بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

پایان‌نامه کارشناسی ارشد استخراج مواد معدنی

امکان‌سنجی تبدیل روش استخراج سطحی به زیرزمینی (مطالعه موردی: معدن سنگ ساختمانی کپیول)

نگارنده: مهدی بیگدلی

اساتید راهنما:

دکتر محمد عطایی

دکتر رامین رفیعی

دی ماه ۱۳۹۸

شماره: ۴۶/۹۸/۴۱۷۶
تاریخ: ۹۸/۱۱/۱۵

باسمه‌تعالی

دانشگاه صنعتی شاهرود
مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای **مهدی بیگدلی** با شماره دانشجویی **۹۶۰۴۰۳۴** رشته مهندسی معدن گرایش استخراج **امکان‌سنجی تبدیل روش استخراج سطحی به زیرزمینی (مطالعه موردی: معدن تراورتن کپیول)** که در تاریخ ۹۸/۱۰/۲۳ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می‌گردد:

الف) درجه عالی: نمره ۲۰-۱۹ ☑ ب) درجه خیلی خوب: نمره ۱۸/۹۹ – ۱۸ ☐
ج) درجه خوب: نمره۱۷/۹۹– ۱۶ ☐ د) درجه متوسط: نمره ۱۵/۹۹-۱۴ ☐
ه) کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول و نیاز به دفاع مجدد دارد ☐
نوع تحقیق: **نظری** ☐ **عملی** ☑

عضو هیأت داوران	نام ونام خانوادگی	مرتبهٔ علمی	امضاء
۱ـ استادراهنمای اول	دکتر محمد عطایی	استاد	
۲- استادراهنمای دوم	دکتر رامین رفیعی	استادیار	
۳- استاد مشاور	-	-	
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر محمد جهانی چگنی	استادیار	
۵- استاد ممتحن اول	دکتر فرهنگی سرشکی	استاد	
۶-ـ استاد ممتحن دوم	دکتر مهدی نوروزی	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر محمد عطایی

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

تقدیم به:

پدر عزیز و بزرگوارم،

که دل دریائیش، آموزگار چگونه زیستنم بود و چشم‌های پر امیدش، معنا بخش هستی‌ام.

مادر عزیز و فداکارم،

که نیمی از وجودش، ایثار و گذشت کامل است و نیمی دیگر، عشق و محبت.

تقدیر و تشکر

پروردگارا به پیشگاه پاک و مقدست تقدیم میدارم که بندگی فقط و فقط تو را سزد. آنچه داده‌ای بیش از شایستگی من است، گرچه درخور بخشندگی توست; پروردگارا سپاس میگویمت که بر من منت نهادی و خلعت تحصیل بر من پوشاندی; چه زیباست ستایش خالق، او که زندگی می‌کنیم برای وصالش درحالی‌که تقدیر از مخلوق جنبه‌ای از ستایش خالق است.

بر خود وظیفه می‌دانم تا از تمامی بزرگوارانی که صبورانه و دلسوزانه در راستای انجام این پژوهش مرا یاری کردند; تشکر و قدردانی نمایم. چرا که اگر یاری این عزیزان نبود، امروز این تلاش به پایان نمی‌رسید.

در ابتدا از اساتید راهنمای عزیزم جناب آقایان دکتر محمد عطایی و دکتر رامین رفیعی که در طول تحصیل و نیز در مراحل مختلف این پژوهش، صبورانه و مشتاقانه مرا راهنمایی کردند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از اساتید گرانقدر جناب آقایان دکتر فرهنگ سرشکی و دکتر مهدی نوروزی که زحمت داوری این پایان‌نامه را بر عهده داشتند و با دقت بسیار به مطالعه این پژوهش پرداختند تشکر و قدردانی می‌کنم.

از خداوند متعال برای تمامی این بزرگواران ارجمند اجری عظیم را خواستارم.

تعهدنامه

اینجانب **مهدی بیگدلی** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی معدن گرایش استخراج مواد معدنی دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه با موضوع **امکان‌سنجی تبدیل روش استخراج سطحی به زیرزمینی (مطالعه موردی: معدن سنگ ساختمانی کپیول)** تحت راهنمایی جناب آقای دکتر **محمد عطایی** متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود است و مقالات مستخرج با نام دانشگاه صنعتی شاهرود و یا **Shahrood University of Technology** به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

امضاء:

تاریخ:

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایان‌های، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوط ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

ایران کشوری سرشار از معادن سنگ ساختمانی است. تمامی معادن سنگ ساختمانی موجود در کشور به صورت روباز استخراج می‌شوند. مشکلات و آلودگی‌های زیست‌محیطی معادن روباز از یک طرف و عمیق شدن این معادن، هزینه‌های زیاد باطله‌برداری و محدود بودن ذخایر سطحی، از مهم‌ترین عوامل حرکت به سوی استخراج زیرزمینی ذخایر سنگ ساختمانی است. روش‌های استخراج زیرزمینی ذخایر سنگ ساختمانی باعث کاهش مشکلات و آسیب‌های زیست‌محیطی، کاهش هزینه‌های باطله‌برداری و تولید محصول با کیفیت می‌شوند. هدف از این تحقیق، امکان‌سنجی اقتصادی کاربرد روش معدنکاری زیرزمینی در معادن سنگ ساختمانی با روباره زیاد با استفاده از نرم افزار Camfar است. در این پژوهش، ابتدا مباحثی در مورد سنگ ساختمانی، انواع روش‌های استخراج روباز و زیرزمینی ذخایر سنگ ساختمانی، مشکلات اقتصادی در معادن سنگ ساختمانی با روباره زیاد و انواع مشکلات زیست‌محیطی معادن روباز سنگ ساختمانی شرح داده شده است. سپس امکان‌سنجی اقتصادی برای دو روش معدنکاری روباز و زیرزمینی برای معدن سنگ ساختمانی کپیول انجام شده است. نتایج امکان‌سنجی نشان داد که مقدار ارزش خالص فعلی برای روش استخراج روباز برابر ۳،۱۵۱،۸۲۹،۰۰۰ ریال و نرخ بازده داخلی برابر ۱۵/۵۰ درصد و برای روش استخراج زیرزمینی مقدار ارزش خالص فعلی برابر ۹۱،۲۸۱،۹۷۳،۰۰۰ ریال و نرخ بازده داخلی ۲۹/۶۰ درصد است که نشان می‌دهد از لحاظ اقتصادی روش استخراج زیرزمینی نسبت به روش استخراج روباز ارجحیت دارد. همچنین آزمون تحلیل حساسیت برای سه پارامتر درآمد فروش، دارایی‌های ثابت و هزینه‌های عملیاتی نیز انجام شده است و نتایج نشان داد که در معدن مورد مطالعه، با کاهش ۲۰ درصدی در درآمد فروش سنگ و افزایش ۲۰ درصدی در هزینه‌های سرمایه‌گذاری و هزینه‌های عملیاتی، طرح استخراج به روش روباز توجیه اقتصادی نداشته ولی طرح استخراج به روش زیرزمینی از لحاظ اقتصادی توجیه‌پذیر خواهد بود.

کلمات کلیدی: امکان‌سنجی، سنگ ساختمانی، استخراج روباز، استخراج زیرزمینی، محیط‌زیست

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات

۱-۱ مقدمه ۲

۱-۲ بیان مسئله ۳

۱-۳ ضرورت انجام پژوهش ۳

۱-۴ اهداف پژوهش ۴

۱-۵ روش کار ۵

۱-۶ ساختار پایان‌نامه ۵

فصل دوم: مروری بر پیشینه تحقیق

۲-۱ مقدمه ۸

۲-۲ پیشینه موضوع معدنکاری زیرزمینی سنگ ساختمانی ۸

۲-۳ سابقه معدنکاری زیرزمینی سنگهای ساختمانی در کشورهای مختلف ۱۸

۲-۴ جمع‌بندی ۲۲

فصل سوم: مبانی نظری تحقیق و معرفی مورد مطالعاتی

۳-۱ مقدمه ۲۴

۳-۲ سنگ‌های ساختمانی ۲۴

۳-۲-۱ سنگ‌های زیربنایی ۲۴

۳-۲-۲ سنگ‌های تزئینی و نما ۲۴

۳-۳ چرخه حیات سنگ‌های ساختمانی ۲۵

۳-۴ تقسیم‌بندی سنگ‌های ساختمانی بر اساس خواص ژئومکانیکی ۲۵

۳-۵ مشخصه‌های مطلوب سنگ‌های ساختمانی ۲۷

۳-۵-۱ عدم وجود آثار ناشی از پدیده دگرسانی ۲۷

۳-۵-۲ عدم وجود عوارض زمین‌شناسی ۲۸
۳-۵-۳ نداشتن شیستوزیته و لایه‌بندی ۲۸
۳-۵-۴ داشتن قابلیت برش، ساب و صیقل ۲۸
۳-۵-۵ داشتن سختی قابل قبول ۲۹
۳-۵-۶ داشتن جذابیت از نظر زیبایی، رنگ و تباین رنگ‌ها ۲۹
۳-۵-۷ عدم وجود لایه‌های رسی در داخل سنگ ۳۰
۳-۵-۸ کم بودن تخلخل و ضریب جذب آب ۳۰
۳-۵-۹ داشتن مقاومت فشاری، کششی و اصطکاکی مناسب ۳۰
۳-۵-۱۰ داشتن دوام مناسب ۳۰
۳-۵-۱۱ آسانی استخراج ۳۰
۳-۵-۱۲ وجود ذخیره کافی ۳۱
۳-۶ عوامل مؤثر در کیفیت سنگ ۳۱
۳-۶-۱ عوامل غیرقابل‌کنترل ۳۱
۳-۶-۲ عوامل قابل‌کنترل ۳۱
۳-۷ عوامل مؤثر در انتخاب سنگ‌های ساختمانی ۳۱
۳-۸ روش‌های استخراج مرسوم در معدنکاری روباز سنگ‌های ساختمانی ۳۲
۳-۸-۱ استخراج سنگ‌های ساختمانی با استفاده از حفر چال‌های موازی ۳۲
۳-۸-۲ استخراج با استفاده از سیستم برش سنگ ساختمانی ۳۲
۳-۸-۳ روش‌های نوین استخراج سنگ‌های ساختمانی ۳۵
۳-۹ مشکلات اقتصادی در معادن سنگ ساختمانی با روباره زیاد ۳۶
۳-۱۰ اثرات زیست‌محیطی معادن سنگ ساختمانی ۳۶
۳-۱۰-۱ ارزیابی اثرات زیست‌محیطی ۳۹
۳-۱۰-۲ ارزیابی کاهش تأثیرات ۴۰

۳-۱۱ روش‌های استخراج مرسوم در معدنکاری زیرزمینی سنگ ساختمانی ۴۰
۳-۱۲ عوامل مؤثر در انتخاب روش استخراج سنگ‌های ساختمانی ۴۱
۳-۱۳ موقعیت جغرافیایی معدن کپیول محلات ۴۲
۳-۱۴ زمین‌شناسی عمومی منطقه ۴۳
۳-۱۵ تراورتن ۴۴
۳-۱۵-۱ منشأ تراورتن ۴۵
۳-۱۵-۲ سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی ۴۶
۳-۱۵-۳ ماهیت فیزیکی و مکانیکی ۴۷
۳-۱۵-۴ سابقه معماری تراورتن ۴۷
۳-۱۶ جمع‌بندی ۴۸

فصل چهارم: تحلیل و امکان‌سنجی اقتصادی روش استخراج روباز و زیرزمینی و مقایسه این دو روش استخراج

۴-۱ مقدمه ۵۰
۴-۲ تخمین ذخیره ۵۰
۴-۳ طرح استخراج به روش روباز ۵۱
۴-۳-۱ محاسبه حجم و هزینه باطله‌برداری برای استخراج به روش روباز ۵۱
۴-۳-۲ وضعیت مالی و اقتصادی طرح استخراج به روش روباز ۵۲
۴-۳-۳ هزینه‌های سرمایه‌گذاری ثابت ۵۳
۴-۳-۴ هزینه‌های جاری (هزینه‌های عملیاتی) ۵۵
۴-۳-۵ ورود داده‌ها در نرم‌افزار Comfar ۵۷
۴-۳-۶ نتایج خروجی نرم‌افزار Comfar ۵۸
۴-۳-۷ تحلیل شاخص‌های مالی طرح استخراج به روش روباز ۶۲
۴-۳-۸ تحلیل حساسیت ۶۳

۴-۳-۹ جدول جریان نقدینگی D.C.F ۶۸
۴-۴ طرح استخراج به روش زیرزمینی ۷۰
۴-۴-۱ ابعاد اتاق و پایه‌ها در معدنکاری زیرزمینی ۷۰
۴-۴-۲ سرعت برش دستگاه اره زنجیری ۷۲
۴-۴-۳ وضعیت مالی و اقتصادی طرح استخراج به روش زیرزمینی ۷۲
۴-۴-۴ هزینه‌های سرمایه‌گذاری ثابت ۷۳
۴-۴-۵ هزینه‌های عملیاتی ۷۵
۴-۴-۶ ورود داده‌ها در نرم‌افزارComfar ۷۸
۴-۴-۷ نتایج خروجی نرم‌افزارComfar ۷۸
۴-۴-۸ تحلیل حساسیت ۸۴
۴-۴-۹ جدول جریان نقدینگی D.C.F ۸۸
۴-۵ مقایسه دو روش معدنکاری روباز و زیرزمینی ۹۰

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۵-۱ نتیجه‌گیری ۹۲
۵-۲ پیشنهادها ۹۳
۵- پیوست الف ۹۵
۶- منابع ۹۷

فهرست شکل‌ها

شکل ۲-۱- معدن پورتلند و معدن بییر. ۱۹
شکل ۳-۱- دستگاه ضربه‌زن و اجزاء آن ۳۳
شکل ۳-۲- اجزای دستگاه اره زنجیری ۳۵
شکل ۳-۳- وضعیت انباشت باطله‌ها در تعدادی از معادن سنگ ساختمانی شرکت سرچشمه شهرستان محلات ۳۷
شکل ۳-۴- از بین رفتن چشم‌انداز طبیعی زمین در اثر استخراج سنگ ساختمانی و انباشت باطله در معدن سنگ سرچشمه محلات ۳۸
شکل ۳-۵- از بین رفتن چشم‌انداز طبیعی زمین در اثر استخراج سنگ ساختمانی در معدن سنگ سرچشمه محلات ۳۹
شکل ۳-۶- گردوخاک در معدن سرچشمه شهر نیم‌ور به علت وزش باد نه‌چندان شدید ۴۰
شکل ۳-۷- موقعیت جغرافیایی معادن سنگ سرچشمه محلات ۴۳
شکل ۴-۱- نمایی سه‌بعدی از گمانه‌ها و کانسار معدن سنگ کپپول ۵۰
شکل ۴-۲- ورود داده‌ها در نرم‌افزار Camfar ۵۸
شکل ۴-۳- خلاصه‌ای از اطلاعات زمانی و هزینه‌های سرمایه‌گذاری ثابت طرح استخراج به روش روباز ۵۹
شکل ۴-۴- درآمد و هزینه‌های عملیاتی طرح استخراج به روش روباز ۵۹
شکل ۴-۵- نسبت‌های مالی طرح استخراج به روش روباز ۵۹
شکل ۴-۶- نمودار مقدار ارزش خالص فعلی در نرخ تنزیل‌های مختلف ۶۰
شکل ۴-۷- دوره بازگشت سرمایه عادی و متحرک ۶۰
شکل ۴-۸- نمودار دوره بازگشت سرمایه عادی ۶۰
شکل ۴-۹- نمودار دوره بازگشت سرمایه متحرک ۶۱
شکل ۴-۱۰- نمودار کل هزینه‌های سرمایه‌گذاری ثابت ۶۱
شکل ۴-۱۱- نمودار کل هزینه‌های عملیاتی (ثابت و متغیر) ۶۱
شکل ۴-۱۲- نمودار کل فروش محصول ۶۲
شکل ۴-۱۳- نمودار تحلیل حساسیت IRR نسبت به تغییرات در درآمد فروش، دارایی‌های ثابت و هزینه‌های عملیاتی ۶۴

شکل ۴-۱۴- نحوه ورود داده‌ها در نرم‌افزار کامفار ۷۸
شکل ۴-۱۵- خلاصه‌ای از اطلاعات زمانی و هزینه‌های سرمایه‌گذاری ثابت طرح استخراج به روش زیرزمینی ۷۹
شکل ۴-۱۶- درآمد و هزینه‌های عملیاتی طرح استخراج به روش زیرزمینی ۷۹
شکل ۴-۱۷- نسبت‌های مالی طرح استخراج به روش زیرزمینی ۸۰
شکل ۴-۱۸- نمودار مقدار ارزش خالص فعلی در نرخ تنزیل‌های مختلف ۸۰
شکل ۴-۱۹- دوره بازگشت سرمایه عادی و متحرک ۸۰
شکل ۴-۲۰- نمودار دوره بازگشت سرمایه عادی ۸۱
شکل ۴-۲۱- نمودار دوره بازگشت سرمایه متحرک ۸۱
شکل ۴-۲۲- نمودار کل سرمایه‌گذاری ثابت ۸۱
شکل ۴-۲۳- نمودار کل فروش محصول ۸۲
شکل ۴-۲۴- نمودار کل هزینه‌های عملیاتی (ثابت و متغیر) ۸۲
شکل ۴-۲۵- نمودار تحلیل حساسیت IRR نسبت به تغییرات در درآمد فروش، دارایی‌های ثابت و هزینه های عملیاتی ۸۴

فهرست جداول

جدول ۲-۱- خلاصه‌ای از پژوهش‌های پیشین ۱۷
جدول ۴-۱- حجم کل روباره و هزینه باطله‌برداری در معدن سنگ ساختمانی کپیول ۵۱
جدول ۴-۲- اطلاعات زمانی طرح استخراج به روش روباز ۵۲
جدول ۴-۳- خلاصه‌ای از مشخصات طرح استخراج به روش روباز ۵۲
جدول ۴-۴- هزینه ساختمان‌ها و تأسیسات موردنیاز برای طرح استخراج روباز ۵۳
جدول ۴-۵- هزینه ماشین‌آلات موردنیاز برای طرح استخراج روباز ۵۴
جدول ۴-۶- هزینه‌های سرمایه‌گذاری ثابت طرح استخراج به روش روباز ۵۴
جدول ۴-۷- هزینه نیروی انسانی موردنیاز برای طرح استخراج روباز ۵۵
جدول ۴-۸- هزینه ابزارآلات، لوازم و مواد مصرفی برای طرح استخراج روباز ۵۶
جدول ۴-۹- هزینه‌های عملیاتی سالیانه طرح استخراج به روش روباز ۵۷
جدول ۴-۱۰- شاخص‌های مالی طرح استخراج به روش روباز ۶۲
جدول ۴-۱۱- مقادیر IRR در حالت‌های گوناگون تغییرات در درآمد فروش ۶۵
جدول ۴-۱۲- مقادیر IRR در حالت‌های گوناگون تغییرات در دارایی‌های ثابت ۶۶
جدول ۴-۱۳- مقادیر IRR در حالت‌های گوناگون تغییرات در هزینه‌های عملیاتی ۶۷
جدول ۴-۱۴- جریان نقدینگی D.C.F طرح استخراج به روش روباز ۶۹
جدول ۴-۱۵- پارامترهای تعیین امتیاز رده‌بندی Q در معدن سنگ ساختمانی کپیول ۷۰
جدول ۴-۱۶- روابط تجربی ارائه شده برای محاسبه مقاومت پایه‌ها در سنگ‌های سخت ۷۱
جدول ۴-۱۷- خلاصه‌ای از اطلاعات زمانی طرح استخراج به روش زیرزمینی ۷۲
جدول ۴-۱۸- خلاصه‌ای از مشخصات طرح استخراج به روش زیرزمینی ۷۳
جدول ۴-۱۹- هزینه ساختمان‌ها و تأسیسات موردنیاز برای طرح استخراج به روش زیرزمینی ۷۴
جدول ۴-۲۰- هزینه ماشین‌آلات موردنیاز برای طرح استخراج به روش زیرزمینی ۷۴
جدول ۴-۲۱- جمع هزینه‌های سرمایه‌گذاری ثابت برای طرح استخراج به روش زیرزمینی ۷۵
جدول ۴-۲۲- هزینه نیروی انسانی مورد نیاز برای طرح استخراج به روش زیرزمینی ۷۶
جدول ۴-۲۳- هزینه ابزارآلات، لوازم و مواد مصرفی برای طرح استخراج به روش زیرزمینی ۷۷
جدول ۴-۲۴- هزینه‌های عملیاتی سالیانه برای طرح استخراج به روش زیرزمینی ۷۷
جدول ۴-۲۵- شاخص‌های مالی طرح استخراج به روش زیرزمینی ۸۳

جدول ۴-۲۶- مقادیر IRR در حالت‌های گوناگون تغییرات در درآمد فروش ۸۵
جدول ۴-۲۷- مقادیر IRR در حالت‌های گوناگون تغییرات در دارایی‌های ثابت ۸۶
جدول ۴-۲۸- مقادیر IRR در حالت‌های گوناگون تغییرات در هزینه‌های عملیاتی ۸۷
جدول ۴-۲۹- تغییرات IRR با افزایش ابعاد پایه‌ها ۸۸
جدول ۴-۳۰- جریان نقدینگی D.C.F طرح استخراج به روش زیرزمینی ۸۹
جدول ۴-۳۱- مقایسه دو روش معدنکاری روباز و زیرزمینی در معدن سنگ ساختمانی کپیول ۹۰

فصل اول

کلیات

۱-۱ مقدمه

سنگ، از قدیمی‌ترین مصالح ساختمانی مورد استفاده بشر است. استفاده از سنگ، برای مقاصد ساختمانی، از دیرباز تاکنون فرایند تکاملی خود را طی کرده است و امروزه سنگ‌های تزئینی و نما، زینت‌بخش بناهای مدرن و کاخ‌ها هستند و سنگ‌های گران‌بها که جواهر نامیده می‌شوند با جلوه‌های جادویی خود مورد استفاده بشر قرار می‌گیرند. امروزه صنعت سنگ ساختمانی سهم بزرگی در اقتصاد جهانی داشته و ارزش محصول نهایی و فرآوری شده آن چندین برابر محصول خام است؛ به گونه‌ای که افزون بر پوشش دادن تمامی هزینه‌های مراحل اکتشاف، استخراج، تولید و فرآوری، درآمدهای قابل توجهی برای سرمایه‌گذاران در این بخش به همراه دارد [۱]. با این وجود، ارتفاع زیاد روباره و مشکلات زیست‌محیطی همواره از مشکلاتی است که استخراج سطحی سنگ‌های ساختمانی را با مشکل مواجه کرده است. به طوری‌که فشارهای شدید زیست‌محیطی منجر به بسته شدن بسیاری از معادن سطحی سنگ ساختمانی که این الزامات را رعایت نکرده‌اند، شده است. یک راه حل جایگزین که می‌تواند به طور مؤثر به تقاضا برای سنگ‌های ساختمانی بدون آسیب رساندن به شرایط زیست‌محیطی کمک کند، توسعه معادن سنگ ساختمانی زیرزمینی است. با روش استخراج زیرزمینی که در معادن مختلف دنیا به ویژه ایتالیا از جنبه‌های فنی و اقتصادی و زیست‌محیطی (به طور کل توسعه پایدار) کاملاً اثربخش بوده است، می‌توان این نوع کانسارها را استخراج کرد و به طور قابل‌ملاحظه‌ای از اثرات نامطلوب زیست‌محیطی نیز کاست. همچنین معرفی استخراج زیرزمینی سنگ‌های ساختمانی به‌عنوان راه‌کاری برای راه‌اندازی عملیات استخراج در بسیاری از معادن سنگ ساختمانی که به دلایلی از قبیل حجم زیاد روباره، تأثیر مخرب بر روی محیط‌زیست، ثأثیرات آب‌وهوا و غیره متروکه شده‌اند، باشد. با این حال، این راه‌حل با وجود برتری زیست‌محیطی آن، باید بر تمامی هزینه‌های امکان‌سنجی اقتصادی که چنین طرحی ایفا می‌کند، غلبه کند [۲].

۱-۲ بیان مسئله

در سال‌های اخیر علاوه بر دلایل اقتصادی، عوامل زیست‌محیطی نگرانی‌هایی هستند که منجر به در نظر گرفتن تولید بلوک‌های سنگ ساختمانی در زیرزمین با استفاده از روش‌های استخراج زیرزمینی شده است. چنین پیشرفت‌هایی در بیشتر کشورهای توسعه یافته عضو اتحادیه اروپا، به ویژه در ایتالیا به عنوان منحصربه‌فردترین کشور تولیدکننده سنگ ساختمانی وجود دارد [۲]. معادن سرچشمه محلات شامل چند کارگاه استخراجی است که معدن سنگ تراورتن کپیول یکی از آن‌ها است. این معدن در ۷ کیلومتری شهر نیم‌ور از توابع استان مرکزی واقع شده است. در معدن سنگ ساختمانی کپیول، ارتفاع روباره نسبتاً زیاد بوده، به نحوی‌که استخراج سطحی آن نیازمند حجم و زمان باطله‌برداری زیادی خواهد بود. این مسئله می‌تواند به طور چشم‌گیری منجر به کاهش سود و حتی منجر به عدم توجیه اقتصادی استخراج این معدن شود. بدان مفهوم که با احتساب هزینه‌های باطله‌برداری ممکن است قیمت تمام شده به ازای یک تن سنگ استخراجی از قیمت فروش آن بیشتر شود. علاوه بر این، معدنکاری به روش‌های سطحی اثرات نامطلوب زیست‌محیطی را به دنبال دارد. بنابراین، در این مطالعه امکان‌سنجی استخراج زیرزمینی برای معدن انجام خواهد شد. بدین منظور اقلام هزینه و درآمد در گزینه‌های مختلف استخراج سطحی و زیرزمینی تعیین و در نهایت گزینه مناسب انتخاب خواهد شد.

۱-۳ ضرورت انجام پژوهش

تولید سنگ‌های ساختمانی اهمیت قابل توجهی در بخش مواد طبیعی ساختمانی، از نظر اقتصادی و تکنولوژیکی دارد. به طورکلی در شرایطی مانند: سطح زمین بسیار نامنظم (مناطق کوهستانی)، وجود حجم عظیمی از روباره در استخراج سطحی، هزینه‌های بیش از حد اجرا و بازسازی معدن، تعریف توده سنگ مورد مطالعه در یک محدوده سنگی مشخص و وجود آلودگی‌ها و اثرات مخرب استخراج سطحی بر روی محیط‌زیست، استخراج زیرزمینی می‌تواند ضروری باشد و به معدنکاری سطحی ترجیح داده شود. تجارب قبلی حاصل از تحقیقات متعدد نیز نشان می‌دهد که

به طور ویژه در صورت وجود حجم زیاد روباره، استخراج زیرزمینی سنگ‌های ساختمانی به جای استخراج سطحی توجیه پیدا کرده‌اند. بر اساس مطالعات میدانی اولیه از محدوده کانسار مورد مطالعه در معدن سنگ ساختمانی کپیول، مشخص شده است که با توجه به حجم زیاد روباره در استخراج سطحی لازم است سال‌های زیادی باطله‌برداری انجام شود که در اغلب موارد با احتساب ارزش زمانی پول می‌تواند ارزش خالص پروژه را منفی کند و به عدم توجیه اقتصادی پروژه منجر شود. علاوه بر این، به دلیل تأثیرات مخرب زیست‌محیطی مانند تأثیر بر بخش گلخانه‌ای و ایجاد گردوغبار در شهر محلات، استخراج این معدن به روش روباز عملاً امکان‌پذیر نیست. لازم به ذکر است که اظهار نظر دقیق‌تر در مورد توجیه اقتصادی اجرای طرح زیرزمینی برای استخراج معدن سنگ ساختمانی مورد مطالعه نیازمند اجرای این طرح خواهد بود. با روش‌های زیرزمینی که در معادن مختلف دنیا به ویژه ایتالیا از جنبه‌های فنی و اقتصادی و زیست‌محیطی (به‌طورکلی توسعه پایدار) کاملاً اثربخش بوده است، می‌توان این نوع کانسارها را استخراج کرد و به طور قابل ملاحظه‌ای از اثرات نامطلوب زیست‌محیطی نیز کاست. به علاوه اجرای این طرح می‌تواند نمونه مناسبی در کشور باشد که با استناد به آن سایر موارد مشابه نیز اجرایی شوند.

۱-۴ اهداف پژوهش

- کاهش مشکلات و آلودگی‌های زیست‌محیطی: استخراج زیرزمینی ذخایر می‌تواند منجر به کاهش بسیاری از آسیب‌های سطحی به محیط‌زیست منطقه شود. از این رو می‌توان استخراج زیرزمینی را در صورت امکان برای استخراج ذخایری که از طرف سازمان حفاظت محیط‌زیست، استخراج آن‌ها به طریق روباز بنا به دلایلی همچون تخریب پوشش گیاهی و یا تخریب مناطق حفاظت‌شده ممنوع اعلام شده است، مناسب دانست.
- افزایش زمان شیفت کاری: شرایط بد آب‌وهوا در بعضی از مناطق می‌تواند منجر به کاهش شیفت کاری روزانه و گاها تعطیلی معدن به مدت چند ماه شود. لذا از این بابت معدنکاری

زیرزمینی به دلیل اینکه کمتر متأثر از شرایط جوی است، می‌تواند منجر به افزایش کار در معادن و به تبع افزایش میزان تولید شود.

- کاهش هزینه‌های باطله برداری

۱-۵ روش کار

مراحل انجام تحقیق به شرح زیراست:

۱- مطالعات کتابخانه‌ای و مقالات مرتبط

۲- جمع‌آوری اطلاعات و بررسی گزینه‌های مختلف معدنکاری سطحی و زیرزمینی برای معدن مورد نظر

۳- محاسبه مقادیر هزینه و درآمد برای روش‌های استخراج سطحی و زیرزمینی

۴- ارزیابی اقتصادی طرح‌های معدنکاری به روش سطحی و زیرزمینی و انتخاب روش استخراج مناسب

۵- تهیه گزارش پایانی، ارائه پایان‌نامه و دفاع از پایان‌نامه

۱-۶ ساختار پایان‌نامه

پژوهش حاضر به ۵ فصل تقسیم بندی شده است. در فصل اول به بیان کلیات مسئله از قبیل بیان تعریف مسئله، ضرورت انجام تحقیق و روش انجام آن پرداخته‌شده است. در فصل دوم مروری بر مطالعات مهم درزمینه استخراج زیرزمینی سنگ ساختمانی انجام شده و نتایج برخی از این مطالعات آورده شده است. در فصل سوم خلاصه‌ای از مبانی نظری و مباحثی در مورد سنگ‌های ساختمانی و روش‌های مختلف استخراج سنگ‌های ساختمانی اعم از معدنکاری سطحی و زیرزمینی ارائه شده است و برای آشنایی بیشتر و بهتر با مطالعه موردی انتخاب شده، موقعیت جغرافیایی، اطلاعات زمین‌شناسی، مطالعات آماری و دلایل انتخاب مطالعه موردی مورد بحث قرارگرفته است. در فصل چهارم مقادیر هزینه و درآمد برای روش‌های سطحی و زیرزمینی مشخص شده و با توجه به آن و اطلاعات مراحل پیشین و با در نظر

گرفتن تمامی اجزا، ارزیابی اقتصادی طرح انجام شده و روش استخراج برتر برای معدن مورد مطالعه مشخص شده است. در انتها و در فصل پنجم نتیجه‌گیری کلی از پژوهش صورت گرفته و پیشنهادهایی برای مطالعات بعدی ارائه شده است.

فصل دوم

مروری بر پیشینه تحقیق

۲-۱ مقدمه

معدنکاری زیرزمینی سنگ‌های ساختمانی در کشورهای متعددی ازجمله: ایتالیا، انگلستان، کرواسی، اسلوونی، پرتغال، یونان، روسیه و بلژیک در حال اجراست. اگرچه تاکنون موارد عملی متعددی از اجرا و به‌کارگیری استخراج زیرزمینی سنگ‌های ساختمانی در دنیا گزارش شده است اما تنها پژوهش‌های محدودی در این مورد چاپ شده است. اغلب پژوهش‌های گزارش شده مربوط به چالش‌ها و جنبه‌های مختلف به‌کارگیری استخراج زیرزمینی سنگ‌های ساختمانی بوده است. در اکثر مطالعات صورت گرفته مشکلات زیست‌محیطی، هزینه‌های باطله‌برداری و آسیب به عوارض سطح زمین در معدنکاری روباز، به عنوان مهم‌ترین دلایل برای روی آوردن به روش‌های زیرزمینی برای استخراج سنگ‌های ساختمانی بوده است. در راستای اهداف این پژوهش، پیشینه موضوع معدنکاری زیرزمینی سنگ‌های ساختمانی و برخی از تجربیات جهانی در این زمینه ارائه خواهد شد.

۲-۲ پیشینه موضوع معدنکاری زیرزمینی سنگ ساختمانی

در این بخش تعدادی از پژوهش‌های مربوط به استخراج زیرزمینی سنگ‌های ساختمانی ارائه شده است:

کراورو و آیبیچینو[۱] (۱۹۹۷)، به بررسی عوامل ژئومکانیکی برای استخراج زیرزمینی معدن مرمر سفید آلپ پرداختند. شرایط تنش توده سنگ و نظارت بر مقدار جابجایی در تعدادی از مکان‌های معدن مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج نشان داد که هیچ گونه شواهدی از تغییر شکل قابل ملاحظه وجود ندارد، اما وضعیت تنش بالا مشاهده شد، که نشان دهنده اثر متقابل بین سطح کوه و حفاری‌های زیرزمینی بود. علاوه بر این، تجزیه و تحلیل دوبعدی و سه‌بعدی برای مقایسه آورده شده است [۳].

[۱] Cravero &Iabichino

شینوبه[1] (۱۹۹۷)، به ارزیابی اقتصادی تبدیل روش معدنکاری روباز به روش معدنکاری زیرزمینی در معادن سنگ آهک پرداخت. در این تحقیق، نرم‌افزاری که زمان تبدیل روش روباز به روش زیرزمینی را تخمین می‌زند، معرفی شده است. این تحقیق با بررسی سنگ آهک و دولومیت به عنوان ماده معدنی آغاز می‌شود و به دنبال یک بررسی مختصر مربوط به تبدیل معدنکاری به روش روباز به روش زیرزمینی است. بر اساس این تحقیق، تصمیم‌گیری بین روش‌های روباز و زیرزمینی بر روی عوامل مختلف نظیر هندسه، حالت ذخیره، شرایط سنگ، هزینه‌های سرمایه‌گذاری، هزینه‌های عملیاتی، جنبه‌های زیست‌محیطی و ایمنی کار استوار است. مهم‌ترین مزایای معدنکاری زیرزمینی نیز استخراج انتخابی، تولید یکنواخت و کاهش مشکلات زیست‌محیطی معرفی شده است. سپس روش‌های استخراج معادن و هزینه‌های مربوط به مواد معدنی صنعتی مورد بحث و بررسی قرارگرفت. تحقیق با توضیح مفصلی از نرم‌افزار و مطالعه موردی پایان می‌یابد [۴].

بناردوس و همکاران[2] (۲۰۰۱)، بر توسعه استخراج زیرزمینی معادن سنگ تأکید کردند. آن‌ها در این تحقیق ابتدا به مزایای معدنکاری زیرزمینی مصالح دانه‌ای ازجمله: سطح بالای حفاظت زیست‌محیطی، توانایی تولید در مدت طولانی بدون دخالت مقامات محیط‌زیستی و امکان استفاده از فضای زیرزمینی استخراج شده پس از اتمام ذخیره، اشاره کردند. سپس آنالیز هزینه و تجزیه و تحلیل مالی پروژه با استفاده از معیارهای NPV و IRR برای یک معدن واقع در بخش شرقی آتیکا برای یک دوره ۱۵ ساله انجام دادند. نتایج تجزیه و تحلیل نشان می‌دهد که NPV تقریباً ۹/۷۵ میلیون دلار است درحالی‌که IRR، ۱۲/۰۷ درصد تخمین زده شد. برای اطمینان بیشتر، تحلیل ریسک برای تخمین‌های NPV و IRR به روش مونت‌کارلو با نرم‌افزار crystal Ball2000 انجام شد. درنهایت، مشخص شد که با سطح اطمینان ۱۰۰ درصد NPV پروژه همیشه مثبت بوده و IRR بین ۷/۲۰ تا ۱۵/۵۶ درصد است. این ارقام نشان دهنده طرح سرمایه‌گذاری پروژه زیرزمینی امیدوارکننده بود [۵].

---

[1] Shinobe

[2] Benaedos et al.

فومارو و همکاران[1] (۲۰۰۱)، معیارهای مؤثر در به کارگیری روش‌های زیرزمینی برای استخراج سنگ‌های ساختمانی را بررسی کردند. بر اساس تحقیق آن‌ها، وقتی‌که روش استخراج زیرزمینی مطرح می‌شود، پنج عامل: شرایط ساختاری توده سنگ، تکنولوژی حفاری، ویژگی‌های حفاری، سودآوری اقتصادی نسبت به هزینه‌های بهره‌برداری روش روباز و ایمنی و احیای محیط‌زیست باید ارزیابی شود. همچنین استخراج زیرزمینی سنگ‌های ساختمانی زمانی می‌تواند موجه باشد که محدودیت‌های پایداری، ایمنی و بازیابی تضمین شوند. این محدودیت‌ها در معدن سنگ مرمریت صورتی آلنتجو در پرتغال مورد بحث و ارزیابی قرار گرفت [۶].

کراسولیس و همکاران[2] (۲۰۰۱)، یک دستورالعمل طراحی منسجم، بر اساس استفاده از تکنیک‌های پیچیده مهندسی سنگ و برنامه‌ریزی تولید برای بهینه‌سازی طراحی استخراج زیرزمینی سنگ مرمر ارائه دادند [۷].

سیلوا و همکاران[3] (۲۰۰۲)، یک دستورالعمل مدیریتی برای استخراج زیرزمینی سنگ مرمر در معادن سنگ مرمر بوربای پرتقال ارائه دادند که می‌توانست به عنوان یک معیار تصمیم‌گیری برای استخراج زیرزمینی معادن سنگ ساختمانی مشابه به کار رود [۸].

کورتنیک[4] (۲۰۰۹)، به بررسی روش‌های استخراج زیرزمینی سنگ‌های ساختمانی در اسلونی پرداخت. بر اساس این تحقیق، توسعه فناوری‌های جدید و روش‌های معدنکاری برای استخراج زیرزمینی سنگ‌های ساختمانی باعث می‌شود استخراج معادن با استفاده از نیروی کار کمتر، آسیب‌های کمتر به محیط‌زیست، کاهش تأثیرات آب‌وهوا و تغییرات فصلی همراه باشد. فاکتورهای زمین‌شناسی، فاکتورهای زیست‌محیطی، فاکتورهای فنی و تخصصی، عوامل اقتصادی و عوامل نظارتی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در انتخاب روش استخراج زیرزمینی در این تحقیق بود. البته این فناوری (معدنکاری زیرزمینی سنگ

[1] Fomaro et al.
[2] Crassoulis et al.
[3] Silva et al.
[4] Kortnik

ساختمانی) به سطح بالایی از آموزش حرفه‌ای کارکنان نیاز دارد. همچنین معرفی استخراج زیرزمینی سنگ‌های ساختمانی به عنوان راه‌کاری برای راه‌اندازی عملیات استخراج در بسیاری از معادن سنگ ساختمانی که به دلایلی از قبیل حجم زیاد روباره، تأثیرات آب‌وهوا بر عملیات استخراج، تأثیر مخرب بر روی محیط‌زیست و غیره متروکه شده بودند، در نظر گرفته شد [۹].

کاردو و همکاران[۱] (۲۰۱۰)، به بررسی نخستین پروژه به کارگیری استخراج زیرزمینی برای معدن مرمریت اوروسی واقع در جزیره ساردینیا در ایتالیا پرداختند. در این تحقیق بر استخراج این نوع معادن به روش زیرزمینی به عنوان راه‌کاری برای کاهش اثرات نامطلوب زیست‌محیطی به ویژه آلودگی‌های بصری و چشم‌انداز تأکید شد. افزون بر این فناوری‌های استخراج، برش و نگهداری انتخاب شدند و بر این اساس ظرفیت تولید محاسبه و ملاحظات اقتصادی بررسی شد. نتایج تجزیه و تحلیل اقتصادی نشان داد که منحنی ارزش خالص فعلی (NPV) برای یک دوره ۱۲ ساله تا نرخ ۴۰ درصد مثبت است. همچنین مطالعات ژئومکانیکی و زمین‌شناسی هرگونه نشست در منطقه معدن را رد می‌کند. بنابراین روش استخراج زیرزمینی در معدن اوروسی یک روش معدنکاری مقرون‌به‌صرفه و پایدار است [۱۰].

میلر و همکاران[۲] (۲۰۱۱)، به ارزیابی توانمندی معدنکاری زیرزمینی در جنوب و جنوب شرقی انگلستان پرداختند. این تحقیق امکان‌سنجی اقتصادی معدنکاری زیرزمینی برای سنگ‌های خرد شده در جنوب و شرق انگلستان را مورد بررسی قرار داد که در آن تقاضا برای این مواد زیاد است اما منابع مناسب پرمین در سطح وجود ندارد. به دنبال تعیین اینکه آیا مصالح دانه‌ای می‌تواند در زیرزمین در ناحیه جنوب شرقی انگلستان تولید شود و با هزینه‌های قابل مقایسه با معادن سطحی که در فاصله‌های دورتر قرار دارند، به بازار محلی عرضه شود؟. مدل‌های هزینه‌ای برای مقدار تولید، حمل‌ونقل، کاهش آسیب زیست‌محیطی، بهداشت و ایمنی، استخراج و بازسازی با استفاده از چهار الگو مختلف تولید معادن ایجاد شد. اطلاعات زمین‌شناسی موجود برای شناسایی مناطق بالقوه‌ای که ممکن است منابع مصالح

[۱] Careddu et al.

[۲] Millar et al.

دانه‌ای را در عمق داشته باشد دوباره بررسی شد. در نهایت، ترکیب مدل‌های هزینه‌ای برای محیط‌زیست، استخراج و بازسازی برای ۳۱ سایت معدن منتخب نشان داد که میزان هزینه‌های مربوط به عملیات حفاری سطحی و عملیات حفاری زیرزمینی نسبتاً مشابه است. بنابراین استخراج معادن مصالح دانه‌ای به روش زیرزمینی می‌تواند ازنظر زیست‌محیطی مطلوب‌تر و ضروری‌تر برای حفظ امنیت تولید این ذخایر باشد [۱۱].

گادن[۱] (۲۰۱۲)، یک گزارش از معادن سنگ ساختمانی پورتلند ارائه کرد. بر اساس این گزارش، در اکتبر ۲۰۰۲ شرکت سنگ آلبیون اولین عملیات معدنکاری زیرزمینی سنگ ساختمانی در پورتلند[۲] را با موفقیت آغاز کرد. این مقدمه‌ای برای برنامه‌ریزی معدنی جردن[۳] بود که درسال ۲۰۰۸، برای مناطق حساس نسبت به محیط‌زیست در نقاط مختلف پورتلند برنامه‌ریزی شده بود. ممکن است بسیاری از مهارت‌های آموخته شده برای استفاده از تجهیزات برش سنگ معدن را در معادن سطحی، برای معدنکاری زیرزمینی نیز به کار برد. این معادن با استفاده از حداکثر نرخ استخراج ۷۵ درصد با یک شبکه اتاق و پایه با ابعاد تقریباً ۶×۶ متر استخراج می‌شدند. سیستم نگهداری سقف توسط راک بولت هایی با طول ۲/۴ متر که توسط رزین در سقف محکم شده‌اند، انجام شده است. برش سنگ در جبهه کارها، توسط ماشین برش زنجیری با اره الماسِه و سنگ از جبهه کار معدن با استفاده از کیسه‌های هیدرولیکی جابجا شده و با استفاده از لیفتراک برداشته می‌شود. در نتیجه این گزارش مشخص شد با رویکرد معدنکاری زیرزمینی، استخراج سنگ از زیر مناطق حساس یا غیرقابل‌دسترس با حداقل اختلالات زیست‌محیطی در سطح زمین امکان‌پذیر شده است. به این ترتیب این رویکرد موجب تضمین آینده‌ای سازگار برای صنعت سنگ در پورتلند می‌شود [۱۲].

کان و همکاران[۴] (۲۰۱۴)، به بررسی کاربرد استخراج زیرزمینی معادن سنگ آهک غربی ترکیه

---

[۱] Godden
[۲] Portland
[۳] Jordan
[۴] Kun et al.

پرداختند. در این تحقیق، ابتدا روش معدنکاری زیرزمینی با توجه به افزایش ظرفیت تولید، افزایش هزینه‌های حمل‌ونقل به دلیل عمیق شدن معدن سطحی، ضرورت استخراج انتخابی و هزینه‌های زیاد باطله‌برداری، به معدنکاری سطحی ترجیح داده شد. سپس ارزیابی بر اساس مشاهدات، اندازه‌گیری‌ها و مطالعات مدل‌سازی عددی صورت گرفت و پارامترهای مورد نیاز برای مدل‌سازی عددی نیز از یک معدن زیرزمینی مرمریت مشابه در لمرا (منطقه‌ای در جنوب غرب ترکیه) برداشت شد. در نتیجه این تحقیق، مشخص شد که هم زمان با استخراج زیرزمینی سنگ‌های ضعیف، باید مدل‌سازی عددی نیز انجام شود. همچنین برای پایداری کارگاه استخراج، ابعاد بهینه پایه‌ها و اتاق‌ها تعیین شد [۱۳].

راک و همکاران[۱] (۲۰۱۵)، به بررسی مسائل و مشکلات زیست‌محیطی معادن سطحی پرداختند. آن‌ها اشاره کردند که یکی از چالش‌های استخراج معادن به روش روباز، بهره‌برداری از معادن نزدیک به شهرها و سازه‌های عمرانی است. بر اساس تحقیق آن‌ها، معدنکاری سطحی باعث مشکلاتی از قبیل فرسایش خاک، گردوغبار، آلودگی صوتی و آلودگی آب و تأثیر بر تنوع زیستی محلی می‌شود. اثرات زیست‌محیطی معدن روباز می‌تواند در اثر عملکرد بد در مدیریت و بازسازی مناطق معدنی باشد [۱۴].

آروینتادس و هل‌دال[۲] (۲۰۱۵)، طی گزارشی برخی از چالش‌هایی را که صنعت معادن سنگ ساختمانی در سراسر اروپا با آن‌ها مواجه‌اند را ارائه کردند. بر اساس این گزارش، در اغلب حالات استخراج ذخایر سنگ ساختمانی به صورت روباز انجام می‌گیرد. اما در دو حالت شیب‌دار با روباره و ترانشه با توجه به افزایش عمق ذخیره و افزایش هزینه‌های باطله‌برداری، استخراج روباز مقرون به صرفه نبوده و ترجیح به استفاده از روش‌های استخراج زیرزمینی است. استخراج زیرزمینی سنگ‌های ساختمانی دارای مزایای زیادی است که کاهش اثرات مخرب معدنکاری بر روی محیط‌زیست و کاهش باطله‌های حاصل از استخراج سطحی مهم‌ترین دلیل برای استخراج زیرزمینی سنگ‌های ساختمانی بود [۱۵].

---

[۱] Rock et al.

[۲] Arvantides & Heldal

بن آوا و همکاران[1] (۲۰۱۶)، با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی - ترکیبی عدد صحیح (MLIP) به بهینه‌سازی گزینه‌های معدنکاری اعم از معدنکاری روباز، معدنکاری زیرزمینی یا ترکیبی از هر دو پرداختند. بر اساس تحقیق آن‌ها، با توجه به هزینه‌های سرمایه‌گذاری مورد نیاز برای این روش‌های معدنکاری، در روش زیرزمینی بازگشت سرمایه نسبت به روش روباز سریع‌تر است [۱۶].

بحری و همکاران (۲۰۱۶)، به بررسی کاربرد روش‌های استخراج زیرزمینی در معادن سنگ ساختمانی پرداختند. بر اساس تحقیق آن‌ها، هنگامی که استخراج معادن با بهره‌برداری از معادن سطحی از لحاظ فنی و اقتصادی امکان‌پذیر نیست، روش استخراج زیرزمینی یک گزینه مناسب است که در سال‌های اخیر به طور وسیع در سراسر جهان مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین با افزایش نیازهای روز افزون جهان، ذخایر سطحی سنگ ساختمانی روزبه‌روز در حال کاهش است و سرانجام مطابق با نظریه پارکر[2] ناچار به استفاده از روش‌های استخراج زیرزمینی در ذخایر سنگ ساختمانی خواهیم بود. یک راه‌حل جایگزین که می‌تواند به طور مؤثر به تقاضا برای سنگ‌های ساختمانی بدون آسیب رساندن به شرایط زیست‌محیطی کمک کند، توسعه معادن سنگ ساختمانی زیرزمینی است. با توجه به اینکه ذخایر سنگ ساختمانی شناخته شده در کشور به صورت سطحی استخراج می‌شوند، این موضوع کمتر مورد توجه محققین قرارگرفته است. در ایران نیز همانند سایر کشورهای جهان، با توجه به مسائل زیست‌محیطی به ناچار زمانی باید به استخراج سنگ ساختمانی به روش زیرزمینی توجه شود. در این تحقیق، ابتدا روش‌های مختلف استخراج زیرزمینی سنگ‌های ساختمانی شرح داده شد و سپس مزایای این روش‌ها و در نهایت استفاده عملی از روش‌های استخراج زیرزمینی سنگ‌های ساختمانی در جهان ذکر شده است [۱۷].

حاجتی و همکاران (۱۳۹۵)، با مروری بر ملاحظات زیست‌محیطی روش‌های استخراج سنگ ساختمانی، در کنار روش معمول استخراج روباز، روش استخراج زیرزمینی سنگ ساختمانی را نیز به

[1] Ben-Awuah et al.

[2] Parker

همراه مزایا و معایب، شیوه طراحی و تجهیزات مورد نیاز آن (به عنوان نمونه ماشین هاواژ) بررسی کردند. در این تحقیق، سه روش عمده و شناخته شده که در استخراج زیرزمینی سنگ‌های ساختمانی به کار گرفته می‌شوند ازجمله روش تونلی، روش استخراج با پایه‌های بزرگ و روش استخراج اتاق و پایه شرح داده شده است. معیارهای طراحی برای روش استخراج زیرزمینی، ابعاد و فضای استخراجی اتاق‌ها، ابعاد پایه‌ها، نگهداری و کنترل سقف و مسائل مربوط به تهویه در معادن سنگ ساختمانی بررسی شد. در نهایت نتایجی که از این تحقیق بدست آمد به شرح زیر بود:

- استخراج روباز سنگ‌های ساختمانی ممکن است اثرات زیست‌محیطی بر روی آب، خاک و هوا به دنبال داشته باشدکه با استفاده از روش‌های مدرن قابل پیشگیری است.
- روش استخراج زیرزمینی در برخی ذخایر از نظر فنی مهندسی و ارزیابی‌های اقتصادی نسبت به روش روباز ارجحیت دارد.
- مزایای نسبی روش زیرزمینی در مقایسه با روش روباز عبارتند از: حداقل میزان باطله‌برداری، حداقل هزینه باز کردن از نظر زمان و فضای کارگاهی، حداقل تخریب منطقه، جلوگیری از آلودگی بیوسفر، اتمسفر و هیدروسفر، هزینه آماده‌سازی نسبتاً پایین‌تر و حداقل تخریب‌های زیست‌محیطی.

در نهایت طبق نتایج این تحقیق مشخص شد که با بهره‌گیری از تجهیزات لازم و آموزش افراد، می‌توان نگرانی‌های بخش خصوصی را تا حد امکان کاهش داد و فضای جامعه را برای استخراج بهینه از حداکثر ذخایر سنگ ساختمانی و تولید سنگ فرآوری شده با ارزش اقتصادی بالاتر فراهم کرد [۱۸].

مارتینز و همکاران[۱] (۲۰۱۷)، ابتدا یک مقدمه تاریخی مختصر از معادن سنگ ساختمانی در پرتغال که به روش زیرزمینی استخراج می‌شوند ارائه کردند. سپس ملاحظات فنی و مطالعات موردی برای

[۱] Martins et al.

کاربرد استخراج زیرزمینی در معدن سنگ مرمر استرموز[1] پرتغال مورد بحث و ارزیابی قرارگرفت [۱۹].

چان و همکاران[2] (۲۰۱۷)، پتانسیل استخراج زیرزمینی ذخایر مصالح دانه‌ای در هنگ‌کنگ پرداختند. در این تحقیق، ابتدا اشاره شد که روش معدنکاری زیرزمینی، به دلیل افزایش هزینه‌های مصالح ساختمانی، محدودیت‌های اجتماعی و محیطی مانند نزدیکی به مناطق شهری، مسائل زیست‌محیطی مانند سروصدا، گردوغبار، اثرات بصری و اثرات مستقیم زیست‌محیطی، می‌تواند یک روش استخراج مناسب برای ذخایر سنگی که به روش روباز قابل استخراج نیستند، باشد. سپس توضیحاتی در مورد روش استخراج زیرزمینی اتاق و پایه مانند ابعاد مناسب اتاق‌ها و پایه‌ها و مقدار فاکتور پایداری برای تضمین ایمنی معدن ارائه شده است [۲۰].

کورتنیک[3] (۲۰۱۷)، طی گزارشی بیان کرد که پنج معدن سنگ ساختمانی در اسلوونی به دلیل حجم زیاد روباره به روش زیرزمینی اتاق و پایه در حال استخراج هستند. علاوه بر این مسئله، دلیل اصلی تمایل شرکت‌های معدنی به تغییر روش استخراج از سطحی به زیرزمینی و استفاده از روش اتاق و پایه، مزیت‌های زیست‌محیطی است که معدنکاری سبز و زیست سازگار نیز نامیده شده است [۲۱].

خلاصه‌ای از مطالعات صورت گرفته در زمینه اهداف این پژوهش به صورت فهرست‌وار در جدول ۲-۱ آورده شده است.

[1] Stromose
[2] Chan et al.
[3] Kortnik

جدول ۲-۲- خلاصه‌ای از پژوهش‌های پیشین

ردیف	پژوهشگر	سال	نتایج پژوهش
۱	Benardos	۲۰۰۱	سطح بالای حفاظت زیست‌محیطی و توانایی تولید در مدت طولانی ازجمله مزایای معدنکاری زیرزمینی معادن سنگ ا ست. با سطح اطمینان ۱۰۰ در صد NPV پروژه همیشه مثبت بوده و IRR بین ۷/۲۰ تا ۱۵/۵۶ است. این ارقام نشان‌دهنده طرح سرمایه‌گذاری امیدوار کننده است.
۲	Kortnik	۲۰۰۹	استخراج زیرزمینی سنگ ساختمانی به‌عنوان راه‌کاری برای راه‌اندازی عملیات استخراج در بسیاری از معادن سنگ ساختمانی است که به دلایلی از قبیل حجم زیاد روباره، تأثیرات آب‌وهوا و مشکلات زیست‌محیطی متروکه شده‌اند در نظر گرفته شد.
۳	Curddo	۲۰۱۰	تجزیه‌وتحلیل اقتصادی نشان‌دهنده ارزش خالص فعلی NPV برای یک دوره ۱۲ ساله مثبت است. روش استخراج زیرزمینی سنگ مرمر در اوروسی یک روش معدنکاری مقرون‌به‌صرفه و پایدار است.
۴	Millar	۲۰۱۱	میزان هزینه‌های مربوط به عملیات حفاری معادن مصالح دانه‌ای برای معدنکاری سطحی و زیرزمینی تقریباً مشابه است. استخراج زیرزمینی مصالح دانه‌ای می‌تواند ازنظر زیست‌محیطی مطلوب‌تر و برای حفظ امنیت تولید این ذخایر ضروری‌تر باشد.
۵	Godden	۲۰۱۲	معدنکاری زیرزمینی باعث استخراج سنگ از مناطق حساس یا غیرقابل‌دسترس با حداقل اختلالات زیست‌محیطی می‌شود.
۶	Kun	۲۰۱۴	هم‌زمان با استخراج زیرزمینی سنگ‌های ساختمانی باید مدل‌سازی عددی نیز انجام شود. برای پایداری کارگاه استخراج، ابعاد بهینه پایه‌ها و اتاق‌ها تعیین شد.
۷	Heldal	۲۰۱۵	کاهش اثرات مخرب معدنکاری بر روی محیط زیست و کاهش باطله‌های حاصل از استخراج سطحی مهم‌ترین دلیل برای استخراج زیرزمینی سنگ‌های ساختمانی است.
۸	Ben-Awuah	۲۰۱۶	با توجه به هزینه‌های سرمایه‌گذاری موردنیاز برای این روش‌های معدنکاری، درروش استخراج زیرزمینی بازگشت سرمایه نسبت به روش روباز سریع‌تر است.
۹	bahri	۲۰۱۶	وقتی‌که استخراج معادن به روش روباز ازلحاظ فنی و اقتصادی امکان‌پذیر نیست روش استخراج زیرزمینی یک گزینه مناسب است. در ایران نیز همانند سایر کشورهای جهان با توجه به مسائل زیست‌محیطی به ناچار باید زمانی به استخراج زیرزمینی سنگ ساختمانی توجه شود.
۱۰	حاجتی	۱۳۹۵	استخراج روباز سنگ ساختمانی ممکن است اثرات زیست‌محیطی بر روی آب و خاک و هوا به دنبال داشته باشد که با استفاده از روش استخراج زیرزمینی در معادن سنگ ساختمانی قابل پیشگیری است.

۲-۳ سابقه معدنکاری زیرزمینی سنگ‌های ساختمانی در کشورهای مختلف

معدنکاری زیرزمینی سنگ‌های ساختمانی در کشورهای متعددی در حال اجراست که در ادامه تجربیات جهانی در این زمینه به طور مختصر شرح داده خواهد شد:

الف- ایتالیا

این کشور دارای بیشترین تنوع در زمینه استفاده از روش‌های استخراج زیرزمینی است. ایتالیایی‌ها بدون استفاده از هرگونه آتشکاری به استخراج سنگ ساختمانی می‌پردازند و از سال ۱۹۷۰ در روش استخراج زیرزمینی از سیم برش‌های الماسه و اره‌های برش استفاده می‌کنند. این امر منجر به بهبود تولید از بعد کیفی و کمی شده است. در ایتالیا، معادن بولزانو[۱]، کاندوگلیا[۲]، یوگلیا[۳] به روش امتدادی، معدن والداستا[۴] به روش کارگاه و پایه و معادن کرارا[۵]، معدن رشته کوه آلپ، لیگوریا[۶] و وال برمیانا[۷] به روش اتاق و پایه استخراج می‌شوند [۲۲,۱۷].

ب- انگلستان

بین قرن‌های ۱۷ تا ۱۸ در منطقه میانه انگلستان معدن دادلی[۸] و در جنوب این کشور معدن گاداستون[۹] به استخراج سنگ آهک می‌پرداختند. حتی در منطقه ویلز[۱۰] معدن اسلیت هم ایجاد شده بود. یکی دیگر از معادن معروف قدیمی این کشور معدن بییر[۱۱] است، که دارای سنگ آهک دانه‌ریزی

---

۱ Bolzano
۲ Candoglia
۳ Puglia
۴ Vald Aosta
۵ Carrara
۶ Liguria
۷ Val Bermbana
۸ Dudley
۹ Godstone
۱۰ Wales
۱۱ Beer

به ضخامت ۴ متر است. این معدن در حال حاضر تعطیل است ولی به خاطر اینکه سنگ استخراج شده از این معدن برای ساخت کلیسای وست‌مینستر[۱] و برج‌های همپتون‌کورت[۲] لندن استفاده شده است، دارای ارزش زیادی است. امروزه از این معدن متروکه زیرزمینی به عنوان جاذبه گردشگری استفاده می‌شود. درحال حاضر همان‌گونه که در شکل ۲-۱ مشاهده می‌شود در مناطق باث[۳] و پورتلند[۴] سنگ آهک به صورت زیرزمینی استخراج می‌شود. در معدن پورتلند با استفاده از اره برش الماسه ساخت ایتالیا به استخراج سنگ آهک می‌پردازند. [۲۲،۱۷،۱۲].

شکل ۲-۱- معدن پورتلند و معدن بییر [۱۷].

پ- کرواسی

در حال حاضر کشور کرواسی با استفاده از دستگاه‌های پیشرفته استخراج سنگ ساختمانی و تکیه به فناوری‌های جدید توانسته است، صادرات قابل توجهی نسبت به ذخیره خود داشته باشد. یکی از شرکت‌های فعال در این زمینه شرکت کامن‌پازین[۵] است که با خریداری کردن دستگاه اره برش الماسه به مدل GU70 که محصول شرکت فانتینی[۶] ایتالیا است شروع به استخراج سنگ ساختمانی با عمق برش ۵/۳ متر کرده است. معدن‌های این شرکت که به روش زیرزمینی استخراج می‌شود شامل کانفانر[۷]

[۱] Westminster Abbey
[۲] Hompton Court
[۳] Bath
[۴] Portland
[۵] Komen Pazin
[۶] Fantini
[۷] Kanfaner

و وینکوران[۱] است [۲۲,۱۷].

ت- اسلوونی

شرکت هاتولیه[۲] این کشور از سال ۱۹۹۳ شروع به استخراج زیرزمینی نوعی مرمر رنگین‌کمانی کرده است. سالانه ۱۵۰۰ مترمکعب در این معدن سنگ ساختمانی به وسیله اره برش و سیم برش الماسه استخراج می‌شود و روش استخراج زیرزمینی این معدن کارگاه و پایه است [۲۳،۱۷].

ث- بلژیک

در جنوب غربی بروکسل معدن گلزینه[۳] دارای یک نوع مرمر سیاه به نام بلژیک سیاه است. با افزایش عمق، این معدن از سال ۱۹۲۸ به روش زیرزمینی استخراج می‌شود. در این معدن آتشباری تأخیری برای برداشت باطله و ایجاد جبهه‌کار، از سیم برش الماسه برای جدا کردن بلوک‌ها از جبهه‌کار و استفاده از پارس و گوه برای ایجاد بلوک‌های کوچک و قواره کردن بلوک‌ها استفاده می‌شود [۲۲,۱۷].

ج- پرتغال

در منطقه والونگو[۴] در نزدیکی پورتو در این کشور چاه‌هایی با عرض حدوداً ۴ متر در سنگ سخت و پر چگال اسلیت حفر شده است و این سنگ به صورت امتدادی استخراج می‌شود. در حال حاضر بیشتر استخراج توسط دو شرکت به نام‌های پرپراگومس[۵] و کاروال‌هولدا[۶] در سه کارگاه زیرزمینی انجام می‌شود. سالیانه حدوداً ۷۰۰۰ تن سنگ از این معادن استخراج می‌شود [۲۲,۱۷].

---

[۱] Vinkuran
[۲] Hatovlje
[۳] Golzzine
[۴] Valongo
[۵] Pereira Gomes
[۶] Carvalholda

چ- یونان

استخراج سنگ ساختمانی در یونان نزدیک به ۲۵۰۰ سال قدمت دارد و یونانی‌ها ارزش خاصی برای سنگ‌های ساختمانی مخصوصاً سنگ مرمر قائل هستند که سنگ معدن پنتلیکن[۱] یکی از آن‌ها است. از سال ۱۹۴۹ شرکت خصوصی به نام دیونیسوس[۲] شروع به استخراج سنگ در این معدن کرد. امروزه این شرکت دارای ۹ معدن روباز و ۲ معدن زیرزمینی است. معادن زیرزمینی این شرکت به نام‌های دیونیسوس آتن[۳] و ولاکاس – دراما[۴] به ترتیب از سال ۱۹۹۴ و ۲۰۰۷ شروع به استخراج شده است [۲۲,۱۷].

ح- ایالت متحده آمریکا

این کشور معادن زیرزمینی زیادی دارد که یکی از مهم‌ترین معادن زیرزمینی این کشور معدن مرمر سفید یوله[۵] در ایالت کلوادو است. سنگ مرمریت این معدن با ۹۹/۵ درصد کلسیت یکی از خالص‌ترین مرمریت‌های جهان است. این معدن در سال ۱۸۷۰ اکتشاف شده است و تا سال ۱۹۴۱ استخراج از آن ادامه داشته است و پس از یک دوره تعطیلی بلند مدت با ظهور فناوری‌ها و تکنولوژی‌های نوین استخراج از این معدن از سال ۱۹۹۰ از سر گرفته شده است [۲۲,۱۷].

خ- روسیه

از سال ۲۰۰۶ در معادن سایان[۶] و کیبک‌کوردن[۷] به خاطر عمق زیاد ذخیره به روش زیرزمینی روی آوردند. در این معادن با تکیه به فناوری ایتالیایی تونل‌های عمیقی حفر شده و به روش اتاق و پایه

---

[۱] Pentelikon
[۲] Dionyssos
[۳] Dionyssos-Athens
[۴] Volakas-Drama
[۵] Yule
[۶] Sayan
[۷] Kibik Korden

مشغول استخراج هستند [۲۲,۱۷].

د- برزیل

در شعاع ۲۵۰۰ کیلومتری سائوپائولو[۱] معدن آبی امپریال کوارتزیت قرار دارد که به صورت زیرزمینی استخراج می‌شود. این تنها معدن زیرزمینی سنگ ساختمانی در این کشور است. معدنکاران در این معدن مشکلات زیادی با درزه‌ها، پایداری و مقاومت سنگ بستر دارند ولی به علت مقرون‌به‌صرفه بودن و بازار فوق‌العاده برای این سنگ، این معدن به استخراج از این سنگ زیبا ادامه می‌دهد [۲۲,۱۷].

علاوه بر موارد ذکر شده در بالا مواردی از معدنکاری زیرزمینی سنگ ساختمانی در کشورهای اسپانیا، اوکراین و ترکیه گزارش شده است [۱۱].

۲-۴ جمع‌بندی

با افزایش نیازهای روزافزون جهان، ذخایر سطحی سنگ ساختمانی روزبه‌روز در حال کاهش است و سرانجام ناچار به استفاده از روش‌های استخراج زیرزمینی در ذخایر سنگ ساختمانی هستیم. یک راه‌حل جایگزین که می‌تواند به طور مؤثر به تقاضا برای سنگ‌های ساختمانی بدون آسیب رساندن به شرایط زیست‌محیطی کمک کند، توسعه معادن سنگ ساختمانی زیرزمینی است. با توجه به اینکه ذخایر سنگ ساختمانی شناخته شده در کشور به صورت سطحی استخراج می‌شوند، این موضوع کمتر مورد توجه محققین قرارگرفته است. از این رو بررسی و امکان‌سنجی استفاده از روش‌های استخراج زیرزمینی سنگ ساختمانی، مهم‌ترین هدف ارائه این پژوهش است.

[۱] São Paulo

فصل سوم

مبانی نظری تحقیق و معرفی مورد مطالعاتی

۳-۱ مقدمه

از آنجا که بررسی سنگ‌های ساختمانی و رسیدن به هدف پروژه، مستلزم داشتن آگاهی از ویژگی‌ها و خصوصیات این دسته از سنگ‌ها، آگاهی از روش‌های استخراج در معدنکاری سنگ‌های ساختمانی است، لذا در این فصل در ابتدا، توضیحاتی در این خصوص ارائه می‌شود. سپس در ادامه به بررسی و معرفی کلی مطالعه موردی، وضعیت زمین‌شناسی منطقه و معرفی کامل سنگ تراورتن پرداخته می‌شود. در انتها، با توجه به مطالب ذکر شده، دلیل انتخاب این مطالعه موردی توضیح داده می‌شود.

۳-۲ سنگ‌های ساختمانی

سنگ‌های ساختمانی سنگ‌هایی با منشأ متفاوت هستند که ازجمله این سنگ‌ها می‌توان به مرمر، گرانیت، تراورتن، سنگ آهک، دیوریت و غیره اشاره نمود. این سنگ‌ها کاربرد مختلفی در صنایع گوناگون و ساختمان دارند و با تغییر شکل یا بدون تغییر شکل فیزیکی در یکی از قسمت‌های ساختمان، سنگ‌فرش، جاده، دیواره پل، ساختمان‌های زیرزمینی و... به کار می‌روند و به دو دسته سنگ‌های زیربنایی و سنگ‌های نما تقسیم می‌شوند [۱].

۳-۲-۱ سنگ‌های زیربنایی

سنگ‌هایی که به صورت خرده سنگ، لاشه سنگ، لوح و... به کار می‌روند و عملیات فرآوری زیادی روی آن‌ها انجام نمی‌شود را سنگ‌های زیربنایی می‌گویند [۱].

۳-۲-۲ سنگ‌های تزئینی و نما

سنگ‌های مستحکمی هستند که واجد مشخصات کیفی خاصی است، به طوری‌که پس از برش در اندازه‌های مختلف و ساب و صیقل نمودن آن‌ها، در قسمت‌هایی از ساختمان‌ها که در معرض دید باشند به کار می‌روند.

رایج‌ترین سنگ‌های تزئینی و نما عبارت‌اند از[۱]:

گرانیت‌ها و سنگ‌های آذرین وابسته

سنگ‌های آهکی دگرگون شده شامل خانواده سنگ‌های چینی، مرمریت‌ها و مرمرها

ماسه سنگ‌ها، کنگلومراهای خوب سیمانی شده و اسلیت‌ها.

۳-۳ چرخه حیات سنگ‌های ساختمانی

کلیه عملیات ضروری، از شناسایی منبع اولیه تا کاربرد نهایی سنگ، چرخه حیات آن را تشکیل می‌دهد. این عملیات با اکتشافات شروع می‌شود که در این مرحله، منابع سنگ شناسایی و مشخصات آن‌ها تعیین می‌شود. در صورت موفقیت‌آمیز بودن عملیات اکتشاف، پس از برنامه‌ریزی، عملیات استخراج سنگ شروع خواهد شد. سنگ استخراج شده پس از بارگیری و حمل به کارخانه، تحت عملیات فرآوری قرار می‌گیرد. این فرآیند ممکن است در نزدیکی محل تولد و یا حتی در فواصل دور صورت گیرد. در نهایت پس از تجارت سنگ پرداخت شده، در محل مناسبی از محصولات سنگی استفاده خواهد شد [۱].

۳-۴ تقسیم‌بندی سنگ‌های ساختمانی بر اساس خواص ژئومکانیکی

سنگ‌های تزئینی را با توجه به خواص ژئومکانیکی از قبیل مقاومت مکانیکی به چهار دسته تقسیم می‌کنند[۱]:

۱- گروه سنگ‌های سخت و مقاوم

۲- گروه سنگ‌های نسبتاً سخت (ماسه سنگ‌ها و کنگلومراها)

۳- گروه سنگ‌های نیمه سخت (سنگ‌های آهکی)

۴- گروه سنگ‌های نسبتاً نرم (گروه سرپانتین، توف‌ها و شیل‌ها).

الف-گروه سنگ‌های سخت و مقاوم

گروه سنگ‌های سخت و مقاوم، به دلیل سختی زیاد، جلا و زیبایی، تنوع رنگ و طرح درونی آن‌ها، در بازار جهانی به عنوان یک سنگ تزئینی لوکس و البته به دلیل وجود مشکلات فراوان در استخراج و فرآوری آن‌ها، به عنوان یک سنگ گران قیمت مطرح هستند. این گروه از سنگ‌ها در برابر آسیب‌های جدی ازجمله آب، باد، نور خورشید، یخزدگی و آلودگی‌های جوی و محیطی بسیار مقاوم‌اند. این گروه شامل سنگ‌های گرانیت، گابرو، گرانودیوریت، لابرادوریت، برخی سینیت‌ها، گنایس‌ها، شیست‌ها و آمفیبولیت شیست‌ها، بازالت‌ها و آندزیت‌ها است. از دید تجاری، علاوه بر موارد مطرح شده، انواع سنگ‌های گنایس گرانیت‌ها و گرانیت گنایس و انواع حد واسط آن‌ها که تحت نام گرانیت سیاه مشهورند را نیز می‌توان در این گروه جا داد. به طورکلی تمام سنگ‌های آذرین و دگرگونی کریستالین، تحت عنوان گرانیت در بازار شناخته می‌شوند [۱].

ب-گروه ماسه سنگ‌ها و کنگلومراها

سنگ‌های این گروه دارای کوارتز به میزان زیاد و فلدسپات با سیمان‌های مختلف (سیلیسی، آهکی، رسی و اکسیدآهن) بوده که به هم جوش خورده و به شکل سنگی یکپارچه درآمده‌اند. کنگلومراها در صورتی که ضخیم باشند و عناصر آن کاملاً توسط سیمان به هم جوش‌خورده باشند، می‌توانند سنگ‌های نما و تزئینی بسیار عالی را تشکیل دهند. اگر عناصر و قطعات کنگلومرا آهکی باشد و سیمان و ماتریکس آن‌هم سیمانی از جنس همان آهک باشد و سنگ دارای رنگ مناسبی باشد، کنگلومرای ایده‌آلی جهت اهداف تزئینی خواهد بود [۱].

ج-گروه سنگ‌های آهکی

عمده سنگ‌های ساختمانی از این گروه‌اند. این دسته به دلیل سفتی مناسب، قابلیت خوب برای ساب خوردن و برش دادن، تنوع رنگ، مقاومت بالا، قابلیت استخراج و فراوانی ذخایر، جایگاه ویژه‌ای در بازار جهانی سنگ ساختمانی و تزئینی دارند. به طورکلی سنگ آهکی، سنگ رسوبی تشکیل شده از

کربنات کلسیم (کلسیت) با کربنات مضاعف کلسیم-منیزیم (دولومیت) است که می‌تواند با وجود مقادیر جزئی از ناخالصی به رنگ‌های متنوعی دیده شود. از دیدگاه تجاری، این گروه علاوه بر سنگ‌های یاد شده شامل سنگ‌های دگرگون شده آهکی نیز است که اغلب مرمرها را تشکیل می‌دهند.

سنگ‌های ساختمانی آهکی بر اساس وزن مخصوص به سه دسته تقسیم می‌شوند:

ـ سنگ‌های با چگالی کم، بین ۲۱۶۰-۱۷۶۰ کیلوگرم بر مترمکعب

ـ سنگ‌های با چگالی متوسط، بین ۲۵۶۰-۲۱۶۰ کیلوگرم بر مترمکعب

ـ سنگ‌های با چگالی زیاد، بیش از ۲۵۶۰ کیلوگرم بر مترمکعب

در مجموع سنگ‌های تزئینی و نمای آهکی، خود به انواع سنگ‌های تراورتن، مرمر، مرمریت، سنگ چینی و کریستال تقسیم‌بندی می‌شوند [۱].

۳-۵ مشخصه‌های مطلوب سنگ‌های ساختمانی

سنگی که از کوه استخراج می‌شود باید مشخصات خاصی داشته باشد تا بتوان آن را به عنوان سنگ ساختمانی انتخاب کرد. این ویژگی‌ها و خصوصیت‌ها در ادامه ذکرشده‌اند.

۳-۵-۱ عدم وجود آثار ناشی از پدیده دگرسانی

بافت سنگ‌ها، در طی فرایند دگرسانی، سست و متلاشی می‌شود و در صورتی که حتی درجه دگرسانی به میزان کمی هم باشد، سنگ برای مصارف ساختمانی نامناسب قلمداد می‌شود. بنابراین اگر سنگ‌های حساس به دگرسانی مدنظر هم باشند، حتماً قبل از هرگونه اقدامی باید از چند نمونه تیپیک آن مقطع نازک تهیه‌کرده و عملکرد دگرسانی را در زیر میکروسکوپ، توسط سنگ‌شناس بررسی کرد و یا با انجام آنالیز مینرالوژیکی به روش اشعه X، وجود و یا عدم وجود کانی‌های ناشی از دگرسانی در آن را مورد بررسی قرار داد. لازم به ذکر است که سنگ‌های آذرین درونی بیشترین آمادگی را برای دگرسانی دارند [۱].

۳-۵-۲ عدم وجود عوارض زمین‌شناسی

وجود درزه و شکاف در متن سنگ، چه به صورت درزه‌های بزرگ و چه به صورت ریز درزه‌ها، مقاومت سنگ را کاهش می‌دهد و فرآیند استخراج و فرآوری سنگ ساختمانی، باعث خرد شدن و متلاشی شدن سنگ‌ها می‌شود. معدن سنگ ساختمانی ایده‌آل معدنی است که بتوان در امتداد سیستم درزه موجود در سینه‌کار، بلوک‌های بزرگ و قواره استخراج کرد، به طوری‌که سطوح سنگ‌های استخراج شده، سطوح درزه‌های طبیعی باشند. البته در بسیاری از موارد، این درزه‌ها طی فرآیندهای ثانویه، با مواد پرکننده پر می‌شوند و سنگ مقاومت لازم را دارا است [۱].

۳-۵-۳ نداشتن شیستوزیته و لایه‌بندی

سنگ‌های دارای شیستوزیته، به دلیل عدم امکان کار بر روی آن‌ها و سستی، برای احداث کارگاه‌های استخراج کوپ، مناسب نیستند. لایه‌بندی سنگ‌های مناسب برای تهیه کوپ باید طوری باشد که بتوان در امتداد آن، کوپ با اندازه‌های مناسب را استخراج کرد. در مواردی که ضخامت لایه‌ها به اندازه یکی از ابعاد کوپ باشد، به طوری‌که سطح لایه‌بندی، یکی از سطوح کوپ باشد، وضع ایده‌آلی فراهم شده است [۱].

۳-۵-۴ داشتن قابلیت برش، ساب و صیقل

از مشخصات اصلی سنگ‌های ساختمانی، صیقل پذیری آن‌ها است. این عامل بدون شک پارامتر بسیار مهمی در تعیین میزان محبوبیت، قیمت و میزان فروش سنگ محسوب می‌شود. سنگ‌هایی که به علت تنش‌های تکتونیکی، ناهماهنگی بافت و یا اثرات هوازدگی حفره‌دار می‌باشند، قابلیت صیقل پذیری کمی دارند و مسلماً بازار فروش چندانی نداشته و در نتیجه قیمت بالایی نخواهند داشت. با انجام چند آزمایش تجربی بر روی کوپ سنگی، می‌توان قابلیت برش، ساب و صیقل سنگ را مورد بررسی قرارداد.

جلاپذیری سنگ‌ها به وزن مخصوص آن‌ها بستگی دارد. هرچه وزن مخصوص سنگ بیشتر باشد، جلاپذیری آن بیشتر خواهد بود. معمولاً سنگ‌های با وزن مخصوص کمتر از ۱۵۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب، جلا بر نمی‌دارند و سنگ‌های با وزن مخصوص بیش از ۲۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب دارای جلاپذیری بسیار خوب بوده و آیینه‌ای می‌شوند. سنگ‌های با وزن مخصوص بین این دو، کم‌وبیش جلا برمی‌دارند [۱].

۳-۵-۵ داشتن سختی قابل قبول

دامنه تغییرات سختی این سنگ‌ها از درجه خیلی کم (صابون سنگ) تا سختی بیشتر از فولاد (گرانیت) تغییر می‌کند. میزان سختی، در قیمت تمام شده سنگ و همین‌طور برای استفاده در یک محل خاص که نیاز به تحمل فشار و سایش زیادی است، بسیار مؤثر می‌باشد. سختی زیاد نیز شرایط برش و صیقل دادن سنگ را مشکل ساخته و هزینه تهیه سنگ را بالا می‌برد. لذا سختی باید در حد قابل قبولی باشد. تهیه سنگ از گرانیت و کوارتزیت به دلیل سختی زیاد آن‌ها، گران تمام می‌شود اما این سنگ‌ها به دلیل زیبایی و مقاومت خوب، گران‌ترند. تهیه سنگ‌های معمولی مثل تراورتن به دلیل سختی کم بسیار ارزان‌تر است، این گونه سنگ‌ها در عین حال مقاومت خوبی دارند[۱].

۳-۵-۶ داشتن جذابیت از نظر زیبایی، رنگ و تباین رنگ‌ها

مؤثرترین عامل برای انتخاب سنگ ازنظر معماران، رنگ و زیبایی آن است. سنگ مطلوب دارای رنگ یکنواخت بوده و رنگ آن در مقابل نور آفتاب و آب‌وهوای محیط تغییر نمی‌کند. با توجه به تنوع طلبی بشر و همچنین تغییر در سلیقه‌ها با گذشت زمان، ممکن است انواع رنگ‌ها محبوبیت پیدا کرده و یا از محبوبیتشان کاسته شود. همان‌طور که در سالیان دور، بیشتر از سنگ‌های نما با رنگ‌های سفید، کرمی و یا استخوانی استقبال می‌شد اما اکنون سلیقه مردم به سمت استفاده از گرانیت‌های تیره رنگ، سبز، قرمز و سیاه متمایل شده است [۱].

۳-۵-۷ عدم وجود لایه‌های رسی در داخل سنگ

ترکیبات رسی، بیشتر از سایر کانی‌ها مستعد هوازدگی می‌باشد و لذا وجودشان در سنگ‌های ساختمانی نامطلوب است. با انجام آنالیز اشعه X به سادگی می‌توان به درصد رس موجود در آن‌ها پی برد [۱].

۳-۵-۸ کم بودن تخلخل و ضریب جذب آب

هرچه تخلخل سنگ بیشتر باشد، ضریب جذب آب آن نیز بالاتر خواهد بود و همین مسئله باعث نفوذ آب در خلل و فرج سنگ شده و در ابتدا باعث ایجاد درزه و شکاف‌های جزئی و در نهایت باعث شکسته شدن و جدا شدن یک یا چند پلاک از سطح بنا می‌شود. بنابراین کاملاً واضح است که این امر تا چه حد برای خریداران سنگ ساختمانی مهم است. لذا پایین بودن تخلخل و درصد جذب آب یکی از پارامترهای مهم سنگ‌های ساختمانی است [۱].

۳-۵-۹ داشتن مقاومت فشاری، کششی و اصطکاکی مناسب

سنگ باید مقاومت اصطکاکی، فشاری و کششی لازم را داشته باشد. برای اغلب کارهای ساختمانی، مقاومت فشاری ۴۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع کافی است [۱].

۳-۵-۱۰ داشتن دوام مناسب

دوام مناسب در برابر عوامل هوازدگی فیزیکی و شیمیایی، از ویژگی‌های مهم سنگ‌های ساختمانی می‌باشد که با توجه به آب‌وهوای منطقه مورد استفاده از سنگ، نوع سنگ مصرفی مقاوم در برابر عوامل هوازدگی همان منطقه، انتخاب می‌شود [۱].

۳-۵-۱۱ آسانی استخراج

مهم‌ترین عامل در قضاوت سنگ برای انتخاب آن به عنوان سنگ ساختمانی، آسانی استخراج است. باید بتوان از یک معدن مناسب، قطعات بزرگ و بدون عیب سنگ‌ها را استخراج کرد. ایده‌آل‌ترین بلوک‌های سنگی از نظر استخراجی، بلوک‌هایی هستند که شیب توپوگرافی کمتر از ۳۰ درجه دارند و

امکان احداث راه دسترسی به نقاط بالایی آن‌ها وجود داشته باشد و همچنین به امکانات شهری و راه‌های ارتباطی اصلی نزدیک باشند.

۳-۵-۱۲ وجود ذخیره کافی

یکی از مشخصه‌های مطلوب سنگ آن است که برای حداقل یک دوره بهره‌برداری اقتصادی، ذخیره کافی قابل استحصال داشته باشد [۱].

۳-۶ عوامل مؤثر در کیفیت سنگ

کیفیت سنگ تحت تأثیر دو دسته از عوامل غیرقابل‌کنترل و عوامل قابل‌کنترل قرار دارد.

۳-۶-۱ عوامل غیرقابل‌کنترل

این عوامل توسط طبیعت تحمیل می‌شوند و بنابراین کنترل آن‌ها توسط بشر مقدور نمی‌باشد. ازجمله این عوامل می‌توان نوع و رنگ سنگ را نام برد که توسط فرآیندهای طبیعی به وجود می‌آیند [۱].

۳-۶-۲ عوامل قابل‌کنترل

این‌گونه عوامل توسط بشر قابل‌کنترل هستند و دقت و برنامه‌ریزی در آن‌ها تا حد قابل قبولی می‌تواند در بهبود کیفیت پلاک سنگی مؤثر باشد. ازجمله این عوامل می‌توان به نحوه استخراج و برش و صیقل سنگ اشاره کرد [۱].

۳-۷ عوامل مؤثر در انتخاب سنگ‌های ساختمانی

عوامل بسیاری در انتخاب نوع سنگ، نقش ایفا می‌کنند. این عوامل به شرح زیر می‌باشند[۱]:

- قیمت تمام‌شده سنگ
- رنگ و ثبات آن در برابر قرار گرفتن در معرض نور آفتاب، اسیدها، نور فرابنفش و عوامل هوازدگی
- دوام سنگ و پایداری ساخت و ترکیب کانی‌شناسی آن در برابر عوامل هوازدگی و مخرب

- ویژگی‌های فنی سنگ شامل وزن مخصوص، میزان جذب آب، تخلخل، مقاومت فشاری، کششی، خمشی، ضربه‌ای و اصطکاکی، هدایت حرارتی، انبساط و انقباض حرارتی، مقاومت در برابر آتش و مقاومت در برابر یخبندان.

۳-۸ روش‌های استخراج مرسوم در معدنکاری روباز سنگ‌های ساختمانی

روش‌های استخراج سنگ‌های ساختمانی که امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرد را می‌توان به سه دسته کلی تقسیم کرد که برای هریک از این روش‌های کلی، انواع مختلفی وجود دارد که به بیان آن‌ها پرداخته می‌شود.

۳-۸-۱ استخراج سنگ‌های ساختمانی با استفاده از حفر چال‌های موازی

روش‌هایی که برای این دسته از انواع استخراج به کار گرفته می‌شوند عبارت‌اند از[۱]:

- استفاده از سیستم پارس و گوه (نعل و پارس)
- جدا کردن بلوک به شیوه مکانیکی
- استفاده از مواد ناریه یا روش‌های آتشکاری کنترل‌شده
- استفاده از مواد منبسط شونده

۳-۸-۲ استخراج با استفاده از سیستم برش سنگ ساختمانی

روش‌های مورد استفاده در این دسته از انواع استخراج عبارت‌اند از[۱]:

۱- استخراج بلوک‌های سنگ با استفاده از ماشین‌های ضربه‌زن

۲- برش با استفاده از سیم برش فولادی

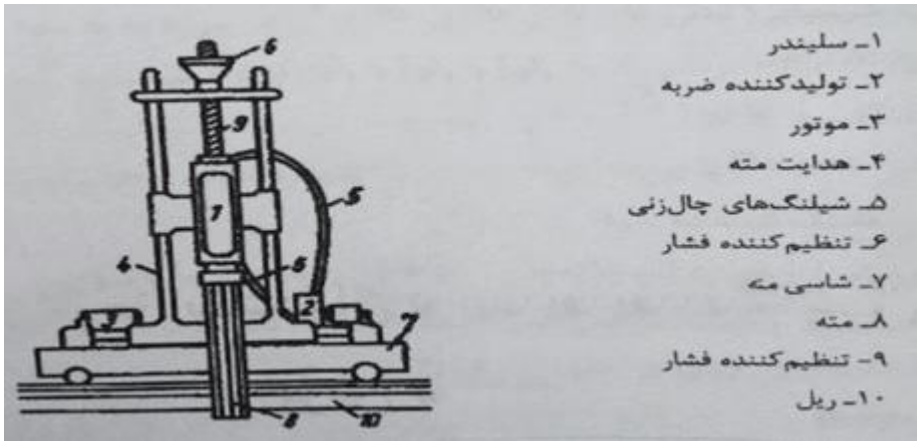
۳- برش با استفاده از سیم برش الماسه

۴- برش با استفاده از دستگاه‌های سنگ‌بر

۳-۸-۲-۱ استخراج بلوک‌های سنگ با استفاده از ماشین‌های ضربه زن

در این روش شکاف‌های لازم برای جداسازی سنگ توسط دستگاهی ایجاد می‌شود که با وارد کردن ضربه‌های متوالی و حرکت رفت و برگشتی روی سنگ، این عمل را انجام می‌دهد. مدل ساده‌ای از دستگاه و اجزای مختلف آن در شکل ارائه شده است. معایب این روش عبارت‌اند از[۱]:

- وزن زیاد دستگاه و مشکلات ناشی از حمل‌ونقل آن
- ایجاد ارتعاش در اثر ضربه و تولید ترک‌های جدید



شکل ۳-۱- دستگاه ضربه‌زن و اجزاء آن [۱].

۳-۸-۲-۲ برش با استفاده از سیم برش فولادی

ظهور دستگاه برش سنگ توسط مواد ساینده به ویژه پس از جنگ جهانی دوم یک پیشرفت غیرمنتظره در معادن سنگ ساختمانی بود که نوگرایی مهمی در طراحی و تولید سنگ‌های ساختمانی به وجود آورد. شیوه کار در این روش بر این اساس است که از طریق ماده ساینده‌ای با سختی بالاتر از سختی سنگ، می‌توان سنگ مورد نظر را برش داد. بدین منظور یک سیم بی‌انتها در یک جهت معین به طور دائم روی سنگ حرکت داده می‌شود تا سیم در روی سنگ شیاری ایجاد کند. سپس در شیار ایجاد شده ماده ساینده و آب ریخته می‌شود تا بدین وسیله، سنگ مورد نظر بریده شود. مواد ساینده به کار رفته، عموماً دانه‌های سیلیسی بودند که به مرور مواد نظیر کاربوراندوم، کاربید تنگستن و سیلیسیم

کاربید جایگزین مواد سیلیسی شدند که این امر باعث بالا رفتن هزینه عملیات شده است [۱].

۳-۸-۲-۳ برش با استفاده از سیم برش الماسه

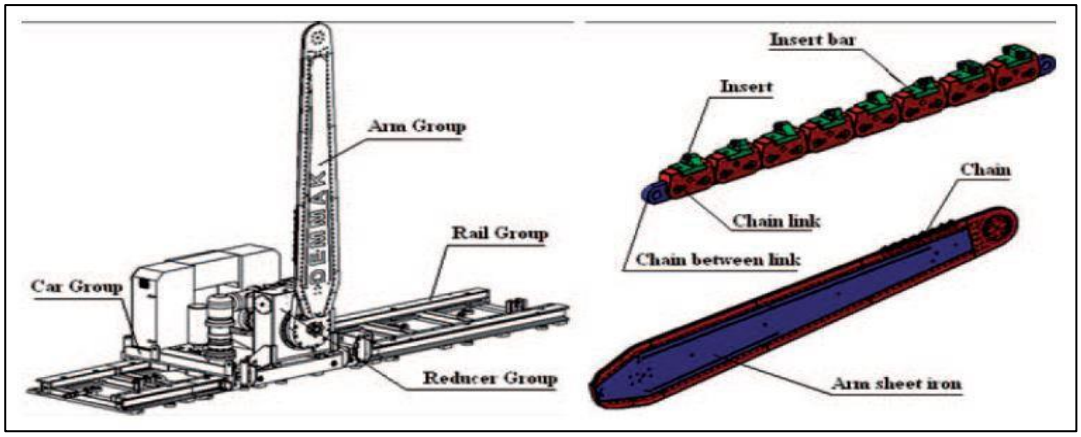
در این روش در مقایسه با روش سیم برش فولادی، استفاده از مواد ساینده به طور مجزا از سیستم حذف شده است و در عوض مواد ساینده روی خود سیستم نصب شده‌اند و برش توسط خود سیم انجام می‌شود. طرز کار این سیستم به گونه‌ای است که سیم الماس به طول ۲۵ تا ۴۵ متر (حداکثر ۱۵۰ متر) به وسیله یک وینچ با قرقره راهنما در جهت معین به طور دائم روی سنگ حرکت می‌کند و به صورت افقی یا قائم، سنگ را برش می‌دهد. در کاربرد این روش سعی شده است میزان چالزنی، به علت زمان‌بر بودن آن به حداقل برسد. بنابراین هرچه تعداد سطح‌های آزاد سنگ بیشتر باشد، تعداد چال کمتری لازم خواهد بود. ایده‌آل‌ترین حالت، وجود سه سطح آزاد در سنگ است که برای برش دادن سه سطح دیگر، سه چال عمود برهم به گونه‌ای حفر می‌شوند که یکدیگر را در یک نقطه قطع کنند. در حالت‌هایی که تعداد سطوح آزاد کمتر باشد، کار مشکل‌تر خواهد شد و تعداد چال‌های مورد نیاز برای برش دادن سنگ بیشتر می‌شود [۱].

۳-۸-۲-۴ برش با استفاده از دستگاه‌های سنگ‌بر

در این روش نیازی به حفر چال نیست و بنابراین، در هزینه‌ها و زمان عملیات صرفه‌جویی می‌شود. این روش برای سنگ‌هایی که سختی چندان زیادی ندارند اما از نظر اقتصادی ارزش قابل توجهی دارند از جمله مرمر، تراورتن و آهک‌ها مناسب است. به طورکلی سه نوع دستگاه سنگ‌بر ساخته و مورد استفاده قرار گرفته است:

۱- سنگ‌بر با بازوی اره زنجیری (ماشین هاواژ): ماشین‌های اره زنجیری برای برش سنگ‌های ساختمانی با مقاومت کم تا متوسط و ساینده‌گی نرم مانند تراورتن و سنگ مرمر، در هر دو روش استخراج روباز و زیرزمینی استفاده می‌شود. این ماشین‌ها هر دو برش عمودی و افقی را انجام می‌دهند. عملکرد برش این دستگاه بستگی به شرایط زمین شناسی معدن،

ویژگی‌های مکانیکی ماشین و پارامترهای عملیاتی دارد. استفاده از دستگاه اره زنجیری برای تولید سنگ، عملکرد کلی این معادن را با ارائه محصولات با کیفیت بالاتر، کاهش تلفات تولید، کاهش زمان برای حفاری گمانه افقی و نصب سیم، افزایش می‌دهد. این ماشین‌ها یک محیط کار عالی درست می‌کنند، گردوغبار کم‌تری تولید می‌کنند، مشکلات مواجه با دستگاه سیم برش الماسه را کاهش می‌دهند، زمان جابجایی به پله جدید را کاهش می‌دهند و بلوک‌های قابل فروش تولید می‌کنند ماشین‌های اره زنجیری با مشخصات متنوعی ساخته می‌شوند تا نیازهای عملیاتی انواع خاص سنگ یا معدن‌ها را تحمل کنند. همان‌طور که در شکل ۳-۲ مشاهده می‌شود دستگاه اره زنجیری از سه قسمت اصلی بازو، ماشین و ریل تشکیل شده است [۲۴].



شکل ۳-۲- اجزای دستگاه اره زنجیری [۲۴].

۲- سنگ‌بر با دیسک برنده

۳- سنگ‌بر با صفحه فرز [۱].

۳-۸-۳ روش‌های نوین استخراج سنگ‌های ساختمانی

روش‌هایی که برای این دسته از انواع استخراج به کار گرفته می‌شوند، عبارت‌اند از:

- برش سنگ با استفاده از فشار آب

- برش سنگ با استفاده از شعله

۳-۹ مشکلات اقتصادی در معادن سنگ ساختمانی با روباره زیاد

کاهش هزینه‌ها، از مهم‌ترین اهداف طراحی و بهینه‌سازی در هر فعالیت تولیدی ازجمله استخراج معادن سنگ ساختمانی است. افزایش سالانه عمق کاواک در معادن سنگ ساختمانی روباز به همراه محدودیت‌های فنی گسترش کاواک، باعث کاهش بهره‌وری و افزایش هزینه‌های ترابری می‌شود. دلایل اقتصادی، یکی از مهم‌ترین دلایلی است که منجر به در نظر گرفتن تولید بلوک‌های سنگ ساختمانی در زیرزمین با استفاده از روش‌های استخراج زیرزمینی شده است. چنین پیشرفت‌هایی در بیشتر کشورهای توسعه یافته عضو اتحادیه اروپا، به ویژه در ایتالیا به عنوان منحصربه‌فردترین کشور تولیدکننده سنگ ساختمانی وجود دارد. در ایران برخی از معادن سنگ ساختمانی نظیر معدن سنگ ساختمانی کپیول محلات، ارتفاع روباره نسبتاً زیاد است، به نحوی‌که استخراج سطحی آن نیازمند حجم و زمان باطله‌برداری زیادی خواهد بود. این مسئله می‌تواند به طور چشمگیری منجر به کاهش سود و حتی منجر به عدم توجیه اقتصادی استخراج این معدن شود. بدان مفهوم که با احتساب هزینه‌های باطله برداری ممکن است قیمت تمام‌شده به ازای یک تن سنگ استخراجی از قیمت فروش آن بیشتر شود.

۳-۱۰ اثرات زیست‌محیطی معادن سنگ ساختمانی

صنعت سنگ ساختمانی همانند هر فعالیت بشری دیگر اثرات منفی بر اکوسیستم و سلامتی انسان‌ها دارد. این اثرات با بهره‌برداری بیشتر از منابع زمین و در گذر زمان‌های طولانی خود را بهتر نمایان خواهد کرد. مهم‌ترین این اثرات شامل موارد زیر است [۲۵ و ۱۸]:

۱. آلودگی صوتی که ناشی از کار ماشین‌آلات (مثل کامیون‌ها، دستگاه‌های حفاری، ژنراتورها، قله برها و ماشین‌های برش و ساب و...) است که میزان این آلودگی به دو پارامتر شدت صوت و میزان در معرض بودن بستگی دارد.

۲. محل انباشت باطله: یکی از مهم‌ترین مشکلات زیست‌محیطی در صنعت سنگ ساختمانی حجم

بسیار بالای تولید ضایعات است. به طور متوسط در هنگام تولید بلوک‌های سنگی در معدن ۷۵-۳۵ درصد، در هنگام حمل‌ونقل و فرآوری ۴۰-۳۰ درصد و در مجموع حدوداً ۸۰-۵۰ درصد وزنی سنگ خام استخراج شده به ضایعات تبدیل می‌شود. این ضایعات اکثراً به صورت دمپ‌های باطله در نقاط مختلف روی هم انباشته می‌شوند که با مرور زمان با انجام واکنش‌های فیزیکی و شیمیایی بر اکوسیستم منطقه تأثیر منفی خواهد گذاشت. علاوه بر مشکلات زیست‌محیطی این حجم عظیم از باطله به لحاظ جمع‌آوری و بارگیری آن‌ها، هزینه‌های سنگینی بر صاحبان این صنعت تحمیل می‌کند. به دلیل دور بودن معادن سنگ ساختمانی نسبت به مناطق مسکونی، اکثر این معادن ضایعات خود را در اطراف معدن و به صورت پراکنده و نامنظم رها کرده‌اند. این موضوع باعث ایجاد یک چشم‌انداز نامطلوب شده است. به عنوان مثال، در شکل ۳-۳ وضعیت انباشت باطله‌ها در تعدادی از معادن سنگ ساختمانی شهرستان محلات نشان داده شده است.

شکل ۳-۳- وضعیت انباشت باطله‌ها در تعدادی از معادن سنگ ساختمانی شرکت سرچشمه شهرستان محلات.

۳. دست خورده شدن خاک که باعث از بین رفتن تراکم اولیه خاک و افزایش سرعت فرسایش خاک، از بین رفتن زهکشی طبیعی منطقه، ایجاد آلایندگی در خاک و در نهایت دست‌کاری در کیفیت خاک‌های منطقه می‌شود.

۴. انتشار گردوغبار در هوا که باعث تأثیرگذاری منفی بر سلامت موجودات زنده، کاهش رشد

گیاهان و تأثیرگذاری بر میدان دید در منطقه می‌شود.

۵. از بین رفتن شکل و چشم‌انداز طبیعی زمین که در اثر استخراج سنگ‌ها و انباشت باطله‌های معدن و ضایعات کارخانه فرآوری به وجود می‌آید (شکل ۳-۴ و ۳-۵).

۶. از بین رفتن پوشش گیاهی و تأثیر منفی بر اکوسیستم منطقه و زندگی حیوانات

ناهمواری‌های سطح زمین، اولین پارامتر تأثیرگذار در فرآیندهای استخراج سنگ ساختمانی است. آماده‌سازی، استخراج و انباشت باطله‌ها به معنی تضعیف عمومی خاک، تغییر سیمای مورفولوژیکی طبیعی منطقه و ناپایداری شیب واریزه‌ها است. تضعیف باروری خاک منطقه و تخریب‌های زیست‌محیطی، پتانسیلی برای ایجاد اثرات منفی در بیوسفر است (تغییر در موازنه اکولوژیکی). دپوی باطله‌ها، می‌تواند در تغییر شبکه هیدروگرافی در سطح و گاه زیرزمین نقش داشته باشد. مشکل بعدی، امکان آلودگی هوا است. جابجایی تجهیزات مختلف معدنی و بعضی از ماشین‌های برش به دو شیوه مستقیم (گازهای اگزوزی) و غیرمستقیم (بلند کردن گردوخاک) باعث آلودگی هوا می‌شوند [۲۶ و ۱۸].

به عنوان مثال، معدن تراورتن کپیول محلات به علت ارتفاع زیاد روباره و تأثیرات مخرب زیست‌محیطی مانند تأثیر بر بخش گلخانه‌ای و ایجاد گردوغبار در شهر محلات داشته است، استخراج این معدن به روش روباز عملاً امکان‌پذیر نیست.

شکل ۳-۴- از بین رفتن چشم‌انداز طبیعی زمین در اثر استخراج سنگ ساختمانی و انباشت باطله در معدن سنگ سرچشمه محلات.

شکل ۳-۵- از بین رفتن چشم‌انداز طبیعی زمین در اثر استخراج سنگ ساختمانی در معدن سنگ سرچشمه محلات.

۳-۱۰-۱ ارزیابی اثرات زیست‌محیطی

عوامل معدنکاری مؤثر بر محیط‌زیست، دارای میزان تأثیر و نقش‌های متفاوتی هستند. بر اساس تجزیه و تحلیل اثرات زیست‌محیطی، آثار ظاهری معدنکاری عمدتاً در ترکیب ژئومورفولوژیکی منطقه، انعکاس پیدا می‌کند. در این راستا، آماده‌سازی ناحیه استخراجی، دپوی مواد، حمل‌ونقل و جابجایی ذخایر آب، عوامل تأثیرگذار بر کیفیت هوا (شکل ۳-۶)، میزان سروصدای محیط پیرامون معدن و شرایط گیاهان و جانوران است. با مدیریت صحیح می‌توان اثرات تخریبی مواد بالقوه آلوده را به حداقل رساند. بر اساس اطلاعات آماری، عملیات آماده‌سازی ناحیه معدنی و انباشت باطله‌ها با ۵۳/۴ درصد، بیشترین تأثیر را بر شاخصه‌های زیست‌محیطی دارند. حمل‌ونقل با ۱۹/۸ درصد و برش جبهه‌کار با ۱۶/۴ درصد، در رتبه‌های بعدی قراردارند. جابجایی و قواره کردن در محل معدن به ترتیب کمتر از ۶/۹ درصد و ۳/۴ درصد سهم دارند [۲۷ و ۱۸].

شکل ۳-۶- گردوخاک در معدن سرچشمه شهر نیمور به علت وزش باد نه‌چندان شدید.

۳-۱۰-۲ ارزیابی کاهش تأثیرات

برای هر فعالیت مخرب زیست‌محیطی می‌توان با اتخاذ تدابیر و اجرای برخی برنامه‌ریزی‌های منظم، این اثرات را تا حد امکان کاهش داد. اکثر این راهکارها در آماده‌سازی، خاک‌برداری، برش و دپو در موقع راه‌اندازی، گسترش معدن و یا استخراج سنگ مطرح می‌شود. با استخراج زیرزمینی سنگ‌های ساختمانی، می‌توان تا حدود زیادی در راستای کاهش تأثیرات زیست‌محیطی گام برداشت [۱۸].

۳-۱۱ روش‌های استخراج مرسوم در معدنکاری زیرزمینی سنگ ساختمانی

در این بخش مرسوم‌ترین روش‌های استخراج زیرزمینی سنگ ساختمانی شرح داده می‌شوند. این روش‌ها برحسب خصوصیات ذخیره، توپوگرافی سطح زمین و نحوه استخراج به سه دسته زیر تقسیم‌بندی می‌شوند [۲۳ و ۱۷]:

۱. روش استخراج اتاق و پایه: این روش ساده‌ترین روش استخراج زیرزمینی سنگ‌های ساختمانی است. این روش زمانی که سنگ استخراجی مورد نظر دارای گستردگی بالا، ضخامت متوسط و ثابت و شیب نزدیک به افق دارد استفاده می‌شود. نحوه پیشروی در آن به صورت افقی است. مهم‌ترین معایب این روش عدم معدنکاری انتخابی و بازیابی پایین عملیات معدنکاری است زیرا در این روش جایگذاری پایه به منظور نگهداری سنگ سقف به صورت سیستماتیک و منظم بوده و مقدار زیادی از ذخیره به صورت پایه باقی می‌ماند.

۲. روش استخراج کارگاه و پایه: اگر ضخامت لایه ماده معدنی زیاد یا متغیر باشد می‌توان از روش کارگاه و پایه استفاده کرد. تفاوت این روش با روش اتاق و پایه در انعطاف‌پذیری بالاتر، قابلیت معدنکاری انتخابی در استخراج بلوک‌ها و توانایی استخراج در شیب‌های بیشتر است. در این روش اندازه پایه‌ها با یکدیگر متفاوت و الگوی جایگذاری آن‌ها نظم خاصی ندارد، ارتفاع کارگاه می‌تواند بسیار بلندتر از روش اتاق و پایه باشد.

۳. روش استخراج امتدادی: در این روش با حفر تونل یا چاه در امتداد ماده معدنی به استخراج آن می‌پردازند. اگر ماده معدنی افقی باشد به وسیله تونل و زمانی که ماده معدنی به صورت شیب‌دار باشد به وسیله یک ترانشه آن را استخراج می‌کنند. یکی از معایب این روش کوچک بودن فضای کار و محدودیت عمق استخراج است چراکه در اعماق زیاد نگهداری سنگ بستر مشکل آفرین می‌شود.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که در استخراج زیرزمینی به منظور دسترسی به بازده بالا و استخراج بلوک با کیفیت بالاتر، در اغلب موارد سیم برش الماسه و یا اره زنجیری الماسه استفاده می‌شود که بهترین حالت استفاده از هر دو دستگاه به صورت ترکیبی است.

۳-۱۲ عوامل مؤثر در انتخاب روش استخراج سنگ‌های ساختمانی

عوامل مهمی که در تعیین روش استخراج سنگ‌های ساختمانی مؤثراند عبارتند از [۲۸]:

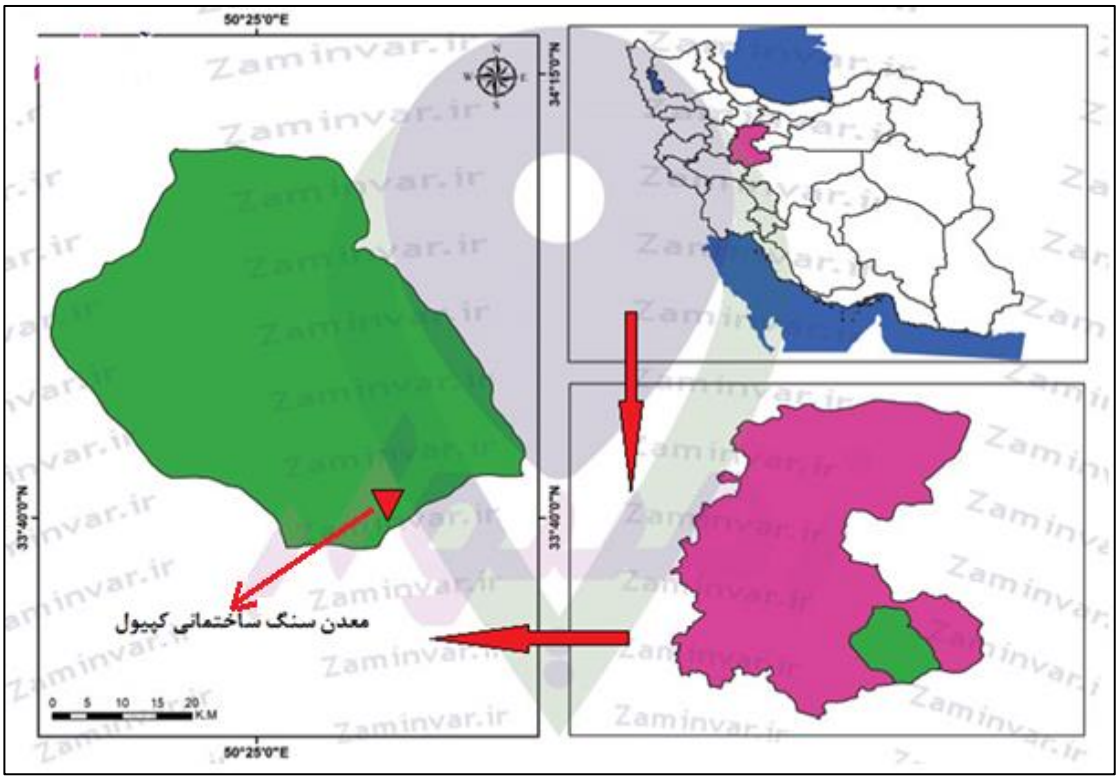
- قیمت بلوک
- دسترسی به ماشین‌آلات
- دسترسی به نیروی متخصص
- ترکیب روش‌ها
- امکان استفاده از ضایعات
- میزان تولید

- خصوصیات کانسار و نوع سنگ ساختمانی
- نوع کارگاه استخراج
- شکل و فرم کانسار
- ترکیب ساختاری و شیمیایی آن
- میزان ذخیره
- ضخامت باطله
- مقدار روباره محدوده سنگی

۳-۱۳ موقعیت جغرافیایی معدن کپیول محلات

شهرستان محلات با مساحت ۲۲۱۳۳ کیلومتر جزء استان مرکزی و در جنوب این استان بین ۳۳ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۱۸ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۱۲ دقیقه و ۵۰ درجه و ۲۹ دقیقه طول شرقی واقع شده است. این شهرستان از شمال به قم و آشتیان و از شرق به دلیجان و قم و از غرب به اراک و خمین و از جنوب به گلپایگان و میمه استان اصفهان محدود شده است. شهرستان محلات در دامنه شرقی کوه‌های زاگرس واقع شده است. به همین جهت در این شهرستان مخصوصاً در نیمه غربی کوه‌های نسبتاً بلندی به چشم می‌خورند. در مجموع نواحی جنوب و شمال شرقی این شهرستان به صورت دشت و نواحی مرکزی و غربی شهرستان، کوهستانی است. کم ارتفاع‌ترین نقطه شهرستان در شمال شرقی منطقه و در دره رودخانه قمرود واقع شده است. ارتفاع متوسط شهرستان محلات ۱۶۰۰ متر از سطح دریا است. در شمال شهرستان، کوه سخت حصار با بلندترین ارتفاع ۲۷۵۶ متر و در جنوب شهرستان کوه غار قرار دارد. در دامنه شمالی کوه سخت حصار معادن زیادی از سنگ ساختمانی تراورتن وجود دارد که قسمت عمده این معادن تاکنون استخراج و مورد بهره‌برداری قرار گرفته است و با توجه به اینکه نیمی از شهرستان را کوه‌های بلند و تپه‌ها تشکیل داده‌اند، این نتیجه حاصل می‌شود که میزان شیب زمین در این شهرستان بالا و زیاد است. معادن سرچشمه محلات شامل

چند کارگاه استخراجی است که معدن سنگ تراورتن کپیول یکی از آن‌هاست. این معدن در ۷ کیلومتری شهر نیم ور از توابع استان مرکزی واقع شده است. شکل ۳-۷ موقعیت جغرافیایی معادن سرچشمه محلات را نشان می‌دهد[۲۹].



شکل ۳-۷- موقعیت جغرافیایی معادن سنگ سرچشمه محلات.

۳-۱۴ زمین‌شناسی عمومی منطقه

منطقه محلات قسمت کوچکی از زون ایران مرکزی و در حد فاصل کمربند آتشفشانی ارومیه - کرمان زون سنندج - سیرجان قرار دارد. رسوبات موجود در منطقه که به رخساره بالئوزوئیک محلات معروف می‌باشند به ترتیب شامل دولومیت‌های سلطانیه، زاگون، لالون، میلا و پرمین است. در اطراف محلات دولومیت‌های خاکستری رنگ سلطانیه توسط تشکیلات شیلی سبز تا قرمز کمی ماسه‌ای و میکادار که به طور محلی به ماسه سنگ‌های دانه‌ریز تبدیل می‌گردد، پوشیده می‌شود. ضخامت این شیل‌ها بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ متر متغیر است. روی این شیل‌ها را حدود ۵۰ متر ماسه سنگ کوارتزیتی

متراکم و سخت با رنگ روشن پوشانده است که شیل‌های میکادار به تشکیلات زاگون و ماسه سنگ‌های روی آن به لالون و کوارتزیت آن به قاب کوارتزیت نسبت داده می‌شود. سپس تشکیلات مذکور توسط دولومیت‌های تیره تا سفید با آثاری از کربنوئید و مرجان‌های بدوی که حدود ۱۰۰ متر ضخامت دارد پوشیده می‌شوند. به طرف بالا دولومیت‌ها به تدریج به آهک‌های سفید خاکستری تا سبز روشن حاوی قطعاتی از تریلوبیت می‌رسند که این مجموعه دولومیت و آهک به تشکیلات میلا نسبت داده می‌شود. به دنبال این رسوبات با یکسان بودن در رسوب گذاری شامل رسوبات مربوط به دوره اردوویسین، دونین وکربوینفر، رخساره‌های مختلف پرمین مستقیماً بر روی تشکیلات قدیمی‌تر قرارگرفته است. رسوبات پرمین در اطراف محلات بیشتر دولومیتی است و در بعضی نقاط ماسه سنگ کوارتزیتی در قاعده آن مشاهده می‌شود. در بالاترین نقاط شیل‌های آهکی قرمزرنگ همراه با ماسه سنگ‌های قرمزرنگ و کنگلومرا، رخساره‌های پرمین را تشکیل می‌دهد. لیتولوژی پرمین در منطقه عمدتاً شامل دولومیت‌های ضخیم لایه است که بیشتر به رنگ خاکستری روشن و به علت هوازدگی به رنگ زرد متمایل می‌گردد [۳۰].

۳-۱۵ تراورتن

تراورتن سنگی است آهکی، که در طی دوره‌ای حدود ۶۰۰ هزار سال بر اثر ته‌نشینی در چشمه‌های آب گرم معدنی شکل می‌گیرد. در مقایسه با مرمر نرم‌تر ولی برحسب قدمت و جهت برش از خود سختی نشان می‌دهد. تراورتن بافت اسفنجی و حفره‌هایی با عمق حداکثر تا ۱/۲۵ سانتی‌متری دارد. این حفره‌ها را معمولاً با سیمان پرکننده پرتلند می‌پوشانند. تراورتن عموماً از ته‌نشست در محلول‌های چشمه‌های گرم کربناته معمولاً در کف حوضچه‌های کم‌عمق تشکیل می‌شود. فرایند ته‌نشینی که در اثر طوفان و تلاطم آب افزایش می‌یابد، ممکن است درنتیجه ازدیاد یا تبخیر گیاهان آبزی به وجود آید. انجمن استاندارد ایتالیا مستقر در میلان، تراورتن را این چنین تعریف می‌کند: سنگ آهکی رسوبی که به صورت شیمیایی ته‌نشین می‌شود و ساختی اسفنجی دارد که برای کارهای ساختمانی و تزئینی مورد استفاده

قرار می‌گیرد. تراورتن به صورت پهنه‌های نسبتاً وسیعی دیده می‌شود. در اغلب موارد لایه‌ها در ذخایر تراورتن افقی‌اند و یا با شیب ملایمی که تابع مورفولوژی سطح زمین است قرار گرفته‌اند. به طوری‌که در بعضی موارد ذخایر عظیمی را در پهنه‌های وسیع تشکیل می‌دهند مانند: معادن عظیم آذرشهر و شهرستان محلات [۳۲ و ۳۱].

تراورتن در صورتی‌که رنگ آن به صورت یکنواخت سفید بوده و رگچه‌های رنگی یکنواخت داشته باشد از مرغوبیت بیشتری برخوردار است. معادن محلات که از نظر مرغوبیت بی نظیر می‌باشند، البته وجود رگچه های رنگی ناشی از آلودگی به اکسیدهای آهن در تراورتن های سفید ممکن است به سنگ زیبایی خاصی بدهد. تراورتن‌های کرم رنگ که ناشی از وجود رنگیه‌های پراکنده اکسید آهن در متن سنگ می‌باشد از مرغوبیت کمتری برخوردارند. تراورتن های رنگی که برحسب درصد آلودگی به رنگیه‌های اکسید آهن به رنگ‌های قرمز، گردوئی، لیموئی و غیره دیده می‌شوند به دلیل نقش و نگارهایی که ناشی از اختلاف میزان آلودگی اکسید آهن در لایه‌های مختلف تراورتن است، ظاهر بسیار زیبا و جذابی دارند. در حال حاضر ایران تنها تولید کننده تراورتن قرمز است. معدن تراورتن قرمز، گردوئی و لیموئی آذرشهر در آذربایجان شرقی و تراورتن‌های قرمز اردستان و نطنز از دیگر معادن تراورتن رنگی ایران هستند. تراورتن‌های رنگی در شرایط فعلی دارای قیمت خوب و بازار مناسبی در بازارهای جهانی می‌باشند [۳۲ و ۳۱].

۳-۱۵-۱ منشأ تراورتن

تراورتن وقتی تشکیل می‌شود که بی‌کربنات کلسیم در آب چشمه به گاز دی‌اکسید کربن، آب و کربنات کلسیم، سخت شود. پدیده‌های فیزیکی، شیمیایی و بیوشیمیایی در نحوه رسوب تراورتن مستقیماً دخالت دارند. در جایی مانند محلات پدیده‌های فیزیکی، شیمیایی و یا تبخیر نقش بیشتری دارند و تراورتن چشمه‌ای به وجود آمده است. گردش آب باعث می‌شود دی‌اکسید کربن با آب‌های جوی از درون شکستگی‌ها و درزه‌ها، به سطح زیرین زمین راه یابد و سنگ‌های مسیر خود را حل و به صورت

چشمه‌های آهک ساز در سطح بیرونی زمین رسوب دهد. گسل‌های محلی با راستای شمال غربی - جنوب شرقی مانند کوه احمد و گسل‌های شمال شرقی- جنوب غربی یا گسل‌های دیگر چون جمال‌آباد و غیره در تشکیل تراورتن نقش مهمی داشته‌اند و همه تراورتن‌ها در مسیر آن‌ها قرار دارند [۳۲ و ۳۱].

۳-۱۵-۲ سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی

سنگ‌های تراورتن از کانی‌های متبلور کلسیت بادبزی شکل با اندازه‌های متفاوت تشکیل شده است. بافت سنگ دانه‌ریز است. دارای تخلخل زیاد بوده و لایه‌بندی نازک دارد. رنگ آن نیز سفید، کرمی تا خاکستری است. ناخالصی سنگ به صورت دانه‌های اکسید آهن و آثاری از کوارتز و کانی‌های رسی است. کانی متداول این گونه سنگ‌ها کلسیت با مقدار کمی منیزیم و آهن است و در بعضی موارد با آراگونیت همراه است که در آب‌های گرم بیشتر دیده می‌شود. کانی‌های فرعی شامل کوارتز، لیمونیت و کانی‌های رسی است و همین مواد فرعی باعث تغییر خصوصیات فیزیکی سنگ مانند مقاومت و رنگ آن می‌شود [۳۲].

تراورتن به صورت سنگ رسوبی شیمیایی (شیمیایی، فیزیکی) است که در محیط‌های گوناگون خشکی مانند حفره‌های غارها و کف رودخانه‌ها، پیرامون چشمه‌های سرد یا گرم تشکیل‌شده و هم اکنون نیز در حال تشکیل است. برای تشکیل سنگ تراورتن دو عامل طبیعی و یک ماده اصلی ضروری است. این دو عامل و ماده اصلی جدا از خاستگاه و بنیاد آن‌ها عبارت‌اند از:

آب، گازکربنیک و سنگ آهک که در کنار هم بر یکدیگر اثر کرده و با هم ترکیب ناپایداری به وجود می‌آورند. درصد تغییر فشار تعادلی گاز کربنیک باعث می‌شود که کربنات کلسیم رسوب کند. فرایندهایی چون تبخیر یا اشباع شدن محلول از کربنات، این حالت تعادلی را بر هم زده و سرعت رسوب‌گذاری را افزایش می‌دهد. بدین ترتیب افزایش مقدار هر یک از این سه ماده به تنهایی نمی‌تواند موجب گسترش تراورتن شود. هرچند که این موضوع ضروری است. چنانچه تعداد چشمه‌های آب زیاد باشد و ماده محلول نیز افزایش یابد، نتیجه آن گسترش تراورتن خواهد بود. بنابراین گریزگاه محلول بی‌کربنات یعنی

چشمه اهمیت ویژه‌ای دارد [۳۲].

۳-۱۵-۳ ماهیت فیزیکی و مکانیکی

کیفیت سنگ تراورتن در همه جای معدن یکسان نیست. در بعضی جاها سنگ تخلخل کمتری دارد و متراکم است و مقاومت بیشتری از خود نشان می‌دهد. این تغییرات باعث شده از سنگ کوپ و پلاک درجه‌بندی مختلف به دست آید که از رده صادراتی تا درجه چهار متغیر است. رنگ سنگ مهم‌ترین عامل رده‌بندی است و هرچه سنگ سفیدتر و یکنواخت‌تر باشد، درجه مرغوبیت آن بیشتر است. پس رنگ، میزان ناخالصی، تخلخل و شکل و قواره در رده‌بندی اهمیت دارد. هر جا ضخامت تراورتن و روباره بیشتر باشد سنگ زیرین به دلیل فشارهای بیشتر، تخلخل کمتری دارد و مرغوب‌تر است [۳۴ و ۳۳].

۳-۱۵-۴ سابقه معماری تراورتن

سنگ تراورتن در دهه دوم قبل از میلاد مسیح توسط رومیان مورد استفاده قرارگرفت. پس از کاربرد گسترده و فراوان تراورتن در روم قدیم، بحران فرهنگی و اقتصادی قرون وسطی به عدم کاربرد عمومی سنگ‌های

تزئینی منجر شد. بعدها در دوره هنرگوتیک بود که مجدداً سنگ تراورتن مورد توجه قرار گرفت. در فاصله رنسانس و عصر نوکلاسیک، همانند سایر مصالح سنگی، تراورتن نیز بار دیگر در مرکز توجه طراحان معماری واقع شد. طراحان معماری رم در عصر رنسانس سنگ تراورتن را به فراوانی در طرح‌های خود به کار بردند. به نظر معماران، سنگ تراورتن ماده‌ای عالی برای نمای ساختمان‌ها است زیرا به آسانی کتیبه و قرنیز می‌شود. ظاهر بسیار دلپذیر و خواص فنی تراورتن، آن را به عنوان یک ماده تزئینی ایده‌آل برای مجموعه‌ای از کاربردها متنوع مطرح می‌کند. تراورتن چه به عنوان یکی از مصالح ساختاری و چه به مشابه ماده‌ای برای زیبا سازی نما و کف و تزئینات داخلی قابلیت انعطاف و شکل‌پذیری بسیار دارد [۳۴].

تراورتن به دلایل ذیل پرمصرف‌ترین و ایده‌آل‌ترین سنگ ساختمانی است [۳۴]:

- مقاومت قابل قبول
- برش پذیری و صیقل‌پذیری ایده‌آل
- شرایط استخراج ایده‌آل: به دلیل اینکه اغلب با لایه‌بندی افقی، شیب کم و در نقاط کم ارتفاع و قابل دستیابی تشکیل می‌گردد.
- زیبایی ظاهر
- وجود تخلخل جهت چسبیدن کامل به ملات
- ارزانی نسبت به سایر سنگ‌ها

۳-۱۶ جمع‌بندی

سنگ، از قدیمی‌ترین مصالح ساختمانی مورد استفاده بشر است. استفاده از سنگ، برای مقاصد ساختمانی، از دیرباز تاکنون فرایند تکاملی خود را طی کرده است و امروزه سنگ‌های تزئینی و نما، زینت بخش بناهای مدرن و کاخ‌ها هستند و سنگ‌های گران‌بها که جواهر نامیده می‌شوند با جلوه‌های جادویی خود مورد استفاده بشر قرار می‌گیرند. با توجه به مطالب بیان شده، از مهم‌ترین دلایل انتخاب معدن سنگ ساختمانی کپیول به عنوان منطقه مورد مطالعه می‌توان به حجم زیاد روباره بر روی کانسار و آثار مخرب زیست‌محیطی معدنکاری روباز اشاره کرد. با استخراج زیرزمینی سنگ‌های ساختمانی، می‌توان تا حدود زیادی در راستای کاهش تأثیرات زیست‌محیطی گام برداشت. از این رو بررسی و امکان‌سنجی استفاده از روش‌های استخراج زیرزمینی سنگ ساختمانی در معدن سنگ ساختمانی کپیول، مهم‌ترین هدف ارائه این پژوهش است.

فصل چهارم

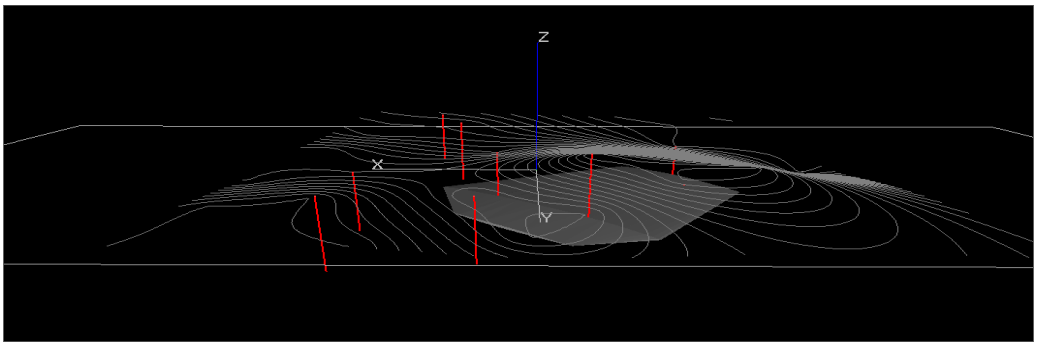
تحلیل و امکان‌سنجی اقتصادی روش استخراج روباز و زیرزمینی و مقایسه این دو روش استخراج

۴-۱ مقدمه

با توجه به اینکه اجرای هر پروژه معدنی مستلزم انجام مطالعات امکان‌سنجی و بررسی‌های اقتصادی قبل از هرگونه سرمایه‌گذاری است. در این فصل ابتدا جداول مربوط به تمامی هزینه‌های سرمایه‌گذاری ثابت و هزینه‌های جاری برای طرح استخراج به روش روباز و طرح استخراج به روش زیرزمینی برای معدن سنگ ساختمانی کپیول به صورت مجزا ارائه شده است. سپس امکان‌سنجی اقتصادی طرح استخراج به روش روباز و زیرزمینی توسط نرم‌افزار Camfar انجام شده است. در پایان با توجه به خروجی‌های نرم‌افزار Camfar و جدول تنزیل جریان نقدینگی، امکان‌پذیری اجرای طرح استخراج روباز و زیرزمینی از لحاظ اقتصادی مورد بحث و بررسی قرار گرفته و دو طرح استخراج به روش روباز و زیرزمینی از لحاظ کلیه شاخص‌های مالی با هم مقایسه شده و بهترین طرح استخراج برای معدن مذکور از لحاظ اقتصادی انتخاب شده است.

۴-۲ تخمین ذخیره

برآورد ذخیره کانسارها یکی از مهم‌ترین پارامترهای لازم برای طراحی است. اطلاعات گمانه‌های اکتشافی معدن سنگ ساختمانی کپیول در پیوست الف آورده شده است. با توجه به اطلاعات گمانه‌های دریافتی برای معدن مذکور، مدل زمین شناسی ذخیره با استفاده از نرم‌افزار Datamine تهیه شد و میزان ذخیره سنگ تراورتن معدن مشخص گردید. در شکل ۴-۱ نمایی سه بعدی از گمانه‌ها و کانسار در معدن سنگ کپیول نشان داده شده است.



شکل ۴-۱- نمایی سه‌بعدی از گمانه‌ها و کانسار معدن سنگ کپیول.

با در نظر گرفتن چگالی سنگ تراورتن (۲/۵۶ تن بر مترمکعب)، مقدار ذخیره سنگ معدن سنگ ساختمانی کپیول معادل ۲۴۰۰۰۰ تن محاسبه شده است.

۴-۳ طرح استخراج به روش روباز

۴-۳-۱ محاسبه حجم و هزینه باطله‌برداری برای استخراج به روش روباز

با توجه به حجم زیاد روباره در معدن سنگ ساختمانی کپیول، برای دسترسی به کانسار به روش روباز، باید عملیات پیش باطله‌برداری برای باز کردن پیت اصلی معدن در دوران ساخت و در دوران بهره‌برداری عملیات باطله‌برداری انجام شود. در روش روباز دسترسی به ماده معدنی به صورت یک مخروط معکوس با زاویه ۴۵ درجه انجام می‌شود که با توجه گسترش طولی و عرضی ماده معدنی، حجم کل روباره محاسبه شده است. در جدول ۴-۱ حجم کل روباره معدن سنگ ساختمانی کپیول و هزینه لازم برای باطله‌برداری معدن مذکور آورده شده است. با توجه به اطلاعات جدول ۴-۱، هزینه کل باطله برداری در معدن سنگ ساختمانی کپیول برابر ۴۵۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ ریال است که از این مقدار، ۶۵،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ ریال به عنوان هزینه پیش باطله‌برداری در دوران ساخت معدن و مابقی تحت عنوان هزینه باطله‌برداری در دوران بهره‌برداری معدن با هزینه سالیانه ۵۵،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰ ریال لحاظ شد.

جدول ۴-۱- حجم کل روباره و هزینه باطله‌برداری در معدن سنگ ساختمانی کپیول

حجم کل روباره (مترمکعب)	۱۵۰۰۰۰۰
ماشین آلات بارگیری	۳ بیل مکانیکی هیوندای ۸۰۰ و ۷۰۰
ظرفیت اسمی بارگیری و باربری (مترمکعب بر ساعت)	۴
ساعت کاری روزانه	۸
هزینه پیمانکاری باطله‌برداری (ریال بر مترمکعب)	۳۰۰،۰۰۰
هزینه باطله‌برداری سالیانه (ریال)	۶۴،۸۰۰،۰۰۰،۰۰۰
هزینه کل باطله‌برداری (ریال)	۴۵۰،۰۰۰،۰۰۰،۰۰

۴-۳-۲ وضعیت مالی و اقتصادی طرح استخراج به روش روباز

این قسمت حاوی خلاصه‌ای از اطلاعات مالی پروژه است که مشتمل بر ظرفیت استخراج سالانه معدن، قیمت فروش محصول، درآمد، هزینه‌های سرمایه‌گذاری ثابت و هزینه‌های عملیاتی است. با توجه به ظرفیت تولید سالانه ۳۶۰۰۰ تن، دوران بهره‌برداری ۷ ساله در نظر گرفته شده است. در جداول ۴-۲ و ۴-۳ خلاصه‌ای از اطلاعات زمانی و مشخصات مالی طرح استخراج روباز معدن سنگ ساختمانی کپیول آورده شده است.

جدول ۴-۲- اطلاعات زمانی طرح استخراج به روش روباز

روش استخراج	تاریخ شروع	دوران ساخت	دوران بهره‌برداری	تاریخ اتمام
روباز	۱۳۹۸/۰۱	۱ ساله	۷ ساله	۱۴۰۵/۱۲

جدول ۴-۳- خلاصه‌ای از مشخصات طرح استخراج به روش روباز

ردیف	سال بهره‌برداری	سال اول	سال دوم	سال سوم	سال چهارم	سال پنجم	سال ششم	سال هفتم
۱	محصول	سنگ تراورتن با ظرفیت اسمی ۳۶۰۰۰ تن در سال						
۲	مقدار کل ذخیره	۲۴۰۰۰۰ تن						
۳	مقدار تولید (تن)	تولید با ٪۷۰ ظرفیت	تولید با ٪۸۵ ظرفیت	تولید با ظرفیت کامل ۳۶۰۰۰				
		۲۵۲۰۰	۳۰۶۰۰					
۴	قیمت متوسط فروش (ریال/ تن)	۴،۰۰۰،۰۰۰						
۵	حقوق دولتی (ریال)	۵،۷۶۰،۰۰۰،۰۰۰						
۶	نرخ بهره بانکی	٪۱۵						
۷	نرخ مالیات	٪۲۵						

۴-۳-۳ هزینه‌های سرمایه‌گذاری ثابت

هزینه‌های سرمایه‌گذاری ثابت شامل دو بخش:

الف) هزینه‌های مربوط به ساخت و خریداری تأسیسات مورد نیاز برای طرح استخراج روباز

ب) هزینه‌های مربوط به خریداری ماشین‌آلات مورد نیاز برای طرح استخراج روباز

در جداول ۴-۴، ۴-۵ و ۴-۶ مقادیر هزینه‌های مربوطه آورده شده است. هزینه‌های واحد ساختمان‌ها و تأسیسات مورد نیاز (جدول ۴-۴)، از فهرست بهای راه، باند و فرودگاه ۱۳۹۸، استخراج شده است [۳۵].

جدول ۴-۴- هزینه ساختمان‌ها و تأسیسات موردنیاز برای طرح استخراج روباز

ردیف	شرح تأسیسات	مشخصات	واحد	ارزش واحد (ریال)	ارزش کل(ریال)
۱	ساختمان‌های اداری، مسکونی و خدماتی	۲۰۰	مترمربع	۱۲،۰۰۰،۰۰۰	۲،۴۰۰،۰۰۰،۰۰۰
۲	هزینه باطله برداری اولیه جهت باز کردن پیت در سال صفر	۲۱۶۰۰۰	مترمکعب	۳۰۰،۰۰۰	۶۵،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰
۳	تعمیرگاه و جایگاه سرویس ماشین‌آلات سبک و سنگین	۱۵۰	مترمربع	۸،۰۰۰،۰۰۰	۱،۲۰۰،۰۰۰،۰۰۰
۴	انبار وسایل و لوازم	۱۰۰	مترمربع	۸،۰۰۰،۰۰۰	۸۰۰،۰۰۰،۰۰۰
۵	مخزن سوخت	۳×۲۰۰۰۰	لیتر	۶،۰۰۰	۳۶۰،۰۰۰،۰۰۰
۶	مخزن آب	۲×۲۰۰۰۰	لیتر	۵،۰۰۰	۲۰۰،۰۰۰،۰۰۰
جمع				۶۹،۹۶۰،۰۰۰،۰۰۰ ریال	

جدول ۴-۵- هزینه ماشین‌آلات موردنیاز برای طرح استخراج روباز

ردیف	نام دستگاه	مشخصات	تعداد	ارزش کل (ریال)
۱	لودر	KOMATSUWA600-3L	۱	۱۷،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰
۲	لودر	KOMATSUWA700	۱	۱۹،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰
۳	بولدوزر	KOMATSU155	۱	۷،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰
۴	دامتراک	KOMATSU HD465-5	۲	۱۶،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰
۵	ژنراتور	VOLVOPENTA-M12	۲	۵،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰
۶	کمپرسور	CUMMINS700	۲	۶،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰
۷	دستگاه سیم برش الماسه	HP75	۶	۳،۶۰۰،۰۰۰،۰۰۰
۸	دستگاه حفاری راسل	90DTH	۳	۹۰۰،۰۰۰،۰۰۰
۹	موتور جوشکاری	دینام جوش	۱	۲۰۰،۰۰۰،۰۰۰
۱۰	کامیون حمل آب	BENZ	۱	۲،۵۰۰،۰۰۰،۰۰۰
۱۱	وانت	مزدا	۱	۵۵۰،۰۰۰،۰۰۰
جمع		۷۷،۷۵۰،۰۰۰،۰۰۰ ریال		

جدول ۴-۶- هزینه‌های سرمایه‌گذاری ثابت طرح استخراج به روش روباز

ردیف	شرح	هزینه (ریال)	نحوه مستهلک کردن دارایی	
			سال	قراضه
۱	هزینه‌های آماده‌سازی	۶۵،۵۶۰،۰۰۰،۰۰۰	۲۰	٪۱۰
۲	کارهای عمرانی و ساخت	۴،۴۰۰،۰۰۰،۰۰۰	۱۵	٪۱۰
۳	تأمین ماشین‌آلات و تجهیزات	۷۷،۷۵۰،۰۰۰،۰۰۰	۱۰	٪۱۰
۴	هزینه‌های پیش‌بینی‌نشده	۱۴،۷۷۱،۰۰۰،۰۰۰	۱۰	٪۱۰
۵	کل هزینه‌های سرمایه‌گذاری ثابت	۱۶۲،۴۸۱،۰۰۰،۰۰۰	---	---
۶	سرمایه در گردش	۷،۴۰۵،۷۹۲،۷۶۸	---	---
۷	جمع	۱۶۹،۸۸۶،۷۹۲،۷۶۸ریال		

۴-۳-۴ هزینه‌های جاری (هزینه‌های عملیاتی)

هزینه‌های جاری شامل دو بخش:

الف) هزینه نیروی انسانی مورد نیاز برای طرح استخراج روباز

ب) هزینه ابزار، لوازم و مواد مصرفی برای طرح روباز

مقادیر این هزینه‌ها در جداول ۴-۷، ۴-۸ و ۴-۹ آورده شده است.

جدول ۴-۷- هزینه نیروی انسانی موردنیاز برای طرح استخراج روباز

ردیف	شرح	تعداد	دستمزد ماهیانه هر نفر (ریال)	کل دستمزد ماهیانه پرداختی (ریال)
۱	سرپرست معدن	۱	۴۷،۰۰۰،۰۰۰	۴۷،۰۰۰،۰۰۰
۲	مهندس معدن	۱	۴۵،۰۰۰،۰۰۰	۴۵،۰۰۰،۰۰۰
۳	تکنسین مکانیک	۱	۴۰،۰۰۰،۰۰۰	۴۰،۰۰۰،۰۰۰
۴	مسئول تدارکات	۱	۲۵،۰۰۰،۰۰۰	۲۵،۰۰۰،۰۰۰
۵	تکنسین برق	۱	۴۵،۰۰۰،۰۰۰	۴۵،۰۰۰،۰۰۰
۶	اپراتور دستگاه برش	۳	۲۷،۰۰۰،۰۰۰	۸۱،۰۰۰،۰۰۰
۷	کارگر حفار	۲	۲۳،۰۰۰،۰۰۰	۴۶،۰۰۰،۰۰۰
۸	کارگر ماهر	۲	۲۳،۰۰۰،۰۰۰	۴۶،۰۰۰،۰۰۰
۹	کارگر ساده	۳	۲۰،۰۰۰،۰۰۰	۶۰،۰۰۰،۰۰۰
۱۰	راننده دامتراک	۲	۳۳،۰۰۰،۰۰۰	۶۶،۰۰۰،۰۰۰
۱۱	راننده لودر	۲	۳۳،۰۰۰،۰۰۰	۶۶،۰۰۰،۰۰۰
۱۲	راننده بولدوزر	۱	۳۳،۰۰۰،۰۰۰	۳۳،۰۰۰،۰۰۰
۱۳	سرویس‌کار و مکانیک	۱	۲۳،۰۰۰،۰۰۰	۲۳،۰۰۰،۰۰۰
۱۴	کارمند اداری و خدماتی	۲	۲۰،۰۰۰،۰۰۰	۴۰،۰۰۰،۰۰۰
۱۵	آشپز	۲	۲۰،۰۰۰،۰۰۰	۴۰،۰۰۰،۰۰۰
۱۶	انباردار و نگهبان	۲	۲۲،۰۰۰،۰۰۰	۴۴،۰۰۰،۰۰۰
جمع		۲۷	-	۷۴۷،۰۰۰،۰۰۰

برای محاسبه هزینه پرسنلی سالیانه داریم:

الف) کل دستمزد پرداختی سالیانه: ۸،۹۶۴،۰۰۰،۰۰۰=۱۲×۷۴۷،۰۰۰،۰۰۰ ریال

ب) حق بیمه سهم کارفرما:٪۲۳ × الف

۸،۹۶۴،۰۰۰،۰۰۰×۲۳٪=۲،۰۶۱،۷۲۰،۰۰۰

ج) پاداش و ذخیره سابقه کار سالیانه: (معادل یک ماه حقوق دستمزد پرسنل): ۷۴۷،۰۰۰،۰۰۰ ریال

د) سایر موارد: حقوق مسئول فنی معدن، ماهیانه ۱۱،۰۰۰،۰۰۰ ریال که سالیانه بالغبر ۱۳۲،۰۰۰،۰۰۰ ریال خواهد بود.

با جمع مقادیر بدست آمده از بندهای الف، ب، ج و د هزینه پرسنلی سالیانه، ۱۱،۲۳۲،۴۲۰،۰۰۰ ریال بدست می آید.

جدول ۴-۸- هزینه ابزارآلات، لوازم و مواد مصرفی برای طرح استخراج روباز

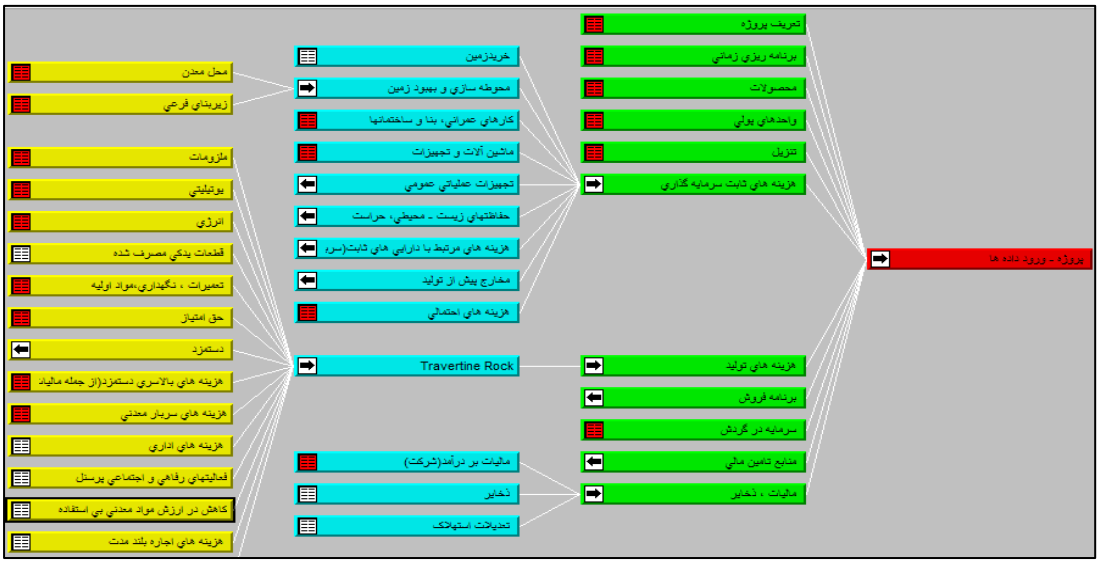
ردیف	شرح	مشخصات	تعداد یا مقدار	ارزش واحد (ریال)	ارزش کل (ریال)
۱	سیم برش الماسه	نرم بر	۴۰۰ متر	۱،۵۰۰،۰۰۰	۶۰۰،۰۰۰،۰۰۰
۲	چکش حفاری	۱۸ کیلویی	۳ عدد	۵۰،۰۰۰،۰۰۰	۱۵۰،۰۰۰،۰۰۰
۳	کابل	مسی سه فاز	۵۰۰ متر	۸۰۰،۰۰۰	۴۰۰،۰۰۰،۰۰۰
۴	مته	مته کوهبری	۴ عدد	۸،۰۰۰،۰۰۰	۳۲،۰۰۰،۰۰۰
۵	کوپلینگ	-----	۳۰ عدد	۳،۰۰۰،۰۰۰	۹۰،۰۰۰،۰۰۰
۶	شلنگ هوای فشرده	¾ اینچ و ۲ اینچ	۳۰۰ متر	۳۵۰،۰۰۰	۱۰۵،۰۰۰،۰۰۰
۷	نعل و پارس	از جنس فولاد	۵۰ سری	۷۰۰،۰۰۰	۳۵،۰۰۰،۰۰۰
۸	لباس کار	برای پرسنل	۲۰ دست	۲۰۰،۰۰۰	۴،۰۰۰،۰۰۰
۹	بنزین	وانت مزدا	۵۰۰۰ لیتر	۱۰،۰۰۰	۵۰،۰۰۰،۰۰۰
۱۰	گازوییل	ماشین‌آلات سنگین	۷۰۰۰۰۰ لیتر	۲،۵۰۰	۱،۷۵۰،۰۰۰،۰۰۰
۱۱	روغن‌موتور	ایرانول D-9000	۱۲۰۰۰ لیتر	۱۴۰،۰۰۰	۱،۶۸۰،۰۰۰،۰۰۰
۱۲	روغن هیدرولیک	ماشین‌آلات	۳۰۰۰ لیتر	۲۰۰،۰۰۰	۶۰۰،۰۰۰،۰۰۰
۱۳	غذای کارکنان	نیمروز یک وعده	۳۰	۱۰۰،۰۰۰	۹۰۰،۰۰۰،۰۰۰
جمع				۶،۳۹۹،۰۰۰،۰۰۰،۰۰ ریال	

جدول ۴-۹- هزینه‌های عملیاتی سالیانه طرح استخراج به روش روباز

ردیف	شرح	هزینه (ریال)	درصد هزینه‌های متغیر
۱	تأمین مواد مصرفی	۲،۳۱۹،۰۰۰،۰۰۰	٪۵۰
۲	باطله برداری	۵۵،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰	٪۱۰۰
۳	تأمین سوخت و انرژی	۴،۰۸۰،۰۰۰،۰۰۰	٪۸۰
۴	تعمیر و نگهداری	۷،۹۹۵،۰۰۰،۰۰۰	٪۱۰۰
۵	حقوق دولتی	۵،۷۶۰،۰۰۰،۰۰۰	٪۱۰۰
۶	نیروی انسانی	۱۱،۲۳۲،۴۲۰،۰۰۰	٪۷۰
۷	بالاسری	۳،۳۶۹،۷۲۶،۰۰۰	٪۷۰
۸	پیش‌بینی‌نشده	۸،۹۷۵،۶۱۴،۶۰۰	٪۱۰۰
جمع		۹۸،۷۳۱،۷۶۰،۶۰۰ریال	

۴-۳-۵ ورود داده‌ها در نرم‌افزار Comfar

نرم‌افزار Camfar یکی از نرم‌افزارهای قوی و شناخته شده برای تسهیل در انجام محاسبات متنوع مالی و اقتصادی در تدوین گزارش‌ها توجیهی طرح‌های سرمایه‌گذاری است. پس از جمع‌آوری کلیه داده‌ها شامل اقلام مختلف هزینه‌ها و پارامترهای دیگر که در بخش‌های قبل توضیح داد شد، داده‌ها در نرم‌افزار Camfar وارد شد و طرح استخراج به روش روباز برای نرم‌افزار تعریف گردید. در شکل ۴-۲ نحوه ورود داده‌ها در نرم‌افزار نشان داده شده است.



شکل ۴-۲- ورود داده‌ها در نرم‌افزار Camfar.

۴-۳-۶ نتایج خروجی نرم‌افزار Comfar

پس از ورود داده‌ها به نرم‌افزار و انجام محاسبات، جدول خلاصه عملکردی از طرح استخراج روباز شامل کلیه اقلام هزینه ثابت و هزینه‌های عملیاتی، سرمایه در گردش، بهای تمام‌شده محصول، سود خالص، درآمد و .....محاسبه شده است. همچنین دو پارامتر مهم ارزش خالص فعلی کل سرمایه[۱] (NPV) و نرخ بازگشت داخلی سرمایه‌گذاری[۲] (IRR) جهت تحلیل اقتصادی یا عدم اقتصادی بودن طرح استخراج به روش روباز مشخص می‌شود. در شکل‌های ۴-۳ تا ۴-۱۲، لیستی از خلاصه عملکرد مالی طرح استخراج روباز توسط نرم‌افزار Camfar نشان داده شده است.

[۱] Net Present Value

[۲] Internal Rate of Return

عنوان پروژه:	feasibility study of surface Stone mine
شرح پروژه:	
زمان ورود داده ها:	
طبقه بندی پروژه:	پروژه جدید
فاز ساخت:	1/1398 - 12/1398
مدت:	1 سال
فاز بهره برداری:	1/1399 - 12/1405
مدت:	7 سال
واحدپولی حسابداری:	(LC) Rials
واحد شمارش:	مطلق
واحد پولی داخلی:	(LC) Rials

هزینه های سرمایه گذاری

	کل فاز ساخت	کل فاز تولید	کل سرمایه گذاری
کل هزینه های ثابت سرمایه گذاری	162,481,000,000.00	0.00	162,481,000,000.00
کل مخارج پیش از تولید	0.00	0.00	0.00
مخارج پیش از تولید(خالص از بهره)	0.00	0.00	0.00
بهره	0.00	0.00	0.00
افزایش در سرمایه در گردش خالص	0.00	7,405,492,768.33	7,405,492,768.33
کل هزینه های سرمایه گذاری	162,481,000,000.00	7,405,492,768.33	169,886,492,768.33

شکل ۴-۳- خلاصه‌ای از اطلاعات زمانی و هزینه‌های سرمایه‌گذاری ثابت طرح استخراج به روش روباز.

درآمد وهزینه های عملیاتی

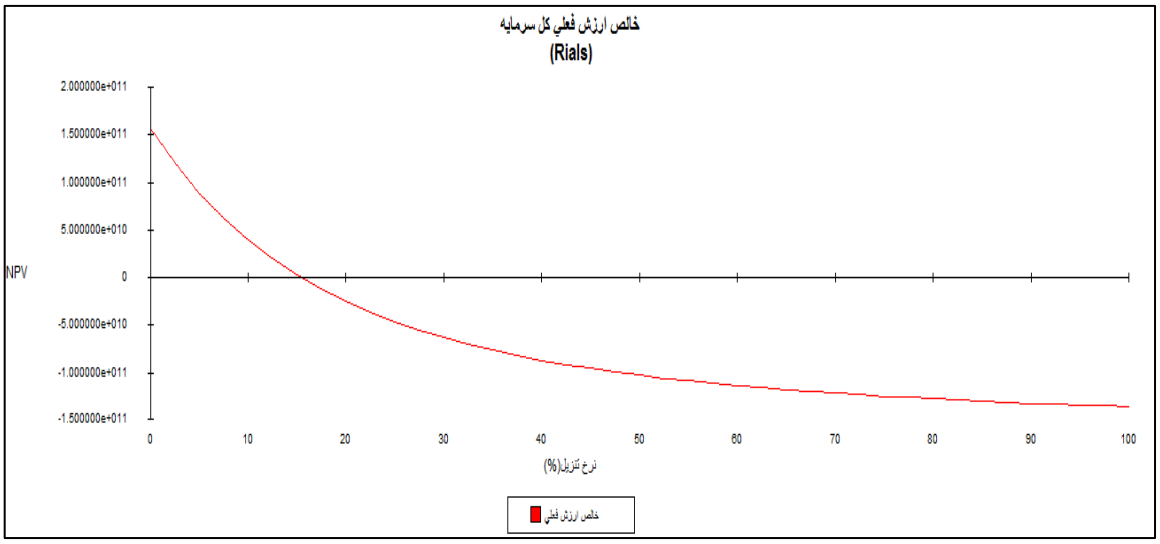
	سال اول 1399	سال مرجع 1401	سال آخر 1405
درآمد فروش	100,800,000,000.00	144,000,000,000.00	144,000,000,000.00
هزینه های تولید(کارخانه)	71,019,075,560.00	98,731,760,600.00	98,731,760,600.00
هزینه های سربار اداری	0.00	0.00	0.00
هزینه های عملیاتی	71,019,075,560.00	98,731,760,600.00	98,731,760,600.00
استهلاک	11,904,490,000.00	11,904,490,000.00	11,904,490,000.00
هزینه های تامین مالی	0.00	0.00	0.00
کل هزینه های تولید	82,923,565,560.00	110,636,250,600.00	110,636,250,600.00
هزینه های بازاریابی	0.00	0.00	0.00
بهای تمام شده محصولات	82,923,565,560.00	110,636,250,600.00	110,636,250,600.00
بهره سپرده های کوتاه مدت	0.00	0.00	0.00
سود ناخالص عملیاتی	17,876,434,440.00	33,363,749,400.00	33,363,749,400.00
درآمد غیر مترقبه	0.00	0.00	0.00
زیان غیر مترقبه	0.00	0.00	0.00
ذخایر استهلاک	0.00	0.00	0.00
سودناخالص	17,876,434,440.00	33,363,749,400.00	33,363,749,400.00
ذخایر سرمایه گذاری	0.00	0.00	0.00
سود مشمول مالیات	17,876,434,440.00	33,363,749,400.00	33,363,749,400.00
مالیات بر درآمد(شرکت)	4,469,108,610.00	8,340,937,350.00	8,340,937,350.00
سود خالص	13,407,325,830.00	25,022,812,050.00	25,022,812,050.00

شکل ۴-۴- درآمد و هزینه‌های عملیاتی طرح استخراج به روش روباز.

نسبتها

خالص ارزش فعلی کل سرمایه	در %15.00	3,151,829,227.88
نرخ بازده داخلی سرمایه گذاری (IRR)	%15.50	
IRR تعدیل شده سرمایه گذاری	%15.50	
خالص ارزش فعلی کل حقوق صاحبان سهام	در %15.00	3,151,829,227.88
نرخ بازده داخلی حقوق صاحبان سرمایه (IRRE)	%15.50	
IRR تعدیل شده حقوق صاحبان سرمایه	%15.50	
خالص ارزش فعلی محاسبه میشود برای	12/1398	

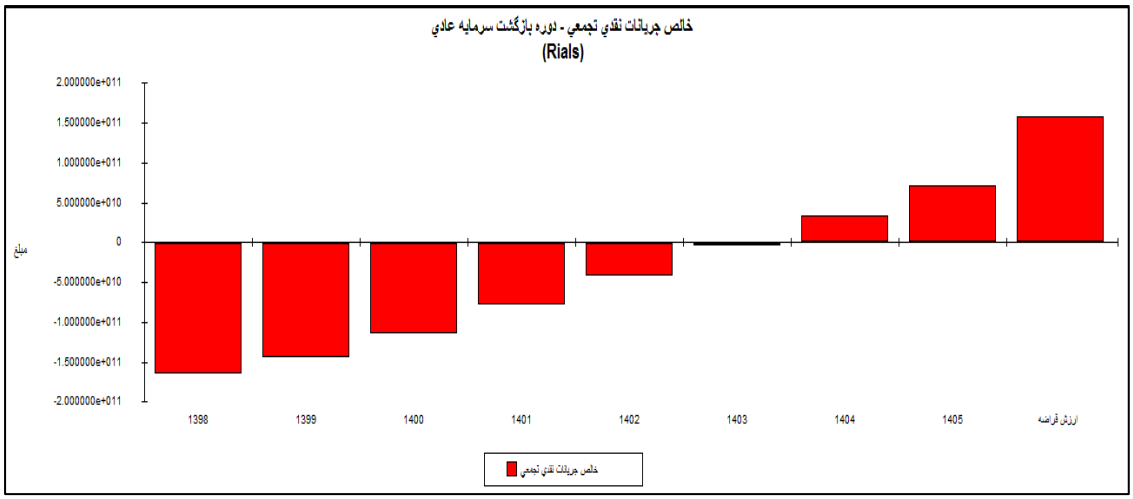
شکل ۴-۵- نسبت‌های مالی طرح استخراج به روش روباز.



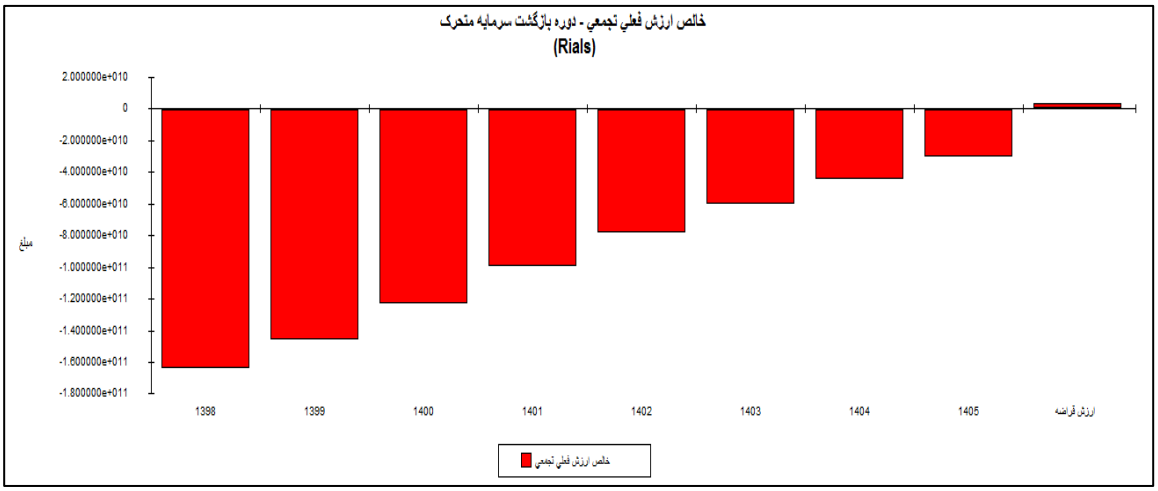
شکل ۴-۶- نمودار مقدار ارزش خالص فعلی در نرخ تنزیل‌های مختلف.

خالص ارزش فعلي	در %15.00	3,151,829,227.88	
نرخ بازده داخلي	%15.50		
نرخ بازده داخلي تعديل شده	%15.50		
دوره بازگشت سرمايه عادي	در %0.00	6.07سال	= 1404
دوره بازگشت سرمايه متحرک	در %15.00	8.90سال	= 1406
نسبت خالص ارزش فعلي	0.02		

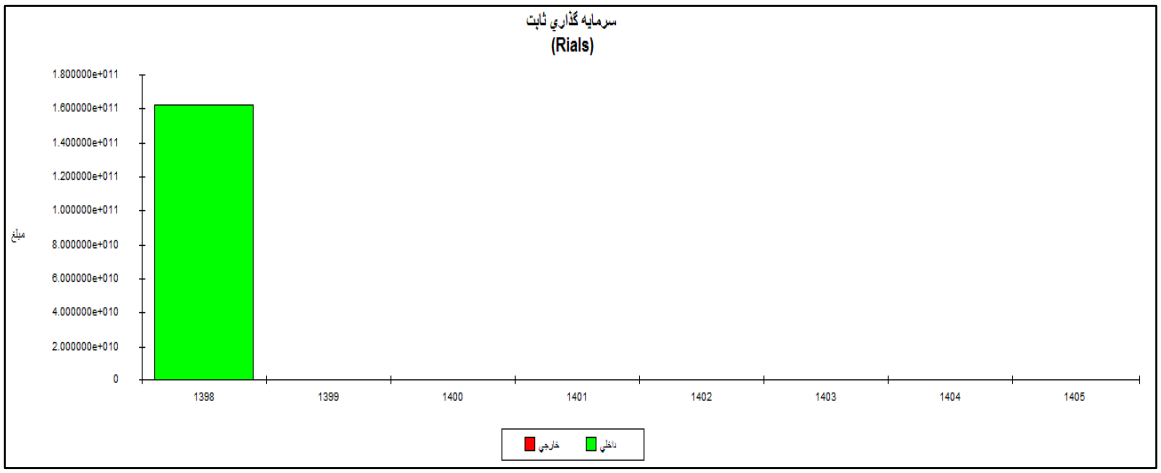
شکل ۴-۷- دوره بازگشت سرمایه عادی و متحرک.



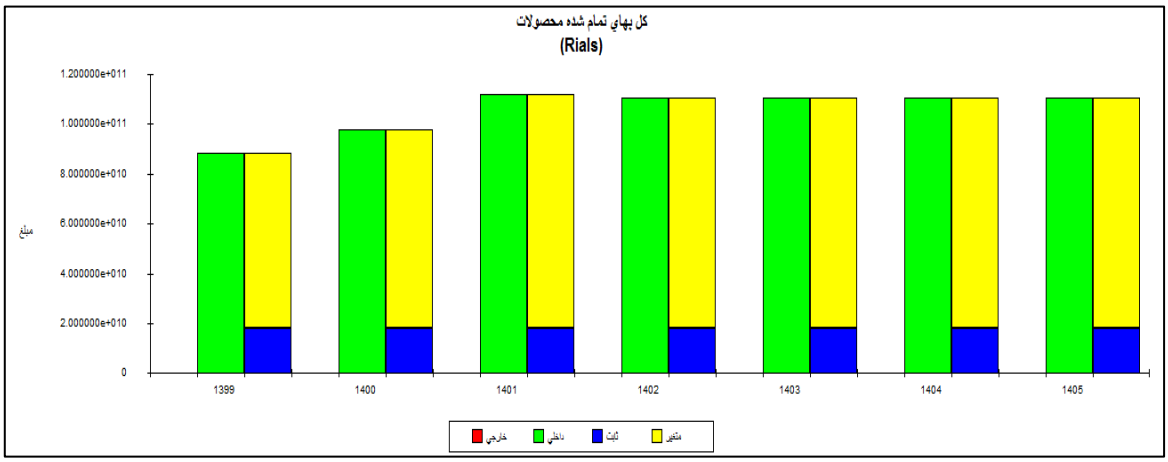
شکل ۴-۸- نمودار دوره بازگشت سرمایه عادی.



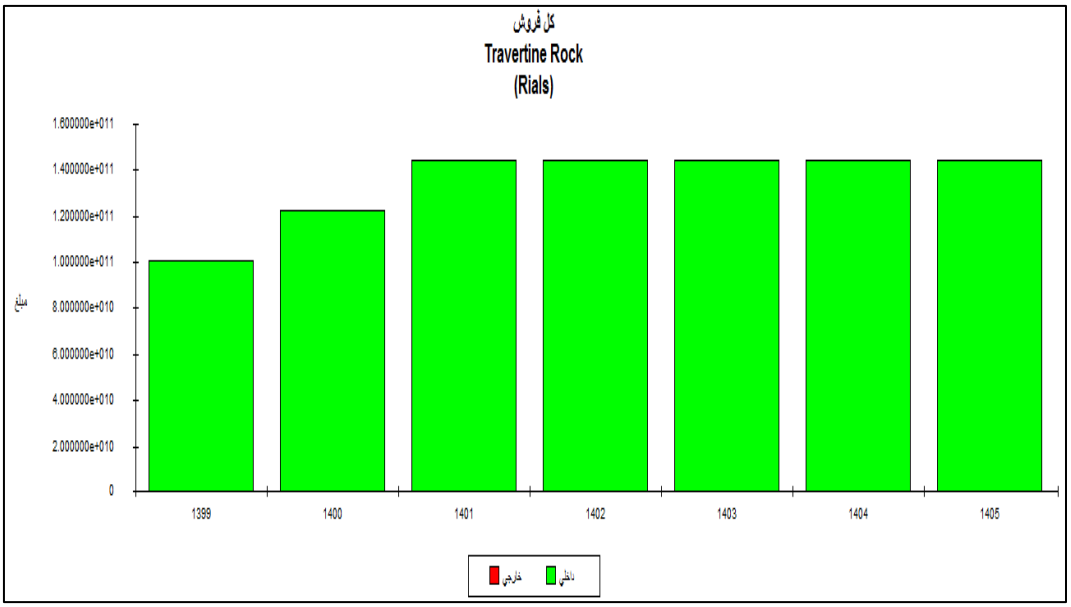
شکل ۴-۹- نمودار دوره بازگشت سرمایه متحرک.



شکل ۴-۱۰- نمودار کل هزینه‌های سرمایه‌گذاری ثابت.



شکل ۴-۱۱- نمودار کل هزینه‌های عملیاتی (ثابت و متغیر).



شکل ۴-۱۲- نمودار کل فروش محصول.

۴-۳-۷ تحلیل شاخص‌های مالی طرح استخراج به روش روباز

در جدول ۴-۱۰ شاخص‌های مالی طرح استخراج به روش روباز ارائه شده است.

جدول ۴-۱۰- شاخص‌های مالی طرح استخراج به روش روباز

ردیف	شرح	مقدار
۱	نرخ بازده داخلی کل طرح (IRR) (درصد)	۱۵/۵۰
۲	ارزش خالص فعلی کل سرمایه (NPV) (ریال)	۳،۱۵۱،۸۲۹،۰۰۰
۳	دوره بازگشت سرمایه عادی (سال)	۶/۰۷
۴	دوره بازگشت سرمایه متحرک (سال)	۸/۹۰

طبق محاسبات صورت گرفته که در جدول ۴-۱۰ نشان داده شد، با اعمال نرخ تنزیل ۱۵٪ ارزش خالص فعلی کل سرمایه برابر ۳،۱۵۱،۸۲۹،۰۰۰ ریال تعیین شده است که نشان می‌دهد اجرای طرح از لحاظ اقتصادی توجیه‌پذیر است.

نرخ بازده داخلی (IRR)، نرخ تنزیلی است که مقدار ارزش خالص فعلی (NPV) را صفر می‌کند. شاخص مالی حداقل نرخ بازده جذب (MARR)[1] مبنای پذیرش یا رد طرح بر اساس IRR است. به این صورت که اگر شاخص IRR طرح بزرگ‌تر و یا مساوی MARR باشد، طرح توجیه‌پذیر است و در غیر این صورت، طرح توجیه اقتصادی نخواهد داشت [۳۶]. محاسبات نشان می‌دهند مقدار IRR برای طرح استخراج به روش روباز برابر ۱۵/۵۰ درصد است که بزرگ‌تر از حداقل نرخ جذب‌کننده (۱۵٪) است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که طرح ازلحاظ اقتصادی توجیه‌پذیر است.

دوره بازگشت سرمایه نشان‌دهنده سال‌های بعد از دوران سرمایه‌گذاری است که اصل وجوه نقد سرمایه‌گذاری شده بر اثر فعالیت‌های ناشی از طرح به داخل شرکت جریان خواهد یافت. به عبارت دیگر تعداد سال‌هایی که نیاز است تا جریان نقدی مثبت گردد. هرچه این شاخص کوچک‌تر باشد بیانگر سرعت بیشتر جبران جریان نقدی خروجی توسط جریان نقدی ورودی است [۳۶]. محاسبات این پروژه نشان می‌دهد که دوره بازگشت سرمایه در حالت عادی تقریباً ۶ سال و در حالت متحرک (با در نظر گرفتن ارزش زمانی پول) بیش از ۸ سال است.

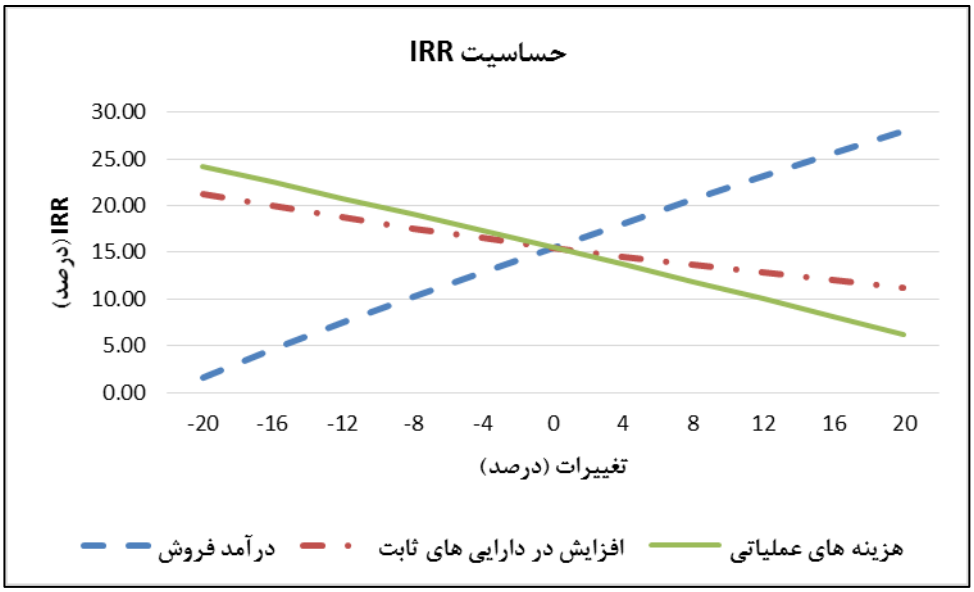
از نتایج فوق برمی‌آید که، هرچند مقدار ارزش خالص فعلی پروژه (NPV) مثبت و نرخ بازگشت داخلی سرمایه (IRR) بزرگ‌تر از حداقل نرخ جذب‌کننده است اما دوره بازگشت سرمایه متحرک (با در نظر گرفتن ارزش زمانی پول) بیش از ۸ سال (بیشتر از عمر معدن) است که بیانگر عدم توجیه‌پذیری طرح استخراج به روش روباز خواهد بود و لذا این طرح برای سرمایه‌گذار جذابیت ندارد.

۴-۳-۸ تحلیل حساسیت

در مبحث آنالیز حساسیت، وضعیت طرح استخراج به روش روباز از نظر IRR در حالت‌های گوناگون بررسی شده است. در این بخش تأثیر افزایش و کاهش فاکتورهای اصلی طرح نظیر درآمد فروش، دارایی‌های ثابت و هزینه‌های عملیاتی بر روی IRR آنالیز شده است. در بررسی حساسیت فرض شده

[1] Minimum Attractive Rate of Return

است که چنانچه درآمد فروش، دارایی‌های ثابت و هزینه‌های عملیاتی ۴، ۸، ۱۲، ۱۶ و ۲۰ درصد افزایش یا کاهش داشته باشند، میزان IRR چگونه خواهد بود. در شکل ۴-۱۳، حالت‌های گوناگون تغییرات در درآمد فروش، دارایی‌های ثابت و هزینه‌های عملیاتی و تأثیر آن بر نرخ بازگشت داخلی سرمایه (IRR) نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۳- نمودار تحلیل حساسیت IRR نسبت به تغییرات در درآمد فروش، دارایی‌های ثابت و هزینه‌های عملیاتی.

با توجه به نمودار تحلیل حساسیت انجام شده بر روی IRR (شکل ۴-۱۳) مشاهده می شود که درآمد فروش بیشترین تاثیر و افزایش در دارایی‌های ثابت کمترین تاثیر را بر روی IRR دارد.

۴-۳-۸-۱ درآمد فروش

در جدول ۴-۱۱ حالت‌های گوناگون تغییرات درآمد حاصل از فروش و تأثیر آن بر نرخ بازگشت داخلی سرمایه (IRR) آورده شده است.

جدول ۴-۱۱- مقادیر IRR در حالت‌های گوناگون تغییرات در درآمد فروش

IRR (درصد)	**تغییرات در درآمد فروش (درصد)**
۱/۶۴	-۲۰
۴/۶۰	-۱۶
۷/۴۳	-۱۲
۱۰/۱۸	-۸
۱۲/۸۷	-۴
۱۵/۵۰	۰
۱۸/۰۹	۴
۲۰/۶۲	۸
۲۳/۱۱	۱۲
۲۵/۵۶	۱۶
۲۷/۹۸	۲۰

کاهش درآمد حاصل از فروش باعث کاهش نرخ بازگشت داخلی سرمایه (IRR) خواهد شد. بنابراین ریسک طرح مربوط به کاهش درآمد فروش و تأثیر آن در میزان IRR خواهد بود. همان‌طور که در جدول ۴-۱۱ مشاهده می‌شود، با کاهش درآمد فروش تا ۴ درصد، مقدار IRR برابر ۱۲/۸۷ درصد خواهد شد که این مقدار از حداقل نرخ جذب‌کننده (۱۵٪) کمتر بوده و منجر به عدم توجیه اقتصادی طرح استخراج به روش روباز خواهد شد.

۴-۳-۸-۲ دارایی‌های ثابت

در جدول ۴-۱۲ حالت‌های گوناگون تغییرات دارایی‌های ثابت و تأثیر آن بر نرخ بازگشت داخلی سرمایه (IRR) آورده شده است.

جدول ۴-۱۲- مقادیر IRR در حالت‌های گوناگون تغییرات در دارایی‌های ثابت

IRR (درصد)	**تغییرات در دارایی‌های ثابت (درصد)**
۲۱/۲۳	-۲۰
۱۹/۹۳	-۱۶
۱۸/۷۱	-۱۲
۱۷/۵۷	-۸
۱۶/۵۱	-۴
۱۵/۵۰	۰
۱۴/۵۶	۴
۱۳/۶۶	۸
۱۲/۸۲	۱۲
۱۲/۰۱	۱۶
۱۱/۲۵	۲۰

کاهش دارایی‌های ثابت باعث افزایش نرخ بازگشت داخلی سرمایه (IRR) و افزایش در دارایی‌های ثابت باعث کاهش IRR خواهد شد. بنابراین ریسک طرح مربوط به افزایش دارایی‌های ثابت و تأثیر آن در میزان IRR خواهد بود. همان‌طور که در جدول ۴-۱۲ مشاهده می‌شود، با افزایش دارایی‌های ثابت تا ۴ درصد، مقدار IRR برابر ۱۴/۵۶ درصد خواهد شد که این مقدار از حداقل نرخ جذب‌کننده (۱۵٪) کمتر بوده که منجر به عدم توجیه اقتصادی طرح استخراج به روش روباز خواهد شد.

۴-۳-۸-۳ هزینه‌های عملیاتی

در جدول ۴-۱۳ حالت‌های گوناگون تغییرات هزینه‌های عملیاتی و تأثیر آن بر نرخ بازگشت داخلی سرمایه (IRR) آورده شده است.

جدول ۴-۱۳- مقادیر IRR در حالت‌های گوناگون تغییرات در هزینه‌های عملیاتی

IRR (درصد)	**تغییرات در هزینه‌های عملیاتی (درصد)**
۲۴/۲۳	-۲۰
۲۲/۵۲	-۱۶
۲۰/۸۰	-۱۲
۱۹/۰۶	-۸
۱۷/۲۹	-۴
۱۵/۵۰	۰
۱۳/۶۹	۴
۱۱/۸۶	۸
۹/۹۹	۱۲
۸/۱۰	۱۶
۶/۱۸	۲۰

کاهش هزینه‌های عملیاتی، افزایش IRR را در پی خواهد داشت و افزایش هزینه‌های عملیاتی، باعث کاهش IRR خواهد شد. بنابراین تغییرات در افزایش هزینه‌های عملیاتی فاکتور مهمی در توجیه‌پذیری یا عدم توجیه‌پذیری طرح خواهد بود. همان‌طور که در جدول ۴-۱۳ مشاهده می‌شود، با افزایش هزینه‌های عملیاتی تا ۴ درصد، مقدار IRR برابر ۱۳/۶۹ درصد خواهد شد که این مقدار از حداقل نرخ جذب‌کننده (۱۵٪) کمتر بوده که منجر به عدم توجیه اقتصادی طرح استخراج به روش روباز خواهد شد.

۴-۳-۹ جدول جریان نقدینگی D.C.F[1]

فعالیت‌های معدنی اعم از شکل‌های مختلف فنون معدنکاری و پروژه‌های فرآوری مواد معدنی نیز به صورت مجزا پس از تفکیک و تشریح سرفصل هزینه‌ها و تعریف فنی بخش‌های مختلف کار به شکل جدولی که می‌توان کلیه پارامترهای تأثیرگذار را یکجا در آن دید در طی سنوات بهره‌برداری و اجرا آورده می‌شود و تحت عنوان جدول جریان نقدینگی D.C.F در پایان هر طرح معدنی باید تکمیل گردد. در واقع جدول D.C.F تصویر خلاصه‌ای از طرح است [۳۸].

در جدول ۴-۱۴، جدول D.C.F طرح استخراج به روش روباز آورده شده است.

[1] Discounted Cash Flow

جدول ۴-۱۴- جریان نقدینگی D.C.F طرح استخراج به روش روباز (ارقام به میلیون ریال)

ردیف	شرح	سال صفر	سال اول	سال دوم	سال سوم	سال چهارم	سال پنجم	سال ششم	سال هفتم	ارزش اسقاطی
۱	میزان تولید سالانه (تن)	--	۲۵۲۰۰	۳۰۶۰۰	۳۶۰۰۰	۳۶۰۰۰	۳۶۰۰۰	۳۶۰۰۰	۳۶۰۰۰	--
۲	قیمت هرتن محصول	--	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	--
۳	درآمد	--	۱۰۰،۸۰۰	۱۲۲،۴۰۰	۱۴۴،۰۰۰	۱۴۴،۰۰۰	۱۴۴،۰۰۰	۱۴۴،۰۰۰	۱۴۴،۰۰۰	--
۴	هزینه جاری	--	۷۱،۰۱۹	۸۴،۸۷۵	۹۸،۷۳۲	۹۸،۷۳۲	۹۸،۷۳۲	۹۸،۷۳۲	۹۸،۷۳۲	--
۵	هزینه استهلاک	--	۱۱،۹۰۴	۱۱،۹۰۴	۱۱،۹۰۴	۱۱،۹۰۴	۱۱،۹۰۴	۱۱،۹۰۴	۱۱،۹۰۴	۷۹،۱۵۰
۶	درآمد مشمول مالیات	--	۱۷،۸۷۶	۲۵،۶۲۰	۳۳،۳۶۴	۳۳،۳۶۴	۳۳،۳۶۴	۳۳،۳۶۴	۳۳،۳۶۴	--
۷	مالیات	--	۴،۴۶۹	۶،۴۰۵	۸،۳۴۱	۸،۳۴۱	۸،۳۴۱	۸،۳۴۱	۸،۳۴۱	--
۸	نقد رسیده	--	۲۵،۳۱۲	۳۱،۱۲۰	۳۶،۹۲۷	۳۶،۹۲۷	۳۶،۹۲۷	۳۶،۹۲۷	۳۶،۹۲۷	۷۹،۱۵۰
۹	نقد رفته	۱۶۲،۴۸۱	--	--	--	--	--	--	--	--
۱۰	جریان نقدینگی	-۱۶۲،۴۸۱	۲۵،۳۱۲	۳۱،۱۲۰	۳۶،۹۲۷	۳۶،۹۲۷	۳۶،۹۲۷	۳۶،۹۲۷	۱۱۶،۰۷۷	--

۴-۴ طرح استخراج به روش زیرزمینی

۴-۴-۱ ابعاد اتاق و پایه‌ها در معدنکاری زیرزمینی

روش اتاق و پایه یکی از قدیمی‌ترین روش‌های استخراج معادن زیرزمینی است که برای استخراج لایه‌های تقریباً افقی و یا با شیب کم که ضخامتی بین ۲ تا ۴/۵ متر داشته باشند، مناسب است. در این روش استخراج ماده معدنی را به شکل اتاق‌هایی استخراج کرده و برای نگهداری سقف قسمتی از ماده معدنی را به صورت پایه جا می‌گذارند [۳۷]. این روش در ۱۵ سال اخیر به طور مؤثر برای معادن سنگ ساختمانی نیز به کار گرفته شده است.

برای تعیین ابعاد اتاق و پایه‌ها ابتدا امتیاز رده‌بندی Q با توجه به جدول ۴-۱۵ تعیین و سپس با استفاده از رابطه تخمین دهانه باز (رابطه ۴-۲)، مقدار دهانه اتاق ۲۰ متر محاسبه شده است. (در این رابطه مقدار ESR برابر ۱/۵ در نظر گرفته شده است). در ادامه، با توجه به ابعاد اتاق و روابط تئوری سطح تأثیر (رابطه ۴-۳) و روابط تجربی ارائه شده برای محاسبه مقاومت پایه‌ها در سنگ‌های سخت (جدول ۴-۱۶)، عرض پایه‌ها محاسبه شده است. ارتفاع پایه برابر ضخامت کانسار (۳ متر) در نظر گرفته شده است.

جدول ۴-۱۵- پارامترهای تعیین امتیاز رده‌بندی Q در معدن سنگ ساختمانی کپیول

SRF	J_w	J_a	J_r	J_n	RQD	Q
۱/۵	۱	۱	۳	۲	۹۰	۹۰

$$Q = \frac{RQD}{\mathrm{Jn}} \times \frac{Jr}{Ja} \times \frac{\mathrm{Jw}}{SRF} \qquad (۱-۴)$$

$$B = 2ESR.Q^{0.4} \qquad (۲-۴)$$

$$F_S = \frac{\sigma_P}{S_P} = \frac{\sigma_P}{\frac{\gamma h}{1-R}} \qquad (۳-۴)$$

در رابطه فوق F_s ضریب ایمنی، σ_p مقاومت پایه (مگاپاسگال)، S_p تنش متوسط وارد بر پایه (مگاپاسگال)، γ وزن مخصوص ماده معدنی (کیلوگرم بر مترمکعب) و h برابر عمق معدن (متر) است. طبق گزارش معدنی در معدن سنگ ساختمانی کپیول، تنش قائم برابر ۱/۱۱۴ مگاپاسکال، عمق معدن برابر ۵۰ متر، مقاومت فشاری تک‌محوره نمونه سنگی برابر ۸۶ مگاپاسکال و مقدار ضریب ایمنی برابر ۲ است. با توجه به این اطلاعات و رابطه ۴-۳، عرض پایه، با چهار رابطه ارائه شده در جدول ۴-۱۶ تعیین و پس از میانگین‌گیری مقدار متوسط عرض پایه برابر ۷ متر محاسبه شده است.

جدول ۴-۱۶- روابط تجربی ارائه شده برای محاسبه مقاومت پایه‌ها در سنگ‌های سخت[۳۷]

ردیف	نویسنده	روابط	شرح
۱	Krauland و Soder (1987)	$\sigma_p = 0.3545\sigma_c(0.778 + 0.222\frac{W}{H})$	σ_p : مقاومت پایه (مگاپاسکال) σ_c : مقاومت فشاری نمونه (مگاپاسکال) W: عرض پایه (متر) H: ارتفاع پایه (متر)
۲	Potvin و همکاران (1989)	$\sigma_p = 0.42\sigma_c(\frac{W}{H})$	σ_p : مقاومت پایه (مگاپاسکال) σ_c : مقاومت فشاری نمونه (مگاپاسکال) W: عرض پایه (متر) H: ارتفاع پایه (متر)
۳	Sjoberg (1992)	$\sigma_p = 0.308\sigma_c(0.778 + 0.222\frac{W}{H})$	σ_p : مقاومت پایه (مگاپاسکال) σ_c : مقاومت فشاری نمونه (مگاپاسکال) W: عرض پایه (متر) H: ارتفاع پایه (متر)
۴	Van Heerden (1975)	$\sigma_p = 10 + 4.2\frac{W}{H}$	σ_p : مقاومت پایه (مگاپاسکال) W: عرض پایه (متر)، H: ارتفاع پایه (متر)

با توجه به محاسبات انجام شده ابعاد پایه‌ها برای معدن سنگ ساختمانی کپیول برابر ۳×۷×۷ متر و ابعاد اتاق برابر ۳×۲۰×۲۰ متر و مقدار ضریب بازیابی R، برابر ۹۳ درصد محاسبه شده است. به عبارت دیگر ۹۳ درصد از کل ذخیره (۲۴۰۰۰۰ تن)، یعنی ۲۲۳۰۰۰ تن از کانسار قابل استخراج بوده و مابقی به عنوان پایه باقی گذاشته می‌شود.

۴-۴-۲ سرعت برش دستگاه اره زنجیری

سرعت تولید با دستگاه اره زنجیری در معادن سنگ ساختمانی برابر ۴ مترمکعب در ساعت است [۳۸]. با توجه به این سرعت برش و ظرفیت بهره‌برداری سالیانه معدن سنگ ساختمانی کپیول (۳۶۰۰۰ تن در سال)، استخراج سالانه این معدن در معدنکاری زیرزمینی برابر ۲۶۰۰۰ تن در سال در نظر گرفته شده است.

۴-۴-۳ وضعیت مالی و اقتصادی طرح استخراج به روش زیرزمینی

این قسمت حاوی خلاصه‌ای از اطلاعات و مشخصات پروژه است که شامل نوع روش استخراج، ظرفیت استخراج سالانه معدن، قیمت فروش محصول، نرخ بهره بانکی، مالیات و ... است. با توجه به مقدار تولید سالانه ۲۶۰۰۰ تن، دوران بهره‌برداری ۹ ساله در نظر گرفته شده است. در جداول ۴-۱۷ و ۴-۱۸ خلاصه‌ای از اطلاعات زمانی و مشخصات طرح استخراج به روش زیرزمینی معدن سنگ ساختمانی کپیول ارائه شده است.

جدول ۴-۱۷- خلاصه‌ای از اطلاعات زمانی طرح استخراج به روش زیرزمینی

روش استخراج	تاریخ شروع	دوران ساخت	دوران بهره‌برداری	تاریخ اتمام
زیرزمینی- اتاق و پایه	۱۳۹۸/۰۱	۱ ساله	۹ ساله	۱۴۰۷/۱۲

جدول ۴-۱۸- خلاصه‌ای از مشخصات طرح استخراج به روش زیرزمینی

ردیف	سال بهره‌برداری	سال اول	سال دوم	سال سوم	سال چهارم	سال پنجم	سال ششم	سال هفتم	سال هشتم	سال نهم
۱	محصول	سنگ تراورتن با ظرفیت اسمی ۲۶۰۰۰ تن در سال								
۲	مقدار کل ذخیره	۲۴۰۰۰۰ تن								
۳	ابعاد پایه‌ها (متر)	۷×۷×۳								
۴	ابعاد اتاق‌ها (متر)	۲۰×۲۰×۳								
۵	مقدارِ ذخیره قابل استخراج (تن)	۲۲۳۰۰۰								
۶	مقدار تولید (تن)	تولید با ٪۷۰ ظرفیت	تولید با ٪۸۵ ظرفیت	تولید با ظرفیت کامل ۲۶۰۰۰						
		۱۸۲۰۰	۲۲۱۰۰							
۷	قیمت فروش محصول (ریال/ تن)	۴،۰۰۰،۰۰۰								
۸	حقوق دولتی (ریال)	۴،۱۶۰،۰۰۰،۰۰۰								
۹	نرخ بهره بانکی	٪۱۵								
۱۰	نرخ مالیات	٪۲۵								

۴-۴-۴ هزینه‌های سرمایه‌گذاری ثابت

در این بخش هزینه‌های سرمایه‌گذاری ثابت برای طرح استخراج به روش زیرزمینی در جداول ۴-۱۹ تا ۴-۲۱ ارائه شده است. در جدول ۴-۱۹، سیستم نگهداری تونل دسترسی به ماده معدنی، به صورت ۱۰ سانتی‌متر بتن پاشی جداره تونل با بتن ۳۰۰ کیلوگرم سیمان در هر مترمکعب

در نظر گرفته شده است. در این جدول هزینه‌ی واحد ساختمان‌ها و تأسیسات مورد نیاز از فهرست بهای راه، باند و فرودگاه ۱۳۹۸ استخراج شده است[۳۵].

جدول ۴-۱۹- هزینه ساختمان‌ها و تأسیسات مورد نیاز برای طرح استخراج به روش زیرزمینی

ردیف	شرح تأسیسات	مشخصات	واحد	ارزش واحد (ریال)	ارزش کل(ریال)
۱	ساختمان‌های اداری، مسکونی و خدماتی	۲۰۰	مترمربع	۱۲،۰۰۰،۰۰۰	۲،۴۰۰،۰۰۰،۰۰۰
۲	حفاری تونل دسترسی	۲۱۶۰	مترمکعب	۸۱۵،۳۰۰	۱،۷۶۱،۰۰۰،۰۰۰
۳	سیستم نگهداری تونل دسترسی	۱۴۴۰	مترمربع	۱،۴۵۹،۰۰۰	۲،۱۰۰،۹۶۰،۰۰۰
۴	تعمیرگاه و جایگاه سرویس ماشین‌آلات	۱۵۰	مترمربع	۸،۰۰۰،۰۰۰	۱،۲۰۰،۰۰۰،۰۰۰
۵	انبار وسایل و لوازم	۱۰۰	مترمربع	۸،۰۰۰،۰۰۰	۸۰۰،۰۰۰،۰۰۰
۶	مخزن سوخت	۲×۲۰۰۰۰	لیتر	۶،۰۰۰	۲۴۰،۰۰۰،۰۰۰
۷	مخزن آب	۲×۲۰۰۰۰	لیتر	۵،۰۰۰	۲۰۰،۰۰۰،۰۰۰
جمع				۸،۷۰۱،۹۶۰،۰۰۰ ریال	

جدول ۴-۲۰- هزینه ماشین‌آلات مورد نیاز برای طرح استخراج به روش زیرزمینی

ردیف	نام دستگاه	مشخصات	تعداد	ارزش کل (ریال)
۱	لودر	KOMATSUWA700	۱	۱۹،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰
۲	دستگاه اره زنجیری	MOD.70 sup-h	۱	۴۵،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰
۳	لودر تونلی(LHD)	Atlas Copco ST3.5	۱	۲۸،۲۰۰،۰۰۰،۰۰۰
۴	بلدوزر	KOMATSU155	۱	۷،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰
۵	دامتراک	KOMATSU HD465-5	۱	۸،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰
۶	ژنراتور	VOLVOPENTA-M12	۲	۵،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰
۷	کمپرسور	CUMMINS700	۱	۳،۰۰۰،۰۰۰،۰۰۰
۸	موتور جوشکاری	دینام جوش	۱	۲۰۰،۰۰۰،۰۰۰
۹	کامیون حمل آب	BENZ	۱	۲،۵۰۰،۰۰۰،۰۰۰
۱۰	وانت	مزدا	۱	۵۵۰،۰۰۰،۰۰۰
۱۱	پمپ آب	-----	۱	۶۰،۰۰۰،۰۰۰
۱۲	پمپ تزریق بتن	T24	۱	۵۰۰،۰۰۰،۰۰۰
۱۳	فن تهویه	FBCD Series	۱	۱۶۵،۰۰۰،۰۰۰
جمع				۱۱۹،۱۷۵،۰۰۰،۰۰۰ ریال

جدول ۴-۲۱- جمع هزینه‌های سرمایه‌گذاری ثابت برای طرح استخراج به روش زیرزمینی

ردیف	شرح	هزینه (ریال)	نحوه مستهلک کردن دارایی	
			سال	قراضه
۱	هزینه‌های آماده‌سازی	۴،۳۰۱،۹۶۰،۰۰۰	۲۰	٪۱۰
۲	کارهای عمرانی و ساخت	۴،۴۰۰،۰۰۰،۰۰۰	۱۵	٪۱۰
۳	تأمین ماشین‌آلات و تجهیزات	۱۱۹،۱۷۵،۰۰۰،۰۰۰	۱۰	٪۱۰
۴	هزینه‌های پیش‌بینی‌نشده	۱۲،۶۹۳،۹۰۰،۰۰۰	۱۰	٪۱۰
۵	جمع کل هزینه‌های سرمایه‌گذاری ثابت	۱۳۹،۶۳۲،۹۰۰،۰۰۰	---	---
۶	سرمایه در گردش	۲،۹۴۲،۲۷۳،۹۰۴	---	---
جمع		۱۴۳،۶۰۶،۹۲۹،۹۰۴ ریال		

۴-۴-۵ هزینه‌های عملیاتی

در این بخش هزینه‌های عملیاتی برای طرح استخراج به روش زیرزمینی در جداول ۴-۲۲ تا ۴-۲۴ ارائه شده است.

جدول ۴-۲۲- هزینه نیروی انسانی مورد نیاز برای طرح استخراج به روش زیرزمینی

ردیف	شرح	تعداد	دستمزد ماهیانه هر نفر (ریال)	کل دستمزد ماهیانه پرداختی (ریال)
۱	سرپرست معدن	۱	۴۷،۰۰۰،۰۰۰	۴۷،۰۰۰،۰۰۰
۲	مهندس معدن	۱	۴۵،۰۰۰،۰۰۰	۴۵،۰۰۰،۰۰۰
۳	تکنسین مکانیک	۱	۴۰،۰۰۰،۰۰۰	۴۰،۰۰۰،۰۰۰
۴	مسئول تدارکات	۱	۲۵،۰۰۰،۰۰۰	۲۵،۰۰۰،۰۰۰
۵	تکنسین برق	۱	۴۵،۰۰۰،۰۰۰	۴۵،۰۰۰،۰۰۰
۶	اپراتور اره زنجیری و کمک	۲	۳۱،۰۰۰،۰۰۰	۶۲،۰۰۰،۰۰۰
۸	کارگر ماهر	۱	۲۳،۰۰۰،۰۰۰	۲۳،۰۰۰،۰۰۰
۹	کارگر ساده	۲	۲۰،۰۰۰،۰۰۰	۴۰،۰۰۰،۰۰۰
۱۰	راننده دامتراک	۱	۳۳،۰۰۰،۰۰۰	۳۳،۰۰۰،۰۰۰
۱۱	راننده لودر	۱	۳۳،۰۰۰،۰۰۰	۳۳،۰۰۰،۰۰۰
۱۲	راننده بولدوزر	۱	۳۳،۰۰۰،۰۰۰	۳۳،۰۰۰،۰۰۰
۱۳	راننده لودر تونلی	۱	۳۵،۰۰۰،۰۰۰	۳۵،۰۰۰،۰۰۰
۱۴	سرویس‌کار و مکانیک	۱	۲۳،۰۰۰،۰۰۰	۲۳،۰۰۰،۰۰۰
۱۵	کارمند اداری و خدماتی	۲	۲۰،۰۰۰،۰۰۰	۴۰،۰۰۰،۰۰۰
۱۶	آشپز	۲	۲۰،۰۰۰،۰۰۰	۴۰،۰۰۰،۰۰۰
۱۷	انباردار و نگهبان	۲	۲۲،۰۰۰،۰۰۰	۴۴،۰۰۰،۰۰۰
۱۸	پرسنل مربوط به سیستم نگهداری	۳	۲۲،۰۰۰،۰۰۰	۶۶،۰۰۰،۰۰۰
جمع		۲۴	-	۶۷۴،۰۰۰،۰۰۰

برای محاسبه هزینه پرسنلی سالیانه داریم:

الف) کل دستمزد پرداختی سالیانه:

۶۷۴،۰۰۰،۰۰۰×۱۲= ۸،۰۸۸،۰۰۰،۰۰۰

ب) حق بیمه سهم کارفرما:٪۲۳ × الف

۸،۰۸۸،۰۰۰،۰۰۰×۲۳٪= ۱،۸۶۰،۲۴۰،۰۰۰

ج) پاداش و ذخیره سابقه کار سالیانه: (معادل یک ماه حقوق دستمزد پرسنل):

۶۷۴،۰۰۰،۰۰۰

د) سایر موارد: حقوق مسئول فنی معدن، ماهیانه ۱۱،۰۰۰،۰۰۰ ریال که سالیانه بالغبر ۱۳۲،۰۰۰،۰۰۰ ریال خواهد بود.

با جمع مقادیر بدست آمده از بندهای الف، ب، ج و د هزینه پرسنلی سالیانه، ۱۰،۷۵۴،۲۴۰،۰۰۰ ریال بدست می آید.

جدول ۴-۲۳- هزینه ابزارآلات، لوازم و مواد مصرفی برای طرح استخراج به روش زیرزمینی

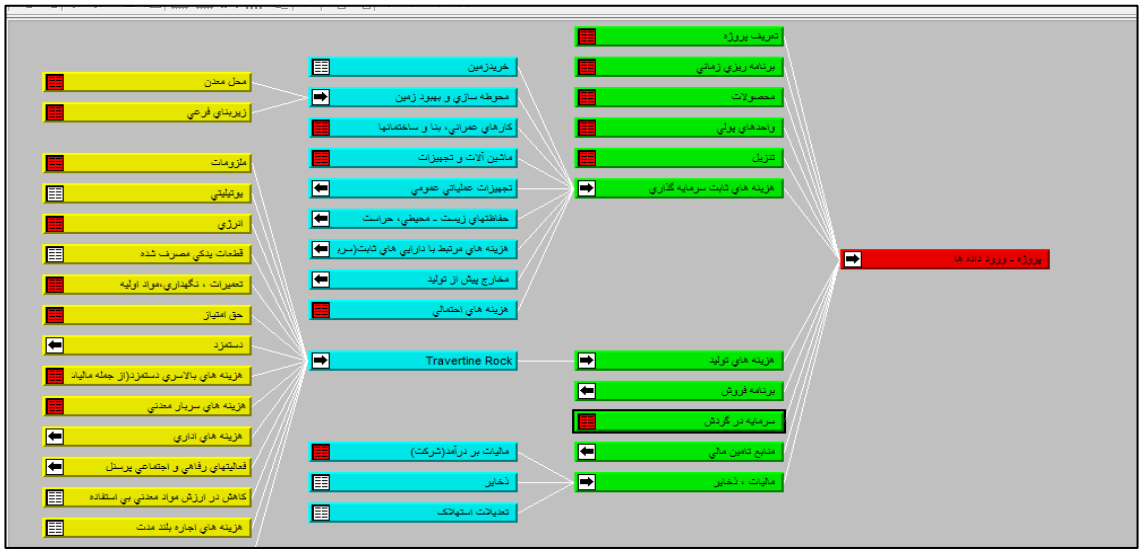
ردیف	شرح	مشخصات	تعداد یا مقدار	ارزش واحد (ریال)	ارزش کل (ریال)
۱	چکش حفاری	۱۸ کیلویی	۲ عدد	۵۰،۰۰۰،۰۰۰	۱۰۰،۰۰۰،۰۰۰
۲	کابل	فشارقوی	۵۰۰ متر	۱،۰۰۰،۰۰۰	۵۰۰،۰۰۰،۰۰۰
۳	مواد مصرفی اره زنجیری	----	----	----	۵۳۳،۰۰۰،۰۰۰
۴	شلنگ هوای فشرده	۳/۴ اینچ و ۲ اینچ	۳۰۰ متر	۳۵۰،۰۰۰	۱۰۵،۰۰۰،۰۰۰
۵	نعل و پارس	از جنس آهن و فولاد	۲۰ سری	۷۰۰،۰۰۰	۱۴،۰۰۰،۰۰۰
۶	لباس کار	برای پرسنل	۳۰ دست	۲۰۰،۰۰۰	۶،۰۰۰،۰۰۰
۷	بنزین	وانت	۵۰۰۰ لیتر	۱۰،۰۰۰	۵۰،۰۰۰،۰۰۰
۸	گازوییل	ماشین‌آلات سنگین	۵۰۰۰۰۰ لیتر	۲،۵۰۰	۱،۲۵۰،۰۰۰،۰۰۰
۹	روغن‌موتور	ایرانول D-9000	۱۲۰۰۰ لیتر	۱۴۰،۰۰۰	۱،۶۸۰،۰۰۰،۰۰۰
۱۰	روغن هیدرولیک	ماشین‌آلات	۳۰۰۰ لیتر	۲۰۰،۰۰۰	۶۰۰،۰۰۰،۰۰۰
۱۱	غذای کارکنان	نیمروز یک وعده	۳۰	۱۰۰،۰۰۰	۹۰۰،۰۰۰،۰۰۰
جمع					۵،۷۴۰،۰۰۰،۰۰۰ ریال

جدول ۴-۲۴- هزینه‌های عملیاتی سالیانه برای طرح استخراج به روش زیرزمینی

ردیف	شرح	هزینه (ریال)	درصد هزینه‌های متغیر
۱	تأمین مواد مصرفی	۲،۱۶۰،۰۰۰،۰۰۰	٪۵۰
۳	تأمین سوخت و انرژی	۳،۵۸۰،۰۰۰،۰۰۰	٪۸۰
۴	تعمیر و نگهداری	۱۲،۱۳۷،۵۰۰،۰۰۰	٪۱۰۰
۵	حقوق دولتی	۴،۱۶۰،۰۰۰،۰۰۰	٪۱۰۰
۶	نیروی انسانی	۱۰،۷۵۴،۲۴۰،۰۰۰	٪۷۰
۷	بالاسری	۳،۲۲۶،۲۷۲،۰۰۰	٪۷۰
۸	پیش‌بینی‌نشده	۳،۶۰۱،۸۰۱،۲۰۰	٪۱۰۰
جمع		۳۹،۶۱۹،۸۱۳،۲۰۰ریال	

۴-۴-۶ ورود داده‌ها در نرم‌افزار Comfar

پس از جمع‌آوری کلیه داده‌ها شامل اقلام مختلف هزینه‌ها و پارامترهای دیگر که در بخش‌های قبل توضیح داد شد، داده‌ها در نرم‌افزار Comfar وارد شد و طرح استخراج به روش زیرزمینی برای نرم‌افزار تعریف شد. در شکل ۴-۱۴ نحوه ورود داده‌ها در نرم‌افزار نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۴- نحوه ورود داده‌ها در نرم‌افزار Comfar.

۴-۴-۷ نتایج خروجی نرم‌افزارComfar

پس از ورود داده‌ها به نرم‌افزار و انجام محاسبات، جدول خلاصه عملکردی از طرح استخراج زیرزمینی شامل کلیه اقلام هزینه ثابت و هزینه‌های عملیاتی، سرمایه در گردش، بهای تمام‌شده محصول، سود خالص، درآمد و .....محاسبه شده است. همچنین دو پارامتر مهم ارزش خالص فعلی کل سرمایه (NPV) و نرخ بازگشت داخلی سرمایه‌گذاری (IRR) جهت تحلیل اقتصادی یا عدم اقتصادی بودن طرح استخراج به روش زیرزمینی مشخص شده است. در شکل‌های ۴-۱۵ تا ۴-۲۴، لیستی از خلاصه عملکرد مالی طرح استخراج به روش زیرزمینی توسط نرم‌افزار Camfar نشان داده شده است.

عنوان پروژه:	Feasibility Study Of Underground Stone Mine
شرح پروژه:	
زمان ورود داده ها:	
طبقه بندي پروژه:	پروژه جديد
فاز ساخت:	1/1398 - 12/1398
مدت:	1 سال
فاز بهره برداري:	1/1399 - 12/1407
مدت:	9 سال
واحدپولي حسابداري:	(LC) Rials
واحد شمارش:	مطلق
واحد پولي داخلي:	(LC) Rials

هزينه هاي سرمايه گذاري

	کل فاز ساخت	کل فاز توليد	کل سرمايه گذاري
کل هزينه هاي ثابت سرمايه گذاري	140,664,656,000.00	0.00	140,664,656,000.00
کل مخارج پيش از توليد	0.00	0.00	0.00
مخارج پيش از توليد(خالص از بهره)	0.00	0.00	0.00
بهره	0.00	0.00	0.00
افزايش در سرمايه در گردش خالص	0.00	3,260,023,903.33	3,260,023,903.33
کل هزينه هاي سرمايه گذاري	140,664,656,000.00	3,260,023,903.33	143,924,679,903.33

شکل ۴-۱۵- خلاصه‌ای از اطلاعات زمانی و هزینه‌های سرمایه‌گذاری ثابت طرح استخراج به روش زیرزمینی.

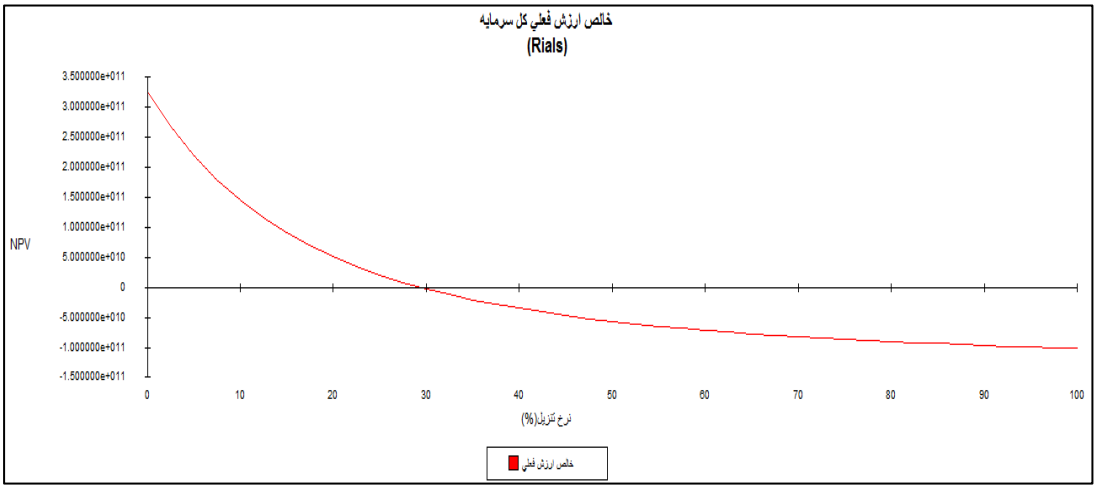
درآمد وهزينه هاي عملياتي

	سال اول 1399	سال مرجع 1401	سال آخر 1407
درآمد فروش	72,800,000,000.00	104,000,000,000.00	104,000,000,000.00
هزينه هاي توليد(کارخانه)	29,530,915,320.00	39,619,813,200.00	39,619,813,200.00
هزينه هاي سربار اداري	0.00	0.00	0.00
هزينه هاي عملياتي	29,530,915,320.00	39,619,813,200.00	39,619,813,200.00
استهلاک	12,386,540,640.00	12,386,540,640.00	12,386,540,640.00
هزينه هاي تامين مالي	0.00	0.00	0.00
کل هزينه هاي توليد	41,917,455,960.00	52,006,353,840.00	52,006,353,840.00
هزينه هاي بازاريابي	0.00	0.00	0.00
بهاي تمام شده محصولات	41,917,455,960.00	52,006,353,840.00	52,006,353,840.00
بهره سپرده هاي کوتاه مدت	0.00	0.00	0.00
سود ناخالص عملياتي	30,882,544,040.00	51,993,646,160.00	51,993,646,160.00
درآمد غير مترقبه	0.00	0.00	0.00
زيان غير مترقبه	0.00	0.00	0.00
ذخاير استهلاک	0.00	0.00	0.00
سودناخالص	30,882,544,040.00	51,993,646,160.00	51,993,646,160.00
ذخاير سرمايه گذاري	0.00	0.00	0.00
سود مشمول ماليات	30,882,544,040.00	51,993,646,160.00	51,993,646,160.00
ماليات بر درآمد(شرکت)	7,720,636,010.00	12,998,411,540.00	12,998,411,540.00
سود خالص	23,161,908,030.00	38,995,234,620.00	38,995,234,620.00

شکل ۴-۱۶- درآمد و هزینه‌های عملیاتی طرح استخراج به روش زیرزمینی.

نسبتها		
خالص ارزش فعلي كل سرمايه	در 15.00%	91,281,972,691.84
نرخ بازده داخلي سرمايه گذاري (IRR)	29.60%	
IRR تعديل شده سرمايه گذاري	29.60%	
خالص ارزش فعلي كل حقوق صاحبان سهام	در 15.00%	91,281,972,691.84
نرخ بازده داخلي حقوق صاحبان سرمايه (IRRE)	29.60%	
IRR تعديل شده حقوق صاحبان سرمايه	29.60%	
خالص ارزش فعلي محاسبه ميشود براي	12/1398	

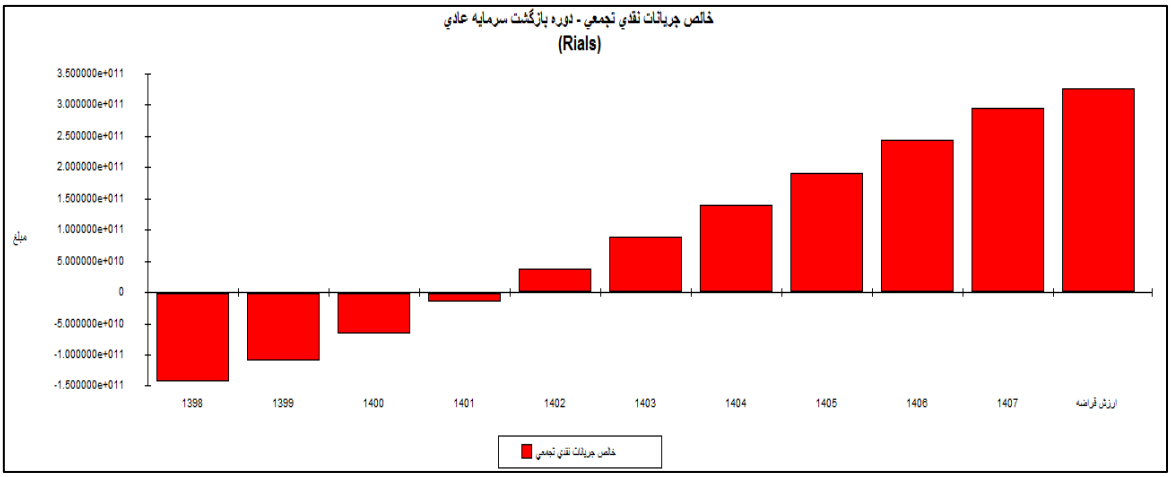
شکل ۴-۱۷- نسبت‌های مالی طرح استخراج به روش زیرزمینی.



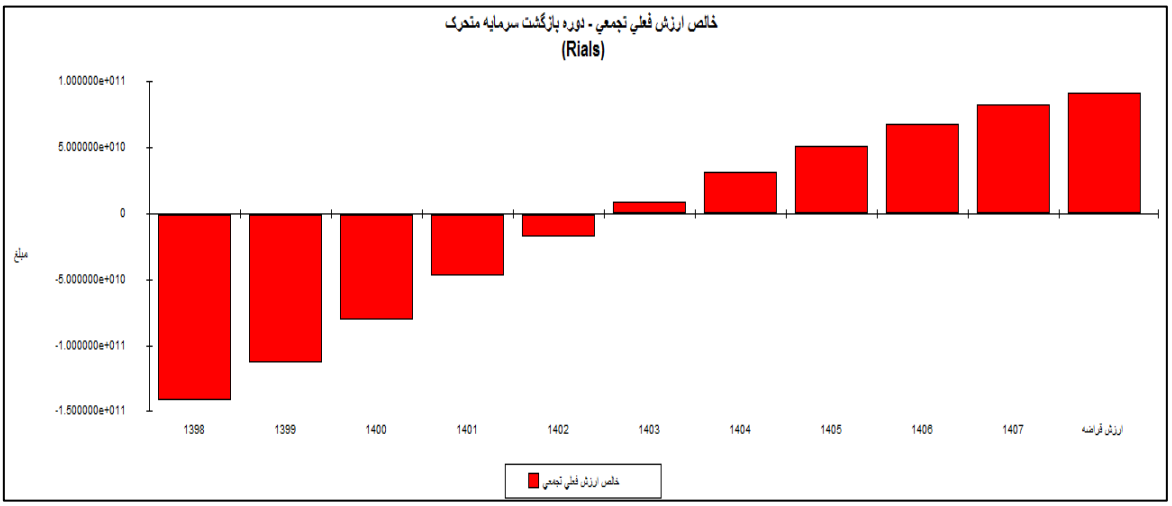
شکل ۴-۱۸- نمودار مقدار ارزش خالص فعلی در نرخ تنزیل‌های مختلف.

خالص ارزش فعلي		در 15.00%	91,281,972,691.84	
نرخ بازده داخلي		29.60%		
نرخ بازده داخلي تعديل شده		29.60%		
دوره بازگشت سرمايه عادي		در 0.00%	4.26سال	= 1402
دوره بازگشت سرمايه متحرک		در 15.00%	5.64سال	= 1403
نسبت خالص ارزش فعلي		0.64		

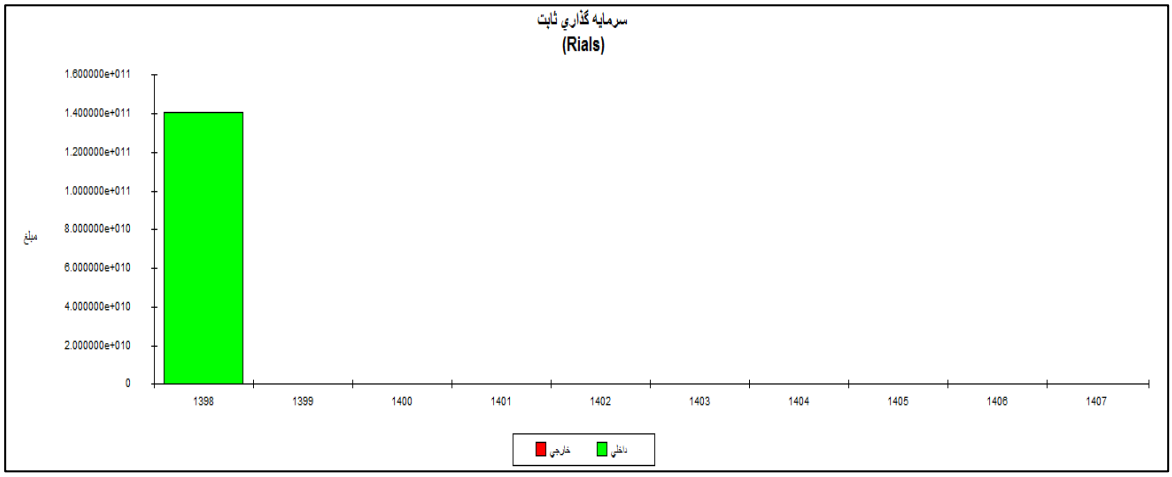
شکل ۴-۱۹- دوره بازگشت سرمایه عادی و متحرک.



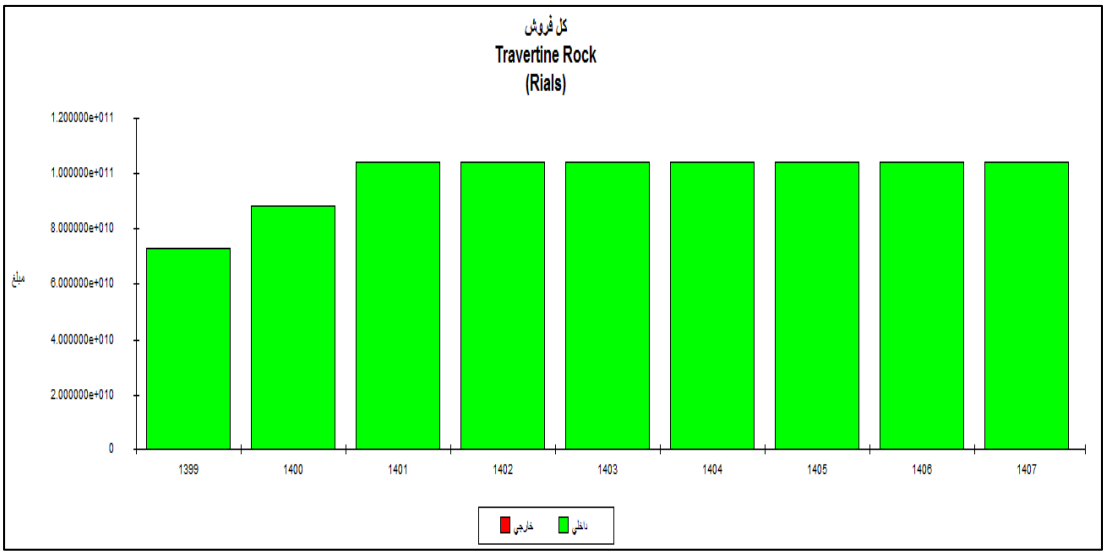
شکل ۴-۲۰- نمودار دوره بازگشت سرمایه عادی.



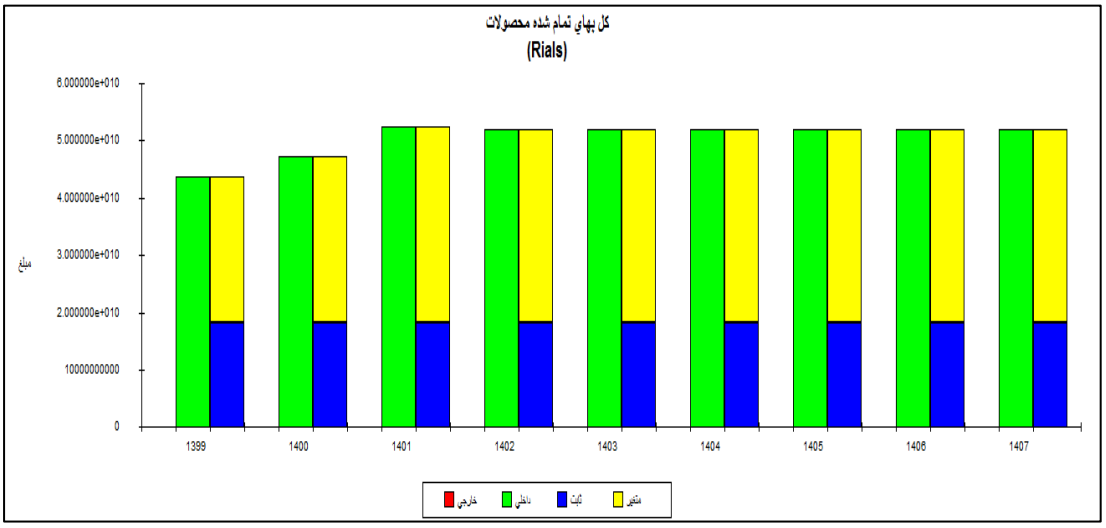
شکل ۴-۲۱- نمودار دوره بازگشت سرمایه متحرک.



شکل ۴-۲۲- نمودار کل سرمایه‌گذاری ثابت.



شکل ۴-۲۳- نمودار کل فروش محصول.



شکل ۴-۲۴- نمودار کل هزینه‌های عملیاتی (ثابت و متغیر).

۴-۲-۶ تحلیل شاخص‌های مالی طرح استخراج به روش زیرزمینی

در جدول ۴-۲۵، شاخص‌های مالی طرح استخراج به روش زیرزمینی ارائه شده است.

جدول ۴-۲۵- شاخص‌های مالی طرح استخراج به روش زیرزمینی

ردیف	شرح	مقدار
۱	نرخ بازده داخلی کل طرح (IRR) (درصد)	۲۹/۶۰
۲	ارزش خالص فعلی کل سرمایه (NPV) (ریال)	۹۱،۲۸۱،۹۷۳،۰۰۰
۳	دوره بازگشت سرمایه عادی (سال)	۴/۲۶
۴	دوره بازگشت سرمایه متحرک (سال)	۵/۶۴

طبق محاسبات صورت گرفته که در جدول ۴-۲۵ نشان داده شد، با اعمال نرخ تنزیل ۱۵٪، ارزش خالص فعلی کل سرمایه (NPV) برابر ۹۱،۲۸۱،۹۷۳،۰۰۰ ریال محاسبه شده است که نشان می‌دهد اجرای طرح از لحاظ اقتصادی توجیه‌پذیر است.

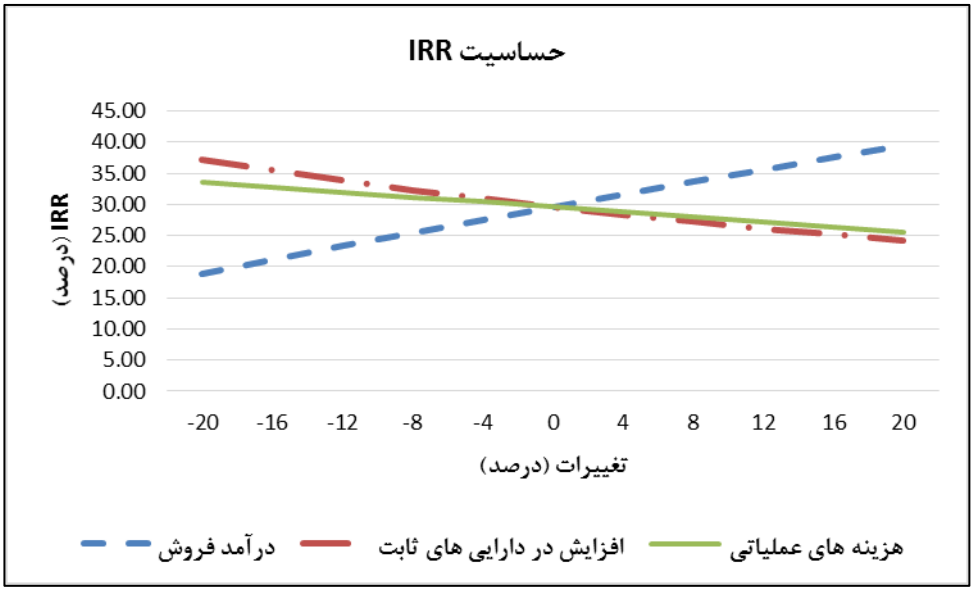
همان‌طور که در بخش‌های قبل اشاره شد، اگر شاخص نرخ بازگشت داخلی سرمایه (IRR) طرح بزرگ‌تر و یا مساوی حداقل نرخ جذب‌کننده باشد (MARR) باشد، طرح توجیه‌پذیر است و در غیر این صورت، طرح توجیه اقتصادی نخواهد داشت [۳۶]. محاسبات نشان می‌دهند مقدار IRR برای طرح استخراج به روش زیرزمینی برابر ۲۹/۶۰ درصد است که بزرگ‌تر از حداقل نرخ جذب‌کننده (۱۵٪) است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که طرح از لحاظ اقتصادی توجیه‌پذیر است.

دوره بازگشت سرمایه بیانگر تعداد سال‌هایی که نیاز است تا جریان نقدی مثبت گردد. هرچه این شاخص کوچک‌تر باشد بیانگر سرعت بیشتر جبران جریان نقدی خروجی توسط جریان نقدی ورودی است [۳۶]. محاسبات این طرح نشان می‌دهد که دوره بازگشت سرمایه در حالت عادی تقریباً ۴ سال و در حالت متحرک ۵/۶ سال است که از مقبولیت خوبی برخوردار است.

از نتایج فوق برمی‌آید که، مقدار ارزش خالص فعلی طرح (NPV) مثبت و نرخ بازگشت داخلی سرمایه (IRR) بزرگ‌تر از حداقل نرخ جذب‌کننده و دوره بازگشت سرمایه متحرک ۵/۶ ساله است. بنابراین طرح استخراج به روش زیرزمینی برای معدن کپیول از توجیه اقتصادی مناسبی برخوردار بوده و لذا این طرح برای سرمایه‌گذار جذابیت دارد.

۸-۴-۴ تحلیل حساسیت

در مبحث آنالیز حساسیت، وضعیت طرح استخراج به روش زیرزمینی از نظر IRR در حالت‌های گوناگون بررسی شده است. در این بخش تأثیر، افزایش و کاهش فاکتورهای اصلی طرح نظیر درآمد فروش، دارایی‌های ثابت و هزینه‌های عملیاتی بر روی IRR آنالیز شده است. در بررسی حساسیت فرض شده است که چنانچه درآمد فروش، دارایی‌های ثابت و هزینه‌های عملیاتی ۴، ۸، ۱۲، ۱۶ و ۲۰ درصد افزایش یا کاهش داشته باشند، میزان IRR چگونه خواهد بود. در شکل ۴-۲۵، حالت‌های گوناگون تغییرات در درآمد فروش، دارایی‌های ثابت و هزینه‌های عملیاتی و تأثیر آن بر نرخ بازگشت داخلی سرمایه (IRR) نشان داده شده است.



شکل ۴-۲۵- نمودار تحلیل حساسیت IRR نسبت به تغییرات در درآمد فروش، دارایی‌های ثابت و هزینه‌های عملیاتی.

با توجه به نمودار تحلیل حساسیت انجام شده به روی IRR (شکل ۴-۲۵) مشاهده می‌شود که درآمد فروش بیشترین تأثیر و هزینه‌های عملیاتی کمترین تاثیر را بر روی IRR دارد.

۴-۴-۸-۱ درآمد فروش

در جدول ۴-۲۶ حالت‌های گوناگون تغییرات درآمد حاصل از فروش و تأثیر آن بر نرخ بازگشت داخلی سرمایه (IRR) آورده شده است.

جدول ۴-۲۶- مقادیر IRR در حالت‌های گوناگون تغییرات در درآمد فروش

IRR (درصد)	**تغییرات در درآمد فروش (درصد)**
۱۸/۸۵	-۲۰
۲۱/۰۹	-۱۶
۲۳/۲۸	-۱۲
۲۵/۴۳	-۸
۲۷/۵۳	-۴
۲۹/۶۰	۰
۳۱/۶۳	۴
۳۳/۶۴	۸
۳۵/۶۱	۱۲
۳۷/۵۷	۱۶
۳۹/۴۹	۲۰

کاهش درآمد حاصل از فروش باعث کاهش نرخ بازگشت داخلی سرمایه (IRR) خواهد شد. بنابراین ریسک طرح مربوط به کاهش درآمد فروش و تأثیر آن در میزان IRR خواهد بود. همان‌طور که در جدول ۴-۲۶ مشاهده می‌شود، با کاهش درآمد فروش تا ۲۰ درصد، مقدار IRR برابر ۱۸/۸۵ درصد خواهد شد که این مقدار از حداقل نرخ جذب‌کننده (۱۵٪) بیشتر بوده و نشان دهنده این است که هنوز طرح از مرز اقتصادی بودن فراتر خواهد بود.

۴-۴-۸-۲ دارایی‌های ثابت

در جدول ۴-۲۷ حالت‌های گوناگون تغییرات در دارایی‌های ثابت و تأثیر آن بر نرخ بازگشت داخلی سرمایه (IRR) آورده شده است.

جدول ۴-۲۷- مقادیر IRR در حالت‌های گوناگون تغییرات در دارایی‌های ثابت

IRR (درصد)	**تغییرات در دارایی‌های ثابت (درصد)**
۳۷/۲۰	-۲۰
۳۵/۴۴	-۱۶
۳۳/۸۱	-۱۲
۳۲/۳۱	-۸
۳۰/۹۱	-۴
۲۹/۶۰	۰
۲۸/۳۸	۴
۲۷/۲۳	۸
۲۶/۱۵	۱۲
۲۵/۱۳	۱۶
۲۴/۱۷	۲۰

کاهش دارایی‌های ثابت باعث افزایش نرخ بازگشت داخلی سرمایه (IRR) و افزایش در دارایی‌های ثابت باعث کاهش IRR خواهد شد. بنابراین ریسک طرح مربوط به افزایش دارایی‌های ثابت و تأثیر آن در میزان IRR خواهد بود. همان‌طور که در جدول ۴-۲۷ مشاهده می‌شود، با افزایش دارایی‌های ثابت تا ۲۰ درصد، مقدار IRR برابر ۲۴/۱۷ درصد خواهد شد که هنوز طرح از مرز اقتصادی بودن فراتر خواهد بود.

۴-۴-۸-۳ هزینه‌های عملیاتی

در جدول ۴-۲۸ حالت‌های گوناگون تغییرات هزینه‌های عملیاتی و تأثیر آن بر نرخ بازگشت داخلی سرمایه (IRR) آورده شده است.

جدول ۴-۲۸- مقادیر IRR در حالت‌های گوناگون تغییرات در هزینه‌های عملیاتی

IRR (درصد)	**تغییرات در هزینه‌های عملیاتی (درصد)**
۳۳/۵۲	-۲۰
۳۲/۷۴	-۱۶
۳۱/۹۶	-۱۲
۳۱/۱۸	-۸
۳۰/۳۹	-۴
۲۹/۶۰	۰
۲۸/۸۰	۴
۲۸	۸
۲۷/۱۹	۱۲
۲۶/۳۸	۱۶
۲۵/۵۶	۲۰

کاهش هزینه‌های عملیاتی، افزایش IRR را در پی خواهد داشت و افزایش هزینه‌های عملیاتی، باعث کاهش IRR خواهد شد. بنابراین تغییرات در افزایش هزینه‌های عملیاتی فاکتور مهمی در توجیه‌پذیری یا عدم توجیه‌پذیری طرح خواهد بود. همان‌طور که در جدول ۴-۲۸ مشاهده می‌شود، با افزایش هزینه‌های عملیاتی تا ۲۰ درصد، مقدار IRR برابر ۲۵/۵۶ درصد خواهد شد که هنوز طرح زیرزمینی از مرز اقتصادی بودن فراتر خواهد بود.

۴-۴-۸-۴ ابعاد پایه‌ها

با افزایش ابعاد پایه‌ها در روش اتاق و پایه، فاکتور ایمنی افزایش ولی درصد استخراج کاهش می‌یابد. کاهش درصد استخراج باعث کاهش نرخ بازده داخلی سرمایه (IRR) خواهد شد. در جدول ۴-۲۹، تغییرات IRR با افزایش ابعاد پایه‌های معدنی آورده شده است.

جدول ۴-۲۹- تغییرات IRR با افزایش ابعاد پایه‌ها

IRR (درصد)	ابعاد پایه‌ها
۲۹/۶۰	۷×۷×۳
۲۸/۹۸	۱۰×۱۰×۳
۲۸/۲۲	۱۲×۱۲×۳

با توجه به جدول ۴-۲۹، با افزایش ابعاد پایه‌ها تا ۳×۱۲×۱۲، مقدار IRR برابر ۲۸/۲۲ درصد است که از حداقل نرخ جذب‌کننده (۱۵٪) بیشتر بوده و هنوز طرح استخراج به روش زیرزمینی از مرز اقتصادی بودن فراتر خواهد بود.

۴-۴-۹ جدول جریان نقدینگی D.C.F

در جدول ۴-۳۰، جدول D.C.F طرح استخراج به روش زیرزمینی آورده شده است.

جدول ۴-۳۰- جریان نقدینگی D.C.F طرح استخراج به روش زیرزمینی (ارقام به میلیون ریال)

ردیف	شرح	سال صفر	سال اول	سال دوم	سال سوم	سال چهارم	سال پنجم	سال ششم	سال هفتم	سال هشتم	سال نهم	ارزش اسقاطی
۱	میزان تولید سالانه (تن)	--	۱۸۲۰۰	۲۲۱۰۰	۲۶۰۰۰	۲۶۰۰۰	۲۶۰۰۰	۲۶۰۰۰	۲۶۰۰۰	۲۶۰۰۰	۲۶۰۰۰	--
۲	قیمت هر تن محصول	--	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	۴	--
۳	درآمد	--	۷۲،۸۰۰	۸۸،۴۰۰	۱۰۴،۰۰۰	۱۰۴،۰۰۰	۱۰۴،۰۰۰	۱۰۴،۰۰۰	۱۰۴،۰۰۰	۱۰۴،۰۰۰	۱۰۴،۰۰	--
۴	هزینه جاری	--	۲۹،۵۳۱	۳۴،۵۷۵	۳۹،۶۲۰	۳۹،۶۲۰	۳۹،۶۲۰	۳۹،۶۲۰	۳۹،۶۲۰	۳۹،۶۲۰	۳۹،۶۲۰	--
۵	هزینه استهلاک	--	۱۲،۳۸۷	۱۲،۳۸۷	۱۲،۳۸۷	۱۲،۳۸۷	۱۲،۳۸۷	۱۲،۳۸۷	۱۲،۳۸۷	۱۲،۳۸۷	۱۲،۳۸۷	۲۹،۱۸۶
۶	درآمد مشمول مالیات	--	۳۰،۸۸۳	۴۱،۴۳۸	۵۱،۹۹۴	۵۱،۹۹۴	۵۱،۹۹۴	۵۱،۹۹۴	۵۱،۹۹۴	۵۱،۹۹۴	۵۱،۹۹۴	--
۷	مالیات	--	۷،۷۲۱	۱۰،۳۶۰	۱۲،۹۹۸	۱۲،۹۹۸	۱۲،۹۹۸	۱۲،۹۹۸	۱۲،۹۹۸	۱۲،۹۹۸	۱۲،۹۹۸	--
۸	نقد رسیده	--	۳۵،۵۴۸	۴۳،۴۶۵	۵۱،۳۸۲	۵۱،۳۸۲	۵۱،۳۸۲	۵۱،۳۸۲	۵۱،۳۸۲	۵۱،۳۸۲	۵۱،۳۸۲	۲۹،۱۸۶
۹	نقد رفته	۱۴۰،۶۶۵	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
۱۰	جریان نقدیتگی	-۱۴۰،۶۶۵	۳۵،۵۴۸	۴۳،۴۶۵	۵۱،۳۸۲	۵۱،۳۸۲	۵۱،۳۸۲	۵۱،۳۸۲	۵۱،۳۸۲	۵۱،۳۸۲	۸۰،۵۶۸	--

۴-۵ مقایسه دو روش معدنکاری روباز و زیرزمینی

در جدول ۴-۳۱، دو طرح معدنکاری روباز و زیرزمینی از نظر کلیه شاخص‌های مالی با یکدیگر مقایسه و در هر مورد روش استخراج برتر مشخص شده است.

جدول ۴-۳۱- مقایسه دو روش معدنکاری روباز و زیرزمینی در معدن سنگ ساختمانی کپیول

ردیف	شرح	مقدار		روش معدنکاری برتر
		روباز	زیرزمینی	
۱	عمر پروژه (سال)	۸	۱۰	---
۲	هزینه سرمایه‌گذاری ثابت (ریال)	۱۶۲،۴۸۱،۰۰۰،۰۰۰	۱۴۰،۶۶۴،۶۵۶،۰۰۰	زیرزمینی
۳	سرمایه در گردش (ریال)	۷،۴۰۵،۷۹۲،۷۶۸	۳،۲۶۰،۰۲۳،۹۰۳	زیرزمینی
۴	بودجه موردنیاز برای شروع طرح (ریال)	۱۶۹،۸۸۶،۷۹۲،۷۶۸	۱۴۳،۹۲۴،۶۷۹،۹۰۳	زیرزمینی
۵	هزینه‌های عملیاتی (ریال)	۹۸،۷۳۱،۷۶۰،۶۰۰	۳۹،۶۱۹،۸۱۳،۲۰۰	زیرزمینی
۶	سود خالص (ریال)	۲۵،۰۲۲،۸۱۲،۰۵۰	۳۸،۹۹۵،۲۳۴،۶۲۰	زیرزمینی
۷	ارزش خالص فعلی سرمایه‌گذاری (NPV) (ریال)	۳،۱۵۱،۸۲۹،۰۰۰	۹۱،۲۸۱،۹۷۳،۰۰۰	زیرزمینی
۸	نرخ بازگشت داخلی سرمایه (IRR) (درصد)	۱۵/۵۰	۲۹/۶۰	زیرزمینی
۹	دوره بازگشت سرمایه عادی (سال)	۶	۴	زیرزمینی
۱۰	دوره بازگشت سرمایه متحرک (سال)	۸/۹	۵/۶	زیرزمینی

با توجه به مقایسات انجام گرفته در جدول ۴-۳۱، توجیه‌پذیری روش معدنکاری زیرزمینی برای اجرا در معدن سنگ ساختمانی کپیول کاملاً مشهود است.

فصل پنجم

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۵-۱ نتیجه‌گیری

با توجه به مطالب ارائه شده در این پژوهش از جمله مطالب مربوط به انواع روش‌های استخراج معادن سنگ ساختمانی، مشکلات زیست‌محیطی استخراج روباز این ذخایر و همچنین امکان‌سنجی اقتصادی برای کاربرد روش استخراج روباز و زیرزمینی در معدن سنگ ساختمانی کپیول می‌توان نتیجه گرفت که:

۱- منابع سنگ ساختمانی یکی از منابع درآمدزا در هر کشوری محسوب می‌شود. لذا با انتخاب روش صحیح استخراج باید به اقتصاد معدن کمک کرد که در این تحقیق در راستای رسیدن به این هدف، استفاده از روش استخراج زیرزمینی در این معدن توصیه شده است.

۲- با توجه به مقایسات اقتصادی انجام شده در این تحقیق، مقدار ارزش خالص فعلی برای طرح استخراج به روش روباز برابر ۳،۱۵۱،۸۲۹،۰۰۰ ریال و نرخ بازده داخلی برابر ۱۵/۵۰ درصد و برای طرح استخراج به روش زیرزمینی مقدار ارزش خالص فعلی برابر ۹۱،۲۸۱،۹۷۳،۰۰۰ ریال و نرخ بازده داخلی ۲۹/۶۰ درصد است که نشان دهنده ارجحیت طرح استخراج به روش زیرزمینی نسبت به روباز در معدن مورد مطالعه است.

۳- در طرح استخراج به روش زیرزمینی، ابعاد اتاق برابر ۳×۲۰×۲۰ متر و ابعاد پایه‌ها برابر ۳×۷×۷ متر محاسبه شده است.

۴- آزمون تحلیل حساسیت برای ابعاد پایه‌ها در روش اتاق و پایه نشان داد که اگر ابعاد پایه‌ها تا ۳×۱۲×۱۲ متر افزایش پیدا کند، هنوز طرح استخراج به روش زیرزمینی از مرز اقتصادی بودن فراتر خواهد بود.

۵- آزمون تحلیل حساسیت برای سه پارامتر درآمد فروش، دارایی‌های ثابت و هزینه‌های عملیاتی نیز انجام شد و نتایج نشان داد که در معدن مورد مطالعه، باکاهش ۴ درصدی در درآمد فروش و افزایش ۴ درصدی در هزینه‌های سرمایه گذاری و هزینه‌های عملیاتی، طرح استخراج به روش

روباز توجیه اقتصادی نداشته ولی با کاهش ۲۰ درصدی در درآمد فروش سنگ تراورتن و افزایش ۲۰ درصدی در هزینه‌های سرمایه‌گذاری و هزینه‌های عملیاتی، طرح استخراج به روش زیرزمینی در معدن مورد مطالعه از لحاظ اقتصادی توجیه‌پذیر خواهد بود.

۶- عملیات مربوط به استخراج سنگ‌های ساختمانی به روش روباز می‌تواند آثار مخربی بر بخش‌های مختلف زیست‌محیطی اعم از آب‌وهوا، پوشش گیاهی و خاک، داشته باشد که این آثار مخرب با به‌کارگیری روش‌های مدرن معدنکاری قابل پیشگیری است.

۷- با اندک توجه تخصصی به مطالب ارائه شده برتری روش استخراج زیرزمینی نسبت به روش استخراج روباز در معدن مورد مطالعه کاملاً مشهود است.

۸- با استفاده از روش استخراج زیرزمینی در معادن سنگ ساختمانی، بسیاری از معادنی که به دلیل ارتفاع زیاد روباره و مشکلات زیست‌محیطی استخراج آن‌ها مقرون‌به‌صرفه نبود، امکان‌پذیر خواهد شد.

۹- به کارگیری روش استخراج زیرزمینی در معادن سنگ ساختمانی عمیق، باعث افزایش بهره‌وری معدن در فصول سرد خواهد شد.

۵-۲ پیشنهادها

- در پژوهش‌های آتی، پیشنهاد می‌شود که سیستم برش سنگ در روش استخراج زیرزمینی، دستگاه سیم برش الماسه فرض شده و تأثیر آن بر مطالعات امکان‌سنجی بررسی شود.
- تأثیر تحریم‌ها بر مطالعات امکان‌سنجی طرح استخراج به روش زیرزمینی بررسی شود.

پیوست الف

جدول۱- اطلاعات گمانه‌های اکتشافی در معدن سنگ ساختمانی کپیول

ردیف	گمانه	عمق (متر)		مواد دربرگیرنده	مختصات (متر)		
		از	تا		X	Y	Z
۱	BTW3	۰	۲۶	شن سیلت‌دار	۴۴۲۶۱۴	۳۷۴۹۷۵۰	۱۹۱۳
	BTW3	۲۶	۳۵	کنگلومرای بسیار سست			
	BTW3	۳۵	۴۸	کنگلومرای سست			
	BTW3	۴۸	۵۰	کنگلومرا با مارن			
	BTW3	۵۰	۵۷	مارن			
۲	BTW4	۰	۳۹	کنگلومرا بسیار سست	۴۴۲۵۳۷	۳۷۴۹۷۲۷	۱۹۰۴
	BTW4	۳۹	۴۷	کنگلومرا با مارن			
	BTW4	۴۷	۵۵	مارن			
۳	BTW5	۰	۱۵	شن سیلت دار	۴۴۲۴۶۸	۳۷۴۹۶۶۱	۱۹۱۶
	BTW5	۱۵	۴۷	کنگلومرا بسیارسست			
	BTW5	۴۷	۵۷	کنگلومرا سست			
	BTW5	۵۷	۵۸	آهک مارنی			
	BTW5	۵۷	۶۴/۵	تراورتن			
	BTW5	۶۴/۵	۷۰	مارن			
۴	BTW6	۰	۳۲	شن سیلت‌دار	۴۴۲۳۸۶	۳۷۴۹۵۴۲	۱۸۸۹
	BTW6	۳۲	۳۳/۲	تراورتن			
	BTW6	۳۳/۲	۴۲/۴	کنگلومرا			
	BTW6	۴۲/۴	۴۳	رس فشرده			
	BTW6	۴۳	۴۶	رس فشرده با کنگلومرا			
	BTW6	۴۶	۴۹	رس فشرده			
	BTW6	۴۹	۴۹/۵	مارن			
	BTW6	۴۹/۵	۵۰	رس فشرده			
	BTW6	۵۰	۵۱	کنگلومرا			

	BTW6	۵۱	۵۲	رس فشرده	۴۴۲۳۸۶	۳۷۴۹۵۴۲	۱۸۸۹
	BTW6	۵۲	۵۷	کنگلومرا			
	BTW6	۵۷	۶۰	مارن			
۵	BTW7	۰	۴۰	آبرفت درشت‌دانه	۴۵۲۵۳۰	۳۷۴۹۶۰۳	۱۹۰۰
	BTW7	۴۰	۴۵	کنگلومرا سست			
	BTW7	۴۵	۵۰	تراورتن			
	BTW7	۵۰	۵۲/۵	مارن			
	BTW7	۵۲/۵	۶۰	مارن			
۶	BTW8	۰	۲۰	شن سیلت دار	۴۴۲۶۰۲	۳۷۴۹۳۵۱	۱۸۸۴
	BTW8	۲۰	۷۰	کنگلومرا با مارن			
۷	BTW9	۰	۵۰	شن سیلت دار	۴۴۲۵۷۰	۳۷۴۹۴۶۳	۱۸۹۷
	BTW9	۵۰	۷۵	کنگلومرا			
۸	BTW14	۰	۲۱	شن سیلت دار	۴۴۲۶۱۵	۳۷۴۹۶۷۷	۱۹۰۵
	BTW14	۲۱	۴۳	کنگلومرا بسیارسست			
	BTW14	۴۳	۴۹	کنگلومرا			
	BTW14	۴۹	۵۳	کنگلومرا با مارن			

منابع

[۱] عطایی، م. (۱۳۹۶). سنگ‌های ساختمانی، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود- ایران

[2] Kortnik, J. (2009). Underground natural stone excavation technics in Slovenia. RMZ–Materials and Geoenvironment, 56(2), (pp. 202-211).

[3] Cravero, M., & Iabichino, G. (1997). Geomechanical study for the exploitation of an underground marble quarry. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science (pp. 3-4).

[4] Shinobe, A. (1997). Economics of underground conversion in an operating limestone mine (Doctoral dissertation, McGill University Libraries).

[5] Benardos, A. G., Kaliampakos, D. C., Prousiotis, J. G., Mavrikos, A. A., & Skoparantzos, K. A. (2001). Underground aggregate mining in Athens: a promising investment plan. Tunnelling and underground space technology, 16(4), (pp. 323-329).

[6] Fomaro, C. O., Oreste, P., & Valentino, D. (2001). Going Underground in Quarrying: Technical Perspectives for Marble in Portugal. 17th International Mining Congress and Exhibition of Turkey (pp. 19-22).

[7] Crassoulis, G., Kapenis, A., Thoraval, A., Ferrero, M., Germann, K., Iabichino, G., Gardenato, M. and Dell'Antone, F. (2001). Development of an integrated computer-aided design and planning methodology for underground marble quarries (pp. 99-104).

[8] Silva, C.E., Matilde, M. and Falcao Neves, A.P. (2002). Management procedures for an underground excavation of marble. In ISRM International Symposium-EUROCK. International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering.

[9] Kortnik, J. (2009). Underground natural stone excavation technics in Slovenia. RMZ–Materials and Geoenvironment, 56(2), (pp. 202-211).

[10] Careddu, N., Siotto, G., & Tuveri, A. (2010). Evolution of a marble quarry: from open cast to underground exploitation. In Proc. Global Stone Congress Of Italy (pp. 2-5).

[11] Millar, D. L., Brown, T. J., Kruyswijk, J. B., Smith, N., Coggan, J. S., Foster, P. 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 (pp. 54-70).

[12] Godden, M. (2015). Portland's Quarries and its Stone. Search On Google.

[13] Kun, M., Tufan, B., & Kun, N. (2014). The Applicability of Underground Mining Methods in Limestone Quarries of Western Taurus. Proceedings of the International Conference on Mining, Material and Metallurgical Engineering Prague. (pp. 61-66).

[14] Mkpuma, R. O., Okeke, O. C., & Abraham, E. M. (2015). Environmental problems of surface and underground mining: a review. Int J Eng Sci (IJES), 4(12) (pp. 12-20).

[15] Arvantides, N.; Heldal, T.; Draft Report: State of The Art, Ornamental Stone Quarrying in Europe. (pp. 45-48).

[16] Ben-Awuah, E., Richter, O., Elkington, T., & Pourrahimian, Y. (2016). Strategic mining options optimization: Open pit mining, underground mining or both. International Journal of Mining Science and Technology, 26(6), (pp. 1065-1071).

[17] Bahri, Maziyar & Ghasemi, Ebrahim. (2016). Applicability of underground mining methods in natural stone mines. 2nd Iranian Mining Technologies Conference and Exhibition (pp. 21-26).

[۱۸] حاجتی، ع. (۱۳۹۵). استخراج زیرزمینی سنگ‌های‌ساختمانی، نگاهی نو جهت توسعه صنعت سنگ در ایران. مجله نظام مهندسی معدن، شماره ۳۰، ص ۲۸-۲۰.

[19] Martins, R.; Lopes, L.; Branco, E. (2017). Underground Marble Exploitation - A Portuguese Case Study and Technical Aspects. Proceedings of the IV International Stone Congress, Izmir – Turkey (pp. 65-83)

[20] Chan, H.K.K., Millis, S.W., Wallace, M.I. and 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 (pp. 34-44).

[21] Kortnik, j. (2017). Underground Green Mining of Dimension Stone Limestone in Slovenia, Mining Report, 153(5), (pp. 480-489).

[22] Daniel, P., Careddu,,N.; Underground mining inperspective. Search On Google.

[23] Kortnik, J. (2015). Stability Assessment of the High Safety Pillars in Slovenian Natural Stone Mines. Archives of Mining Sciences, 60(1), (pp. 403-417).

[24] Sariisik, A., & Sariisik, G. (2010). Efficiency analysis of armed-chained cutting machines in block production in travertine quarries. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 110(8), (pp. 473-480).

[۲۵] منصوری، داریوش؛ شانزدهمین کتاب راهنمای سنگ ایران، ۱۳۹۴.

[۲۶] احمدی، م.، فروتن، م.، "بررسی و بهینه‌سازی روش استخراج سنگ گرانیت در ایران"، هفتمین کتاب راهنمای سنگ ایران، ۱۳۸۶.

[27] Ashmole, I., & Motloung, M. (2008). Dimension stone: the latest trends in exploration and production technology. In Proceedings of the International Conference on Surface Mining , Southern African (pp. 5-8).

[28] Luodes, H., Selonen, O., & Pääkkönen, K. (2000). Evaluation of dimension stone in gneissic rocks a case history from southern Finland. Engineering Geology,vol. 52, (pp. 209-223.)

[29] https://fa.wikipedia.org /. Accessed27 July, 2019

[۳۰] درویش زاده، ع. (۱۳۷۱). زمین شناسی ایران، انتشارات امیرکبیر، تهران- ایران.

[۳۱] نبیان، ا.؛ فرهادیان، م.ب.؛ برادران، م.؛ حمیدی انارکی، غ.؛ ۱۳۷۱؛ سنگ-های تزئینی و نما، وزارت معادن و فلزات- معاونت اکتشافی و معدنی.

[۳۲] پورمقدم، م. (۱۳۸۳). معدن از اکتشاف تا بهره برداری، انتشارات پایگان، تهران- ایران.

[۳۳] پارسایی، م. (۱۳۸۲). کتاب طلایی معدن، انتشارات ماهرنگ، تهران- ایران.

[۳۴] فاضل بسطامی، ک. (۱۳۸۳). راهنمای سنگ ایران، انتشارات روشان روز، تهران- ایران.

[۳۵] فهرست بهای واحد پایه راه، راه آهن و باند فرودگاه ۱۳۹۸.

[۳۶] فضلوی، ع. (۱۳۸۳). اقتصاد معدن، انتشارات سایه گستر، قزوین- ایران.

[۳۷] عطایی، م. (۱۳۹۴). روش‌های خودنگهدار در معدنکاری زیرزمینی، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود- ایران

[۳۸] رادفر، ب، خادمیان، ظ: "بررسی فنی و اقتصادی به کارگیری دستگاه اره زنجیری در معادن سنگ تزئینی". دومین همایش معدن چرخ صنعت، ۱۳۸۸.

Abstract:

There are rich dimension stone mines in Iran. All of the existing dimension stone mines in the country are mined open-pit. Environmental problems and pollution of open-pit mines on the one hand and deepening of these mines, high costs of tailing and limited surface reserves on the other hand, are the most important factors cause moving toward the underground mining of natural stone reserves. Underground mining methods of dimension stone reserves reduce environmental problems and damages, tailing costs and produce high quality products. The purpose of this study is to evaluate the economic feasibility of applying underground mining methods in overburden dimension stone mines using Camfar software. In first section of this study, the topics of dimension stones, types of open-pit and underground mining methods, economic problems in overburden dimension stones and various environmental problems of open-pit mines are discussed. Then economic feasibility study for two methods of open and underground mining for kapiol dimension stone mines carried out. The feasibility results showed that, the net present value for open-pit mining method is 3,151,829,000 Rials and the internal rate of return is 15.50 percent and for underground mining method the net present value is 91,281,973,000 Rials and the internal rate of return is 29.60 percent, which indicates that economically the underground mining method is preferable to the open-pit mining method. The sensitivity analysis test also performed for the three parameters of sales revenue, fixed assets and operating expenses. The results showed that with a 20% decrease in stone sales revenue and a 20% increase in investment and operating costs, the open-pit mining method has no economic justification but the underground mining method would be economically feasible.

Keywords: Feasibility Study, Dimension Stone, Open-pit Mining, Underground Mining, Environment

Shahrood University of Technology
Faculty of Mining Engineering, Petroleum and Geophysics
Msc Thesis in Mining Exploitation Engineering

Feasibility conversion of open-pit to underground mining

(Case study: Kapiol dimension stone mine)

Mehdi Bigdeli

Supervisors:
Prof. Mohammad Ataei
Dr. Ramin Rafiee

January 2020