Iranian Journal of Mining Engineering (IJME)
Vol 18, No 60, 2023, pp 44-61

DOI: 10.22034/IJME.2023.561267.1937
DOR: 20.1001.1.17357616.1402.18.60.2.7

Iranian Society of Mining Engineering (IRSME)

Sangan Iron ore project evaluation under price and operating cost uncertainty by using stockpile options

Zakaria Jalali[1], Majid Ataee-pour[2*], Hesam Dehghani[3]

1. Master of Mining Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran, zakaria.jalali@aut.ac.ir
2. Associate Professor of Mining Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran, map60@aut.ac.ir
3. Associate Professor of Mining Engineering, Hamedan University of Technology, Hamedan, Iran, dehghani@hut.ac.ir

Received: 2022/09/14 - Accepted: 2023/08/22

Abstract

In order to evaluate mining projects under uncertainties, due to the complex nature of the deposit, the sources of uncertainties must be identified and analyzed in the first stage. This research uses the real options technique to conduct an economic evaluation of the Sangan project's B mine under price and operating cost uncertainties. For this purpose, the option to stockpile iron ore with Fe grade less than 35% is defined in the first stage, and then the stockpile of iron ore with FeO<10% (low oxide) is considered. As a result, considering the management flexibility, the results have caused a more realistic estimate of the net present value of this project.

Keywords

Mining project evaluation, uncertainties, real option technique, Stockpile option, Mine B of Sangan Project.

* Corresponding Author

1- Introduction

Todays, the economic evaluation of mining projects is done using traditional methods such as Discounted Cash Flow (DCF), which considers the Net Present Value (NPV) in a specified period, the results of which are associated with uncertainty [1,2]. The use of the real options technique was first presented by Merton in 1971 at MIT [5]. In 1999, for the first time, the use of the real options technique for the evaluation of mining projects was presented by Margaret and Slade. Then, Clinton Watt Keynes, Michelle Mc Aller 2004, and Michelle Sims et al. 2004 used this method to evaluate mining projects [5-9]. Recently, topics related to production design, planning, and determining cut-off grades using the real options technique have been investigated [4]. This article, the economic evaluation of the Sangan iron ore mines project under the conditions of price uncertainty and operating costs, considering the option of accumulation to sell iron ore in a suitable period in mine B of the Sangan iron ore mines project, has been presented, which has led to an increase of NPV of the Sangan iron ore project.

2- Methods

Project evaluation methods using the real options technique include the method of differential equation with partial differential equation, which is one of the most common methods of evaluating real options [1,2]. This model is based on the Black & Scholes model, which discusses diffusion variables. The method is based on the financial options pricing model developed by Black & Scholes in 1973 and extended by Merton. This model is widely used in finance to value different financial instruments [3].

The second method is the lattice method, which was presented by Cox, Ross, and Rubinstein in 1979 to provide an alternative method for valuing options using the binomial methods view in each specific time period [7]. The third method is the Monte Carlo simulation method, which simulates uncertainty by simulation-based methods.

3- Discussion

In this section, for the economic evaluation of mine B of Sangan project, to estimate the project's Net Present Value, in the first step, the NPV of the project was calculated based on DCF without considering options, which is named scenario 1. In the second step, NPV was calculated by taking into account the uncertainty of the price and operating costs and using the real options technique; for this purpose, a lattice of price and operating costs, and then the cash flow and discounted cash flow. In scenario 3, the discounted cash flow lattice considers the option of accumulating low-grade iron ore (Fe<35%) and iron ore with low FeO (FEO<10 %). The price of iron ore was obtained from the *Indexmundi* website, shown in Figure 1.

Figure 1: Iron Ore Price between 2003 – 2023 [10]

According to Figure 1, the volatility of iron ore has been calculated in a 20-year period.

- **Scenario 1:** At this stage, price and operating costs are specific, and the NPV has been calculated using the DCF method based on the data prepared from the B mine of the Sangan project.
- **Scenario 2:** After calculating the NPV of the project, based on data prepared from the previous step, the iron ore price lattice and operating costs lattice were calculated for mine B of Sangan mines. Then, the cash flow lattice of the project was calculated. Fixed costs during the next 10 years were considered, assuming that the annual production and depreciation are constant. Finally, the project NPV was calculated using price, operating cost uncertainties, and each branch's discount rate. Calculations for discounted cash flow lattice started from the last node (10th period) and continued towards the initial node.
- **Scenario 3:** in this stage, the NPV of the project is presented, similar to scenario 2. The low-grade iron ore stockpile option (Fe grade less than 35%) was considered for selling at a more suitable time. Calculation of cash flow lattice and discounted cash flow lattice in each node based on annual production amount was obtained from the fraction of the produced tonnage of low-grade iron ore and the addition of the storage cost. To calculate the cash flow lattice of the project, the costs related to transporting iron ore to the stockpile, the costs of creating the stockpile, the cost of the lost opportunity, the maintenance and maintenance costs of the stockpile, and the costs related to stripping ratio of 3 to 1 in the cash flow lattice was considered.
- **Scenario 4:** Calculating the cash flow and discounted cash flow lattices in this section is similar to scenario 3, with the difference that the stockpile option of iron ore with a low oxide percentage (FeO<10%) was considered.

The results of each scenario of the B mine of the Sangan iron ore project are shown in Table 1. According to these results, it can be seen that scenario 3, related to the sale of low-grade iron ore, has the most significant impact, followed by scenario 4, which is associated with the sale of iron ore with a low oxide percentage, in the next stage, it leads to an increase in the NPV of the project. Finally, taking into account the results of the discounted cash flow of the project under conditions of price and operating cost uncertainties, taking into account the stockpile option of year1408 is the best year (the highest current net value) and is suggested for the sale of iron ore in the stockpile.

Table 1: The results of the different scenarios for the economic evaluation of mine B of the Sangan iron ore project

Scenario	State of Uncertainty	NPV Results	NPV Deference
1	Certain	1766.66 M$	0
2	Price and operating cost uncertainties	2067.45 M$	13% Increase
3	Price and operating cost uncertainties	2197.61 M$	23 % Increase
4	Price and operating cost uncertainties	2146.51 M$	20 % Increase

4- Conclusions

Due to the complex nature of the deposit, the evaluation of mining projects has been associated with uncertainty. One of the most important sources of uncertainty in the assessment of mining projects is the uncertainty related to the price and costs of mining, which can affect the NPV of a project. This research aims to evaluate Mine B of the Sangan Iron Mine project under price and operating cost uncertainties. Real options technique was used in this research, and an option was defined as stockpile option in Mine B of Sangan iron ore mines. The stockpile option of low-grade iron ore (iron grade less than 35%) and the stockpile option of low oxide (FeO<10%) in this project were defined. The purpose of describing the stockpile option is to determine the best time for selling iron ore in the coming years, considering the improvement of its sales situation. According to the obtained results, it can be seen that with the improvement of the situation of iron ore according to the discounted cash flow lattices, considering the stockpile options, it is better to

stockpile iron ore in the early years so that it can be sold at a more suitable price in the coming years. According to the results presented in this article, the year 1408 is the best (with the highest NPV) to sell iron ore in stockpiles, after which the NPV of the project decreases.

References

1. J. Mun, *Real options analysis: Tools and techniques for valuing strategic investments and decisions*, Vol. 320. John Wiley & Sons, 2012
2. J. Mun, *Modeling Risk: Applying Monte Carlo simulation, real options analysis, forecasting, and optimization techniques*, Vol. 347. John Wiley & Sons, 2006
3. F. Black and M. Scholes, "The pricing of options and corporate liabilities," in *World Scientific Reference on Contingent Claims Analysis in Corporate Finance: Volume 1: Foundations of CCA and Equity Valuation*, World Scientific, 2019, pp. 3–21
4. J. Savolainen, "Real options in metal mining project valuation: Review of literature," *Resources Policy*, Vol. 50, pp. 49–65, 2016.
5. R. C. Merton, "Theory of rational option pricing," *Bell Journal Economic Management Science*, pp. 141–183, 1973.
6. S. C. Myers, "Finance theory and financial strategy," *Interfaces (Providence).*, Vol. 14, No. 1, pp. 126–137, 1984.
7. J. C. Cox, J. E. Ingersoll Jr, and S. A. Ross, "An intertemporal general equilibrium model of asset prices," *Journal of Economic Social*, pp. 363–384, 1985.
8. M. E. Slade, "Valuing managerial flexibility: An application of real-option theory to mining investments," *Journal of Environment Economics Management.*, Vol. 41, No. 2, pp. 193–233, 2001.
9. C. Watkins and M. McAleer, "Econometric modelling of non-ferrous metal prices," *Journal of Economic Surveys.*, Vol. 18, No. 5, pp. 651–701, 2004
10. *Indexmundi website*, 2022, https://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=iron-ore.

نشریه مهندسی معدن ایران
Iranian Journal of Mining Engineering (IJME)

دوره ۱۸، شماره ۶۰، پاییز ۱۴۰۲، صفحه ۴۴ تا ۶۱
Vol 18, No 60, 2023, pp 44-61

DOI: 10.22034/IJME.2023.561267.1937
DOR: 20.1001.1.17357616.1402.18.60.2.7

انجمن مهندسی معدن ایران
Iranian Society of Mining Engineering (IRSME)

مقاله پژوهشی

ارزیابی پروژه معادن سنگ آهن سنگان تحت شرایط عدم قطعیت قیمت و هزینه‌های عملیاتی با در نظر گرفتن اختیار انباشت مواد معدنی

زکریا جلالی[۱]، مجید عطایی پور[۲*]، حسام دهقانی[۳]

۱. فارغ التحصیل کارشناسی ارشد، مهندسی استخراج معدن، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران، Zakaria.jalali@aut.ac.ir
۲. دانشیار، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران، Map60@aut.ac.ir
۳. دانشیار، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی همدان، همدان، ایران، dehghani@hut.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۰۹ - پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۳۱

چکیده

برای ارزش‌گذاری پروژه‌های معدنی به دلیل ماهیت پیچیده کانسار همواره باید منابع عدم قطعیت‌ها شناسایی و تجزیه و تحلیل شوند که در نتیجه منجر به برآورد واقعی‌تر ارزش خالص فعلی آن پروژه می‌شود. بر طبق تحقیقات بسیار زیادی که در ارزیابی پروژه‌های معدنی تحت شرایط عدم قطعیت انجام شده است، بیان شده که استفاده از رویکرد اختیارات حقیقی می‌تواند تاثیر بسیار زیادی بر ارزش‌گذاری یک پروژه معدنی داشته باشد. در این مقاله با استفاده از رویکرد اختیارات حقیقی بر طبق مطالعه موردی که در معدن B پروژه معادن سنگ آهن سنگان انجام شده اختیاری با عنوان انباشت سنگ آهن کم عیار(عیار کمتر از ۳۵ درصد) و انباشت سنگ آهن با درصد FEO<10 (اکسید پایین) تعریف شده است. هدف از تعریف این اختیارات بدست آوردن ارزش خالص فعلی در این پروژه تحت شرایط عدم قطعیت به منظور بررسی زمان مناسب برای فروش سنگ آهن کم عیار و سنگ آهن با درصد اکسید پایین است که در نتیجه با لحاظ کردن انعطاف‌پذیری‌های مدیریتی نتایج آن باعث برآورد واقعی‌تر ارزش خالص فعلی در این پروژه شده است.

کلمات کلیدی

ارزش‌گذاری پروژه‌های معدنی، عدم قطعیت‌ها، روش اختیارات حقیقی، اختیار انباشت، پروژه معدن B سنگ آهن سنگان

CC BY

* نویسنده مسئول مکاتبات.

۱- مقدمه

امروزه ارزیابی اقتصادی پروژه‌های معدنی با استفاده از روش‌های سنتی مانند گردش مالی تنزیل یافته (DCF)[۱] انجام می‌شود. در روش DCF ارزش خالص فعلی در یک بازه زمانی مشخص شده در نظر گرفته شده است، بنابراین نتایج آن با عدم قطعیت همراه است. از طرفی روش DCF جزو روش‌های ایستا است که در روش‌های ایستا انعطاف‌پذیری مدیریتی در نظر گرفته نشده است[۴]. در مقابل روش‌های ایستا روش‌های پویا قرار دارند که در آن‌ها گردش مالی در آینده متغیر است که در نتیجه باعث برآورد واقعی‌تر ارزش خالص فعلی یک پروژه می‌شود. برای ارزیابی پروژه‌های معدنی تحت شرایط عدم قطعیت و با لحاظ کردن انعطاف‌پذیری‌های مدیریتی، پیشنهاد می‌شود در مرحله اول، عدم قطعیت‌هایی که بر ارزش خالص فعلی آن پروژه تاثیر بسزایی دارند، بررسی و تجزیه و تحلیل شوند.

استفاده از تئوری روش اختیارات حقیقی[۲] اولین بار توسط مرتون[۳] در سال ۱۹۷۱ در دانشگاه MIT ارایه شد [۱۰] و سپس در سال ۱۹۷۳ توسط بلک و شولز به طور گسترده‌ای مورد مطالعه قرار گرفت[۸]. تحقیقات بلک و شولز نشان داد که با استفاده از روش اختیارات حقیقی مواردی مانند سرمایه‌گذاری در پروژه‌های معدنی را می‌توان تحلیل کرد.

به همین ترتیب در ارتباط با کاربرد روش اختیارات حقیقی در ارزیابی پروژه‌های معدنی تحقیقاتی توسط مارگارت[۴] و اسلید[۵] در سال ۱۹۹۹، کلینتون وات کینز[۶] و میشل مک آلر[۷] در سال ۲۰۰۴، میشل سیمز[۸] و همکاران در سال ۲۰۰۴ انجام شد[۱۸و۳] همچنین در رابطه با ارایه طرح‌های کوتاه‌مدت و برنامه‌ریزی تولید در معادن تحقیقات شو زینگ[۹] و همکارانش در سال ۲۰۰۹ ارایه شد [۲۰]. در سال ۲۰۱۳ دهقانی و عطایی‌پور با استفاده از روش اختیارات حقیقی تاثیر عدم قطعیت‌های اقتصادی به ارزیابی یک پروژه معدنی پرداختند که در نتیجه منجر به افزایش ارزش خالص فعلی آن پروژه به میزان ۴۰ درصد شده است [۲].

آمینا هاکویین[۱۰] و همکاران [۲۲] در سال ۲۰۱۴ به بررسی یک پروژه معدنی تحت شرایط عدم قطعیت قیمت کالا با استفاده از روش اختیارات حقیقی پرداختند. همچنین تامپسون و بار در سال ۲۰۱۴ [۲۸] با استفاده از روش اختیارات حقیقی، عدم قطعیت قیمت ماده معدنی را با لحاظ کردن عیار حد بهینه در نظر گرفتند که به این منظور برای تعیین یک مدل جدید برای اختیارات حقیقی تحت شرایط احتمالاتی قیمت ماده معدنی را بررسی کردند. ژانگ[۱۱] و همکاران [۲۹] در سال ۲۰۱۴ نیز با استفاده از روش اختیارات حقیقی، عملیات استخراج را با استفاده از قیمت کالا تحلیل کردندکه در این مقاله با استفاده از روش شبیه‌سازی مونت کارلو انعطاف‌پذیری پروژه بررسی شده است. همچنین نتایج این مقاله نشان داد که استفاده از روش اختیارات حقیقی به دلیل بیان انعطاف‌پذیری مدیریتی به عنوان یک استراتژی بسیار مهم در پروژه‌های معادن روباز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد.

راسن[۱۲] [۳۰] در سال ۲۰۱۵، تغییرات قیمتی چندین فلز منتخب را بررسی کرد با این حال، با توجه به تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها و بسته به نوع تحلیل قیمت فلزات، تغییرات زیادی در نتایج وجود داشت.

آجاک و توپال[۱۳] (۲۰۱۵) با استفاده از روش اختیارات حقیقی، انعطاف‌پذیری و سازگاری عملیاتی را بررسی کردند و با استفاده از درخت دوجمله‌ای به بررسی نوسانات قیمت کالا در طول یک دوره زمانی مشخص پرداختند که در نتیجه ارزش خالص فعلی پروژه بین ۸ تا ۱۵درصد افزایش یافته است [۲۳].

با توجه به تحقیقاتی که ساوولاینین[۱۴] و همکاران [۲۵] در سال ۲۰۱۷ انجام دادن به مدلسازی روش اختیارات حقیقی بر طبق روش دینامیک سیستم پرداختند. در این مقاله بیان شد که برای مطالعه اثر انتخاب ساختار مالی پروژه بر سودآوری آن برای نشان دادن این که چگونه می‌توان از یک مدل دینامیک سیستم برای مقایسه نتایج به‌دست‌آمده با استفاده از فرآیندهای مختلف مسیر قیمت تصادفی در مدلسازی استفاده شود. کاربرد عملی این مدل با تحلیل سودآوری یک معدن نیکل با هزینه بالا مورد بررسی قرار گرفته است.

---

[۱] Discounted Cash Flow
[۲] Real Options
[۳] Merton
[۴] Margaret
[۵] Slade
[۶] Clinton Watkins
[۷] Michael McAleer
[۸] Michael Samis
[۹] Shu Xing
[۱۰] Amina Haque
[۱۱] Zhang
[۱۲] Rossen
[۱۳] Ajak and Topal
[۱۴] Savolainen

گوج و چاندرا[1] [۲۶] در سال ۲۰۱۹ به بررسی و ارزیابی کاربردی یک معدن مس با استفاده از روش اختیارات حقیقی پرداختند. در این مقاله بیان شد که با توجه به پیچیدگی شرایط یک پروژه معدنی به ندرت معامله می‌شوند و دلیل آن این است که انحراف استاندارد سالانه تغییرات قیمت روزانه و یا به عبارتی قیمت کالا و نرخ ارز نوسان‌پذیر است.در این مقاله در ابتدا برای بررسی و ارزیابی پروژه دو سرمایه‌گذاری را با استفاده از روش DCF مورد بررسی قرار داد و سپس با استفاده از روش درخت دوجمله ای و روش شبیه‌سازی مونت کارلو (روش GBM) عدم قطعیت‌های مدل را با توجه به داده‌های تاریخی بررسی کرد.

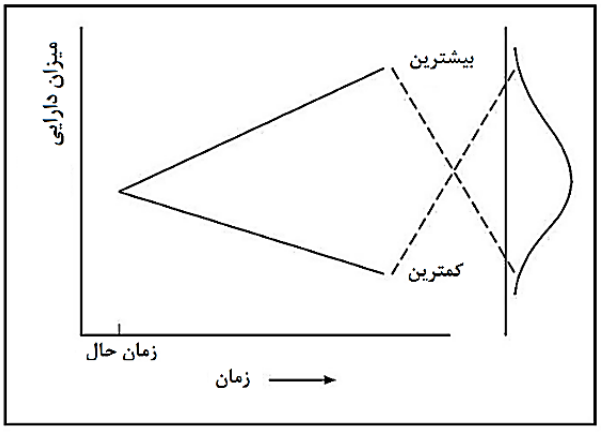
در سال ۲۰۲۱ وبی باندا[2] به ارایه چارچوبی بر طبق روش اختیارات حقیقی برای بررسی و ارزیابی رژیم‌های مالیاتی پرداختند. هدف از مقاله وبی باندا ارایه راهکاری برای ایجاد سیاست‌های مرتبط با سرمایه‌گذاری‌های معدنی با لحاظ کردن رژیم‌های مالیاتی و تحلیل آن بر مبنای روش اختیارات حقیقی است که در نهایت با تعریف کدهای مالیاتی منطبق با شرایط عدم قطعیت در کشورهای مختلف رژیم‌های مالیاتی را برای سرمایه‌گذاری در یک پروژه معدنی کنترل و ارزیابی شده است [۲۷].

با توجه به تحقیقات ارایه شده می‌توان به این نتیجه رسید که روش اختیارات حقیقی به عنوان یکی از مهم‌ترین روش‌ها برای ارزیابی اقتصادی پروژه‌های معدنی تحت شرایط عدم قطعیت‌ها می‌تواند دارای کاربرد باشد [۱]. به این منظور هدف از این مقاله ارزیابی اقتصادی معدن B سنگ آهن سنگان با در نظر گرفتن قیمت و هزینه‌های عملیاتی است. پروژه معادن سنگ آهن سنگان در استان خراسان‌رضوی واقع شده است و جزو بزرگترین پروژه‌های معدنی در شرق کشور محسوب می‌شود. ارزیابی اقتصادی این پروژه در مرحله اول با استفاده از جدول DCF انجام شده و در مرحله دوم با در نظر گرفتن عدم قطعیت قیمت و هزینه‌های عملیاتی با لحاظ کردن روش اختیارات حقیقی و تعریف درخت دودویی قیمت و هزینه‌های عملیاتی ارزش خالص فعلی پروژه محاسبه شده و اختیاری جدید با عنوان انباشت تعریف شده است.

۲- روش‌شناسی پژوهش

در دهه‌های اخیر با استفاده از رویکرد اختیارات حقیقی به ارایه تفکری در ارتباط با تصمیم‌گیری‌های سرمایه‌گذاری و نیز ارزش‌گذاری طرح‌های اقتصادی پرداخته شده است [۷ و ۸]. با توجه به اهمیت موضوع، اختیارات حقیقی به عنوان یک نقشه راهبردی، مسیرهای مختلفی را بررسی می‌کند و امکان تصمیم‌گیری متناسب با آن شرایط را ارایه می دهد. اختیارات حقیقی یک رویکرد نظام‌مند است که در آن با استفاده از نظریه مالی، آمار و مدل‌سازی، اقتصادسنجی در فضای تصمیم‌گیری پویا انجام می‌شود [۳].

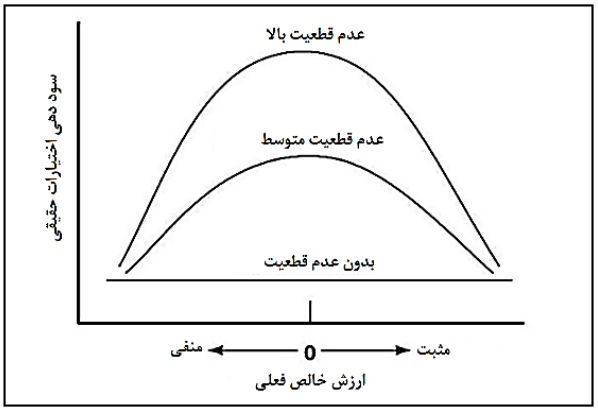
با استفاده از روش اختیارات حقیقی، تصمیم‌گیرندگان می‌توانند انواع اختیارات را به کار گیرند تا قدرت انتخاب داشته باشند. همین‌طور می توانند این اختیارات را به صورت موازی یا متوالی در تصمیم‌گیری استفاده کنند. گسترش، کاهش، پایان و تعویق اختیارات معمول در تصمیم‌گیری‌اند که تصمیم‌گیرنده می‌تواند آن‌ها را اجرا کند[۸]. روش اختیارات حقیقی ارزش دارایی پروژه را در شرایط عدم قطعیت در طول پروژه بررسی می‌کند. به عنوان مثال ساده، مطابق با شکل ۱ ملاحظه می‌شود که عدم قطعیت‌ها به صورت تابعی با افزایش زمان، افزایش می‌یابند و در نتیجه دامنه ارزش دارایی به صورت یک منحنی ایجاد می‌شود [۲۸]. روش اختیارات حقیقی طیف وسیعی از عدم قطعیت‌ها را با استفاده از فرآیندهای تصادفی محاسبه می‌کند [۳۱]. زمانی که در یک پروژه میزان ارزش خالص فعلی افزایش یافته باشد، استفاده از روش اختیارات حقیقی در تصمیم‌گیری در مورد سرمایه‌گذاری در آن پروژه نقش زیادی را ایفا نمی‌کند [۱۸]. بطور مشابه در مورد پروژه‌ای با ارزش خالص فعلی بسیار کم، ارزش‌دهی اضافی آن با استفاده از روش اختیارات حقیقی بسیار ناچیز بدست می‌آید.



شکل ۱- مخروط عدم قطعیت [۷]

[1] Guj and Chandra

[2] Webby Banda

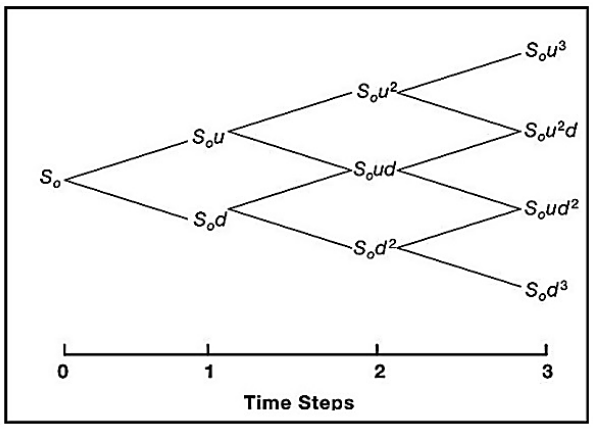


شکل ۲- بررسی شرایط سود دهی پروژه با استفاده از روش اختیارات حقیقی تحت شرایط عدم قطعیت[۸]

شکل ۲ مخروط عدم قطعیت‌ها را بیان می‌کند. با توجه به این شکل ملاحظه می شود زمانی که ارزش خالص فعلی پروژه نزدیک به صفر برسد (از سمت مثبت یا منفی) روش اختیارات حقیقی بیشترین ارزش را برای پروژه بدست می‌آورد. برای ارزیابی پروژه‌ها با استفاده از روش اختیارات حقیقی روش‌های بسیار زیادی وجود دارد که این روش‌ها از تغییرپذیری ارزش دارایی برای تعیین ارزش اختیار استفاده می کنند [۴، ۵]. روش‌های ارزیابی تکنیک اختیارات حقیقی در سه گروه مجزا بررسی شده است. اولین روش، روش رابطه دیفرانسیل با مشتقات جزیی است که از جمله مرسوم‌ترین روش‌های ارزیابی اختیارات حقیقی است که رابطه بلک- شولز که در سال ۱۹۷۳ توسط فیشر، بلک، مایرون شولز و روبرت مرتون بر پایه اختیارات ساده مانند اختیار خرید و فروش تا تخمین اختیارات پیچیده به کار رفته است [۸]. سپس مدل توزیع دو جمله‌ای (درخت دودویی) و روش شبیه‌سازی مونت کارلو ارایه شد که در ادامه با توجه به اینکه در این مقاله از روش درخت دودویی استفاده شده است به شرح این روش به صورت مجزا پرداخته می‌شود.

۱-۲- روش درخت دودویی

برای مقابله با چندین منبع ریسک همزمان یا ترکیبی از اختیارات، روش‌های مبتنی بر درخت دودویی و شبیه‌سازی مونت کارلو برای ارزش‌گذاری اختیارات توسعه یافته است. کاکس[۱]، راس[۲] و رابینستین[۳] در سال ۱۹۷۹ روشی جایگزین برای ارزش‌گذاری اختیارات با استفاده از دیدگاه درخت دودویی و در هر بازه زمانی مشخص ابداع کردند [۱۰]. در این مدل ارزش دارایی اصلی تحت شرایط عدم قطعیت در بازه‌های زمانی مختلف و به صورت توزیع دو جمله‌ای چندگانه مطابق با شکل ۳ محاسبه می‌شود.



شکل ۳- نمایش شماتیکی درخت دودویی [۱۸]

در درخت دودویی ارزش‌گذاری از زمان صفرکه با t_0نمایش داده شده است، شروع می‌شود و سپس در یک بازه زمانی که با δt در نظر گرفته شده است ادامه پیدا می‌کند. u به عنوان نرخ افزایش ارزش هر گره وdبه عنوان نرخ کاهش ارزش در نظر گرفته می‌شود. S_0 به عنوان میزان ارزش اولیه درخت که اگر به احتمال وقوع P_r زیاد شود میزان آن افزایش می‌یابد و به مقدار uV می‌رسد در این صورت $(u > 1)$ و یا اینکه به احتمال عدم وقوع $q_r = 1 - p_r$ کاهش پیدا کند تا به مقدار dV برسد که در این صورت $(d < 1)$ در نظر گرفته می شود[۲]. با در نظر گرفتن مباحث ارایه شده در نتیجه فرض $d < 1 + r_f < u$ مطرح می‌شود. در این حالت r_f به عنوان نرخ بهره بدون ریسک لحاظ می‌شود. بر طبق فرضیات مطرح شده روابط ۱ و۲ ارایه می‌شوند [۴ و ۵]:

$$u = exp(\sigma\sqrt{\delta t}) \quad (۴)$$

$$d = \left(\frac{1}{u}\right) = \frac{1}{exp(\sigma\delta t)} \quad (۵)$$

همچنین احتمال وقوع با استفاده از رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

$$p_r = \left(\frac{exp(\boldsymbol{\delta t} \times \boldsymbol{r_f}) - d}{u - d}\right) \quad (۶)$$

که در این روابط:

n: تعداد گام‌های درخت دو جمله ای

σ: نوسان‌پذیری که با عنوان انحراف معیار استاندارد تابع توزیع لگاریتم نرمال برگشت‌پذیری سرمایه در پروژه مطرح می‌شود.

رابطه اختیار خرید درخت دودویی، ارزش اختیار را در

[۱] Cox

[۲] Ross

[۳] Rubinstein

حالت‌های مختلف تصمیم‌گیری مدیریت محاسبه می‌کند [۱۱].

برای محاسبه درخت اختیار بر طبق رابطه‌های ارایه شده محاسبات از گره انتهایی درخت شروع می‌شود. در مورد گره انتهایی اولین ردیف با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Max\ [S_0 u^n, 0]$$

برای سایر گره‌ها این ستون درخت ماقبل آخرین ردیف محاسبات به شرح زیر است:

محاسبه گره ستون آخر و دومین ردیف:

$$Max\ [S_0 u^{n-1} \times d^1, 0]$$

محاسبه گره ستون آخر و سومین ردیف:

$$Max\ [S_0 u^{n-2} \times d^{n+1}, 0]$$

به همین ترتیب برای سایر گره‌های این ستون محاسبات به این ترتیب ادامه خواهد داشت. در نهایت برای محاسبه گره ستون آخر و ردیف آخر رابطه زیر ارایه می‌شود:

$$Max\ [S_0 d^n, 0]$$

در ادامه گره ستون ماقبل آخر محاسبات به شرح رابطه زیر انجام می‌شود:

$$[p_r \times u + (1 - p_r) \times d] \exp[(-r_f) \times \delta t]$$

به همین ترتیب این محاسبات تا اولین گره ادامه پیدا می‌کند.

۳- ارزیابی پروژه معدن B سنگ آهن سنگان تحت شرایط عدم قطعیت قیمت و هزینه‌های عملیاتی با استفاده از روش اختیارات حقیقی

در این بخش برای ارزیابی اقتصادی پروژه معدن B سنگ آهن سنگان به منظور برآورد ارزش خالص فعلی پروژه در گام اول ارزش خالص فعلی پروژه بدون در نظر گرفتن اختیارات و بر اساس جدول DCF محاسبه شده است. در گام دوم ارزش خالص فعلی با در نظر گرفتن عدم قطعیت قیمت و هزینه‌های عملیاتی و استفاده از روش اختیارات حقیقی انجام شده که به این منظور درخت دودویی قیمت و هزینه‌های عملیاتی تشکیل شده و در ادامه درخت گردش مالی و گردش مالی تنزیل یافته ارایه گردیده است.

در مرحله پایانی درخت گردش مالی تنزیل یافته با در نظر گرفتن اختیار انباشت سنگ آهن کم عیار و سنگ آهن با درصد اکسید پایین (FEO<10) درصد محاسبه شده است.

۳-۱- محاسبه ارزش خالص فعلی پروژه معدن B سنگ آهن سنگان بدون در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها

برای محاسبه ارزش خالص فعلی پروژه و بررسی نتایج بدست آمده با توجه به داده‌های تهیه شده از پروژه معدن B سنگ آهن سنگان، گردش مالی تنزیل‌یافته این پروژه با در نظر گرفتن قیمت فروش سنگ آهن مطابق با شکل ۴ از سایت Indexmundi تهیه شده است، همچنین میزان تولید سنگ آهن در یک بازه زمانی ۸ ساله مورد بررسی قرار گرفت که در این بازه زمانی میزان درآمد، هزینه‌های عملیاتی، هزینه‌های ثابت و میزان مالیات محاسبه شده است که در نتیجه میزان ارزش خالص فعلی ۱۷۶۶٫۶۶ میلیون دلار بدست آمده است.

درآمد مشمول مالیات از کم کردن میزان استهلاک سالیانه از درآمد ناخالص بدست آمده است. گردش مالی پروژه با استفاده از رابطه ۷ محاسبه می‌شود [۲ و ۱۷]:

$$FCF = \{[((P - OC) \times Q) - FC - D] \times (1 - Tax)\} + D \quad (۷)$$

که در آن:

FCF: گردش مالی پروژه

P: قیمت ماده معدنی

OC: هزینه‌های عملیاتی

Q: میزان تولید

D: استهلاک

FC: هزینه‌های ثابت

Tax مالیات

پس از محاسبه گردش مالی پروژه، گردش مالی تنزیل یافته با استفاده از رابطه ۸ محاسبه شده است[۶]:

$$NPV = \sum_{n=1}^{N} \frac{FCF}{(1+i)^n} \quad (۸)$$

که در آن:

N: کل دوره سرمایه‌گذاری

n: تعداد دوره‌های زمانی برای سرمایه‌گذاری

i: نرخ تنزیل‌یافته

۳-۲- محاسبه ارزش خالص فعلی پروژه معدن B سنگ آهن سنگان با در نظر گرفتن عدم قطعیت قیمت و هزینه‌های عملیاتی

در این بخش به بررسی پروژه معدن B سنگ آهن سنگان تحت شرایط عدم قطعیت قیمت و هزینه‌های عملیاتی با استفاده از رویکرد اختیارات حقیقی پرداخته شده است. در

مرحله اول عدم قطعیت قیمت سنگ آهن بررسی شده که به این منظور میزان نوسان‌پذیری قیمت سنگ آهن با توجه به داده‌های تاریخی از وب‌سایت Indexmundi مطابق با شکل ۴ در بازه زمانی ۲۰ ساله تهیه شده است.

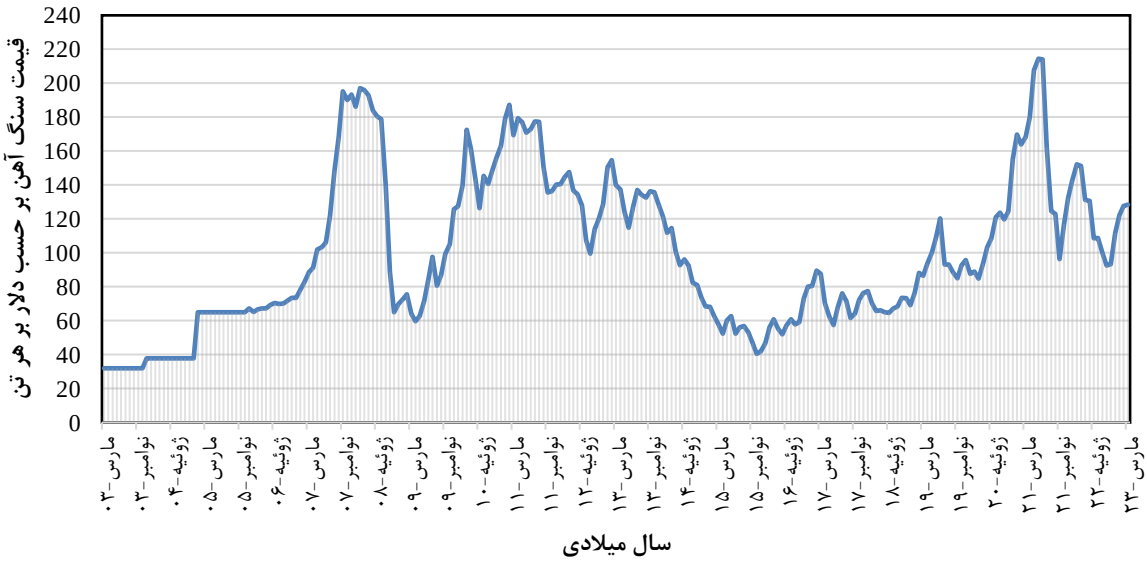
با توجه به نمودار ارایه شده در شکل ۴ که میزان نوسان‌پذیری قیمت سنگ آهن را در بازه زمانی ۲۰ ساله نمایش می‌دهد. در ادامه نیز میزان تغییرات قیمت سنگ آهن با توجه به رابطه ۹ بیان می‌شود:

$$X = \ln \frac{P_{i+1}}{P_i} \qquad (۹)$$

که در آن:

X: میزان تغییرات قیمت سنگ آهن (درصد)

P: قیمت سنگ آهن (دلار بر تن)



شکل ۴ - تغییرات قیمت سنگ آهن از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۳ [۳۲]

همچنین میزان نوسان‌پذیری(σ) با استفاده از رابطه ۱۰ محاسبه می‌شود:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^{n} (P_i - \bar{P})^2} \qquad (۱۰)$$

که در آن: n تعداد P_i و $\bar{P}$ میانگین P_i است.

بعد از انجام این مرحله درخت دودویی برای بررسی عدم قطعیت قیمت سنگ آهن ارایه شده است. در جدول ۱ پارامترهای ورودی و محاسبه شده برای تشکیل درخت قیمت که در شکل ۵ ارایه شده، نمایش داده شده است.

جدول ۱- پارامترهای ورودی و محاسبه شده در درخت قیمت

داده ورودی	مقدار	پارامترها	محاسبه شده
قیمت در سال مبنا	۱۴۰/۱دلار	ضریب افزایشی	۱/۴۰۴۹
گام زمانی	۱ ساله	ضریب کاهشی	۰/۷۱۱۸
میزان نوسان‌پذیری	۹ درصد	احتمال وقوع	۴۹ درصد
نرخ بهره بدون ریسک	۵ درصد	احتمال عدم وقوع	۵۱ درصد

1400	1401	1402	1403	1404	1405	1406	1407	1408	1409	1410
										4198.27
									2988.20	
								2126.91		2126.91
							1513.87		1513.87	
						1077.53		1077.53		1077.53
					766.95		766.95		766.95	
				545.90		545.90		545.90		545.90
			388.55		388.55		388.55		388.55	
		276.56		276.56		276.56		276.56		276.56
	196.85		196.85		196.85		196.85		196.85	
140.11		140.11		140.11		140.11		140.11		140.11
	99.726		99.73		99.73		99.73		99.73	
		70.98		70.98		70.98		70.98		70.98
			50.52		50.52		50.52		50.52	
				35.96		35.96		35.96		35.96
					25.60		25.60		25.60	
						18.22		18.22		18.22
							12.97		12.97	
								9.23		9.23
									6.57	
										4.68

شکل ۵- درخت دودویی تغییرات قیمت سنگ آهن (دلار/ تن)

بعد از تشکیل درخت دودویی قیمت سنگ آهن، درخت هزینه‌های عملیاتی تشکیل می‌شود. در این مقاله هزینه‌های عملیاتی شامل مجموعه هزینه‌های استخراج و باطله‌برداری است.

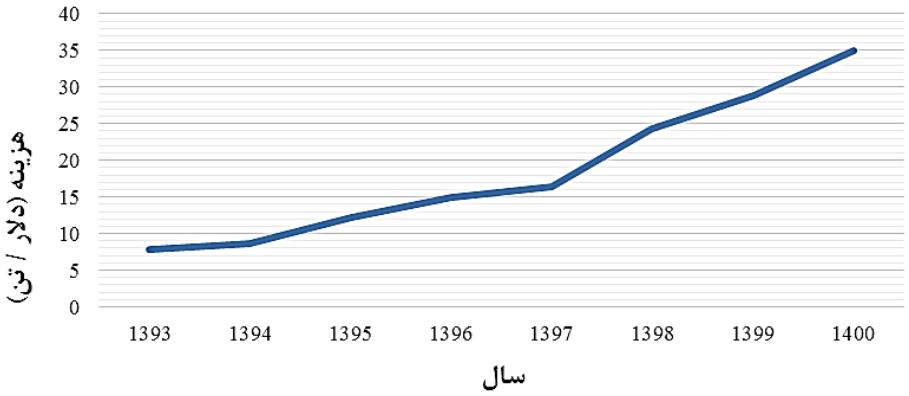
برای پیاده‌سازی درخت هزینه های عملیاتی در مرحله اول مطابق با روند تغییرات قیمت سنگ آهن، نوسان‌پذیری هزینه‌های عملیاتی نیز محاسبه می‌شود و روند تغییرات هزینه‌های عملیاتی در شکل ۶ نشان داده شده است. با در نظر گرفتن روند تغییرات هزینه‌های عملیاتی در بازه ۸ ساله ملاحظه می‌شود که این روند به صورت صعودی همواره رو به افزایش است.

با در نظر گرفتن نمودار شکل ۶، میزان تغییرپذیری هزینه‌های عملیاتی با استفاده از رابطه ۱۲ محاسبه می‌شود:

$$X = \ln \frac{OC_{i+1}}{OC_i} \qquad (۱۲)$$

که در رابطه بالا OCبه عنوان هزینه‌های عملیاتی لحاظ شده است.

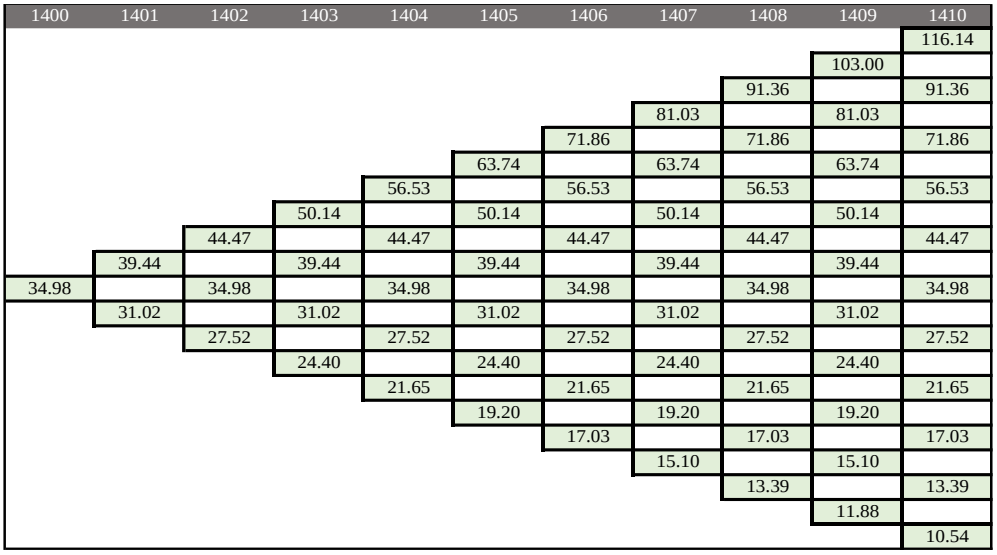
بعد از محاسبه میزان نوسان‌پذیری در مرحله بعد پارامترهای ورودی و محاسبه شده در مورد هزینه‌های عملیاتی در جدول ۲ ارایه شده است. همچنین درخت دودویی هزینه‌های عملیاتی مطابق با شکل ۷ نمایش داده شده است.



شکل ۶ - نمودار داده‌های تاریخی مربوط به هزینه‌های عملیاتی [۳۲ و ۳۳]

جدول ۲- پارامترهای ورودی و محاسبه شده درخت هزینه‌های عملیاتی

داده ورودی	مقدار	پارامترها	محاسبه شده
هزینه در سال مبنا	۳۴٫۹۸دلار	ضریب افزایشی	۱٫۱۲۷۵
گام زمانی	۱ سال	ضریب کاهشی	۰٫۶۹۸۸
میزان نوسان‌پذیری	۱۲درصد	احتمال وقوع	۶۸ درصد
نرخ بهره بدون ریسک	۵ درصد	احتمال عدم‌وقوع	۳۲ درصد



شکل ۷ - درخت دودویی تغییرات هزینه‌های عملیاتی (دلار/ تن)

بعد از تشکیل درخت دودویی هزینه‌های عملیاتی، در این مرحله با استفاده از رابطه ۷، درخت دودویی گردش مالی پروژه که از محاسبه گره‌های درخت دودویی قیمت و هزینه‌های عملیاتی بدست آمده است، محاسبه می‌شود. برای محاسبه گره‌های این درخت اگر ارزش گره بزرگتر از صفر باشد، مالیات در محاسبه آن گره در نظر گرفته می‌شود و اگر ارزش گره صفر و یا کوچکتر از صفر باشد، مالیات در محاسبه آن گره در نظر گرفته نمی‌شود که معمولا در گره‌های پایین درخت این حالت اتفاق می‌افتد. برای محاسبه درخت گردش مالی و درخت گردش مالی تنزیل‌یافته با در نظر گرفتن میزان تولید و استهلاک ثابت، هزینه‌های ثابت تا پایان سال ۱۴۱۰ به صورت تخمینی مطابق با جدول ۳ نشان داده شده است. برای تخمین هزینه‌های ثابت از رگرسیون خطی استفاده شده است. در رابطه با رگرسیون خطی متغیر وابسته هزینه‌های ثابت و متغیرهای مستقل میزان تولید و استهلاک است. همچنین بین متغیرهای مستقل و وابسته همبستگی وجود دارد. شکل ۸ درخت دودویی گردش مالی پروژه را با لحاظ کردن عدم قطعیت قیمت و هزینه‌های عملیاتی که در ارتباط با تغییرات هزینه‌های ثابت است، نشان می‌دهد.

جدول ۳- تخمین هزینه‌های ثابت در طی بازه ۱۰ ساله

پارامترها	۱۴۰۱	۱۴۰۲	۱۴۰۳	۱۴۰۴	۱۴۰۵	۱۴۰۶	۱۴۰۷	۱۴۰۸	۱۴۰۹	۱۴۱۰
میزان تولید (میلیون تن)	۶/۹۴	۶/۹۴	۶/۹۴	۶/۹۴	۶/۹۴	۶/۹۴	۶/۹۴	۶/۹۴	۶/۹۴	۶/۹۴
هزینه های ثابت (میلیون دلار)	۱۴/۴۵	۱۵/۱۵	۱۶/۷۰	۱۸/۱۰	۱۹/۳۵	۲۱/۵۶	۲۵/۷۰	۲۶/۳۶	۲۸/۹۵	۳۳/۶۴
استهلاک (میلون دلار)	۱/۸	۱/۸	۱/۸	۱/۸	۱/۸	۱/۸	۱/۸	۱/۸	۱/۸	۱/۸

1400	1401	1402	1403	1404	1405	1406	1407	1408	1409	1410
										21473.02
									15199.77	
								10740.25		10691.61
							7571.28		7525.88	
						5320.54		5278.21		5229.57
					3722.63		3683.56		3638.16	
				2589.91		2553.38		2511.04		2462.41
			1787.01		1753.05		1713.98		1668.58	
		1219.53		1188.02		1151.49		1109.15		1060.52
	819.22		789.18		755.22		716.15		670.75	
537.53		509.30		477.80		441.27		398.93		350.29
	313.71		283.67		249.71		210.64		165.24	
		149.49		117.99		81.45		39.12		-9.52
			27.57		-6.39		-45.46		-90.86	
				-64.30		-100.83		-143.17		-191.80
					-136.14		-175.21		-220.61	
						-193.18		-330.34		-284.15
							-240.94		-286.34	
								-282.30		-330.94
									-319.64	
										-354.64

شکل ۸- درخت دودویی گردش مالی پروژه (میلیون دلار)

درخت دودویی گردش مالی پروژه، هر یک از گره‌های میانی درخت گردش مالی تنزیل یافته با استفاده از رابطه ۱۳ محاسبه می‌شود:

(۱۳)

$$DCF_{n,k} = FCF_{n,k} + \frac{p_r \times DCF_{n+1,k} + (1-p_r) \times DCF_{n+1,k+1}}{(1+r_f)}$$

مطابق با رابطه ارایه شده برای پیاده‌سازی درخت گردش مالی تنزیل‌یافته پروژه و محاسبه ارزش خالص فعلی محاسبات از گره انتهایی درخت شروع شده و به ترتیب به سمت گره ابتدایی ادامه پیدا می‌کند. گره انتهایی بر طبق تغییرات درخت گردش مالی پروژه با استفاده از عبارت $Max\,[S_0u^{10}, 0]$ محاسبه می‌شود. با در نظر گرفتن مقدار S_0u^{10} برابر با مقدار ارزش حد بالایی گردش مالی در شاخه ۱۰ است که مقدار آن با توجه به درخت تغییرات گردش مالی شکل ۹ بدست می‌آید. مشابه با آن برای سایر گره‌های درخت مقدار آن برابر با تغییرات درخت گردش مالی محاسبه می‌شود. در محاسبه رابطه ۱۳ احتمال وقوع و عدم وقوع در نتایج گره ماقبل درخت ضرب شده است. احتمال وقوع و عدم وقوع بر اساس پارامترهای ورودی و محاسبه شده درخت قیمت و هزینه‌های عملیاتی در نظر گرفته شده است.

1400	1401	1402	1403	1404	1405	1406	1407	1408	1409	1410
										19491.19
									27706.37	
								29342.70		9209.36
							27383.25		12852.25	
						23680.50		13284.05		4140.30
					19349.41		11995.35		5575.64	
				15027.79		9907.09		5480.17		1682.27
			11048.48		7563.96		4592.79		2084.84	
		7553.81		5264.97		3355.97		1787.51		523.54
	4571.94		3153.20		2016.46		1131.74		470.25	
2067.45		1277.31		697.62		306.36		82.62		4.61
	-367.16		-550.47		-591.65		-505.04		-303.88	
		-1640.79		-1439.18		-1139.31		-749.14		-273.58
			-2173.78		-1734.51		-1224.71		-647.19	
				-2248.47		-1670.59		-1040.47		-358.81
					-2056.20		-1407.88		-721.46	
						-1726.15		-1054.96		-357.80
							-1342.83		-680.51	
								-957.52		-322.53
									-597.95	
										-277.31

شکل ۹ - درخت دودویی گردش مالی تنزیل‌یافته (میلیون دلار)

۳-۳- معرفی و ایجاد اختیار انباشت سنگ آهن در پروژه معدن B سنگ آهن سنگان

با توجه به بررسی‌های انجام شده در معدن B معادن سنگ آهن سنگان، انباشتگاه سنگ آهن کم عیار و انباشتگاه سنگ آهن با درصد اکسید پایین برای این معدن تعریف شده است.

با توجه به اینکه انباشتگاه سنگ آهن کم عیار (عیار آهن کمتر از ۳۵) مربوط به بار ارسالی از معدن B است و همچنین از نظر عیار اکسید آهن نیز بار ارسالی به این انباشتگاه مربوط به این معدن است، بنابراین درصد میزان تولید سنگ آهن کم عیار و درصد اکسید آهن به تفکیک سال اهمیت می‌یابد. جدول ۴ تناژ تولید شده سنگ آهن کم عیار و جدول ۵ تناژ سنگ آهن تولید شده با درصد اکسید پایین به انباشتگاه را نشان می‌دهد.

با در نظر گرفتن میزان تناژ ارسالی سنگ آهن کم عیار و سنگ آهن با درصد اکسید پایین با افزایش قیمت سنگ آهن در درخت گردش مالی تنزیل یافته به تناژ سنگ آهن تولید شده میزان ۱٫۴۶ میلیون تن برای فروش به کارخانه در سال ۱۳۹۹ لحاظ شده که در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴- تناژ ارسالی سنگ آهن کم عیار به تفکیک سال از معدن B به انباشتگاه (میلیون تن)

معدن	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۴۰۰
B	۰٫۲۹	۰٫۲۹	۰٫۲۷	۰٫۰۵	۰٫۱۴	۰٫۴۲	۰٫۶۱	۰٫۴۲
تناژ فروش							۱٫۴۶	

جدول ۵- تناژ ارسالی سنگ آهن از نظر درصد اکسید آهن پایین به تفکیک سال از معدن B به انباشتگاه (میلیون تن)

معدن	۱۳۹۳	۱۳۹۴	۱۳۹۵	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۴۰۰
B	۰٫۵۸	۰٫۶۵	۰٫۴۵	۰٫۰۹	۰٫۱۶	۰٫۶۲	۰٫۸۵	۰٫۷۳
تناژ فروش					۱٫۷۷			۱٫۶۳

در هر گره از درخت گردش مالی تنزیل‌یافته، میزان تولید سالیانه از کسر تناژ تولید شده سنگ آهن کم عیار و اضافه شدن هزینه انباشتگاه بدست آمده است. برای محاسبه درخت گردش مالی پروژه هزینه‌های مربوط به حمل سنگ آهن به انباشتگاه، ایجاد انباشتگاه، فرصت از دست رفته، تعمیر و نگهداری انباشتگاه و هزینه‌های مربوط به باطله‌برداری با نسب باطله‌برداری ۳ به ۱ در محاسبه درخت گردش مالی پروژه در نظر گرفته شده است.

محاسبه درخت گردش مالی تنزیل‌یافته برای سنگ آهن با درصد اکسید پایین نیز مشابه با روند محاسبه درخت سنگ آهن کم عیار انجام می‌شود با این تفاوت که مطابق با جدول ۶ تناژ فروش با توجه به افزایش قیمت سنگ آهن در سال ۱۳۹۷ به میزان ۱٫۷۷ میلیون تن و در سال ۱۴۰۰ به میزان ۱٫۶۳ میلیون تن رسیده است. شکل‌های ۱۰ و ۱۱ به ترتیب درخت گردش مالی تنزیل‌یافته پروژه را با در نظر گرفتن اختیار انباشت سنگ آهن کم عیار و انباشتگاه سنگ آهن با درصد اکسید پایین را نمایش می‌دهند.

1400	1401	1402	1403	1404	1405	1406	1407	1408	1409	1410
										21212.90
									36827.50	
								43201.11		23232.22
							41401.97		29874.53	
						35330.01		26642.30		23232.22
					27915.68		20952.79		14999.95	
				20759.23		15370.83		10071.20		1682.27
			14537.02		10620.37		6750.40		2084.84	
		9424.05		6775.14		4277.83		1787.51		523.54
	5376.29		3730.49		2304.55		1131.74		470.25	
2197.61		1375.04		697.62		306.36		82.62		4.61
	-367.16		-550.47		-591.65		-505.04		-303.88	
		-1640.79		-1439.18		-1139.31		-749.14		-273.58
			-2173.78		-1734.51		-1224.71		-647.19	
				-2248.47		-1670.59		-1040.47		-358.81
					-2056.20		-1407.88		-721.46	
						-1726.15		-1054.96		-357.80
							-1342.83		-680.51	
								-957.52		-322.53
									-597.95	
										-277.31

شکل ۱۰- درخت گردش مالی تنزیل یافته پروژه با در نظر گرفتن اختیار انباشت سنگ آهن کم عیار (میلیون دلار)

1400	1401	1402	1403	1404	1405	1406	1407	1408	1409	1410
										26885.02
									38037.38	
								40024.19		12542.06
							37014.13		17333.35	
						31597.17		17664.42		5485.95
					25345.81		15621.94		7218.25	
				19184.47		12520.70		6846.67		2076.63
			13609.94		9173.37		5455.34		2410.35	
		8880.62		6028.41		3736.94		1904.25		523.54
	5067.60		3372.03		2046.99		1131.74		470.25	
2146.51		1277.31		697.62		306.36		82.62		4.61
	-367.16		-550.47		-591.65		-505.04		-303.88	
		-1640.79		-1439.18		-1139.31		-749.14		-273.58
			-2173.78		-1734.51		-1224.71		-647.19	
				-2248.47		-1670.59		-1040.47		-358.81
					-2056.20		-1407.88		-721.46	
						-1726.15		-1054.96		-357.80
							-1342.83		-680.51	
								-957.52		-322.53
									-597.95	
										-277.31

شکل ۱۱- درخت گردش مالی تنزیل یافته پروژه با در نظر گرفتن اختیار انباشت سنگ آهن با درصد اکسید پایین (میلیون دلار)

گام‌های محاسباتی در زمینه پیاده‌سازی اختیار انباشت در مورد درخت دودویی گردش مالی تنزیل یافته به شرح زیر است:

گام اول: ارزش‌گذاری از ستون آخر جدول درخت دودویی آغاز شده و مقدار ارزش هرگره در این ستون با مقدار ارزش سرمایه‌گذاری مقایسه شده است و از آنجا که هدف

بیشینه‌سازی ارزش خالص فعلی است، مقدار ماکزیمم به عنوان مقدار ارزش جدید در پایین همان گره ثبت می‌شود. این کار برای تمامی گره‌های این ستون انجام می‌شود. ارزش گره‌ها در ستون آخر متناظر با ارزش گره‌ها در ستون آخر درخت گردش مالی است که از مرحله قبل بدست آمده است.

گام دوم: بعد از پایان محاسبات ستون آخر به سمت محاسبات گره‌های ستون ۹ ام حرکت کرده و در این مرحله محاسبات کمی پیچیده‌تر می‌شود. محاسبات هر گره بر طبق رابطه زیر ادامه پیدا می‌کند:

$$[P_r(S'u^9) + (1-p_r)(S'u^8d)] \times exp\,(-r_f \times \delta)$$

روند محاسباتی فوق برای تمامی گره‌ها تا گره اولیه به همین طریق ادامه پیدا می‌کند تا به گره اولیه می‌رسد.

به منظور تحلیل نتایج ارزش خالص فعلی چند سناریو مطابق با نتایج جدول ۶ به شرح زیر تعریف شده است:

جدول ۶- نتایج تحلیل سناریوهای مختلف بر ارزش خالص فعلی در پروژه معدن B سنگ آهن سنگان (میلیون دلار)

سناریو	عدم قطعیت	NPV	درصد افزایش NPV
۱	لحاظ نشده	۱۷۶۶٫۶۶	۰
۲	قیمت و هزینه عملیاتی لحاظ شده	۲۰۶۷٫۴۵	۱۳
۳	قیمت و هزینه عملیاتی لحاظ شده	۲۱۹۷٫۶۱	۲۳
۴	قیمت و هزینه عملیاتی لحاظ شده	۲۱۴۶٫۵۱	۲۰

سناریو ۱: محاسبه ارزش خالص فعلی پروژه بدون در نظر گرفتن عدم قطعیت قیمت و هزینه‌های عملیاتی، در این سناریو ارزش خالص فعلی پروژه با تشکیل جدول DCF محاسبه می‌شود.

سناریو ۲: محاسبه ارزش خالص فعلی پروژه با در نظر گرفتن عدم قطعیت قیمت و هزینه‌های عملیاتی، در این سناریو ارزش خالص فعلی بر طبق درخت دودویی گردش مالی تنزیل‌یافته و روابط ارایه شده، محاسبه شده است.

سناریو ۳: محاسبه ارزش خالص فعلی پروژه با در نظر گرفتن عدم قطعیت قیمت و هزینه‌های عملیاتی، در این سناریو ارزش خالص فعلی بر طبق درخت دودویی گردش مالی تنزیل‌یافته و لحاظ کردن اختیار انباشت سنگ آهن کم عیار (عیار سنگ آهن کمتر از ۳۵ درصد) محاسبه می‌شود.

سناریو ۴: محاسبه ارزش خالص فعلی پروژه با در نظر گرفتن عدم قطعیت قیمت و هزینه‌های عملیاتی، در این سناریو ارزش خالص فعلی بر طبق درخت دودویی گردش مالی تنزیل‌یافته و لحاظ کردن اختیار انباشت سنگ آهن با درصد اکسید پایین (FEO<10) محاسبه می‌شود.

با توجه به نتایج جدول ۷ در ارتباط با تحلیل سناریوهای مختلف برای محاسبه ارزش خالص فعلی پروژه معدن B سنگ آهن سنگان؛ ملاحظه می‌شود که به ترتیب سناریو ۳ در ارتباط با فروش سنگ آهن کم عیار بیشترین تاثیر و پس از آن سناریو ۴ که مربوط به فروش سنگ آهن با درصد اکسید پایین است در مرحله بعد منجر به افزایش ارزش خالص فعلی پروژه شده است. در نهایت با در نظر گرفتن نتایج درخت تنزیل‌یافته گردش مالی پروژه تحت شرایط عدم قطعیت قیمت و هزینه‌های عملیاتی با لحاظ کردن اختیار انباشت، سال ۱۴۰۸ بهترین سال (بیشترین ارزش خالص فعلی) برای فروش سنگ آهن موجود در انباشتگاه‌ها پیشنهاد می‌شود.

۴- نتیجه‌گیری

امروزه به دلیل ماهیت پیچیده کانسار، ارزیابی پروژه‌های معدنی تحت شرایط عدم قطعیت اهمیت ویژه‌ای دارد که می‌تواند تاثیرات بسیار زیادی در رابطه با سرمایه‌گذاری در یک پروژه معدنی داشته باشد. استفاده از رویکرد اختیارات حقیقی و تحقیقات بسیار زیادی که تاکنون در این رابطه انجام شده است برای بررسی عدم قطعیت‌ها و ارزیابی یک پروژه می‌تواند بر ارزش خالص فعلی آن پروژه تاثیرگذار باشد. در این پروژه با لحاظ کردن عدم قطعیت قیمت و هزینه‌های عملیاتی با توجه به داده‌های تهیه شده از پروژه معدنB سنگ آهن سنگان، ارزش خالص فعلی پروژه در ابتدا با تشکیل جدول DCF بدست آمده است و سپس با لحاظ کردن عدم قطعیت‌ها با تشکیل درخت دودویی گردش مالی تنزیل یافته لحاظ شده است. در مرحله بعد با تعریف اختیار انباشت سنگ آهن با درصد اکسید پایین و اختیار انباشت سنگ آهن با عیار پایین در پروژه معادن سنگ آهن سنگان، ارزش خالص فعلی پروژه در شرایط عدم قطعیت قیمت و هزینه‌های عملیاتی محاسبه شده است. برای محاسبه اختیارات در ابتدا میزان نوسان‌پذیری قیمت و هزینه‌های عملیاتی محاسبه شده و سپس ارزش خالص فعلی پروژه با در نظر گرفتن اختیار انباشت سنگ آهن با عیار کمتر از ۳۵ و انباشت سنگ آهن با درصد اکسید کمتر از ۱۰ درصد برای دپو و فروش آن‌ها در سال‌های آینده با توجه به بهتر شدن وضعیت فروش سنگ آهن لحاظ شده است. با توجه به نتایج

بدست آمده ملاحظه می‌شود که با بهتر شدن وضعیت سنگ آهن مطابق با درخت گردش مالی تنزیل یافته با لحاظ شدن اختیار انباشت بهتر است تا انباشت سنگ آهن در سال‌های اولیه انجام شود تا در سال‌های آتی با قیمت مناسب‌تری به فروش برسد. با توجه به نتایج ارایه شده در این مقاله سال ۱۴۰۸ بهترین سال (دارای بیشترین ارزش خالص فعلی) برای فروش سنگ آهن موجود در انباشتگاه‌ها است که پس از آن ارزش خالص فعلی پروژه کاهش می‌یابد.

منابع

1. J. Savolainen, “Real options in metal mining project valuation: Review of literature,” *Resources Policy*, Vol. 50, pp. 49–65, 2016.
2. H. Dehghani and M. Ataee-Pour, “Determination of the effect of economic uncertainties on mining project evaluation using Real Option Valuation,” *International Journal of Mining and Mineral Engineering*, Vol. 4, No. 4, pp. 265–277, 2013, doi: 10.1504/IJMME.2013.056850.
3. J. Savolainen, M. Collan, and P. Luukka, “Analyzing operational real options in metal mining investments with a system dynamic model,” *Engineering Economic*, Vol. 62, No. 1, pp. 54–72, 2017.
4. J. Mun, *Real options analysis: Tools and techniques for valuing strategic investments and decisions*, vol. 137. John Wiley & Sons, 2002.
5. J. Mun, *Real options analysis: Tools and techniques for valuing strategic investments and decisions*, Vol. 320. John Wiley & Sons, 2012.
6. T. U. Mbolo, P. D. Sornette, M. D. Petraitis, and D. A. Löw, *Project Valuation using Real Options*, Vol. Master of. 2008.
7. J. Mun, *Modeling risk: Applying Monte Carlo simulation, real options analysis, forecasting, and optimization techniques*, Vol. 347. John Wiley & Sons, 2006.
8. F. Black and M. Scholes, “The pricing of options and corporate liabilities,” in *World Scientific Reference on Contingent Claims Analysis in Corporate Finance: Volume 1: Foundations of CCA and Equity Valuation*, World Scientific, 2019, pp. 3–21.
9. J. Rogers, “Strategy, Value and Risk — The Real Options Approach,” *Strateg. Value Risk — Real Options Approach*, 2002, doi: 10.1057/9780230513051.
10. R. C. Merton, “Theory of rational option pricing,” *Bell Journal Economic Management Science*, pp. 141–183, 1973.
11. S. C. Myers, “Finance theory and financial strategy,” *Interfaces (Providence).*, Vol. 14, No. 1, pp. 126–137, 1984.
12. J. C. Cox, J. E. Ingersoll Jr, and S. A. Ross, “An intertemporal general equilibrium model of asset prices,” *Journal of Economic Social*, pp. 363–384, 1985.
13. M. A. G. Dias, “Valuation of exploration and production assets: an overview of real options models,” *J. Petroleum Science Engineering*, Vol. 44, No. 1–2, pp. 93–114, 2004.
14. V. T. Datar and S. H. Mathews, “European real options: An intuitive algorithm for the Black-Scholes formula,” *Available SSRN 560982*, 2004.
15. M. E. Slade, “Valuing managerial flexibility: An application of real-option theory to mining investments,” *Journal of Environment Economics Management.*, Vol. 41, No. 2, pp. 193–233, 2001.
16. Danialy Engineering Report. Archive in Sangan Iron Ore Complex , Vol 1, No 1, 2008.
17. H. Dehghani and M. Ataee-Pour, “The role of economic uncertainty on the block economic value–a new valuation approach,” *Archive of Mining Science*, Vol. 57, No. 4, 2012.
18. C. Watkins and M. McAleer, “Econometric modelling of non-ferrous metal prices,” *Joural of Economic Survey.*, Vol. 18, No. 5, pp. 651–701, 2004.
19. M. Samis, G. A. Davis, D. Laughton, and R. Poulin, “Valuing uncertain asset cash flows when there are no options: A real options approach,” *Resources Policy*, Vol. 30, No. 4. pp. 285–298, 2005.
20. S. xing LI and P. KNIGHTS, “Integration of real options into short-term mine planning and production scheduling,” *Mining. Sciencs. Technology.*, Vol. 19, No. 5, pp. 674–678, 2009.
21. A. D. Ajak and E. Topal, “Real option in action: An example of flexible decision making at a mine operational level,” *Resources Policy*, Vol. 45, pp. 109–120, 2015.
22. M. A. Haque, E. Topal, and E. Lilford, “A numerical study for a mining project using real options valuation under commodity price uncertainty,” *Resourecs Policy*, Vol. 39, No. 1, pp. 115–123, 2014
23. A. D. Ajak and E. Topal, “Real option in action: An example of flexible decision making at a mine operational level,” *Resources Policy*, Vol. 45, pp. 109–120, 2015.
24. A. Rossen, “What are metal prices like? Co-movement, price cycles and long-run trends,” *Resources Policy*, Vol. 45, pp. 255–276, 2015.
25. J. Savolainen, M. Collan, and P. Luukka, “Analyzing operational real options in metal mining investments with a system dynamic model,” *Engineering. Economomics.*, Vol. 62, No.

1, pp. 54–72, 2017

26. P. Guj and A. Chandra, “Comparing different real option valuation approaches as applied to a copper mine,” *Resources Policy*, Vol. 61, pp. 180–189, 2019.

27. W. Banda, “A real options based framework for assessing the international attractiveness of mining taxation regimes,” *Resources Policy*, Vol. 74, p. 102414, 2021

28. Thompson M, Barr D. "Cut-off grade: A real options analysis". *Resources Policy*, Vol 42, p. 83-92, 2014.

29. Zhang K, Nieto A, Kleit AN. "The real option value of mining operations using mean-reverting commodity prices". *Mineral Economics*. Vol 28. pp. 11-22, 2015.

30. Rossen A. "What are metal prices like? Co-movement, price cycles and long-run trends". *Resources Policy*, Vol 45. pp. 255-276, 2015.

۳۱. طاهری مقدر. م، عطایی‌پور .م، ایران‌نژاد. م، ارزشیابی پروژه‌های معدنی با استفاده از روش اختیار سرمایه‌گذاری، مجله نظام مهندسی معدن ایران؛ شماره ۵، صفحه ۴۴ تا ۵۲، زمستان ۱۳۸۸.

32. *Indexmundi website*, 2022, <https://www.indexmundi.com/commodities/?commodity=iron-ore >