

**Applied Economics Studies, Iran (AESI)**P. ISSN:2322-2530 & E. ISSN: 2322-472X - Journal Homepage: <https://aes.basu.ac.ir/>

Scientific Journal of Department of Economics, Faculty of Economic and Social Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Iran. Owner & Publisher: Bu-Ali Sina University.

© Copyright © 2026 The Authors. Published by Bu-Ali Sina University.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>). Non-commercial uses of the work are permitted, provided the original work is properly cited.

Bu-Ali Sina University

Economic Analysis of Switching Mining Method from Surface to Underground for Building Stone (Case Study: Dehbid Stone Mine)

Majid Noorian-Bidgoli¹, Ebrahim Mahdavi²

Type of Article: Research

 <https://dx.doi.org/10.22084/aes.2025.30819.3784>

Received: 2025/04/19; Revised: 2025/07/22; Accepted: 2025/07/22

Pp: 129-165

Abstract

The underground extraction of building stone, in addition to reducing the environmental issues associated with surface mining, makes mining more cost-effective. Therefore, this study focuses on the economic analysis of changing the mining method for building stone from surface quarry mining to underground room and pillar mining. For this purpose, using data from the Dehbid marble mine, an economic feasibility study of the method change was carried out by determining the investment and operational costs and the revenue generated in both extraction methods. The results indicate that, considering a discount rate of 25%, the net present value (NPV) of the underground mining method is higher than that of the surface mining method, with values of 101,000,000,000,000 Rial and 52,741,000,000,000 Rial, respectively. Furthermore, the internal rate of return (IRR) for underground mining is also higher than for surface mining, with rates of 57.158% and 43.92%, respectively. In both cases, the IRR exceeds the minimum required rate of return, which is 25%. Therefore, based on these indicators, underground mining is more economical in this mine. On the other hand, a comparison of the payback period shows that, for the quarry extraction method, the payback period in normal and circular modes is 4 and 6 years, respectively, whereas for the room and pillar mining method, the payback period is the same for both modes and equals 3 years. Thus, considering the time value of money, underground stone extraction using the room and pillar method in this mine can be more economical.

Keywords: Economic Analysis, Cost, Income, Building Stone Mine, Mining, Room and Pillar Method.

JEL Classification: Q01, O13, L72, D2.

1. Associate Professor, Department of Mining Engineering, Faculty of Engineering, University of Kashan, Kashan, Iran (Corresponding Author). **Email:** noriyan@kashanu.ac.ir

2. M.Sc. Graduate in Mining Engineering, Department of Mining Engineering, Faculty of Engineering, University of Kashan, Kashan, Iran.

Citations: Noorian-Bidgoli, M. & Mahdavi, E., (2026). "Economic Analysis of Switching Mining Method from Surface to Underground for Building Stone (Case Study: Dehbid Stone Mine)". *Journal of Applied Economics Studies in Iran*, 14(56): 129-165. <https://dx.doi.org/10.22084/aes.2025.30819.3784>

Homepage of this Article: https://aes.basu.ac.ir/article_6196.html?lang=en

1. Introduction

In Iran, building and decorative stone mines account for a significant share of the country's mineral production, and therefore, they require technical growth and development to improve mining conditions. High production costs, excessive wastes left in nature, and the use of outdated and unsuitable machinery are some of the major drawbacks of traditional building stone mining methods like quarry. The room and pillar is one of the oldest underground mining methods that can be used for the extraction of building stones.

In general, the advantages of underground mining methods for stone extraction compared to surface mining include no need for waste removal before and during extraction, elimination of waste dumps, reduction in the rate and amount of development before extraction, no need for stabilizing slopes, preservation of the area's topography and vegetation, and increased work efficiency by utilizing the temperature conditions in the underground, especially in summer and winter.

Since underground mining methods have not yet been used in building stone mines in Iran, this study is the first to investigate the feasibility of underground mining for building stones in Iran. In fact, the main goal of this research is to assess the feasibility of switching the mining method from quarry to the room and pillar mining method. For this purpose, data and conditions from one of the mines in the Dehbid stone complex, one of the active and well-known marble regions in Iran, were used. The feasibility study of underground mining using the room and pillar method in this mine, compared to the quarry mining method, was carried out in both technical and economic aspects. This article focuses on the economic analysis of switching the mining method from quarry to room and pillar.

2. Materials and Methods

Dehbid marble is widely regarded as one of the highest-quality and most renowned marbles globally, particularly distinguished by its exceptional color and texture. This stone is extracted from several mines, with the present study being conducted at the Angorak marble mine. The mine is situated in Khorrambid city (historically known as Dehbid), in the northern region of Fars province, located in the southern part of Iran.

In order to conduct an economic evaluation of any mining project, it is crucial to first determine the associated costs and then assess the feasibility of the proposed methods. In this study, a comprehensive analysis of the investment, operational, and ongoing costs for the Dehbid marble mine, utilizing both quarry and room and pillar mining methods, is presented. The economic feasibility of these two methods is subsequently assessed using the COMFAR software. Ultimately, the most economically viable extraction method is identified based on key economic indicators. It is important to note that all cost estimates were derived from field research and operational prices for 2023, based on data from the nearest active mines in the region under study. As per the mining license, the marble reserve of the specified mine is estimated at 1,160,000 tons. Consequently, the annual production capacity is determined to be 80,000 tons, with the mine's operational lifespan projected to be 15 years.

In this research, fundamental economic indicators, specifically the net present value (NPV) of total investment and the internal rate of return (IRR), were employed to evaluate the economic feasibility of the Dehbid mine using both quarry and room and pillar mining methods. To achieve this, detailed tables for the economic analysis of the two mining methods were first compiled and organized. Subsequently, the total investment and

operational costs, along with their respective subcomponents, were calculated. The economic computations and their corresponding analysis were then performed.

3. Discussion

The net present value (NPV) is a crucial financial metric used in investment project analysis, enabling analysts to evaluate the profitability of a project by comparing the present value of expected revenues to the initial costs. The findings of this study indicate that the room-and-pillar method generates a higher NPV, suggesting that investing in this method is more economically advantageous than the quarry method. Specifically, with the 25% discount rate applied in this study, the elevated NPV reflects the potential for greater future returns in relation to the present costs of the project.

The internal rate of return (IRR) is the rate at which the NPV equals zero and reflects the profitability of a project. With the room and pillar mining method, operational costs are lower due to the absence of tailings removal, and higher-quality stone blocks are extracted more efficiently, leading to increased sales revenue. As a result, the IRR for the room-and-pillar method is expected to surpass that of the quarry method. In the case of the studied mine, the room-and-pillar method proves more effective in attracting financial resources and generating higher returns. A higher IRR typically indicates greater short-term profitability and lower investment risk, with reduced operational costs and higher sales revenue driving the increase in IRR.

In general, the shorter payback period for the room and pillar method, when compared to the quarry method, can be attributed to several factors. These include lower operational costs resulting from the use of simpler and fewer pieces of equipment in underground mining, higher productivity and more targeted extraction of high-quality stones, and faster revenue generation due to the quicker sale of the extracted stones. Additionally, the time value of money is more effectively compensated in projects with a shorter payback period, further enhancing the financial feasibility of the room-and-pillar method.

4. Conclusion

While surface mining of building stone utilizing the quarry method remains a prevalent practice, the room and pillar mining method offers a compelling underground alternative for stone extraction. Considering that underground mining for building stones has yet to be implemented in Iran, this study endeavors to evaluate the feasibility of applying the room and pillar method for underground stone mining, specifically at the Dehbid marble mine. The findings are summarized as follows:

- At a discount rate of 25%, the net present value (NPV) for the underground mining method (101,000,000,000,000 Rial) exceeds that of the surface mining method (52,741,000,000,000 Rial). Consequently, based on this economic metric, underground mining of building stone proves to be more financially viable.
- The internal rate of return (IRR) for both surface and underground mining methods exceeds the minimum required rate of return (25%). However, the IRR for underground mining (57.158%) surpasses that of surface mining (43.92%). This suggests that, from a financial perspective, underground mining is the more advantageous method.
- Sensitivity analysis conducted during the economic evaluation phase indicates that, for the quarry method, sales revenue exerts the most significant impact on the IRR,

while an increase in fixed assets has the least influence. In contrast, for the room-and-pillar method, sales revenue and operational costs are the primary factors affecting the IRR, with sales revenue having the greatest impact.

- A comparison of the payback periods reveals that, under the quarry method, the payback period is 4 years in a normal scenario and 6 years in a circulating scenario. Conversely, the payback period for the room-and-pillar method is consistent in both scenarios, at 3 years. Thus, factoring in the time value of money, underground mining via the room-and-pillar method proves to be the more cost-effective approach.

Therefore, based on the analysis of nearly all economic indicators, it is evident that the adoption of the room-and-pillar mining method over the quarry method in the Dehbid marble mine is both economically viable and justifiable.

Acknowledgments

The authors would like to express their gratitude to the editor and anonymous reviewers for providing comments, correcting deficiencies, and improving the article.

Observation Contribution

The author declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Conflict of Interest

The authors declare that there is no conflict of interest while observing publication ethics in referencing.



فصلنامه علمی مطالعات اقتصادی کاربردی ایران
 شاپای چاپی: ۲۵۲۰-۲۳۲۲؛ شاپای الکترونیکی: ۴۷۲۸-۲۳۲۲ - وبسایت نشریه: <https://aes.basu.ac.ir>
 نشریه گروه اقتصاد، دانشکده علوم اقتصادی و علوم اجتماعی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.
 حق انتشار این مستند، متعلق به نویسنده(گان) آن است. ۱۴۰۴ - ناشر این مقاله، دانشگاه بوعلی سینا است.
 این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است.
 Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



تحلیل اقتصادی تغییر روش معدن کار از سطحی به زیرزمینی سنگ ساختمانی (مطالعه موردی: معدن سنگ ساختمانی دهبید)

مجید نوریان بیدگلی^۱، ابراهیم مهدوی^۲

نوع مقاله: پژوهشی

شناسه دیجیتال: <https://dx.doi.org/10.22084/aes.2025.30819.3784>

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۱/۳۰، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۵/۰۲، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۵/۲۶

صص: ۱۶۵-۱۲۹

چکیده

استخراج سنگ ساختمانی به روش زیرزمینی، علاوه بر کاهش مشکلات زیست محیطی موجود در روش سطحی، باعث اقتصادی تر شدن معدن کاری می شود؛ لذا در این پژوهش، به تحلیل اقتصادی تغییر روش معدن کار سنگ ساختمانی، از روش استخراج سطحی کواری به روش استخراج زیرزمینی اتاق و پایه، پرداخته شده است. بدین منظور، با استفاده از اطلاعات معدن سنگ مرمریت دهبید، امکان سنجی اقتصادی تغییر روش با تعیین هزینه های سرمایه گذاری و عملیاتی و میزان درآمد به دست آمده در هر دو روش استخراج مذکور، انجام شده است. نتایج نشان می دهد که با در نظر گرفتن نرخ تنزیل ۲۵٪، ارزش خالص فعلی (NPV) به دست آمده در روش معدن کار زیرزمینی بیشتر از معدن کار سطحی بوده و به ترتیب برابر با ۱۰۱,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰ ریال و ۵۲,۷۴۱,۰۰۰,۰۰۰ ریال است. هم چنین نرخ بازگشت داخلی (IRR) به دست آمده برای روش معدن کار زیرزمینی نیز بیشتر از معدن کار سطحی بوده و به ترتیب برابر با ۱۵۸/۵۷٪ و ۴۳/۹۲٪ است. در این حالت برای هر دو روش معدن کار، نرخ بازگشت داخلی از حداقل نرخ جذب کننده، یعنی ۲۵٪، بیشتر است؛ لذا براساس این شاخص ها، معدن کاری زیرزمینی در این معدن اقتصادی تر است. از طرفی، مقایسه بین دوره بازگشت سرمایه نشان می دهد که در روش استخراج کواری، طول این دوره در حالت عادی و در گردش به ترتیب برابر با ۴ و ۶ سال، ولی در روش استخراج اتاق و پایه در دو حالت مذکور با هم یکسان و برابر با ۳ سال می باشد؛ لذا با در نظر گرفتن ارزش زمانی پول، استخراج زیرزمینی سنگ در معدن مذکور به روش استخراج اتاق و پایه می تواند اقتصادی تر باشد.

کلیدواژگان: تحلیل اقتصادی، هزینه، درآمد، معدن سنگ ساختمانی، معدن کاری.

طبقه بندی JEL: Q01, O13, L72, D2.

۱. دانشیار گروه مهندسی معدن، دانشکده مهندسی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران (نویسنده مسئول).

Email: norijan@kashanu.ac.ir

۲. کارشناسی ارشد استخراج مواد معدنی، گروه مهندسی معدن، دانشکده مهندسی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران.

Email: ebrahimmahdavi123456@gmail.com

ارجاع به مقاله: نوریان بیدگلی، مجید؛ و مهدوی، ابراهیم، (۱۴۰۴). «تحلیل اقتصادی تغییر روش معدن کار از سطحی به زیرزمینی سنگ ساختمانی (مطالعه موردی: معدن سنگ ساختمانی دهبید)». مطالعات اقتصادی کاربردی ایران، ۱۴(۵۶): ۱۶۵-۱۲۹. <https://dx.doi.org/10.22084/aes.2025.30819.3784>

صفحه اصلی مقاله در سامانه نشریه: https://aes.basu.ac.ir/article_6196.html?lang=fa

۱. مقدمه

در ایران، معادن سنگ ساختمانی یا تزئینی و نما سهم عمده‌ای از تولیدات معدنی کشور را به خود اختصاص داده‌اند، لذا نیازمند رشد و توسعه فنی در راستای افزایش بهبود شرایط معدن‌کاری هستند. قرارگرفتن ایران جزء کشورهای پیش‌روی تولیدکننده سنگ ساختمانی در جهان، مؤید اهمیت ویژه صنعت سنگ و لزوم توجه بیشتر به آن است.

هزینه تولید بالا، تولید ضایعات و باطله بسیار زیاد رهاشده در طبیعت و استفاده از دستگاه‌های نامناسب و فرسوده، از جمله معایب عمده استخراج سنگ ساختمانی به روش‌های سنتی است. این عوامل باعث کاهش کارایی و افت کیفیت محصول نهایی می‌شود (ایجدیمو و سودیرهولم^۱، ۲۰۱۱؛ کارفالیو^۲، ۲۰۱۷). بنابراین، برای رسیدن به توسعه پایدار در معادن، باید به‌سوی معدن‌کار نوین و پیشرفته گام برداشت و از تکنیک‌ها و دستگاه‌های با بهره‌وری بالا استفاده نمود (عصر و همکاران^۳، ۲۰۱۹). امروزه با توجه به برتری نسبی اقتصادی-زیست‌محیطی معدن‌کار زیرزمینی نسبت به سطحی، روش‌های معدن‌کار زیرزمینی برای استخراج سنگ‌های ساختمانی، مورد توجه قرار گرفته‌اند (نیلسون^۴، ۱۹۸۲؛ قربانی و همکاران^۵، ۲۰۲۳).

از متداول‌ترین روش‌های معدن‌کار سنگ ساختمانی، استخراج به روش کواری است (هاموند^۶، ۱۹۸۸). این روش، جزء روش‌های معدن‌کار سطحی بوده که در آن کلیه عملیات واحد تولید بر روی پله‌های معدنی (با شیب ۹۰ درجه) واقع در سطح یا نزدیک به سطح زمین انجام می‌گیرد. در این روش، اغلب از روش چال موازی و یا سیم برش فولادی یا الماسه برای تولید بلوک‌های سنگی بزرگ مقیاس استفاده می‌شود. ضمن این‌که در این روش، امکان استفاده از ماشین سنگ‌بر (هاواژ)، با مکانیزم برش سنگ توسط تیغه یا اره نیز وجود دارد (محمدی و همکاران^۷، ۲۰۱۸).

از معضلات عمده معدن‌کاری سنگ ساختمانی به روش استخراج کواری، باطله‌برداری و تولید حجم زیاد ضایعات سنگی همراه با استخراج معدن است. هم‌سپین با افزایش عمق معدن‌کار در طول عمر معدن، ضمن اینکه شرایط اجرای روش از لحاظ فنی مشکل شده و در برخی از موارد حتی غیرممکن می‌گردد، باعث می‌شود به دلیل افزایش حجم باطله‌برداری، معدن‌کار از حالت اقتصادی خارج شود. این موضوع در مناطق کوهستانی و مواردی که حجم زیادی از کانسار در عمق زمین واقع شده، حادث‌تر است. از لحاظ معضلات زیست‌محیطی نیز، آلودگی‌های تولید شده حین استخراج که باعث ایجاد گرد و غبار و سر و صدای زیاد می‌شود، باعث شده است که معدن‌کار سنگ ساختمانی به روش‌های سطحی غیرمطلوب و در اغلب موارد غیرممکن گردد (لانجر^۸، ۲۰۰۱).

در حال حاضر، اغلب کشورهای عضو اتحادیه اروپا از جمله ایتالیا، پرچم‌دار صنعت سنگ با تولید سنگ‌های ساختمانی بسیار باکیفیت و زیبا، در عمق کوه‌های سراسر پوشیده از درختان بدون مشکلات زیست‌محیطی، به

¹ Ejdemo and Söderholm

² Carvalho

³ Asr *et al.*

⁴ Nilsson

⁵ Ghorbani *et al.*

⁶ Hammond

⁷ Mohammadi *et al.*

⁸ Langer

روش استخراج زیرزمینی هستند. لذا با انتخاب روش های معدن کار زیرزمینی برای استخراج سنگ های ساختمانی، می توان تا حد زیادی، این اثرات مخرب را کاهش داد. همچنین این روش ها، تحت شرایط خاص، می تواند جایگزین مناسبی برای ادامه روش های استخراج سطحی سنگ های ساختمانی باشد (فوجیل و همکاران^۹، ۲۰۱۷؛ ماراس و همکاران^{۱۰}، ۲۰۱۸). از طرف دیگر، مهم ترین عامل مؤثر برای توجیه یک روش استخراج در یک معدن، قیمت تمام شده هر تن سنگ است. این موضوع، بستگی به نحوه معدن کاری و کل هزینه های سرمایه گذاری، جاری و عملیاتی استخراج دارد. معمولاً معادن سنگ ساختمانی که حجم باطله بردای و عمق زیادی دارند، با گسترش ابعاد و عمق معدن کار، دچار محدودیت می شوند (هاموند، ۱۹۸۸). در این حالت، استخراج بسیار پرهزینه و توجیه ناپذیر خواهد شد. لذا دلایل اقتصادی می تواند یکی از مهم ترین عوامل مؤثر در تغییر روش استخراج سنگ ساختمانی از سطحی به زیرزمینی، برای تولید بلوک های سنگی با کم ترین هزینه، باشد (فون و تریسفتیش^{۱۱}، ۲۰۱۲؛ ویسوکینسکی و همکاران^{۱۲}، ۲۰۱۴).

سوابق به دست آمده در دیگر کشورهای دنیا نظیر؛ آمریکا (ایاناتشونی^{۱۳}، ۱۹۹۹؛ استرهوین و همکاران^{۱۴}، ۲۰۱۱)، اسپانیا (العمده-گونزالو و همکاران^{۱۵}، ۲۰۱۳)، اسلواکی (ریبار و همکاران^{۱۶}، ۲۰۱۷)، اسلونی (کورتینیک^{۱۷}، ۲۰۰۹؛ کورتینیک، ۲۰۱۲؛ کورتینیک، ۲۰۱۵)، انگلستان (میلار و همکاران^{۱۸}، ۲۰۱۲)، ایتالیا (کرافیرو و همکاران^{۱۹}، ۱۹۹۷؛ بیلینزا و همکاران^{۲۰}، ۲۰۰۰؛ فورنارو و لوفیرا^{۲۱}، ۲۰۰۴؛ برونو شیروبینی^{۲۲}، ۲۰۰۵؛ بونیتو و همکاران^{۲۳}، ۲۰۰۸؛ فیرو و همکاران^{۲۴}، ۲۰۰۹؛ فیرو و همکاران، ۲۰۱۰؛ کاریدو و همکاران^{۲۵}، ۲۰۱۰؛ هوماک و همکاران^{۲۶}، ۲۰۱۲؛ مارکیتی و همکاران^{۲۷}، ۲۰۱۲؛ بورشیلینیا و همکاران^{۲۸}، ۲۰۱۳؛ فیرو و همکاران، ۲۰۱۳؛ اوگیری و اوریستیس^{۲۹}، ۲۰۱۵؛ کاردو و همکاران^{۳۰}، ۲۰۱۶؛ بونیتو و همکاران، ۲۰۲۱؛ جروسو و همکاران^{۳۱}، ۲۰۲۱؛ بیوندی و همکاران^{۳۲}، ۲۰۲۲)، بلژیک (دیفلیشاور و همکاران^{۳۳}، ۲۰۰۶؛ فان دن ایکهاوت و همکاران^{۳۴}، ۲۰۲۱).

⁹ Fugiel *et al.*

¹⁰ Marras *et al.*

¹¹ Vaughn and Tripceovich

¹² Wysokiński *et al.*

¹³ Iannacchione

¹⁴ Esterhuizen *et al.*

¹⁵ Alcalde-Gonzalo *et al.*

¹⁶ Rybár *et al.*

¹⁷ Kortnik

¹⁸ Millar *et al.*

¹⁹ Cravero *et al.*

²⁰ Pelizza *et al.*

²¹ Fornaro and Lovera

²² Bruno and Cherubini

²³ Bonetto *et al.*

²⁴ Ferrero *et al.*

²⁵ Careddu *et al.*

²⁶ He Mc *et al.*

²⁷ Marchetti *et al.*

²⁸ Borchellinia *et al.*

²⁹ Oggeri and Oreste

³⁰ Cardu *et al.*

³¹ Grosso *et al.*

³² Biondi *et al.*

³³ Devleeschouwer *et al.*

³⁴ Van Den Eeckhaut *et al.*

(۲۰۰۷)، پرتغال (اوغیری و همکاران، ۲۰۰۱؛ مارتینز و همکاران^{۳۵}، ۲۰۱۷)، ترکیه (اکسوی و اونارجان^{۳۶}، ۲۰۰۶؛ کون^{۳۷}، ۲۰۱۴)، تونس (جید و همکاران^{۳۸}، ۲۰۱۵)، چین (تان و همکاران^{۳۹}، ۲۰۱۹)، روسیه (یانوفسکیا و همکاران^{۴۰}، ۲۰۱۵)، ژاپن (دینتوی و همکاران^{۴۱}، ۲۰۱۷؛ سیکی و همکاران^{۴۲}، ۲۰۱۹)، فرانسه (کوت و همکاران^{۴۳}، ۲۰۰۵؛ دیفوس و همکاران^{۴۴}، ۲۰۱۰؛ فارغیر و همکاران^{۴۵}، ۲۰۱۷)، کره شمالی (یانگ و همکاران^{۴۶}، ۲۰۱۲)، هند (کومار و همکاران^{۴۷}، ۲۰۱۶)، هنگ کنگ (چان و همکاران^{۴۸}، ۲۰۱۷)، و یونان (کراسولیس و همکاران^{۴۹}، ۱۹۹۹؛ بیناردوس و همکاران^{۵۰}، ۲۰۰۱) نشان‌دهنده امکان‌پذیر بودن استفاده از معدن کار زیرزمینی سنگ ساختمانی در اکثر موارد بوده است. در اغلب این معادن، از گذشته تا حال، معدن کار زیرزمینی سنگ ساختمانی به روش استخراج اتاق و پایه انجام می‌شود (سیلفرتانت^{۵۱}، ۲۰۰۸). در این نوع معادن، تبدیل روش معدن کار سنگ ساختمانی از سطحی به زیرزمینی و یا انتخاب مستقیم معدن کار زیرزمینی سنگ ساختمانی، علاوه بر کاهش و یا حذف کامل مشکلات زیست‌محیطی منطقه، باعث توسعه پایدار منطقه نیز شده است (ساهو و همکاران^{۵۲}، ۲۰۱۵). لذا می‌توان نتیجه گرفت که استخراج سنگ ساختمانی به روش‌های زیرزمینی مزیت‌های قابل توجهی دارد.

به‌طورکلی، مزیت‌های استخراج سنگ ساختمانی به روش‌های معدن کاری زیرزمینی نسبت به معدن کاری سطحی عبارتند از:

- عدم نیاز به روباره و باطله‌برداری قبل و حین استخراج
- حذف انباشتگاه باطله و ضایعات سنگ
- کاهش نرخ و میزان آماده‌سازی قبل از استخراج
- عدم نیاز به کنترل و پایداری دیواره پله‌های استخراجی
- کاهش آلودگی‌های آب و هوایی و صوتی منطقه
- حفظ توپوگرافی و پوشش گیاهی منطقه
- افزایش راندمان کار با استفاده از شرایط دمایی در زیرزمین (خنکی هوا در تابستان و گرمای زمین در زمستان)
- افزایش ایمنی فضای کار به دلیل مقاومت بالای مواد

³⁵ Martins *et al.*

³⁶ Aksoy and Onargan

³⁷ Kun

³⁸ Gaied *et al.*

³⁹ Tan *et al.*

⁴⁰ Yanovskaya and Garshin

⁴¹ Dintwe *et al.*

⁴² Seiki *et al.*

⁴³ Cote *et al.*

⁴⁴ Devos *et al.*

⁴⁵ Fargier *et al.*

⁴⁶ Yang *et al.*

⁴⁷ Kumar *et al.*

⁴⁸ Chan *et al.*

⁴⁹ Crassoulis *et al.*

⁵⁰ Benardos *et al.*

⁵¹ Silvertant

⁵² Sahu *et al.*

- کم شدن هزینه بازکردن اولیه معدن از نظر زمان و فضای اشغال شده در سطح زمین (بدون نیاز به زمان باطله بردای و ایجاد انباشتگاه)
- روش استخراج اتاق و پایه، یکی از قدیمی ترین روش های استخراج زیرزمینی است که از گذشته در اروپا برای استخراج سنگ های ساختمانی استفاده شده است (سیلفرانت، ۲۰۰۸). این روش را که به آن روش استخراج کارگاه باز نیز گفته می شود، اصولاً جزء روش های بدون نگهداری مصنوعی یا با نگهداری طبیعی است (هوسترولید و بولوک^{۵۳}، ۲۰۰۱). در حال حاضر، این روش معدن کار جزء پرکاربردترین روش استخراج سنگ ساختمانی به روش زیرزمینی است (شکل ۱).



شکل ۱: معدن سنگ ساختمانی زیرزمینی دانبی امریکا

Fig. 1: Danby underground building stone mine.

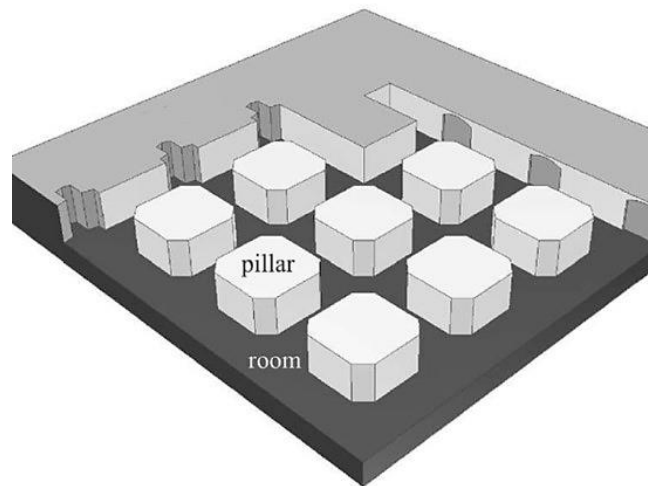
مراحل معدن کاری در روش اتاق و پایه به این صورت است که در ابتدا اتاق هایی با فواصل منظم و متوالی در راستای طول پهنه استخراجی، ایجاد می شود. در این مرحله با ایجاد این اتاق ها، بخش قابل توجهی از کانسار استخراج و بخش دیگر به صورت پایه های نواری طویل در کارگاه استخراج جانمایی می شود. در مرحله بعد، اتاق های موازی دیگری در راستای عرض پهنه کارگاه استخراج و به فواصل منظم و متوالی، با هدف استخراج بخشی از پایه های نواری مرحله قبل، ایجاد می شود (شکل ۲). لذا طی این دو مرحله، استخراج ماده معدنی انجام می شود و بخشی از ماده معدنی به صورت پایه های زنجیری، به عنوان سیستم نگهداری طبیعی، در کارگاه استخراج جانمایی می شود (هارتمن و موتمانسکی^{۵۴}، ۲۰۰۲).

معمولاً ارزیابی اقتصادی طرح های مهندسی با محاسبه هزینه های اجرای پروژه و درآمدهای حاصله از آن و با استفاده از شاخص های اقتصادی نظیر؛ ارزش خالص فعلی (NPV) و نرخ بازگشت داخلی (IRR) انجام می شود. به عنوان مثال، تبدیل درآمد و هزینه های طرح به نرخ ارزش فعلی یا استفاده از نرخ تنزیل با توجه به شرایط

⁵³ Hustrulid and Bullock

⁵⁴ Hartman and Mutmanský

اقتصادی کشور، از جمله روش‌های پرکاربرد برای ارزیابی اقتصادی طرح‌های صنعتی و انتخاب گزینه برتر است (خداپرست و قزلباش، ۱۳۹۵).



شکل ۲: نمایی شماتیک از روش استخراج اتاق و پایه

Fig. 2: Schematic view of room and pillar mining method

به دلیل این که تاکنون از روش‌های استخراج زیرزمینی در معادن سنگ ساختمانی ایران استفاده نشده است، لذا در این تحقیق، برای اولین بار، به بررسی امکان‌پذیر بودن معدن‌کار زیرزمینی سنگ ساختمانی در ایران، پرداخته شده است. در واقع امکان‌سنجی تغییر روش معدن‌کاری از روش استخراج کواری به روش استخراج اتاق و پایه از اهداف اصلی این تحقیق است. به این منظور، از اطلاعات و شرایط موجود در یکی از معادن مجتمع سنگ دهبید، به‌عنوان یکی از مناطق فعال و معروف سنگ مرمریت در ایران، استفاده شده است. مطالعه امکان-سنجی معدن‌کاری زیرزمینی به روش اتاق و پایه در این معدن در مقایسه با روش استخراج کواری در دو بخش فنی و اقتصادی انجام‌شده که در این مقاله، به تحلیل اقتصادی تغییر روش استخراج از کواری به اتاق و پایه پرداخته شده است.

۲. معدن سنگ مرمریت دهبید

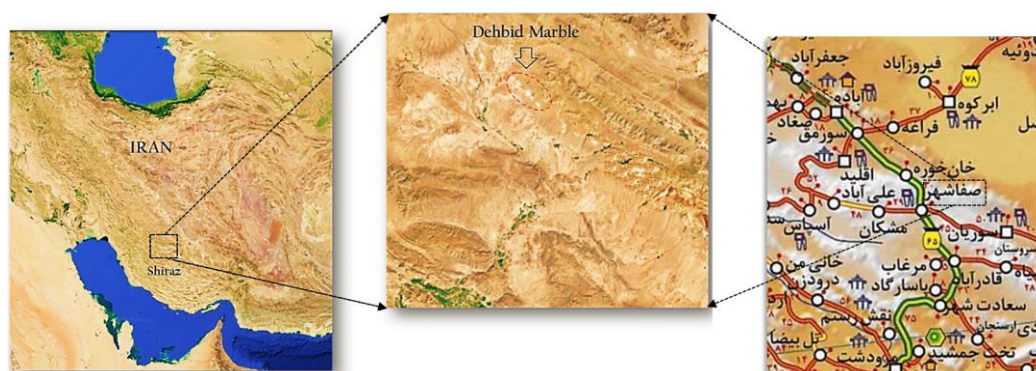
سنگ دهبید، یکی از مرغوب‌ترین و شناخته‌شده‌ترین سنگ مرمریت (از نظر رنگ و جنس) در ایران و جهان است. این سنگ، از معادن مختلفی نظیر، چاه‌مرغی، شایان، انگورک، ثمین، چهرک، دیپلمات، کوه سفید، آشفته و حسن‌آباد، در رنگ‌های کرم روشن، کرم، کرم‌گل‌دار و بژ، استخراج می‌گردد. این تحقیق، در معدن سنگ انگورک انجام شده است.

معدن سنگ مرمریت مذکور، در شهرستان خرم‌بید (دهبید قدیم)، در شمال استان فارس و در فاصله حدود ۱۰ کیلومتری شهر صفاشهر، واقع است. صفاشهر در فاصله ۱۷۰ کیلومتری شمال شیراز قرار دارد. ارتفاع آن از سطح دریا حدود ۲۳۲۴ متر است. صفاشهر، بلندترین شهرستان فارس و پنجمین شهر مرتفع ایران است و آن‌را

بام فارس می‌نامند. این شهرستان، از شمال به استان یزد (شهرستان ابرکوه)، از جنوب به شهرستان پاسارگاد، از شرق به شهرستان بوانات و از غرب به شهرستان اقلید محصور می‌شود. مجتمع سنگ دهبید، در فاصله حدود ۱۷۵ کیلومتری شمال شرقی شیراز و در ارتفاع متوسط ۲۵۰۰ متر از سطح دریا، در مسیر جاده آسفالت شیراز-آباد قرار گرفته است (شکل ۳).

معدن سنگ انگورک، از مجموعه معدن سنگ دهبید در ناحیه استحفاظی پاسگاه نیروی انتظامی دهبید و در حوزه سرپرستی سازمان صنایع و معدن استان فارس قرار دارد. آب مورد نیاز این معدن، از چشمه‌هایی که در مجاورت معدن قرار دارند، تأمین می‌شود. از این چشمه‌ها می‌توان آب صنعتی برای بهره‌برداری و استخراج سنگ با سیم‌برش را تأمین نمود. نیروی انسانی ساده مورد نیاز این معدن، اکثراً از روستاهای اطراف و نیروی ماهر، از نقاط دورتر تأمین می‌شود.

کانسار مورد مطالعه، شامل یک توده سنگ آهکی کریستالیزه است که با نام تجاری مرمریت استخوانی شناخته می‌شود. این کانسار را می‌توان از مجموعه مرمریت دولومیت‌های زون سنج-سیرجان دانست. طبقات مرمر دولومیتی در یک دگرگونی ولکانیکی باریک میان لایه‌ای همراه با شیست سبز آمفیبولیت، لاوهای اولترابازیک و محصولات پیروکالستیک مربوط به ولکانیزم بازیک در یک مجموعه افولیتی قرار گرفته‌اند. ارزنده‌ترین ذخایر مرمریت ایران، از نظر میزان ذخیره و کیفیت، در این زون واقع شده‌اند.



شکل ۳: موقعیت جغرافیایی معدن سنگ مرمریت دهبید

Fig. 3: Geographical location of the Dehbid marble stone mine.

طراحی و انتخاب روش استخراج در این معدن، همانند دیگر معادن سنگ ساختمانی ایران، ب صورت سطحی و روش پلکانی (تحت عنوان روش استخراج کواری) انجام شده است. در این گونه معادن، با وجود توپوگرافی زیاد، معدن کار شامل احداث راه دسترسی به ذخیره و بازگشایی آن با باطله‌برداری و آماده‌سازی و نهایتاً احداث پله‌های استخراجی است.

۳. تحلیل اقتصادی تبدیل روش استخراج سطحی به زیرزمینی

به‌منظور بررسی اقتصادی هر طرح معدنی، نیازمند تعیین هزینه‌ها و سپس امکان‌سنجی انجام آن است. لذا در این بخش، به بررسی کلیه هزینه‌های سرمایه‌گذاری، عملیاتی و جاری معدن سنگ دهبید، توسط روش‌های استخراج

کواری و اتاق و پایه، پرداخته شده است. سپس امکان‌سنجی اقتصادی این دو روش با نرم افزار COMFAR انجام شده است. در نهایت با توجه به معیارهای اقتصادی نظیر ارزش خالص فعلی، روش استخراج برتر تعیین شده است. لازم به ذکر است که کلیه برآورد هزینه‌ها به صورت تحقیقات میدانی و قیمت عملیاتی سال ۱۴۰۲ هـ.ش.، از نزدیکترین معادن در حال استخراج منطقه مورد مطالعه، انجام شده است. تمامی قیمت‌ها و هزینه‌ها که در محاسبات این تحقیق استفاده شده‌اند، از منابع معتبر و قابل اعتماد به دست آمده‌اند. این داده‌ها از گزارش‌های مالی رسمی و مطالعات بازار مرتبط با صنعت معدن کار و سنگ‌های ساختمانی در منطقه مورد مطالعه، جمع‌آوری شده‌اند. به طور خاص، قیمت‌ها از فروشندگان معتبر داخلی و نهادهای اقتصادی فعال در این صنعت استخراج شده‌اند. برای اطمینان از دقت و صحت این داده‌ها، از چندین منبع مختلف استفاده شده تا امکان مقایسه و تطبیق داده‌ها با اطلاعات واقعی بازار فراهم شود. این فرآیند موجب شده است تا داده‌ها از نظر دقت و اعتبار قابل اعتماد باشند. علاوه بر این، برای هر یک از مقادیر مورد استفاده (از جمله هزینه‌های استخراج، حمل‌ونقل و فروش)، نرخ‌های نوسانات بازار در نظر گرفته شده است تا از احتمال اشتباه یا انحرافات بازار جلوگیری شود. لذا، تمامی داده‌ها بر اساس شاخص‌های واقعی بازار و استانداردهای صنعتی انتخاب شده‌اند تا اطمینان حاصل شود که محاسبات منعطف و معتبر باقی می‌مانند. همچنین در طول عمر معدن، میزان افزایش هزینه‌های عملیاتی و متغیر معدن، سالانه ۱۰ درصد فرض شده است. در طول دوره بهره‌برداری نیز، ضریب افزایش قیمت فروش سالانه ۱۰ درصد در نظر گرفته شده است.

۳-۱. تحلیل اقتصادی استخراج معدن به روش سطحی

بر اساس پروانه بهره‌برداری، اطلاعات زمانی مراحل معدن‌کاری معدن به روش استخراج کواری در جدول ۱ آورده شده است. میزان ذخیره مرمیت معدن، بر اساس طرح بهره‌برداری شماره ۲۲۷۷۶، صادر شده از طرف سازمان صنعت، معدن و تجارت، ۱۱۶۰۰۰۰ تن است. بر این اساس، ظرفیت تولید معین سالانه ۸۰۰۰۰ تن بوده و عمر معدن (مدت بهره‌برداری) ۱۵ ساله در نظر گرفته شده است. در استخراج به روش کواری فرض شده است که بهره‌برداری بلافاصله بعد از مرحله آماده‌سازی شروع خواهد شد.

جدول ۱: اطلاعات زمانی مراحل معدن‌کاری معدن به روش استخراج کواری

Tab. 1: Time information of mining stages with quarry

روش استخراج	مراحل معدن‌کاری		عمر معدن	
	آماده‌سازی	بهره‌برداری	شروع	پایان
کواری	۱ سال	۱۴ سال	۱۴۰۲/۰۱/۰۱	۱۴۱۶/۰۱/۰۱

هم‌چنین در جدول ۲ نیز، مشخصات کلی تولید استخراج معدن به روش استخراج کواری آورده شده است. در این تحقیق، استهلاک به روش خطی نزولی و مالیات طبق تعرفه سازمان صنعت، معدن و تجارت، بر اساس مالیات بر درآمد و حقوق دولتی، محاسبه شده است. با توجه به وضعیت توپوگرافی منطقه، باید در دوره

آماده‌سازی و بهره‌برداری حجم زیادی باطله‌برداری، در محدوده ۱۰ هزار متری معدن، انجام شود. به دلیل حجم باطله زیاد در روش استخراج کواری، تعداد سه عدد کارگاه استخراج برای باطله‌برداری به صورت برشی-انفجاری در مدت زمان معین در نظر گرفته شده است.

جدول ۲: مشخصات کلی تولید استخراج معدن به روش کواری

Tab. 2: General characteristics of quarry mining production

پارامتر	واحد	مقدار (توضیحات)
محصول	-	سنگ مرمریت تزئینی
مقدار کل ذخیره	تن	۱۰۱۶۰۰۰۰
میزان تولید سالیانه (تن)	تن	تولید با ۷۰٪ ظرفیت: ۵۶۰۰۰ تولید با ۸۵٪ ظرفیت: ۶۸۰۰۰ تولید با ظرفیت کامل: ۸۰۰۰۰
قیمت متوسط فروش	ریال / تن	۳۵۰۰۰۰۰۰
حقوق دولتی	ریال	۰/۵ درصد فروش
نرخ مالیات	درصد	۲۵

در جدول ۳ میزان باطله و سنگ و هزینه لازم برای باطله‌برداری معدن مذکور آورده شده است. همچنین هزینه‌های باطله‌برداری و استخراج سنگ، همراه با مشخصات فنی روش استخراج در جدول ۴ ارائه شده است. با توجه به اطلاعات این جدول، هزینه کل باطله‌برداری در روش استخراج کواری، در صورت واگذاری به پیمانکار، با احتساب ۱۰۷۴۲۰۰۰ تن باطله و هزینه باطله‌برداری ۴۰۵۰۰۰۰۰ ریال بر تن، مبلغ ۷۸۴۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰ ریال خواهد بود.

جدول ۳: میزان باطله و سنگ قابل استخراج در معدن کاری کواری

Tab. 3: The amount of waste and ore in quarry mining

نوع ماده	مقدار (تن)
باطله	۱۰۷۴۲۰۰۰
سنگ قابل استخراج	۱۰۱۶۰۰۰۰

جدول ۴: اطلاعات کلی نحوه استخراج معدن به روش کواری

Tab. 4: General information of quarry mining

پارامتر	واحد	مقدار
مساحت کارگاه استخراج (۹۶×۱۱۲)	مترمربع	۱۰۷۵۲
ارتفاع باطله	متر	۶۰
ارتفاع سنگ استخراجی	متر	۴۰
وزن مخصوص سنگ	تن / مترمکعب	۲/۶۹
هزینه باطله‌برداری و استخراج	ریال / تن	۴۰۵۰۰۰۰۰

۳-۱-۱. هزینه‌های سرمایه‌گذاری روش استخراج کواری

هزینه‌های سرمایه‌گذاری شامل؛ هزینه‌های ساخت تأسیسات و ساختمان‌های مورد نیاز برای راه‌اندازی معدن سنگ به روش استخراج کواری (جدول ۵) و هزینه‌های خرید ماشین‌های مورد نیاز (جدول ۶) برای این منظور است. علاوه بر این، هزینه آماده‌سازی اولیه نیز وجود دارد که در جدول ۷، به همراه مجموع هزینه‌های سرمایه‌گذاری آورده شده است.

جدول ۵: هزینه‌های ساختمان‌ها و تأسیسات مورد نیاز روش استخراج کواری

Tab. 5: Costs of buildings and facilities required for quarry mining

شرح تأسیسات	مشخصات	واحد	ارزش واحد (ریال)	ارزش کل (ریال)
ساختمان‌های اداری، مسکونی و خدماتی با تجهیزات	۵۰۰	مترمربع	۱۰.۰۰۰.۰۰۰	۵۰.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰
تعمیرگاه و جایگاه سرویس ماشین‌های سبک و سنگین	۱۵۰	مترمربع	۶۰.۰۰۰.۰۰۰	۹.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰
انبار وسایل و لوازم	۱۰۰	مترمربع	۸۰.۰۰۰.۰۰۰	۸.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰
مخزن سوخت	۳×۲۰۰۰	لیتر	۴۰.۰۰۰	۲.۴۰۰.۰۰۰.۰۰۰
مخزن آب	۲×۲۰۰۰	لیتر	۴۰.۰۰۰	۱۶۰۰.۰۰۰.۰۰۰
جمع کل هزینه‌ها (ریال)				۷۱.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰

جدول ۶: هزینه‌های ماشین‌های مورد نیاز روش استخراج کواری

Tab. 6: Costs of machinery required for quarry mining

نام دستگاه	مشخصات دستگاه	تعداد	ارزش کل (ریال)
لودر	KOMATSUWA600	۳	۶۰۰.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰
بیل مکانیکی	KOMATSUW-PC-400	۳	۴۵۰.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰
بلدوزر	KOMATSU155	۲	۱۶۰.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰
کامیون	KOMATSU HD465-5	۴	۴۲۰.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰
ژنراتور	VOLVOPENTA-M12	۲	۱۲۰.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰
کمپرسور	CUMMINS700	۲	۲۰.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰
دستگاه سیم‌برش الماسه	HP60	۶	۱۸۰.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰
دستگاه حفاری راسل	DTH90	۱۲	۱۵۰.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰
کامیون حمل آب	BENZ	۱	۴۰.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰
وانت	مزدا	۱	۵۰.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰
جمع کل هزینه‌ها (ریال)			۱.۷۴۰.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰

جدول ۷: کل هزینه‌های سرمایه‌گذاری استخراج معدن به روش کواری

Tab. 7: The total investment costs of quarry mining

شرح	هزینه (ریال)	نحوه مستهلک کردن دارایی
سال	استهلاک	
آماده‌سازی اولیه	۵۰.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰	۱۵٪
کارهای عمرانی و ساخت‌وساز	۷۱.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰	۱۵٪

تأمین ماشین‌ها و تجهیزات	۱.۷۴۰.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰	۱۵	%۳۰
جمع کل هزینه‌ها (ریال)	۱.۸۶۱.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰		

۳-۱-۲. هزینه‌های عملیاتی روش استخراج کواری

هزینه‌های عملیاتی یا جاری معدن کار به روش استخراج کواری، شامل دو بخش؛ هزینه‌های نیروی انسانی مورد نیاز در هر شیفت کاری (جدول ۸) و یا سالیانه (جدول ۹)، همچنین هزینه‌های ابزارها و لوازم مصرفی (جدول ۱۰) است. بر این اساس، کل هزینه‌های عملیاتی سالیانه روش استخراج کواری در جدول ۱۱، ارائه شده است.

جدول ۸: هزینه‌های نیروی انسانی مورد نیاز روش استخراج کواری

Tab. 8: Labor costs required for quarry mining

شرح	تعداد	دستمزد ماهیانه هر نفر (ریال)	کل دستمزد سالیانه (ریال)
سرپرست معدن	۱	۲۵۰.۰۰۰.۰۰۰	۳.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰
مهندس معدن	۲	۲۵۰.۰۰۰.۰۰۰	۶.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰
تکنسین مکانیک	۲	۱۸۰.۰۰۰.۰۰۰	۴.۳۲۰.۰۰۰.۰۰۰
مسئول تدارکات	۱	۱۴۰.۰۰۰.۰۰۰	۱.۶۸۰.۰۰۰.۰۰۰
تکنسین برق	۲	۱۵۰.۰۰۰.۰۰۰	۳.۶۰۰.۰۰۰.۰۰۰
اپراتور دستگاه برش	۴	۱۲۰.۰۰۰.۰۰۰	۵.۷۶۰.۰۰۰.۰۰۰
کارگر حفار	۴	۱۲۰.۰۰۰.۰۰۰	۵.۷۶۰.۰۰۰.۰۰۰
کارگر ماهر	۴	۱۰۰.۰۰۰.۰۰۰	۴.۸۰۰.۰۰۰.۰۰۰
کارگر ساده	۴	۹۵.۰۰۰.۰۰۰	۴.۵۶۰.۰۰۰.۰۰۰
راننده دامتراک	۴	۱۶۰.۰۰۰.۰۰۰	۷.۶۸۰.۰۰۰.۰۰۰
راننده لودر	۳	۲۲۰.۰۰۰.۰۰۰	۷.۹۲۰.۰۰۰.۰۰۰
راننده بولدوزر	۲	۲۰۰.۰۰۰.۰۰۰	۴.۸۰۰.۰۰۰.۰۰۰
راننده بیل	۳	۱۸۰.۰۰۰.۰۰۰	۶.۴۸۰.۰۰۰.۰۰۰
سرویس کار و مکانیک	۲	۱۵۰.۰۰۰.۰۰۰	۳.۶۰۰.۰۰۰.۰۰۰
کارمند اداری و خدماتی	۳	۱۲۰.۰۰۰.۰۰۰	۴.۳۲۰.۰۰۰.۰۰۰
آشپز	۲	۱۵۰.۰۰۰.۰۰۰	۳.۶۰۰.۰۰۰.۰۰۰
انباردار و نگهبان	۲	۱۱۰.۰۰۰.۰۰۰	۲.۶۴۰.۰۰۰.۰۰۰
جمع	۴۵	۶.۷۱۰.۰۰۰.۰۰۰	۸۰.۵۲۰.۰۰۰.۰۰۰

جدول ۹: هزینه‌های سالیانه حقوق و دستمزد روش استخراج کواری

Tab. 9: Annual salary costs for quarry mining

پارامتر	مقدار (ریال)
کل دستمزد سالیانه در سه شیفت کاری	۲۴۱.۵۶۰.۰۰۰.۰۰۰
حق بیمه سهم کارفرما (۲۳ درصد)	۵۵.۵۵۸.۸۰۰.۰۰۰
پاداش سالیانه (معادل یک ماه حقوق)	۶.۷۱۰.۰۰۰.۰۰۰

حقوق سالیانه مسئول فنی معدن	۳,۶۰۰,۰۰۰,۰۰۰
هزینه سالیانه دانش فنی	۵۷۱,۲۰۰,۰۰۰
جمع کل هزینه‌ها	۳,۰۸۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰

جدول ۱۰: هزینه‌های سالیانه ابزارها، لوازم و مواد مصرفی روش استخراج کواری

Tab. 10: Annual costs of quarry mining tools and consumables

نوع ابزارآلات	مشخصات	تعداد یا مقدار	ارزش واحد (ریال)	ارزش کل (ریال)
سیم‌برش الماسه	نرم‌بر	۵۰۰ متر	۱۱,۰۰۰,۰۰۰	۵,۵۰۰,۰۰۰,۰۰۰
چکش حفاری	۱۴ کیلویی	۲ عدد	۲۵۰,۰۰۰,۰۰۰	۵۰۰,۰۰۰,۰۰۰
کابل	مسی سه‌فاز	۶۵۰ متر	۳,۵۰۰,۰۰۰	۲,۲۷۵,۰۰۰,۰۰۰
کپ ۱۴ الماسه	سرکپ	۳۰ عدد	۲۵۰,۰۰۰,۰۰۰	۷,۵۰۰,۰۰۰,۰۰۰
کوپلینگ	----	۴۵ عدد	۱۰,۰۰۰,۰۰۰	۴۵۰,۰۰۰,۰۰۰
شلنگ هوای فشرده	۳/۴ اینچ و ۲ اینچ	۷۰۰ متر	۵۰۰,۰۰۰	۳۵۰,۰۰۰,۰۰۰
نعل و پارس	از جنس فولاد	۷۰ سری	۱,۵۰۰,۰۰۰	۱۰۵,۰۰۰,۰۰۰
لباس کار	پرسنل	۴۵ دست	۱,۵۰۰,۰۰۰	۶۷,۵۰۰,۰۰۰
بنزین	وانت مزدا	۳۵۰ لیتر	۳۰,۰۰۰	۱۰,۵۰۰,۰۰۰
گازوئیل	ماشین‌های سنگین	۹۵۰ لیتر	۳,۵۰۰	۳,۳۲۵,۰۰۰,۰۰۰
روغن موتور	۱۱۰۰۰ ایرانول	۱۶,۰۰۰ لیتر	۱,۲۵۰,۰۰۰	۲۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰
روغن هیدرولیک	ماشین‌ها	۴۵۰ لیتر	۱,۶۰۰,۰۰۰	۷,۲۰۰,۰۰۰,۰۰۰
غذای کارکنان	یک وعده	۴۵۰۰	۱۰,۰۰۰,۰۰۰	۴۵۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰
کابل و روشنایی	محوطه	۵۰۰ متر	۴۵۰,۰۰۰	۲۲۵,۰۰۰,۰۰۰
باروت	۷۵ گرم بر تن	۱۳,۰۰۰ کیلوگرم	۷,۰۰۰,۰۰۰	۹۱۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰
چاشنی	۰/۲ گرم بر تن	۳۴۰۰ عدد	۲,۰۰۰,۰۰۰	۶۸۰,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰
جمع کل هزینه‌ها (ریال)			۱۴۹,۴۰۳,۰۰۰,۰۰۰	

جدول ۱۱: کل هزینه‌های عملیاتی استخراج معدن به روش کواری

Tab. 11: The total operating costs of quarry mining

شرح	هزینه (ریال)
تأمین مواد مصرفی	۱۴۹,۴۰۳,۰۰۰,۰۰۰
سرمایه در گردش (۲۵٪ هزینه‌های جاری)	۲۰۸,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰
حقوق دولتی	۱۳۶,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰
نیروی انسانی	۳۰۸,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰
هزینه‌های متفرقه و پیش‌بینی نشده (۱۰٪ هزینه‌های لوازم مصرفی، نیروی انسانی و تعمیر و نگهداری ماشین‌ها و تأسیسات)	۶۳,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰
تعمیر نگهداری ماشین‌ها و تأسیسات (۱۰٪ هزینه‌های ماشین‌ها و ۵٪ تأسیسات)	۱۷۴,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰
جمع کل هزینه‌ها	۱,۰۳۸,۰۰۰,۰۰۰,۰۰۰

شکل ۴: ورود اطلاعات به نرم افزار COMFAR

بعد از ورود اطلاعات اولیه از دوره زمانی مراحل استخراج معدن به روش کواری به نرم افزار COMFAR، محاسبات انجام می شود. در شکل های ۵ و ۶ به ترتیب خلاصه ای از کلیه هزینه های عملیاتی و سرمایه گذاری ارائه شده است. هم چنین میزان سرمایه در گردش، بهای تمام شده محصول، سود خالص، درآمد و غیره محاسبه شده است. در این مرحله، دو شاخص مهم اقتصادی، ارزش خالص فعلی (NPV) کل سرمایه و نرخ بازگشت داخلی (IRR) سرمایه گذاری، برای بررسی اقتصادی یا عدم اقتصادی بودن استخراج معدن به روش استخراج کواری تعیین شده است.

درآمد و هزینه های عملیاتی			
سال اول	سال مرجع	سال آخر	
1403	1408	1416	
3,157,000,000,000.00	5,084,380,070,000.00	10,898,820,223,839.03	درآمد فروش
1,416,143,300,000.00	1,118,568,930,083.00	2,397,751,841,739.59	هزینه های تولید (کنارخانه)
0.00	0.00	0.00	هزینه های سرباز اناری
1,416,143,300,000.00	1,118,568,930,083.00	2,397,751,841,739.59	هزینه های عملیاتی
85,460,000,000.00	85,460,000,000.00	85,460,000,000.00	استهلاک
299,200,000,000.00	240,932,296,000.00	516,459,773,673.21	هزینه های تأمین مالی
1,800,803,300,000.00	1,444,961,226,083.00	2,999,671,615,412.80	کل هزینه های تولید
0.00	0.00	0.00	هزینه های بازاریابی
1,800,803,300,000.00	1,444,961,226,083.00	2,999,671,615,412.80	بهای تمام شده محصولات
0.00	0.00	0.00	بهره سپرده های کوتاه مدت
1,356,196,700,000.00	3,639,418,843,917.00	7,899,148,608,426.23	سود ناخالص عملیاتی
0.00	0.00	0.00	درآمد غیر مترقبه
0.00	0.00	0.00	زیان غیر مترقبه
0.00	0.00	0.00	تغییر استهلاک
1,356,196,700,000.00	3,639,418,843,917.00	7,899,148,608,426.23	سود ناخالص
0.00	0.00	0.00	تغییر سرمایه گذاری
1,356,196,700,000.00	3,639,418,843,917.00	7,899,148,608,426.23	سود ممتول میافوت
339,049,175,000.00	909,854,710,979.25	1,974,787,152,106.56	عزوفات بر درآمد (ترکت)
1,017,147,525,000.00	2,729,564,132,937.75	5,924,361,456,319.67	سود خالص

نسبتها			
در 25.00%	52,741,591,078,657.75	خالص ارزش فعلی کل سرمایه	
43.92%		نرخ بازده داخلی سرمایه گذاری (IRR)	
43.92%		IRR تبدیل شده سرمایه گذاری	
در 25.00%	41,676,978,707,045.02	خالص ارزش فعلی کل حقوق صاحبان سهام	
39.65%		نرخ بازده داخلی حقوق صاحبان سرمایه (IRRE)	
39.65%		IRR تبدیل شده حقوق صاحبان سرمایه	
12/1413		خالص ارزش فعلی محاسبه میشود برای	

شکل ۵: درآمد و هزینه های عملیاتی استخراج معدن به روش کواری در نرم افزار COMFAR

Fig. 5: Income and operating costs of quarry mining in COMFAR software

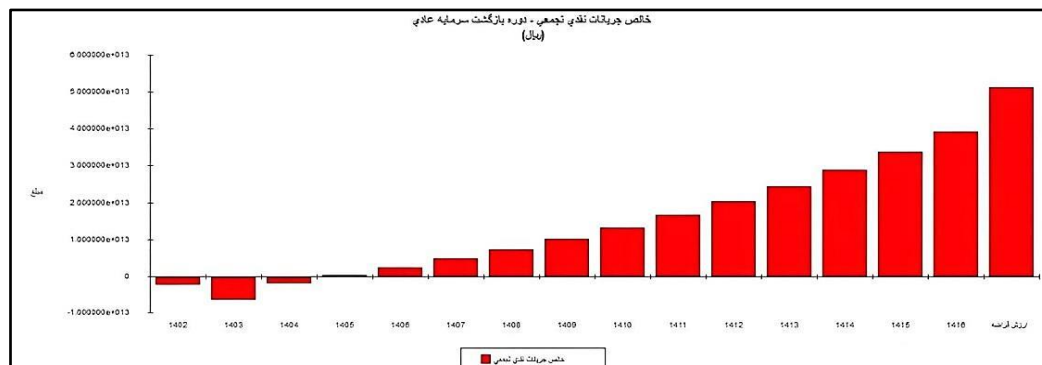
هزینه های سرمایه گذاری			
کل فاز ساخت	کل فاز تولید	کل سرمایه گذاری	
1,874,000,000,000.00	1,938,666,346,731.86	3,812,666,346,731.86	کل هزینه های ثابت سرمایه گذاری
50,000,000,000.00	0.00	50,000,000,000.00	کل مخارج پیش از تولید
50,000,000,000.00	0.00	50,000,000,000.00	مخارج پیش از تولید (خالص از بهره)
0.00	0.00	0.00	بهره
149,403,000,000.00	9,240,357,102,997.65	9,389,760,102,997.65	افزایش در سرمایه در گردش خالص
2,073,403,000,000.00	11,179,023,449,729.51	13,252,426,449,729.51	کل هزینه های سرمایه گذاری

منابع تأمین مالی			
کل فاز ساخت	کل فاز تولید	کل جریانات نقدی ورودی	
2,073,403,000,000.00	0.00	2,073,403,000,000.00	کل حقوق صاحبان سهام
0.00	0.00	0.00	خارجی
2,073,403,000,000.00	0.00	2,073,403,000,000.00	داخلی
0.00	0.00	0.00	کل وامهای بلند مدت
0.00	0.00	0.00	خارجی
0.00	0.00	0.00	داخلی

شکل ۶: هزینه های سرمایه گذاری استخراج معدن به روش کواری در نرم افزار COMFAR

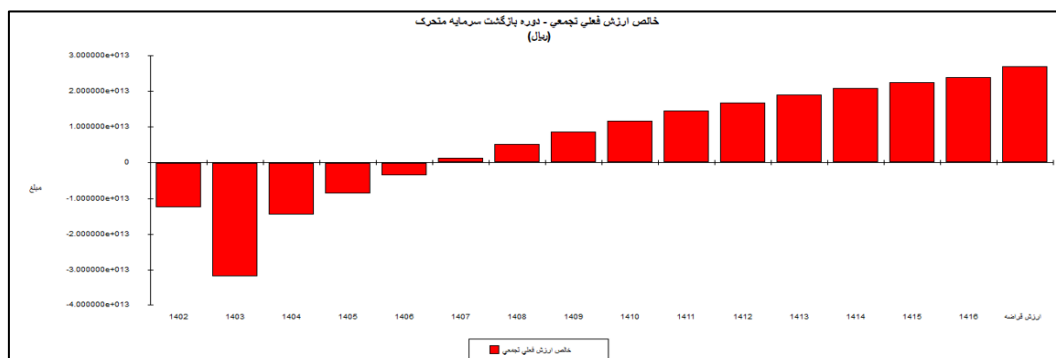
Fig. 6: Investment costs of quarry mining in COMFAR software

در شکل ۷، نمودار دوره بازگشت سرمایه عادی در استخراج معدن به روش استخراج کواری ارائه شده است. همان طور که مشخص است، در سال چهارم (۱۴۰۵)، کل میزان سرمایه عادی معدن مذکور به طور کامل برگشته است.



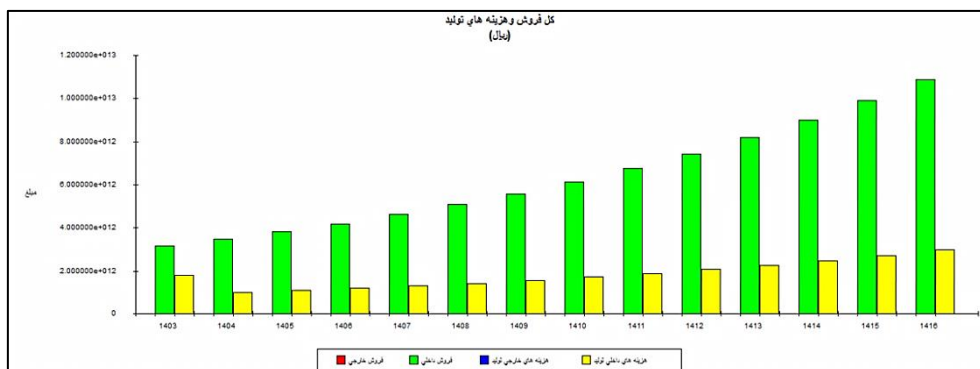
شکل ۷: نمودار دوره بازگشت سرمایه عادی استخراج معدن به روش کواری
 Fig. 7: Diagram of normal payback period for quarry mining

در شکل ۸ نیز، نمودار دوره بازگشت سرمایه در گردش در روش استخراج کواری ارائه شده است. بر اساس این نمودار، در سال ششم (۱۴۰۷)، کل سرمایه در گردش معدن مذکور به طور کامل برگشته است. با توجه به بازگشت سرمایه در گردش بعد از ۶ سال، این روش از لحاظ توجیه پذیری قابل قبول نیست.



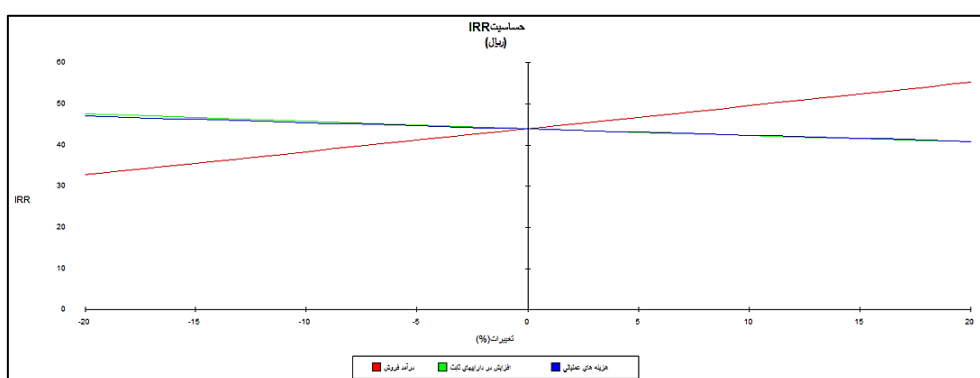
شکل ۸: نمودار دوره بازگشت سرمایه در گردش استخراج معدن به روش کواری
 Fig. 8: Diagram of dynamic payback period for quarry mining

همچنین نمودار کل هزینه ها و درآمد فروش در شکل ۹ ارائه شده است. بر اساس این نمودار، در تمام سال های اجرای در معدن، مقدار هزینه ها کمتر از درآمد فروش است. تحلیل حساسیت انجام شده (شکل ۱۰) نیز نشان می دهد که درآمد فروش و افزایش دارایی های ثابت، به ترتیب بیشترین و کمترین تأثیر را بر روی نرخ بازگشت داخلی (IRR) دارد.



شکل ۹: نمودار کل فروش و هزینه‌های تولید (ریال) استخراج معدن به روش کواری

Fig. 9: Diagram of total sales and production costs for quarry mining



شکل ۱۰: نمودار تحلیل حساسیت نرخ بازگشت داخلی (IRR) استخراج معدن به روش کواری

Fig. 10: Diagram of sensitivity analysis of internal rate of return (IRR) for quarry mining

نتایج نهایی به‌دست آمده از تحلیل اقتصادی انجام شده به کمک نرم‌افزار COMFAR، در جدول ۱۲ ارائه شده است. با در نظر گرفتن نرخ تنزیل ۲۵٪، ارزش خالص فعلی کل سرمایه برابر ۵۲.۷۴۱۰۰۰۰۰۰۰۰۰ ریال شده که نشان‌دهنده توجیه‌پذیری روش از لحاظ اقتصادی است. همچنین نرخ بازده داخلی (IRR)، برابر با ۴۳/۹۲٪ تعیین شده که بزرگتر از حداقل نرخ جذب‌کننده، یعنی ۲۵٪، است.

جدول ۱۲: شاخص‌های اقتصادی استخراج معدن به روش کواری

Tab. 12: Economic indicators of quarry mining

مقدار	شرح
۴۳/۹۲	نرخ بازده داخلی کل (IRR) (درصد)
۵۲.۷۴۱۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰	ارزش خالص فعلی کل سرمایه (NPV) (ریال)
۴	دوره بازگشت سرمایه عادی (سال)
۶	دوره بازگشت سرمایه در گردش (سال)

در استخراج معدن به روش استخراج کواری، دوره بازگشت سرمایه در حالت عادی تقریباً ۴ سال و در حالت در گردش، با در نظر گرفتن ارزش زمانی پول، بیش از ۶ سال به دست آمده است. این میزان دوره بازگشت در حالت در گردش، بیانگر عدم جذابیت روش استخراج مذکور است.

۳-۲. تحلیل اقتصادی استخراج معدن به روش زیرزمینی

بر اساس پروانه بهره‌برداری، اطلاعات دوره زمانی مراحل استخراج معدن به روش استخراج زیرزمینی اتاق و پایه در جدول ۱۳ آورده شده است. بر اساس پروانه صادر شده از طرف سازمان صنعت، معدن و تجارت، ظرفیت تولید معین سالانه ۸۰.۰۰۰ تن بوده و در این روش عمر معدن ۱۲ ساله در نظر گرفته شده است. بر این اساس مراحل معدن کاری در این روش، شامل یک سال آماده‌سازی و یازده سال بهره‌برداری است. زمان بهره‌برداری با توجه به میزان جانمایی پایه‌ها، به دست آمده است. در این مرحله نیز مشابه استخراج به روش کواری، فرض شده است که در ابتدا مرحله آماده‌سازی و بعد از پایان آن، بلافاصله مرحله بهره‌برداری شروع خواهد شد.

جدول ۱۳: اطلاعات زمانی مراحل استخراج معدن به روش اتاق و پایه

Tab. 13: Time information of room and pillar mining stages

روش استخراج	مراحل معدن کاری		عمر معدن	
	آماده‌سازی	بهره‌برداری	شروع	پایان
زیرزمینی (اتاق و پایه)	۱ سال	۱۱ سال	۱۴۰۲/۱/۱	۱۴۱۴/۱/۱

در جدول ۱۴ نیز، مشخصات کلی تولید معدن به روش اتاق و پایه آورده شده است. لازم به ذکر است که پایه‌ها در روش استخراج اتاق و پایه، مربعی شکل و منظم فرض شده است. همچنین طراحی کارگاه استخراج (ابعاد اتاق و پایه)، بر اساس تحلیل و محاسبه‌های فنی تعیین شده است. تحلیل فنی بر اساس محاسبه‌های ژئومکانیکی و به کمک روش عددی انجام شده، که در مقاله دیگری توسط نویسندگان ارائه شده است.

جدول ۱۴: مشخصات کلی تولید استخراج معدن به روش اتاق و پایه

Tab. 14: General characteristics of room and pillar mining production

موضوع	واحد	مقدار (توضیحات)
محصول	-	سنگ مرمریت تزئینی
مقدار کل ذخیره	تن	۱.۱۶۰.۰۰۰
میزان تولید سالانه (با ظرفیت کامل)	تن	۸۰.۰۰۰
ابعاد کارگاه استخراجی	متر	۹۶×۱۱۲×۴۰
ابعاد پایه‌ها (مربعی)	متر	۱۶×۱۶
ضریب بازیابی	درصد	۷۱/۵
قیمت متوسط فروش	ریال / تن	۳۵.۰۰۰.۰۰۰
حقوق دولتی	ریال	۰/۵ درصد فروش
نرخ مالیات	درصد	۲۵

۳-۲-۱. هزینه‌های سرمایه‌گذاری روش استخراج اتاق و پایه

مشابه با استخراج معدن به روش کواری، در استخراج معدن به روش اتاق و پایه نیز، هزینه‌های سرمایه‌گذاری شامل؛ هزینه‌های ساخت تأسیسات و ساختمان‌های مورد نیاز برای راه‌اندازی معدن (جدول ۱۵) و هزینه‌های خرید ماشین‌های مورد نیاز (جدول ۱۶) برای این منظور است. لازم به ذکر است که در جدول ۱۵، سیستم نگهداری تونل دسترسی به کارگاه استخراج روش استخراج اتاق و پایه به‌عنوان بازکننده اصلی معدن، یک لایه شاتکریت (بتن پاشیدنی) به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر با بتنی با ۳۰۰ کیلوگرم سیمان در هر مترمکعب، در نظر گرفته شده است.

جدول ۱۵: هزینه‌های ساختمان‌ها و تأسیسات مورد نیاز روش استخراج اتاق و پایه

Tab. 15: Costs of buildings and facilities required for room and pillar mining

شرح تأسیسات	مشخصات	واحد	ارزش واحد (ریال)	ارزش کل (ریال)
ساختمان‌های اداری، مسکونی و خدماتی با تجهیزات	۵۰۰	مترمربع	۱۰۰.۰۰۰.۰۰۰	۵۰.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰
تعمیرگاه و جایگاه سرویس ماشین‌های سبک و سنگین	۱۵۰	مترمربع	۶۰.۰۰۰.۰۰۰	۹.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰
سیستم نگهداری تونل دسترسی	۲۰۰	مترمربع	۷.۵۰۰.۰۰۰	۱.۵۰۰.۰۰۰.۰۰۰
انبار وسایل و لوازم	۱۰۰	مترمربع	۸۰.۰۰۰.۰۰۰	۸۰.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰
مخزن سوخت	۳×۲۰۰۰۰	لیتر	۴۰.۰۰۰	۲.۴۰۰.۰۰۰.۰۰۰
مخزن آب	۲×۲۰۰۰۰	لیتر	۴۰.۰۰۰	۱.۶۰۰.۰۰۰.۰۰۰
جمع کل هزینه‌ها				۷۲.۵۰۰.۰۰۰.۰۰۰

جدول ۱۶: هزینه‌های ماشین‌آلات مورد نیاز روش استخراج اتاق و پایه

Tab. 16: Costs of machinery required for room and pillar mining

نام دستگاه	مشخصات	تعداد	ارزش کل (ریال)
لودر	KOMATSUWA600	۱	۲۰۰.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰
دستگاه اره زنجیری (ماشین‌هاواژ)	MOD.70 sup-h	۲	۸۰.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰
لودر تونلی (LHD)	Atlas Copco ST3.5	۱	۲۲۰.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰
بیل مکانیکی	KOMATSUW-PC-400	۱	۱۵۰.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰
ژنراتور برق	VOLVOPENTA-M12	۲	۱۲.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰
کمپرسور	CUMMINS700	۱	۱۰.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰
موتور جوشکاری	دینام جوش	۱	۲۰۰.۰۰۰.۰۰۰
وانت	مзда	۱	۵.۵۰۰.۰۰۰.۰۰۰
پمپ آب	موتوژن	۱	۴۵۰.۰۰۰.۰۰۰
پمپ پاکت	موتوژن	۱	۳۰۰.۰۰۰.۰۰۰
فن تهویه	-	۱۰	۱.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰
جمع کل هزینه‌ها (ریال)			۶۷۹.۱۷۵.۰۰۰.۰۰۰

در جدول ۱۷ نیز، کل هزینه‌های سرمایه‌گذاری استخراج زیرزمینی معدن به روش اتاق و پایه، مشابه به محاسبه‌های انجام‌شده در معدن کاری کواری (ارائه شده در بخش ۱-۱-۳)، آورده شده است.

جدول ۱۷: کل هزینه‌های سرمایه‌گذاری استخراج معدن به روش اتاق و پایه

Tab. 17: The total investment costs of room and pillar mining

شرح	هزینه (ریال)	سال	نحوه مستهلک کردن دارایی
بازکردن و آماده‌سازی	۵۰.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰	۱۲	۱۰٪
کارهای عمرانی و ساخت‌وساز	۷۲.۵۰۰.۰۰۰.۰۰۰	۱۲	۱۰٪
تأمین ماشین‌ها و تجهیزات	۶۷۹.۱۷۵.۰۰۰.۰۰۰	۱۲	۳۰٪
جمع کل هزینه‌ها (ریال)	۸۰۲.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰		

۲-۲-۳: هزینه‌های عملیاتی روش استخراج اتاق و پایه

هزینه‌های عملیاتی یا جاری معدن کاری به روش استخراج اتاق و پایه نیز مشابه با معدن کاری کواری (توضیح داده‌شده در بخش ۲-۱-۳)، شامل دو بخش؛ هزینه‌های نیروی انسانی مورد نیاز در هر شیفت کاری (جدول ۱۸) و یا سالیانه (جدول ۱۹)، همچنین هزینه‌های ابزارها و لوازم مصرفی (جدول ۲۰) است.

جدول ۱۸: هزینه‌های نیروی انسانی مورد نیاز روش استخراج اتاق و پایه

Tab. 18: Labor costs required for room and pillar mining

شرح	تعداد	دستمزد ماهیانه هر نفر (ریال)	کل دستمزد سالیانه (ریال)
سرپرست معدن	۱	۲۵۰.۰۰۰.۰۰۰	۳.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰
مهندس معدن	۲	۲۵۰.۰۰۰.۰۰۰	۶.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰
تکنسین مکانیک	۲	۱۸۰.۰۰۰.۰۰۰	۴.۳۲۰.۰۰۰.۰۰۰
مسئول تدارکات	۱	۱۴۰.۰۰۰.۰۰۰	۱.۶۸۰.۰۰۰.۰۰۰
سرپرست معدن	۱	۱۷۰.۰۰۰.۰۰۰	۲.۰۴۰.۰۰۰.۰۰۰
تکنسین برق	۱	۱۳۰.۰۰۰.۰۰۰	۱.۵۶۰.۰۰۰.۰۰۰
اپراتور دستگاه برش	۲	۱۲۰.۰۰۰.۰۰۰	۲.۸۸۰.۰۰۰.۰۰۰
کارگر حفار	۲	۱۲۰.۰۰۰.۰۰۰	۲.۸۸۰.۰۰۰.۰۰۰
کارگر ماهر	۲	۱۰۰.۰۰۰.۰۰۰	۲.۴۰۰.۰۰۰.۰۰۰
کارگر ساده	۴	۹۵.۰۰۰.۰۰۰	۴.۵۶۰.۰۰۰.۰۰۰
راننده لودر	۲	۲۲۰.۰۰۰.۰۰۰	۵.۲۸۰.۰۰۰.۰۰۰
سرویس کار و مکانیک	۲	۱۵۰.۰۰۰.۰۰۰	۳.۶۰۰.۰۰۰.۰۰۰
کارمند اداری و خدماتی	۲	۱۰۰.۰۰۰.۰۰۰	۲.۴۰۰.۰۰۰.۰۰۰
مهندس معدن	۱	۱۶۰.۰۰۰.۰۰۰	۱.۹۲۰.۰۰۰.۰۰۰
آشپز	۲	۱۵۰.۰۰۰.۰۰۰	۳.۶۰۰.۰۰۰.۰۰۰
انباردار و نگهبان	۲	۱۱۰.۰۰۰.۰۰۰	۲.۶۴۰.۰۰۰.۰۰۰

۵۰.۷۶۰.۰۰۰.۰۰۰	۴.۳۲۰.۰۰۰.۰۰۰	۲۹	جمع
----------------	---------------	----	-----

جدول ۱۹: هزینه‌های سالیانه حقوق و دستمزد روش استخراج اتاق و پایه

Tab. 19: Annual salary costs for room and pillar mining

مقدار (ریال)	پارامتر
۱۰۱.۵۲۰.۰۰۰.۰۰۰	کل دستمزد سالیانه در دو شیفت کاری
۲۳.۳۴۹.۶۰۰.۰۰۰	حق بیمه سهم کارفرما (۲۳ درصد)
۴.۳۲۰.۰۰۰.۰۰۰	پاداش سالیانه (معادل یک ماه حقوق)
۳۶۰۰.۰۰۰.۰۰۰	حقوق سالیانه مسئول فنی معدن
۳۰.۲۱۰.۴۰۰.۰۰۰	هزینه سالیانه دانش فنی
۱۶۳.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰	جمع کل هزینه‌ها

جدول ۲۰: هزینه‌های سالیانه ابزارها، لوازم و مواد مصرفی روش استخراج اتاق و پایه

Tab. 20: Annual costs of room and pillar mining tools and consumables

شرح	مشخصات	تعداد یا مقدار	ارزش واحد (ریال)	ارزش کل (ریال)
چکش حفاری	۱۴ کیلویی	۲ عدد	۲۵۰.۰۰۰.۰۰۰	۵۰۰.۰۰۰.۰۰۰
کابل	مسی سه فاز	۳۰۰ متر	۳.۵۰۰.۰۰۰	۱.۰۵۰.۰۰۰.۰۰۰
شلنگ هوای فشرده	3/4 اینچ	۲۰۰ متر	۵۰۰.۰۰۰	۱۰۰.۰۰۰.۰۰۰
نعل و پارس	از جنس فولاد	۲۰ عدد	۱۵۰.۰۰۰.۰۰۰	۳۰۰.۰۰۰.۰۰۰
لباس کار	برای پرسنل	۲۵ دست	۱.۵۰۰.۰۰۰	۳۷.۵۰۰.۰۰۰
بنزین	وانت	۳۵۰ لیتر	۳۰.۰۰۰	۱۰.۵۰۰.۰۰۰
گازوئیل	ماشین‌های سنگین	۳۰۰.۰۰۰ لیتر	۳.۵۰۰	۱.۰۵۰.۰۰۰.۰۰۰
روغن موتور	۱۱۰۰۰ ایرانول	۲۰۰۰ لیتر	۱.۲۵۰.۰۰۰	۲.۵۰۰.۰۰۰.۰۰۰
روغن هیدرولیک	ماشین‌ها	۳۰۰ لیتر	۱.۶۰۰.۰۰۰	۴۸۰.۰۰۰.۰۰۰
غذای کارکنان	یک وعده	۲۹ عدد	۱.۰۰۰.۰۰۰	۲۹.۰۰۰.۰۰۰
الماس ۸ گوشه	دستگاه اره زنجیری	۲۷۰	۱.۵۰۰.۰۰۰	۴۰۵.۰۰۰.۰۰۰
کابل و روشنایی	کارگاه استخراجی	۴۰۰ متر	۳۵۰.۰۰۰	۱۴۰.۰۰۰.۰۰۰
جمع کل هزینه‌ها (ریال)				۶۶۰۲.۰۰۰.۰۰۰

لازم به ذکر است با توجه به این که تجربه معدن کاری زیرزمینی سنگ ساختمانی هنوز در ایران وجود ندارد، لذا هزینه‌ای نیز تحت عنوان دانش فنی به مجموع هزینه‌های سالیانه حقوق و دستمزد معدن کاری به روش اتاق و پایه (جدول ۱۹)، اضافه شده است. در ادامه، مجموع کل هزینه‌های عملیاتی استخراج معدن به روش زیرزمینی در جدول ۲۱، آورده شده است.

جدول ۲۱: کل هزینه‌های عملیاتی استخراج معدن به روش اتاق و پایه

Tab. 21: The total operating costs of room and pillar mining

شرح	هزینه (ریال)
تامین مواد مصرفی	۶۶۰۲.۰۰۰.۰۰۰

Fig. 11: Investment costs of room and pillar mining in COMFAR software

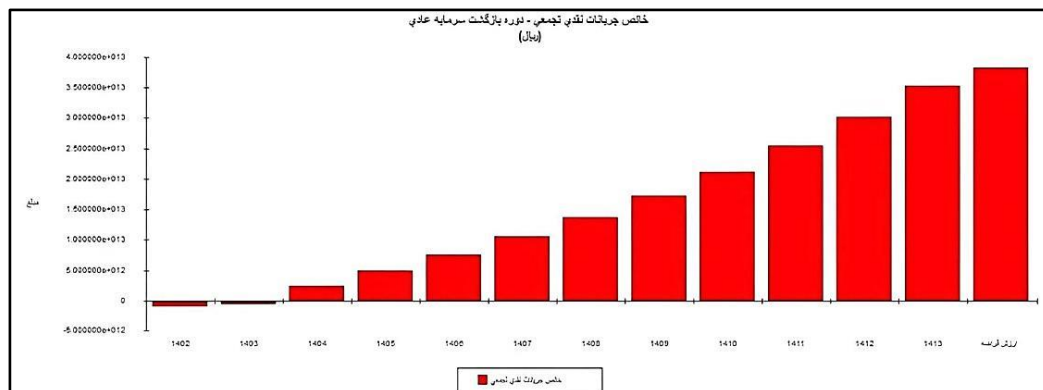
درآمد و هزینه های عملیاتی	سال اول 1403	سال مرجع 1408	سال آخر 1413
درآمد فروش	3,003,000,000,000.00	4,836,361,530,000.00	7,789,008,607,680.31
هزینه های تولید (کاردانه)	515,280,700,000.00	420,780,282,939.50	677,670,853,476.89
هزینه های سربار جاری	0.00	0.00	0.00
هزینه های عملیاتی	515,280,700,000.00	420,780,282,939.50	677,670,853,476.89
استهک	32,528,125,000.00	32,528,125,000.00	32,528,125,000.00
هزینه های تامین مالی	268,400,000,000.00	216,130,442,000.00	348,080,238,145.42
کل هزینه های تولید	816,208,825,000.00	669,438,849,939.50	1,058,279,216,622.32
هزینه های بازاریابی	0.00	0.00	0.00
بهای تمام شده محصولات	816,208,825,000.00	669,438,849,939.50	1,058,279,216,622.32
بهره سیرده های کوتاه مدت	0.00	0.00	0.00
سود ناخالص عملیاتی	2,186,791,175,000.00	4,166,922,680,060.50	6,730,729,391,057.99
درآمد غیر مترقبه	0.00	0.00	0.00
زین غیر مترقبه	0.00	0.00	0.00
تغییر استهک	0.00	0.00	0.00
سود ناخالص	2,186,791,175,000.00	4,166,922,680,060.50	6,730,729,391,057.99
تغییر سرمایه گذاری	0.00	0.00	0.00
سود مشمول مالیات	2,186,791,175,000.00	4,166,922,680,060.50	6,730,729,391,057.99
مالیات بر درآمد (شوک)	546,697,793,750.00	1,041,730,670,015.13	1,682,682,347,764.50
سود خالص	1,640,093,381,250.00	3,125,192,010,045.38	5,048,047,043,293.49

خالص ارزش فعلی کل سرمایه	در 25.00%	100,931,188,992,351.06
نرخ بازده داخلی سرمایه گذاری (IRR)	158.57%	
IRR تعدیل شده سرمایه گذاری	158.56%	
خالص ارزش فعلی کل حقوق صاحبان سهام	در 25.00%	91,818,651,717,500.41
نرخ بازده داخلی حقوق صاحبان سرمایه (IRRE)	140.30%	
IRR تعدیل شده حقوق صاحبان سرمایه	140.30%	
خالص ارزش فعلی معادله می شود برای	12/1413	

شکل ۱۲: هزینه های سرمایه گذاری استخراج معدن به روش اتاق و پایه در نرم افزار COMFAR

Fig. 12: Investment costs of room and pillar mining in COMFAR software

در شکل ۱۳، نمودار دوره بازگشت سرمایه عادی در استخراج معدن به روش اتاق و پایه ارائه شده است. همان طور که مشخص است، در سال سوم (۱۴۰۴)، کل میزان سرمایه عادی روش استخراج به طور کامل برگشته است.

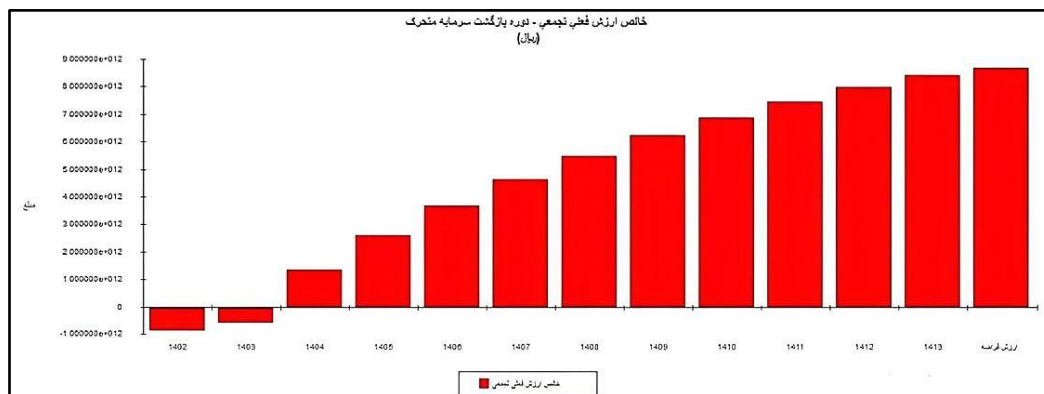


شکل ۱۳: نمودار دوره بازگشت سرمایه عادی استخراج معدن به روش اتاق و پایه

Fig. 13: Diagram of normal payback period for room and pillar mining

در شکل ۱۴ نیز، نمودار دوره بازگشت سرمایه در گردش در استخراج زیرزمینی معدن به روش اتاق و پایه ارائه شده است. بر اساس این نمودار، در سال سوم (۱۴۰۴)، کل سرمایه در گردش روش مذکور به طور کامل

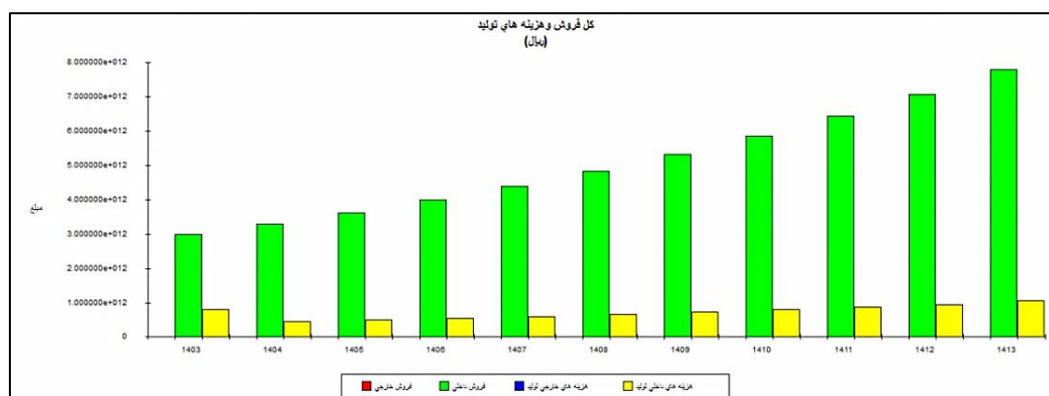
برگشته است. با توجه به بازگشت سرمایه در گردش بعد از ۳ سال، روش مذکور از لحاظ توجیه پذیری و قابل قبول است.



شکل ۱۴: نمودار دوره بازگشت سرمایه در گردش استخراج معدن به روش اتاق و پایه

Fig. 14: Diagram of dynamic payback period for room and pillar mining

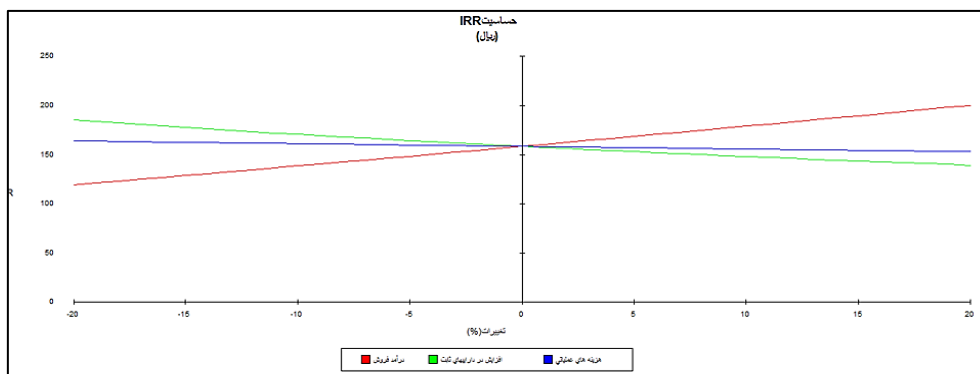
همچنین، نمودار کل هزینه ها و درآمد فروش نیز در شکل ۱۵ ارائه شده است. بر اساس این نمودار، در تمام سال های اجرای روش استخراج زیرزمینی، مقدار هزینه ها کمتر از درآمد فروش است.



شکل ۱۵: نمودار کل فروش و هزینه های تولید (ریال) استخراج معدن به روش اتاق و پایه

Fig. 15: Diagram of total sales and production costs for room and pillar mining

در ادامه این بخش، تحلیل حساسیت انجام شده نشان می دهد که درآمد فروش و هزینه های عملیاتی، به ترتیب بیشترین و کمترین تأثیر را بر روی نرخ بازگشت داخلی (IRR) دارد (شکل ۱۶).



شکل ۱۶: نمودار تحلیل حساسیت نرخ بازگشت داخلی (IRR) استخراج معدن به روش اتاق و پایه

Fig. 16: Diagram of sensitivity analysis of internal rate of return (IRR) for room and pillar mining

در جدول ۲۲، نتایج نهایی به دست آمده از تحلیل اقتصادی انجام شده ارائه شده است. با در نظر گرفتن نرخ تنزیل ۲۵٪، ارزش خالص فعلی کل سرمایه برابر ۱۰۱.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰ ریال شده که نشان دهنده توجیه پذیر بودن روش استخراج اتاق و پایه از لحاظ اقتصادی است. همچنین نرخ بازده داخلی این روش (IRR)، برابر با ۱۵۸/۵۷٪ تعیین شده که بزرگتر از حداقل نرخ جذب کننده (۲۵٪) است.

جدول ۲۲: شاخص های اقتصادی استخراج معدن به روش اتاق و پایه

Tab. 22: Economic indicators of room and pillar mining

مقدار	شرح
۱۵۸/۵۷	نرخ بازده داخلی کل (IRR) (درصد)
۱۰۱.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰	ارزش خالص فعلی کل سرمایه (NPV) (ریال)
۳	دوره بازگشت سرمایه عادی (سال)
۳	دوره بازگشت سرمایه در گردش (سال)

در استخراج معدن به روش زیرزمینی اتاق و پایه، دوره بازگشت سرمایه در حالت عادی تقریباً ۳ سال و در حالت در گردش نیز ۳ سال به دست آمده است. بنابراین، با در نظر گرفتن ارزش زمانی پول، این میزان دوره بازگشت در حالت در گردش، بیانگر جذابیت روش مذکور است.

۳-۳. بحث و تحلیل

کلیه پارامترهای اقتصادی دو روش معدن کاری کواری و اتاق و پایه بررسی شده در این تحقیق، در جدول ۲۳ خلاصه شده است. مقایسه این پارامترها نشان می دهد که تقریباً در تمام شاخص های اقتصادی، در معدن سنگ مورد مطالعه در این تحقیق، روش استخراج زیرزمینی اتاق و پایه نسبت به روش استخراج سطحی کواری، توجیه پذیر و قابل قبول است. در این خصوص نتایج نشان می دهد که، مقدار ارزش خالص فعلی (NPV) در روش استخراج اتاق و پایه بیشتر از روش استخراج کواری است. این نشان دهنده آن است که استفاده از روش

استخراج اتاق و پایه به لحاظ اقتصادی بیشتر به صرفه است. از طرفی، با توجه به نرخ بازگشت داخلی (IRR) به دست آمده برای هر دو روش، نرخ بازگشت داخلی روش استخراج اتاق و پایه (۵۷.۱۵۸٪) از روش استخراج کواری (۴۳.۹۲٪) بیشتر است. این اختلاف نشان می‌دهد که روش استخراج اتاق و پایه برای سرمایه‌گذاری اقتصادی‌تر و جذاب‌تر است. همچنین، با توجه به دوره بازگشت سرمایه به دست آمده و ارزش زمانی پول، روش استخراج اتاق و پایه زمان کمتری برای بازگشت سرمایه نیاز دارد و از این نظر نیز اقتصادی‌تر از روش استخراج کواری است. در مجموع، تحلیل‌ها نشان می‌دهند که استفاده از روش استخراج اتاق و پایه (معدن کاری زیرزمینی) به جای روش استخراج کواری (معدن کاری زیرزمینی) در معدن مذکور، اقتصادی‌تر و توجیه‌پذیرتر است.

جدول ۲۳: مقایسه اقتصادی دو روش معدن کار کواری و اتاق و پایه

Tab. 23: Economic comparison of quarry and room and pillar mining methods

مقدار		واحد	پارامتر
روش اتاق و پایه	روش کواری		
۱۲	۱۵	سال	عمر پروژه
۸۰۲۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰	۱۸۶۱۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰	ریال	هزینه سرمایه‌گذاری
۹۶۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰	۲۰۸۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰	ریال	سرمایه در گردش
۴۷۹۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰	۱۰۳۸۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰	ریال	هزینه‌های عملیاتی
۵۰۴۸۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰	۵۰۲۴۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰	ریال	سود خالص
۱۰۱۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰	۵۳۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰۰	ریال	ارزش خالص فعلی سرمایه‌گذاری (NPV)
۱۵۸.۸۷	۴۳.۹۲	درصد	نرخ بازگشت داخلی سرمایه (IRR)
۲	۴	سال	دوره بازگشت سرمایه عادی
۳	۶	سال	دوره بازگشت سرمایه در گردش

ارزش خالص فعلی (NPV) یک معیار کلیدی در تحلیل پروژه‌های سرمایه‌گذاری است که با محاسبه تفاوت بین ارزش فعلی درآمدهای پیش‌بینی‌شده و هزینه‌های اولیه، به تحلیل‌گر کمک می‌کند تا سودآوری پروژه را ارزیابی نماید. بر اساس جدول ۲۳، روش استخراج اتاق و پایه دارای ارزش خالص فعلی بالاتری است، به این معنا که سرمایه‌گذاری در این روش نسبت به روش استخراج کواری بیشتر سودآور است. در واقع، با توجه به نرخ تنزیل ۲۵٪ که در این تحقیق برای محاسبات استفاده شده، این نشان‌دهنده بازده بیشتر در آینده نسبت به هزینه‌های فعلی پروژه است.

از طرفی، نرخ بازگشت داخلی (IRR) نرخ سود یا بازدهی است که در آن NPV برابر با صفر می‌شود. به عبارت دیگر، این نرخ نشان می‌دهد که پروژه چقدر سودآور است. بر این اساس در این معدن مورد مطالعه، روش استخراج اتاق و پایه به‌طور مؤثرتر می‌تواند منابع مالی را جذب کرده و بازده بیشتری نسبت به روش استخراج کواری ایجاد کند. به عبارت دیگر، پروژه‌ای با IRR بالاتر معمولاً در کوتاه‌مدت سودآوری بیشتری دارد و می‌تواند ریسک سرمایه‌گذاری را کمتر کند. معمولاً کاهش هزینه‌های عملیات و انتظارات بالا از درآمد فروش می‌تواند باعث بالا رفتن IRR گردد. با توجه به این‌که با به‌کارگیری روش استخراج اتاق و پایه هزینه‌های

عملیاتی به دلیل عدم باطله‌بردای کاهش می‌یابد، همچنین بلوک‌های سنگی با کیفیت و راندمان بالاتری استخراج می‌گردد، لذا درآمد فروش نیز بیشتر خواهد گردید. لذا می‌توان انتظار داشت که در این حالت، نرخ بازگشت داخلی روش استخراج اتاق و پایه نسبت به روش استخراج کواری بالاتر باشد.

به‌طور کلی، در حالی که NPV می‌تواند ارزش اقتصادی پروژه را نشان دهد، IRR به سرمایه‌گذار این امکان را می‌دهد که نسبت به نرخ بازده‌ای که پروژه خواهد داشت، تصمیم‌گیری کند. NPV مثبت به معنی بازده مثبت و ارزش افزوده است، اما اگر IRR کمتر از نرخ تنزیل (در این تحقیق ۲۵٪) باشد، پروژه برای سرمایه‌گذاری جذاب نیست. از آن‌جا که در هر دو روش IRR بالاتر از ۲۵٪ بوده است، این نشان می‌دهد که هر دو روش اقتصادی بوده و بازده بالایی ایجاد می‌کنند، ولی در نهایت روش استخراج اتاق و پایه با IRR بیشتر، ترجیح داده می‌شود. لذا، تحلیل‌های IRR و NPV به وضوح نشان می‌دهند که در این مطالعه، معدن‌کاری زیرزمینی (روش استخراج اتاق و پایه) به نسبت معدن‌کاری سطحی (روش استخراج کواری) مزایای اقتصادی بیشتری دارد. همچنین با توجه به NPV و IRR بالاتر در روش استخراج اتاق و پایه، این روش از لحاظ اقتصادی توجیه‌پذیرتر و به سرمایه‌گذاران پیشنهاد می‌شود.

بر اساس این جدول، هزینه سرمایه‌گذاری به‌دست آمده بیشتر در روش استخراج کواری، به واسطه نیاز به خرید ماشین‌های بیشتری در مقایسه با روش استخراج اتاق و پایه است. ضمن این‌که در این تحقیق فرض شده است که برش سنگ در روش استخراج کواری با دستگاه سیم‌برش الماسه و در روش استخراج اتاق و پایه با دستگاه هاواژ یا اره زنجیری انجام شود. بر این اساس، سرعت برش و تولید دستگاه هاواژ ۲۰-۱۵ مترمربع در ساعت و دستگاه سیم برش الماسه، ۴-۶ مترمربع در ساعت در نظر گرفته شده است. لذا می‌توان نتیجه گرفت سرعت زمانی برش و تولید در روش استخراج اتاق و پایه، تقریباً می‌تواند ۳ تا ۴ برابر بیشتر نسبت به روش استخراج کواری باشد. بر این اساس هزینه‌های عملیاتی روش استخراج کواری نسبت به روش استخراج اتاق و پایه بیشتر است.

از طرفی باید توجه داشت که در کانسارهای عمیق (۶۰ متر در این تحقیق)، معمولاً بعد از گذشت چند سال از شروع معدن‌کاری به روش استخراج کواری (اتمام عملیات باطله‌برداری)، تولید سنگ قابل فروش شروع می‌شود. ولی در روش استخراج اتاق و پایه، به دلیل دسترسی مستقیم به کانسار در شروع معدن‌کار، معمولاً از همان ابتدای شروع معدن‌کاری، تولید سنگ قابل فروش امکان‌پذیر است. لذا بر این اساس، تفاوت بین نرخ بازگشت سرمایه عادی و در گردش بین دو روش استخراج کواری و اتاق و پایه، قابل قبول است.

به‌طور کلی، کوتاه‌تر بودن دوره بازگشت سرمایه در روش استخراج اتاق و پایه نسبت به روش استخراج کواری می‌تواند به دلایل زیر ممکن شود:

- هزینه‌های عملیاتی پایین‌تر به دلیل استفاده از تجهیزات ساده‌تر و کمتر در استخراج زیرزمینی.
- بهره‌وری بالاتر و استخراج هدفمندتر سنگ‌های با کیفیت بالا.
- دوره زمانی سریع‌تر برای درآمدزایی به دلیل فروش سنگ‌های استخراج‌شده با سرعت بیشتر.
- ارزش زمانی پول که در پروژه‌ای با دوره بازگشت سرمایه کوتاه‌تر، سریع‌تر جبران می‌شود.

۴. نتیجه گیری

با وجود این که معدن کار سطحی سنگ ساختمانی به روش استخراج کواری متداول است، اتاق و پایه، یکی از روش های معدن کار زیرزمینی جذاب برای این منظور است. از آن جا که استخراج زیرزمینی سنگ ساختمانی هنوز در ایران انجام نشده، در این تحقیق امکان استفاده از روش استخراج اتاق و پایه برای استخراج زیرزمینی سنگ ساختمانی بررسی شده است. در صورت وجود شرایط به کارگیری این روش در یک معدن سنگ، بررسی فنی-اقتصادی تبدیل روش معدن کار سطحی به زیرزمینی، راه کاری مناسب برای انتخاب درست روش معدن کار و توجیه پذیری آن است. بر این اساس، بررسی اقتصادی تغییر روش معدن کار از روش استخراج کواری به روش استخراج اتاق و پایه یک معدن سنگ ساختمانی (معدن سنگ مرمریت دهبید)، هدف اصلی این تحقیق بوده است.

در مطالعه امکان سنجی و تحلیل اقتصادی تبدیل روش استخراج از سطحی به زیرزمینی، برآورد دقیق کل هزینه و درآمدهای انجام روش استخراج، پیش نیاز تعیین فرآیند مالی و تحلیل آن به کمک نرم افزار COMFAR است. مقایسه شاخص های مهم اقتصادی نظیر ارزش خالص فعلی (NPV) و نرخ بازگشت داخلی (IRR)، روشی منطقی برای تعیین روش استخراج بهینه است. در ادامه این بخش، خلاصه ای از نتایج به دست آمده از این تحقیق به شرح زیر ارائه شده است:

- با در نظر گرفتن نرخ تنزیل ۲۵٪، ارزش خالص فعلی (NPV) به دست آمده در روش معدن کار زیرزمینی (۱۰۱.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰ ریال) بیشتر از معدن کار سطحی (۵۲.۷۴۱.۰۰۰.۰۰۰.۰۰۰ ریال) است. لذا بر اساس این شاخص، معدن کار زیرزمینی سنگ ساختمانی اقتصادی تر است.
- نرخ بازگشت داخلی (IRR) به دست آمده برای هر دو روش معدن کار سطحی و زیرزمینی از حداقل نرخ جذب کننده (۲۵٪) بیشتر است. ولی IRR در روش معدن کار زیرزمینی (۱۵۸/۵۷٪) بیشتر از معدن کار سطحی (۴۳/۹۲٪) است. لذا بر اساس این شاخص، معدن کار زیرزمینی سنگ ساختمانی اقتصادی تر است.
- تحلیل حساسیت در مرحله بررسی اقتصادی نشان داده است که درآمد فروش و افزایش دارایی های ثابت، به ترتیب بیشترین و کمترین تأثیر را بر روی نرخ بازگشت داخلی (IRR)، روش استخراج کواری داشته است. حال آن که در روش استخراج اتاق و پایه، درآمد فروش و هزینه های عملیاتی، به ترتیب بیشترین و کمترین تأثیر را بر روی IRR داشته است.
- مقایسه بین دوره بازگشت سرمایه نشان می دهد که در روش استخراج کواری، این دوره در حالت عادی و در گردش به ترتیب برابر با ۴ و ۶ سال است. ولی در روش استخراج اتاق و پایه، دوره بازگشت سرمایه در دو حالت عادی و در گردش با هم یکسان و برابر با ۳ سال تعیین شده است. لذا با در نظر گرفتن ارزش زمانی پول، معدن کار زیرزمینی به روش استخراج اتاق و پایه اقتصادی تر است.
- در معدن سنگ مورد مطالعه در این تحقیق، تقریباً تمام شاخص های اقتصادی نشان می دهد که استفاده از روش استخراج اتاق و پایه به جای روش استخراج کواری، توجیه پذیر و قابل قبول است.

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از زحمات و حسن توجه سردبیر، اعضای هیأت تحریریه و داوران فصلنامه مطالعات اقتصادی کاربردی ایران، تشکر و قدردانی کنند.

درصد مشارکت نویسندگان

نویسندگان اعلام می‌دارند با توجه به این که این مقاله از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد استخراج شده است، نگارش برعهده نویسنده دوم و راهنمایی آن برعهده نویسنده اول قرار داشته است.

تضاد منافع

نویسندگان با رعایت اصول اخلاقی انتشار در ارجاع‌دهی، نبود تضاد منافع را اعلام می‌دارند.

کتابنامه

- خداپرست مشهدی، مهدی؛ و قزلباش، اعظم، (۱۳۹۵). «ارزیابی اقتصادی احداث نیروگاه برق آبی (تلمبه - ذخیره‌ای) در سدهای مخزنی کشور مطالعه موردی: سد و نیروگاه پیرتقی». فصلنامه مطالعات اقتصادی کاربردی / ایران، ۵(۱۷): ۲۳۴-۱۹۹. <https://doi: 10.22084/aes.2016.1414>
- سلیمی‌فر، مصطفی؛ مهدوی عادل، محمدحسین؛ رجبی مشهدی، حبیب؛ و قزلباش، اعظم، (۱۳۹۲). «ارزیابی اقتصادی انرژی برق خورشیدی (فتوولتائیک) و برق فسیلی در یک واحد خانگی در شهرستان مشهد». فصلنامه مطالعات اقتصادی کاربردی ایران، ۲(۸): ۱۳۶-۱۱۵. <https://dor/20.1001.1.23222530.1392.2.8.8.1>

References

- Aksoy, C. O. & Onargan, T.U.R.G.A.Y., (2006). "Sizing room and pillar by numerical modeling for underground marble quarries in Turkey". *Journal of Mining Science*, 42: 483-489. <https://doi.org/10.1007/s10913-006-0077-9>
- Alcalde-Gonzalo, J., Prendes-Gero, M.B., Álvarez-Fernández, M.I., Álvarez-Vigil, A.E. & González-Nicieza, C., (2013). "Roof tensile failures in underground excavations". *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 58: 141-148. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2012.10.003>
- Asr, E.T., Kakaie, R., Ataei, M. & Mohammadi, M.R.T., (2019). "A review of studies on sustainable development in mining life cycle". *Journal of Cleaner Production*, 229: 213-231. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.029>
- Benardos, A.G., Kaliampakos, D.C., Prousiotis, J.G., Mavrikos, A.A. & Skoparantzios, K.A., (2001). "Underground aggregate mining in Athens: a promising investment plan". *Tunnelling and underground space technology*, 16(4): 323-329. [https://doi.org/10.1016/S0886-7798\(01\)00059-1](https://doi.org/10.1016/S0886-7798(01)00059-1)
- Biondi, G., Fiandaca, O., Aliberti, D. & Cascone, E., (2022). "Effect of the presence of a historical underground quarry on site seismic response". In: *Geotechnical*

Engineering for the Preservation of Monuments and Historic Sites III, CRC Press, 756-767. <https://doi.org/10.1201/9781003308867-57>

- Bonetto, S., Fornaro, M., Giuliani, A. & Lasagna, M., (2008). "Underground quarrying and water control: Some cases from Northern Italy". *Mine water and the Environment*, 7-10.

https://www.imwa.info/docs/imwa_2008/IMWA2008_132_Bonetto.pdf

- Bonetto, S.M.R., Vagnon, F., Umili, G., Vianello, D., Migliazza, M.R. & Ferrero, A.M., (2021). "The contribution of remotely sensed data to the stress state evaluation in underground marble quarries". *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 24(1): 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2020.12.008>

- Borchiellinia, R., Cardub, M., Colellac, F., Labagnara, D., Martinettib, A., Patruccob, M., Sandrind, D. & Verdaa, V., (2013). "A prevention through design approach for the environmental S&H conditions and the ventilation system at an Italian underground quarry". *Chemical Engineering Transactions*, 32: 181-186. <https://doi.org/10.3303/CET1332031>

- Bruno, G. & Cherubini, C., (2005). "Subsidence induced by the instability of weak rock underground quarries in Apulia". *Giornale di Geologia Applicata*, 1: 33-39. <https://www.aigaa.org/public/GGA.2005-01.0-04.0004.pdf>

- Cardu, M., Dipietromaria, S. & Oreste, P., (2016). "Sub-level stoping in an underground limestone quarry: an analysis of the state of stress in an evolutionary scenario". *Archives of Mining Sciences*, 61(1). <https://doi.org/10.1515/amsc-2016-0015>

- Careddu, N., Siotto, G. & Tuveri, A., (2010). "Evolution of a marble quarry: from open cast to underground exploitation". In: *Proceedings of Global Stone Congress*, 2-5. <https://doi.org/10.1515/amsc-2016-0015>

- Carvalho, F.P., (2017). "Mining industry and sustainable development: time for change". *Food and Energy security*, 6(2): 61-77. <https://doi.org/10.1002/fes3.109>

- Chan, H.K.K., Millis, S.W., Wallace, M.I. & Hung, K.C., (2017). "Hong Kong's hidden aggregate resource: the potential for underground quarrying". In: *Proceedings of the HKIE Geotechnical Division 37th Annual Seminar*, 34-44. <https://www.researchgate.net/publication/316952069>

- Cote, P., Dérobert, X. & Abraham, O., (2005). "Typology of conditions for underground quarry pillars based on geophysical investigations". In: *Proceedings of the International Symposium of Post-Mining*. Nancy, France. <https://www.semanticscholar.org>

- Crassoulis, G., Kapenis, A., Thoraval, A., Ferrero, M., Germann, K., Iabichino, G., Gardenato, M. & Dell'Antone, F., (1999). "Development of an integrated computer-aided design and planning methodology for underground marble quarries". *Conference of EUROTHEN'99, Second annual Workshop, Cagliari*, 1-6. <https://hal.science/ineris-00976277v1>

- Cravero, M. & Iabichino, G., (1997). "Geomechanical study for the exploitation of an underground marble quarry". *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 34(3-4): 58.e1-58.e14. [https://doi.org/10.1016/S1365-1609\(97\)00047-6](https://doi.org/10.1016/S1365-1609(97)00047-6)

- Devleeschouwer, X., Mullard, C. & Goemaere, E., (2006). "Management of abandoned slate and coticule underground quarries by means of GIS, Vielsalm, Belgium". In: *Proceedings of the 10th IAEG Congress, Nottingham, United Kingdom*. https://media.geolsoc.org.uk/iaeg2006/PAPERS/IAEG_413.pdf

- Devos, A., Fronteau, G., Lejeune, O., Sosson, C., Chopin, E. & Barbin, V., (2010). "Influence of geomorphological constraints and exploitation techniques on stone quarry spatial organisation: Example of Lutetian underground quarries in Rheims, Laon and Soissons areas". *Engineering Geology*, 115(3-4): 268-275. <https://dx.doi.org/10.1016/j.enggeo.2010.05.004>
- Dintwe, T.K., Seiki, T. & Noguchi, S., (2017). "Stability Evaluation of an Underground Quarry in Oya". In: *Proceedings of the 2nd Join Conference of Utsunomiya University and Universitas Padjadjaran*, 145-150. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:203629730>
- Ejdemo, T. & Söderholm, P., (2011). "Mining investment and regional development: A scenario-based assessment for Northern Sweden". *Resources Policy*, 36(1): 14-21. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2010.08.008>
- Esterhuizen, G.S., Dolinar, D.R. & Ellenberger, J.L., (2011). "Pillar strength in underground stone mines in the United States". *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 48(1): 42-50. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2010.06.003>
- Fargier, Y., Antoine, R., Dore, L., Lopes, S.P. & Fauchard, C., (2017). "3D assessment of an underground mine pillar by combination of photogrammetric and geoelectric methods". *Geophysics*, 82(4): E143-E153. <https://doi.org/10.1190/geo2016-0274.1>
- Ferrero, A.M., Migliazza, M., Segalini, A. & Gullì, D., (2013). "In situ stress measurements interpretations in large underground marble quarry by 3D modeling". *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 60: 103-113. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2012.12.008>
- Ferrero, A., Migliazza, M., Segalini, A. & Giani, G.P., (2009). "In situ fracturing mechanics stress measurements to improve underground quarry stability analyses". In: *Proceedings of the 3rd CANUS Rock Mechanics Symposium*, 1-8. <https://geogroup.utoronto.ca/wp-content/uploads/RockEng09/PDF/Session7/3964%20PAPER.pdf>
- Ferrero, A.M., Segalini, A. & Giani, G.P., (2010). "Stability analysis of historic underground quarries". *Computers and Geotechnics*, 37(4): 476-486. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2010.01.007>
- Fornaro, M. & Lovera, E., (2004). "Geological-technical and geo-engineering aspects of dimensional stone underground quarrying". *Engineering Geology for Infrastructure Planning in Europe: A European Perspective*, 574-584. https://doi.org/10.1007/978-3-540-39918-6_64
- Fugiel, A., Burchart-Korol, D., Czaplicka-Kolarz, K. & Smoliński, A., (2017). "Environmental impact and damage categories caused by air pollution emissions from mining and quarrying sectors of European countries". *Journal of cleaner production*, 143: 159-168. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.136>
- Gaied, M.E., Gallala, W. & Younès, A., (2015). "Geoarchaeology of Roman Underground Quarries at Ksour Essaf (Tunisia)". *Geoheritage*, 7(4): 375-382. <https://doi.org/10.1007/s12371-014-0138-4>
- Ghorbani, Y., Nwaila, G.T., Zhang, S.E., Bourdeau, J.E., Cánovas, M., Arzua, J. & Nikadat, N., (2023). "Moving towards deep underground mineral resources: Drivers, challenges and potential solutions". *Resources Policy*, 80: 103222. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.103222>

- Grosso, B., Dentoni, V. & Bortolussi, A., (2021). "Effect of the rock stress on the water jet cutting performance". *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 54(9): 4987-4999. <https://doi.org/10.1007/s00603-021-02508-w>
- Hammond, A.A., (1988). "Mining and quarrying wastes: a critical review". *Engineering geology*, 25(1): 17-31. [https://doi.org/10.1016/0013-7952\(88\)90016-6](https://doi.org/10.1016/0013-7952(88)90016-6)
- Hartman, H.L. & Mutmansky, J.M., (2002). *Introductory mining engineering*. John Wiley & Sons. <https://www.wiley.com/en-us/Introductory+Mining+Engineering%2C+2nd+Edition-p-9780471348511>
- He Mc, J.I.A.X.N., Coli, M., Livi, E. & Sousa, L., (2012). "Experimental study of rockbursts in underground quarrying of Carrara marble". *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 52: 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2012.02.006>
- Hustrulid, W.A., Hustrulid, W.A. & Bullock, R.L. eds., (2001). *Underground mining methods: Engineering fundamentals and international case studies*. SME.
- Iannacchione, A.T., (1999). "Pillar design issues for underground stone mines". In: *Proceedings of the 18th International Conference on Ground Control in Mining*, Morgantown, WV: West Virginia University, 271-281. <https://www.onemine.org/documents/pillar-design-issues-for-underground-stone-mines>
- khodaparast mashhadi, M. & Ghezelbash, A. (2016). "Economic assessment of the construction of hydroelectric power plant (pumped-storage) in Iranian reservoir dams: case study of Pirtaghi damandpower plant". *Journal of Applied Economics Studies in Iran*, 5(17): 199-224. <https://doi.org/10.22084/aes.2016.1414>, (In Persian)
- Kortnik, J., (2009). "Underground natural stone excavation technics in Slovenia". *RMZ-Materials and Geoenvironment*, 56(2). <https://www.dlib.si/details/URN:NBN:SI:doc-BNKQYUVE>
- Kortnik, J., (2012). "High safety pillars design for underground excavation of natural stone blocks". *Journal of Civil Engineering and Construction Technology*, 3(6): 179-188. <https://doi.org/10.5897/JCECT12.054>
- Kortnik, J., (2015). "Stability assessment of the high safety pillars in Slovenian natural stone mines". *Archives of Mining Sciences*, 60(1): 403-417. <https://doi.org/10.1515/amsc-2015-0027>
- Kumar, R., Choudhury, D. & Bhargava, K., (2016). "Simulation of rock subjected to underground blast using FLAC3D". *Japanese Geotechnical Society Special Publication*, 2(12): 508-511. <https://doi.org/10.3208/jgssp.IND-27>
- Kun, M.E.T.E., (2014). "Evaluation and applications of empirical approaches and numerical modeling of an underground limestone quarry with room and pillar design". *Journal of Mining Science*, 50: 126-136. <https://doi.org/10.1134/S1062739114010189>
- Langer, W.H., (2001). "Potential environmental impacts of quarrying stone in karst: a literature review". *U.S. Geological Survey open-file report*, 01-0484. URL: <https://pubsdata.usgs.gov/pubs/of/2001/ofr-01-0484/>
- Marchetti, D., Avanzi, G.D.A., Sciarra, N., Calista, M. & Piaggi, L., (2012). "Pillar sizing and stability analysis by numerical modeling for underground stone quarrying". In: *Proceedings of the ISRM International Symposium-EUROCK*, 1-13. <https://onepetro.org/ISRMEUROCK/proceedings-abstract/EUROCK12/EUROCK12/ISRM-EUROCK-2012-080/39944>

- Marras, G. & Careddu, N., (2018). "Overview: Health and Safety in the Italian dimension stone quarrying industry". *Transportation*, 2: 0-8. <https://doi.org/10.19199/2021.1.1121-9041.034>
- Martins, R., Lopes, L. & Branco, E., (2017). "Underground Marble Exploitation-A Portuguese Case Study and Technical Aspects". In: *Proceedings of the IV International Stone Congress, Izmir - Turkey*, 65-683. <http://hdl.handle.net/10174/22593>
- Millar, D.L., Brown, T.J., Kruyswijk, J.B., Smith, N., Coggan, J.S., Foster, P.J., Steadman, E.J., Evans, D.J. & Hewitt, J., (2012). "Assessing the feasibility of underground mining of aggregates in southern and eastern England". In: *Proceedings of the 16th Extractive Industry Geology Conference, Extractive Industry Geology Conference*, 54-70. https://nora.nerc.ac.uk/id/eprint/19945/1/Printers_proof_6._Millar_54-70.pdf
- Mohammadi, J., Ataei, M., Kakaei, R.K., Mikaeil, R. & Haghshenas, S.S., (2018). "Prediction of the production rate of chain saw machine using the multilayer perceptron (MLP) neural network". *Civil Engineering Journal*, 4(7): 1575-1583. <https://doi.org/10.28991/cej-0309196>
- Nilsson, D.S., (1982). "Advantages of high production level in underground mining". *Mining Engineering*, 34(8). <https://eurekamag.com/research/091/158/091158909.php?srsltid=AfmBOoqOzBNuKMC1Pxerg3WwKnBFSWGzmPbYBSFjhoNtXNQpC6679sx4>
- Oggeri, C. & Oreste, P., (2015). "Underground Quarrying for Marble: Stability assessment through modelling and monitoring". *International Journal of Mining Science (IJMS)*, 1(1): 35-42. <https://www.marcocosistones.com/sites/default/files/Underground%20Marble%20Mining-Stability%20Assessment.pdf>
- Oggeri, C., Oreste, P., Valentino, D. & Fornaro, M., (2001). "Going underground in quarrying: Technical perspectives for marble in Portugal". In: *Proceedings of the 17th International Mining Congress and Exhibition of Turkey-IMCET*, Ankara, 19-22.
- Pelizza, S., Oreste, P.P., Peila, D. & Oggeri, C., (2000). "Stability analysis of a large cavern in Italy for quarrying exploitation of a pink marble". *Tunnelling and underground space technology*, 15(4): 421-435. [https://doi.org/10.1016/S0886-7798\(01\)00011-6](https://doi.org/10.1016/S0886-7798(01)00011-6)
- Rybár, P., Hronček, P., Tometzová, D., Domaracká, L. & Jesenský, M., (2017). "Underground quarries their possible use for mining tourism purposes-Slovak perspectives on the example of the underground stone quarry of Veľká Stráň". *Acta Geoturistica*, 8(2): 87-107. <https://doi.org/10.1515/AGTA-2017-0009>
- Sahu, H.B., Prakash, N. & Jayanthu, S., (2015). "Underground mining for meeting environmental concerns-a strategic approach for sustainable mining in future". *Procedia Earth and Planetary Science*, 11: 232-241. <https://doi.org/10.1016/j.proeps.2015.06.030>
- Salimifar, M., mahdavi adeli, M. H., rajabi mashhadi, H. & ghezelbash, A. (2014). "Economic Evaluation of Solar Power and Fossil Energy in a House in Mashhad". *Journal of Applied Economics Studies in Iran*, 2(8): 115-136. <https://dor/20.1001.1.23222530.1392.2.8.8.1> (In Persian)
- Seiki, T., Takahashi, K., Dintwe, T.K.M., Noguchi, S., Ohmura, T. & Aydan, Ö., (2019). "Consideration of structural stability for Oya underground quarry with dynamic response". In: *ISRM Rock Dynamics Summit*, Paper Number: ISRM-RDS-2019-051. <https://onepetro.org/isrmrds/proceedings-abstract/RDS19/All-RDS19/475845>

- Silvertant, J., (2008). "The underground Limestone Quarries in the Low Countries and their Place in European Mining History". In: *Proceeding of the 3rd International Symposium on Archaeological Mining History-Low Countries*.
https://www.academia.edu/35775931/The_underground_Limestone_Quarries_in_the_Low_Countries_and_their_Place_in_European_Mining_History
- Tan, F., Jiao, Y.Y., Wang, H., Liu, Y., Tian, H.N. & Cheng, Y., (2019). "Reclamation and reuse of abandoned quarry: A case study of Ice World & Water Park in Changsha". *Tunnelling and Underground Space Technology*, 85: 259-267.
<https://doi.org/10.1016/j.tust.2018.12.009>
- Van Den Eeckhaut, M., Poesen, J., Dugar, M., Martens, V. & Duchateau, P., (2007). "Sinkhole formation above underground limestone quarries: A case study in South Limburg (Belgium)". *Geomorphology*, 91(1-2): 19-37.
<https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.01.016>
- Vaughn, K.J. & Tripcevich, N., (2012). "An introduction to mining and quarrying in the ancient Andes: sociopolitical, economic and symbolic dimensions". In: *Mining and Quarrying in the Ancient Andes: Sociopolitical, Economic, and Symbolic Dimensions*, 3-19. <https://escholarship.org/content/qt07v635t0/qt07v635t0.pdf>
- Wysokiński, M., Baran, J., Gołasa, P. & Lenort, R., (2014). "Economic and Energy Efficiency of the Mining and Quarrying Sector in European Countries". In: *Metal 2014: 23th International Conference on Metallurgy and Materials*, 1965-1971.
[RIV/61989100:27360/14:86093217 - isvavai.cz](https://www.isvavai.cz/RIV/61989100:27360/14:86093217)
- Yang, H.S., Kim, W.B. & Ali, M.A., (2012). "Performance of pillar design in underground stone mines that include discontinuities". *Geosystem Engineering*, 15(3): 187-194. <https://doi.org/10.1080/12269328.2012.704160>
- Yanovskaya, E. & Garshin, D., (2015), March. "Underground history of Domodedovo district". In: *Proceedings of International Congress of Speleology in Artificial Cavities, Rome*, 85-96.
https://www.academia.edu/19081758/UNDERGROUND_HISTORY_OF_DOMODEDOVO_DISTRICT