# تعیین میزان بهره‌وری استخراج سنگ‌ساختمانی با روش سیم‌برش الماسه به‌منظور ارزیابی عملکرد (مورد مطالعه: معدن تراورتن حاجی‌آباد محلات)

رضا احمدی[1*]

۱. استادیار گروه مهندسی معدن، دانشکده مهندسی علوم زمین، دانشگاه صنعتی اراک

**تاریخ دریافت:** ۱۴۰۲/۰۱/۱۰ تاریخ **پذیرش:** ۱۴۰۲/۰۲/۱۲

## چکیده

در پژوهش حاضر معیار بازدهی (بهره‌وری) به‌عنوان یکی از مهم‌ترین معیارهای ارزیابی سنگ‌ساختمانی برای برش وجوه مختلف سنگ تراورتن با روش استخراج سیم‌برش الماسه تعیین شد. برای این منظور اندازه‌گیری در دو زون به‌نام‌های 8E و 8W در شمال محدوده تراورتن حاجی‌آباد محلات واقع در استان مرکزی صورت گرفت. دلیل انتخاب این مناطق تشابه بیشتر آن‌ها با یکدیگر از نظر شرایط زمین‌شناسی، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی سنگ، امکانات، دستگاه‌ها و تجهیزات بهره‌برداری می‌باشد. برای دستیابی به هدف ابتدا مطالعات ساختاری درزه‌نگاری مناطق از طریق برداشت میدانی شکستگی‌ها، رسم نمودار گل سرخ و تحلیل آن‌ها انجام گرفت. سپس بهره‌وری سیم‌برش‌های الماسه از نوع رسوب الکترولیتی مورداستفاده برای تعداد هفت بلوک در دو سینه‌کار منطقه 8E و تعداد ۱۳ بلوک در سه سینه‌کار منطقه 8W طی ۴۵ روز کاری اندازه‌گیری شد. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که متوسط بهره‌وری در منطقه 8E برابر با ۷/۰۹ مترمربع بر ساعت، در منطقه 8W برابر با ۵/۷۱ مترمربع بر ساعت و در کل مناطق 8E و 8W بطور متوسط برابر با ۶/۴ مترمربع بر ساعت است. براساس این نتایج اگرچه متوسط میزان بهره‌وری در کل این مناطق قابل قبول است ولی با مقدار ایده‌آل (۱۸ مترمربع بر ساعت)، فاصله بسیار زیادی دارد. بنابراین بایستی میزان بهره‌وری در این محدوده افزایش یابد.

**واژه‌های کلیدی:** بازدهی، سنگ‌ساختمانی، تراورتن، سیم‌برش الماسه، حاجی‌آباد محلات.

## مقدمه

مهم‌ترین و متداول‌ترین روش‌های استخراج سنگ‌های ساختمانی، استخراج به روش چال‌های موازی، نعل و پارس یا پارس-گوه (دستی و مکانیکی)، استخراج به کمک سیم‌برش، استخراج توسط ماشین‌های شیارزن (هاواژ)، استخراج به کمک پودرهای منبسط شونده، استخراج به روش حرارتی (جت شعله) و استخراج هیدرومکانیکی (جت آب) هستند (احمدی، ۱۳۸۷؛ عطایی، ۱۳۸۷؛ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور، ۱۳۸۷). انتخاب بهترین روش برش، مهم‌ترین عامل افزایش سوددهی است که علاوه بر تجزیه‌وتحلیل درست کانسار، فناوری روز را نیز باید در نظر گرفت. براساس تجربیات و مطالعات صورت گرفته، استفاده از روش سیم‌برش الماسه منجر به بهره‌وری بالاتر، بازدهی انرژی به نسبت زیاد، کاهش تخریب محیط‌زیست و عدم آسیب و صدمه به سنگ می‌شود (معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور، ۱۳۸۷). به‌علاوه، این روش با انعطاف‌پذیری نسبتاً زیاد، قابلیت استخراج سنگ‌های با سختی بالا،

* نویسنده مسئول: rezahmadi@gmail.com

DOI: https://doi.org/10.22034/JEG.2023.17.1.1062510

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]

[ DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1062510 ]

تنظیم عمق و ابعاد برش را دارد. با توجه به مزیت‌های روش سیم‌برش الماسه نسبت به دیگر روش‌های استخراج سنگ، امروزه به‌عنوان بهترین و مناسب‌ترین روش در صنعت سنگ تلقی می‌شود. با این وجود عملکرد سیم‌برش‌های مختلف هم، بسته به جنس و نوع آن‌ها و نیز نوع سنگ ساختمانی متفاوت است.

به‌طورکلی دو نوع سیم الماسه وجود دارد. سیم الماسه با ماده ارتجاعی که می‌تواند در معدن و توسط خود کارگران آموزش‌دیده سوار شده و پس از اتمام کار مجدداً تفکیک شود (مدل رسوب الکترولیتی[1]) و مدل لاستیکی و پلاستیکی که امکان سوار کردن آن‌ها در معدن وجود ندارد (مدل کلوخه‌ای[2] یا آغشته[3]) (احمدی، ۱۳۸۷). تجربه نشان داده که برای مرمرها (شامل سنگ‌های آهکی نرم مانند مرمر، مرمریت، تراورتن، سنگ‌چینی و نظایر آن) سیم‌های ارتجاعی، مناسب‌تر است. در گرانیت‌ها که سختی بالایی دارند، استفاده از سیم‌های با روکش پلاستیکی، مناسب‌تر است (احمدی، ۱۳۸۷). دو نکته یا دو معیار کلی در انتخاب سیم الماسه اجتناب‌ناپذیر است: بهره‌وری یا بازدهی یا راندمان (مقدار میدان برشی دستگاه بر حسب مترمربع در هر ساعت) و دوام یا عمر مفید[4] (مقدار میدان برشی به ازای هر متر طول سیم الماسه). هنگام کار در سنگ، عمر سیم در برش‌های بزرگ و کوچک ممکن است از ۳ تا ۵ مترمربع برش متغیر باشد زیرا در برش‌های کوچک‌تر سطح تماس بین سنگ و سیم، کوچک‌تر است، درنتیجه فشار بیشتری بر سیگمنت‌ها وارد می‌شود و سرعت خوردگی آن‌ها افزایش می‌یابد. بر اساس مطالعات انجام‌شده در حالت مطلوب می‌توان با یک قطعه سیم‌برش به طول ۲۵ متر، ۶۰۰ مترمربع سنگ را برید (احمدی، ۱۳۹۵). بازدهی متوسط سیم‌برش الماسه برای دو گروه سنگ مرمرها و گرانیت‌ها نیز مطابق جدول ۱ است.

جدول ۱. بازدهی سیم‌برش الماسه برای دو گروه سنگ مرمرها و گرانیت‌ها (احمدی، ۱۳۹۵)

**Table 1. Productivity of diamond wire cutting for two types of building stone containing marbles and granites (Ahmadi, 2016)**

| نوع سنگ | بازدهی متوسط (مترمربع بر ساعت) | بازدهی بیشینه (مترمربع بر ساعت) |
|---|---|---|
| مرمرها | 3-12 | 18 |
| گرانیت‌ها | 1-5 | 8 |

در این پژوهش تمرکز بر روی سنگ ساختمانی تراورتن و روش استخراج سیم‌برش الماسه است. در این راستا از طریق اندازه‌گیری‌های میدانی و ثبت پارامترهای مختلف مؤثر بر راندمان بهره‌برداری شامل روش استخراج، نوع سیم‌برش و راستاهای برش (در نظر گرفتن شرایط زمین‌شناسی ساختاری و درزه‌داری)، در دو زون واقع در شمال محدوده تراورتن حاجی‌آباد محلات، بررسی‌های میدانی جامع و کاملی صورت گرفت و معیار بهره‌وری[5] اندازه‌گیری شد تا وضعیت موجود، ارزیابی شده و حدود بهره‌وری استخراج در این معدن تعیین شود.

در زمینه بهینه‌سازی مرحله استخراج سنگ‌های ساختمانی، پژوهش‌های چندی در دنیا و مطالعات ناچیزی در کشور ایران انجام شده است که به چند مورد از مهم‌ترین آن‌ها اشاره می‌شود. براساس مطالعه شکستگی‌های معادن و محدوده‌های اکتشافی سنگ‌های تزئینی و نما توسط بصیری و پرتاشک (۱۳۹۰) در مواردی که تنها یک و یا دو سیستم شکستگی عمود بر هم وجود داشته و فاصله بین درزه‌های آن‌ها دست‌کم به‌اندازه ابعاد بلوک‌های سنگی مورد نظر باشد، با طراحی

[1]- Electro deposited
[2]- Sintered
[3]- Impregnated
[4]- Durability
[5]- Productivity

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]
[ DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1062510 ]

جهت پیشروی سینه‌کار به‌موازات راستای این سیستم‌ها، میزان ضایعات سنگی کمینه خواهد شد. در صورت وجود سیستم درزه‌های مزدوج با زاویه‌های تند، امکان استخراج بلوک‌های سنگی سالم بسیار پایین خواهد بود. اسماعیلی و صفری (۱۳۹۲) روش‌های استخراج با پودر منبسط‌شونده کتراک، سیم‌برش الماسه و دستگاه هاواژ و ترکیب‌های این سه روش را با در نظر گرفتن معیارهایی همانند سرمایه‌گذاری اولیه، هزینه‌های جاری، کیفیت سنگ تولیدی، ایمنی، میزان ضایعات، مصرف آب و برق، سرعت برش، ابعاد بلوک استخراج‌شده، دسترسی به ابزار اولیه، نیروی متخصص و بازدهی کار با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) مورد ارزیابی قرار دادند که درنهایت استفاده از روش سیم‌برش الماسه به همراه دستگاه هاواژ به‌عنوان روش مناسب پیشنهاد شد و سایر روش‌ها نیز براساس مطلوبیت استخراج، رتبه‌بندی شدند.

کردو و همکاران (Careddu et al., 2015) به بهینه‌سازی پارامترهای برش سیم الماسه برای استخراج سنگ مرمر پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که با تنظیم درست پارامترهای برش همانند سرعت حرکت سیم، سرعت پیشروی و دبی آب، بهره‌وری بالاتری در فرآیند برش سنگ می‌توان بدست آورد. ژانگ و همکاران (Zhang et al., 2017) بر روی تأثیر فرآیند برش سیم الماسه بر روی ویژگی‌های سنگ گرانیت تمرکز کردند. نتایج نشان می‌دهد که با استفاده از پارامترهای بهینه برش و کنترل دمای ایجادشده در فرآیند، میزان خرابی و تراکم سنگ کاهش می‌یابد و از آسیب به سنگ جلوگیری می‌شود. سوزا و همکاران (Sousa et al., 2018) به بررسی استفاده از روش سیم‌برش الماسه در استخراج سنگ‌های تزئینی و نما پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که با استفاده از این روش، بهره‌وری سنگ، افزایش و هدر رفت کاهش می‌یابد و همچنین کاهش آلاینده‌های محیطی مرتبط با روش‌های سنتی استخراج را در پی دارد. گارسیا و همکاران (Garcia et al., 2019) عملیات برش گرانیت‌ها را با استفاده از روش سیم‌برش الماسه بهینه‌سازی کردند. نتایج نشان می‌دهد که با استفاده از پارامترهای بهینه برش، بهره‌وری بالاتری بدست می‌آید و هزینه‌های نگهداری و تعمیرات نیز کاهش می‌یابد. کردو و همکاران (Careddu et al., 2020) عملکرد برش سیم الماسه در معدن‌کاری را به‌طور آماری تحلیل کردند. نتایج نشان می‌دهد که با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی فرآیند برش و استفاده از تجهیزات پیشرفته، بهره‌وری و عملکرد سیم‌برش بهبود می‌یابد و تلفات سنگ کاهش پیدا می‌کند. پالچک و همکاران (Palchik et al., 2021) پارامترهای برش سیم الماسه برای استخراج گرانیت را با استفاده از روش سطح پاسخ، بهینه‌سازی کردند. نتایج نشان می‌دهد که با استفاده از تجزیه‌وتحلیل آماری، می‌توان پارامترهای بهینه برش را تعیین کرده و بهره‌وری بالاتری در فرآیند استخراج سنگ به دست آورد.

عمده پژوهش‌های انجام‌شده در دنیا در زمینه استخراج سنگ‌های ساختمانی نیز در حوزه استفاده از فناوری‌های روز همانند سیستم‌های کنترل و اتوماسیون پیشرفته، ماشین‌آلات هوشمند و تکنیک‌های استخراج با استفاده از لیزر، بهینه-سازی فرآیندهای استخراج همانند الگوی انفجار، برنامه‌ریزی تولید، استفاده از تکنیک‌های مدیریت زمان برای کاهش هدر رفت زمان، استفاده از مدل‌های ریاضی، هوش مصنوعی و شبیه‌سازی‌های کامپیوتری به‌منظور بهینه‌سازی فرآیندهای استخراج، کاهش زمان و هزینه‌های مرتبط، بهبود آموزش و آگاهی کارکنان برای آشنایی بیشتر و بهتر به‌صورت کارا و ایمن با تجهیزات و فرآیندهای استخراج می‌باشد (Rajpurohit et al., 2020; Careddu et al., 2019; Feng et al., 2019; Akhyani et al., 2017; Liang, 2016; Sandro et al., 2016; Schwinde et al., 2015; Zhang et al., 2015).

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]
[ DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1062510 ]

## موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی- معدنی محدوده

معدن تراورتن حاجی‌آباد به‌عنوان بزرگ‌ترین و مهم‌ترین معدن تراورتن استان مرکزی و حتی کشور ایران، در جنوب غرب شهر محلات و کیلومتر پنج جاده محلات به خمین قرار دارد. این محدوده معدنی در پهنه ساختاری ایران مرکزی، چهارگوش زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ گلپایگان و برگه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ محلات قرار دارد. از نظر چینه‌شناسی قدیمی‌ترین واحدهای سنگی رخنمون یافته، سنگ‌های منسوب به سازند سلطانیه متعلق به پروتروزوئیک پسین- کامبرین پیشین هستند که در شمال‌غرب شهرستان محلات گسترش داشته و شامل دولومیت‌های ضخیم لایه به رنگ زرد، خاکستری تیره تا روشن هستند. سازندهای زاگون و لالون نیز با ناپیوستگی بر روی این واحد سنگی قرار گرفته‌اند که از شیل سیلتی سبز تا قرمز در پایین تا ماسه‌سنگ‌های آرکوزی کمی دگرگونه در بالا ادامه می‌یابد. حد بالایی این سازندها با همبری گسله توسط واحدهای سنگی پرمین پوشیده می‌شود. سنگ‌های پرمین در شمال و غرب محلات گسترش وسیعی دارند، بخش زیرین این واحد سنگی بطور عمده از دولومیت‌های قهوه‌ای تا خاکستری ضخیم لایه تشکیل شده و بخش میانی آن عمدتاً آهک‌های دولومیتی خاکستری تا خاکستری روشن است. بخش فوقانی این واحد سنگی را آهک-های بلورین سفید تا شیری‌رنگ تشکیل می‌دهد که توده‌ای بوده و به‌ندرت دارای لایه‌بندی هستند.

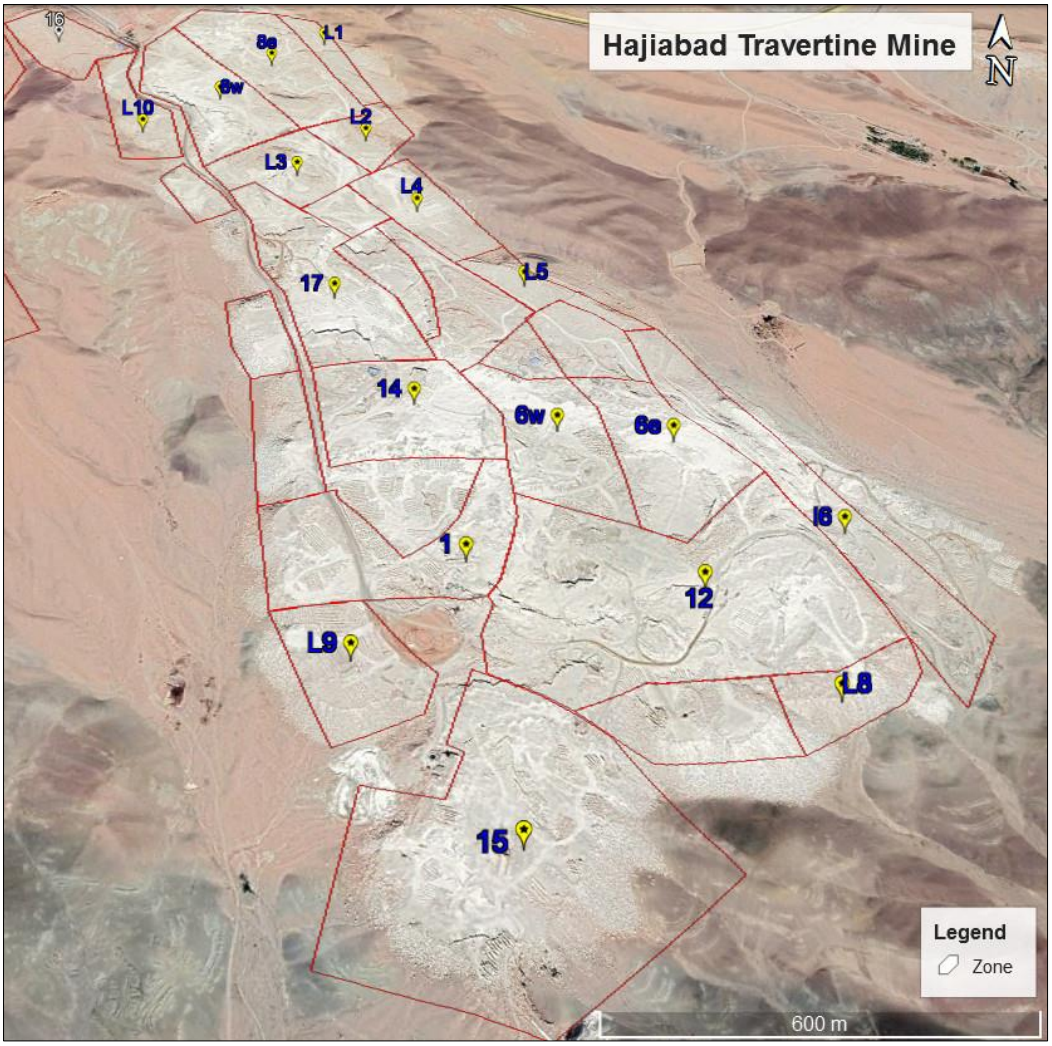
محدوده تراورتن حاجی‌آباد دارای ریخت‌شناسی تپه‌ماهوری نسبتاً ملایم بوده و در حدفاصل کوهپایه و دشت واقع است. این تپه‌ها که عمدتاً ارتفاع کم و سطح مسطحی دارند، از ماسه‌سنگ، مارن و شیل‌های ائوسن تشکیل شده‌اند و بر روی این ارتفاعات در ناحیه با ناپیوستگی دگرشیب، واحدهای تراورتن کواترنر قدیم نهشته شده‌اند. رخنمون واحدهای سنگی پالئوزوئیک در بخش شمالی و سنگ‌آهک‌های ستیغ ساز کرتاسه در بخش‌های شمالی و جنوبی برگه محلات، مرتفع‌ترین ارتفاعات ناحیه را پدید آورده‌اند. براساس مطالعات و بررسی‌های زمین‌شناسی انجام‌شده در محدوده معدنی تراورتن حاجی‌آباد، شش نوع واحد سنگ چینه‌ای تفکیک شده است که شامل یک واحد ماسه‌سنگ، شیل و مارن ائوسن، دو واحد کنگلومرایی تحتانی و فوقانی کواترنر و سه واحد تراورتن است که دارای قابلیت معدنکاری هستند. در این محدوده معدنی، نهشت تراورتن در بین دو واحد کنگلومرایی و طی دو نسل صورت گرفته است. با توجه به اینکه تراورتن معدن حاجی‌آباد از رسوبات چشمه‌های آبگرم در بستری ناهموار تشکیل شده، ضخامت لایه تراورتن در محدوده متغیر است (حاجی، ۱۴۰۰).

محدوده به دلیل وسعت زیاد، مطابق شکل ۱ به ۱۸ منطقه (زون[1]) تقسیم‌بندی شده که با گذشت زمان، استخراج ماده معدنی از مناطق مختلف و کاهش وسعت محدوده‌ها، تقسیم‌بندی مناطق محدوده تغییر پیدا کرده است. در حال حاضر این محدوده شامل ۱۱ منطقه به نام‌های شش شرقی (6E)، شش غربی (6W)، هشت شرقی (8E)، هشت غربی (8W)، S3، L10، ۱، ۱۲، ۱۴، ۱۵ و ۱۷ می‌باشد.

[1]- Zone

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]

[ DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1062510 ]




شکل ۱. منطقه‌بندی اولیه هجده‌گانه محدوده معدن تراورتن حاجی‌آباد محلات بر روی تصویر **Google Earth**

**Fig. 1. The primary zoning of Mahallat-Hajiabad travertine mine to 18 areas on the Google Earth image**

براساس نتایج آزمایش‌های مختلف اندازه‌گیری ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی نمونه‌های متعدد سنگ تراورتن حاجی‌آباد، مقاومت فشاری سنگ بطور متوسط ۵۰۰ کیلوگرم نیرو بر سانتی‌متر مربع (۵۰ مگاپاسگال)، چگالی آن بین ۲/۴ تا ۲/۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب (بطور میانگین ۲/۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب) و درصد جذب آب آن نیز بین ۰/۲ تا ۰/۷ درصد (بطور متوسط ۰/۳۵ درصد) می‌باشد.

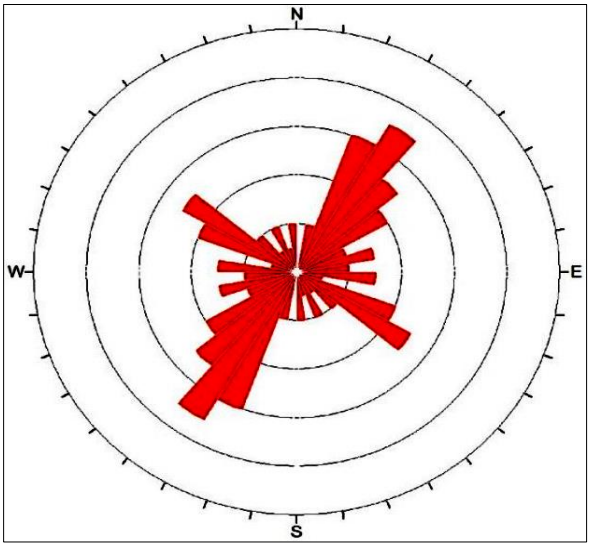
## مواد و روش‌ها

### مطالعات ساختاری مناطق مورد مطالعه

شکل ۲ نمودار گل سرخ شکستگی‌های برداشت‌شده در منطقه 8E معدن تراورتن حاجی‌آباد را نشان می‌دهد. همان‌گونه که از این شکل مشاهده می‌شود، در این منطقه دسته‌درزه‌های اصلی و فرعی چندی وجود دارد که دسته‌درزه‌های اصلی دارای دو راستای عمومی شمال‌شرقی- جنوب‌غربی (N35E) و شمال‌غربی- جنوب‌شرقی (N55W) است. در شکل ۳ نمایی از شکستگی‌های موجود در قدیمی‌ترین واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه (واحدهای سنگی ماسه‌سنگ، شیل و مارن ائوسن) نشان داده شده است. در این مورد بهتر است ابعاد بلوک‌های استخراجی در جهت عمومی درزه‌های

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]
[ DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1062510 ]

اصلی موجود در منطقه باشد. یعنی طول بلوک‌ها در راستای شمال‌شرقی- جنوب‌غربی و عرض آن‌ها در راستای شمال- غربی- جنوب‌شرقی باشد.




شکل ۲. نمودار گل سرخ درزه‌های برداشت‌شده در زون **8E** معدن تراورتن حاجی‌آباد

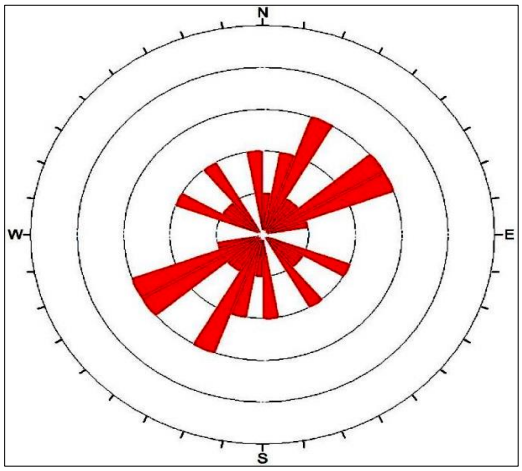
**Fig. 2. Rose diagram of joints at zone 8E in the Hajiabad travertine mine**

شکل ۴ نیز نمودار گل سرخ شکستگی‌های برداشت شده در منطقه 8W معدن تراورتن حاجی‌آباد را نشان می‌دهد. مطابق این شکل دسته‌درزه‌های متعددی در این منطقه وجود دارد که راستای عمومی درزه‌های اصلی منطقه N25E و N50E تا N70E است. در این مورد بهتر است ابعاد بلوک‌های استخراجی در جهت عمومی درزه‌های اصلی موجود در منطقه باشد. یعنی طول بلوک‌ها در راستای شمال‌شرقی- جنوب‌غربی و عرض آن‌ها در راستای شمال‌غربی– جنوب‌شرقی باشد. این کار از یکسو موجب سهولت و افزایش سرعت برش بلوک سنگ و از سوی دیگر باعث جلوگیری از شکست بلوک سنگ در مرحله برش اولیه (به هنگام جداسازی بلوک از سینه‌کار) یا مراحل بعدی برش (هنگام قواره کردن یا تهیه اسلب و پلاک در کارخانه‌های سنگ‌بری و فرآوری سنگ) می‌شود و درنتیجه میزان بهره‌وری افزایش می‌یابد.

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]

[ DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1062510 ]

شکل ۳. نمایی از شکستگی‌های موجود در واحدهای سنگی ائوسن در زون **8E** (دید به سمت شرق)
**Fig. 3. A view of fractures in the Eocene lithology units at zone 8E (view to the east)**

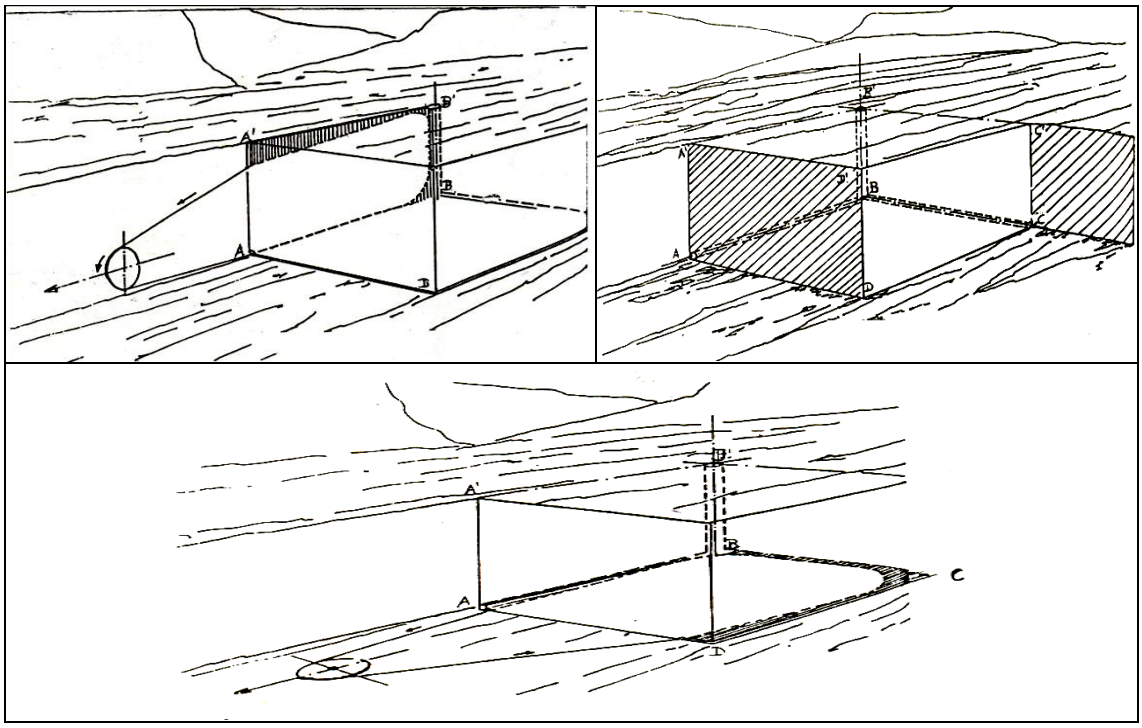



شکل ۴. نمودار گل سرخ درزه‌های برداشت‌شده در زون **8W** معدن تراورتن حاجی‌آباد محلات
**Fig. 4. Rose diagram of joints at zone 8W in the Hajiabad travertine mine**

## روش استخراج سنگ با سیم‌برش الماسه

روش کار این سیستم بدین صورت است که سیم الماسه به طول ۲۵ تا ۴۵ متر (بیشینه ۱۵۰ متر) به‌وسیله دستگاه سیم‌برش و یک وینچ با قرقره راهنما، در یک جهت معین به‌طور دائم روی سنگ حرکت می‌کند و آن را برش می‌دهد. برای این منظور ابتدا در سنگ دو چال عمود بر هم که محدوده بلوک را تشکیل می‌دهند حفر شده، سیم الماسه از آن‌ها عبور داده می‌شود. به‌منظور خنک کردن سیم الماسه باید پیوسته آب وارد شیار سنگ شود. کمینه آب مورد نیاز شش تا هشت لیتر در دقیقه است. چنانچه آب مصرفی جمع‌آوری شود و مجدداً مورد استفاده قرار گیرد، میزان آب مورد نیاز روزانه تا حدود ۲۰۰۰ لیتر کاهش می‌یابد ولی در عمل میزان آب مصرفی که باید در مسیر برش، جریان یابد به‌مراتب بیش از این مقدار است و حدود یک متر مکعب در ساعت آب مصرف می‌شود؛ به‌ویژه در برش افقی باید دقت کرد که آب به‌اندازه کافی وارد شیار گردد. در غیر این صورت در اثر برش، پودر سنگ با آب کم، مخلوط شده و سبب تشکیل رسوب می‌گردد که از بین بردن این رسوبات، به آب فراوان و پرفشار نیاز دارد. دستگاه وینچ معمولاً در فاصله پنج تا هشت متری سینه‌کار قرار می‌گیرد. بدین ترتیب حدود ۱۵ متر از سیم الماسه به‌طور آزاد کار می‌کند. مکانیزم دستگاه به‌گونه‌ای است که می‌توان با جابجایی و تغییر جهت محور وینچ از حالت افقی به عمودی سنگ را به‌طور افقی و یا عمودی برید. برش افقی باید زمانی صورت گیرد که برش عمودی کوه هنوز انجام نگرفته است زیرا درغیراین‌صورت در انتهای برش افقی امکان دارد بلوک سنگ از کوه جدا شده و سیم برش را که در حالت افقی کار می‌کند، له نماید (احمدی، ۱۳۸۷؛ عطایی، ۱۳۸۷؛ معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور، ۱۳۸۷؛ Filgueira, 2000). در شکل ۵ بطور طرح‌وار برش سطوح مختلف بلوک سنگ با استفاده از روش سیم‌برش الماسه نشان داده شده است.

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]
[ DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1062510 ]



شکل ۵. چال‌های عمود بر هم و برش وجوه مختلف بلوک سنگ با استفاده از روش سیم‌برش الماسه بصورت طرح‌وار (احمدی، ۱۳۸۷)

**Fig. 5. Perpendicular boreholes and cutting of various faces of stone block using diamond wire cutting method, schematically (Ahmadi, 2008)**

## بحث و نتایج

به‌منظور مطالعه وضعیت عملکرد و بهره‌وری سیم‌برش‌های الماسه مورد استفاده در محدوده تراورتن حاجی‌آباد محلات، طی ۴۵ روز کاری، راندمان یا بازدهی سیم‌برش‌های الماسه مورداستفاده در مناطق 8E و 8W واقع در شمال محدوده، برای برش وجوه مختلف سنگ، مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. دلیل انتخاب این مناطق برای مطالعه، فعال‌تر بودن آن‌ها نسبت به مناطق دیگر در زمان مطالعه و تشابه بیشتر آن‌ها با یکدیگر از نظر شرایط زمین‌شناسی، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی سنگ، امکانات، دستگاه‌ها و تجهیزات بهره‌برداری است. سیم‌برش‌های مورد استفاده در این مناطق اغلب از نوع رسوب الکترولیتی هستند، زیرا مقایسه معیارهای سنجش صرفاً برای سیم‌برش‌های هم‌جنس و هم‌نوع، معتبر خواهد بود. برای این منظور در منطقه 8E تعداد هفت بلوک در دو سینه‌کار و در منطقه 8W تعداد ۱۳ بلوک در سه سینه‌کار مورد بررسی واقع شد. در هنگام برش نیز هر بلوک براساس اندازه و ابعاد آن بلوک به یک یا چند قطعه تبدیل می‌شود که در اصطلاح معدنکاری به آن تیغه برش می‌گویند. بلوک‌های موجود در هر سینه‌کار، بطور جداگانه مورد بررسی قرار گرفته و راندمان عملکرد سیم‌برش الماسه برای برش تیغه‌های هر بلوک و همچنین در هر مورد در صورت امکان، راندمان پشت‌بری، کف‌بری و وسط‌بری نیز محاسبه شده است. بطورکلی از نظر آماری در این مطالعه، تعداد پنج سینه‌کار، ۲۰ بلوک و ۹۶ تیغه بطور دقیق مورد بررسی قرار گرفته است. تعداد و اندازه و ابعاد تیغه‌های هر بلوک بسته به ابعاد بلوک‌ها با یکدیگر متفاوت می‌باشد. نتایج و جزئیات این مطالعه در جدول ۲ خلاصه شده است. مطابق داده‌های این جدول در منطقه 8E، بطورکلی تعداد ۳۹ تیغه وجود دارد که کمترین تعداد تیغه‌های بلوک برابر با یک عدد متعلق

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]

[ DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1062510 ]

به سینه‌کار شماره ۱ بلوک شماره ۵۴۰ و سینه‌کار شماره ۲ بلوک شماره ۵۴۳ و بیشترین تعداد تیغه‌های بلوک نیز برابر با هفت عدد متعلق به سینه‌کار شماره ۲ بلوک شماره ۵۴۶ است. در منطقه 8W نیز بطورکلی تعداد ۵۷ تیغه وجود دارد که کمترین تعداد تیغه‌های بلوک برابر با یک عدد متعلق به سینه‌کار شماره ۲ بلوک شماره ۵۵۵ و بیشترین تعداد تیغه‌های بلوک نیز برابر با هفت عدد متعلق به سینه‌کار شماره ۱ بلوک‌های شماره ۵۵۰ و ۵۵۱، سینه‌کار شماره ۲ بلوک شماره ۵۵۹ و سینه‌کار شماره ۳ بلوک شماره ۵۶۰ است. همچنین داده‌های این جدول نشان می‌دهند که بیشترین مقدار بهره‌وری تیغه‌بری برابر با ۱۹/۸۷ مترمربع بر ساعت مربوط به تیغه شماره ۱ بلوک شماره ۵۵۳ سینه‌کار شماره ۳ منطقه 8W و کمترین میزان بهره‌وری تیغه‌بری برابر با ۲/۷۲ مترمربع بر ساعت مربوط به تیغه شماره ۳ بلوک شماره ۵۵۰ سینه‌کار شماره ۱ منطقه 8W می‌باشد. بطورکلی متوسط راندمان تیغه‌بری در منطقه 8E برابر با ۷/۰۹ مترمربع بر ساعت، در منطقه 8W برابر با ۵/۷۱ مترمربع بر ساعت و در کل مناطق 8E و 8W برابر با ۶/۴ مترمربع بر ساعت است. بطور متوسط راندمان پشت‌بری در کل مناطق 8E و 8W برابر با ۷/۳۳ مترمربع بر ساعت است که نسبتاً مطلوب می‌باشد. متوسط راندمان کف‌بری در کل مناطق 8E و 8W نیز برابر با ۸/۶۹ مترمربع بر ساعت است که در مقایسه با متوسط راندمان تیغه‌بری و پشت‌بری، بسیار مطلوب می‌باشد.

درخصوص اختلاف زیاد مقادیر کمینه و بیشینه بهره‌وری تیغه‌بری که هر دو نیز مربوط به منطقه 8W هستند، عوامل زیادی تأثیر گذارند که مهم‌ترین آن‌ها شامل نوع دستگاه سیم برش الماسه، کهنه یا نو بودن سیم برش الماسه مورد استفاده، میزان تخصص و تجربه اپراتور (عملگر)، اندازه و ابعاد تیغه استخراجی، شرایط جغرافیایی، ریخت‌شناسی و توپوگرافی سینه‌کار، بلوک و تیغه استخراجی و نیز شرایط زمانی و آب‌وهوای فصلی انجام عملیات می‌باشند. همچنین دلیل بیشتر بودن متوسط راندمان پشت‌بری نسبت به تیغه‌بری در کل مناطق 8E و 8W آن است که در مرحله پشت‌بری، سطح بزرگی از سنگ در یک مرحله برش داده می‌شود، حال آنکه در تیغه‌بری تعداد زیادی از سطوح کوچک‌تر به‌توالی برش داده می‌شوند. اگرچه مرحله کف‌بری از مراحل پشت‌بری و تیغه‌بری، حساس‌تر و قدری مشکل‌تر است، ولی دلیل بیشتر بودن متوسط راندمان کف‌بری در کل مناطق 8E و 8W نسبت به مراحل تیغه‌بری و پشت‌بری، برش سطح بزرگ کف بلوک در یک مرحله (دلیل افزایش بهره‌وری نسبت به تیغه‌بری) و استفاده از سیم‌برش‌های نو و بکارگیری اپراتورهای باتجربه‌تر (دلیل افزایش بهره‌وری نسبت به پشت‌بری) است.

جدول ۲. بررسی وضعیت عملکرد و کارایی سیم‌برش‌های الماسه مورد استفاده در مناطق **8E** و **8W** معدن تراورتن حاجی‌آباد محلات طی ۴۵ روز کاری

**Table 2. Investigating the status of performance and productivity of diamond wire cutters used at the zones 8E and 8W of Mahallat-Hajiabad travertine mine during 45 working days**

| منطقه 8E | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| شماره سینه‌کار | شماره بلوک | شماره تیغه | ابعاد تیغه (ارتفاع×طول) | میزان برش (مترمربع) | مدت زمان برش (ساعت) | راندمان تیغه‌بری | راندمان پشت‌بری | راندمان کف‌بری | راندمان وسطبری |
| 1 | 534 | 1 | 3.5×16 | 56 | 9.5 | 5.89 | | 5.62 (104 مترمربع در 18.5 ساعت) | |
| | | 2 | 3.5×16 | 56 | 11 | 5.09 | | | |
| | | | 5×18 | 90 | 14 | 6.42 | | | |
| | | 3 | 5×15 | 75 | 13.58 | 5.52 | | | |
| | | 4 | 5×18 | 90 | 14.83 | 6.06 | | | |

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]
[ DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1062510 ]

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 6.83 | 13.16 | 90 | 5×18 | 5 | | |
| | | | 15.94 | 17.25 | 275 | 11×25 | 1 | 540 | |
| | 7.62 (120 مترمربع در 15.75 ساعت) | | 10.29 | 15.16 | 156 | 12×13 | 1 | 544 | |
| | | | 9.75 | 20 | 195 | 13×15 | | | |
| | | | 9.36 | 20.83 | 195 | 13×15 | 2 | | |
| | | | 9.36 | 20.83 | 195 | 13×15 | 3 | | |
| 20 (130 مترمربع در 6.5 ساعت) | 7 (315 مترمربع در 45 ساعت) | 8.44 (180 مترمربع در 21.33 ساعت) | 10.9 | 22 | 240 | 12×20 | 1 | 546 | 2 |
| | | | 9.69 | 9.8 | 95 | 5×19 | | | |
| | | | 11.14 | 14 | 156 | 12×13 | 2 | | |
| | | | 11.42 | 21 | 240 | 12×20 | | | |
| | | | 8.7 | 10.91 | 95 | 5×19 | | | |
| | | | 8.7 | 10.91 | 95 | 5×19 | 3 | | |
| | | | 6.26 | 15.16 | 95 | 5×19 | 4 | | |
| | | | 8.14 | 11.66 | 95 | 5×19 | 5 | | |
| | | | 10.51 | 22.83 | 240 | 12×20 | 6 | | |
| | | | 6.58 | 31 | 204 | 12×17 | 7 | | |
| | | 2.81 (104 مترمربع در 37 ساعت) | 11.17 | 15.75 | 176 | 11×16 | 1 | 542 | |
| | | | 4.57 | 26.25 | 120 | 8×15 | | | |
| | | | 7.7 | 27 | 208 | 13×16 | 2 | | |
| | | | 4.24 | 30.16 | 128 | 8×16 | | | |
| | | | 4.72 | 44 | 208 | 13×16 | 3 | | |
| | | | 7.09 | 19.16 | 136 | 8×17 | | | |
| | | | 5.1 | 23.5 | 120 | 8×15 | | | |
| | | | 5.02 | 32.25 | 162 | 9×18 | 4 | | |
| | | | 4.62 | 37 | 171 | 9×19 | 5 | | |
| | | | 3.83 | 46.91 | 180 | 9×20 | 6 | | |
| | | 6.56 (182 مترمربع در 27.75 ساعت) | 6.5 | 26 | 169 | 13×13 | 1 | 543 | |
| 37.14 (130 مترمربع در 3.5 ساعت) | | 4.65 (144 مترمربع در 31 ساعت) | 2.75 | 43.5 | 120 | 8×15 | 1 | 536 | |
| | | | 4.44 | 27 | 120 | 8×15 | 2 | | |
| | | | 4.09 | 29.33 | 120 | 8×15 | 3 | | |
| 4.8 (144 مترمربع در 30 ساعت) | | | 3.17 | 37.83 | 120 | 8×15 | 4 | | |
| | | | 3.93 | 15.25 | 60 | 4×15 | | | |
| | | | 7.74 | 15.5 | 120 | 8×15 | 5 | | |
| | | | 3.47 | 17.25 | 60 | 4×15 | | | |
| **منطقه 8W** | | | | | | | | | |

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]

[ DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1062510 ]

| شماره سینه کار | شماره بلوک | شماره تیغه | ابعاد تیغه (ارتفاع×طول) | میزان برش (مترمربع) | مدت زمان برش(ساعت) | راندمان تیغه‌بری | راندمان پشت‌بری | راندمان کف‌بری | راندمان وسط‌بری |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 551 | 1 | 5×10 | 50 | 11.16 | 4.48 | 11.21 (85 مترمربع در 7.58 ساعت) | | 8.5 (80 مترمربع در 9.41 ساعت) |
| | | 2 | 5×12 | 60 | 8.25 | 7.27 | | | |
| | | 3 | 5×13 | 65 | 14.83 | 4.38 | | | 6.19 (65 مترمربع در 10.5 ساعت) |
| | | 4 | 5×15 | 75 | 16.25 | 4.61 | | | |
| | | 5 | 5×16 | 80 | 9.75 | 8.2 | | | 3.68 (75 مترمربع در 20.41 ساعت) |
| | | 6 | 5×18 | 90 | 10.41 | 8.64 | | | |
| | | 7 | 5×19 | 95 | 15.25 | 6.22 | | | |
| | 547 | 1 | 8×8 | 64 | 44 | 5.81 | | 14.5 (418 مترمربع در 28.83 ساعت) | |
| | | 2 | 8×10 | 80 | 13.58 | 5.89 | | | |
| | | 3 | 8×13 | 104 | 18.5 | 5.62 | | | |
| | 549 | 3 | 3×15 | 45 | 8.75 | 5.14 | | | |
| | | | 4×15 | 60 | 19 | 3.15 | | | |
| | | 4 | 3×15 | 45 | 15.58 | 2.88 | | | |
| | | 5 | 3×15 | 45 | 10.16 | 4.42 | | | |
| | 550 | 1 | 4×15 | 60 | 17.16 | 3.49 | 2.84 (60 مترمربع در 21.15 ساعت) | | 3.79 (24 مترمربع در 6.33 ساعت) |
| | | 2 | 3×15 | 45 | 11.75 | 3.82 | | | |
| | | 3 | 3×15 | 45 | 16.5 | 2.72 | | | |
| | | 4 | 4×15 | 60 | 19 | 3.15 | | | |
| | | 5 | 3×15 | 45 | 8.75 | 5.14 | | | |
| | | | 4×15 | 60 | 19 | 3.15 | | | |
| | | 6 | 3×15 | 45 | 13.83 | 3.25 | | | |
| | | 7 | 3×15 | 45 | 13.16 | 3.41 | | | |
| | 554 | 1 | 8×15 | 120 | 24.83 | 4.83 | 5.33 (80 مترمربع در 15 ساعت) | | |
| | | 2 | 8×15 | 120 | 28.16 | 4.26 | | | |
| | 557 | 1 | 5×16 | 80 | 24 | 3.33 | 9.54 (85 مترمربع در 8.91 ساعت) | | |
| | | 2 | 5×16 | 80 | 15.4 | 5.19 | | | |
| | | 3 | 5×16 | 80 | 13.66 | 5.85 | | | |
| | | 4 | 5×16 | 80 | 16.75 | 4.77 | | | |
| | | 5 | 5×16 | 80 | 7.33 | 10.91 | | | |
| 2 | 555 | 1 | 8×12 | 96 | 11.08 | 8.66 | 6.05 | | |

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]
[ DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1062510 ]

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | (120 مترمربع در 19.83 ساعت) | | | | | | | |
| | | | 7.2 | 8.33 | 60 | 4×15 | 1 | 559 | |
| | | | 3.33 | 18 | 60 | 4×15 | 2 | | |
| 3.49 (64 مترمربع در 18.33 ساعت) | | | 6.43 | 9.33 | 60 | 4×15 | 3 | | |
| 2.8 (72 مترمربع در 34.5 ساعت) | | | 6.43 | 9.33 | 60 | 4×15 | 4 | | |
| | | | 4.41 | 13.58 | 60 | 4×15 | 5 | | |
| | | | 6.43 | 9.33 | 60 | 4×15 | 6 | | |
| | | | 5.8 | 10.33 | 60 | 4×15 | 7 | | |
| 2.46 (60 مترمربع در 24.16 ساعت) | | | | | | | | 532 | |
| | | 5 (120 مترمربع در 24 ساعت) | | | | | | 556 | |
| | | 7.43 (60 مترمربع در 8.08 ساعت) | 12 | 5 | 60 | 4×15 | 1 | 561 | 3 |
| | | | 2.85 | 21 | 60 | 4×15 | 2 | | |
| | | | 3.79 | 15.83 | 60 | 4×15 | 3 | | |
| | | 9.44 (85 مترمربع در 9 ساعت) | 4.09 | 14.66 | 60 | 4×15 | 4 | | |
| | | | 10.51 | 6.66 | 70 | 5×14 | | | |
| | | 4.3 (32 مترمربع در 7.5 ساعت) | 3.52 | 17 | 60 | 4×15 | 5 | | |
| | | | 11.71 | 6.83 | 80 | 5×16 | 6 | | |
| | | 18.96 (120 مترمربع در 6.33 ساعت) | 19.87 | 4.83 | 96 | 8×12 | 1 | 553 | |
| | | | 4.72 | 20.33 | 96 | 8×12 | 2 | | |
| | | | 9.6 | 10 | 96 | 8×12 | 3 | | |
| | | | 8.75 | 8 | 70 | 5×14 | 4 | | |
| | | | 10.28 | 9.33 | 96 | 8×12 | 5 | | |
| | | | 5.27 | 15.16 | 80 | 5×16 | 6 | | |
| | | | 3.58 | 16.75 | 60 | 4×15 | 1 | 560 | |
| | | | 3.27 | 18.33 | 60 | 4×15 | 2 | | |
| | | | 3.6 | 16.66 | 60 | 4×15 | 3 | | |
| | | | 3.91 | 15.33 | 60 | 4×15 | 4 | | |
| | | | 3.27 | 18.33 | 60 | 4×15 | 5 | | |

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]

[ DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1062510 ]

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 4.93 | 12.16 | 60 | 4×15 | 6 | | |
| | | | 3.46 | 17.33 | 60 | 4×15 | 7 | | |

نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهند که متوسط بهره‌وری تیغه‌بری در منطقه 8E نسبت به منطقه 8W وضعیت مطلوب‌تری دارد. اگرچه متوسط بهره‌وری تیغه‌بری کل در مناطق 8E و 8W یعنی دو زون شمالی محدوده تراورتن حاجی‌آباد (برابر با ۶/۴ مترمربع بر ساعت)، براساس داده‌های جدول ۱ در حد قابل قبول قرار دارد، ولی از مقدار بیشینه ذکر شده در این جدول فاصله زیادی داراست. بنابراین افزایش بهره‌وری در این محدوده، مورد نیاز است. به منظور افزایش بهره‌وری در معدن سنگ تراورتن حاجی‌آباد و یا دیگر معادن سنگ ساختمانی در سطح استان مرکزی و حتی سطح کشور، انجام فعالیت‌های پژوهشی در زمینه‌های گوناگون، ضروری به‌نظر می‌رسد. بطورکلی درخصوص افزایش بهره‌وری در معدن، استفاده از تجهیزات و ماشین‌آلات پیشرفته، مدیریت منابع کارآمد، توجه به وضعیت ساختاری، راستای درزه‌ها و طراحی راستای برش بلوک‌ها براساس راستای درزه‌ها، سرمایه‌گذاری در آموزش نیروی کار، درنظرگرفتن جنبه‌های زیست‌محیطی، و ارتقای همکاری و یکپارچه‌سازی فناوری‌ها مهم‌ترین عوامل و راهکارهای کلیدی هستند. اجرای این راهکارها می‌تواند به بهبود بهره‌وری عملیاتی، مقرون به صرفه بودن، دوام طولانی مدت و رشد و توسعه پایدار صنعت معدن‌کاری سنگ ساختمانی منجر شود.

## نتیجه‌گیری

حلقه استخراج در زنجیره تولید سنگ ساختمانی در کشورهای در حال توسعه، در مسیر افزایش بهره‌وری در حال تغییر است. بنابراین در پژوهش حاضر سعی شد تا میزان بهره‌وری استخراج سنگ تراورتن حاجی‌آباد محلات با روش سیم‌برش الماسه، اندازه‌گیری شود و مورد ارزیابی قرار گیرد. هرچند برای ارزیابی یا سنجش عملکرد روش سیم‌برش الماسه، معیارهای دیگری نیز وجود دارند، ولی پارامتر بهره‌وری جزء مهم‌ترین معیارهای سنجش است. در ادامه مسیر نیز انجام پیشنهادهای پژوهشی برای افزایش میزان بهره‌وری ارائه گردید. نتایج پژوهش حاضر براساس اندازه‌گیری بهره‌وری طی ۴۵ روز کاری در دو زون شمالی محدوده تراورتن حاجی‌آباد با شرایط زمین‌شناسی و بهره‌برداری تقریباً یکسان، نشان داد که متوسط میزان بهره‌وری در کل این مناطق برابر با ۶/۴ مترمربع بر ساعت و قابل قبول است ولی از مقدار ایده‌آل، فاصله بسیار زیادی دارد. بنابراین بایستی میزان بهره‌وری در این محدوده افزایش یابد.

اگرچه در حال حاضر در اغلب معادن سنگ ساختمانی کشور از روش سیم‌برش الماسه برای استخراج استفاده می‌شود، اما در بخش‌های مختلف این فرآیند نیز از طریق انتخاب درست تجهیزات، دستگاه‌ها، ماشین‌آلات و راستای برش، امکان افزایش راندمان و بهره‌وری وجود دارد. با ادامه تحقیقات، تعیین پارامترهای مناسب و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین در زمینه استخراج سنگ‌های ساختمانی با روش سیم‌برش الماسه، می‌توان میزان بهره‌وری را به‌طور قابل‌توجهی افزایش داد. بدون شک بهینه‌سازی پارامترهای برش سیم الماسه و استفاده از تجهیزات مدرن، باعث کاهش هدر رفت سنگ، حفظ محیط زیست و افزایش بهره‌وری در فرآیند استخراج سنگ‌های ساختمانی می‌شود.

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]
[ DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1062510 ]

## منابع

احمدی، ر.، ۱۳۹۵. راهکارهای بهبود مراحل زنجیره تولید صنعت سنگ ساختمانی کشور ایران- مطالعه میدانی: صنعت سنگ تراورتن منطقه محلات. مجله مهندسی منابع معدنی، ۱ (۲): ۶۰-۴۷.

احمدی، ر.، ۱۳۸۷. راهکارهای بهبود تکنولوژی تولید سنگ به منظور افزایش سهم صادرات سنگ فرآوری شده در استان مرکزی. گزارش طرح پژوهشی، سازمان مدیریت و بازرگانی استان مرکزی، ۱۵۰ ص.

اسماعیلی، ر.، صفری، م.، ۱۳۹۲. انتخاب روش استخراج مناسب معدن سنگ ساختمانی با استفاده از فرآیند تحلیل سلسه مراتبی (AHP). سومین کنفرانس بین‌المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی، تهران.

بصیری، م.، پرتاشک، ا.، ۱۳۹۰. تحلیل ساختاری شکستگی¬های معادن و محدوده¬های اکتشافی سنگ‌های ساختمانی و تزئینی به منظور برآورد امکان استخراج. سی‌امین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

حاجی، ع.، ۱۴۰۰. گزارش عملیات تهیه نقشه زمین‌شناسی و تکتونیک و تحلیل ساختاری معدن تراورتن حاجی‌آباد. شرکت معدن فرآور امداد (EMCO)، ۴۱ ص.

عطایی، م.، ۱۳۸۷. استخراج سنگ‌های ساختمانی. انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ۲۸۶ ص.

معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس‌جمهور، ۱۳۸۷. راهنمای اکتشاف، استخراج و فرآوری سنگ‌های تزئینی و نما. نشریه شماره ۳۷۸.

Akhyani, M., Sereshki, F., Mikaeil, R., Taji, M., 2017. Evaluation of cutting performance of diamond saw machine using artificial bee colony (ABC) algorithm. International Journal of Mining and Geo-Engineering, 51(2), 185–190.

Careddu, N., Perra, E.S., Masala, O., 2019. Diamond wire sawing in ornamental basalt quarries: technical, economic and environmental considerations. Bulletin of Engineering Geology and Environment, 78, 557-568.

Feng, J., Liang, H., Liu, J., Mao, G., 2019. Research on cutting performance optimization of diamond wire saw. Journal of Physics: Conference Series 1345 032049.

Filgueira, M., 2000. In situ diamond wires production. PhD thesis. State University of North Fluminense, Advanced Materials Lab.

Liang, F.S., 2016. Research and design of key technologies for super power wire sawing machine. Huaqiao University.

Rajpurohit, S.S., Sinha, R.K., Sen, P., Adak, V., 2020. Effect of the rock properties on sawability of granite using diamond wire saw in natural stone quarries. Arabian Journal of Geosciences, 13(21), 1117.

Sandro, T., Sorrentino, L., Bellini, C., 2016. A method to optimize the diamond wire cutting process. Diamond and Related Materials, 71, 90-97.

Schwinde, S., Berg, M., Kunert, M., 2015. New potential for reduction of kerf loss and wire consumption in multi-wire sawing. Solar Energy Materials and Solar Cells, 136, 44-47.

Zhang, Y.R., Wang, L.Q., Yang, Y., Zhang, W., 2015. Testing of cutting efficiency of diamond wire sawing machine for cutting submarine pipeline. Journal of Harbin Engineering University, 36 (1), 119-122.

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]

[ DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1062510 ]

# Determining the productivity of dimension stone quarrying by diamond wire cutting to evaluate performance (case study: Mahallat, Hajiabad travertine)

**Reza Ahmadi**[1*]

1. Assistant Professor, Mining Engineering Department, College of Earth Sciences, Arak University of Technology

Received: 30 Mar 2023 Accepted: 02 May 2023

## Abstract

In the present study, productivity was determined as one of the most important evaluation criteria for the building stone to cut the different faces of travertine using the diamond wire cutting method. For this purpose, measurements were carried out in two zones named 8E and 8W in the northern region of Mahallat, Hajiabad travertine located in the Markazi Province. These zones were selected because of their greater similarity in terms of geological conditions, physical and mechanical properties of the stone, quarrying facilities, machinery and equipment. In order to achieve the objective, structural studies as joint study were first carried out as a joint study through field observations of fractures, drawing rose diagrams and analyzing them. Then, the productivity of electro deposited type diamond wire cutting was measured on seven blocks in two cutting panels of the 8E zone and 13 blocks in three cutting panels of the 8W zone over a period of 45 working days was measured. The results of the research indicate that the average productivities are 7.09 and 5.71 square meters per hour for the 8E and 8W zones, respectively and the overall average value for the 8E and 8W zones is 6.4 square meters per hour. Based on these results, although the average productivity level in these zones is acceptable, but well below the ideal level (18 square meters per hour). Therefore, the productivity in this area needs to be increased.

**Keywords:** Productivity, Dimension stone, Travertine, Diamond wire cutting, Mahallat-Hajiabad.

## Introduction

Nowadays, the diamond wire cutting method is considered the most appropriate in the stone industry compared to other dimension stone quarry methods due to its advantages containing relatively high flexibility, great compatibility with environment, relatively high energy efficiency and no damage to stone. However, the performance of various wire cutters is different depending on their type and material as well as the kind of building stone.

In the present study, productivity was determined as one of the most important evaluation criteria for the building stone to cut the different faces of travertine using the diamond wire cutting method. Productivity is defined as the cutting area by the wire in square meters per hour. For this purpose, measurements were carried out in two zones named 8E and 8W in the northern region of Mahallat-Hajiabad travertine located in the Markazi Province. The reason for selecting these zones was their greater similarity in terms of geological conditions, physical and mechanical properties of the stone, quarrying facilities, machinery and equipment. Hajiabad travertine quarry, as the largest travertine mine in the Markazi province, is located in the southwest of Mahallat city and five kilometers from Mahallat-Khomein road. This district has a relatively mild hill-axis

*Corresponding author: rezahmadi@gmail.com
DOI: https://doi.org/10.22034/JEG.2023.17.1.1062510

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]
[ DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1062510 ]

morphology and is located between the foothills and plain. In the Hajiabad travertine district, six types of stratified rock units have been distinguished: one sandstone unit, Eocene shale and marl units, two lower and upper Quaternary conglomerate units, and three travertine units with quarrying ability. Currently, the region includes 11 zones named 6E, 6W, 8E, 8W, S3, L10, 1, 12, 14, 15 and 17.

## Materials and methods

To achieve the goal, structural studies as joint study were initially conducted through field observations of fractures, drawing rose diagrams, and analyzing them. Based on the results of this approach, dimensions of mining blocks are designed and implemented in the general directions of main joints in the region. This task, on the one hand, facilitates and increases the speed of stone block cutting, and on the other hand, prevents the stone block from breaking in the primary or subsequent stages of cutting, and as a result, the productivity increases.

Afterward, the productivity of electro deposited type diamond wire cutting employed for seven blocks in two cutting panels of the zone 8E and 13 blocks in three cutting panels in the zone 8W during a period of 45 working days was measured. In general, from statistically viewpoint in this study, the number of five cutting panels, 20 blocks and 96 cubes (part of a block) has been carefully investigated.

## Results and discussion

The results of the research indicate that the highest value of cube cutting productivity equals 19.87 square meters per hour, belonging to cube No. 1 of block No. 553 from cutting panel No. 3 in zone 8W while the lowest value equals 2.72 square meters per hour corresponds to cube No. 3 of block No. 550 from cutting panel No. 1 in zone 8W. On average, the back cutting efficiency for two zones 8E and 8W, overall is equal to 7.33 square meters per hour, which is relatively favorable.

In general, the average productivities of cube cutting are 7.09 and 5.71 square meters per hour for zones 8E and 8W, respectively as well as the overall average value for zones 8E and 8W is 6.4 square meters per hour. In other words, the average productivity of cube cutting in zone 8E is more favorable than 8W. Based on these results, although the average productivity level in these zones is acceptable, it falls significantly short of the ideal value (18 square meters per hour). Therefore, the productivity in this region needs to be increased.

## Conclusion

Although, currently in most of quarries in Iran, diamond wire cutting method is used for building stone quarrying, but in the various parts of this process, through correct selection of equipment, devices, machines and cutting direction, increasing of efficiency and productivity possible. By continuing the research, determining the appropriate parameters and employing new technologies to quarry building stones with the diamond wire cutting method, the productivity can be increased significantly. Undoubtedly, optimizing the parameters of diamond wire cutting and using modern equipment will reduce stone waste, preserve the environment and increase the productivity in the quarry process of building stones.

[ Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29 ]

[ DOI: 10.22034/JEG.2023.17.1.1062510 ]