش سمنتاسیون و استخراج حلالی برای بازیابی مس از محلول فروشویی شده (لیچ) کانسارهای اکسیده مس طارم سفلی

نوشته:مهدی ایران‌نژاد* ، مهدی سالاری راد*، و میرزاآقا محمدی*

*دانشکده معدن، بخش کانه آرایی، دانشگاه صنعتی امیر کبیر، تهران، ایران

Comparison of Economics of Cementation and Solvent Extraction for Recovery of Copper from Tarom Sofla Oxidized Copper Leach Solutions

By: M. Irannejad*, M. Salari Rad* & M.A. Mohammadi*

*Faculty of Mining, Mineral Processing Department, Amir Kabir University of Technology, Tehran, Iran

تاریخ دریافت: ۱۳۸۳/۰۴/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۶/۰۱/۲۱

چکیده

کانسارهای مس طارم سفلی از مجموعه کانسارهایی است که در زون طارم قرار دارد و شامل چندین کانسار مس اکسیده بوده که از معروف‌ترین آنها می‌توان به سه کانسار چیذه، آقدره و یمقان اشاره کرد. در این مقاله به مقایسه اقتصادی دو روش سمنتاسیون و استخراج حلالی برای بازیابی مس از محلول فروشویی شده این کانسارها پرداخته شده است. برای ارزیابی اقتصادی، به علت گوناگونی کانسارها از نظر میزان ذخیره و ظرفیت تولید، دو ظرفیت تولید (ظرفیت بالا: ۲۰۰۰ تن ظرفیت پایین: ۹۰ تن کانسنگ در روز) دو روش فروشویی (لیچینگ) و دو روش بازیابی در نظر گرفته شد. با در نظر گرفتن این سه عملیات (ظرفیت تولید، روش فروشویی و روش بازیابی) در مجموع ۸ گزینه ارزیابی شد. هزینه‌های سرمایه‌ای با استفاده از روشهای مرتبه بزرگی(قانون شش دهم) و هزینه عملیاتی با توجه به نتایج آزمایشها برآورد شد. برای مقایسه اقتصادی از روش NPV (ارزش فعلی خالص) استفاده شد. نتایج ارزیابی نشان داد که ارزش فعلی خالص گزینه ظرفیت بالا، بیش از ظرفیت پایین و ارزش فعلی خالص گزینه‌های فروشویی همزنی بیشتر از فروشویی حوضچه‌ای است. همچنین مشخص شد که ارزش فعلی خالص سمنتاسیون در ظرفیت پایین بیشتر از استخراج حلالی بوده در حالی که در ظرفیت بالا، عکس این مطلب صادق است. بنابراین، برای ظرفیتهای کوچک‌تر یا مساوی ۹۰ تن کانسنگ در روز، روش ارجح بازیابی از محلول از نظر اقتصادی، سمنتاسیون است ولی برای ظرفیتهای بزرگ‌تر یا مساوی ۲۰۰۰ تن کانسنگ در روز روش استخراج حلالی مناسب است.

کلیدواژه‌ها: کانسار مس طارم سفلی، کانسارهای اکسیده مس، بازیابی از محلول، مقایسه اقتصادی، سمنتاسیون، استخراج حلالی.

Abstract

The Tarom Sofla copper ore zone includes several oxidized copper ore deposits, the most famous being Cheeseh, Aghdarreh and Yamaghan deposits. In view of the diversity of reserves and productivity of ore deposits in the area, two production capacities (high : 2000 tpd and low : 90 tpd) , two leaching processes and two methods of recovery were considered to compare the economics of cementation vs. solvent extraction for recovering copper from leach solutions of these ores. Taking all the three parameters (production capacity, leaching processes and methods of recovery) into consideration eight alternatives were evaluated. Capital costs were estimated by employing order of magnitude calculations while operating costs were estimated by scaling up lab- scale costs. Economic comparison was made by the NPV method.

The results showed that the NPV of the high capacity model was higher than the low capacity model while vat leaching has a lower NPV than agitation leaching. Similarly it was shown that cementation for the low capacity model has a higher NPV than

Archive of SID
www.SID.ir

solvent extraction while for the high capacity model the order is reversed. Hence it is concluded that for capacities less than or equal to 90 tpd cementation is the economically preferable method for recovering copper from leach solutions but for capacities greater than or equal to 2000 tpd solvent extraction is the better option.

Key words: Tarom Sofla copper ore zone, Oxidized copper ores, Recovery of solution, Economic comparison, Cementation, Solvent extraction.

مقدمه

مس یکی از فلزهای با اهمیت در صنعت است. کاربرد آن به علت گسترش فنون ارتباطی و همچنین افزایش روزافزون استفاده از انرژی برق در جهان، رو به گسترش است. کشور ما نیز از این امر مستثنی نبوده است. مهم‌ترین منابع مس، کانسارهای سولفیدی و اکسیدی است و ایران از نظر کانه زایی مس، از پتانسیل خوبی برخوردار است.

کانسارهای مس طارم سفلی، از کانسارهای زون طارم و شامل چندین کانسار مس اکسیدی بوده که از معروف‌ترین آنها می‌توان به سه کانسار چیذه، آقدره و یمقان اشاره کرد. این کانسارها نزدیک به هم بوده و نحوهٔ زایش، ویژگیهای زمین‌شناختی، سنگ‌شناختی و کانی‌شناختی یکسانی دارند. ذخیره هر یک از این کانسارها متغیر بوده و به طور میانگین برای کانسارهای متوسط مقیاس، ۵ میلیون تن کانسنگ و برای کوچک مقیاس ۱۶۲ هزار تن کانسنگ با عیار میانگین ۳ درصد مس(محمدی، ۱۳۸۳) برآورد شده است.

کانسارهای اکسیدی مس، بیشتر به روش هیدرومتالورژی فرآوری می‌شوند. مطالعات اولیه آزمایشگاهی، روش فروشویی (لیچینگ) مخزنی و همزنی به وسیله اسید سولفوریک (شاهوردی،۱۳۸۳) را برای این منظور مناسب تشخیص داده است.

مرحله نهایی هر فرایند هیدرومتالورژیکی، بازیابی فلز از محلول فروشویی شده است. برای بازیابی مس از محلول فروشویی شده روشهای مختلفی از جمله رسوب دادن، سمنتاسیون، الکترووینینگ مستقیم، استخراج حلالی- الکترووینینگ (SX-EW) پیشنهاد می‌شود. از این بین، دو روش استخراج حلالی و سمنتاسیون از نظر اقتصادی استفاده شده‌اند و از این رو اهمیت بیشتری دارند. انتخاب هر یک از این روشها، بستگی به ظرفیت تولید و مسائل اقتصادی (Sudderth,1973) دارد. در این مقاله، برای بازیابی مس از کانسارهای طارم سفلی این دو روش برای ظرفیتهای مختلف در شرایط کشور ایران مقایسه می‌شوند.

همان گونه که پیش‌تر نیز اشاره شد، میزان ذخایر کانسارهای مختلف این مجموعه متفاوت است. از یک طرف، انتخاب روش مناسب برای بازیابی، بستگی به ذخیره کانسار و در نتیجه ظرفیت تولید دارد. از آن گذشته به علت کوچک بودن ذخایر، شباهت زیاد سنگ‌شناختی و کانی‌شناختی و همچنین نزدیک بودن این کانسارها، یکی از گزینه‌های ممکن، استخراج جداگانه این کانسارها و انتقال مواد معدنی استخراج شده به یک کارخانه مشترک برای فرآوری همزمان است. بنابراین، برای مقایسه اقتصادی روشهای بازیابی فوق، دو ظرفیت تولید در نظر گرفته شد تا بتوان برای کانسارها و همچنین راهبردهای مختلف تولید (کارخانه فرآوری مشترک یا جداگانه) روش مناسب را انتخاب کرد. ظرفیت تولید اول، ۲۰۰۰ تن کانسنگ در روز (ظرفیت بالا) و ظرفیت دوم ۹۰ تن کانسنگ در روز(ظرفیت پایین) (محمدی، ۱۳۸۳) در نظر گرفته شد. این اعداد، با توجه به ذخیره میانگین کانسارهای مختلف و با استفاده از فرمول تایلر به دست آمده است.

مطالعات اولیه آزمایشگاهی نشان داده است که غلظت مناسب مس در محلول فروشویی شده g/l ۱۰، ضریب آهن ۰/۹، استخراج کننده مناسب LIX984N، غلظت استخراج کننده ۳۰ درصد حجمی و تعداد مراحل استخراج ۲ و تعداد مراحل برهنه‌سازی ۱ است (محمدی، ۱۳۸۳). اما برای مطالعات اقتصادی ضریب آهن ۱/۲ (ضریب آهن در عمل به علت اکسایش دوبارهٔ یونهای فروس به فریک بیش از مقدار به دست آمده از نتایج آزمایشگاهی است) و بازیابی کلی (فروشویی و بازیابی از محلول) برای گزینه‌های فروشویی همزنی ۹۰ و برای فروشویی مخزنی ۸۰ درصد در نظر گرفته شده است.

۱- برآورد هزینه‌های سرمایه‌ای

چون پروژه در مرحله امکان‌سنجی مقدماتی قرار دارد، برای برآورد هزینه از مرتبه بزرگی و قانون شش دهم استفاده شده است. بر اساس این روش، از هزینه سرمایه‌ای یک پروژه با ظرفیت مشخص در یک سال معین برای برآورد هزینه سرمایه‌گذاری پروژه مورد نظر استفاده می‌شود. برای این منظور از رابطه۱ (Mular, 2002) استفاده می‌شود.

رابطه(۱)
$$\frac{COST_1}{COST_2} = \left[\frac{CAPACITY_1}{CAPACITY_2}\right]^n$$

در این رابطه n برای سمنتاسیون ۰/۶ و برای استخراج حلالی ۰/۷ (Lewis and Bhappu, 1976; Sudderth, 1973) در نظر گرفته شده است. همچنین در این فرمول CAPASITY حجم محلول باردار است.

Archive of SID
www.SID.ir

هزینه یک پروژه مبنا، به طور معمول برای سالهای گذشته است. به علت تورم و عوامل دیگر، قیمتها سال به سال تغییر می‌کنند. بنابراین، برای تبدیل یک قیمت از یک سال مبنا به سال مورد نظر، از شاخص قیمتها بر اساس رابطه ۲ (Mular, 2002) استفاده می‌شود.

$$\frac{COST_{YEAR_1}}{COST_{YEAR_2}} = \frac{INDEX_{YEAR_1}}{INDEX_{YEAR_2}}$$ رابطه(۲)

شاخص مناسب برای صنعت معدن و فرآوری، شاخص قیمت مارشال و سوویفت (M&S) (Mular,2002) است. برای برآورد هزینه‌های سرمایه‌ای از مراجع Lewis (1976) و Sudderth (1973) استفاده شده است. این هزینه‌ها مربوط به سال ۱۹۷۵ و ۱۹۷۶ است. برای برآورد درست هزینه‌های سرمایه‌گذاری فاصله زمانی بین سال مبنا و سال مورد نظر حتی‌الامکان باید کمتر از ۷ سال باشد. با توجه به اینکه سال مورد نظر ۲۰۰۴ بوده، فاصله زمانی بین دو سال زیاد است. ولی با توجه به اینکه در رابطه با سمنتاسیون مس منابع جدیدی در دسترس نیست، به دو دلیل می‌توان از آن چشم‌پوشی کرد. اولاً پروژه در مرحله امکان‌سنجی مقدماتی بوده و دقت برآورد هزینه‌ها در حدود ۳۰± درصد است. دوم اینکه برآورد هزینه‌ها مطلق نیست، یعنی نمی‌خواهیم هزینه سرمایه‌گذاری کل پروژه را تعیین و اقتصادی بودن آن را بررسی کنیم، بلکه روش نسبی است. به این معنی که این دو روش نسبت به هم مقایسه می‌شوند و اگر خطایی هم در برآوردها رخ داده باشد، به یک نسبت بر این دو روش تأثیر می‌گذارد. با توجه به مطالب فوق، هزینه سرمایه‌ای برای گزینه‌های مختلف به شرح جدول۱ خواهد شد.

۲- برآورد هزینه‌های عملیاتی

هزینه عملیاتی سمنتاسیون شامل هزینه کارگری، آهن قراضه، ذوب و تخلیص، اسیدسولفوریک، تعمیر و نگهداری و هزینه‌های متفرقه، و هزینه عملیاتی استخراج حلالی شامل هزینه کارگری، حلال آلی، برق، تعمیر و نگهداری و هزینه‌های متفرقه است. برای برآورد هزینه‌های عملیاتی باید تعداد نوبت کاری- نفر مورد نیاز در هفته و هزینه مواد مصرفی تعیین شود. جدول۲ تعداد نوبت کاری- نفر مورد نیاز برای روشهای مختلف و جدول۳ هزینه‌های مواد مصرفی را نشـــان می‌دهد. برای برآورد هزینه‌های کارگـری (نفـر- نوبت کاری مـورد نیاز در هفته) از مرجع Sudderth (1973) استفاده شده است. با در نظر گرفتن اطلاعات مندرج در جدولهای ۲ و ۳، هزینه‌های عملیاتی مستقیم سالانه برای گزینه‌های مختلف به شرح جدول۴ است. با در نظر گرفتن اطلاعات مندرج در جدولهای ۲ و۳ محاسبه ردیفهای مختلف هزینه‌های عملیاتی مستقیم سالانه(جدول۴) واضح بوده و نیاز به توضیح بیشتر ندارد.

تنها موردی که در این جدول نیاز به توضیح دارد، هزینه سالانه کارگری است. هزینه سالانه کارگری از فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$\text{هزینه سالانه کارگری} = \frac{(OR*OMSPW + HR*HMSPW + LR*LMSPW)}{ODPW} * OHPS * ODPY$$

در این فرمول OR، HR وLR به ترتیب هزینه کاربر، دستیار و کارگر به ازای یک ساعت OMSPW ، HMSPW وLMSPW به ترتیب تعداد نفر- نوبت کاری مورد نیاز در هفته برای کاربر، دستیار و کارگر، OPDPW تعداد روز کاری در هفته ، OHPS ساعت کاری در هر نوبت و ODPY تعداد روزکاری در سال است.

در این جدول، هزینه کاربر۱۶۷۰، دستیار۱۳۹۰ و کارگر ۱۱۲۰ تومان بر ساعت، هزینه تعمیر و نگهداری سالانه ۳ درصد هزینه سرمایه‌گذاری و هزینه‌های متفرقه سالانه یک درصد هزینه سرمایه‌گذاری در نظر گرفته شده است. کارخانه در سه نوبت ۸ ساعته کار می‌کند. تعداد روزکاری ۵ روز در هفته و ۲۵۰ روز در سال فرض شده است.

۳- مقایسه اقتصادی گزینه‌های مختلف

برای مقایسه اقتصادی گزینه‌های مختلف از روش ارزش فعلی خالص (NPV) استفاده شده است. برای این منظور، مقدار درآمد خالص سالانه در طول عمر معدن ثابت در نظر گرفته شده است. درآمد خالص به ازای یک کیلوگرم مس از تفریق هزینه‌های عملیاتی از درآمد ناخالص (۲۷۲۰ تومان بر کیلو گرم مس) به دست آمده است. برای تبدیل درآمد خالص یکنواخت سالانه به ارزش فعلی از رابطه ۳ (فضلوی،۱۳۸۰) استفاده شده است.

$$P = A\left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}\right]$$ رابطه(۳)

در این رابطه، P ارزش فعلی A مقدار ستاده یکنواخت سالانه و n عمر معدن و i حداقل نرخ جذب کننده است. جدول۵ نتایج مقایسه اقتصادی برای گزینه‌های مختلف را نشان می‌دهد. در این جدول ارزش فعلی ناخالص در حقیقت ارزش فعلی درآمد خالص سالانه است و ارزش فعلی خالص از تفریق هزینه سرمایه‌ای از ارزش فعلی ناخالص به دست آمده است. نکته‌ای که باید به آن اشاره شود این است که در این تحقیق، هدف، ارزیابی اقتصادی کل پروژه نیست، در اینجا تنها دو روش بازیابی از محلول برای ظرفیتهای مختلف از نظر اقتصادی مقایسه می‌شوند. برای ارزیابی کل پروژه، می‌بایست هزینه سرمایه‌گذاری و عملیاتی مراحل قبل(معدنکاری، سنگ‌شکنی، آسیا، حمل

Archive of SID
www.SID.ir

ماده ماده معدنی از معدن به محل فروشویی برای راهبردهای مختلف) و هزینه‌های بالاسری در نظر گرفته شود.

۴- نتیجه‌گیری

۱- ارزش فعلی خالص مربوط به روش فروشویی همزنی بالاتر از فروشویی حوضچه‌ای است.

۲- ارزش فعلی خالص ظرفیت تولید بالا(ذخیره دوم یا راهبرد دوم) بیش از ارزش فعلی خالص ظرفیت تولید اول(ذخیره اول) است.

۳- ارزش فعلی خالص روش سمنتاسیون در ظرفیت پایین در هر دو روش فروشویی، بالاتر از ارزش فعلی استخراج حلالی است. ولی در ظرفیت بالا عکس این موضوع است.

۴- بنابراین برای ظرفیتهای کوچک‌تر یا مساوی ۹۰ تن کانسنگ در روز، روش ارجح بازیابی از محلول از نظر اقتصادی سمنتاسیون است ولی برای ظرفیتهای بزرگ‌تر یا مساوی ۲۰۰۰ تن کانسنگ در روز، روش استخراج حلالی مناسب است.

جدول۱- هزینه سرمایه‌گذاری بازیابی از محلول

فروشویی	حوضچه‌ای				همزنی			
بازیابی	سمنتاسیون		استخراج حلالی-الکتروونینگ		سمنتاسیون		استخراج حلالی-الکتروونینگ	
تولید کانسنگ(t/d)	90	2000	90	2000	90	2000	90	2000
تولید مس (t/d)	2.16	48	2.16	48	2.43	54	2.43	54
دبی محلول آبی(m^3/d)	216	480	216	480	243	540	243	540
هزینه سرمایه‌ای (مبنا)(میلیون دلار)	0.30	1.49	1.24	11.07	0.32	1.57	1.35	11.68
هزینه سرمایه‌ای (۲۰۰۴)(میلیون دلار)	0.76	3.76	3.13	27.94	0.81	3.96	3.41	29.48
هزینه سرمایه‌ای (۲۰۰۴)(میلیون تومان)	644	3196	2660	23745	686	3368	2896	25054

جدول۲- نوبت کاری- نفر مورد نیاز در هفته برای روشهای مختلف

نوع فروشویی	فروشویی حوضچه‌ای				فروشویی همزنی			
بازیابی	سمنتاسیون		استخراج حلالی- الکتروونینگ		سمنتاسیون		استخراج حلالی- الکتروونینگ	
تولید کانسنگ (t/d)	90	2000	90	2000	90	2000	90	2000
تولید مس (t/d)	2.16	48	2.16	48	2.43	54	2.43	54
کاربر	7	7	21	21	7	7	21	21
دستیار	0	7	7	14	0	7	7	14
کارگر	5	7	10	10	5	7	10	10

۱) برای برآورد هزینه‌های سرمایه‌ای از مراجع Lewis (1976) و Sudderth (1973) استفاده شده است. این هزینه‌ها ابتدا بر اساس رابطه۱ نسبت به ظرفیت(حجم محلول باردار) اصلاح و سپس بر اساس رابطه۲ و با استفاده از شاخص مارشال و سوویفت به روز شده‌اند.

۲) شاخص قیمت برای سال مبنا میانگین سالهای ۱۹۷۵ و ۱۹۷۶ برابر با ۴۶۷ (فضلوی، ۱۳۸۰) و برای سال ۲۰۰۴ ، ۱۲۶۳ (Chemical EngineerinG) استفاده شده است.

۳) نرخ برابری در تبدیل هزینه‌های دلاری به تومان، ۸۵۰ تومان در نظر گرفته شده است.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول۳- هزینه‌های مواد مصرفی به ازای یک کیلوگرم مس خالص

روش بازیابی	لیست هزینه‌ها	مصرف	قیمت واحد (تومان بر کیلوگرم)	هزینه (تومان بر کیلوگرم مس)
سمنتاسیون	آهن قراضه	۱/۲(کیلوگرم)	۱۰۰	۱۲۰
	ذوب و تخلیص	---------	------	۶۰۰
	اسیدسولفوریک	۰/۵(کیلوگرم)	۱۰۰	۵۰
استخراج حلالی	افت حلال آلی	۰/۱(لیتر بر لیتر فاز آبی)	۳۸۸۰	۳۸/۸
	برق	۲/۳۳۵(کیلو وات بر کیلوگرم مس)	۲۵	۵۸/۳۸

۱) مقدار اسید مصرف در روش سمنتاسیون(۰/۵ کیلوگرم) در حقیقت تفاوت مقدار مصرف اسید در دو روش فوق است. این مقدار اسید در روش استخراج حلالی در مرحله الکتروونینگ تولید می‌شود.

۲) قیمت ۱ لیتر LIX984N، ۱۲۰۰۰ تومان و قیمت ۱ لیتر رقیق کننده ۴۰۰ تومان است. برای فاز آلی با ۳۰ درصد حجمی استخراج کننده قیمت ۱ لیتر فاز آلی ۳۸۸۰ تومان می‌شود.

جدول۴- هزینه‌های عملیاتی مستقیم سالانه(هزار تومان)

فروشویی	حوضچه‌ای				همزنی			
بازیابی	سمنتاسیون		استخراج حلالی- الکتروونینگ		سمنتاسیون		استخراج حلالی- الکتروونینگ	
تولید کانسنگ (تن بر روز)	90	2000	90	2000	90	2000	90	2000
تولید مس (تن در روز)	2.16	48	2.16	48	2.43	54	2.43	54
دبی محلول آبی(m^3/d)	216	480	216	480	243	540	243	540
کارگر	6916	11704	22400	26292	6916	11704	22400	26292
نیروی الکتریسته	0	0	31523	700500	0	0	35463	788063
آهن قراضه	64800	1440000	64800	1440000	72900	1620000	72900	1620000
ذوب و تخلیص	324000	7200000	324000	7200000	364500	8100000	364500	8100000
حلال آلی	0	0	20952	465600	23571	523800	23571	523800
اسید	27	600	0	0	0	0	30	675
تعمیر و نگهداری	19305	95882	79795	712362	20592	101031	86873	751616
هزینه‌های متفرقه	6435	31961	26598	237454	6864	33677	28958	250539
مجموع هزینه‌ها	421483	8780147	570068	10782207	495343	10390211	634695	12060984
هزینه به ازای یک تن کانسنگ(تومان)	18733	17560	25336	21564	22015	20780	28209	24122
هزینه به ازای یک کیلوگرم مس(تومان)	781	732	1056	899	815	770	1045	893

Archive of SID

www.SID.ir

جدول۵- ارزیابی اقتصادی گزینه‌های مختلف

فروشویی		حوضچه‌ای				همزنی			
بازیابی		سمنتاسیون		استخراج حلالی- الکترووینینگ		سمنتاسیون		استخراج حلالی- الکترووینینگ	
تولید کانسنگ (تن بر روز)	90	2000	90	2000	90	2000	90	2000	90
تولید مس (تن در روز)	2.16	48	2.16	48	2.16	54	2.43	54	2.43
درآمد خالص به ازای یک کیلو گرم مس (تومان)	1939	1988	1664	1821	1905	1950	1675	1827	
هزینه سرمایه گذاری اولیه(میلیون تومان)	644	3196	2660	23745	686	3368	2896	25054	
درآمد خالص سالانه	1047	23860	899	21858	1157	26330	1179	24659	
ارزش فعلی ناخالص	3775	100032	3240	91638	4171	110387	4249	103382	
ارزش فعلی خالص	3132	96836	580	67893	3484	107019	1353	78328	

• در ارزیابی اقتصادی، قیمت مس ۲۷۲۰ تومان در نظر گرفته شده است. درآمد خالص به ازای یک کیلوگرم مس از تفریق هزینه‌های عملیاتی از درآمد ناخالص (۲۷۲۰ تومان بر کیلو گرم مس) به دست آمده است. حداقل نرخ جذب ۲۰ درصد، عمر کارخانه با توجه به ذخیره کانسارها برای ظرفیت پایین ۷ سال و برای ظرفیت بالا ۱۰ سال در نظر گرفته شده است. همچنین سرمایه اولیه طی عمر معدن به طور خطی کاملاً مستهلک می‌شود.

کتابنگاری

شاهوردی، ا.، ۱۳۸۳- «مطالعه امکان‌سنجی لیچینگ کانسارهای اکسیده مس طارم سفلی»، پروژه کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

فضلوی، ع.، ۱۳۸۰- «اقتصاد معدن(بررسی فنی و اقتصادی پروژه‌های معدنی)»، انتشارات دانشگاه بین‌المللی امام خمینی(ره).

محمدی، م.آ.، ۱۳۸۳- «مطالعات امکان‌سنجی بازیابی مس از محلول لیچ کانسار مس اکسیده طارم سفلی»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد فرآوری، دانشکده معدن، متالورژی و نفت، دانشگاه امیر کبیر.

References

CHEMICAL ENGINEERING WEB SITE, WWW.CHE.COM DECEMBER 2005.

Jackson, E., 1986- "Hydrometallurgical Extraction and Reclamation", ELLIS Wood Limited and John Wiley & Sons.

Lewis, F.M. and Bhappu, R.B., 1976- "Economic Evaluation of Available Processes for Treating Oxide-Copper Ores", International journal of mineral processing, vol.3, pp 133-150.

Mular, A.L., 2002- "Mineral Processing Plant Design, Practice and Control proceeding", SME.

Sudderth, R.B., 1973- "Liquid Ion Exchange-Electrowinning vs Cementation: An Economic Analysis", Symposium on Solution Mining, pp 354 – 377.

Archive of SID
www.SID.ir