



Imam Khomeini International University
Vol. 9, No. 3, Autumn 2024



نشریه مهندسی منابع معدنی
Journal of Mineral Resources Engineering
(JMRE)

Research Paper

Recovery of Talc Mineral from the Tailings of Golgohar Iron Processing Plant

Taheri Farjam M.J.¹, Hosseini M.R.^{2*}, Bayat O.¹, Azimi E.³, Panahi E.⁴, Ghorban Nejad M.⁴

- 1- M.Sc, Dept. of Mining Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
2- Associate Professor, Dept. of Mining Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
3- Assistant Professor, Dept. of Mining Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran
4- M.Sc, Research and Technology Center, Golgohar Mining and Industrial Company, Sirjan, Iran

Received: 09 Jan. 2022

Accepted: 19 May 2022

Abstract: In the iron ore mines of Gol-Gohar, talc presents along with magnetite mineral, which goes to waste thickeners after recovery of magnetite. Considering that talc constitutes more than 20% of waste, it can be sold as a by-product with a high added value, if it is recovered and purified. In this study, the extraction of talc from the tailings of the Gol-Gohar complex has been investigated. Sampling was done from the central thickener underflow, which contained 65% of dust factory tailings and 35% of concentrate factory tailings. Based on characteristic studies, the tailings from the central thickener had about 23% talc. Flotation tests were performed using different chemicals, such as pine oil and polypropylene glycol as frothers, oleic acid as collector, Armac C and Armac T, and pH 7 and 11. In the best condition, pH=11, polypropylene glycol as a frother, and not using a collector, a talc concentrate with a purity of more than 95%, a weight recovery of 10.4%, and a talc recovery of 42% was produced. Also, flotation kinetic tests were performed under optimal conditions, and it was shown that most of the first-order kinetic models and the second-order kinetic model excellently match the talc flotation recovery over the time.

Keywords: Recycling, Talc, Tailings, Flotation, Kinetic.

How to cite this article

Taheri Farjam, M. J., Hosseini, M. R., Bayat, O., Azimi, E., Panahi, E., and Ghorban Nejad, M. (2024). "Extraction of talc mineral from the tailings of iron processing plants in Golgohar complex". Journal of Mineral Resources Engineering, 9(3): 95-114.

DOI: [10.30479/JMRE.2023.18689.1637](https://doi.org/10.30479/JMRE.2023.18689.1637)

*Corresponding Author Email: r.hosseini@cc.iut.ac.ir

COPYRIGHTS



©2024 by the authors. Published by Imam Khomeini International University.

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

INTRODUCTION

Talc mineral is present along with iron oxide minerals in the eastern part of pit number one of Golgohar company, and a significant amount of talc mineral is observed in the tailings of the processing plants of the Golgohar Mining and Industrial Complex. In general, talc processing is done using crushing, granulation, flotation, magnetic separation of iron oxides, and removal of soluble minerals by leaching. Because the talc mineral is highly hydrophobic, it floats easily and only by using a frother.

Muhammad et al. investigated the purification and removal of hematite from talc by acid leaching using chlorination techniques [1]. Baba et al. investigated the purification of vermiculite-phillipsite-rich talc by flotation [2]. Bazar et al. did an overview of talc flotation [3]. Luckeneder et al. compared the efficiency of electrostatic separation of talc mineral samples to produce high-grade talc concentrate by flotation [4]. Ye et al. investigated the selective flotation of chalcopyrite from talc by N-methylenephosphonic chitosan (NMPC) as a depressant [5]. Wu et al. studied the flotation of molybdenite from talc using zinc sulfate in a sodium silicate system [6]. Walczyk et al. investigated the physical and chemical properties of alkaline modified talc and its use in catalysis [7]. Xue et al. examined the reduction of talc floatability using sodium silicate and sodium carboxymethyl cellulose (CMC) as depressants [8]. In this article, technical studies have been carried out for the feasibility of extracting talc from the tailings of Golgohar iron ore processing plants using flotation.

METHODS

Sampling was performed on the underflow of the central thickener (accepts the tailings of dust and wet processing plants). Flotation tests were performed on the underflow of the central thickener at pH=7 and 11 using a Denver device, a 2.5 L cell, sodium hydroxide as a pH regulator, and PPG and PO frothers. Also, the effect of oleic acid collector in two different concentrations of 500 and 1000 g/t was investigated. The experiments were designed using a full factorial design with three variables at two levels and three central points. The effects of the frother type, pH, and the collector concentration were evaluated using DX13 software. The complete design of the mentioned experiments is given in Table 1.

Table 1. Design of the flotation tests

| Run | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|-----------------------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|------|----|-----|-----|------|----|-----|-----|------|
| Frother | PPG | PPG | PPG | PPG | PPG | PPG | PPG | PPG | PO | PO | PO | PO | PO | PO | PO | PO |
| pH | 7 | 7 | 7 | 7 | 11 | 11 | 11 | 11 | 7 | 7 | 7 | 7 | 11 | 11 | 11 | 11 |
| Collector conc. (g/t) | 0 | 500 | 500 | 1000 | 0 | 500 | 500 | 1000 | 0 | 500 | 500 | 1000 | 0 | 500 | 500 | 1000 |

The flotation kinetics test was performed under optimal conditions obtained from the experimental design. i.e., pH=11, no collector, and with 200 g/t PPG. Different kinetic models [9], including the classical first order (Equation 1), the modified Kelsal first order (Equation 2), first order models with kinetic constant distribution function such as Klimpel (Equation 3), Imaizumi, Inoue and Loveday (Equation 4), and sinusoidal (Equation 5) as well as the classic second-order kinetic model (Equation 6) were applied to the data to obtain the kinetics constant (K) and the infinite recovery (R_∞).

$$R = R_\infty [1 - \exp(-Kt)] \quad (1)$$

$$R = (R_\infty - \varphi) [1 - \exp(-K_f t)] + \varphi [1 - \exp(-K_s t)] \quad (2)$$

$$R = R_\infty \left\{ 1 - \frac{1}{Kt} [1 - \exp(-Kt)] \right\} \quad (3)$$

$$R = R_\infty \left\{ 1 - \left[\frac{1}{1 + \frac{t}{K}} \right] \right\} \quad (4)$$

$$R = R_{\infty} \left\{ 1 - \left[\frac{1 + \exp(-2Kt) - 2\exp(Kt)}{(Kt)^2} \right] \right\} \quad (5)$$

$$R = \frac{R_{\infty}^2 Kt}{1 + R_{\infty} Kt} \quad (6)$$

Where:

R_{∞} :is the infinite recovery of talc (%),

K : is the kinetic constant (1/min),

t :is the time (min), and R is the flotation recovery (%).

K_f and K_s : are the kinetic constants of fast and slow floating particles,

φ : is the final recovery of slow floating particles.

The talc grade was calculated from Equation 7.

$$G_{talc} = [(G_{MgO} \times 0.603) - (G_{Al_2O_3} \times 0.4766)] \times 5.2 \quad (7)$$

Where:

M and G : are the molar mass (g/mol) and the grade (%), respectively.

FINDINGS AND ARGUMENT

The underflow of the central thickener contains 34.3% SiO₂, 19.2% MgO, 16.7% Fe₂O₃, 6% Al₂O₃, 8.2% CaO, 0.3% TiO₂, and 15.4% LOI. Also, it includes 23% talc, 29% chlorite, 16% calcite, 8% quartz, 7% biotite, 12% opaque, 3% amphibole, and 2% other minerals. Moreover, D₈₀ of the sample was 60.8 micron. The results of the 16 designed flotation experiments, including talc content of the concentrate, mass and talc recovery to the concentrate, are presented in Table 2.

Table 2. Results of the flotation tests

| Run | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Talc (%) | 94.1 | 88.3 | 89.0 | 84.1 | 95.8 | 91.6 | 92.5 | 90.7 | 92.5 | 86.8 | 86.5 | 77.1 | 92.7 | 91.8 | 91.9 | 88.5 |
| Mass recovery (%) | 10.9 | 11.7 | 11.8 | 13.1 | 10.4 | 10.8 | 10.8 | 12.4 | 10.8 | 12.0 | 11.8 | 13.1 | 10.3 | 10.7 | 11.2 | 12.8 |
| Talc recovery (%) | 43.5 | 43.8 | 44.8 | 46.8 | 42.5 | 41.9 | 42.6 | 47.7 | 42.4 | 44.2 | 43.5 | 42.8 | 40.6 | 41.9 | 43.6 | 48.2 |

According to the analysis of variance (ANOVA), 200 g/t PPG is better than PO at the same concentration. In addition, the pH change from 7 to 11 in the absence of the collector has no significant effect on the talc grade. Considering the talc grade, the best talc concentrate contains 59.7% SiO₂, 31.3% MgO, 1.2% Fe₂O₃, 0.9% Al₂O₃, 1.3% CaO, and 5.6% LOI. This concentrate corresponds to run 5 with PPG at pH=11 and without collector. Also, the collector concentration, pH, and the type of frother have the most significant effect on the talc grade of the concentrate. The model for predicting the talc content of the concentrate based on the type and the concentration of frother and pH value is given in Equation 8, where A indicates the type of frother (+1: PPG and -1: PO), B indicates pH (+1: pH=11 and -1: pH=7), and C is the concentration of the collector in g/t of the ore. The correlation coefficient of the model is 94%.

$$T.C. \% = 11.72 - 0.05A - 0.36B + 1.13C - 0.08AC \quad (8)$$

According to Figure 1A, the PPG frother had a relatively better performance than PO and the talc grade increased from 88% to 91% as a result of PPG application. Figure 1B shows the effect of the pH factor on the talc grade. With increasing pH from 7 to 11, the percentage of talc increased from 86% to 92%. Finally, according to Figure 1C, collectorless flotation is better than the tests in which collector was applied to float talc particles. If collector is used, the talc grade decreases from 94% to 85%. Because, in addition to talc

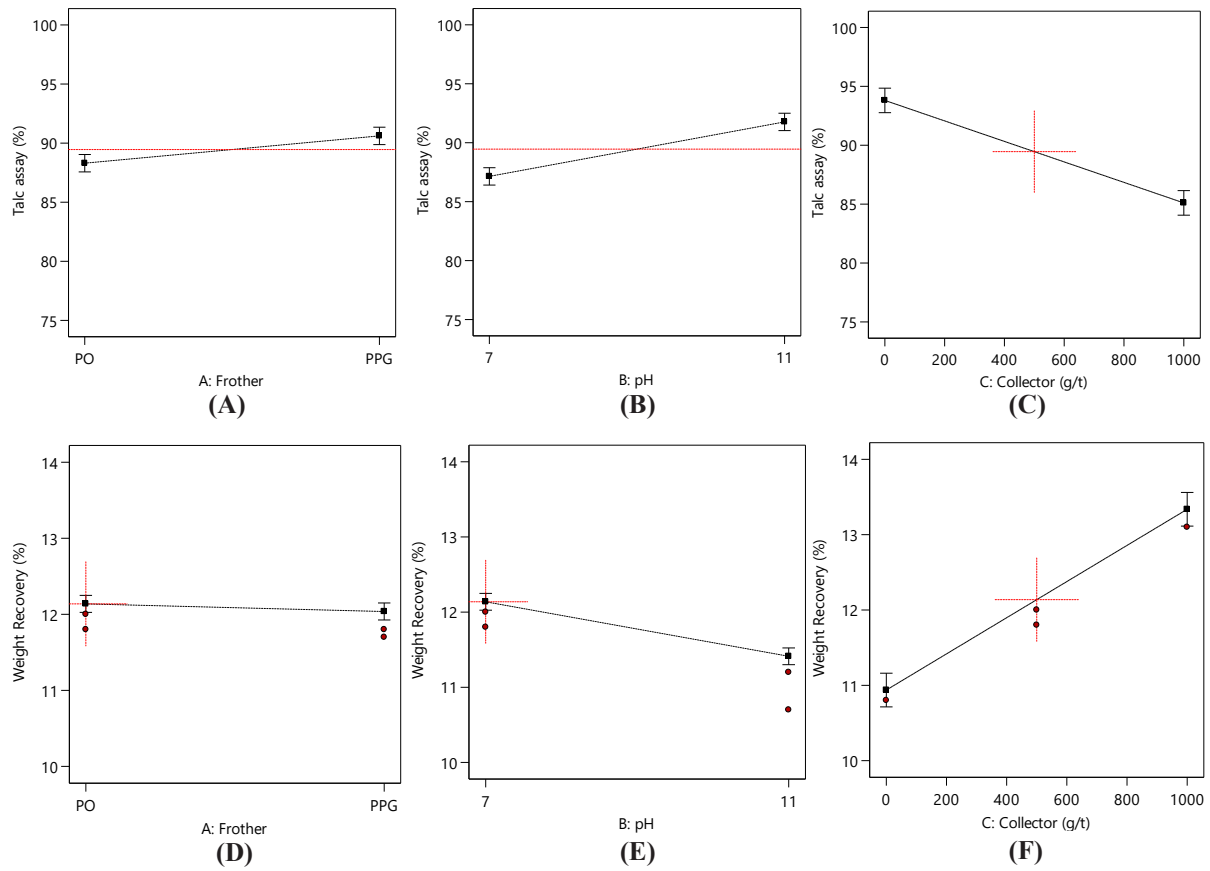


Figure 1. The effects of **A:** frother type, **B:** pH, and **C:** collector concentration on the talc grade. The effects of **D:** frother type, **E:** pH, and **F:** collector concentration on the mass recovery

particles, gangue particles enter the concentrate.

The mass recovery model with the correlation coefficient of 97% is presented in Equation 9.

$$M.R.\% = 89.46 + 1.15A + 2.31B - 4.35C + 2.02BC \quad (9)$$

According to Figure 1D, changing the type of the foaming agent from PPG to PO did not improve the mass recovery. Figure 1E shows that the increase in pH from 7 to 11 decreases the mass recovery from about 12% to 11.5%. The reason for this observation is the more selective flotation of talc in alkaline environment and the reduction of the gangue recovery. Finally, based on Figure 1F, the mass recovery has increased from 11% to 13% by the collector concentration, which is due to the collection of the gangue particles and their recovery to the concentrate along with the talc.

Table 3. Results of the model fitness on the experimental data

| Kinetic model | R ² (%) | R _∞ (%) | K (1/min) |
|--------------------------|--------------------|--------------------|---------------|
| First order | 99.14 | 42.5 | 0.34 |
| Modified Kelsal | 99.10 | 35.2 and 43.3 | 0.41 and 0.28 |
| Klimple | 99.79 | 47.0 | 0.68 |
| Imaizumi, Inoue, Loveday | 99.83 | 50.2 | 2.68 |
| Sinusoidal | 99.87 | 48.1 | 0.18 |
| Second order | 99.83 | 50.2 | 0.007 |

The results of the kinetic studies are presented in Table 3. As seen, among the investigated models, the

first-order sinusoidal model with a correlation coefficient of 99.87%, and then, both the first-order model of Imaizumi, Inoue and Loveday and the second-order classical model have the most compatibility with the data.

CONCLUSIONS

Tailings of the Golgohar iron processing plants were mineralogically and chemically characterized. PPG frother produces a talc concentrate with higher purity compared to the pine oil. In the optimal conditions, a concentrate with 95.8% talc and 42.5% recovery can be obtained. The frother type, pH, and the collector concentration are respectively the most effective variables on the talc grade and the mass recovery. More than 10% wt. of the thickener underflow can be recovered as a talc concentrate. The flotation kinetics of talc follows the 1st-order model of Imaizumi, Inoue and Loveday, as well as the second-order classical model.

REFERENCES

- [1] Muhammad, N., Ahmad, W., Khan, M., Salman, M., and Ali, A. (2021). "Purification and Removal of Hematite from Talc by Acid Leaching Assisted by Chlorination Techniques". *Mining, Metallurgy & Exploration*, 38(5): 2239-2247.
- [2] Baba, A. A., Julius, P. A., and Mustapha, A. R. (2021). "Upgrading of a Nigerian Vermiculite-Phillipsite Rich Talc Ore by Flotation-Cum-Acid Leaching Routes for Industrial Applications". *Materials Circular Economy*, 3(1): 1-9.
- [3] Ann Bazar, J., Rahimi, M., Fathinia, S., Jafari, M., Chipakwe, V., and Chehreh Chelgani, S. (2021). "Talc flotation—an overview". *Minerals*, 11(7): 662.
- [4] Luckeneder, C., Gehringer, S., and Flachberger, H. (2022). "Applicability of Electrostatic Separation on Talc-Containing Mineral Samples for Production of a High-Grade Talc Concentrate in Comparison to Flotation". *BHM Berg-und Hüttenmännische Monatshefte*, 167(8): 381-385.
- [5] Ye, W-L., Zhang, X-G., Pan, C-L., Hu, X-Q., Luo, Y-C., and Xu, P-F. (2022). "Selective flotation separation of chalcopyrite from talc by a novel depressant: N-methylene phosphonic chitosan". *Minerals Engineering*, 177: 107367.
- [6] Wu, W., Chen, T., Shao, Y., Ye, G., and Tong, X. (2022). "The flotation separation of molybdenite from talc using zinc sulfate in sodium silicate system and related mechanism". *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 641: 128451.
- [7] Walczyk, A., Napruszewska, B. D., Kryściak-Czerwenka, J., Duraczyńska, D., Karcz, R., Serwicka, E. M., Jeleń, P., Sitarz, M., and Olejniczak, Z. (2023). "Talc modified by milling and alkali activation: Physico-chemical characterization and application in base catalysis". *Applied Clay Science*, 232: 106768.
- [8] Xue, J., Tu, H., Shi, J., An, Y., Wan, H., and Bu, X. (2023). "Enhanced inhibition of talc flotation using acidified sodium silicate and sodium carboxymethyl cellulose as the combined inhibitor". *International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials*, 30: 1310-1319.
- [9] Bahrami, A., Ghorbani, Y., Hosseini, M. R., Kazemi, F., Abdollahi, M., and Danesh, A. (2019). "Combined effect of operating parameters on separation efficiency and kinetics of copper flotation". *Mining, Metallurgy & Exploration*, 36: 409-421.



بازیابی کانی تالک از باطله کارخانه فرآوری سنگ آهن مجتمع گل گهر

محمد جواد طاهری فرجام^۱، سید محمد رؤف حسینی^{۲*}، امید بیات^۱، ابراهیم عظیمی^۳، ابراهیم پناهی^۴، مجتبی قربان نژاد^۴

- ۱- کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان
- ۲- دانشیار، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان
- ۳- استادیار، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان
- ۴- مدیریت تحقیقات و فناوری، شرکت معدنی و صنعتی گلگهر، سیرجان

پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۲۴

دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۰۷

چکیده

در معادن سنگ آهن گل گهر، کانی تالک همراه با مگنتیت وجود دارد که پس از بازیابی مگنتیت به تیکنرهای باطله وارد می‌شود. با توجه به اینکه تالک، بیش از ۲۰ درصد باطله را تشکیل می‌دهد، در صورت بازیابی و تخلیص به عنوان یک محصول جانبی با ارزش افزوده بالا به فروش می‌رسد. در این مطالعه، استحصال تالک از باطله کارخانه‌های مجتمع گل گهر بررسی شده است. نمونه‌برداری از تهریز تیکنر مرکزی که حاوی ۶۵ درصد باطله کارخانه غبار و ۳۵ درصد باطله تر کارخانه تغلیظ بود، انجام شد. بر اساس مطالعات ویژگی شناختی، باطله خروجی از تهریز تیکنر مرکزی دارای حدود ۲۳ درصد تالک بود. آزمایش‌های فلوتاسیون با استفاده از مواد شیمیایی مختلف مانند کفسازهای روغن کاج و پلی پروپیلن گلیکول، کلکتورهای اولنیک اسید، آرماک سی و آرماک تی و pHهای ۷ و ۱۱ انجام شد که در بهترین حالت، $pH=11$ ، کفساز پلی پروپیلن گلیکول و عدم استفاده از کلکتور، کنسانتره تالک با خلوص بیش از ۹۵ درصد، با بازیابی وزنی ۱۰٫۴ درصد و با بازیابی تالک ۴۲ درصد تولید کرد. همچنین آزمایش‌های سینتیک فلوتاسیون نیز در شرایط بهینه انجام و نشان داده شد که اغلب مدل‌های سینتیکی مرتبه اول و همچنین مدل سینتیکی مرتبه دوم انطباق عالی بر شناوری تالک در طی زمان دارند.

کلمات کلیدی

بازیافت، تالک، باطله، فلوتاسیون، سینتیک.

استناد به این مقاله

طاهری فرجام، م. ج.، حسینی، س. م.، ر.، بیات، ا.، عظیمی، ا.، پناهی، ا.، قربان نژاد، م.؛ ۱۴۰۳؛ "بازیابی کانی تالک از باطله کارخانه فرآوری سنگ آهن مجتمع گل گهر". نشریه مهندسی منابع معدنی، دوره نهم، شماره ۳، ص ۹۵-۱۱۴.

DOI: 10.30479/JMRE.2023.18689.1637



۱- مقدمه

یکی از رویکردهای نوین در فرآوری مواد معدنی، توجه به باطله‌های معدنی، استفاده مجدد و بازیافت مواد با ارزش از آن‌ها است. [۱]. افزایش تقاضا برای مواد معدنی توسط جمعیت رو به رشد جهان، بازیافت یا استفاده مجدد از باطله‌های معدنی را از جذابیت بیشتری برخوردار کرده است. امروزه به دلیل کاهش ذخایر و عیار کانسارها، نیاز به بررسی و مطالعه باطله‌های معدنی و بازیابی مواد با ارزش از باطله‌ها، بیش از گذشته احساس می‌شود، همچنین با فرآوری و عمل‌آوری محصولی با ارزش از باطله‌های معدنی، علاوه بر رفع مشکلات محیط زیستی، درآمد قابل توجهی نیز ایجاد می‌شود [۲].

با توجه به مطالعات اولیه انجام شده، در بخش شرقی پیت شماره یک شرکت گل گهر، کانی تالک به همراه کانی‌های آهن حضور دارد و در باطله کارخانه‌های فرآوری مجتمع معدنی و صنعتی گل گهر (ته ریز تیکنرها)، مقدار قابل توجهی کانی تالک مشاهده شده است [۳]. با توجه به اینکه این باطله‌ها فرآیند استحصال کنسانتره سنگ آهن را طی کرده‌اند، به صورت اسلاری حاوی پودر میکرونیزه از کارخانه خارج می‌شوند، بنابراین هزینه‌های اکتشاف، حمل، خردایش، آسیابگری و نیز هزینه مصرف آب برای تولید کنسانتره تالک از این باطله‌ها، حداقل مقدار ممکن خواهد بود.

تالک یک سیلیکات غنی از منیزیم به شکل هیدراته با فرمول شیمیایی $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ است [۴]. به دلیل ویژگی‌های ذاتی مانند نرمی، هدایت الکتریکی کم، پایداری حرارتی، سطح ویژه بالا، چگالی زیاد، آبگریزی و خاصیت جذب زیاد، یک کالای صنعتی مهم به شمار می‌رود. تالک به طور گسترده در رنگ‌سازی، صنایع آرایشی و بهداشتی، کاغذسازی، لاستیک‌سازی، پلاستیک‌سازی، سرامیک‌سازی، پوشش‌های سقف، صابون‌ها، روان‌کننده‌ها، آفت‌کش‌ها و نظایر آن استفاده می‌شود [۵]. از نظر ترکیب، تالک را می‌توان در رنگ‌های متنوعی یافت. تالک سختی یک در مقیاس موهس دارد [۶]. ناخالصی‌های همراه تالک شامل منیزیت ($MgCO_3$)، کربنات‌ها، دولومیت ($CaMg(CO_3)_2$)، کلسیت ($CaCO_3$)، سرپانتین و کلریت ($Mg_5(Al,Fe)(Al, Si)_4O_{10}(OH)_8$) است [۷].

به طور کلی فرآوری تالک با استفاده از روش‌های مختلف از جمله خردایش، دانه‌بندی، فلوتاسیون، جدایش مغناطیسی اکسیدهای آهن و حذف کانی‌های قابل انحلال به وسیله لیچینگ انجام شده است [۸]. به دلیل اینکه لایه‌های تشکیل‌دهنده

کانی تالک به شدت آب‌گریز است، تالک در فرآیند فلوتاسیون به راحتی و تنها با استفاده از یک کف‌ساز شناور می‌شود [۹]. البته سطح آن نواحی آب‌دوست نیز دارد که ممکن است در مواردی برای پوشش‌دهی این نقاط و افزایش تماس بین ذرات تالک و حباب هوا از کلکتور یا کمک کلکتور استفاده شود. وجود مقادیر بسیار کم کانی‌های آهن‌دار و منیزیت و سایر ناخالصی‌های مزاحم در محصولات تالک، موجب تغییر رنگ در آن شده که این عامل سبب کاهش کیفیت و ارزش آن می‌شود. با حذف این کانی‌ها می‌توان محصول تالک با ارزش‌تر و با کیفیت بالاتری از نظر رنگ، نرمی و سایر خصوصیات تولید و عرضه کرد [۱۰].

یحیی و وکیل در سال ۲۰۰۰ [۸]، با استفاده از فلوتاسیون بدون کلکتور و تنها با کف‌ساز پلی‌پروپیلن گلیکول (PPG)، ۹۰ درصد تالک موجود در خوراک حاوی ۴۸٫۵٪ تالک را در ابعاد ۲۵۰-۴۵ میکرون، pH برابر با ۶٫۸ و غلظت کف‌ساز ۳۰۰ گرم بر تن بازیابی کردند. در سال ۲۰۱۳، برزآنی و همکاران [۱۱]، کاهش آهن از کنسانتره تالک فلوتاسیون نمونه تالک-منیزیت را بررسی کردند. فلوتاسیون با استفاده از کف‌ساز PPG با غلظت ۱۰۰ گرم بر تن بر روی دانه بندی "۶۳-"، "۶۳+۹۰-"، "۹۰+۱۲۵-"، "۱۲۵+۱۸۰- و "۱۸۰+۲۵۰- نشان داد که با افزایش سرعت همزن و افزایش نرخ هوادهی، بازیابی افزایش می‌یابد که بیشترین بازیابی تالک مربوط به فراکسیون‌های ابعادی "۶۳+۹۰- و پس از آن "۹۰+۱۲۵- بود. در سال ۱۳۹۵، نثار و همکاران [۱۲]، پرعیارسازی تالک تیدار لرستان با ۸۶ درصد تالک را بررسی کردند. آن‌ها از متیل ایزوبوتیل کربینول (MIBC) و روغن کاج (PO) به عنوان کف‌ساز، دکسترین و سدیم هگزامتافسفات به عنوان بازداشت‌کننده، سیلیکات سدیم به عنوان متفرق‌کننده و اولئیک اسید به عنوان کلکتور در pHهای مختلف استفاده کردند. بازیابی تالک ۷۲ و عیار کنسانتره ۸۹ درصد با روغن کاج (۱۴۰ گرم بر تن)، اولئیک اسید (۲۰۰ گرم بر تن) و سدیم هگزامتافسفات (۲۰۰ گرم بر تن) در pH=۹ به دست آمد. بارانی و همکاران در سال ۲۰۱۸ [۱۳]، حذف ناخالصی‌ها از تالک را با استفاده از آرایه L9 تاگوجی بررسی کردند. عملکرد بهینه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، pH حدود ۲٫۵، مدت زمان ۴۵ دقیقه و اندازه ذره ۴۵ میکرون حاصل شد. محمد و همکاران [۷] در سال ۲۰۲۱ خالص‌سازی و حذف هماتیت از تالک با لیچینگ اسیدی به کمک تکنیک‌های کلرنزی را بررسی و بیان کردند

یافت، اما بازیابی کالکوپیریت در محدوده pH ۳ تا ۹ در غلظت ۱۰ میلی گرم در لیتر، کاهش کمتری یافت. ویمینگ و همکاران [۱۷] در سال ۲۰۲۲ فلوتاسیون مولیبدنیت از تالک را با استفاده از سولفات روی در سیستم سیلیکات سدیم بررسی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که سیلیکات سدیم جایگزین کربنات سدیم و به عنوان بازداشت کننده تالک در ترکیب با سولفات روی می شود. سولفات روی توانست به طور انتخابی از فلوتاسیون تالک در pH=۱۰، در سیستم سیلیکات سدیم جلوگیری کند. لی و همکاران [۱۸] در سال ۲۰۲۳، استفاده از پلی ساکارید خارج سلولی سنتز شده توسط *Zantomonas* کمپستریس به عنوان بازداشت کننده در فلوتاسیون انتخابی تالک را مورد بررسی قرار دادند. آزمایش های فلوتاسیون روی سنگ معدن مخلوط، بازداشت کردن انتخابی عالی این پلی ساکاریدها را در pH=۷ و غلظت ۶۰ میلی گرم در لیتر نشان داد. والچیک و همکاران [۱۹] در سال ۲۰۲۳ در تحقیقی، خصوصیات فیزیکی و شیمیایی تالک اصلاح و فعال شده قلیایی و کاربرد آن در کاتالیز پایه را بررسی کردند. فعال سازی تالک با آسیا کردن و به دنبال آن فرآوری تالک با NaOH ۲ مولار انجام شد. تالک آسیا شده به فاز هیدرات سیلیکات منیزیم (MSH) و بروسیت تبدیل شد. فرآوری با NaOH باعث افزایش قابل توجه سطح تالک شد. این اثر به ویژه برای نمونه های تالک فعال سازی شده قلیایی که حاوی MSH بود، تاثیر بیشتری به دنبال داشت. جیوی و همکاران [۲۰] در سال ۲۰۲۳ کاهش شناوری تالک با استفاده از سیلیکات سدیم سدیم کربوکسی متیل سلولز (CMC) به عنوان بازداشت کننده را بررسی کردند. آنها یک بازدارنده ترکیبی شامل سیلیکات سدیم اسیدی (ASS) و کربوکسی متیل سلولوز (CMC) را برای جداسازی موثر کالکوپیریت و تالک استفاده کردند. نتایج فلوتاسیون نشان داد که افزودن ASS باعث تقویت اثر بازدارندگی CMC بر روی تالک و بهبود جداسازی کالکوپیریت و تالک می شود.

بنابراین، با توجه تحقیقاتی که تاکنون بر روی فلوتاسیون تالک صورت گرفته است، محیط خنثی و قلیایی، عدم استفاده از کلکتور و به کارگیری کف ساز PPG یا MIBC در اندازه ذرات زیر ۱۰۰ میکرون پیشنهاد شده است. همچنین، در برخی پژوهش ها، از اولتیک اسید به عنوان کلکتور و برخی مواد شیمیایی مانند سدیم سیلیکات و سدیم هگزا متافسفات به عنوان بازداشت یا متفرق کننده استفاده شده است.

که در میان اسیدهای مختلف، هیدروفلوئوریک اسید بیشترین تاثیر را دارد و تا ۶۷ درصد اکسید آهن را در دمای ۹۵-۹۰ درجه سانتی گراد، مدت زمان ۱۲۰ دقیقه، pH حدود ۱ و غلظت ۵ درصد هیدروفلوئوریک اسید حذف می کند. علاوه بر این، کلرزی نمونه های مرطوب لیچ شده هیدروفلوئوریک اسید نیز در شرایط بهینه انجام شد که تا ۸۷ درصد از اکسید آهن را حذف کرد. بابا و همکاران [۱۴] در سال ۲۰۲۱ خالص سازی تالک غنی از ورمیکولیت- فیلیپسیت با فلوتاسیون را بررسی کردند. بهبود بیشتر کیفیت تالک با لیچینگ کنسانتره به وسیله هیدروکلریک اسید انجام و از PPG به عنوان کف ساز استفاده شد. در شرایط بهینه، بازیابی کنسانتره تالک ۷۰٫۲ درصد بود و سیلیس از ۴۴٫۵۰ به ۴۶٫۷۰ درصد و اکسید منیزیم از ۱۸٫۵۷ تا ۲۳٫۵۹ درصد افزایش و هماتیت از ۸٫۵۲ به ۲٫۲۲ درصد کاهش یافت. بازار و همکاران [۹] در سال ۲۰۲۱ مروری کلی بر فلوتاسیون تالک انجام دادند. بیان شد که نسبت سطح به لبه (اندازه ذرات) رابطه مستقیمی با سطح آبگریزی تالک دارد. سطوح تالک در محدوده pH وسیع (۲ تا ۱۲) بار منفی دارند. اکثر بازداشت کننده ها گزینش پذیری پایینی را نشان دادند. افزودن یون هایی مانند Ca^{2+} ممکن است بازداشت تالک را افزایش دهد. استفاده از کلکتور کاتیونی (تالو آمین استات و دودسیلامین) ممکن است شناورپذیری تالک را بهبود بخشد. MIBC به عنوان یک کف ساز معمولی به دلیل قابلیت کلکتوری، بازیابی را افزایش می دهد و در مقایسه با روغن کاج کارآمدتر است. لوسکندر و همکاران [۱۵] در سال ۲۰۲۲ در تحقیقی، کارایی جداسازی الکترواستاتیک نمونه های معدنی حاوی تالک را برای تولید کنسانتره تالک با عیار بالا با فلوتاسیون مقایسه کردند. آزمایش های فلوتاسیون شامل یک مرحله رافر و دو مرحله شستشو بود. درصد جامد مرحله رافر، ۲۰ درصد در نظر گرفته شد و مقدار pH اولیه خوراک، ۸٫۲۷ بود. بازیابی جرمی کنسانتره ۸٫۹ درصد بود. LOI کنسانتره فلوتاسیون به ۶٫۳ درصد رسید (شروع از ۲۶٫۸ درصد) و عیار کربن به طور قابل توجهی از ۷٫۲ به ۰٫۴ درصد کاهش یافت. لانگ و همکاران [۱۶] در سال ۲۰۲۲ فلوتاسیون انتخابی کالکوپیریت از تالک به وسیله کیتوزان-N-متیل فسفونیک (NMPC) به عنوان بازداشت کننده را مورد بررسی قرار دادند. آزمایش های فلوتاسیون نشان داد که بدون بازداشت کننده تالک، هم کالکوپیریت و هم تالک شناورپذیری خوبی دارند. هنگامی که NMPC اضافه شد، بازیابی تالک به شدت کاهش

و آنالیز فلورسانس اشعه ایکس (XRF) به وسیله دستگاه Philips مدل PW1480، بر روی نمونه‌ها انجام پذیرفت. نتایج با مشخصات تالک بهداشتی شرکت فیروز مقایسه شد. دانسیته نمونه‌ها با استفاده از دستگاه پیکنومتر گازی، مدل AccuPyc 10-cc اندازه‌گیری شد.

با استفاده از نتایج مطالعات میکروسکوپی و دانه‌بندی بر روی تمامی نمونه‌های باطله جمع‌آوری شده (در این مقاله تنها سه نمونه آورده شده است) و درجه آزادی تالک از کانی‌های گانگ، آزمایش‌های فلوتاسیون مقدماتی بر روی باطله کارخانه غبار و ته‌ریز تیکنر گلفا در $\text{pH}=7$ و با استفاده از کف‌ساز PPG با غلظت 200 g/t انجام شدند.

با توجه به نتایج بهتر حاصل از فلوتاسیون باطله کارخانه غبار و این مساله که تیکنر مرکزی، باطله کارخانه‌های غبار و تغلیظ را می‌پذیرد، آزمایش‌های تکمیلی نیز بر روی ته‌ریز تیکنر مرکزی در دو pH 7 و 11 با استفاده از دستگاه دنور و سلول 2,5 لیتری و سدیم هیدروکسید به عنوان تنظیم‌کننده pH و دو نوع کف‌ساز PPG و PO انجام شد. همچنین تاثیر وجود کلکتور اولئیک اسید در دو غلظت مختلف 500 و 1000 گرم بر تن [22,21] نیز بررسی شد. طراحی آزمایش با استفاده از طرح فاکتوریل کامل با سه متغیر در دو سطح و دو تکرار در سه نقطه مرکزی همانند جدول 1 انجام گرفت و تاثیر نوع کف‌ساز، pH و غلظت کلکتور با استفاده از نرم‌افزار DX13 ارزیابی شد. همچنین، طرح کامل آزمایش‌های یاد شده، در جدول 2 آمده است.

جدول 1: سطح‌ها و متغیرهای طرح آزمایش

| عامل | کف‌ساز (g/t) | pH | غلظت کلکتور اولئیک اسید (g/t) |
|-------|------------------------|----|-------------------------------|
| سطح 1 | PPG ¹ (200) | 7 | . |
| سطح 2 | PO ² (200) | 11 | 1000 |

1- پلی پروپیلن گلیکول، 2- روغن کاج

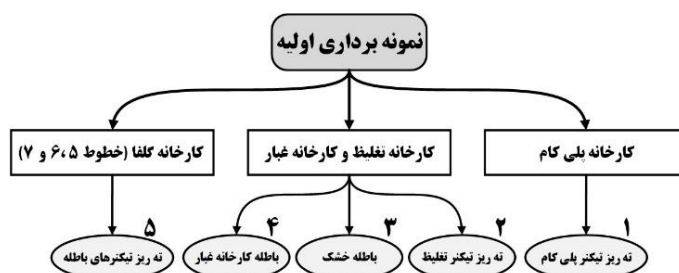
در این مقاله، مطالعات فنی برای امکان‌سنجی استحصال تالک از باطله کارخانه‌های تغلیظ مجتمع گل‌گهر با استفاده از فلوتاسیون انجام شده است.

2- مواد و روش‌ها

شرکت معدنی و صنعتی گل‌گهر در استان کرمان و در 50 کیلومتری شهرستان سیرجان قرار دارد. این مجتمع با بیش از 1,2 میلیارد تن ذخیره سنگ آهن (عمدتاً مگنتیت و هماتیت)، یکی از بزرگ‌ترین معادن ایران محسوب می‌شود. مجتمع گل‌گهر چهار کارخانه فرآوری سنگ آهن شامل کارخانه‌های تغلیظ (خطوط 1، 2 و 3 تولید کنسانتره آهن و کارخانه غبار)، پلی‌کام (خط 4 تولید کنسانتره)، گلفا (خطوط 5، 6 و 7 فرآوری سنگ آهن) و کارخانه فرآوری هماتیت دارد که در حال حاضر، با تولید سالانه بیش از 7 میلیون تن کنسانتره سنگ آهن، یکی از قطب‌های مهم تولید کنسانتره در کشور است.

همان‌طور که در شکل 1 نشان داده شده است، نمونه‌برداری از باطله خشک کارخانه تغلیظ (خطوط 1، 2 و 3)، ته‌ریز تیکنر کارخانه تغلیظ، ته‌ریز تیکنر مرکزی (باطله کارخانه‌های غبار و تغلیظ)، جریان باطله خروجی از کارخانه غبار، ته‌ریز تیکنر پلی‌کام (خط 4) و ته‌ریز تیکنر گلفا (خطوط 5، 6 و 7) در شرکت گل‌گهر انجام شد. نمونه‌ها در 3 نوبت و در طول 45 روز، جمع‌آوری شده و پس از خشک شدن برای همگن‌سازی، نمونه‌های هر تیکنر به طور مجزا مخلوط شدند. وزن نمونه خشک شده حاصل از هر محل، حدود 500 کیلوگرم بود.

برای بررسی کانی‌شناسی نمونه‌ها، از مطالعات میکروسکوپی مقاطع نازک با استفاده از میکروسکوپ نوری پلاریزان ZEISS مدل Axioplan با نور پلاریزه معمولی (PPL) و نور پلاریزه متقاطع (XPL)، استفاده شد. همچنین آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD) به وسیله دستگاه Philips مدل X-Pert



شکل 1: شماتیک نحوه نمونه‌برداری از تیکنرهای مجتمع گل‌گهر

جدول ۲: طرح آزمایش‌های فلوتاسیون تکمیلی

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------|-----|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|------|-----|-----|----|------|-----|-----|------|
| شماره آزمایش | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ | ۹ | ۱۰ | ۱۱ | ۱۲ | ۱۳ | ۱۴ | ۱۵ | ۱۶ |
| کف‌ساز | PPG | PPG | PPG | PPG | PPG | PPG | PPG | PPG | PPG | PO | PO | PO | PO | PO | PO | PO |
| pH | ۷ | ۷ | ۷ | ۷ | ۷ | ۷ | ۷ | ۱۱ | ۷ | ۷ | ۷ | ۷ | ۱۱ | ۱۱ | ۱۱ | ۱۱ |
| غلظت کلکتور | ۰ | ۵۰۰ | ۵۰۰ | ۰ | ۱۰۰۰ | ۵۰۰ | ۵۰۰ | ۰ | ۱۰۰۰ | ۵۰۰ | ۵۰۰ | ۰ | ۱۰۰۰ | ۵۰۰ | ۵۰۰ | ۱۰۰۰ |

برای بررسی تاثیر کلکتورهای کاتیونی آرماک تی با نام شیمیایی استات تالو آلکیل آمین و آرماک سی با نام شیمیایی استات کوکوامین، آزمایش‌های فلوتاسیون با شرایط بهینه حاصل از طرح آزمایشی بر روی تهریز تیکنر مرکزی انجام شد و از نظر مقدار تالک کنسانتره و بازیابی تالک در کنسانتره، مورد ارزیابی قرار گرفت. عواملی که سطوح آنها در تمام آزمایش‌ها ثابت در نظر گرفته شد، در جدول ۳ آورده شده است.

کلاسیک (معادله ۱)، مرتبه اول کلسال (Kelsal) اصلاح شده با دو نرخ سینتیک (معادله ۲)، مدل‌های مرتبه اول دارای تابع توزیع ثابت سینتیک، مانند کلیمپل (Klimple) در معادله ۳، ایمایزومی و اینو و لاودی (Imaizumi, Inoue, Loveday) در معادله ۴ و سینوسی (معادله ۵) و همچنین مدل کلاسیک سینتیک مرتبه دوم (معادله ۶) از نقاط منحنی بازیابی-زمان، مقادیر ثابت‌های سینتیک (K) و بازیابی بینهایت (R_{∞}) با استفاده از افزونه Solver نرم‌افزار Excel به دست آمدند.

$$R = R_{\infty} [1 - \exp(-Kt)] \quad (1)$$

$$R = (R_{\infty} - \phi) [1 - \exp(-K_f t)] + \phi [1 - \exp(-K_s t)] \quad (2)$$

$$R = R_{\infty} \left\{ 1 - \frac{1}{Kt} [1 - \exp(-Kt)] \right\} \quad (3)$$

$$R = R_{\infty} \left\{ 1 - \frac{1}{1 + \frac{t}{K}} \right\} \quad (4)$$

$$R = R_{\infty} \left\{ 1 - \frac{1 + \exp(-2Kt) - 2\exp(Kt)}{(Kt)^2} \right\} \quad (5)$$

$$R = \frac{R_{\infty}^2 Kt}{1 + R_{\infty} Kt} \quad (6)$$

که در معادلات ۱ تا ۶:

R_{∞} : بازیابی تالک به درصد در زمان بینهایت

K: ثابت سینتیک به 1/min

t: زمان بر حسب دقیقه

R: مقدار بازیابی فلوتاسیون به درصد در زمان t است.

در معادله ۳، Kf و Ks، ثابت‌های سینتیک ذرات دارای شناوری سریع و کند و ϕ بازیابی نهایی ذرات دارای شناوری آهسته است.

با عنایت به اینکه کانی گانگ منیزیم‌دار عمده‌ای که همراه

جدول ۳: شرایط آزمایش‌های فلوتاسیون با کلکتور کاتیونی

| | |
|-------------------|-------------------------|
| مقدار | عامل |
| ۲۰ | درصد جامد |
| PPG | نوع کف‌ساز |
| ۲۰۰ | غلظت کف‌ساز (g/t) |
| Armac C / Armac T | نوع کلکتور |
| ۵۰۰ | غلظت کلکتور (g/t) |
| ۱۱۰۰ | همزنی (rpm) |
| ۱۵ | آماده‌سازی پالپ (min) |
| ۳ | آماده‌سازی کلکتور (min) |
| ۱ | آماده‌سازی کف‌ساز (min) |
| ۱۰ | جمع‌آوری کف (min) |

پس از ارزیابی نتایج آزمایش‌های فلوتاسیون، برای به دست آوردن زمان بهینه فلوتاسیون که یکی از پارامترهای مهم برای طراحی سیستم فلوتاسیون است، آزمایش سینتیک فلوتاسیون بر روی تهریز تیکنر مرکزی در شرایط بهینه به دست آمده از دیدگاه عیار کنسانتره انجام گرفت. آزمایش سینتیک فلوتاسیون در pH=۱۱ به صورت بدون کلکتور و با کف‌ساز PPG در غلظت ۲۰۰ گرم بر تن و با کف‌گیری در فواصل زمانی مختلف انجام شد، سپس کنسانتره به دست آمده در زمان‌های مشخص، جمع‌آوری و بازیابی تالک تجمعی محاسبه شد. با گذراندن مدل‌های مختلف سینتیکی [۲۳]، شامل مرتبه اول

جدول ۴: شرایط ثابت آزمایش‌های فلوتاسیون

| مقدار | عامل |
|-------|------------------------------|
| ۲۰۰ | غلظت کف‌ساز (g/t) |
| ۲۰ | درصد جامد |
| ۱۰۰۰ | سرعت همزن (rpm) |
| ۱۵ | زمان آماده‌سازی پالپ (min) |
| ۳ | زمان آماده‌سازی کلکتور (min) |
| ۱ | زمان آماده‌سازی کف‌ساز (min) |
| ۱۰ | جمع‌آوری کف (min) |

۳- نتایج و بحث

۳-۱- خصوصیت‌سنجی نمونه‌ها

به طور کلی عیار تالک را بر اساس مقادیر اکسید منیزیم و سیلیس موجود و کیفیت آن را بر اساس ناخالصی‌های موجود در آن، مانند اکسیدهای آهن و کلسیم و آلومینیم می‌سنجند. مطابق جدول ۵، باطله کارخانه غبار و پس از آن باطله خشک کارخانه تغلیظ، دارای مقادیر سیلیس و اکسید منیزیم بیشتری نسبت به سایر نمونه‌ها بوده و اکسید آهن کمتری دارند که می‌توان آنها را به عنوان خوراک برای انجام آزمایش‌های فلوتاسیون انتخاب کرد. کانی‌های عمده تشکیل‌دهنده باطله کارخانه غبار؛ کلریت حدود ۲۵ درصد، تالک حدود ۲۸ درصد و کلسیت حدود ۲۱ درصد است و عمده باطله خشک از کانی‌های کلریت (حدود ۲۷ درصد)، تالک (حدود ۲۲ درصد)، کلسیت (حدود ۱۵ درصد)، بیوتیت، هماتیت و کوارتز تشکیل شده است.

به علاوه، با استفاده از آنالیز XRD کمی و مطالعات میکروسکوپی انجام شده، ترکیب کانی‌شناسی نمونه‌های تهیه شده از ته‌ریز تیکنرها و همچنین تالک بهداشتی در جدول ۶ لیست شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشترین مقدار تالک مربوط به باطله کارخانه غبار است. در ساختار نمونه‌های باطله، کلریت بیشترین سهم را دارد و پس از آن تالک و کلسیت بیشترین مقادیر را به خود اختصاص داده است، اما در تالک بهداشتی، ۸۹٪ تالک، ۸٪ کلریت و مقدار ناچیزی (۳٪) کوارتز و کلسیت وجود دارد.

آنالیز XRD (شکل ۲-الف) و مقطع میکروسکوپی (شکل ۲-ب) مربوط به باطله کارخانه غبار، نشان داد که کانی‌های عمده تشکیل‌دهنده این نمونه؛ کلریت به میزان حدود ۲۵ درصد، تالک به میزان حدود ۲۸ درصد و کلسیت به میزان

با کانی تالک در کنسانتره‌های به دست آمده یافت می‌شود، کانی کلریت (کلینوکلر) است که علاوه بر منیزیم، آلومینیم هم دارد. مقدار آن را می‌توان بر اساس آلومینیم موجود در ترکیب شیمیایی کنسانتره‌ها محاسبه و سپس با تخمین منیزیم مرتبط با این کانی به وسیله معادله ۷، این مقدار از منیزیم را از کل منیزیم کنسانتره کم کرد.

$$G_{Mg} \text{ (in Clinochlore)}$$

$$= G_{Al_2O_3} \times \frac{2 \times M_{Al}}{M_{Al_2O_3}} \quad (7)$$

$$\times \frac{M_{Clinochlore}}{6 \times M_{Al}} \times \frac{6 \times M_{Mg}}{M_{Clinochlore}}$$

سپس، با فرض اینکه منیزیم باقیمانده کاملاً مربوط به تالک است، عیار تالک را از معادلات ۸ و ۹، محاسبه کرد. در این معادلات M و G به ترتیب جرم مولی بر حسب گرم و مقدار بر حسب درصد است. شرایط ثابت آزمایش‌های فلوتاسیون در جدول ۴ ذکر شده است.

$$G_{talc} = [(G_{MgO} \times \frac{M_{Mg}}{M_{MgO}}) - G_{Mg} \text{ (in Clinochlore)}] \quad (8)$$

$$\times \frac{M_{talc}}{3 \times M_{Mg}}$$

$$G_{talc} = [(G_{MgO} \times 0.603) - (G_{Al_2O_3} \times 0.4766)] \times 5.2 \quad (9)$$

مقادیر بازیابی وزنی محصول و بازیابی تالک در کنسانتره نیز با استفاده از معادله‌های ۱۰ و ۱۱ محاسبه شدند، که در آن‌ها:

R_w : بازیابی وزنی کنسانتره

R_t : بازیابی تالک در کنسانتره

C : وزن کنسانتره

c : مقدار تالک در کنسانتره

F : وزن خوراک

f : مقدار تالک در خوراک است [۲۴].

$$R_w = \frac{C}{F} \times 100 \quad (10)$$

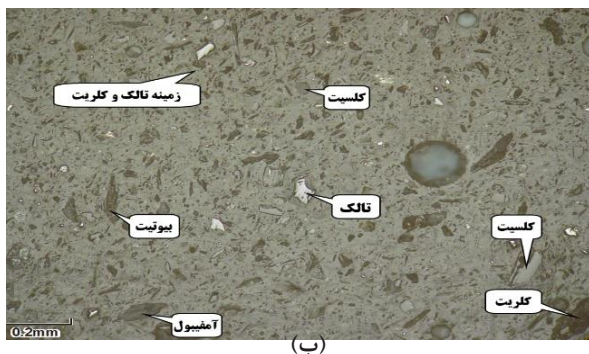
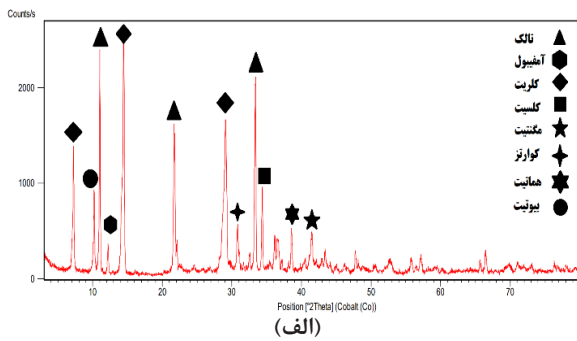
$$R_t = \frac{C \times c}{F \times f} \times 100 \quad (11)$$

جدول ۵: ترکیب شیمیایی نمونه‌های باطله کارخانه

| L.O.I | TiO ₂ | CaO | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MgO | SiO ₂ | ترکیب (%) باطله |
|-------|------------------|-----|--------------------------------|--------------------------------|------|------------------|-------------------------|
| ۱۵٫۷ | ۰٫۵ | ۶٫۱ | ۷٫۳ | ۱۸٫۶ | ۱۶٫۲ | ۳۵٫۵ | تهریز تیکنر پلیکام |
| ۱۶٫۴ | ۰٫۵ | ۷٫۳ | ۷٫۵ | ۱۵٫۷ | ۱۷٫۶ | ۳۴٫۹ | باطله خشک کارخانه تغلیظ |
| ۱۴٫۵ | ۰٫۵ | ۹٫۰ | ۶٫۸ | ۲۰٫۴ | ۱۷٫۲ | ۳۱٫۵ | تهریز تیکنر تغلیظ |
| ۱۵٫۹ | ۰٫۳ | ۹٫۲ | ۶٫۳ | ۲۸٫۲ | ۱۲٫۰ | ۲۸٫۱ | تهریز تیکنر گلغا |
| ۱۳٫۸ | ۰٫۵ | ۸٫۸ | ۶٫۸ | ۱۱٫۲ | ۲۲٫۶ | ۳۶٫۴ | باطله کارخانه غبار |
| ۱۵٫۴ | ۰٫۳ | ۸٫۲ | ۶٫۰ | ۱۶٫۷ | ۱۹٫۲ | ۳۴٫۳ | تهریز تیکنر مرکزی |
| ۴٫۵ | ۰ | ۰٫۲ | ۰٫۷ | ۰٫۳ | ۳۱٫۵ | ۶۲٫۸ | تالک بهداشتی |

جدول ۶: ترکیب کانی‌شناسی نمونه‌های باطله کارخانه بر اساس آنالیز XRD و مطالعه مقاطع

| دیگر کانی‌ها | آمفیبول | اوپک | بیوتیت | کوارتز | کلسیت | کلریت | تالک | کانی‌ها (%) باطله |
|--------------|---------|------|--------|--------|-------|-------|------|-------------------------|
| ۲ | ۷ | ۱۸ | ۱ | ۹ | ۱۶ | ۲۷ | ۲۰ | تهریز تیکنر پلیکام |
| ۲ | ۵ | ۱۶ | ۶ | ۷ | ۱۵ | ۲۷ | ۲۲ | باطله خشک کارخانه تغلیظ |
| ۳ | ۶ | ۱۵ | ۵ | ۸ | ۱۶ | ۲۶ | ۲۱ | تهریز تیکنر تغلیظ |
| ۳ | ۲ | ۱۹ | ۷ | ۸ | ۲۴ | ۲۲ | ۱۵ | تهریز تیکنر گلغا |
| ۳ | ۳ | ۸ | ۸ | ۴ | ۲۱ | ۲۵ | ۲۸ | باطله کارخانه غبار |
| ۲ | ۳ | ۱۲ | ۷ | ۸ | ۱۶ | ۲۹ | ۲۳ | تهریز تیکنر مرکزی |
| ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱۰ | ۱۰ | ۲ | ۹۷ | تالک بهداشتی |



شکل ۲: الف) آنالیز XRD و ب) میکروسکوپ نوری با نور PPL از باطله کارخانه غبار

حدود ۲۱ درصد است.

بر اساس آنالیز XRD (شکل ۳-الف) و مطالعات میکروسکوپی (شکل ۳-ب) باطله کارخانه گلغا، بخش عمده این نمونه از کانی‌های غیرفلزی و دانه‌بندی شده، تشکیل شده است. کانی‌های فلزی شامل مگنتیت، هماتیت و مقدار کمی پیریت و کانی‌های غیرفلزی شامل تالک، کلسیت، کلریت، بیوتیت، کوارتز و مقدار اندکی دولومیت است. کانی‌های کلریت، تالک و کلسیت به ترتیب با مقادیر حدودی ۲۲، ۱۵ و ۲۴ درصد، کانی‌های عمده تشکیل‌دهنده نمونه هستند.

برای مطالعات کانی‌شناسی، مقطع نازک-صیقلی از نمونه ته‌ریز تیکنر مرکزی تهیه و به وسیله میکروسکوپ نوری پلاریزان بررسی شد. بر اساس این بررسی‌ها و نتایج آنالیز XRD (شکل ۴)، مقدار کانی تالک موجود در نمونه ته‌ریز تیکنر مرکزی، حدود ۲۳٫۵ درصد است. با توجه به اینکه باطله خطوط ۱، ۲، ۳ و کارخانه غبار وارد تیکنر مرکزی می‌شوند، آزمایش‌های فلوتاسیون بر روی ته‌ریز همین تیکنر انجام شد. همچنین پس از آزمایش این نمونه، دانسیته آن ۲٫۹۹ گرم بر

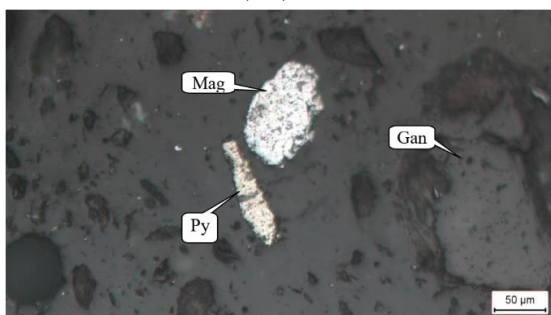
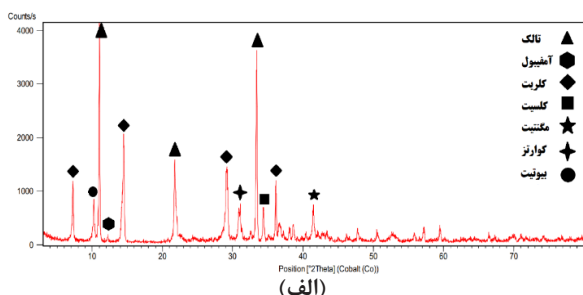
سانتی متر مکعب به دست آمد.

نتایج آنالیز XRD (شکل ۵-الف) و مطالعات میکروسکوپی (شکل ۵-ب) نمونه تالک بهداشتی که برای مقایسه با باطله‌های کارخانه‌های گل‌گهر بررسی شد، نشان داد که این نمونه از کانی‌های تالک به میزان حدود ۹۷ درصد، کلریت با مقدار حدود ۲ درصد و مقدار بسیار کمی کلسیت و کوارتز تشکیل شده است. با توجه به نتایج به دست آمده از ترکیب شیمیایی انواع باطله‌ها، میزان اکسید منیزیم در باطله کارخانه غبار، نسبت به دیگر نمونه‌ها بیشترین مقدار و کمترین اختلاف را با ترکیب تالک بهداشتی دارد.

توزیع دانه‌بندی نمونه مطابق شکل ۶ به دست آمد که با استفاده از درون‌یابی خطی، D_{80} آن، برابر با ۶۰/۸ میکرون محاسبه شد.

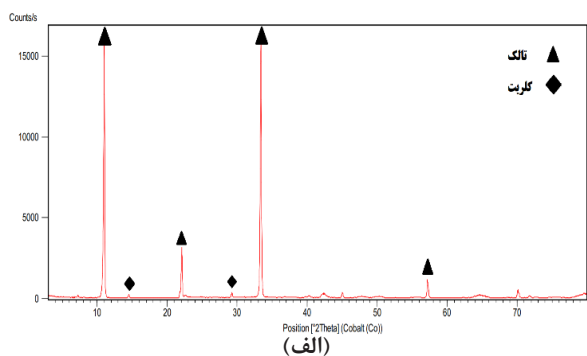
۳-۲- آزمایش‌های فلوتاسیون مقدماتی

با وجود اینکه تالک خاصیت آبرانی ذاتی از خود نشان می‌دهد ولی سطح آن نواحی آبدوست نیز دارد (به ویژه در گوشه‌های ذرات آن) [۵]، بر همین اساس در این پژوهش برای افزایش شناوری تالک از کلکتور نیز استفاده شده است.



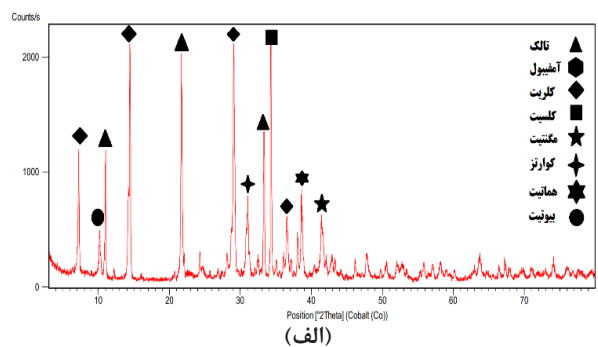
(ب)

شکل ۴: الف) آنالیز XRD و ب) میکروسکوپ نوری با نور PPL از نمونه تهریز تیکنر باطله مرکزی



(ب)

شکل ۵: الف) آنالیز XRD و ب) میکروسکوپ نوری با نور PPL تالک بهداشتی



(ب)

شکل ۳: الف) آنالیز XRD و ب) میکروسکوپ نوری با نور PPL از باطله کارخانه گلغا

کنسانتره تولیدی ندارد. نتیجه آنالیز بهترین کنسانتره به دست آمده از دیدگاه مقدار تالک در جدول ۱۰ مشاهده می‌شود. این کنسانتره مربوط به آزمایش شماره ۵ با کف‌ساز PPG و در pH=۱۱ و بدون استفاده از کلکتور است.

جدول ۷: نتایج آزمایش‌های فلوتاسیون اولیه و ترکیب شیمیایی کنسانتره به دست آمده (مقادیر بر حسب درصد وزنی)

| نوع باطله | کارخانه غبار | | تهریز تیکنر گلفا | |
|--------------------------------|--------------|----------|------------------|----------|
| | خوراک | کنسانتره | خوراک | کنسانتره |
| مقدار تالک | ۲۸ | ۹۳٫۸ | ۱۵ | ۶۲٫۹ |
| بازیابی | - | ۳۰٫۳ | - | ۲۸٫۸ |
| SiO ₂ | ۳۶٫۴ | ۵۹٫۶ | ۲۸٫۱ | ۵۵٫۴ |
| MgO | ۲۲٫۶ | ۳۰٫۸ | ۱۲ | ۲۲٫۸ |
| Fe ₂ O ₃ | ۱۱٫۱ | ۲٫۲ | ۲۸٫۲ | ۶٫۷ |
| Al ₂ O ₃ | ۶٫۸ | ۱٫۱ | ۶٫۳ | ۳٫۵ |
| CaO | ۸٫۸ | ۱٫۱ | ۹٫۲ | ۵٫۴ |
| TiO ₂ | ۰٫۵ | ۰٫۲ | ۰٫۳ | ۰٫۳ |
| L.O.I | ۱۳٫۸ | ۵ | ۱۵٫۹ | ۵٫۹ |

جدول ۸: ترکیب شیمیایی کنسانتره تولیدی از آزمایش‌های فلوتاسیون با کلکتورهای کاتیونی (مقادیر بر حسب درصد وزنی)

| نمونه | خوراک | کنسانتره آرماک تی | کنسانتره آرماک سی |
|--------------------------------|-------|-------------------|-------------------|
| بازیابی وزنی | - | ۱۷٫۲ | ۱۴٫۱ |
| SiO ₂ | ۳۴٫۳ | ۳۷٫۸ | ۴۳٫۴ |
| MgO | ۱۹٫۲ | ۲۲ | ۲۴٫۸ |
| Fe ₂ O ₃ | ۱۶٫۷ | ۱۳٫۳ | ۱۰٫۴ |
| Al ₂ O ₃ | ۶ | ۴٫۷ | ۳٫۴ |
| CaO | ۸٫۲ | ۴٫۸ | ۳٫۵ |
| TiO ₂ | ۰٫۳ | ۰٫۳ | ۰٫۲ |
| L.O.I | ۱۵٫۳ | ۱۰٫۱ | ۸٫۸ |

۳-۳- آزمایش‌های فلوتاسیون تکمیلی

در این سری از آزمایش‌ها بر روی تهریز تیکنر مرکزی، از یک طرح آزمایشی فاکتوریلی استفاده شد. نتایج را در جدول ۹ مشاهده می‌کنید. با توجه به نتایج ارایه شده، می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از کف‌ساز PPG با غلظت ۲۰۰ گرم بر تن، نتایج بهتری را نسبت به کف‌ساز PO در همین غلظت، تولید می‌کند.

به علاوه، تغییر pH (از ۷ تا ۱۱) در فلوتاسیون بدون کلکتور تالک، تاثیر محسوسی بر روی مقدار تالک موجود در

جدول ۹: نتایج آزمایش‌های فلوتاسیون تکمیلی (بر حسب درصد وزنی)

| شماره | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ | ۹ | ۱۰ | ۱۱ | ۱۲ | ۱۳ | ۱۴ | ۱۵ | ۱۶ |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| مقدار تالک | ۹۴٫۱ | ۸۸٫۳ | ۸۹٫۰ | ۸۴٫۱ | ۹۵٫۸ | ۹۱٫۶ | ۹۲٫۵ | ۹۰٫۷ | ۹۲٫۵ | ۸۶٫۸ | ۸۶٫۵ | ۷۷٫۱ | ۹۲٫۷ | ۹۱٫۸ | ۹۱٫۹ | ۸۸٫۵ |
| بازیابی وزنی | ۱۰٫۹ | ۱۱٫۷ | ۱۱٫۸ | ۱۳٫۱ | ۱۰٫۴ | ۱۰٫۸ | ۱۰٫۸ | ۱۲٫۴ | ۱۰٫۸ | ۱۲٫۰ | ۱۱٫۸ | ۱۳٫۱ | ۱۰٫۳ | ۱۰٫۷ | ۱۱٫۲ | ۱۲٫۸ |
| بازیابی تالک | ۴۳٫۵ | ۴۳٫۸ | ۴۴٫۸ | ۴۶٫۸ | ۴۲٫۵ | ۴۱٫۹ | ۴۲٫۶ | ۴۷٫۷ | ۴۲٫۴ | ۴۴٫۲ | ۴۳٫۵ | ۴۲٫۸ | ۴۰٫۶ | ۴۱٫۹ | ۴۳٫۶ | ۴۸٫۲ |

و پارامتر مربوطه از دیدگاه آماری معنادار هستند. در واقع هرچقدر که مقدار آماره p کمتر و از طرف دیگر مقدار آماره F بیشتر باشد مدل مناسب تر است.

با توجه به جدول ۱۱ می توان گفت با توجه به اینکه مقدار آماره p برای غلظت کلکتور و pH به یک اندازه است با توجه به اینکه مقدار آماره F برای غلظت کلکتور بیشتر است، می توان گفت غلظت کلکتور، pH و نوع کف ساز به ترتیب بیشترین تاثیر را بر محتوی تالک کنسانتره دارند. مقدار آماره p مدل انتخابی به وسیله نرم افزار کمتر از 0.0001 است؛ یعنی به احتمال بیش از 99.99% درصد، این مدل برای پاسخ (محتوای تالک کنسانتره) کاملا معنادار است. مدل یاد شده برای پیش بینی محتوای تالک کنسانتره بر اساس نوع و غلظت کف ساز و مقدار pH در معادله 12 آورده شده است که در آن A نشان دهنده نوع کف ساز ($PPG: +1$ و $PO: -1$)، B نشان دهنده pH ($pH = 11: +1$ و $pH = 7: -1$) و C غلظت کلکتور بر حسب گرم بر تن ماده معدنی است.

با توجه به جدول ۱۱، مقدار ضریب همبستگی مدل 94% است. این بدین معناست که معادله 12 با پارامترهای معرفی شده A ، B و C ، تطبیق نسبتا خوبی داشته و همچنین احتمال خطای کمتر از 6% درصد دارد.

به دلیل اهمیتی که کیفیت محصول تالک برای مقایسه با استانداردهای مورد نیاز صنایع مختلف مصرف کننده تالک دارد و همچنین رقابتی که بر اساس کیفیت تالک در بازار خرید و فروش این محصول وجود دارد، در این مطالعه به مقدار تالک در کنسانتره فلوتاسیون، توجه ویژه ای شده است. مقادیر تالک و بازیابی تالک (بر حسب درصد) در آزمایش های مختلف فلوتاسیون، به عنوان پاسخ های طرح آزمایشی در نظر گرفته شده و معنادار بودن یا نبودن متغیرهای مستقل بر اساس پارامترهای آماری مدل به دست آمده به وسیله نرم افزار برای هر یک از پاسخ ها، بررسی شد. با توجه به اینکه مقادیر بازیابی تالک در آزمایش های طرح، نزدیک به هم هستند (جدول ۹)، در نتیجه بر اساس ضرایب همبستگی اولیه و تعدیل یافته و پیش بینی شده، مدل معنی دار و مناسبی برای آن ها یافت نشد. از طرفی با توجه به جدول ۱۱ برای محتوای تالک موجود در کنسانتره با توجه به ضرایب همبستگی اولیه و تعدیل یافته، مدل خطی به وسیله نرم افزار به عنوان مدل مناسب پیشنهاد شد.

جدول ۱۱، مقدار آماره p و آماره F را برای بررسی صحت مدل انتخابی به وسیله نرم افزار و همچنین بررسی میزان تاثیر فاکتورهای انتخابی بر محتوای تالک موجود در کنسانتره نشان می دهد. در صورتی که مقدار آماره p کمتر از 0.05 باشد، مدل

جدول ۱۰: ترکیب شیمیایی محصول تالک با بالاترین عیار

| L.O.I | TiO ₂ | CaO | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | MgO | SiO ₂ | ترکیب (%) باطله |
|-------|------------------|-----|--------------------------------|--------------------------------|------|------------------|--------------------|
| ۵.۶ | ۰ | ۱.۳ | ۰.۹ | ۱.۲ | ۳۱.۳ | ۵۹.۷ | تیکر باطله مرکزی |

جدول ۱۱: آنالیز واریانس و آمارهای مدل محتوای تالک کنسانتره

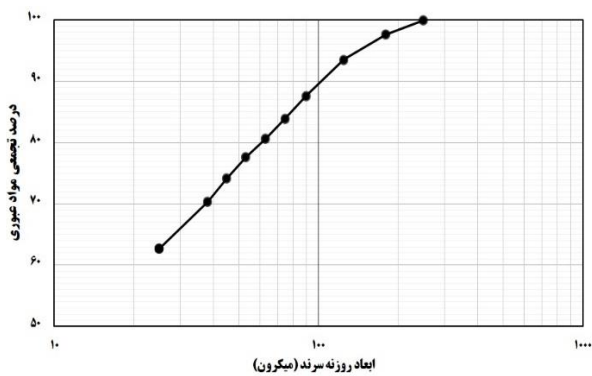
| منبع | مجموع مربعات | درجه آزادی | متوسط مربعات | آماره F | آماره p |
|---------------|--------------|------------|-------------------------|---------|---------|
| مدل | ۲۹۰.۶۲ | ۴ | ۷۲.۶۵ | ۴۱.۶۹ | <0.0001 |
| کف ساز (A) | ۲۱.۳۴ | ۱ | ۲۱.۳۴ | ۱۲.۲۴ | 0.0057 |
| pH (B) | ۸۵.۴۰ | ۱ | ۸۵.۴۰ | ۴۹.۰۰ | <0.0001 |
| کلکتور (C) | ۱۵۱.۳۷ | ۱ | ۱۵۱.۳۷ | ۸۶.۸۵ | <0.0001 |
| BC | ۳۲.۵۱ | ۱ | ۳۲.۵۱ | ۱۸.۶۵ | 0.0015 |
| انحنای | ۰.۴۵ | ۱ | ۰.۴۴ | ۰.۲۵ | 0.6273 |
| باقیمانده | ۱۷.۴۳ | ۱۰ | ۱.۷۴ | - | - |
| عدم انطباق | ۱۶.۶۷ | ۶ | ۲.۷۸ | ۱۴.۷۲ | 0.0106 |
| خطای خالص | ۰.۷۶ | ۴ | ۰.۱۹ | - | - |
| مجموع | ۳۰۸.۵ | ۱۵ | - | - | - |
| ضریب همبستگی: | ۰.۹۴ | | ضریب همبستگی تعدیل شده: | | ۰.۹۲ |

(۱۲)

$$T.C. \% = 11.72 - 0.05A - 0.36B + 1.13C - 0.08AC$$

گرفته شد. با توجه به جدول ۱۲، مقدار آماره p برای کف‌ساز بیشتر از ۰٫۰۵ شده است و این نشان دهنده عدم تاثیر این متغیر بر بازیابی وزنی است. در مقابل، مقدار این آماره برای فاکتور pH و غلظت کلکتور کمتر از ۰٫۰۵ و نشان‌دهنده تاثیر معنی‌دار این دو فاکتور بر بازیابی وزنی است.

مقدار آماره F هر چقدر که بیشتر باشد، نشان‌دهنده تاثیر بیشتر فاکتور مورد نظر است. با توجه به جدول ۱۲ همان‌طور که مشاهده می‌شود، غلظت کلکتور، pH و در نهایت نوع کف‌ساز به ترتیب بیشترین تاثیر را بر متغیر پاسخ دارند. مقدار آماره p مدل انتخابی به وسیله نرم‌افزار کمتر از ۰٫۰۰۰۱ است؛ یعنی به احتمال بیش از ۹۹٫۹۹ درصد، این مدل بر داده‌های آزمایشگاهی منطبق است. معادله ۹ رابطه‌ای است میان نوع



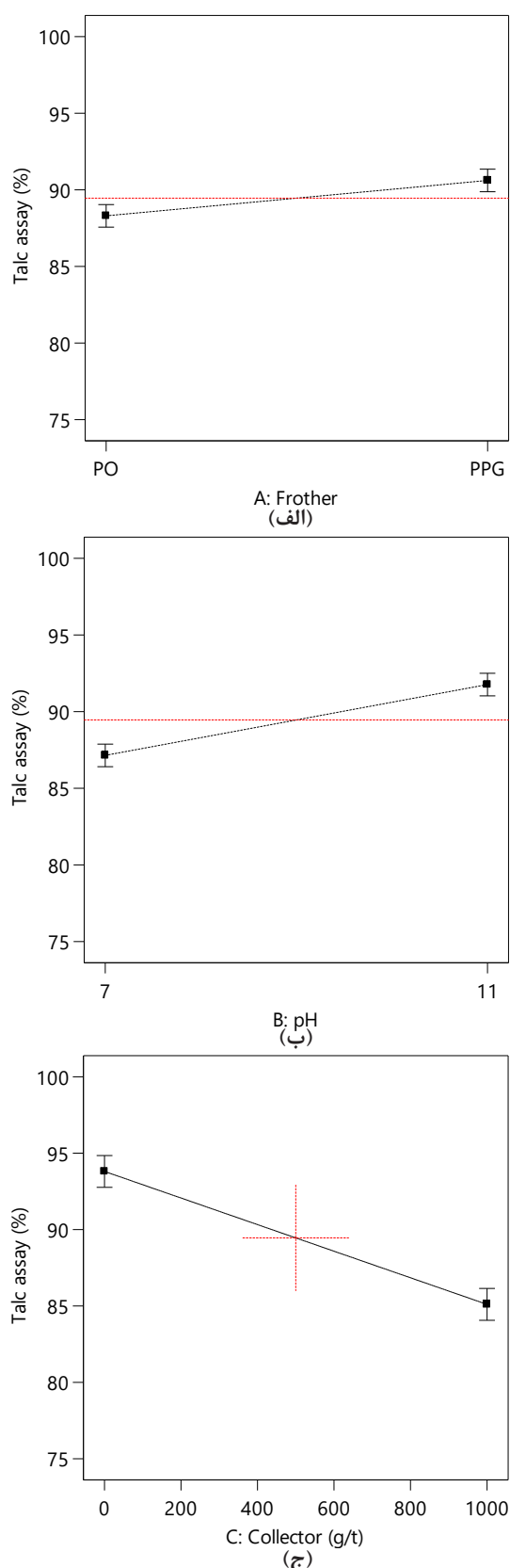
شکل ۶: نمودار توزیع دانه‌بندی نمونه ته‌ریز تیکنر باطله مرکزی

شکل ۷ مربوط به تاثیر عوامل نوع کف‌ساز، pH و غلظت کلکتور در میانگین مقادیر سایر پارامترها است. با توجه به شکل ۷-الف، مشاهده می‌شود که کف‌ساز PPG نسبت به کف‌ساز PO نسبتاً عملکرد بهتری داشته و میزان تالک از ۸۸٪ به ۹۱٪ رسیده است. مشاهده می‌شود که استفاده از کف‌ساز PPG باعث بهبود محتوای تالک کنسانتره شده است. دلیل آن، پایداری بالاتر کف و همچنین ظرفیت حمل بالای کف است [۲۵]. شکل ۷-ب، تاثیر عامل pH را بر محتوای تالک در کنسانتره نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش pH از ۷ تا ۱۱، درصد تالک از ۸۶ به ۹۲ افزایش یافته است. بهبود در کیفیت کنسانتره در pH های قلیایی توسط محققان دیگر نیز گزارش شده است [۲۱، ۱۳، ۱۲]. در نهایت با توجه به شکل ۷-ج، در صورتی که آزمایش فلوتاسیون بدون کلکتور انجام شود، بالاترین محتوای تالک را به دنبال خواهد داشت. در صورت استفاده از کلکتور، تالک از ۹۴٪ به ۸۵٪ کاهش پیدا می‌کند، زیرا علاوه بر ذرات تالک، سایر ذرات که عموماً گانگ هستند به کنسانتره راه خواهند یافت.

در صورتی که بازیابی وزنی به کنسانتره به عنوان پاسخ در نظر گرفته شود، جدول ۱۲ نتایج آنالیز واریانس مدل را نشان می‌دهد. با توجه به ضرایب همبستگی اولیه و تعدیل یافته، مدل خطی به وسیله نرم‌افزار به عنوان مدل مناسب در نظر

جدول ۱۲: آنالیز واریانس و آماره‌های مدل بازیابی وزنی به کنسانتره

| منبع | مجموع مربعات | درجه آزادی | متوسط مربعات | آماره F | آماره p |
|---------------|--------------|------------|-------------------------|---------|---------|
| مدل | ۱۲٫۳۱ | ۴ | ۳٫۰۸ | ۷۶٫۴۸ | <۰٫۰۰۰۱ |
| کف‌ساز (A) | ۰٫۰۴ | ۱ | ۰٫۰۴ | ۰٫۹۹ | ۰٫۳۴۲۳ |
| pH (B) | ۲٫۱ | ۱ | ۲٫۱۰ | ۵۲٫۲۴ | <۰٫۰۰۰۱ |
| کلکتور (C) | ۱۰٫۱۳ | ۱ | ۱۰٫۱۳ | ۲۵۱٫۵۵ | <۰٫۰۰۰۱ |
| AC | ۰٫۰۵ | ۱ | ۰٫۰۵ | ۱٫۱۲ | ۰٫۳۱۵۲ |
| انحنا | ۰٫۵۶ | ۱ | ۰٫۵۶ | ۱۳٫۹۸ | ۰٫۰۰۳۹ |
| باقیمانده | ۰٫۴۰ | ۱۰ | ۰٫۰۴ | - | - |
| عدم انطباق | ۰٫۲۵ | ۶ | ۰٫۰۴ | ۱٫۱۲ | ۰٫۴۷۷۱ |
| خطای خالص | ۰٫۱۵ | ۴ | ۰٫۰۴ | - | - |
| مجموع | ۱۳٫۳۰ | ۱۵ | - | - | - |
| ضریب همبستگی: | ٪۹۷ | | ضریب همبستگی تعدیل شده: | | ٪۹۶ |



شکل ۷: نمودارهای تاثیر الف) نوع کف‌ساز، ب) pH و ج) غلظت کلکتور بر محتوای تالک محصول کنسانتره

کف‌ساز، pH و غلظت کلکتور با بازیابی وزنی به کنسانتره که در آن نشان‌دهنده نوع کف‌ساز (1+ PPG و -1 PO)، B نشان‌دهنده pH (1+ pH=11 و -1 pH=7) و C غلظت کلکتور بر حسب گرم بر تن ماده معدنی است. با توجه به جدول ۱۲، مقدار ضریب همبستگی ۹۷٪ است. این بدین معناست که معادله ۱۳ با پارامترهای معرفی شده A، B و C، تطبیق نسبتاً خوبی داشته و همچنین احتمال خطای کمتر از ۳ درصد دارد.

(۱۳)

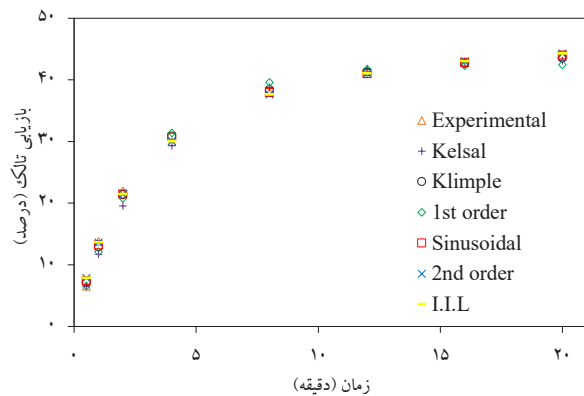
$$W.R.\% = 89.46 + 1.15A + 2.31B - 4.35C + 2.02BC$$

شکل ۸ مربوط به تاثیر فاکتورهای نوع کف‌ساز، pH و غلظت کلکتور بر پاسخ است. با توجه به شکل ۸-الف، مشاهده می‌شود که در این بخش، تغییر نوع کف‌ساز از PPG به PO تاثیر خاصی بر میزان بازیابی وزنی به کنسانتره نداشته است. شکل ۸-ب، تاثیر فاکتور pH را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش pH از ۷ تا ۱۱، بازیابی وزنی از حدود ۱۲٪ به ۱۱٫۵٪ کاهش یافته است. علت این مشاهده، شناوری انتخابی‌تر تالک در محیط قلیایی و کاهش شناوری گانگ به کنسانتره است. در نهایت با توجه به شکل ۸-ج، مشاهده می‌شود که با افزایش غلظت کلکتور بازیابی وزنی از ۱۱٪ به حدود ۱۳٪ افزایش یافته است که به دلیل آبران شدن ذرات گانگ و راهیابی آنها همراه تالک به کنسانتره است.

۳-۴- مطالعات سینتیک شناوری تالک

با استفاده از داده‌های بازیابی تالک بر حسب زمان، که با استفاده از بازیابی‌های جرمی و آنالیز کنسانتره تست‌های سینتیکی (جدول ۱۳) محاسبه شده‌اند، نمودارهای سینتیکی بازیابی تالک بر اساس مدل‌های مورد بررسی، مطابق شکل ۹ رسم شد. برای ارزیابی یک مدل سینتیکی برای فلوتاسیون تالک از باطله‌های شرکت گل‌گهر، مدل‌های کلاسیک مرتبه اول و دوم و انواع مدل‌های سینتیک مرتبه اول که در آنها، تابع توزیع برای ثابت سینتیک در نظر گرفته شده است، بر روی داده‌های آزمایشگاهی برازش داده و ضریب همبستگی (R^2) مدل‌ها باهم مقایسه شد.

مقادیر ثابت سینتیک و بازیابی بینهایت به دست آمده از مدل‌ها به همراه ضریب همبستگی مربوطه در جدول ۱۴ لیست شده‌اند. با دقت در این جدول می‌توان نتیجه گرفت که تمامی مدل‌ها انطباق بسیار خوبی (به دلیل ضریب همبستگی نزدیک به ۱۰۰ درصد) بر داده‌های آزمایشگاهی دارند. این



شکل ۹: مقایسه انطباق مدل‌های سینتیکی بر داده‌های آزمایشگاهی

نتیجه، از مقایسه نقاط روی شکل ۹ نیز به وضوح مشخص است. فاصله مکانی نقاط نشان داده شده بر روی شکل، آنچنان کم و بر داده‌های آزمایشگاهی منطبق است که تفکیک مدل‌ها از هم دشوار است.

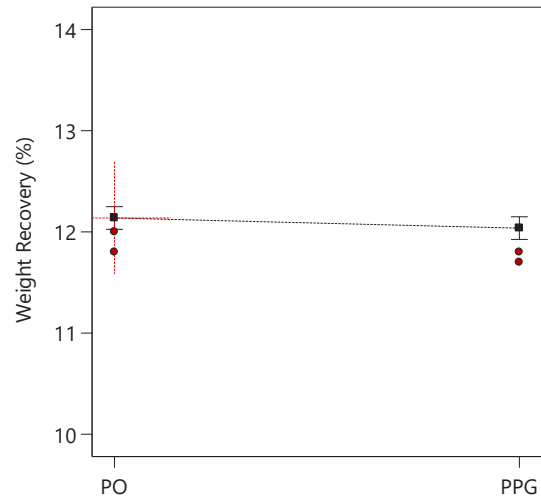
لیکن از میان مدل‌های مورد بررسی، به نظر می‌رسد که به ترتیب، مدل مرتبه اول سینوسی با ضریب همبستگی ۹۹٫۸۷٪ و سپس، مدل مرتبه اول ایمازومی، اینو و لاودی (I.I.L.) و همچنین مدل کلاسیک مرتبه دوم، هردو با ضریب همبستگی ۹۹٫۸۳٪ بیشترین انطباق بر داده‌ها را دارند.

۴- نتیجه‌گیری

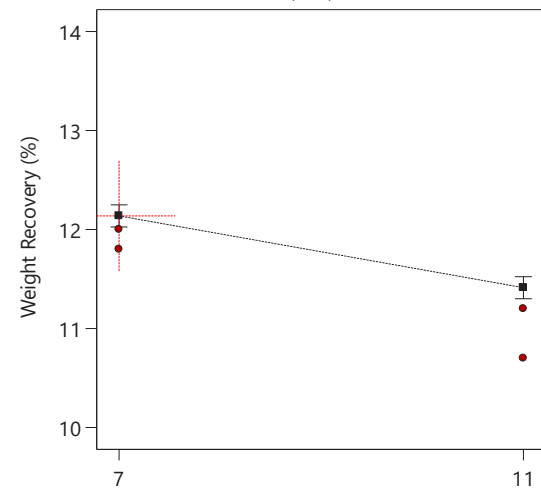
در این مطالعه، شناسایی باطله کارخانه‌های گل‌گهر از نظر میزان کانی‌های موجود انجام و مشخص شد، به ترتیب باطله کارخانه غبار با ۲۸ درصد، باطله خروجی از ته‌ریز تیکتر مرکزی با ۲۳٫۵ درصد، باطله خشک کارخانه تغلیظ (خطوط ۳ و ۲) با ۲۲ درصد و باطله تر کارخانه‌ی تغلیظ با ۲۱ درصد تالک، بیشترین مقادیر تالک را دارند.

در آزمایش‌های فلوتاسیون از دو نوع کفساز PPG و PO استفاده شد که نتایج نشان داد، استفاده از کفساز PPG موجب تولید کنسانتره تالکی با خلوص بالاتر می‌شود. در شرایط بهینه آزمایش‌های فلوتاسیون انجام شده، می‌توان به محصول تالک با خلوص ۹۵٫۸ درصد، بازیابی تالک ۴۲٫۵ درصد و بازیابی وزنی ۱۰٫۴ درصد دست یافت.

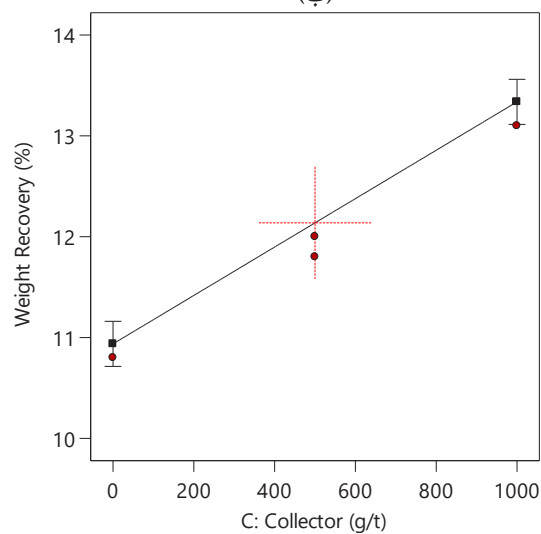
نتایج به دست آمده از جداول ANOVA و تاثیر متقابل فاکتورهای نوع کفساز، pH و غلظت کلکتور نشان دادند که به ترتیب، غلظت کلکتور، pH و نوع کفساز بیشترین تاثیر را بر روی محتوای تالک موجود در کنسانتره و همچنین روی



A: Frother (الف)



B: pH (ب)



ج) غلظت

شکل ۸: نمودارهای تاثیر الف) نوع کفساز، ب) pH و ج) غلظت کلکتور بر بازیابی وزنی تالک به کنسانتره

جدول ۱۳: آنالیز XRF کنسانتره‌های تالک در زمان‌های مختلف

| ترکیب (%) | زمان (min) | SiO ₂ | MgO | CaO | Al ₂ O ₃ | TiO ₂ | Fe ₂ O ₃ | تالک (%) | بازیابی (%) |
|-----------|------------|------------------|-----|-----|--------------------------------|------------------|--------------------------------|----------|-------------|
| ۰.۵ | ۵۷.۸ | ۳۰.۸ | ۱.۴ | ۱.۲ | ۰.۱ | ۱.۶ | ۹۳.۷ | ۷.۲ | |
| ۱ | ۵۶.۵ | ۳۰.۴ | ۱.۴ | ۱.۰ | ۰.۱ | ۱.۹ | ۹۲.۸ | ۱۳.۶ | |
| ۲ | ۵۷.۰ | ۳۰.۱ | ۱.۶ | ۱.۴ | ۰.۸ | ۲.۹ | ۹۰.۹ | ۲۲.۰ | |
| ۴ | ۵۲.۵ | ۲۹.۹ | ۲.۰ | ۱.۳ | ۰.۱ | ۳.۶ | ۹۰.۵ | ۳۰.۲ | |
| ۸ | ۴۸.۲ | ۳۰.۱ | ۳.۰ | ۰.۱ | ۵.۷ | ۱.۸ | ۸۸.۳ | ۳۸.۴ | |
| ۱۲ | ۴۳.۳ | ۲۸.۸ | ۵.۴ | ۳.۵ | ۰.۲ | ۷.۱ | ۸۱.۵ | ۴۱.۲ | |
| ۱۶ | ۴۳.۸ | ۲۸.۱ | ۱.۵ | ۳.۴ | ۰.۱ | ۹.۳ | ۷۹.۷ | ۴۲.۸ | |
| ۲۰ | ۴۱.۰ | ۲۵.۸ | ۵.۷ | ۳.۵ | ۰.۳ | ۹.۸ | ۷۲.۱ | ۴۳.۸ | |

جدول ۱۴: مقایسه نتایج حاصل از برازش انواع مدل‌های سینتیکی

| نام مدل | K (1/min) | R _∞ (%) | R ² (%) |
|-----------------------------------|-------------|--------------------|--------------------|
| مرتبه اول کلاسیک (معادله ۱) | ۰.۳۴ | ۴۲.۵ | ۹۹.۱۴ |
| کلسال اصلاح شده (معادله ۲) | ۰.۴۱ و ۰.۲۸ | ۳۵.۲ و ۴۳.۳ | ۹۹.۱۰ |
| کلیمپل (معادله ۳) | ۰.۶۸ | ۴۷.۰ | ۹۹.۷۹ |
| ایمایزومی، اینو، لاودی (معادله ۴) | ۲.۶۸ | ۵۰.۲ | ۹۹.۸۳ |
| سینوسی (معادله ۵) | ۰.۱۸ | ۴۸.۱ | ۹۹.۸۷ |
| مرتبه دوم کلاسیک (معادله ۶) | ۰.۰۰۷ | ۵۰.۲ | ۹۹.۸۳ |

با توجه به اینکه بازیافت مواد با ارزش از باطله‌های معدنی که بی‌ارزش تلقی می‌شوند، یک امر بسیار مفید برای حفاظت از محیط‌زیست و ایجاد ارزش افزوده است، با ایجاد بستر مناسب برای صنعتی شدن این طرح، همراه با کاهش ۱۰ درصدی خروجی این تیکنر باطله می‌توان به تولید محصول جانبی و ایجاد ارزش افزوده بالا دست یافت.

۵- سپاس‌گزاری

این مقاله، از پایان نامه تحت حمایت مجتمع معدنی و صنعتی گل‌گهر سیرجان استخراج شده است. تامین نمونه معدنی از تیکنرهای باطله، انجام آزمایش‌های پرعیارسازی در آزمایشگاه مدیریت تحقیقات و فناوری و آنالیزهای عیارسنجی، کانی‌شناسی و میکروسکوپی همگی با حمایت آن مجتمع انجام شده‌اند.

۶- مراجع

- [1] Rankin, W. (2015). "Towards zero waste". AusIMM Bulletin, 32-37.
- [2] Lottermoser, B. G. (2011). "Recycling, reuse and rehabilitation of mine wastes". Elements, 7(6): 405-410.
- [3] پناهی، ا.؛ ۱۳۸۹؛ "امکان‌سنجی تولید کنسانتره سنگ آهن از باطله‌های جدید کارخانه فرآوری مجتمع سنگ آهن گل‌گهر سیرجان". پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه کاشان.
- [4] Virta, R. L. (1987). "Talc and pyrophyllite". US Government Printing Office.
- [5] Baba, A. A., Ibrahim, A. S., Bale, R. B., Adekola, F. A.,

بازیابی وزنی خواهد داشت.

در صورتی که آزمایش‌های فلوتاسیون با استفاده از PPG به عنوان کف‌ساز در pH=۱۱ و بدون کلکتور انجام شود، بالاترین محتوای تالک در کنسانتره را به دنبال خواهد داشت. در صورتی که آزمایش‌های فلوتاسیون را با استفاده از PPG به عنوان کف‌ساز در pH=۷ و در غلظت بالای کلکتور (۱۰۰۰ گرم بر تن ماده معدنی) انجام شود، بالاترین بازیابی وزنی را خواهیم داشت.

نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان داد که محصول تولید شده از نظر وزنی بیش از ۱۰ درصد از مواد خروجی تیکنر باطله مرکزی مجتمع گل‌گهر را شامل می‌شود.

سینتیک شناوری تالک به خوبی از مدل مرتبه اول ایمایزومی، اینو و لاودی و همچنین مدل کلاسیک مرتبه دوم پیروی می‌کند.

- C., and Xu, P.-F. (2022). "Selective flotation separation of chalcopyrite from talc by a novel depressant: N-methylene phosphonic chitosan". Minerals Engineering, 177: 107367.
- [17] Wu, W., Chen, T., Shao, Y., Ye, G., and Tong, X. (2022). "The flotation separation of molybdenite from talc using zinc sulfate in sodium silicate system and related mechanism". Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 641: 128451.
- [18] Li, B., Shi, Q., Miao, B., Liu, D., Jin, S., and Wang, Z. (2023). "Application of exopolysaccharide directionally synthesized by *Xanthomonas campestris* as the green selective depressant for the clean flotation of talc: Statistical optimization and mechanism analysis". Journal of Cleaner Production, 383: 135381.
- [19] Walczyk, A., Napruszewska, B. D., Kryściak-Czerwenka, J., Duraczyńska, D., Karcz, R., Serwicka, E. M., Jeleń, P., Sitarz, M., and Olejniczak, Z. (2023). "Talc modified by milling and alkali activation: Physico-chemical characterization and application in base catalysis". Applied Clay Science, 232: 106768.
- [20] Xue, J., Tu, H., Shi, J., An, Y., Wan, H., and Bu, X. (2023). "Enhanced inhibition of talc flotation using acidified sodium silicate and sodium carboxymethyl cellulose as the combined inhibitor". International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials, 30: 1310-1319.
- [21] Ahmed, M. M., Ibrahim, G. A., and Hassan, M. M. (2007). "Improvement of Egyptian talc quality for industrial uses by flotation process and leaching". International Journal of Mineral Processing, 83(3-4): 132-145.
- [22] Ahmed, M. M., Ibrahim, G. A., and Hassan, M. M. (2011). "Beneficiation of talc ore". In Book: Earth and Environmental Sciences, 241-272.
- [23] Bahrami, A., Ghorbani, Y., Hosseini, M. R., Kazemi, F., Abdollahi, M., and Danesh, A. (2019). "Combined effect of operating parameters on separation efficiency and kinetics of copper flotation". Mining, Metallurgy & Exploration, 36: 409-421.
- [24] Wills, B. A., and Finch, J. A. (2016). "Chapter - 12 Froth Flotation". In Wills' Mineral Processing Technology (Eighth Edition), Wills, B. A. and Finch, J. A. (Eds.), Boston: Butterworth-Heinemann, 265-380.
- [25] Khoshdast, H., and Sam, A. (2011). "Flotation frothers: review of their classifications, properties and preparation". The Open Mineral Processing Journal, 4(1): 25-44.
- and Alabi, A. G. (2015). "Purification of a Nigerian talc ore by acid leaching". Applied Clay Science, 114: 476-483.
- [6] Marzbani, P., Resalati, H., Ghasemian, A., and Shakeri, A. (2013). "Talc, a multi-purpose filler: A review of talc's features and improvement methods of its efficiency". Annals of Biological Research, 4(6): 159-162.
- [7] Muhammad, N., Ahmad, W., Khan, M., Salman, M., and Ali, A. (2021). "Purification and Removal of Hematite from Talc by Acid Leaching Assisted by Chlorination Techniques". Mining, Metallurgy & Exploration, 38(5): 2239-2247.
- [8] Yehia, A., and Al-Wakeel, M. (2000). "Talc separation from talc-carbonate ore to be suitable for different industrial applications". Minerals Engineering, 13(1): 111-116.
- [9] Ann Bazar, J., Rahimi, M., Fathinia, S., Jafari, M., Chipakwe, V., and Chehreh Chelgani, S. (2021). "Talc Flotation—An Overview". Minerals, 11(7): pp. 662.
- [10] Pressacco, R. (2012). "Technical report on the initial mineral resource estimate for the bell creek mine, hoyle township, timmins, ontario, canada". Amarc Resources Ltd., Central British Columbia, Canada.
- [11] Brezáni, I., Zeleňák, F., and Zeleňák, M. (2013). "Collectorless flotation of talc-magnesite ore with respect to particle size". Acta Montanistica Slovaca, 18(3): 198-205.
- [۱۲] نثار، س؛ ۱۳۹۵؛ "بهبودسازی پارامترهای موثر بر فلوتاسیون کانی تالک معدن تیدار-استان لرستان". پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه لرستان.
- [13] Barani, K., and Aghazadeh, V. (2018). "Removal of impurities from talc ore by leaching method". Journal of Chemical Technology and Metallurgy, 53(2): 296-300.
- [14] Baba, A. A., Akinribido, J. P., and Raji, M. A. (2021). "Upgrading of a Nigerian Vermiculite-Phillipsite Rich Talc Ore by Flotation-Cum-Acid Leaching Routes for Industrial Applications". Materials Circular Economy, 3(1): 1-9.
- [15] Luckeneder, C., Gehringer, S., and Flachberger, H. (2022). "Applicability of electrostatic separation on talc-containing mineral samples for production of a high-grade talc concentrate in comparison to flotation". BHM Berg-und Hüttenmännische Monatshefte, 167(8): 381-385.
- [16] Ye, W.-L., Zhang, X.-G., Pan, C.-L., Hu, X.-Q., Luo, Y.-