Construction Science and Technology
Volume 7, Issue 1

Investigating the ability of molybdenite enrichment from copper-molybdenum-lead polymetallic ore Kal Kafi

Morteza Abdollahi[1] , Amir Zeynali[2]

[1] PhD Student, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
[2] Master of Science, Department of Mining, Tarbiat Modares University of Tehran, Tehran, Iran

R T I C L E I N F O

Article history:

Article Type: Research paper

Received: 2025 February 23

Accepted: 2025 May 18

* Correspondence Email Addres:

mortezaabdollahii@yahoo.com

Keywords:
Polymetallic ores;
Molybdenite;
Flotation;
experimental design;
Kal Kafi;

A B S T R A C T

KalKafi copper-molybdenum-lead deposit (Anark - Isfahan) is one of the large and valuable mineral deposits in the Anark-Yazd metallurgical zone. The purpose of the present article is to enrich the valuable element molybdenum from the ore of KalKafi. Based on mineralogical analyzes and studies of the complexities in this polymetallic ore, its processing will face challenges. In this research, the feasibility of molybdenite enrichment was investigated by conducting preliminary flotation tests. In the next step, the type and concentration of suitable chemicals for molybdenite flotation were determined by designing flotation experiments using the Taguchi method. According to the results, flotation in the rafter stage was carried out using chemicals including 1000 g/ton of diesel, 142 g/ton of A70, 12 kg/ton of sodium sulfur at a pH of approximately 11.5, and the molybdenum enrichment ratio was 5. In the continuation, flotation tests were performed in the cleaner and re-cleaner stages, during which the molybdenum grade was 0.94% and 1.86%, respectively. During these tests, it was discovered that there are high amounts of lead in the molybdenum concentrate. By designing the experiment and conducting flotation tests in the conditions of using different chemicals in different doses, it was concluded that sodium dichromate had a favorable result in depressing galena; But it is highly likely that it will depressant part of the molybdenite particles involved with galena. In the case of using sodium dichromate, the molybdenum grade in the concentrate is 1.42% and its recovery is calculated to be about 61%.

Cite this article: Abdollahi, M., & Zeynali, A. (2025). Investigating the ability of molybdenite enrichment from copper-molybdenum-lead polymetallic ore Kal Kafi. Construction science and technology, 6(1), 35-45. **DOI** 20.1001.1.29812577.1404.6.1.10.4

Publisher: Imam Hussein University

«مجله علمی علوم و فنون سازندگی»

سال چهارم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، صفحه ۴۷ الی ۵۲

علمی– تخصصی

بررسی قابلیت پرعیارسازی مولیبدنیت از کانه پلی متال مس ــ مولیبدن ــ سرب کال کافی

مرتضی عبداللهی[1*]، امیر زینالی

[1] دانشجوی دکترا، دانشگاه صنعتی اصفهان

[2] کارشناسی ارشد، گروه معدن دانشگاه تربیت مدرس تهران

(دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۲۶، پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۰۷)

چکیده

کانسار مس ـ مولیبدن ـ سرب کال کافی (واقع در شهرستان انارک – استان اصفهان) یکی از توده‌های معدنی بزرگ و با ارزش زون متالوژیک انارک ـ یزد است. هدف از مقاله حاضر پرعیارسازی عنصر با ارزش مولیبدن از کانه کال کافی است. بر اساس آنالیزها و مطالعات کانی‌شناسی پیچیدگی‌ها موجود در این کانه پلی متال، فرآوری آن را با چالش‌هایی مواجه خواهد کرد. در این تحقیق ابتدا با انجام آزمایش‌های اولیه فلوتاسیون، امکان‌سنجی پرعیارسازی مولیبدنیت بررسی شد. در مرحله بعدی با طراحی آزمایش‌های فلوتاسیون به روش تاگوچی، به تعیین نوع و غلظت مواد شیمیایی مناسب برای فلوتاسیون مولیبدنیت پرداخته شد. بر اساس نتایج، انجام فلوتاسیون در مرحله رافر با استفاده از مواد شیمیایی شامل ۱۰۰۰ g/ton گازوئیل، A70 به میزان ۱۴۲ g/ton، سولفور سدیم ۱۲ kg/ton در pH تقریبا ۱۱/۵، نسبت غنی شدگی مولیبدن ۵ بوده است. در ادامه آزمایش‌های فلوتاسیون در مراحل کلینر و ری‌کلینر انجام گرفت، که طی این مراحل عیار مولیبدن به ترتیب ۰/۹۴ و ۱/۸۶ درصد بوده است. در طی این آزمایش‌ها، پی به وجود مقادیر بالایی از سرب در کنسانتره مولیبدن برده شد. با طراحی آزمایش و انجام آزمایش‌های فلوتاسیون در شرایط استفاده از مواد شیمیایی مختلف در دوزهای متفاوت، نتیجه گردید که دی‌کرومات سدیم نتیجه مطلوبی در بازداشت گالن داشته است؛ اما به احتمال قوی بخشی از ذرات مولیبدنیت درگیر با گالن را نیز بازداشت خواهد کرد. در حالت استفاده از دی-کرومات سدیم عیار مولیبدن در کنسانتره ۱/۴۲ درصد اندازه‌گیری و بازیابی آن حدود ۶۱ درصد محاسبه شده است.

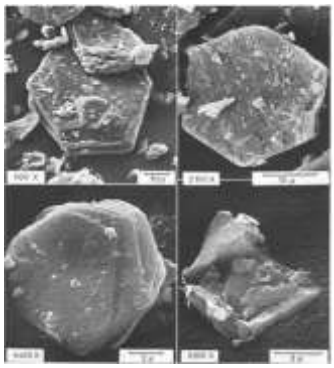
کلید واژه‌ها: کانه‌های پلی متال، مولیبدنیت، فلوتاسیون، طراحی آزمایش، کال کافی

۱. مقدمه

مولیبدن، چهل و دومین عنصر جدول تناوبی و از فلزات مهم در صنایع هواپیماسازی، پتروشیمی و فولاد است. این فلز استراتژیک در ترکیب بیش از ۱۰ کانی شناخته شده (از جمله پوولیت (CaMoO4) فری‌مولیبدنیت (Fe2(MoO4).8H2O)، ولفنیت (PbMoO4))، مولیبدنیت (MoS2) وجود دارد؛ ولی در عمل، استحصال آن تنها از کانی مولیبدنیت امکان‌پذیر است. مولیبدنیت یک کانی سولفیدی و اغلب در کانسارهای پورفیری مس ـ مولیبدن یافت می‌شود؛ که طی فرایند فلوتاسیون به عنوان محصول جانبی مس فرآوری می‌شود. با توجه به خاصیت هیدروفوبیسیته ذاتی، فلوتاسیون متداول‌ترین روش برای فرآوری مولیبدنیت است [۱, ۲]. قابلیت فلوته شدن ذاتی مولیبدنیت مربوط به ویژگی‌های بافتی آن از جمله مسطح بودن، گرد بودن ذرات، نسبت کشیدگی طولی و سطوح صاف است [۳, ۴]. به دلیل کلیواژهای ترجیحی در طول پیوندهای ضعیف S-S در طی فرایند خردایش، تکه‌های صفحه‌ای از ذرات درشت‌تر تولید می-شود (شکل ۱). ذرات مسطح و کشیده موجب کارایی ضعیف اتصال ذره ـ حباب و در نتیجه کاهش بازیابی می‌شوند. از این‌رو رفتار فلوتاسیون مولیبدنیت نتیجه ترکیب خاصیت فلوته شدن ذاتی و مورفولوژی ذرات (شکل و اندازه) است [۵, ۶]. ذرات مولیبدنیت با نسبت وجوه بالا (نسبت محور اصلی به محور کوچکتر) دارای شانس بیشتری برای راه‌یابی به کنسانتره هستند و ذرات درشت با نسبت محیط به مساحت بالا تمایل به راه‌یابی به

ناشر: دانشگاه جامع امام حسین (ع)

باطله دارند. برای ذرات مولیبدنیت نسبت سطح به لبه‌ها تابعی از اندازه ذرات بوده و برای ذرات ریز کاهش می‌یابد. بنابراین ذرات ریزتر دارای خاصیت هیدروفوبیسیته کمتری نسبت به ذرات درشت هستند. بر این اساس ذرات با اندازه کوچکتر قابلیت فلوته شدن پایین‌تری دارند [۶, ۷].



شکل (۱). ذرات صفحه ای شکل کانی مولیبدنیت ـ تولید شده طی فرایند خردایش به دلیل خواص منحصربه فرد آن

همانگونه که بیان شد، مولیبدن محصول جانبی فلوتاسیون همانگونه که بیان شد، مولیبدن محصول جانبی فلوتاسیون کانه‌های پلی متال سولفیدی است. در کانسارهای پلی متال حاوی فلزات مس، مولیبدن و سرب، به دلیل خواص مشابه گالن و مولیبدنیت، ابتدا به صورت تجمعی شناور شده و جداسازی سرب متعاقباً با افزودن ماده بازداشت کننده انجام می‌شود [۸]. با این حال، پیریت احتمالاً در کنسانتره رافر با کلکتورهای استفاده شده (زنتات) شناور شده و باعث عیار پایین‌تر کنسانتره رافر می‌شود. برای حل این مشکل، می‌توان فلوتاسیون را در محیط قلیایی اغلب از طریق افزودن آهک، کربنات سدیم یا سیانید انجام داد [۹]. البته به دلیل مشکلات زیست محیطی استفاده از سیانور توصیه نمی‌شود. در مورد جداسازی مولیبدن و سرب، تعداد زیادی از روش‌های لیچینگ گزارش شده است. با این وجود، هزینه بالا و محدودیت‌های روش لیچینگ در فرآیندهای صنعتی هنوز مشکلاتی هستند که باید حل شوند. کرومات یا دی‌کرومات اغلب به عنوان یک ماده بازداشت کننده در فلوتاسیون کانی‌های سولفیدی پیچیده حاوی گالن استفاده می‌شود [۱۰].

بولتاویک و همکاران[1] (۲۰۰۱) مطالعه‌ای برای بهبود فلوتاسیون کانه پلی متال مس ـ سرب ـ روی کارخانه Raura (واقع در پرو) انجام دادند. تکنیک‌های مختلفی برای جدایش مس از سرب و روی شامل استفاده از SO_2-Starch-، حرارت‌دهی و استفاده از بازداشت کننده دی‌کرومات ترکیب شده با کربوکسی متیل سلولز (CMC) و سدیم فسفات مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس نتایج استفاده از دی‌کرمات نتایج مطلوبی در بازداشت سرب داشته است [۱۱]. آیدین و گویل[2] (۲۰۱۷) در زمینه بهینه‌سازی پارامترهای فلوتاسیون برای دستیابی به حداکثر بازیابی مولیبدن، مطالعاتی انجام دادند. کانه مورد استفاده در این مطالعه حاوی ۰/۱۸ درصد مولیبدن و ۰/۱۵ درصد مس بوده است. بر اساس نتایج، گازوئیل به عنوان کلکتور، روغن کاج به عنوان کفساز و سولفید سدیم به عنوان بازداشت کننده در pH حدود ۱۲، به عنوان پارامترهای بهینه برای فلوتاسیون مولیبدنیت شناخته شده‌اند [۱۲]. یانگجیا و همکاران[3] (۲۰۲۱) به بررسی یک بازداشت کننده جدید گالن در فلوتاسیون گالن-مولیبدنیت پرداختند. در این تحقیق یک بازداشت کننده آلی جدید به نام MATT سنتز شده و برای بازداشت گالن در فلوتاسیون مولیبدنیت-گالن مورد استفاده قرار گرفته است. این بازداشت کننده از مالیل ۵-آمینو-۱،۳،۴-تیادیازول-۲-تیول[4] سنتز شده است. نتایج آزمایش فلوتاسیون نشان داد که MATT توانایی بازداشت کنندگی عالی در گالن داشته اما به سختی بر شناورسازی مولیبدنیت در محدوده pH=6-11 تأثیر گذاشته است [۱۳].

کانسار پلی متال کال کافی (واقع در شهرستان انارک – استان اصفهان)، یکی از توده‌های معدنی بزرگ و با ارزش زون متالوژیک انارک ـ یزد است. بر اساس مطالعات زمین‌شناسی و اکتشافی در ناحیه کال کافی، کانی‌سازی در این منطقه را می‌توان به دو نوع اصلی کانه‌زایی مس ـ مولیبدن و کانه‌زایی پلی متالیک طلا، سرب و روی تقسیم کرد. با توجه به پتانسیل کانسار کال کافی، از دیدگاه استحصال فلزات اساسی، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. کانه‌زایی مس ـ مولیبدن ـ سرب در کال کافی امکان استحصال توام این فلزات را امکان‌پذیر خواهد کرد؛ سپس با انجام جدایش مجدد، می‌توان به استحصال هر یک از فلزات دست یافت. اما پیچیدگی‌های کانی‌شناسی در ذخایر پلی متال، فرآوری آنها را با چالش‌های متعددی روبرو خواهد کرد. رفع این چالش‌ها نیازمند انجام مطالعات و آنالیزهای مختلف و همچنین بکارگیری روش‌های فناورانه خواهد بود. از طرف دیگر، با توجه به نیاز روز

1 Bultovic et al.

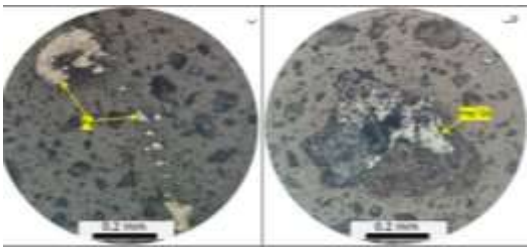
2 Aydin and Gul
3 Yangjia et al.
4 maleyl 5-amino-1,3,4-thiadiazole-2-thiol

افزون صنایع کشور به فلز پرکاربرد مس، قیمت بالای فلز مولیبدن و همچنین روند افزایشی قیمت فلزات مذکور در بازارهای جهانی، فرآوری این ذخیره از اهمیت چشمگیری برخوردار خواهد بود.

۲. روش تحقیق

۲-۱. شناسایی نمونه

نمونه مورد مطالعه مربوط به کانه کال کافی است؛ که در بخش مقدمه به معرفی آن پرداخته شد. برای آماده‌سازی نمونه جهت انجام آنالیزهای شناسایی و آزمایش‌های فلوتاسیون، نمونه‌ای با وزن تقریبی ۲۰ کیلوگرم با استفاده از سنگ‌شکن‌های فکی و غلتکی و سپس آسیای گلوله‌ای، تحت خردایش قرار گرفت. با انجام آنالیزهای شیمیایی مقدار مولیبدن ۹۵۳ ppm، مس ۰/۱۷ درصد و سرب ۰/۹۴ درصد اندازه‌گیری شده است. بر اساس مطالعات کانی‌شناسی کانی‌های اصلی کانه کال کافی شامل پیریت، هماتیت و گوتیت هستند (شکل ۲). هماتیت و گوتیت در زمینه و در حاشیه کانی‌های اکسیدی و سولفیدی آهن و طی جانشینی به جای آنها تشکیل شده‌اند.



شکل (۲). کانی‌های گانگ شناسایی شده در کانه کال کافی

۲-۲. آزمایش‌های فلوتاسیون

در گام اول بر روی نمونه کال کافی با d80 = 75 micron آزمایش فلوتاسیون و با هدف تولید کنسانتره تجمیعی (مس ـ مولیبدن ـ سرب) انجام گرفت. در واقع هدف از این مرحله حذف کانی‌های گانگ و دستیابی به بازیابی حداکثری برای کانی‌های سولفیدی مس، مولیبدن و سرب بوده است. ابتدا پالپ با درصد جرمی ۳۳ تهیه و سپس مواد شیمیایی شامل کلکتور، کفساز، تنظیم کننده pH (آهک)، متفرق کننده و بازداشت‌کننده به پالپ اضافه و آماده‌سازی شد (۱ دقیقه با کفساز، ۱/۵ دقیقه با کلکتور). در مرحله بعدی شیر هوای دستگاه باز شده و فرآیند کف‌گیری به مدت ۱۵ دقیقه انجام شده است. در شکل ۳، تصویری از انجام آزمایش‌های فلوتاسیون آمده است. تمامی آزمایش فلوتاسیون در یک دستگاه فلوتاسیون نوع دنور با سرعت چرخش رتور ۱۲۰۰ دور بر دقیقه و در مرحله فلوتاسیون رافر[1] انجام شده است.

شکل (۳). مراحل انجام فرایند فلوتاسیون. ۱) تنظیم pH پالپ، ۲)آماده‌سازی پالپ، ۳) افزودن کلکتور، ۴) افزودن کفساز

۲-۳. طراحی آزمایش

در راستای تعیین شرایط بهینه فلوتاسیون مولیبدنیت و همچنین جدایش کانی‌های مولیبدنیت و گالن در کنسانتره تجمعیی (کنسانتره مرحله رافر)، آزمایش‌هایی به روش تاگوچی طراحی و اجرا شده است (جدول ۱). در این آزمایش‌ها از کنسانتره رافر به عنوان خوراک فلوتاسیون استفاده شده است. در این آزمایش‌ها (مرحله کلینر) تاثیر بازداشت کننده دی‌کرمات سدیم بر فلوتاسیون تفریقی مولیبدنیت ـ گالن بررسی شده است. همچنین تاثیر ترکیب این ماده با سولفید سدیم و سیلیکات سدیم در دوزهای مختلف، برای جدایش دو کانی مولیبدنیت و گالن در طی فرایند فلوتاسیون مورد آزمایش قرار گرفته است. لازم به ذکر است مدت زمان کف گیری در این آزمایش ها ۶ دقیقه بوده است.

جدول (۱). آزمایش‌های فلوتاسیون طراحی شده به روش تاگوچی

شماره آزمایش	پارامترها و سطوح آنها		
	سولفید سدیم (kg/ton)	دی‌کرومات سدیم (g/ton)	سیلیکات سدیم (g/ton)
۱	۰	۰	۰
۲	۰	۲۰۰	۴۰۰
۳	۰	۴۰۰	۸۵۰
۴	۸	۰	۴۰۰
۵	۸	۲۰۰	۴۰۰

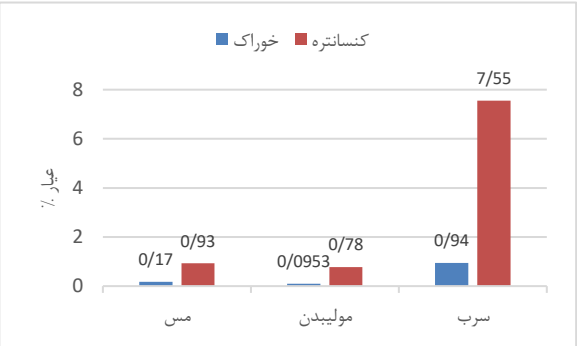
1 Rougher

۶	۸	۴۰۰	۰
۷	۱۲	۰	۸۵۰
۸	۱۲	۲۰۰	۰
۹	۱۲	۴۰۰	۸۵۰

۳. نتایج و بحث

۳-۱. فلوتاسیون تجمعی کانی‌های مس، مولیبدن و سرب

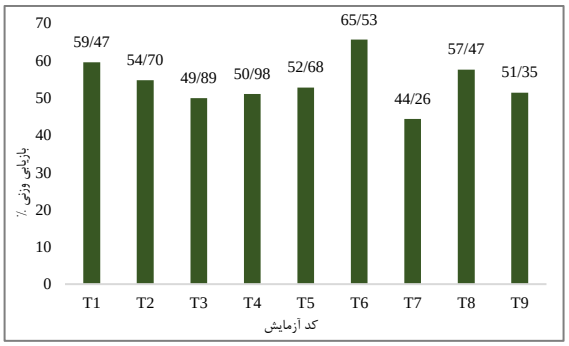
با انجام آزمایش‌های مختلف فلوتاسیون نتیجه گردید که آزمایش فلوتاسیون با پالپ با درصد جامد ۳۳ و کلکتور Z11 منجر به حصول بالاترین مقدار بازیابی وزنی به کنسانتره شده است. در این آزمایش‌ها (مرحله رافر) از Z11 با میزان ۲۰ گرم بر تن به عنوان کلکتور، ۷۵ گرم بر تن A70 به عنوان کفساز، ۲۰۰ گرم بر تن گازوئیل به عنوان کمک کلکتور و ۸ کیلوگرم بر تن سولفور سدیم جهت تنظیم پتانسیل پالپ در pH برابر ۱۲ شده استفاده است. گازوئیل به عنوان یک کلکتور تاثیر مثبتی در بهبود بازیابی مولیبدنیت داشته است. گازوئیل به دلیل طول زنجیره بلند کربنی، توانایی مناسبی در جمع‌آوری ذرات درشت دانه مولیبدنیت دارد. سولفید سدیم در این آزمایش برای بازداشت کانی‌های سولفیدی مس و کاهش پتانسیل پالپ برای فراهم نمودن شرایط فلوتاسیون مولیبدنیت بکار رفته است. طی فلوتاسیون رافر عیار مولیبدن از حدود ۰/۱ درصد در خوراک به حدود ۰/۷۸ درصد در کنسانتره افزایش یافته است. مقدار مولیبدن در باطله فلوتاسیون مرحله رافر نیز ۰/۰۲ درصد می‌باشد. بر این اساس نسبت غنی شدگی برای مولیبدن حدود ۸ محاسبه شده است. بنابراین می‌توان گفت که مرحله رافر در بازیابی ذرات مولیبدنیت بهترین نتیجه را داشته است. در شکل ۴ عیار مس، مولیبدن و سرب در کنسانتره نشان داده شده است.



شکل (۴). عیار مس، مولیبدن و سرب طی فلوتاسیون مرحله رافر

۳-۲. تعیین حالت بهینه فلوتاسیون تفریقی کنسانتره مس، مولیبدن و سرب

آزمایش‌هایی مطابق با جدول ۱ به روش تاگوچی با هدف تعیین شرایط بهینه فلوتاسیون مولیبدنیت و جدایش آن از گالن طراحی و اجرا گردید. در شکل ۵ نتایج حاصل از این آزمایش‌های نمایش داده شده است. بالاترین درصد وزنی بازیابی شده به کنسانتره مربوط به آزمایش شماره ۶ (کد T6) ـ با میزان بیش از ۶۵/۵ درصد وزنی است. در این آزمایش از سیلیکات سدیم استفاده نشده و از دی کرومات سدیم به میزان ۴۰۰ g/ton برای بازداشت گالن و همچنین ۸ kg/ton سولفید سدیم استفاده شده است.

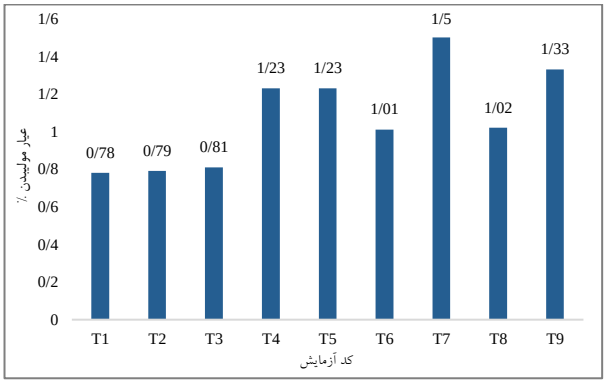


شکل (۵). تغییرات وزن کنسانتره آزمایش¬های طراحی شده به روش تاگوچی

با توجه به حضور کانی‌های گانگ سیلیکاته (حدود ۸۰ درصد) در نمونه مورد نظر و وجود نرمه در خوراک فلوتاسیون، از سیلیکات سدیم به عنوان متفرق کننده و بازداشت کانی‌های گانگ سیلیکاته استفاده شد. برای بررسی تاثیر این ماده شیمیایی از مقادیر مختلف ۰، ۴۰۰ و ۸۵۰ گرم بر تن استفاده شده است (جدول ۱). سیلیکات سدیم در آزمایش‌های فلوتاسیون مرحله کلینر مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به نتایج حاصل از آزمایش‌های فلوتاسیون شکل ۵، در هنگام استفاده از سیلیکات سدیم مقدار بازیابی وزنی به کنسانتره کاهش یافته است. برای مثال در آزمایش‌های شماره ۸ و ۹ به ترتیب از صفر و ۸۵۰ گرم بر تن سیلیکات سدیم استفاده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود به هنگام استفاده از ۸۵۰ گرم بر تن سیلیکات سدیم (آزمایش ۹) بازیابی وزنی ۵۱/۳۵ درصد بوده در حالی که در آزمایش ۸ و بدون افزودن سیلیکات سدیم بازیابی وزنی ۵۷/۴۷ درصد شده است.

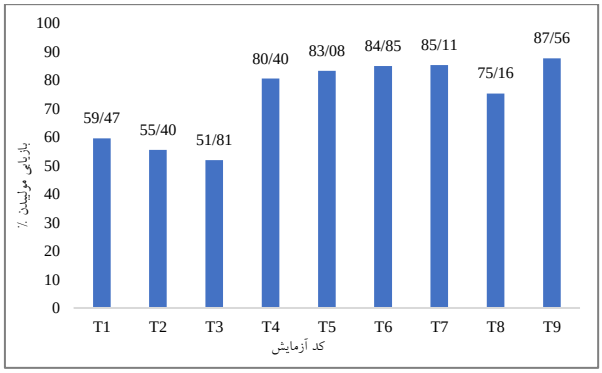
با توجه به نمودار شکل ۵ (عیار مولیبدن) کمترین عیار مولیبدن (در هنگام استفاده از سولفید سدیم) مربوط به آزمایش‌های T6 و T8 بوده است. در این آزمایش‌ها از سیلیکات

سدیم استفاده نشده است. یکی از دلایل کاهش عیار مولیبدن در این آزمایش ها می‌تواند عدم استفاده از متفرق کننده سیلیکات سدیم و کاهش بازیابی ذرات ریزدانه و آزاد مولیبدنیت به کنسانتره باشد. همچنین در آزمایش‌های T4 و T5 که سیلیکات سدیم ۴۰۰ گرم بر تن استفاده شده میزان عیار مولیبدن ۱/۲۳ درصد است. در آزمایش T7 عیار مولیبدن بیشترین مقدار یعنی ۱/۵ درصد بوده که از ۸۵۰ گرم بر تن سیلیکات سدیم استفاده شده است.



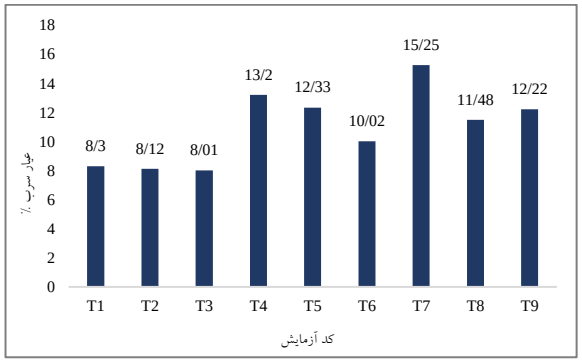
شکل (۶). تغییرات عیار مولیبدن در کنسانتره آزمایش‌های فلوتاسیون با تغییر در دوز مواد شیمیایی

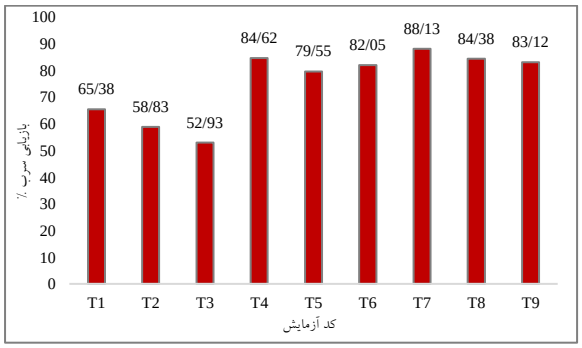
همانطور که در نمودار شکل ۷ مشاهده می‌شود در آزمایش-هایی که از سولفور سدیم استفاده نشده میزان بازیابی مولیبدن در هر ۳ آزمایش T1، T2 و T3 کمترین مقدار بوده است. همچنین با بررسی عیار مولیبدن در کنسانتره آزمایش‌ها شکل ۶، مشخص گردید که در صورت عدم استفاده از سولفید سدیم عیار مولیبدن کمتر از حالت استفاده از سولفور سدیم است. برای مثال در آزمایش‌های T1، T2 و T3 از سولفید سدیم استفاده نشده و عیار مولیبدن در حدود ۰/۸ درصد می‌باشد.



شکل (۷). تغییرات بازیابی مولیبدن در آزمایش‌های فلوتاسیون با تغییر در دوز مواد شیمیایی

با توجه به شکل ۸ بیشترین عیار سرب مربوط به آزمایش T7 است. در این آزمایش از دی کرومات سدیم استفاده نشده و از سولفید سدیم و سیلیکات سدیم به ترتیب به میزان ۱۲ کیلوگرم بر تن و ۸۵۰ گرم بر تن استفاده شده است. همچنین کمترین عیار سرب مربوط به آزمایش T3 (۸/۰۱ درصد) بوده است. در آزمایش T3 از دی کرومات سدیم به مقدار ۴۰۰ گرم بر تن استفاده شده است. در آزمایش‌های T7 و T9 شرایط کاملا یکسان بوده ولی در آزمایش T7 از دی کرومات سدیم استفاده نشده ولی در آزمایش T9 به میزان ۴۰۰ گرم بر تن از آن استفاده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود عیار و بازیابی سرب در آزمایش T7 به ترتیب ۱۵/۲۵ و ۸۸/۱۳ درصد بوده که در مقایسه با آزمایش T9 عیار و بازیابی به ترتیب ۳/۰۳ و ۵/۰۱ درصد افزایش یافته است. با مقایسه عیار مولیبدن در آزمایش‌های T7 و T9 مشخص می شود که افزودن دی کرومات سدیم باعث کاهش جزئی در عیار مولیبدن شده که احتمالا با کانی گالن درگیر بوده است. همچنین در این دو آزمایش بازیابی تغییر زیادی نداشته است.





شکل (۸). تغییرات عیار و بازیابی سرب در کنسانتره آزمایش‌های فلوتاسیون با تغییر در دوز مواد شیمیایی

۴. نتیجه گیری

در راستای بررسی قابلیت استحصال مولیبدن و همچنین مس و سرب از کانسار پلی‌متال کال کافی، آنالیزها و آزمایش‌های

اولیه فلوتاسیون انجام گرفت. نتایج حاکی از آن بوده است که بهینه‌سازی پارامترهای فلوتاسیون در مرحله رافر می‌توان به یک کنسانتره تجمعی مس ـ مولیبدن ـ سرب، با نسبت غنی شدگی ۵ برای مولیبدن دست یافت. در رابطه با اهمیت استحصال مس از کانسار کال کافی، می‌توان اظهار داشت که عیار مس از حد آستانه پایینی برخوردار است؛ و تقریبا استحصال آن غیر اقتصادی است. سرب به عنوان محصول جانبی اصلی کانه کال کافی بوده و جدایش آن از اهمیت اقتصادی برخوردار است. در ادامه کار تمرکز اصلی بر روی فلوتاسیون تفریقی مولیبدنیت و گالن بوده است. با انجام آزمایش‌های مختلف نتیجه گردید سیلیکات سدیم تاثر قابل توجهی در بازداشت کانی‌های گانگ سیلیکاته داشته است. همچنین سیلیکات سدیم بر روی عیار مولیبدن به دلیل خاصیت متفر کنندگی خیلی مؤثر بوده است. سولفید سدیم در آزمایش‌های فلوتاسیون کانه کال کافی تاثیر خیلی مهمی داشته و در صورت عدم استفاده از آن کف پایدار نبوده و حباب پایدار تشکیل نشده است. دی‌کرومات سدیم نتیجه مطلوبی در بازداشت گالن داشته است؛ اما به احتمال قوی بخشی از ذرات مولیبدنیت درگیر با گالن را نیز بازداشت خواهد کرد (برای تایید این ادعا نیاز به انجام مطالعات میکروسکوپی با تعداد مقاطع زیاد است).

۵. مراجع

[1] Ansari, A. and M. Pawlik, Floatability of chalcopyrite and molybdenite in the presence of lignosulfonates. Part II. Hallimond tube flotation. Minerals engineering, 2007. 20(6): p. 609-616.
[2] Ametov, I., et al., Copper and molybdenite recovery in plant and batch laboratory cells in porphyry copper rougher flotation. 2008: Science Press.
[3] Castro, S., A. Lopez-Valdivieso, and J. Laskowski, Review of the flotation of molybdenite. Part I: Surface properties and floatability. International Journal of Mineral Processing, 2016. 148: p. 48-58.
[4] Nakhaei, F. and M. Irannajad, Investigation of effective parameters for molybdenite recovery from porphyry copper ores in industrial flotation circuit. Physicochemical Problems of Mineral Processing, 2014. 50.
[5] Triffett, B. and D. Bradshaw. The role of morphology and host rock lithology on the flotation behaviour of molybdenite at Kennecott Utah Copper. 2008. Australasian Institute of Mining and Metallurgy.
[6] Yang, B., S. Song, and A. Lopez-Valdivieso, Effect of particle size on the contact angle of molybdenite powders. Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review, 2014. 35(3): p. 208-215.
[7] Triffett, B., et al., An investigation of the factors affecting the recovery of molybdenite in the Kennecott Utah Copper bulk flotation circuit. Minerals Engineering, 2008. 21(12-14): p. 832-840.
[9] Feng, B., et al., The flotation separation of galena and pyrite using serpentine as depressant. Powder Technology, 2019. 342: p. 486-490.
[10] Okada, S. and H. Majima, Depressive action of chromate and dichromate salts on galena. Canadian Metallurgical Quarterly, 1971. 10(3): p. 189-195.
[11] Bulatovic, S., D. Wysouzil, and F. Bermejo, Development and introduction of a new copper/lead separation method in the Raura plant (Peru). Minerals engineering, 2001. 14(11): p. 1483-1491.
[12] Aydin, S.B .and A. Gul, Optimization of flotation parameters for benefication of a molybdenum ore. Physicochem. Probl. Miner. Process, 2017. 53(1): p. 524-540.
[13] Hu, Y., et al., Investigation on a Novel Galena Depressant in the Flotation Separation from Molybdenite .Minerals, 2021. 11(4): p. 410.

مقاله‌های ارائه شده درکنفرانس‌ها:

[8] Soroush Rahmati, et al., Investigating the role of potassium dichromate as an arrester of galena in sphalerite flotation, in the 8th Joint Conference and 3rd International Conference on Engineering Materials and Metallurgy. 2013 (In Persian)