



تعیین سرحدات نهایی معادن روباز با استفاده از نرم افزار مایکروماین

پوهنیار دیپلوم انجنیر محمد مسلم فقیریار عضو کادر علمی پوهنځی انجیری پوهنتون بغلان
پوهنمیل دیپلوم انجنیر نظام الدین فقیرزاده عضو کادر علمی پوهنځی انجیری پوهنتون بغلان

Determining the Ultimate Pit Shall Using Micromine Origin and Beyond

Abstract

The design of ultimate pit shell in open-pit mines represents one of the fundamental and influential stages in the mining planning process. This stage requires the simultaneous analysis of multiple geological, technical, economic and environmental parameters. Due to the complexity of this process, the use of advanced software tools particularly *Micromine Origin and Beyond* has gained significant importance as a powerful platform for 3D modeling, economic analysis and extraction simulation (Najafi, Rafiee & Jalali, 2019, p. 39). The objectives of this study are focused on the effective application of Micromine software in 3D design and modeling for determining the ultimate pit shell of open-pit mines and evaluating the capabilities of the Lerchs-Grossmann algorithm in the economic analysis of such mines. In this research, in order to determine ultimate pit shell boundaries, exploratory data from a gold deposit consisting of 56 drill holes were processed using Micromine. Through the application of the Lerchs-Grossmann optimization algorithm and the definition of a search ellipsoid, a block model of the ore body was constructed. Subsequently, by incorporating technical and economic parameters such as mining costs, sell price and adjustment factors, an optimal economic extraction scenario was developed. The results identified an ultimate pit with a depth of 150 meters and an average grade of 7.5%, encompassing a body of over 586 million tones, yielding an economic benefit of approximately 320\$ million. The findings indicate that Micromine, with its multi-criteria analysis capabilities, is an efficient and reliable tool for the technical-economic design of ultimate pit boundaries in open-pit mines and can play a crucial role in optimizing extraction operations and reducing operational risks.

Keywords: Determination of the ultimate pit limit, Micromine Origin and Beyond Software, Lerchs-Grossmann Algorithm



چکیده

طراحی سرحدات نهایی بهینه در معادن روباز، یکی از مراحل اساسی و تأثیرگذار در جریان برنامه‌ریزی استخراج به شمار می‌رود که مستلزم تحلیل هم‌زمان پارامترهای متعدد جیولوجیکی، فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی است. با توجه به پیچیدگی این روند، استفاده از ابزارهای نرم‌افزاری پیشرفته به‌ویژه مایکروماین (Micromine Origin and Beyond) به‌عنوان بستری قدرتمند در مدل‌سازی سه‌بعدی، تحلیل اقتصادی و شبیه‌سازی استخراج، اهمیت ویژه‌ای یافته است. اهداف این تحقیق روی مواردی چون کاربرد مؤثر نرم‌افزار مایکروماین در طراحی و مدل‌سازی سه بعدی برای تعیین سرحدات نهایی معادن روباز، ارزیابی قابلیت‌های الگوریتم (Lerchs-Grossmann) در تحلیل اقتصادی معادن روباز متمرکز می‌باشد. در این تحقیق، به‌منظور تعیین سرحدات نهایی بهینه، داده‌های اکتشافی یک معدن طلا با ۵۶ چاه حفاری در نرم‌افزار مایکروماین پردازش شده و با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی (Lerchs-Grossmann) و تعریف بیضی جست‌وجوگر، مدل بلوکی ماده معدنی ایجاد گردید. سپس با در نظر گرفتن پارامترهای فنی و اقتصادی چون هزینه‌های استخراج، قیمت فروش و ضرایب اصلاحی، سناریوی اقتصادی استخراج بهینه تدوین شد. نتایج حاصل، محدوده‌ای با عمق ۱۵۰ متر و عیار متوسط ۷.۵ فیصد را به‌عنوان سرحد نهایی بهینه ارائه داد که دربردارنده کتله‌ای به حجم بیش از ۵۸۶ میلیون تن بوده و سود اقتصادی ۳۲۰ میلیون دلار را به همراه دارد. یافته‌ها نشان می‌دهند که نرم‌افزار مایکروماین با قابلیت تحلیل چندمعیاره، ابزاری کارآمد و قابل اعتماد در طراحی فنی-اقتصادی سرحدات نهایی معادن روباز می‌باشد و می‌تواند در بهینه‌سازی عملیات استخراج و کاهش ریسک‌های عملیاتی نقش مؤثری ایفا نماید.

اصطلاحات کلیدی: معادن روباز، تعیین سرحدات نهایی، نرم افزار (Micromine).

الگوریتم (Lerchs-Grossmann)

مقدمه

طراحی بهینه سرحدات نهایی معادن روباز یکی از مهم‌ترین مراحل در برنامه‌ریزی استخراج به‌شمار می‌رود که نقش بسزایی در تحقق اهداف فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی پروژه‌های معدنی دارد. تصمیم‌گیری در خصوص تعیین سرحدات نهایی معادن روباز مستلزم تحلیل هم‌زمان مجموعه‌ای از پارامترهای متنوع مانند ویژگی‌های جیولوجیکی و جیوتکنیکی کتله معدنی، کیفیت و کمیت ذخایر، مصارف استخراج، قیمت بازار، محدودیت‌های فنی و قوانین زیست‌محیطی می‌باشد. پیچیدگی این مسئله، نیاز به استفاده از ابزارهای نرم‌افزاری پیشرفته را بیش از پیش نمایان می‌سازد (Mwangi et al, 2021, p. 1). در این میان، نرم‌افزارها مایکروماین (Micromine)، ریموت سینسینگ (Remote



(Sensing) و غیره به عنوان یکی از نرم افزارهای تخصصی و جامع در حوزه علوم جیولوجیکی (Geological Information) و طراحی معادن، با قابلیت های گسترده خود در مدل سازی سه بعدی ماده معدنی، تحلیل اقتصادی، شبیه سازی استخراج و بهینه سازی سرحدات کریر، جایگاه ویژه ای در صنعت معدنکاری پیدا کرده است. این نرم افزار با فراهم آوردن امکان تحلیل چند معیاره و ارائه مدل های دقیق، به انجیران معدن اجازه می دهد تا محدوده ای را انتخاب نمایند که از نظر فنی اجراپذیر، از نظر اقتصادی بهینه و از نظر زیست محیطی قابل قبول باشد (Wnuk, 2024, p. 1).

استفاده از الگوریتم های بهینه سازی همچون الگوریتم لارچ-گراسمن (Lerchs-Grossmann) در محیط مایکروماین، زمینه ساز تصمیم گیری دقیق در تعیین سرحدات استخراجی و تدوین سناریوهای بلندمدت و میان مدت در امور استخراج معادن می گردد. از این رو، بررسی و تحلیل نقش مایکروماین در تعیین سرحدات نهایی معادن روباز، نه تنها از جنبه علمی حائز اهمیت است، بلکه از دیدگاه عملی نیز می تواند به بهینه سازی عملیات استخراج و افزایش بهره دهی پروژه های معدنی منجر شود (Anisimov et al, 2024, p. 1).

هدف اصلی این تحقیق، بررسی کاربرد نرم افزار مایکروماین در تعیین سرحدات نهایی معادن روباز و ارزیابی کارآمدی الگوریتم های بهینه سازی به کار رفته در این نرم افزار، در راستای دستیابی به طراحی اقتصادی و فنی بهینه می باشد. اهداف جزئی تحقیق عبارت اند از:

- مدل سازی سه بعدی جسم معدنی با استفاده از چاه های اکتشافی در محیط مایکروماین.
- اعمال پارامترهای فنی و اقتصادی جهت طراحی سرحدات نهایی کریر.
- بررسی تأثیر تغییر پارامترهای ورودی بر سرحدات نهایی کریر و به حداقل رسانیدن خطای محاسباتی.

با توجه به افزایش نیاز به بهره برداری بهینه از منابع معدنی و پیچیده تر شدن شرایط فنی، اقتصادی و زیست محیطی پروژه های معدنی، استفاده از ابزارهای دقیق و قابل اعتماد در طراحی و برنامه ریزی معادن، امری اجتناب ناپذیر است. انتخاب سرحدات نهایی بهینه برای معادن روباز، تأثیر مستقیمی بر صرفه جویی در مصارف، کاهش ریسک های فنی و افزایش بهره برداری پروژه دارد. نرم افزار مایکروماین با بهره گیری از الگوریتم های پیشرفته و محیط گرافیکی کاربرپسند، بستری مناسب برای تحلیل جامع اطلاعات و انجام طراحی بهینه را فراهم می سازد. از این رو، بررسی کاربرد آن در تعیین



سرحدات نهایی معادن روباز، از دیدگاه علمی و صنعتی، حائز اهمیت فراوان است (Shafayi, Torabi, 2022, p. 325).

در سال‌های اخیر، تحقیقات متعددی در زمینه طراحی سرحدات نهایی معادن روباز با استفاده از روش‌های عددی و نرم‌افزارهای تخصصی انجام شده است. الگوریتم لارچ-گراسمن به‌عنوان یکی از روش‌های کلاسیک در بهینه‌سازی تعیین سرحدات کریر، در نرم‌افزارهایی مانند (Surpac، Whittle، Micromine Origin and Beyond) پیاده‌سازی شده است و نتایج رضایت‌بخشی ارائه داده است. همچنین، مطالعات انجام‌شده در محیط نرم‌افزار مایکرومین (Micromine Origin and Beyond) نشان داده‌اند که این نرم‌افزار به‌طور مؤثری می‌تواند روند طراحی و تحلیل اقتصادی پروژه‌های معدنی را تسریع و تسهیل نماید (Anisimov et al, 2024, p. 1).

مواد و روش تحقیق

این تحقیق در یکی از معادن طلا در مکانی نامشخص به‌دلیل محدودیت‌های مربوط به محرمانه بودن اطلاعات تجاری انجام شده است. در این مطالعه، ابتدا با بهره‌گیری از یک نرم‌افزار تخصصی معدنی (Micromine Origin and Beyond)، دیتاسیت از اطلاعات چاه اکتشافی (Collar, Survey, Assay) and Lithology) را به‌منظور بازنمایی دقیق محدوده‌ی مورد مطالعه، ایجاد گردیده است. سپس با در نظر گرفتن ویژگی‌های فضایی ماده معدنی، یک بیضی جست‌وجوگر (Search Ellipsoid) تعریف و بر اساس آن، مدل‌های لیتولوژیکی احجار را که در برگرنده‌ی احجار (Chalcopyrite, Biotite, Granodiorite and Garnet) که توسط چاه‌های اکتشافی قطع شده‌اند، به‌صورت شبکه‌های حجروی (wireframe) تهیه گردید.

در مراحل بعد، مدل بلوکی اولیه (خالی)، مدل جیولوجیکی و مدل‌های بلوکی مواد مفید ایجاد شدند. پس از انجام مراحل ترکیب‌سازی (Compositing)، از الگوریتم وزن‌دهی با توان معکوس فاصله (IDW) به‌منظور برآورد عیار Au در تمامی بلوک‌ها استفاده شد.

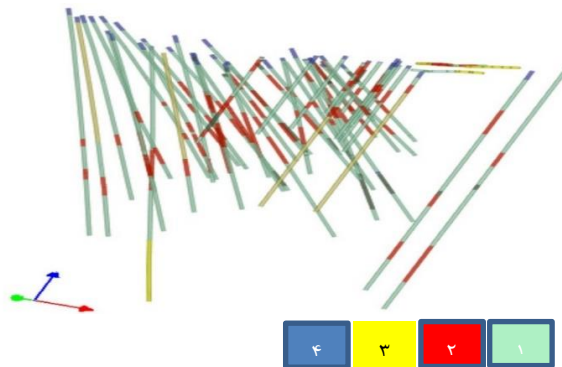
در ادامه با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی Lerchs-Grossmann و طراحی سناریوی (Constant Log)، سرحدات نهایی و بهینه‌ی معدن انتخاب گردید، به‌نحوی که بهره‌برداری اقتصادی از بیشترین حجم کتله معدنی Au موجود در محدوده معدن را امکان‌پذیر سازد.

نتایج (یافته ها).

I. چاه های اکتشافی

در محدوده‌ی مورد مطالعه، مجموعاً ۵۶ چاه اکتشافی در مساحت کلی 700×450 متر حفر شده است. کم عمق ترین چاه اکتشافی دارای عمق ۷۰ متر و عمیق ترین آن ۴۳۰ متر بوده است. این چاه ها در راستای جنوب غربی-شمال شرقی به طول ۷۰۰ متر و در راستای جنوب شرقی-شمال غربی به طول ۴۵۰ متر عرض موقعیت نموده است و از نگاه ارتفاعی بین ۳۰ تا ۱۲۰ متر از سطح بحر قرار گرفته اند.

کته معدنی برنامه ریزی شده برای استخراج، شامل Chalcopyrite با وزن مخصوص ۴.۱۹ گرام بر سانتی متر مکعب می باشد. در این محدوده، چاه های اکتشافی چهار زون جیولوجیکی شامل سنگ های Chalcopyrite, Biotite, Granodiorite and Garnet را قطع نموده اند، در ساحه مذکور برمه کاری شده است. مدل فضایی این دسته از چاه های اکتشافی در شکل ذیل به وضاحت قابل مشاهده است.

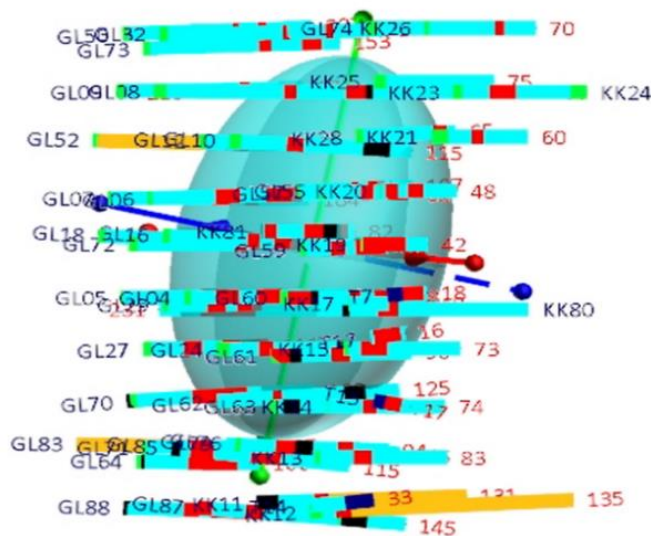


شکل ۱. مدل فضایی چاه های اکتشافی در ساحه معدن، [1. Granodiorite, 2. Chalcopyrite, 3. Garnet, 4. Biotite]

II. مدل فضای کته معدنی

بمنظور تخصیص مقادیر عیار برای بلوک های معدنی با استفاده از روش های تخمینی، لازم است بیضی جست و جوگر (Search Ellipsoid) بر اساس پارامترهای موقعیت جسم معدنی تعریف گردد. این پارامترها شامل جهت (Azimuth)، زاویه میلان بین سطح توپوگرافی و جسم معدنی (Plunge)، زاویه میلان جسم معدنی به جهت افتاده (Dip)، طول محور کبیر بیضی، طول محور صغیر بیضی، ارتفاع بیضی و همچنین تعداد نمونه های قابل قبول برای هر بخش لازمی تعریف می گردد.

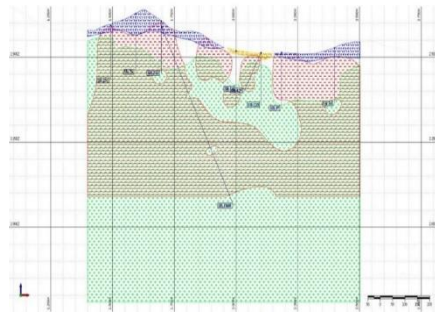
مطابق با شکل ۲، مشخصات جیولوجیکی کتله معدنی با در نظر داشت موقعیت جغرافیایی جنوب شرقی-شمال غربی (با آزیموت ۱۲ درجه) مشخص شده است. همچنین، با بررسی مقاطع موازی با این راستا، مشخص گردید که زاویه میلان جسم معدنی میان سطح توپوگرافی و جسم معدنی منفی ۲۰ درجه بوده و شیب آن در راستای شمال شرقی با زاویه منفی ۴۹ درجه قرار دارد. جهت تهیه مدل فضایی، یک بیضی جست و جوگر با چهار بخش طراحی شد. به منظور جلوگیری از خطای محاسباتی، تعداد نمونه های قابل استفاده در هر بخش به حداکثر ۱۰ نقطه محدود گردید. همچنین، برای اعتبار مدل سازی، شرط وجود مدل جسم معدنی حداقل ۶ نقطه انتخاب گردیده است. در شکل (۲) نمونه ای از بیضی جست و جوگر طراحی شده نشان داده شده است. مشخصات ابعادی این بیضی در جدول (۱) ارائه گردیده است. بر اساس این بیضی جست و جوگر، مدل های جسم معدنی به صورت شبکه های سیمی (Wireframe) برای واحدهای جیولوجیکی (Chalcopyrite, Biotite, Granodiorite and Garnet) با استفاده از اطلاعات حاصل از چاه های اکتشافی تهیه گردید و با قطع جانبی آن در شکل (۳) قابل مشاهده است. همچنان برای وضاحت بیشتر و توضیح معلومات در مورد مدل فضایی جسم معدنی (Ore Body Modeling) و نوعیت قرار گرفتن آن در ساحه ی معدن نیز در شکل (۳) به نمایش درآورده شده است.



شکل ۲. مدل سه بعدی بیضی جست و جوگر [Three Dimensional Format of Search Ellipsoid]

جدول ۱. مشخصات بیضی جستجوگر مطابق به پارامتر های موقعیت جسم معدنی

تعداد نقاط	تعداد نقاط	طول محور	محور	ارتفاع	آزیموت	زاویه	میل
هر سکتور	اصغری در هر سکتور	کبیر بیضی (m)	صغیر بیضی (m)	بیضی (m)	جسم معدنی	توپوگرافی با جسم معدنی	جسم معدنی
(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)	(°)
۱۰	۶	۸۰	۵۰	۲۵	۱۲	۴۹	۲۰



شکل ۳. بالترتیب از راست به چپ، قطع جانبی بلاک جیولوجیکی و نمای سه بعدی جسم معدنی به نمایش درآورده شده است (Geology Block Modeling and Ore Body Modeling, 2014).

III. ترسیم سرحدات نهایی کریر

با بهره‌گیری از الگوریتم بهینه‌سازی (Lerchs-Grossmann) و تدوین سناریوها، گسترده‌ترین سرحدات نهایی معدن به‌گونه‌ای تعیین گردید که بیشترین بخش از کتله معدنی (Chalcopyrite) به صورت اقتصادی قابل استخراج باشد. از آن‌جا که الگوریتم (Lerchs-Grossmann) بر اساس درآمد و مصارف عمل می‌کند، در این زمینه اطلاعات مرتبط با مصارف استخراج و موارد غنی‌سازی، همچنین قیمت فروش مواد مفید، از مؤسسات معدنی مشابه واقع در کشور، نتایج تحقیقات دیگران (Diogens et al, 2024, p. 4) و سایت های معتبر و رسمی اینترنتی (<https://www.metalsdaily.com/live-prices/gold/>) گردآوری شده است. با در نظر گرفتن قیمت‌ها در آپریل (۰۹/۰۴/۲۰۲۵)، مصارف حمل کتله معدنی قابل فروش تا تحویل آن به خریدار در محل دیپوی ذخیره برابر با ۱۰ دالر آمریکا بر متر مکعب و مصارف انتقال احجار بیکاره تا محل اتوال‌گاه احجار بیکاره نیز معادل ۱۰ دالر آمریکا بر مترمکعب در نظر گرفته شده است.



فرض بر آن بوده است که مصارف مربوط به ضریب استخراج (MCAF) و همچنین ضرایب مصارف زیست محیطی (RCAF) تحت تأثیر عواملی نظیر عمق معدن، تغییرات لیتولوژیکی و نوع احجار در ساحه برای عملیات معدنی ثابت در نظر گرفته شده و مقدار این ضرایب نیز برابر با (۱) در نظر گرفته می شود. زاویه ی عمومی میلان در تمامی جهات معدن برابر با (۳۵) درجه در نظر گرفته شده است. مصارف غنی سازی و مصارف عمومی و اداری به ترتیب برابر با (۵) دالر و (۱.۵) دالر آمریکا برای هر تن سنگ معدنی قابل فروش فرض گردید. همچنین، با فرض عدم تغییر ساختار لیتولوژیکی و عدم نیاز به غنی سازی متفاوت، ضریب تنظیم مصارف غنی سازی (PCAF) برابر با (۱) در نظر گرفته شده است.

در نهایت، قیمت هر انس طلای خالص در بازار کنونی معادل به (۳۲۳۲) دالر آمریکایی بوده و در بازار به فروش می رسد. و مصارف فروش بالای آن (۲) دالر آمریکا به ازای هر انس خواهد بود.



جدول ۲. پارامترهای ورودی به منظور تعیین سرحدات نهایی کریر

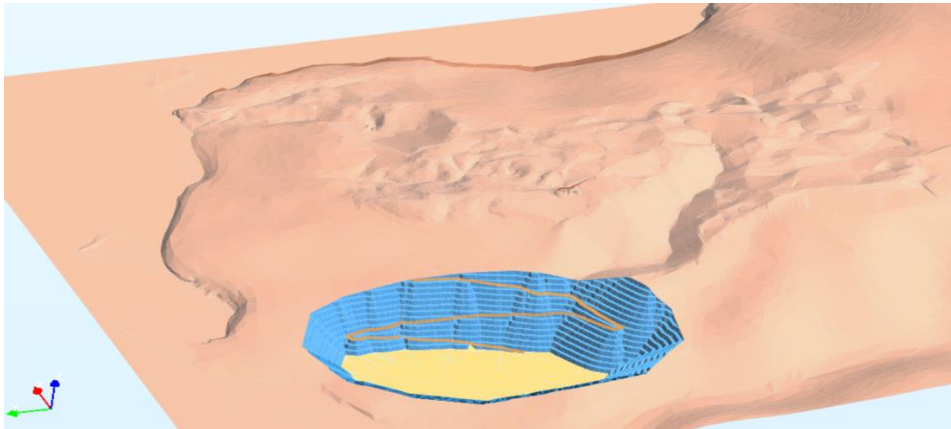
مقدار	پارامتر های ورودی جهت محاسبه سرحدات نهایی کریر
۱۰	مصارف استخراج مواد مفید ($US\$/m^3$)
۱۰	مصارف استخراج احجار بیکاره ($US\$/m^3$)
۱۰	ضریب استخراج مواد مفید (MCAF)
۱۰	ضریب استخراج احجار بیکاره (MCAF)
۱۰	ضریب مصارف زیست محیطی (RCAF)
۴.۱۹	کثافت مواد مفید (ton/m^3)
۵۰	کثافت احجار بیکاره (ton/m^3)
۵۰	درصد رقیق پذیری مواد مفید (%)
۹۵	درصد استخراج مواد مفید (%)
۳۵	زاویه عمومی شیب کناره های کریر
۵۰	مصارف غنی سازی مواد مفید ($US\$/ton$)
۱.۵	مصارف عمومی و اداری ($US\$/ton$)
۱۰	ضریب مصارف غنی سازی (PCAF)
۸۵.۰	درصد استخراج از غنی سازی (%)
۲۰	مصارف بالای فروش مواد مفید ($US\$/ton$)
۳۲۳۲	قیمت فروش مواد مفید ($US\$/ounce$)

با توجه به پارامترهای ورودی که در جدول ۲ قرار داشته و در عین حال از منابع معتبر، سایت های رسمی و شرکت های معدنی اخذ گردیده است، وارد نرم افزار تخصصی میکروماین نموده و از این طریق دریافت می گردد که معدن متذکره نظر به نتایج بدست آمده از جدول ۳ دارای عمق (۱۵۰) متر، کتلهی قابل استخراج (۵۸۶.۲۶۲۹) میلیون تن، مصارف عمومی بالای استخراج (۶۵۲۰.۵۵۵) میلیون دالر و در نتیجه سود معدن مبلغ (۳۲۰.۱۷۰) میلیون دالر با عیار متوسط (۷.۵) فیصد بالغ می گردد. در نهایت با توجه به نتایج بدست آمده از جدول ۳، واضح می گردد که استخراج این معدن با سرحدات نهایی تعریف شده در شکل ۳ مناسب بوده و قابل استخراج می باشد.



جدول ۳. نتایج بهینه از نقطه نظر اقتصادی بودن معدن همراه با حجم اعظمی کتله معدنی به‌منظور تعیین سرحدات نهایی کریر

پارامتر های کمی و کیفی کریر	نتایج
ارتفاع قسمت تحتانی کف کریر از سطح بحر (m)	۳۰-
ارتفاع قسمت فوقانی کریر از سطح بحر (m)	۱۲۰
حجم کتله معدنی بدون رقیق شدن (m^3)	۲۲۲۴۱۰۷۰۵۶۱۱
حجم کتله معدنی همراه با رقیق شدن (m^3)	۲۲۲۴۱۰۸۰۰۰۰۰۰
حجم کتله مواد مفید قابل استخراج (m^3)	۳۰۲۳۶۱۶۵۰۰۰
حجم کتله مواد مفید قابل استخراج با رقیق شدن (m^3)	۲۸۲۷۰۸۱۴۲۷۵
حجم کتله احجار بیکاره بدون رقیق شدن (m^3)	۱۹۲۱۷۴۵۴۰۶۱۱
حجم کتله احجار بیکاره‌ی قابل استخراج با رقیق شدن (m^3)	۱۹۴۱۳۹۸۹۱۰۳۳۶
کثافت (ton/m^3)	۴.۹۵
کثافت کتله مواد مفید (ton/m^3)	۴.۱۹
کثافت احجار بیکاره (ton/m^3)	۵.۰
کتله عمومی در معدن (ton)	۵۸۶۲۶۲۹۲۹۰۲۷
کتله قابل استخراج با رقیق شدن (ton)	۵۸۶۲۶۲۹۲۹۰۲۷
ضریب احجار بیکاره (ton/ton)	۷.۳۵
کتله مواد مفید قابل استخراج با رقیق شدن (ton)	۵۸۶۲۶۲۹۲۹۰۲۷
کتله احجار بیکاره (ton)	۴۸۰۴۳۶۳۵۱.۵۲۷
کتله احجار بیکاره‌ی قابل استخراج با رقیق شدن (ton)	۴۸۷۳۱۱۵۰۷۹.۰۶۴
مصارف مجموعی بالای استخراج (US\$)	۶۵۲۰۵۵۵۵۶۹۰۰۰
مصارف بالای استخراج مواد مفید (US\$)	۲۱۱۶۵۳۱۵۵۰۰۰
مصارف بالای استخراج احجار بیکاره (US\$)	۹۶۰۸۷۲۷۰۳۰۰۰
مصارف عمومی و اداری (US\$)	۱۹۷۸۹۵۷۰۰
مصارف بالای فروش جسم معدنی (US\$)	۳۶۶۵۹۱۶۲۶۱
عیار متوسط جسم معدنی (%)	۷.۵
درآمد عمومی (US\$)	۳۲۰۱۷۰۰۵۰۰۰۰



شکل ۳. سرحدات نهایی بهینه‌ی معدن با برداشت قسمت اعظمی کتله معدنی که از لحاظ اقتصادی مناسب باشد

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که نرم‌افزار میکروماین با بهره‌گیری از الگوریتم‌های پیشرفته طراحی و بهینه‌سازی کریر، ابزار قدرتمندی برای تعیین سرحدات نهایی معادن روباز به‌شمار می‌رود. با استفاده از قابلیت‌های این نرم‌افزار، از جمله مدل‌سازی (Block Modeling)، تحلیل اقتصادی کریر و امکان اعمال پارامترهای فنی و اقتصادی به‌صورت دقیق، می‌توان سرحدات بهینه را انتخاب کرد و ضمن ارزش اقتصادی معدن، از نظر فنی نیز قابل استخراج باشد. همچنین، انعطاف‌پذیری میکروماین در شبیه‌سازی سناریوهای مختلف از جمله مصارف و درآمد، این امکان را فراهم می‌سازد که تصمیم‌گیری‌های فنی و اقتصادی با دقت و اطمینان بیشتری انجام گیرد. بنابر این، می‌توان نتیجه گرفت که بهره‌گیری از نرم‌افزار میکروماین در طرح‌ریزی و تعیین سرحدات نهایی کریر، نقش مؤثری در ارتقاء دقت محاسبات، کاهش ریسک‌های اقتصادی و افزایش بهره‌برداری از پروژه‌های استخراج معادن روباز را ایفا می‌کند.



فهرست منابع

1. Anisimov, O., Bariatska, N., & Cherniaiev, O. (2024). Strategic planning of open pit mining operations using the Micromine Beyond Optimizer. V International Conference "Essays of Mining Science and Practice", 1-11, doi:10.1088/1755-1315/1348/1/012005
2. Diogens, C, J., Näs, I, A., Benvenega, M, A, C. . (2024). The impact of gold mining on regional development in Brazil. European Journal of Sustainable Development Research, 1-8, <https://doi.org/10.29333/ejosdr/14471>.
3. Mwangi, A, D., Jianhua, Z., Kasomo, R, M., Innocent, M, M. (2021). Ultimate Pit Limit Optimization using Boykov-Kolmogorov Maximum Flow Algorithm, Journal of Mining and Environment (JME), 1-13, DOI:10.22044/jme.2020.10170.1953.
4. Najafi, M., Fariee, R., Jalali, E. (2020). Open pit limit optimization using dijkstra's algorithm. International Journal of Mining and Geo-Engineering, 39-43, DOI: 10.22059/ijmge.2019.252822.594718.
5. Shafayi, S, H., Torabi, F, M. (2022). Ore Deposit Boundary Modification in Afghanistan Aynak Central Copper Deposit using Sequential Indicator Simulation and Indicator Kriging. Journal of Mining and Environment (JME), 325-340, DOI:10.22044/jme.2022.11557.2142.
6. Wnuk, C. (2024). The status of artisanal coal mining in Afghanistan: Using remote sensing to assess remaining artisanally mineable Jurassic coal resources. Journal of Asian Earth Sciences: X, 1-19, <https://doi.org/10.1016/j.jaesx.2024.100185>.
7. Url-1. <https://www.metalsdaily.com/live-prices/gold/>
8. Url-2. <https://m.sbmchina.com/dynamic/gold-ore-types-and-extraction-method.html>
9. Url-3. <https://www.tgju.org/profile/ons>