

پرعیار سازی کانسار آنتیموان لخشک با استفاده از روش فلوتاسیون

نویسنده: محمود عبداللهی*، علیرضا رئیسی** و حجت نادری*

* گروه فرآوری مواد معدنی دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

** سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ایران.

Beneficiation of Lakhshak Antimony Ore Using Flotation Method

By: M. Abdollahy*, A. Raissi** & H. Naderi*

* Dept. of Mineral Processing, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran.

** Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.

تاریخ دریافت: ۱۳۸۴/۰۳/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۵/۰۸/۲۸

چکیده

این تحقیق به منظور بررسی امکان پرعیار سازی کانسار آنتیموان لخشک با استفاده از روش فلوتاسیون انجام شده است. عیار آنتیموان در نمونه ۱۷/۲۳ درصد است. مهم ترین کانیهای موجود در نمونه، استیبینیت، کوارتز و پیریت و درجه آزادی ذرات استیبینیت ۲۱۰ میکرون است. برای فرآوری کانسار آنتیموان لخشک، نمونه اولیه از نظر دانه بندی به سه بخش تقسیم شد و پرعیار سازی بخش دانه ریز آن (۲۱۰+۳۸- میکرون) به روش فلوتاسیون بررسی شد. عیار بار ورودی به فلوتاسیون ۲۰/۵۰ درصد است. در انجام آزمایشهای فلوتاسیون از روش آماری تاگوچی استفاده شد و پارامترهای مؤثر در فرآیند بهینه شدند. پارامترهای بهینه فلوتاسیون شامل فعال کننده سولفات مس با غلظت ۱۷۰۰ گرم بر تن، کلکتور امیل گزنتات پتاسیم با غلظت ۹۰۰ گرم بر تن، درصد وزنی جامد در پالپ ۲۲ درصد و دانه بندی ۱۵۰+۳۸- میکرون تعیین شد. همه آزمایشها در pH طبیعی (۶/۸) انجام شد و کف ساز مورد استفاده نیز MIBC بود. در این شرایط کنسانتره ای با عیار ۳۸ درصد Sb و بازیابی ۹۱ درصد به دست آمد.

کلیدواژه ها: آنتیموان، استیبینیت، فلوتاسیون، تاگوچی، کانسار لخشک

Abstract

An investigation on beneficiation of Lakhshak antimony ore was carried out using flotation methods. The grade of antimony in representative sample was 17.23%. The most important minerals were stibnite, quartz and pyrite and the degree of liberation of stibnite was found to be 700 micrometer. The raw material was divided into three size fractions and beneficiation of fine size fraction (-210+38 m) was floated. The grade of mentioned fraction was 20.50 %. Taguchi method was used in flotation tests and optimum conditions were determined as follows: CuSO₄ (1700g/t) as an activator, potassium ethyl xanthate (900 g/t) as a collector, MIBC as a frother, pulp density 22% and grain size -150+38 m. All the experiments were carried out at pH = 6.8. As a result the grade and recovery of antimony was obtained 38% (Sb) and 91% respectively

Key words: Antimony, Stibnite, Flotation, Taguchi, Lakhshak ore

۱- مقدمه

کریم پور، ۱۳۷۸؛ Ubaldini, & Veglio, 2000). مهم ترین کانی آنتیموان، استیبینیت (Sb₂S₃) است. تاکنون بیش از ۱۰۰ کانی حاوی آنتیموان یافت شده است (کریم پور و سعادت، ۱۳۸۱). روشی که برای فرآوری کانسنگ آنتیموان به کار گرفته می شود، عمدتاً به

آنتیموان (Sb) با عدد اتمی ۵۱، در گروه ۱۵ جدول تناوبی قرار دارد. آنتیموان در حالت عنصری، دارای رنگ سفید نقره ای متمایل به خاکستری است و حالت شکننده دارد و به آسانی خرد می شود. سختی آن ۳/۱۵ در مقیاس موس و وزن مخصوص آن ۶/۶۸۴ g/cm³ است (جعفری راد، ۱۳۷۹؛

کتابخانه‌ای و آزمایش اولیه انجام شده از امیل گزنتات پتاسیم به عنوان کلکتور، سولفات مس (CuSO_4) به عنوان فعال کننده و از MIBC به عنوان کف ساز استفاده شد. همه آزمایشها در pH نزدیک به خنثی انجام شد.

۲-۳- طراحی آزمایشهای فلوتاسیون به روش تاگوچی

طراحی آزمایش به روش تاگوچی با استفاده از آرایه‌های متعامد انجام می‌شود. تاگوچی ۱۸ ماتریس متعامد استاندارد برای طراحی پیشنهاد می‌کند که برای طراحی آزمایش باید از آنها استفاده کرد. آرایه‌هایی که بیشترین استفاده را دارند عبارتند از: $L_{16}(2^{15})$ و $L_{32}(2^{31})$ و $L_8(2^7)$ برای سامانه‌های دو سطحی و $L_{18}(2^{1*3^7})$ ، $L_9(3^4)$ ، $L_{27}(3^{31})$ برای سامانه‌های سه سطحی. همچنین آرایه‌هایی برای سامانه‌های ۴ و ۵ سطحی نیز وجود دارد که کمتر استفاده می‌شود.

در این مقاله از نرم افزار winrobust برای طراحی آزمایشها و تحلیل نتایج استفاده شده است. این نرم افزار بر مبنای روش آماری تاگوچی عمل می‌کند. در نرم افزار winrobust برای تعیین شرایط بهینه می‌توان به دو طریق عمل کرد:

۱- استفاده از میانگین پاسخها

۲- استفاده از واریانس خطا

برای آنکه بتوان با استفاده از نرم افزار فوق آزمون معنی داری انجام داد و برای عملکرد نقطه بهینه فاصله اطمینان تعیین کرد، باید هر آزمایش (تعیین شده در طراحی اولیه) ۲ یا ۳ بار تکرار شود. آنگاه با استفاده از این نتایج و محاسبه واریانس خطا فاصله اطمینان برای شرایط بهینه پیشنهادی مشخص شود. در این تحقیق، از روش اول یعنی تعیین میانگین پاسخها استفاده شده است. ابتدا هر آزمایش یک بار انجام شد. آنگاه با استفاده از روابط موازنه جرم درستی پاسخها مورد بررسی قرار گرفت. به طوری که میزان فلز آنتیموان موجود در خوراک، باید با مجموع میزان فلز آنتیموان موجود در باطله و کنسانتره برابر می‌شود. بنابراین:

$$Ff = Cc + Tt \quad (1)$$

که در آن F, C, T به ترتیب وزن خوراک، کنسانتره و باطله و f, c, t به ترتیب عیار آنتیموان در خوراک، کنسانتره و باطله است.

در مواردی که اختلاف مقدار فلز موجود در خوراک و مجموع مقدار فلز موجود در کنسانتره و باطله بیش از ۱۰ درصد بود، آزمایش دوباره تکرار شد. اگر میزان این اختلاف کمتر از ۱۰ درصد بود، آنگاه با استفاده از معادله لاگرانژ عبارتهای اندازه‌گیری شده تصحیح شد (روابط ۲ تا ۶) تا خطای مربوط به موازنه جرم هر آزمایش برطرف شود (Kelly, 1982). آنگاه با استفاده از این نتایج مقادیر بازیابی و بازدهی جدایش برای هر آزمایش محاسبه شد.

عیار آنتیموان و دیگر ناخالصیهای همراه در کانسنگ بستگی دارد. عامل مهم دیگر، نحوه پراکندگی کانیهای آنتیموان در سنگ میزبان است. اگر میزان درگیری کانیهای آنتیموان با باطله زیاد نباشد، می‌توان از روشهای سنگجوری، مایعات سنگین، جیگ و میز لرزان استفاده کرد. کانسارهای کم عیار و کمپلکس و کانسارهایی که کانیهای ریزدانه آن در باطله پراکنده‌اند، به روش فلوتاسیون فرآوری می‌شوند (خودکار، ۱۳۸۰، Elvers & Hawkins, 1989; Kirck & Othmer, 1980).

ذخایر آنتیموان ایران، به صورت رخدادهای معدنی در سه بخش شمال خاوری، شمال باختری و مرکز ایران متمرکز هستند. با پی‌جوییهای اخیر، تاکنون ۲۴ کانسار و رخداد معدنی شناسایی شده است که از جمله آنها می‌توان کانسارهای چلپو در کاشمر، آق‌دره در تکاب، داشکسن در قروه و سفید آبه و لخشک در زاهدان را نام برد (جعفری راد، ۱۳۷۹).

کانسار آنتیموان لخشک در ۲۸ کیلومتری شمال باختری زاهدان واقع است. این تحقیق به منظور بررسی امکان پرعیار سازی کانسار آنتیموان لخشک با استفاده از روش فلوتاسیون انجام شده است.

۲- مواد و روشها

۲-۱- شناسایی نمونه

پس از تهیه نمونه معرف، تجزیه‌های XRF، XRD و جذب اتمی به منظور شناسایی فازهای موجود در نمونه و اندازه‌گیری عیار آنتیموان انجام شد. نتایج حاصل از تجزیه XRD نشان می‌دهد که مهم‌ترین فازهای موجود در نمونه شامل سیلیس، سولفید آنتیموان، اکسید آنتیموان و هیدروکسید آنتیموان است. بر اساس تجزیه XRF، اکسید سیلیسیم بیشترین حجم نمونه (۵۸٪) را تشکیل می‌دهد. میزان کل آنتیموان در نمونه (به صورت Sb_2O_3) ۲۸٪ است. با انجام تجزیه جذب اتمی، عیار آنتیموان در نمونه ۱۷/۲۳٪ تعیین شد. همچنین نتایج حاصل از مطالعات میکروسکوپی نشان می‌دهد که مهم‌ترین کانیهای موجود، استینیت، کوارتز و پیریت و درجه آزادی ذرات استینیت حدود ۷۰۰ میکرون است.

۲-۲- آزمایشهای فلوتاسیون

بر اساس نتایج حاصل از مطالعات اولیه بار ورودی به ۳ بخش ابعادی تقسیم و روشهای گرانشی برای دو بخش اول و روش فلوتاسیون برای بخش سوم در نظر گرفته شد. جدول ۱ تقسیم بندی ابعادی را نشان می‌دهد. مقدار مواد وارد شده به طبقه سرندي ۳۸- میکرون بسیار ناچیز بوده و سرشکن شده است. برای پرعیار سازی بخش ریزدانه، از فلوتاسیون استفاده شد. بر اساس مطالعات

خوراک جامد (با توجه به درصد وزنی جامد در پالپ در هر آزمایش) انجام شد. سرعت دوران روتور سلول فلوتاسیون ۹۵۰ rpm بوده است. در این آزمایشها، هدف دستیابی به بازیابی بیشینه بوده است. بنابراین، زمان کف گیری ۱۵ دقیقه در نظر گرفته شد. شرایط دیگر عبارتند از:

زمان آماده سازی پیش از افزایش مواد شیمیایی:

۳ دقیقه

زمان آماده سازی پس از افزایش فعال کننده: ۲ دقیقه

زمان آماده سازی پس از افزایش کلکتور: ۲ دقیقه

زمان آماده سازی پس از افزایش کف ساز: ۱ دقیقه

pH: ۸/۶ (محیط)

پس از انجام هر آزمایش کنسانتره و باطله خشک و توزین شدند و سپس نمونه معرف تهیه و برای تعیین مقدار آنتی‌موان به آزمایشگاه ارسال شد.

۳- نتایج و بحث

جدول ۴ نتایج حاصل از آزمایشهای فلوتاسیون و جدول ۵ عیارهای اصلاح شده و بازیابی را نشان می‌دهد.

پس از محاسبه بازیابی برای هر آزمایش با استفاده از نرم افزار Winrobust تحلیل‌های آماری لازم صورت گرفت. برای تحلیل نتایج، از بازیابی به عنوان متغیر پاسخ استفاده شده است. در ابتدا میانگین بازیابی در هر سطح از سطوح سه گانه محاسبه شد که نتیجه آن در جدول ۶ و شکل ۱ مشاهده می‌شود.

همان‌گونه که در شکل ۱- الف ملاحظه می‌شود، تأثیر غلظت فعال کننده بر بازیابی در هر دو بخش اول و دوم نمودار افزایشی است (شیب نمودار مثبت است). از آنجا که مقدار شیب نمودار در بخش اول (۹۰۰ تا ۱۳۰۰ گرم بر تن) نسبت به شیب نمودار در بخش دوم آن (۱۳۰۰ تا ۱۷۰۰ گرم بر تن) بیشتر است، می‌توان گفت که میزان تأثیر غلظت فعال کننده بر بازیابی در محدوده سطوح اول و دوم (۹۰۰ تا ۱۳۰۰ گرم بر تن) نسبت به محدوده سطوح دوم و سوم (۱۳۰۰ تا ۱۷۰۰ گرم بر تن) بیشتر است. به طور کلی افزایش غلظت فعال کننده باعث افزایش بازیابی شده است.

شکل ۱- ب نشان می‌دهد که تأثیر غلظت کلکتور بر بازیابی در هر دو بخش اول و دوم نمودار افزایشی است. از آنجا که مقدار شیب نمودار در بخش اول (۷۰۰ تا ۹۰۰ گرم بر تن) با شیب نمودار در بخش دوم آن (۷۰۰ تا ۹۰۰ گرم بر تن) برابر است، می‌توان گفت که میزان تأثیر غلظت فعال کننده بر بازیابی در محدوده سطوح اول و دوم (۷۰۰ تا ۹۰۰ گرم بر تن) با محدوده سطوح دوم و سوم (۹۰۰ تا ۷۰۰ گرم بر تن) برابر است. به طور کلی افزایش غلظت کلکتور باعث افزایش بازیابی شده است.

$$\lambda/2 = -\frac{Ff - Cc - Tt}{F^2 + C^2 + T^2} \quad (2)$$

با محاسبه مقدار $\lambda/2$ در هر آزمایش، مقادیر جدید عیارها به صورت زیر محاسبه گردید:

$$f' = \frac{\lambda}{2} + f \quad (3)$$

$$c' = \frac{\lambda}{2} + c \quad (4)$$

$$t' = \frac{\lambda}{2} + t \quad (5)$$

که در این روابط f, c, t به ترتیب عیارهای اولیه خوراک، کنسانتره و باطله، f', c', t' به ترتیب عیارهای تصحیح شده خوراک، کنسانتره و باطله و F, C و T به ترتیب وزن خوراک، کنسانتره و باطله است.

عوامل در نظر گرفته شده برای طراحی آزمایشهای فلوتاسیون عبارتند از: غلظت کلکتور، غلظت فعال کننده، در صد وزنی جامد در پالپ و دانه‌بندی. مطالعات کتابخانه‌ای نشان داده است که در فلوتاسیون بخش ۳۸+۲۱۰- میکرون، خردایش بخش ۱۵۰+۲۱۰- میکرون و رساندن آن به زیر ۱۵۰ میکرون سبب بهبود بازیابی می‌شود (۵). بنابراین عامل دانه‌بندی با دو سطح در نظر گرفته شد:

سطح اول: خوراک ۳۸+۲۱۰- میکرون

سطح دوم: ابتدا با استفاده از سرند ۱۵۰ میکرون، خوراک ۳۸+۲۱۰- میکرون سرند می‌شود و در نتیجه دو بخش الف (۱۵۰+۲۱۰- میکرون) و ب (۳۸+۱۵۰- میکرون) به دست می‌آید. سپس با استفاده از آسیای میله‌ای در مدار بسته بخش الف (۱۵۰+۲۱۰- میکرون) را خرد نموده تا ابعاد آن به زیر ۱۵۰ میکرون برسد. پس از آن، محصول آسیا را با بخش ب (۳۸+۱۵۰- میکرون) مخلوط نموده تا در نتیجه خوراکی با دانه بندی ۳۸+۱۵۰- میکرون تهیه شود.

بنابراین، برای طراحی آزمایشها ۳ عامل با ۳ سطح و یک عامل با دو سطح در نظر گرفته شد. جدول ۲ عاملهای انتخابی برای آزمایشهای فلوتاسیون و سطوح آنها را نشان می‌دهد. با توجه به عوامل و سطوح انتخاب شده آرایه L_9 جهت انجام آزمایشها انتخاب شد. جدول ۳ شرایط هر آزمایش را نشان می‌دهد.

۲-۴- روش انجام آزمایش

عملیات فلوتاسیون در سلول یک لیتری و با استفاده از مقدار مورد نیاز

می‌شود (یزدی صمدی و رضائی، ۱۳۸۱).

از آنجا که عامل دانه‌بندی بیشترین تأثیر بر بازیابی را داشته است، اثرات متقابل آن با عملهای دیگر بررسی می‌شود. شکل ۲ نمودارهای اثرات متقابل بین دانه بندی و عملهای غلظت کلکتور، غلظت فعال کننده و درصد وزنی جامد در پالپ را نشان می‌دهد.

از نمودار شکل ۲ چنین استنباط می‌شود که اثر دانه بندی برای هر سه سطح متغیرهای غلظت کلکتور، غلظت فعال کننده و درصد وزنی جامد در پالپ افزایشی است، زیرا شیب هر سه خط مربوط به سطوح متغیرها مثبت است. همان‌گونه که در شکل ۲ ملاحظه می‌شود، اثر کلکتور افزایشی است، زیرا با افزایش غلظت، خط مربوط به آن غلظت در سطح بالاتری قرار گرفته است. یعنی خط مربوط به ۹۰۰ گرم بر تن بالای خط ۷۰۰ و این خط نیز بالای خط ۵۰۰ گرم بر تن قرار دارد.

بین عاملهای دانه‌بندی و متغیرهای غلظت کلکتور، غلظت فعال کننده و درصد وزنی جامد در پالپ اثر متقابل وجود دارد، زیرا خطوط مربوط به سطوح مختلف این پارامترها با یکدیگر متقاطع هستند.

با افزایش غلظت کلکتور شیب خط مربوط به آن سطح کاهش می‌یابد. این بدین معنی است که با افزایش غلظت کلکتور، تأثیر دانه بندی کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر دانه بندی در سطح اول کلکتور (۵۰۰ گرم بر تن) بیشترین تأثیر را بر بازیابی دارد. همچنین با افزایش غلظت فعال کننده از ۹۰۰ به ۱۳۰۰ گرم بر تن نیز شیب خط کاهش می‌یابد و دانه‌بندی در سطح اول فعال کننده (۹۰۰ گرم بر تن) بیشترین تأثیر را بر بازیابی دارد. این مطلب در مورد متغیر درصد وزنی جامد در پالپ نیز صدق می‌کند و دانه‌بندی در سطح اول درصد جامد در پالپ (۱۸ درصد) بیشترین تأثیر را بر بازیابی دارد.

۵- تعیین مقادیر بهینه عاملها

در ادامه مقادیر بهینه برای هر عامل (سطح مورد نظر) محاسبه شده و بازیابی در این شرایط (که نرم افزار پیش بینی می‌کند) محاسبه شد. جدول ۸ شرایط بهینه تعیین شده توسط نرم افزار را نشان می‌دهد.

در سطح اعتماد ۹۵٪ محدودده پاسخ بهینه 100 ± 2 یا $100 \pm 43/5$ تعیین می‌شود. با توجه به اعداد به دست آمده در شرایط بهینه، یک آزمایش دیگر نیز در این شرایط انجام گرفت. در این آزمایش، عبارهای محصول پرعیار و باطله به ترتیب ۳۸ و ۵/۰۷ و مقدار بازیابی ۹۲ درصد به دست آمد. با توجه به اینکه خوراک فلوتاسیون ۲۰/۵۰ درصد بار اولیه را تشکیل می‌دهد، میزان بازیابی نسبت به کل بار اولیه ۱۸/۸۶ درصد است.

با توجه به شکل ۱- ج تأثیر درصد وزنی جامد در پالپ بر بازیابی در بخش اول نمودار (۱۸ تا ۲۲ درصد) افزایشی است ولی در بخش دوم نمودار (۲۲ تا ۲۵ درصد) تقریباً ثابت است و به همین دلیل، شیب نمودار در این قسمت تقریباً صفر است. از آنجا که مقدار شیب نمودار در بخش اول (۱۸ تا ۲۲ درصد) نسبت به شیب نمودار در بخش دوم آن (۲۲ تا ۲۵ درصد) بیشتر است، می‌توان گفت که میزان تأثیر درصد وزنی جامد در پالپ بر بازیابی در محدوده سطوح اول و دوم (۱۸ تا ۲۲ درصد) نسبت به محدوده سطوح دوم و سوم (۲۲ تا ۲۵ درصد) بیشتر است. به طور کلی، افزایش درصد وزنی جامد در پالپ تا ۲۲ درصد باعث افزایش بازیابی شده است. همان‌گونه که در شکل ۱- د دیده می‌شود، تأثیر دانه بندی بر بازیابی افزایشی است. تغییر سطح دانه بندی از $38+210$ میکرون به $38+150$ میکرون باعث افزایش قابل توجه بازیابی شده است.

در مرحله بعد، تحلیل واریانس (ANOVA) محاسبه شد که نتایج آن در جدول ۷ آمده است. نتایج حاصل از تحلیل واریانس نشان می‌دهد که دانه‌بندی بیشترین تأثیر (۴۶/۳۲ درصد) را بر بازیابی داشته است. پس از آن، غلظت کلکتور ۱۲/۹۳ درصد و غلظت فعال کننده ۹/۷۶ درصد بر بازیابی تأثیر داشته‌اند. میزان تأثیر درصد وزنی جامد در پالپ قابل توجه نیست (۳/۵۷ درصد). با توجه به جدول میزان واریانس خطا قابل توجه است که نشان دهنده تأثیر عواملی مانند اثرات متقابل بین عاملها (که در طراحی تاگوجی در نظر گرفته نشده است) و نیز خطاهای انسانی و دستگاهی است. میزان F_1 در جداول آماری برای سطوح ۱٪ تا ۵٪ و درجه آزادی ۲ برابر هر عامل و ۱ برای خطا به ترتیب برابر ۵۰۰۰ و ۲۰۰ و برای درجه آزادی ۱ برای هر عامل و ۱ برای خطا به ترتیب برابر ۴۰۵۲ و ۱۶۱ محاسبه شده است. نتایج جدول ۸ نشان می‌دهد که مقدار F محاسبه شده برای عوامل کوچک‌تر از F_1 مربوطه است. در نتیجه می‌توان نتیجه گرفت که نتایج معنی‌دار نیستند و سطوح مختلف در نظر گرفته شده برای عوامل فوق نتوانسته است تغییرات قابل ملاحظه‌ای در نتایج ایجاد کند.

۴- بررسی اثرات متقابل عاملها

توجه به اثر متقابل عوامل مورد بررسی یکی از نکات حائز اهمیت در آزمایشهای چند عاملی است. در آزمایشهای فاکتوریل، تفسیر و نتیجه‌گیری در خصوص اثر اصلی عاملها بدون توجه به اثر متقابل آنها فاقد اعتبار است. به منظور نشان دادن اثرات متقابل، می‌توان از رسم نمودار استفاده کرد. بدین منظور محور Y برای خصوصیت اندازه‌گیری شده و محور X برای یکی از عوامل در نظر گرفته می‌شود، و برای هر سطح عامل دوم یک خط رسم

۶- تعیین زمان بهینه فلوتاسیون

یکی از عوامل مؤثر در بهینه سازی عملیات فلوتاسیون تعیین زمان ماند است. از لحاظ نظری، زمان بهینه فلوتاسیون، زمانی است که اختلاف بازیابی کانی با ارزش و باطله بیشینه باشد (رضایی، ۱۳۷۸؛ Kelly, 1982). برای تعیین زمان بهینه فلوتاسیون در این تحقیق یک آزمایش با شرایط بهینه انجام شد. در این آزمایش در زمانهای ۱/۵، ۳، ۶، ۱۰ و ۱۵ دقیقه کف گیری انجام شد. میزان بازیابی در زمانهای مختلف محاسبه و نمودار زمان - بازیابی رسم شد. شرایط انجام آزمایش بدین صورت است:

غلظت فعال کننده: ۱۷۰۰ گرم بر تن، غلظت کلکتور: ۹۰۰ گرم بر تن، دانه بندی: زیر ۱۵۰ میکرون، درصد وزنی جامد در پالپ: ۲۲ درصد، وزن نمونه جامد: ۵۰۰ گرم

جدول ۹ نتایج حاصل از این آزمایش را نشان می دهد. همان گونه که در جدول ۸ ملاحظه می شود، اختلاف بازیابی کانی با ارزش و باطله در زمانهای ۳ و ۶ دقیقه بیشینه است و با افزایش زمان فلوتاسیون این اختلاف کاهش می یابد. بنابراین زمان ۳ دقیقه زمان بهینه فلوتاسیون می باشد.

شکل ۳ نمودار تغییرات بازیابی بر حسب زمان فلوتاسیون را نشان می دهد. همان گونه که در نمودار مشاهده می شود، پس از گذشت ۱۵ دقیقه از شروع فلوتاسیون میزان بازیابی تجمعی ۸۷/۷۵ درصد است. بدیهی است زمان ۱۵ دقیقه زمان بهینه فلوتاسیون نیست. زیرا پس از ۳ دقیقه، علاوه بر این که بازیابی کانی با ارزش افزایش می یابد، بر میزان بازیابی کانی باطله به کنسانتره

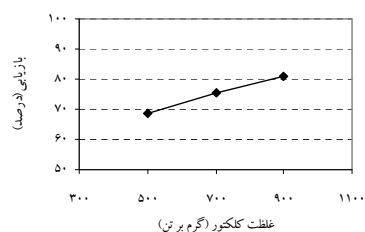
نیز افزوده می شود و سبب کاهش عیار کنسانتره می شود.

۷- نتیجه گیری

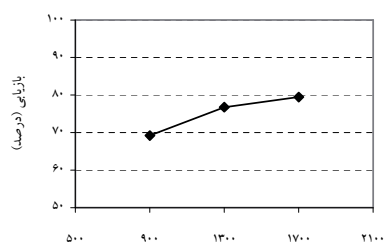
در این تحقیق، فرآوری کانسار آنتیموان لخشک با استفاده از روش فلوتاسیون مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از پرعیار سازی خوراک با دانه بندی ۳۸+۲۱۰- میکرون به وسیله فلوتاسیون نشان داد که شرایط بهینه برای انجام فرآیند عبارتند از: فعال کننده سولفات مس ۱۷۰۰ گرم بر تن، درصد وزنی جامد در پالپ ۲۲ درصد و کلکتور امیل گزنات پتاسیم ۹۰۰ گرم بر تن. همچنین برای افزایش بازیابی لازم است که با استفاده از سرند کنترل ۱۰۰ مش، بخش ۱۵۰+۲۱۰- خوراک جدا شده و خردایش شود به طوری که دانه بندی خوراک فلوتاسیون ۳۸+۱۵۰- میکرون باشد. در این حالت کنسانتره ای با عیار ۳۸ درصد تولید می شود و بازیابی فرایند ۹۲ درصد است. همچنین زمان بهینه فلوتاسیون ۳ دقیقه تعیین شد. میزان بازیابی کل نسبت به بار اولیه ۱۸/۸۶ درصد است.

تشکر و قدردانی

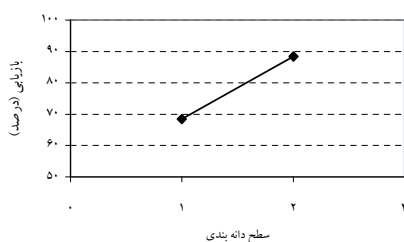
بدین وسیله از کلیه کسانی که ما را در انجام این تحقیق یاری نمودند، بویژه مسئولان محترم واحد کانه آرای سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور و همچنین آزمایشگاه کانه آرای دانشگاه تربیت مدرس تقدیر و تشکر می نمایم.



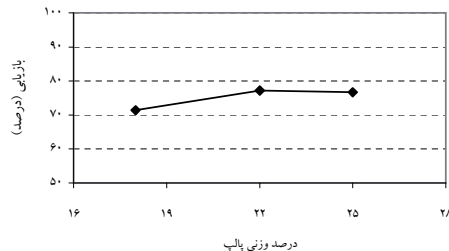
(ب)



(الف)



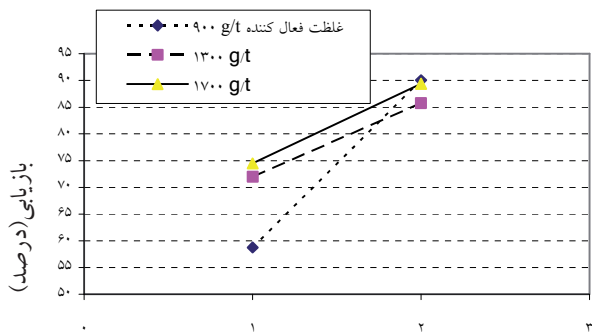
(د)



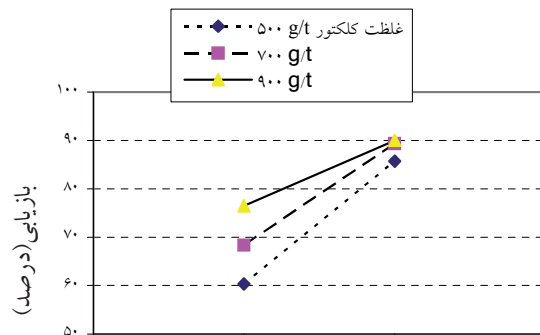
(ج)

شکل ۱- نمودار تغییرات بازیابی نسبت به تغییرات پارامترها (الف) غلظت فعال کننده، (ب) غلظت کلکتور، (ج) درصد وزنی

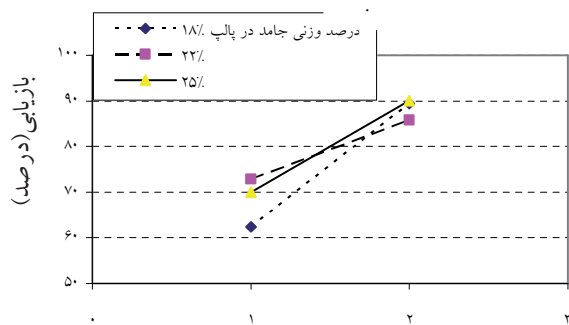
جامد در پالپ، (د) دانه بندی



سطح دانه بندی (ب)

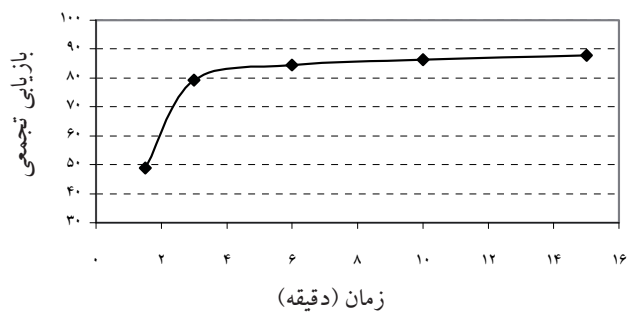


سطح دانه بندی (الف)



سطح دانه بندی (ج)

شکل ۲- نمودار اثرات متقابل دانه بندی و سایر پارامترها (الف) غلظت کلکتور، (ب) غلظت فعال کننده، (ج) درصد وزنی جامد در پالپ



شکل ۳- نمودار تغییرات بازیابی بر حسب زمان فلوتاسیون

جدول ۱- بخشهای ابعادی در نظر گرفته شده و عیار آنتیموان در این بخشها

ابعاد(میکرون)	عیار آنتیموان	درصد بار اولیه	روش پرعیار سازی
-۲۶۷۰+۱۰۰۰	۱۳/۹۷	۴۲/۵۰	جیگ
-۱۰۰۰+۲۱۰	۱۸/۴۰	۳۷/۰۰	میز
-۲۱۰+۳۸	۲۲/۰۸	۲۰/۵۰	فلوتاسیون

جدول ۲- عامل‌های انتخابی برای آزمایش‌های فلوتاسیون و سطوح آنها

عامل	سطح اول	سطح دوم	سطح سوم
غلظت کلکتور (گرم در تن)	۵۰۰	۷۰۰	۹۰۰
غلظت فعال کننده (گرم در تن)	۹۰۰	۱۳۰۰	۱۷۰۰
درصد وزنی جامد در پالپ	۱۸	۲۲	۲۵
دانه‌بندی (میکرون)	-۲۱۰+۳۸	-۱۵۰+۳۸	-

جدول ۳- مقادیر عاملها و سطوح آنها در طراحی آزمایش‌های فلوتاسیون

شماره آزمایش	عاملها	غلظت فعال کننده (گرم در تن)	غلظت کلکتور (گرم در تن)	درصد وزنی جامد در پالپ	دانه‌بندی (میکرون)
۱		۹۰۰	۵۰۰	۱۸	-۲۱۰+۳۸
۲		۹۰۰	۷۰۰	۲۲	-۲۱۰+۳۸
۳		۹۰۰	۹۰۰	۲۵	-۱۵۰+۳۸
۴		۱۳۰۰	۵۰۰	۲۲	-۱۵۰+۳۸
۵		۱۳۰۰	۷۰۰	۲۵	-۲۱۰+۳۸
۶		۱۳۰۰	۹۰۰	۱۸	-۲۱۰+۳۸
۷		۱۷۰۰	۵۰۰	۲۵	-۲۱۰+۳۸
۸		۱۷۰۰	۷۰۰	۱۸	-۱۵۰+۳۸
۹		۱۷۰۰	۹۰۰	۲۲	-۲۱۰+۳۸

جدول ۴- نتایج حاصل از آزمایش‌های طرح L₉ برای فلوتاسیون

شماره آزمایش	خوراک		کنسانتره		باطله	
	وزن (gr)	عیار (%)	وزن (gr)	عیار (%)	وزن (gr)	عیار (%)
۱	۳۳۰	۲۲/۰۸	۶۵	۴۹/۱۳	۲۶۵	۱۵/۵۵
۲	۴۲۰	۲۲/۰۸	۱۴۰	۴۳/۶۵	۲۸۰	۶/۵۱
۳	۳۳۴	۲۲/۰۸	۱۸۵	۳۷/۱۳	۱۵۵	۵/۱۳
۴	۲۸۰	۲۲/۰۸	۱۳۵	۳۹/۵۵	۱۴۵	۶/۱۸
۵	۳۳۴	۲۲/۰۸	۹۵	۴۹/۵۰	۲۳۹	۱۱/۷۵
۶	۲۲۰	۲۲/۰۸	۹۰	۴۱/۶۳	۱۳۰	۶/۲۸
۷	۳۳۴	۲۲/۰۸	۱۲۰	۴۴/۴۰	۲۱۴	۶/۷۵
۸	۲۲۰	۲۲/۰۸	۱۲۰	۳۵/۷۵	۱۰۰	۵/۰۳
۹	۲۸۰	۲۲/۰۸	۱۰۰	۳۹/۸۸	۱۸۰	۷/۵۵

جدول ۵- عیار اصلاح شده آنتیموان در کنسانتره و باطله و میزان بازیابی برای هر آزمایش

شماره آزمایش	کنسانتره		باطله		درصد بازیابی کلی آنتیموان در محصول پرعیار
	عیار (%)	وزن (gr)	عیار (%)	وزن (gr)	
۱	۴۹/۱۲	۶۵	۱۵/۵۱	۲۶۵	۸/۹۶
۲	۴۴/۳۳	۱۴۰	۷/۸۸	۲۸۰	۱۵/۱۳
۳	۳۶/۸۱	۱۸۵	۴/۸۶	۱۵۵	۱۸/۴۶
۴	۳۹/۴۹	۱۳۵	۶/۱۱	۱۴۵	۱۷/۵۸
۵	۴۹/۴۳	۹۵	۱۱/۵۷	۲۳۹	۱۲/۹۰
۶	۴۱/۹۹	۹۰	۶/۸۰	۱۳۰	۱۶/۶۱
۷	۴۴/۸۲	۱۲۰	۷/۵۰	۲۱۴	۱۵/۷۹
۸	۳۵/۸۶	۱۲۰	۵/۱۲	۱۰۰	۱۸/۳۲
۹	۴۰/۵۷	۱۰۰	۸/۷۹	۱۸۰	۱۴/۷۵

جدول ۶- میانگین بازیابی در سطوح مختلف هر عامل

میانگین بازیابی	سطح	عامل
۶۹/۱۸	۹۰۰	غلظت فعال کننده
۷۶/۵۷	۱۳۰۰	
۷۹/۴۴	۱۷۰۰	
۶۸/۸۳	۵۰۰	غلظت کلکتور
۷۵/۳۶	۷۰۰	
۸۱/۰۰	۹۰۰	
۷۱/۳۸	۱۸	درصد وزنی جامد در پالپ
۷۷/۱۵	۲۲	
۷۶/۶۶	۲۵	
۶۸/۴۰	۱	دانه بندی
۸۸/۳۸	۲	

جدول ۷- تحلیل واریانس (ANOVA) عاملها

ردیف	عاملها	درجه آزادی (DOF)	جمع مربعات	واریانس	درصد تأثیر	F
۱	غلظت فعال کننده	۲	۱۶۸/۲۷	۸۴/۱۳	۹/۷۶	۰/۱۸
۲	غلظت کلکتور	۲	۲۲۲/۶۹	۱۱۱/۳۵	۱۲/۹۳	۰/۲۳۶
۳	درصد وزنی جامد در پالپ	۲	۶۱/۵۲	۳۰/۷۶	۳/۵۷	۰/۰۶
۴	دانه بندی	۱	۷۹۸/۰۰	۷۹۸/۰۰	۴۶/۳۲	۱/۶۹
۵	خطا و سایر عوامل	۱	۴۷۲/۵۹	۴۷۲/۵۹	۲۷/۴۲	-

جدول ۸- شرایط بهینه تعیین شده توسط نرم افزار

ردیف	عاملها	سطح بهینه	شماره سطح
۱	غلظت فعال کننده	۱۷۰۰	۲
۲	غلظت کلکتور	۹۰۰	۳
۳	درصد وزنی جامد در پالپ	۲۲	۲
۴	دانه بندی	۲	۲
بازیابی پیشنهادی در شرایط بهینه			۱۰۰

جدول ۹- نتایج حاصل از آزمایش انجام شده برای تعیین زمان بهینه فلوتاسیون

زمان (دقیقه)	محصول پرعیار						وزن (گرم)
	بازیابی کانی با ارزش در		بازیابی کانی باطله در		عیار	عیار	
	لحظه ای	تجمعی	لحظه ای	تجمعی	باطله (درصد)	آنتیموان (درصد)	
۱/۵	۴۸/۸۹	۴۸/۸۹	۱۳/۶۰	۱۳/۶۰	۴۹/۵۵	۵۰/۴۵	۱۰۷
۳	۷۹/۳۱	۳۰/۴۲	۱۰/۸۹	۲۴/۴۹	۵۵/۸۲	۴۴/۱۸	۷۶
۶	۸۴/۴۳	۵/۱۲	۵/۱۲	۲۹/۶۱	۷۱/۲۵	۲۸/۷۵	۲۸
۱۰	۸۶/۳۳	۱/۹۰	۳/۵۷	۳۳/۱۸	۸۶/۸۵	۱۳/۱۵	۱۶
۱۵	۸۷/۷۵	۱/۴۲	۳/۷۰	۳۶/۸۸	۹۰/۲۰	۹/۸۰	۱۶

کتابنگاری

- خودکار، ع.، ۱۳۸۰ - بررسی امکان فرآوری کانسار آنتیموان کلاته چوبک، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- جعفری راد، ع.، ۱۳۷۹ - بررسی ذخایر آنتیموان در ایران و جهان، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- رضایی، ب.، ۱۳۷۸ - فلوتاسیون، انتشارات دانشگاه هرمزگان.
- کریم پور، م.، س.، سعادت، س.، ۱۳۸۱ - زمین شناسی اقتصادی کاربردی، نشر مشهد.
- کریم پور، م.، ۱۳۷۸ - کانیها و سنگهای صنعتی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
- یزدی صمدی، ب.، رضائی، ع.، ۱۳۸۱ - طرحهای آماری در پژوهشهای کشاورزی، انتشارات دانشگاه تهران.

References

- Elvers, B., Hawkins, S., 1989- Ulmans Encyclopedia of industrial chemistry.
- G.Kelly, E., 1982- Introduction to mineral processing, university of Auckland.
- Kirck-Othmer, 1980- Encyclopedia of chemical technology.
- Ubalini, S., Veglio, F., 2000- Process flowsheet for gold and antimony recovery from stibnite, Hydrometallurgy, vol 57, pp 187-199.
- Wills, B. A., 1997- Mineral processing technology, 6nd edition, British Library Cataloguing in Publication Data, 86 P.