Journal of Mineral Resources Engineering, 10(3): 39-53, (2025)

Imam Khomeini International University
Vol. 10, No. 3, Autumn 2025

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

Research Paper

# Analysis of Factors Affecting In-pit Dumping in Metallic Open Pit Mines

**Fattahi M.H.[1], Ataee-pour M.[2*]**

1- M.Sc, Dept. of Mining Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran
2- Associate Professor, Dept. of Mining Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran

**Received: 11 Nov. 2023** **Accepted: 04 Aug. 2024**

***Abstract:*** In today's world, industries and societal advancements have compelled the mining sector to extract greater quantities of minerals. Open-pit mining, known for its high productivity, generates substantial amounts of waste. It is essential to dump this waste, but the dumping of mine wastes can lead to various issues, including environmental degradation, future space constraints, and increased transportation costs. A potential solution is the in-pit dumping approach; however, this method, which has been effectively employed in surface mines like coal, requires careful consideration of whether it can be adapted to open-pit operations. The aim of this study is to explore the feasibility of an in-pit dumping approach in open-pit metal mines and to evaluate the influencing factors. We begin by identifying the key elements that affect in-pit dumping, followed by a geometric analysis of several of these factors, including the length, slope, and thickness of the deposit, as well as overburden volume and the ratio of length to thickness. This analysis is conducted in two dimensions. After assessing the sensitivity of these influential factors, we determine that the most critical is the ratio of horizontal extent to vertical extent — or the ratio of length to thickness of the deposit. Our findings suggest that the optimal ratio lies between 6 and 7. This indicates that maintaining the ratio within this range allows for maximum in-pit dumping of waste in open pit mines.

***Keywords:*** Metal deposit, Open pit mines, Waste dumping, Geometric factors, Sensitivity analysis.

**How to cite this article**
Fattahi, M. H., and Ataee-pour, M. (2025). *"Analysis of factors affecting in-pit dumping in metallic open pit mines"*. Journal of Mineral Resources Engineering, 10(3): 39-53.
DOI: 10.30479/jmre.2024.19532.1671

*Corresponding Author Email: *map60@aut.ac.ir*

COPYRIGHTS
©2025 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

This paper investigates the feasibility of the in-pit dumping approach (IPD) in open-pit mining, particularly focussing on metal mines. As surface mineral reserves dwindle, it is vital to explore methods that enhance net present value and reduce operational costs. The main issue addressed is the environmental impacts and logistical challenges associated with traditional external waste dumping. Existing literature emphasizes the significant environmental risks linked to external waste dumping management, highlighting the inefficiencies and costs involved in land rehabilitation. Previous studies have shown that in-pit dumping can alleviate these issues while improving waste management efficiency. However, most research has focused on layered deposits, particularly coal, leaving a gap in insights regarding non-layered resources. This research utilizes a geometric analysis to evaluate conditions favorable for implementing IPD in open-pit mining. Key factors, such as the horizontal extent and overburden thickness, are examined to assess their influence on the viability of in-pit dumping. A base model is developed to quantify these effects, along with sensitivity analysis to identify the most impactful variables. The findings indicate that the in-pit dumping approach in open pit mines can be applicable when specific conditions are met, notably a horizontal extent-to-thickness ratio of the roe body between 6 and 7. This approach demonstrates the potential for substantial cost savings and improved operational efficiency, offering a viable alternative to traditional waste management methods. The study contributes important insights for optimizing waste dumping strategies in open-pit metal mines.

## METHODS

This study conducts a geometric analysis to evaluate the parameters affecting in-pit dumping and their sensitivity. A hypothetical two-dimensional model of a mine was developed to analyze various factors impacting in-pit dumping. The findings highlight several geometric characteristics that significantly influence the feasibility of this method: Deposit Shape, Deposit Thickness, Deposit Slope, Horizontal Extent and Spread, Overburden, and Topography. Quantitative analysis of these factors is essential. In this research, one parameter was systematically varied while keeping four others constant to examine its effect on in-pit dumping and to graph the results. Subsequently, the influences of these factors were compared to analyze their sensitivity.

The geometric analysis in this study is based on a foundational model. A hypothetical rectangular deposit, measuring 80 meters in length and 20 meters in thickness, is considered at a depth of 30 meters from the surface, with a slope of zero degrees. It is assumed that the entire deposit is extractable, and the surface is treated as entirely flat. This deposit is extracted using a two-dimensional pit with a stable slope of 45 degrees. Figure 1 illustrates the initial conditions of the hypothetical mine. The swell factor is estimated to be between 30% and 40%, with an average of 35% used for calculations.

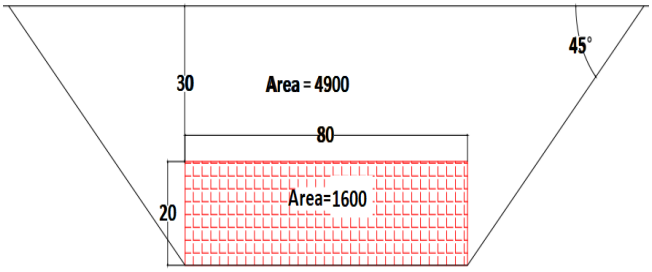



**Figure 1.** Initial condition of hypothetical mine for geometric analysis

## FINDINGS AND ARGUMENT

According to Figure 2, the most sensitive factor influencing in-pit dumping across the entire pit is the horizontal extent of the deposit, as demonstrated by the steepest slope in the sensitivity analysis chart. The length-to-thickness ratio indicates the horizontal to vertical extent of the deposit; thus, assessing the horizontal extent in relation to its vertical counterpart is crucial before evaluating other influential factors. The second most sensitive parameter is the deposit thickness, which significantly impacts the percentage

of IPD. An optimal thickness exists, maximizing the in-pit dumping percentage while accommodating the maximum amount of waste. This optimal point corresponds to a length-to-thickness ratio between 6 and 7. The deposit slope and the amount of overburden are the next two most sensitive factors. Generally, increases in these parameters lead to a decrease in the percentage of in-pit dumping. While slope affects IPD in a nearly linear relationship, the overburden's impact is non-linear; initially, increases in overburden substantially reduce the IPD percentage, but beyond a certain point, this effect may neutralize. Lastly, deposit length demonstrates the least sensitivity to IPD. This parameter positively correlates with the IPD percentage—an increase in length leads to an increase in IPD. However, similar to overburden, this relationship is not linear; initially, longer deposits boost the percentage, but after a certain point, the rate of increase diminishes significantly.

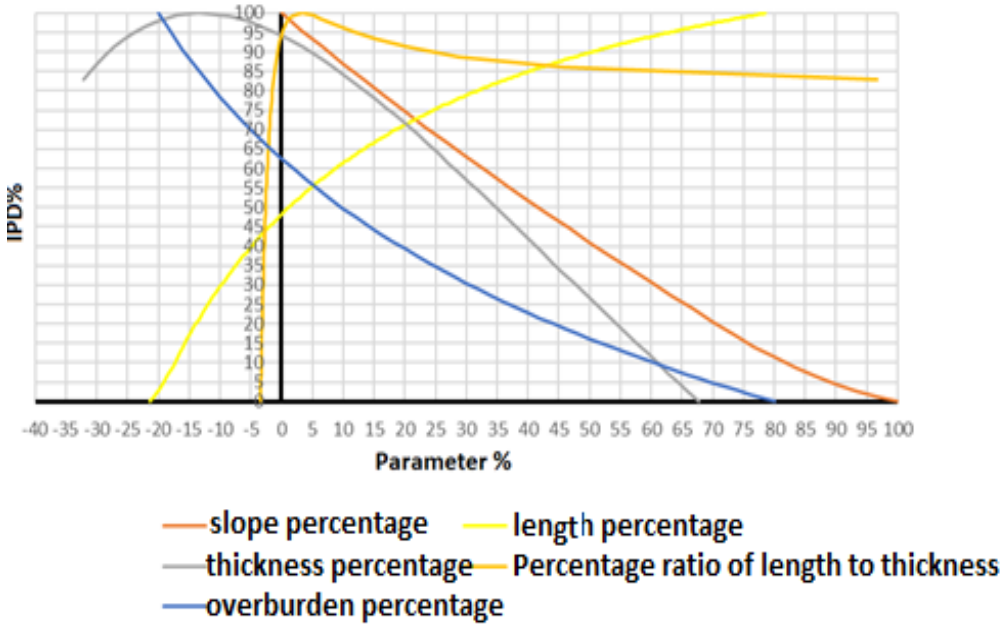



**Figure 2.** Sensitivity analysis of ipd percentage to different parameters

## CONCLUSIONS

The goal of this study is to examine in-pit dumping in metallic open-pit mines and analyze the factors influencing it. To achieve this, the study first identifies the key conditions under which an in-pit dumping approach can be implemented, pinpointing the most significant influencing factors. Additionally, it seeks to estimate the potential volume of in-pit dumping under optimal conditions. To assess the impact of various parameters—such as deposit slope, length, thickness, overburden, and length-to-thickness ratio—a two-dimensional geometric analysis was conducted using AutoCAD. Results indicate that the most critical factor is the horizontal-to-vertical extent ratio, with an optimal ratio between 6 and 7, allowing for maximum waste to be dumped within the pit. Other factors like deposit slope and overburden also play significant roles. However, this geometric analysis has limitations:

1. It is two-dimensional, which may yield different results for three-dimensional deposits.
2. It is based on a model with fixed initial conditions, meaning variations in these conditions could produce different results.

While the findings are applicable under ideal conditions as per the base model, they require further detailed analysis for real deposits. Nonetheless, this study provides a solid foundation for exploring the nuances of the in-pit dumping approach in open-pit mining, helping to estimate the overall potential for in-pit dumping within the pit.

## REFERENCES

[1] Osanloo, M. (2001). *"Mine Reclamation"*. Amirkabir University of Technology Publications, Tehran. (In Persian)

[2] Li, Y., Topal, E., and Ramazan, S. (2014). *"Optimising the long-term mine waste dump progression and truck hour schedule in a large-scale open pit mine using mixed integer programming"*. In: Orebody Modelling and Strategic Mine Planning SMP 2014 Symposium, Nov. 24, Perth: The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 335-344.

[3] Lizotte, Y., and Bonates, E. (1987). *"Truck and shovel dispatching rules assessment using simulation"*. Mining Science and Technology, 5(1): 45-58.

[4] Singh, P., Kainthola, A., Singh, R., Gupte, S. S., Maji, V., and Singh, T. N. (2013). *"Estimation of critical parameters for slope instability in an in-pit mine dump"*. Society of Geoscientists and Allied Technologists Bulletin, 14(1): 34-44.

[5] Das, R., Topal, E., and Mardaneh, E. (2022). *"Improved optimised scheduling in stratified deposits in open pit mines–using in-pit dumping"*. International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 36(4): 287-304.

[6] Selyukov, A. (2015). *"Technological significance of internal dumping in open pit coal mining in the Kemerovo Region"*. Journal of Mining Science, 51(5): 879-887.

[7] Badiozamani Tari Nazari, M. M. (2014). *"An Integrated Optimization Model for Strategic Open-Pit Mine Planning and Tailings Management"*. Ph.D. Thesis, University of Alberta. DOI: https://doi.org/10.7939/R3QV3CC13.

[8] Selukov, A. V. (2014). *"Advanced technology based on new technological and organizational principles of spatial development of front of mining operations at open pits"*. In: Taishan Academic Forum–Project on Mine Disaster Prevention and Control, Atlantis Press.

[9] Das, R., Topal, E., and Mardaneh, E. (2022). *"A Review of Open Pit Mine Waste Dump Management Planning"*. Available at SSRN 4191439, pp. 30. DOI: https://doi.org/10.2139/ssrn.4191442.

[10] Verma, D., Kainthola, A., Gupte, S., and Singh, T. (2013). *"A finite element approach of stability analysis of internal dump slope in Wardha valley coal field, India, Maharashtra"*. American Journal of Mining and Metallurgy, 1(1): 1-6.

[11] Sakantsev, G., and Cheskidov, V. (2014). *"Application range of internal dumping in opencast mining of steep mineral deposits"*. Journal of Mining Science, 50(3): 501-507.

[12] Rimélé, M. A., Dimitrakopoulos, R., and Gamache, M. (2018). *"A stochastic optimization method with in-pit waste and tailings disposal for open pit life-of-mine production planning"*. Resources Policy, 57: 112-121.

[13] Das, R., Topal, E., and Mardenah, E. (2019). *"Optimised Pit Scheduling Including In-Pit Dumps for Stratified Deposit"*. In: Topal, E. (Eds.), Proceedings of the 28th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection, Springer Series in Geomechanics and Geoengineering, Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-33954-8_4.

[14] Mukonki, P. (2017). *"Proposal of a Multimine Scheduling Approach in the Process of improving economics of a large-scale mining copper project (Case study of KOV pit and Mashamba East pit combined, in the Democratic Republic of the Congo)"*. In: Conference: IMCET2017, Antalya, Turkey, April 11-14, 516-527.

[15] Anisimov, O. (2018). *"Research on parameters of the working area on an internal Dump for developing open pits"*. Scientific Bulletin of National Mining University, 2018(1): 27-34. DOI: https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-1/17.

[16] Fu, Z., Asad, M. W. A., and Topal, E. (2019). *"A new model for open-pit production and waste-dump scheduling"*. Engineering Optimization, 51(4): 718-732.

[17] Babets, Y., Adamchuk, A., Shustov, O., Anisimov, O., and Dmytruk, O. (2020). *"Determining conditions of using draglines in single-tier internal dump formation"*. Scientific Bulletin of National Mining University, 2020(6) 5-14. DOI: https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-6/005.

[18] Atman Khel, A. A. (2022). *"Design and planning of production of open pit mines with the approach of reducing waste displacement"*. Faculty of Mining Engineering, Tarbiat Modares University. (In Persian)

[19] Shahmoradi, Y. (2023). "*Mathematical modeling of production planning of open pit mines considering the accumulation inside Kavak*". Faculty of Mining Engineering. Tarbiat Modares University. (In Persian)

[20] Fatahi, M. H., and Ataipour, M. (2023). *"The approach of in-pit dumping is a solution to deal with the destructive effects of surface mining"*. In: The Third Conference on Mining and Green Mining Industries of Iran, Zanjan University, Zanjan. (In Persian)

نشریه مهندسی منابع معدنی، سال ۱۴۰۴، دوره دهم، شماره ۳، ص ۵۳-۳۹

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

دوره دهم، شماره ۳، پاییز ۱٤۰٤، صفحه ٤۳ تا ۵۳
Vol. 10, No. 3, Autumn 2025, pp. 43-53

علمی-پژوهشی

# تحلیل عوامل موثر بر انباشت درون معدنی باطله در معادن روباز فلزی

محمد حسین فتاحی[۱]، مجید عطایی پور[۲*]

۱- کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران

۲- دانشیار، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران

دریافت: ۱٤۰۲/۰۸/۲۰ پذیرش: ۱٤۰۳/۰۵/۱٤

## چکیده

امروزه نیاز صنایع و پیشرفت جوامع، صنعت معدنکاری را به تولید بیشتر مواد معدنی واداشته است. روش استخراج روباز به عنوان یک روش با تولید بالا، با تولید حجم زیادی از باطله نیز همراه است. در این روش، باطله تولید شده باید در محلی انباشت شود. انباشت باطله‌های معدن مشکلاتی مانند آسیب‌های محیط زیستی، کمبود فضا در آینده و هزینه حمل را به دنبال خواهد داشت. رویکرد انباشت باطله‌ها درون کاواک می‌تواند به عنوان راهی کارگشا برای حل این مشکل باشد؛ اما از آنجا که این رویکرد از معادن سطحی مثل زغال گرفته شده است باید دید که در چه شرایطی برای معادن روباز امکان پیاده‌سازی دارد، بنابراین هدف از مطالعه حاضر بررسی انباشت درون معدنی باطله‌ها در معادن روباز فلزی و تحلیل عوامل موثر بر آن است. در این تحقیق پس از معرفی عوامل موثر بر انباشت درون معدنی به تحلیل هندسی برخی از این عوامل نظیر طول، شیب و ضخامت ذخیره، میزان روباره و نسبت طول به ضخامت ذخیره به صورت دوبعدی پرداخته شد. پس از تحلیل حساسیت عوامل موثر در این رویکرد، مهم‌ترین عامل نسبت گستردگی افقی به گستردگی قائم یا همان نسبت طول به ضخامت ذخیره به دست آمد. نتایج نشان می‌دهد که بهترین حالت این نسبت بین ۶ تا ۷ است. بدین معنا که اگر نسبت یاد شده بین این دو عدد باشد، حداکثر باطله درون کاواک را می‌توان به صورت درونی انباشت کرد.

## کلمات کلیدی

کانسار فلزی، معادن روباز، انباشتگاه باطله، عوامل هندسی، تحلیل حساسیت.

**استناد به این مقاله**

فتاحی، م. ح.، عطایی پور، م.؛ ۱۴۰۴؛ "**تحلیل عوامل موثر بر انباشت درون معدنی باطله در معادن روباز فلزی**". نشریه مهندسی منابع معدنی، دوره دهم، شماره ۲، ص ۵۳-۳۹.

DOI: 10.30479/jmre.2024.19532.1671

*نویسنده مسئول و عهده دار مکاتبات Email: map60@aut.ac.ir

حق‌مؤلف © نویسندگان
ناشر: دانشگاه بین المللی امام خمینی(ره)

## ۱- مقدمه

با توجه به اینکه بخش اعظم ذخایر سطحی استخراج شده‌اند، استفاده از روش‌هایی برای افزایش ارزش خالص فعلی یا کاهش هزینه‌ها بسیار ارزشمند خواهد بود. روش‌های استخراج سطحی شامل چندین روش بوده که مهم‌ترین آن‌ها روش استخراج روباز[۱] است. این روش علاوه بر ایمنی و تولید بالای مواد معدنی، در اثر تولید و انباشت زیاد مواد باطله آسیب‌های محیط زیستی چشمگیری به زمین و طبیعت وارد می‌کند.

انباشتگاه خارجی باطله یا انباشت باطله‌ها در خارج از کاواک معدن[۲] به بازسازی[۳] نیاز دارند و این موضوع امری ضروری در بازسازی معادن محسوب می‌شود. بازسازی به عملیاتی اطلاق می‌شود که موجب آماده‌سازی زمین‌های استخراج شده برای استفاده مجدد می‌گردد. فرآیند بازسازی معادن فرآیندی است که طی آن پس از اتمام عملیات استخراج باید شرایط زمین معدنکاری شده حتی‌الامکان به شرایط قبل از استخراج برگردد [۱] که این امر برای معادنی با انباشتگاه‌های خارج از کاواک باطله هزینه‌بر و زمان‌بر است. معمولا فضاهای خالی دوباره پر شده و پوشش گیاهی داده می‌شود تا زمین قابل استفاده حاصل شود، پس از اتمام عملیات استخراج معمولا انباشتگاه خارجی باطله‌ها تسطیح می‌شوند که امری هزینه‌بر است[۲]. رویکرد مرسوم انباشت باطله‌ها در خارج از کاواک رویکردی هزینه‌بر و با اثرات نامطلوب است. در مقابل، رویکرد انباشت باطله‌ها درون کاواک (ipd)[۴] می‌تواند رویکردی مناسب و پاسخگو در برابر اثرات نامطلوب ناشی از معدنکاری روباز باشد. در این رویکرد باطله‌های ناشی از استخراج معدن درون خود کاواک و حین اجرای عملیات استخراج انباشت می‌شود. از مزایای انباشت درون معدنی می‌توان به کاهش هزینه حمل باطله، بازسازی حین استخراج و کاهش هزینه و زمان بازسازی، کاهش اثرات محیط زیستی، کاهش تغییر مناظر و اکوسیستم اطراف معدن اشاره کرد.

رویکرد انباشت درون معدنی باطله‌ها در روش استخراج سطحی یا نواری اجرا می‌شود. هرچه امتداد یا گستردگی افقی ذخیره بیشتر باشد (ذخیره نزدیک به حالت افقی باشد) و همچنین مقدار ضخامت روباره بر روی ذخیره معدنی کمتر باشد، اجرای این رویکرد مطلوب‌تر است. در این پژوهش، هدف آن است که بررسی شود در چه شرایطی امکان پیاده‌سازی این رویکرد در روش روباز وجود دارد. در واقع، هدف از مطالعه حاضر بررسی انباشت درون معدنی باطله‌ها در معادن روباز فلزی و تحلیل عوامل موثر بر آن است.

## ۲- انباشت باطله

در معدنکاری به روش روباز برداشت مقدار زیادی باطله و انباشت آن در جایی مناسب امری گریزناپذیر است. این باطله‌برداری هزینه‌بر و بسیار بر میزان ارزش خالص فعلی اثرگذار است. به گفته برخی منابع هزینه حمل و نقل مواد استخراجی بین ۴۰ تا ۶۰ درصد از هزینه‌های استخراج را شامل می‌شود [۳]، بنابراین هرچه محل انباشت باطله‌ها به کاواک نزدیک‌تر و طول مسیر حمل برای انباشت باطله‌ها کمتر باشد این هزینه نیز کاهش خواهد یافت و به تبع میزان ارزش خالص فعلی افزایش می‌یابد. روش مرسوم انباشت باطله، انباشتگاه خارجی باطله است که این مواد به مکانی دور از مناطق تولید ماده معدنی یا به مناطقی در اطراف کاواک منتقل می‌شوند. این روش به دلایل واضحی مانند کمبود زمین، هزینه حمل و نقل اضافی و مشکلات پایداری بیشتر در انباشتگاه مناسب نیست [۴]. از معایب انباشتگاه خارجی باطله می‌توان گفت که نیاز به پاک‌سازی درخت و یک سطح مورد نیاز برای اجرا دارد. بهترین کار این است که بتوان این منطقه را به حداقل رساند و در عین حال میزان ارزش اقتصادی پروژه را بالا نگه داشت [۵]. انباشت باطله به روش مرسوم در خارج از کاواک اثرات محیط زیستی نامطلوبی را در محل انباشت به دنبال دارد و علاوه بر اشغال زمین‌های اطراف که هزینه زمین‌های تهیه شده اطراف معدن در محدوده معدنی را افزایش می‌دهد، به تغییر مناظر و زیست بوم محیط اطراف معدن منجر خواهد شد. در مقابل، رویکرد انباشت درون کاواک باطله‌ها می‌تواند با اهداف مختلفی انجام شود؛ یکی از این اهداف کاهش هزینه‌های حمل است که می‌تواند به افزایش ارزش خالص فعلی منجر شود. این روش مشکلات استفاده از زمین اضافی برای تخلیه و همچنین هزینه حمل و نقل اضافی را کاهش می‌دهد که به شدت بر تولید و اقتصاد معدن تاثیر می‌گذارد؛ اما مسایلی مانند ناپایداری ناشی از بارندگی زیاد، ارتعاش مداوم زمین و دیگر عوامل ممکن است مشکلات شدیدی ایجاد کرده و تولید معدن را با مشکل مواجه کند [۴].

مجموع موارد یاد شده به افزایش ارزش خالص فعلی و کاهش اثرات نامطلوب محیط زیستی ناشی از معدنکاری منجر می‌شود. هرچند که اجرای رویکرد انباشت درونی باطله‌ها به

شرایط خاص از ذخیره و ماده معدنی نیاز دارد و در همه معادن و ذخایر قابل اجرا نیست.

مطابق شکل ۱ در روش انباشت درون معدنی باطله‌ها، یک محدوده معدن روباز به پیشروی‌هایی[۵] تقسیم و استخراج در راستای افق و از یک گوشه شروع می‌شود. پیشروی اول با انباشت خارجی تا عمق نهایی استخراج و باطله حاصل از پیشروی‌های بعدی پس از استخراج پیشروی قبلی در فضای خالی استخراج شده انباشته می‌شود [۷،۶].

**شکل ۱: نحوه پیشروی و انباشت درون یک کاواک روباز [۸]**

از آنجایی که جهت پیشرفت معدن و پر کردن یکسان است، حفظ فاصله ایمن کاری بین جبهه‌کار استخراجی و انباشت باطله ضروری است. این فاصله همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است فاصله ایمنی[۶] نامیده می‌شود. محدودیت فاصله ایمنی، فضای کاری بین جبهه معدن و قسمت جلوی انباشت درون کاواک را تضمین می‌کند. بخش بزرگی از این هزینه را می‌توان با استفاده از پر کردن کاواک یا انباشتگاه داخلی باطله کنترل کرد [۹].

اتخاذ رویکرد انباشت درون معدنی بر برنامه‌ریزی تولید معدن بسیار تاثیرگذار است. رویکردی که به طور معمول در معادن روباز برای برنامه‌ریزی تولید و استخراج استفاده می‌شود کاواک‌های تودرتو[۷] است؛ اما با اتخاذ رویکرد انباشت باطله‌ها درون معدن توالی استخراج نیز تحت تاثیر قرار می‌گیرد [۵].

حذف کامل انباشتگاه خارجی غیرممکن است چون باطله حاصل از پیشروی اول باید به صورت خارجی انباشت و بعد از آن در صورت وجود شرایط انباشت داخلی انجام شود. رویکرد انباشت درون کاواک باطله‌ها ابتدا در ذخایر لایه‌ای مثل زغال با روش استخراج سطحی یا نواری[۸] اجرا شده است [۱۰].

به طور عام کانسارهای لایه‌ای به صورت جانبی و افقی گسترش دارند؛ اما در راستای عمود محدودیت دارند و کم‌عمق هستند به همین دلیل معادنی مانند زغال‌سنگ دارای چندین کیلومتر امتداد هستند و همین موضوع قابلیت اجرای انباشت درون کاواک را در این معادن به علل مختلفی مانند کاهش هزینه حمل و نقل و یا کاهش هزینه بازسازی و نظایر آن امکان‌پذیر می‌کند در حالی که برای ذخایر توده‌ای یا رگه‌ای این کار خیلی کم انجام می‌شود [۱۱].

در این پژوهش اما هدف آن است که بررسی شود در چه شرایطی امکان پیاده‌سازی این رویکرد در روش روباز وجود دارد.

در پژوهشی در قالب تحلیل ریاضی مساله، یک مدل ریاضی برنامه عدد صحیح تصادفی برای جابه‌جایی مواد سنگی باطله ارایه شد. این مدل به طور همزمان برنامه استخراج و مقصد مواد را بهینه می‌کند که شامل ذخیره‌سازی درون کاواک است. این مدل در یک معدن روباز آهن پیاده‌سازی شده است [۱۲]. در تحقیقی بر روی برنامه‌ریزی استخراجی معدن با استراتژی انباشت باطله درون کاواک بحث و بررسی شده است که در یک معدن روباز لایه‌ای زغال‌سنگ پیاده‌سازی شده است [۱۳]. در پژوهشی دیگر یک مدل ریاضی برای به حداکثر رساندن ارزش خالص فعلی معادن روباز با ذخایر لایه‌ای توسعه داده شده است، در حالی که نه تنها گزینه انباشت خارجی بلکه انباشت درون معدنی را نیز در نظر می‌گیرد. در این پژوهش اشاره‌ای به ذخایر غیرلایه‌ای نشده است [۵]. با هدف کاهش حجم انباشت باطله به صورت خارجی و ایجاد امکان توسعه کاواک در آینده، در معدن مس ماشامبا[۹] از رویکرد انباشت درون کاواک باطله‌ها استفاده شد. اگرچه این پژوهش مستقیما به موضوع برنامه‌ریزی تولید معادن روباز غیرلایه‌ای با رویکرد انباشت درون معدنی پرداخته و در یک معدن واقعی نیز پیاده‌سازی شده است، اما بیشتر به صورت مطالعه موردی است و به تحلیل عوامل موثر در این رویکرد نپرداخته است [۱۴]. کار تحقیقاتی دیگری برای اثبات شرایط ذخیره‌سازی ایمن سنگ‌های روباره در فضای استخراج شده معدن روباز، انجام و منتشر شد. مطالعات بر روی تاثیر سطح آب زیرزمینی بر شرایط پایداری انباشت باطله درون معدنی انجام شده است. این پژوهش بیشتر با هدف بررسی ژئوتکنیکی و پایداری شیب انباشتگاه باطله در معادن روباز با استخراج نواری انجام گرفته است [۱۵]. در پژوهشی دیگر در قالب تحلیل ریاضی مدلی MIP ارایه شد که به طور همزمان برنامه استخراج کاواک و انباشت درون معدنی را بهینه کرد. این مدل انباشت درون کاواک را با فاصله ایمنی پویا در نظر می‌گیرد که در یک معدن روباز طلا به عنوان مطالعه موردی تحقیق پیاده‌سازی شد [۱۶]. همچنین در تحقیقی چنین بیان شد که در حال حاضر یکی از مهم‌ترین مشکلات استخراج سطحی سنگ‌آهن با افزایش عمق کاواک

روباز بیش از ۵۰۰ متر، به دلیل کاهش ظرفیت انباشتگاه‌های موجود از سنگ‌های روباره، انباشت باطله‌های جدید است و از انباشت درون معدنی برای رفع این مشکل استفاده شده است. این پژوهش نیز بیشتر به مباحث پایداری شیب انباشتگاه درون معدنی پرداخته است [۱۷]. در پژوهش دیگری بر روی مفهوم انباشت باطله‌ها درون کاواک معادن روباز فلزی و اثر این رویکرد بر برنامه‌ریزی تولید معدن تحقیق شده و این رویکرد در یک معدن فلزی روباز فرضی با شرایط ایده‌آل برای انباشت درون معدنی اجرا شده است [۱۸]. در تحقیقی دیگر به ارایه برنامه‌ریزی تولید معادن روباز با مفهوم انباشت باطله‌ها درون کاواک و با در نظرگیری اثرات محیط زیستی در قالب یک مدل ریاضی پرداخته شده است که در انتها در یک معدن روباز زغال پیاده‌سازی شد [۱۹]. اخیرا در قالب تحلیل هندسی به بررسی دو عامل موثر بر رویکرد انباشت درون کاواک باطله‌ها پرداخته شده است. این عوامل شامل طول ذخیره و شیب ذخیره است که مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته و نتایج، حاکی از حساسیت بیشتر عامل شیب ذخیره در میزان انباشت درون معدنی باطله است [۲۰].

در واقع عمده تحقیقات یاد شده یا به تحلیل ریاضی مساله و یا به ذخایر لایه‌ای با محوریت زغال پرداخته‌اند در حالی که در این پژوهش تحلیل هندسی بر روی عوامل موثر در انباشت درون معدنی برای ذخایر روباز غیرلایه‌ای انجام می‌گیرد. با توجه به اهمیت و تاثیر انباشت درون معدنی باطله‌ها در هزینه استخراج، در این تحقیق به بررسی و تحلیل عوامل موثر آن پرداخته شد. ابتدا، این عوامل مطالعه و شناسایی شدند، سپس با ارایه یک مدل پایه، تاثیر هر یک از این عوامل بر امکان انباشت درون معدنی و کمی‌سازی آن مطالعه شد. در نهایت تحلیل حساسیت این عوامل بررسی شد.

## ۳- روش تحقیق

رویکرد انباشت باطله‌ها در معدن برای هر نوع ذخیره قابل اجرا نیست و شکل و هندسه ذخیره در قابلیت اجرا و میزان انباشت درونی بسیار مهم است. در این قسمت از پژوهش با هدف بررسی پارامترها و عوامل موثر بر انباشت درون معدنی و همچنین میزان حساسیت این عوامل بر میزان انباشت درون معدنی، به تحلیل هندسی این رویکرد پرداخته شد. در این تحلیل یک معدن فرضی به صورت دو بعدی ترسیم شد و به تحلیل تاثیر عوامل مختلف بر میزان انباشت درون معدنی پرداخته شد.

با بررسی عوامل مختلف می‌توان دریافت که ویژگی‌های هندسی کانسار تاثیر مهمی بر امکان‌پذیری انباشت درون معدنی دارند. در زیر به مهم‌ترین این عوامل اشاره شده است:

- شکل ذخیره: همان‌طور که قبلا اشاره شد این رویکرد اولین‌بار برای ذخایر لایه‌ای یا صفحه‌ای مطرح و اجرا شده است، بنابراین هرچه شکل ذخیره به ذخایر لایه‌ای نزدیک‌تر باشد امکان اجرای انباشت درون معدنی هم بیشتر می‌شود.
- ضخامت ذخیره: ذخیره با ضخامت کم (در حین ثابت بودن دیگر ابعاد ذخیره)، به حالت ذخایر لایه‌ای نزدیک‌تر است که برای اجرای انباشت درون معدنی مناسب است. همچنین در نگاه اول با فرض ثابت بودن میزان روباره ماده معدنی، ضخامت ذخیره بیانگر میزان عمیق بودن کف کاواک استخراجی مورد نیاز برای برداشت آن ذخیره است که در این رویکرد هرچه کف کاواک کمتر به عمق رفته باشد برای اجرای انباشت درون معدنی مطلوب‌تر است چرا که مقدار باطله کمتری درون کاواک قرار خواهد گرفت.
- شیب ذخیره نسبت به افق: همچنین هرچه شیب ذخیره کمتر باشد و نزدیک به حالت افقی باشد برای اجرای این رویکرد مطلوب‌تر است چرا که اگر ذخیره به صورت شیب‌دار باشد و به عمق رفته باشد از آنجا که استخراج و توالی استخراج به صورت جهتی و در یک راستا است، با پیشرفت استخراج مقدار باطله‌برداری بیشتر می‌شود و ممکن است نتوان همه ذخیره را با این رویکرد استخراج کرد.
- میزان امتداد و گستردگی ذخیره در راستای افق: از جمله این شرایط امتداد یا گستردگی ذخیره است به گونه‌ای که ذخیره باید در یک جهت در راستای افق نسبت به دو جهت دیگر طول و امتداد بیشتری داشته باشد تا امکان انباشت درون معدنی فراهم شود.
- عمق ذخیره نسبت به سطح زمین یا ارتفاع روباره: همچنین هرچه ذخیره به سطح زمین نزدیک‌تر باشد یا به عبارت دیگر ارتفاع روباره بر روی ذخیره کمتر باشد برای اجرای رویکرد انباشت باطله‌ها درون کاواک مطلوب‌تر است.
- توپوگرافی و شکل سطح زمین: توپوگرافی منطقه نیز بسیار مهم است به نحوی که اگر سطح زمین مسطح باشد مناسب است، اما اگر تغییرات ارتفاعی داشته باشد

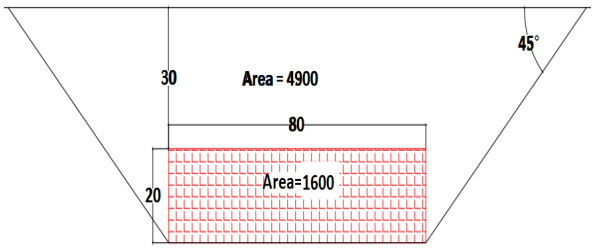
به ویژه در مکان‌هایی که تپه یا کوه یا بلندی است، از آنجا که نسبت باطله‌برداری را دستخوش تغییر می‌کند ممکن است اجرای این رویکرد را امکان‌ناپذیر کند.

لازم است تاثیر عوامل یاد شده به صورت کمی بررسی و تحلیل شوند. در این تحقیق، به نوبت یکی از عوامل یاد شده (با ثابت نگه داشتن ۴ عامل دیگر) تغییر داده شده و تاثیر آن بر انباشت درون معدنی بررسی و تغییرات آن رسم شده، آنگاه تاثیرات این عوامل با یکدیگر مقایسه و حساسیت آنها مورد تحلیل قرار گرفته است.

## ۴- پیاده‌سازی مدل

تحلیل هندسی در این پژوهش مبتنی بر یک مدل پایه است. بدین صورت که ابتدا یک ذخیره فرضی ساده به شکل مستطیل به طول ۸۰ و ضخامت ۲۰ متر با شیب صفر درجه در عمق ۳۰ متری از سطح زمین در نظر گرفته شده و فرض شد که کل ذخیره قابل استخراج است. سطح زمین کاملا صاف و مسطح در نظر گرفته شده است. این ذخیره به وسیله یک کاواک دوبعدی با شیب پایدار ۴۵ درجه استخراج می‌شود. شکل ۲ نشان‌دهنده شرایط اولیه معدن فرضی است. ضریب افزایش حجم سنگ پس از استخراج بین ۳۰ تا ۴۰ درصد است که به طور متوسط ۳۵ درصد در نظر گرفته شد. دیگر فرض‌های این مساله در جدول ۱ آورده شده است.

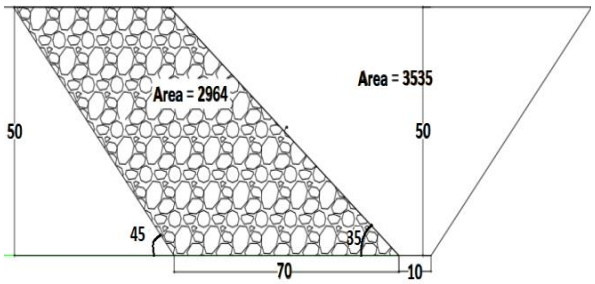
هدف از تحلیل هندسی آن است که میزان تاثیر سه عامل میزان روباره، نسبت طول به ضخامت ذخیره و ضخامت ذخیره مورد بررسی قرار گیرد. به عنوان مثال ضخامت ذخیره در مدل پایه برابر ۲۰ متر است و ذخیره به صورت افقی قرار دارد، بنابراین کاواک معدن پس از استخراج ذخیره یک مقدار مشخصی از باطله تولیدی را در خود به صورت انباشت درونی جای می‌دهد که در شکل ۳ نشان داده شده است. سوالی که مطرح می‌شود آن است که اگر ضخامت تغییر کند این میزان باطله که به صورت درونی می‌تواند انباشت شود چه مقدار تغییر خواهد کرد و رابطه بین تغییرات ضخامت ذخیره با تغییر میزان یا درصد انباشت درونی در این کاواک فرضی چگونه خواهد بود. روش کار بدین صورت بود که در تحلیل هر پارامتر مثلا ضخامت ذخیره، دیگر پارامترها ثابت بوده (تابع شرایط اولیه مطابق جدول ۱) و فقط ضخامت ذخیره با گام‌های ۱ متری تغییر یافته و درصد انباشت درونی در هر تغییر محاسبه شد. درصد یا میزان انباشت درونی از رابطه ۱ به دست می‌آید.




**شکل ۲: شرایط اولیه معدن فرضی برای تحلیل هندسی**

**جدول ۱: فرض‌های اولیه تحلیل هندسی رویکرد ipd**

| | |
|---|---|
| شکل ذخیره | مستطیل |
| شیب ذخیره | صفر درجه |
| طول ذخیره | ۸۰ متر |
| ضخامت ذخیره | ۲۰ متر |
| روباره | ۳۰ متر |
| سطح توپوگرافی | مسطح |
| ضریب افزایش حجم سنگ پس از استخراج | ۳۵٪ |
| زاویه پایدار کاواک | ۴۵ درجه |
| زاویه پایدار انباشت‌گاه درونی | ۳۵ درجه |
| حداقل عرض کف‌کاری | ۱۰ متر |




**شکل ۳: میزان باطله انباشت شده به صورت درونی با در نظرگیری ضخامت ۲۰ متری از ذخیره**

درصد انباشت درون معدنی مطابق رابطه ۱ محاسبه می‌شود:

$$ipd = \frac{s_d}{s_W \times f_s} \times 100 \qquad (۱)$$

که در آن:

ipd : درصد انباشت درون معدنی یا درون کاواک

$S_d$ : مساحت فضای قابل انباشت در مقطع کاواک

$S_w$ : مساحت کل باطله در مقطع کاواک

$f_s$ : ضریب تورم یا افزایش حجم سنگ است.

مقدار ipd برای شرایط مقطع مدل پایه با توجه به شکل‌های ۲ و ۳ محاسبه شده است:

$$(\frac{2964}{4900 \times 1.35}) \times 100 = 45\% \quad (۲)$$

### ۴-۱- بررسی تاثیر شیب ذخیره

برای تحلیل هندسی شیب ابتدا تمام شرایط اولیه ثابت در نظر گرفته شد و فقط شیب ذخیره ۱ درجه ۱ درجه از صفر تا ۳۰ درجه (تا جایی که درصد ipd صفر شد) تغییر کرد. نمودار موجود در شکل ۴ رابطه تغییرات درصد ipd با تغییرات شیب را نشان می‌دهد.

مطابق شکل ۴ در این مورد خاص اگر شیب لایه از ۳۰ درجه بیشتر باشد امکان انباشت داخلی وجود ندارد. یعنی ماده معدنی باید گسترش تقریبا افقی داشته باشد. در این شرایط روش استخراج مناسب برای این ذخایر روش نواری است، اما اگر این ذخایر در عمق زیادی واقع شده باشند که برای استخراج آن‌ها نیاز به احداث کاواک با دیواره‌های پله مانند باشد، آن‌گاه روش روباز مورد استفاده قرار می‌گیرد و انباشت درون معدنی باطله‌ها در معدن روباز اهمیت پیدا می‌کند. افزایش شیب ذخیره باعث تعمیق کاواک معدن می‌شود و علاوه بر آنکه کف معدن را به عمق می‌برد، باعث خواهد شد که فضای کاری موجود در کف معدن نیز کم شود. کاهش فضای کاری بدان معنی است که ماشین‌آلات نمی‌توانند هر دو عمل استخراج و انباشت را همزمان انجام دهند. چرا که انباشت درون معدنی فرایندی است که همزمان با استخراج در کاواک معدن انجام می‌شود. هر چند که در این مرحله از تحقیق به بحث زمان‌بندی این رویکرد پرداخته نمی‌شود، اما اگر به طور کلی و عمومی هم که به رویکرد انباشت درون معدنی نگاه شود باز هم همواره باید یک فضای کاری برای فرآیند استخراج و حرکت ماشین‌آلات در کف کاواک مد نظر قرار گیرد که در این تحلیل هندسی این فاصله معادل ۱۰ متر به عنوان حداقل عرض کاری در نظر گرفته شده است. در هر صورت افزایش شیب ذخیره به تعمیق کاواک و کاهش فضای کاری کف معدن منجر شده که نه‌تنها قابلیت اجرای این رویکرد بلکه درصد انباشت درون معدنی را هم کم می‌کند. افزایش شیب ذخیره تقریبا رابطه مستقیمی با کاهش درصد انباشت درونی دارد.

### ۴-۲- بررسی تاثیر طول ذخیره

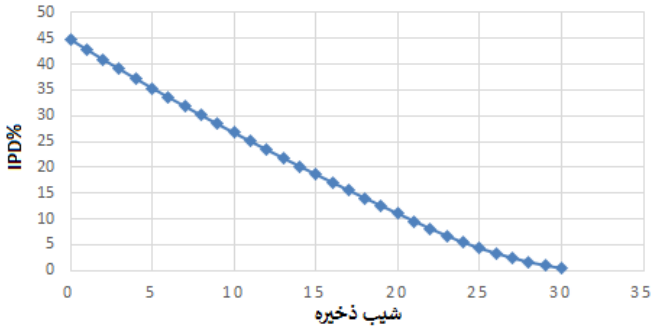
طول ذخیره با گام‌های ۱ متری از ۲۰ تا ۳۰۰ متر نسبت به حالت اولیه که ۸۰ متر بود تغییر کرد. نتایج در شکل ۵ آورده شده است.

شکل ۵ نشان می‌دهد که با افزایش گسترش افقی ذخیره امکان استفاده از روش نواری افزایش می‌یابد.

### ۴-۳- بررسی تاثیر ضخامت ذخیره

ضخامت ذخیره با گام‌های ۱ متری از ۱ تا ۶۰ متر نسبت به حالت اولیه که ۲۰ متر بود تغییر کرد. نتایج در شکل ۶ آورده شده است.

کاهش ضخامت ذخیره از مقدار بهینه آن باعث کم شدن مقدار ماده معدنی موجود درون کاواک به نسبت باطله درون کاواک می‌شود که یعنی عمده بخش‌های کاواک را باطله‌ای تشکیل داده که پس از استخراج افزایش حجم ۳۰ تا ۴۰ درصدی دارد و از آنجا که مقدار ماده معدنی درون کاواک کم بوده است، بنابراین فضای خالی اضافی کمی درون کاواک به




**شکل ۴: تغییرات درصد ipd به تغییرات شیب ذخیره (درجه)**

منظور انباشت باطله، پس از برداشت ماده معدنی ایجاد خواهد شد در نتیجه مقدار درصد انباشت درونی باطله کاهش می‌یابد. همچنین اگر ضخامت ذخیره از نقطه بهینه افزایش یابد باعث تعمیق کاواک معدن خواهد شد و از آنجا که شیب دیوار معدن ثابت است، بنابراین علاوه بر آنکه کاواک به عمق می‌رود از طرفین نیز گسترش می‌یابد که به معنی افزایش تصاعدی باطله درون کاواک به نسبت ماده معدنی درون کاواک خواهد بود و نتیجه‌ای مشابه قبل را حاصل می‌کند که یعنی درصد انباشت درونی کاهش خواهد یافت. این موضوع بیانگر آن است که هرچه معدن عمیق‌تر باشد مقدار باطله‌ای که به صورت درونی می‌توان انباشت کرد نیز کمتر است.

### ۴-۴- بررسی تاثیر ضخامت روباره

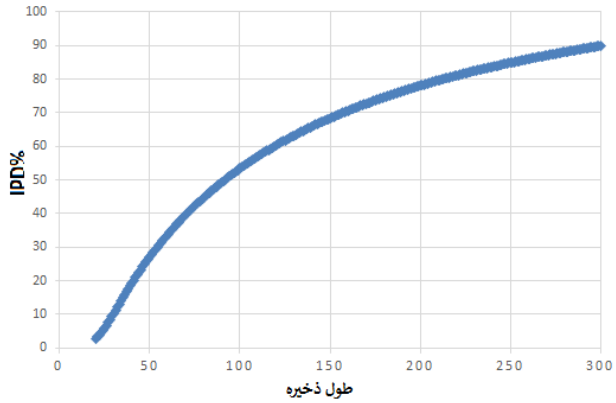
مقدار روباره با گام‌های ۱ متری از ۲۰ تا ۷۰ متر نسبت به حالت اولیه که ۳۰ متر بود تغییر کرد. نتایج در شکل ۷ آورده شده است.

به صورت کلی افزایش مقدار روباره معدنی باعث افزایش مقدار باطله درون کاواک شده که در نتیجه پس از استخراج کاواک، مقدار کمتری از باطله استخراج شده را (باتوجه به افزایش حجم آن پس از استخراج) می‌توان درون کاواک انباشت کرد و درصد انباشت درونی کاهش می‌یابد.

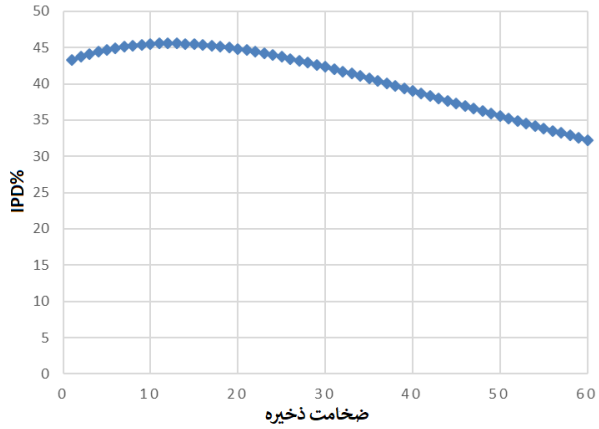
### ۴-۵- بررسی تاثیر نسبت طول به ضخامت ذخیره

نسبت طول به ضخامت از ۱ تا ۸۰ نسبت به حالت اولیه که ۴ بود تغییر کرد. نتایج در شکل ۸ آورده شده است.

باتوجه به منحنی نسبت طول به ضخامت ذخیره می‌توان دریافت که اگر این نسبت مقدار کمی داشته باشد، میزان




شکل ۵: تغییرات درصد ipd به تغییرات طول ذخیره (متر)

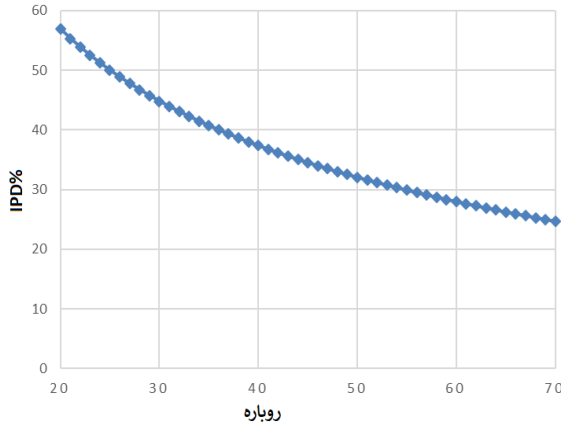



شکل ۶: تغییرات درصد ipd به تغییرات ضخامت ذخیره (متر)

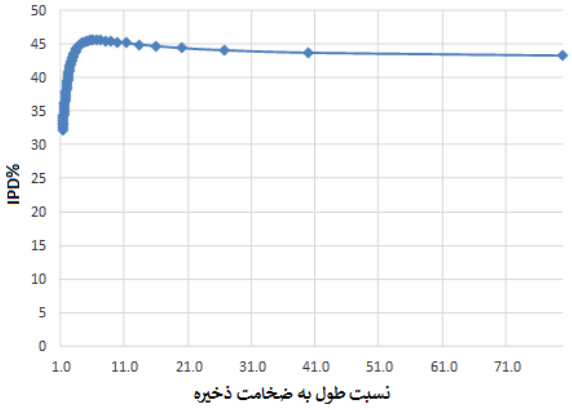
باطله‌ای که به صورت درونی می‌توان انباشت کرد به شدت کم است و اگر از یک مقدار خاصی که بین ۶ تا ۷ برابر است، بیشتر باشد دیگر به عنوان یک عامل محدودکننده برای میزان انباشت درون معدنی مطرح نیست. در واقع اگر این نسبت برای یک ذخیره بین ۱ تا ۷ تغییر کند، میزان درصد انباشت درون معدنی تغییرات بسیاری خواهد داشت، بنابراین کاواک ذخیره‌ای با نسبت طول به ضخامت ۴ نسبت به کاواک ذخیره‌ای با نسبت طول به ضخامت ۳ مقدار خیلی بیشتری از باطله حاصل از معدنکاری را درون خود جای می‌دهد. باتوجه به شکل ۸ بهترین حالت این نسبت بین ۶ تا ۷ است که بیشترین درصد انباشت درونی در حدود ۴۵ درصد را به دنبال دارد و هرچه این نسبت از مقدار بهینه بیشتر شود مقدار درصد ipd در کل کاواک کمتر می‌شود (احتمالا به علت گستردگی بیش از حد کاواک و افزایش مقدار باطله درون کاواک به نسبت مقدار ماده معدنی موجود درون کاواک باشد چون ضخامت ذخیره بسیار کم خواهد شد) که البته شیب این تغییر و کاهش خیلی کمتر از قبل است، بدین معنا که اگر این نسبت بین ۲۰ تا ۴۰ تغییر کند درصد انباشت درونی تفاوت زیادی نخواهد کرد. این افزایش تا جایی ادامه دارد که اثر این عامل بر درصد انباشت درونی از بین می‌رود.

## ۵- تحلیل حساسیت

در این قسمت با هدف آنکه میزان حساسیت پارامترهای مختلف بر درصد انباشت درون معدنی مورد تحلیل و بررسی قرار گیرد نمودار موجود در شکل ۹ ترسیم شد. در این نمودار تمامی عوامل موثر در انباشت درون معدنی که در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفتند نسبت به شرایط اولیه (شکل ۲) بر حسب درصد تغییر کردند و در هر تغییر میزان تغییرات ipd




شکل ۷: تغییرات درصد ipd به تغییرات ضخامت روباره (متر)




شکل ۸: تغییرات درصد ipd به تغییرات نسبت طول به ضخامت

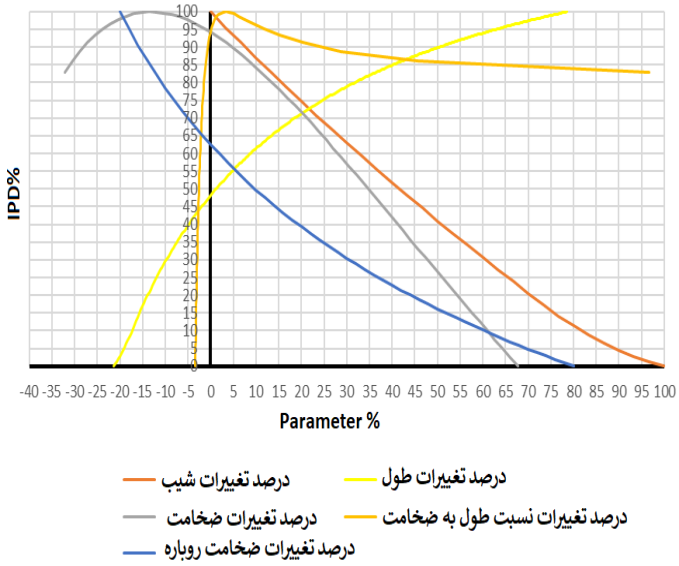
نیز بر حسب درصد محاسبه شد. این عوامل شامل طول ذخیره، شیب ذخیره، ضخامت ذخیره، روباره و نسبت طول به ضخامت ذخیره است. در نهایت تمامی این شکل‌ها با هدف مقایسه بهتر بر روی هم قرار داده شد.

باتوجه به شکل ۹ می‌توان فهمید که حساس‌ترین عامل در میزان انباشت درون معدنی در کل یک کاواک عامل نسبت گستردگی ذخیره در راستای افقی است چرا که بخشی از نمودار تحلیل حساسیت آن دارای بیشترین شیب تغییرات است. نسبت طول به ضخامت ذخیره در واقع بیانگر نسبت گستردگی افقی به گستردگی قائم ذخیره است. پس قبل از آنکه دیگر عوامل موثر بر انباشت درون معدنی برای یک ذخیره بررسی شود باید میزان گستردگی ذخیره در راستای افقی و نسبت آن با گستردگی قائمش بررسی شود.

عامل دوم که حساس‌ترین عامل در رابطه با درصد انباشت درون معدنی است و البته به‌گونه‌ای از عامل قبل هم مجزا نیست، عامل ضخامت ذخیره است. باتوجه به منحنی ضخامت ذخیره می‌توان دریافت که تغییرات در این پارامتر تاثیر چشمگیری بر تغییر درصد انباشت درون معدنی دارد. همان‌طور که مشاهده می‌شود این پارامتر نیز یک مقدار بهینه دارد، بدین صورت که اگر ضخامت ذخیره در آن مقدار بهینه قرار گیرد بیشترین درصد انباشت درون معدنی میسر خواهد شد و حداکثر باطله را می‌توان درون کاواک جای داد. این مقدار بهینه از ضخامت ذخیره در واقع همان نقطه‌ای است که نسبت طول به ضخامت بین ۶ تا ۷ است.

عامل شیب ذخیره و عامل مقدار روباره ماده معدنی دو عامل دیگراند که بعد از عوامل قبل بیشترین حساسیت را دارند. در کل افزایش این دو پارامتر به کاهش درصد انباشت درون معدنی منجر خواهد شد. علاوه بر عامل شیب پارامتر روباره ذخیره معدنی نیز بر میزان انباشت درونی اثر دارد، اما پارامتر مقدار ضخامت روباره بر خلاف شیب ذخیره که با درصد انباشت درونی رابطه تقریبا خطی داشت، رابطه خطی ندارد یعنی افزایش روباره در ابتدا باعث کاهش درصد انباشت درونی به مقدار قابل‌توجهی می‌شود، اما به مرور که مقدار روباره باز هم افزایش یابد درصد انباشت درونی به نسبت اوایل کار مقدار کمتری تغییر خواهد کرد و ممکن است حتی از یک مقدار به بعد اثر آن خنثی شود.

آخرین عامل پارامتر طول ذخیره است که کمترین حساسیت را برای انباشت درونی دارد. این پارامتر بر خلاف دیگر پارامترها رابطه مستقیمی با درصد انباشت درونی دارد بدین معنا که افزایش آن به افزایش درصد انباشت درونی منجر خواهد شد. البته این پارامتر نیز مانند روباره رابطه خطی ندارد یعنی در ابتدای کار افزایش طول ذخیره به افزایش درصد انباشت درونی منجر می‌شود، اما به مرور و از یک جا به بعد با افزایش طول ذخیره درصد انباشت درونی به مقدار کمتری نسبت به اوایل کار افزایش می‌یابد. در واقع نرخ افزایش آن به مرور کم می‌شود.




شکل ۹: تحلیل حساسیت درصد ipd نسبت به پارامترهای مختلف

## ۶- نتیجه‌گیری

معادن روباز باطله زیادی تولید می‌کنند که این باطله‌ها باید به طریقی مناسب انباشت شوند. به طور معمول باطله‌های حاصل از معادن روباز در خارج از محدوده کاواک انباشت می‌شوند، اما در موارد خاص و طی شرایط خاصی از ذخیره معدنی این انباشتگاه می‌تواند به داخل محدوده کاواک انتقال یابد و فرآیند انباشت باطله درون خود کاواک و حین استخراج ماده معدنی با هدف کاهش هزینه حمل و بهبود بخشیدن اثرات نامطلوب محیط زیستی معادن روباز انجام گیرد. این رویکرد برای معادن لایه‌ای مانند زغال در قالب روش استخراج نواری سال‌هاست مورد استفاده قرار گرفته است، اما بررسی استفاده از آن برای معادن روباز با ذخایر توده‌ای چند سالی است که مورد توجه محققان قرار گرفته است. هدف از مطالعه حاضر، بررسی انباشت درون معدنی باطله‌ها در معادن روباز فلزی و تحلیل عوامل موثر بر آن است. **از این**رو، قبل از ورود به اصل مساله در ابتدا باید عوامل موثر بر انباشت درونی در معادن روباز مشخص شود. در واقع باید مشخص شود که یک ذخیره معدنی در چه شرایطی قابلیت پیاده‌سازی این رویکرد را دارد و مهم‌ترین عامل اثرگذار در رابطه با آن کدام است. همچنین باید مشخص شود که طی شرایط آرمانی میزان حدودی انباشت درونی در فضای کل کاواک چقدر خواهد بود، بنابراین با هدف بررسی میزان تاثیر عوامل موثر در انباشت درون معدنی و یافتن حساس‌ترین عامل به تحلیل هندسی دوبعدی این رویکرد با کمک نرم‌افزار autocad پرداخته شد و ۵ عامل شیب ذخیره، طول ذخیره، ضخامت ذخیره، روباره و نسبت طول به ضخامت ذخیره با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج حاکی از آن است که مهم‌ترین عامل نسبت گستردگی افقی به گستردگی قائم ذخیره است که بهترین حالت آن بین ۶ تا ۷ است. بدین معنا که اگر این نسبت بین این دو عدد باشد حداکثر باطله درون کاواک را می‌توان به صورت درونی انباشت کرد. هرچند که عواملی مانند شیب ذخیره، مقدار روباره و دیگر موارد هم باید در نظر گرفته شود.

از جمله نقص‌ها و محدودیت‌های این تحلیل هندسی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱- تحلیل دوبعدی است و برای ذخایر سه‌بعدی می‌تواند نتایج متفاوتی را ارایه دهد.

۲- تحلیل مبتنی بر مدل پایه با شرایط اولیه ثابت و فرضی است که تغییر در این شرایط اولیه نتایج متفاوتی را ارایه می‌دهد.

نتایج این پژوهش برای ذخایر و شرایط آرمانی از استخراج، صادق است (مطابق مدل پایه)، بنابراین هنوز برای استفاده در مورد ذخایر واقعی نیاز به تحلیل و بررسی دقیق‌تر دارد اما این تحلیل می‌تواند پیش‌زمینه خوبی برای ورود به مباحث جزیی‌تر در رابطه با رویکرد انباشت درونی در معادن روباز باشد. همچنین نتایج این تحلیل کمک می‌کند که با داشتن شرایط ساده‌سازی شده از ذخیره و کاواک استخراجی معدن بتوان حدود درصد ipd کلی کاواک را مشخص کرد که در واقع پتانسیل کلی ipd آن کاواک را مشخص می‌کند.

## ۷- مراجع

[۱] اصانلو، م.؛ ۱۳۸۰؛ "**بازسازی معادن**". انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.

[2] Li, Y., Topal, E., and Ramazan, S. (2014). *"Optimising the long-term mine waste dump progression and truck hour schedule in a large-scale open pit mine using mixed integer programming"*. In: Orebody Modelling and Strategic Mine Planning SMP 2014 Symposium, Nov. 24, Perth: The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 335-344.

[3] Lizotte, Y., and Bonates, E. (1987). *"Truck and shovel dispatching rules assessment using simulation"*. Mining Science and Technology, 5(1): 45-58.

[4] Singh, P., Kainthola, A., Singh, R., Gupte, S. S., Maji, V., and Singh, T. N. (2013). *"Estimation of critical parameters for slope instability in an in-pit mine dump"*. Society of Geoscientists and Allied Technologists Bulletin, 14(1): 34-44.

[5] Das, R., Topal, E., and Mardaneh, E. (2022). *"Improved optimised scheduling in stratified deposits in open pit mines–using in-pit dumping"*. International Journal of Mining, Reclamation and Environment, 36(4): 287-304.

[6] Selyukov, A. (2015). *"Technological significance of internal dumping in open pit coal mining in the Kemerovo Region"*. Journal of Mining Science, 51(5): 879-887.

[7] Badiozamani Tari Nazari, M. M. (2014). *"An Integrated Optimization Model for Strategic Open-Pit Mine Planning and Tailings Management"*. Ph.D. Thesis, University of Alberta. DOI: https://doi.org/10.7939/R3QV3CC13.

[8] Selukov, A. V. (2014). *"Advanced technology based on new technological and organizational principles of spatial development of front of mining operations at*

*open pits"*. In: Taishan Academic Forum–Project on Mine Disaster Prevention and Control, Atlantis Press.

[9] Das, R., Topal, E., and Mardaneh, E. (2022). *"A Review of Open Pit Mine Waste Dump Management Planning"*. Available at SSRN 4191439, pp. 30. DOI: https://doi.org/10.2139/ssrn.4191442.

[10] Verma, D., Kainthola, A., Gupte, S., and Singh, T. (2013). *"A finite element approach of stability analysis of internal dump slope in Wardha valley coal field, India, Maharashtra"*. American Journal of Mining and Metallurgy, 1(1): 1-6.

[11] Sakantsev, G., and Cheskidov, V. (2014). *"Application range of internal dumping in opencast mining of steep mineral deposits"*. Journal of Mining Science, 50(3): 501-507.

[12] Rimélé, M. A., Dimitrakopoulos, R., and Gamache, M. (2018). *"A stochastic optimization method with in-pit waste and tailings disposal for open pit life-of-mine production planning"*. Resources Policy, 57: 112-121.

[13] Das, R., Topal, E., and Mardenah, E. (2019). *"Optimised Pit Scheduling Including In-Pit Dumps for Stratified Deposit"*. In: Topal, E. (Eds.), Proceedings of the 28th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection, Springer Series in Geomechanics and Geoengineering, Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-33954-8_4.

[14] Mukonki, P. (2017). *"Proposal of a Multimine Scheduling Approach in the Process of improving economics of a large-scale mining copper project (Case study of KOV pit and Mashamba East pit combined, in the Democratic Republic of the Congo)"*. In: Conference: IMCET2017, Antalya, Turkey, April 11-14, 516-527.

[15] Anisimov, O. (2018). *"Research on parameters of the working area on an internal Dump for developing open pits"*. Scientific Bulletin of National Mining University, 2018(1): 27-34. DOI: https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-1/17.

[16] Fu, Z., Asad, M. W. A., and Topal, E. (2019). *"A new model for open-pit production and waste-dump scheduling"*. Engineering Optimization, 51(4): 718-732.

[17] Babets, Y., Adamchuk, A., Shustov, O., Anisimov, O., and Dmytruk, O. (2020). *"Determining conditions of using draglines in single-tier internal dump formation"*. Scientific Bulletin of National Mining University, 2020(6) 5-14. DOI: https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-6/005.

[۱۸] اتمانخیل، ع. ا.؛ ۱۴۰۰؛ "**طراحی و برنامه‌ریزی تولید معادن روباز با رویکرد کاهش جا به جایی باطله**". پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ۱۲۱ صفحه.

[۱۹] شاهمرادی، ی.؛ ۱۴۰۱؛ "**مدل‌سازی ریاضی برنامه‌ریزی تولید معادن روباز با در نظر گرفتن انباشتگاه داخل پیت**". پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ۱۰۰.

[۲۰] فتاحی، م. ح.، عطایی‌پور، م.؛ ۱۴۰۲؛ "**رویکرد انباشت باطله درون معدنی راهکاری برای مقابله با اثرات مخرب معدنکاری سطحی**". سومین کنفرانس معدنکاری و صنایع معدنی سبز ایران، دانشگاه زنجان، زنجان.

---

[1] Open pit mining

[2] Out pit dumping/external dumping

[3] Reclamation

[4] In pit dumping/internal dumping

[5] Pushback

[6] Lag distance

[7] Nested pit

[8] Open cast mining

[9] Mashamba