بسم الله الرحمن الرحیم

**دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک**

**پایان‌نامه کارشناسی ارشد استخراج مواد معدنی**

# تعیین ارتفاع مناسب پله در سنگ‌های ساختمانی مطالعه موردی معدن مرمریت عزیز کندی بوکان

نگارنده: حمید حسین پور کله‌سر

**اساتید راهنما**

دکتر محمد عطائی

دکتر فرهنگ سرشکی

ماه و سال

بهمن ماه ۱۳۹۹

در این صفحه صورت جلسه دفاع را قرار دهید. لازم است پس از صحافی این صفحه مجدداً توسط دانشکده مهر گردد و استاد راهنما با امضای خود اصلاحات پایان‌نامه را تایید کند.

تقدیم به:

پدر و مادر عزیزم، بهترین آموزگاران زندگی ام

و برادران و خواهر عزیز و همیشه همراهم

دست رنجم را تقدیمشان می دارم، شاید نشانی باشد از سپاس

# تشکر و قدردانی

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 نمی رسید.

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

هم‌چنین از خانواده ام، دوستانم و تمام کسانی که در این مسیر کنارم بودند، به غایت اظهار قدردانی میکنم.

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

# تعهدنامه

اینجانب **حمید حسین پور کله‌سر** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **مهندسی معدن گرایش استخراج مواد معدنی** دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه **با موضوع تعیین ارتفاع مناسب پله در سنگ‌های ساختمانی مطالعه موردی معدن مرمریت عزیز کندی بوکان** تحت راهنمائی **دکتر محمد عطائی و دکتر فرهنگ سرشکی** متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان‌نامه 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 پایان‌نامه 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 می‌باشد 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 پایان‌نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه ، در مواردی که از موجود زنده ( یا بافتهای آنها ) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

**تاریخ**

**امضای دانشجو**

## مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است ) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود. استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

# چکیده

دستگاه سیم برش الماسه در بسیاری از معادن برای کم کردن هزینه‌های چالزنی افقی در ترکیب با دستگاه اره برش زنجیری (هاواژ) به کار می‌رود؛ لذا طول و عرض بلوک استخراجی با توجه به اندازه تیغه برشی و کارایی ماشین بستگی دارد و سیم برش الماسه در برش‌های عمودی به کار گرفته می‌شود؛ بنابراین در این تحقیق سعی بر این است با تعیین ارتفاع مناسب پله که یکی از عوامل موثر در به دست آوردن ابعاد بزرگ و سالم از سنگ ساختمانی است به ایمنی و راندمان بالا و مورد نیاز دست یافت. در این پژوهش به منظور انتخاب ارتفاع مناسب پله چهار سناریو (ارتفاع‌های ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ متر) تعیین شده و جهت بررسی از داده‌های اکتشافی معدن مرمریت عزیز کندی بوکان استفاده شده است. جهت تعیین ارتفاع مناسب پله ابتدا توسط نرم‌افزار ۳dec مدل ناپیوستگی‌ها مدل شد و کوپ‌دهی معدن در ارتفاع‌های مختلف تخمین زده شد. مقدار هزینه‌های برش و چال‌زنی در ارتفاع‌های مختلف محاسبه گردید. در نهایت میزان سوددهی معدن در ارتفاع‌های مختلف تعیین شد؛ که با توجه به محاسبات صورت گرفته ارتفاع ۱۲ متر، کم‌ترین هزینه را به خاطر کاهش تعداد پله و میزان برش و چالزنی افقی داشت، و نیز بیشترین مقدار حجم کوپ‌دهی را داشت؛ که در نهایت ارتفاع ۱۲ متر به علت سوددهی بیشتر در بین سناریوهای انتخابی، به عنوان ارتفاع مناسب پله در معدن عزیزکندی بوکان معرفی گردید.

**کلمات کلیدی:** سنگ ساختمانی، ارتفاع پله، مدل‌سازی عددی، کوپ‌دهی، سوددهی معدن

# فهرست مطالب

**فهرست جداول** ه

**فهرست اشکال** و

**فصل۱ : کلیات** ۱

۱-۱ مقدمه ..... ۲

۱-۲ بیان مسئله ..... ۴

۱-۳ سابقه موضوع ..... ۶

۱-۴ ضرورت انجام تحقیق ..... ۸

۱-۵ روش انجام تحقیق ..... ۹

۱-۵-۱ جمع‌آوری اطلاعات و مطالعات لازم ..... ۹

۱-۵-۲ دریافت و تحلیل داده‌های مورد نیاز از معدن ..... ۹

۱-۵-۳ نتیجه گیری ..... ۹

۱-۶ ساختار تحقیق ..... ۱۰

**فصل۲ : مبانی نظری تحقیق** ۱۱

۲-۱ مقدمه ..... ۱۲

۲-۲ مراحل برش سنگ ساختمانی ..... ۱۲

۲-۲-۱ برش اولیه ..... ۱۲

۲-۲-۲ برش ثانویه ..... ۱۳

۲-۳ استخراج با حفر چال‌های موازی ..... ۱۳

۲-۳-۱ جداسازی با نعل و پارس ..... ۱۴
۲-۳-۲ جدا کردن بلوک به روش مکانیکی ..... ۱۵
۲-۳-۳ استفاده از مواد ناریه ضعیف و یا روش‌های کنترل شده ..... ۱۶
۲-۳-۴ استفاده از مواد منبسط شونده ..... ۱۶
۲-۴ استخراج با برش سنگ ..... ۱۷
۲-۴-۱ استخراج بلوک‌های سنگ توسط ماشین ضربه‌زن ..... ۱۷
۲-۴-۲ برش با سیم‌های برش فولادی (حلزونی) ..... ۱۷
۲-۴-۳ روش برش با سیم برش الماسه ..... ۱۷
۲-۴-۴ ایجاد برش در سنگ با استفاده از دستگاه‌های سنگ‌بر ..... ۲۰
۲-۵ روش‌های نوین استخراج ..... ۲۱
۲-۵-۱ برش سنگ با استفاده از فشار آب ..... ۲۲
۲-۵-۲ روش استخراج با شعله ..... ۲۲
۲-۶ انتخاب تجهیزات و روش مناسب استخراج ..... ۲۳
۲-۷ تعیین ابعاد مناسب بلوک ..... ۲۴
۲-۷-۱ محدودیت ابعاد بلوک در برش اول ..... ۲۴
۲-۷-۲ محدودیت ابعاد بلوک در برش دوم ..... ۲۵
۲-۸ پله‌های استخراجی و ابعاد آن ..... ۲۵
۲-۸-۱ طول پله ..... ۲۶
۲-۸-۲ عرض پله ..... ۲۶
۲-۸-۳ ارتفاع پله ..... ۲۷
۲-۹ تاثیر ارتفاع مناسب پله‌ها در مراحل مختلف عملیات استخراج ..... ۲۷
۲-۹-۱ چالزنی ..... ۲۷

۲-۹-۲ جداسازی بلوک ..... ۲۸
۲-۹-۳ تجهیزات بارگیری و باربری ..... ۲۸
۲-۹-۴ عملکرد دستگاه و سیم برش ..... ۲۹
۲-۹-۵ شرایط زمین شناسی ..... ۲۹
۲-۹-۶ راندمان استخراج ..... ۳۰
۲-۱۰ جمع بندی ..... ۳۱
**فصل۳ : معرفی مطالعه موردی** **۳۳**
۳-۱ مقدمه ..... ۳۴
۳-۲ موقعیت جغرافیایی محدوده اکتشافی و وضعیت راه‌های دسترسی به آن ..... ۳۴
۳-۳ وضعیت آب و هوای منطقه ..... ۳۵
۳-۴ ژئومورفولوژی منطقه ..... ۳۶
۳-۵ مشخصات محدوده معدن ..... ۳۶
۳-۶ مشخصات ماده معدنی ..... ۳۷
۳-۷ زمین شناسی و زمین ساخت عمومی منطقه ..... ۳۸
۳-۸ مطالعات درزه‌نگاری در محدوده معدن ..... ۳۸
۳-۹ تعیین ذخیره معدن ..... ۴۰
۳-۱۰ آماده سازی و روش استخراج ..... ۴۲
۳-۱۱ جمع بندی ..... ۴۳
**فصل۴ : تعیین ارتفاع مناسب پله** **۴۵**
۴-۱ مقدمه ..... ۴۶
۴-۲ روش انجام کار ..... ۴۶
۴-۳ معرفی نرم افزار 3DEC ..... ۴۷

۴-۴ تخمین کوپ‌دهی ..... ۴۹
۴-۵ مدلسازی با 3dec ..... ۵۰
۴-۶ هزینه‌های جاری ..... ۵۴
۴-۷ ارزیابی درآمد کل معدن در ارتفاع‌های مختلف ..... ۵۶
۴-۸ تعیین ارتفاع مناسب پله ..... ۵۷
**فصل۵ :نتیجه گیری و پیشنهادات** **۵۹**
۵-۱ نتیجه گیری ..... ۶۰
۵-۲ پیشنهادها ..... ۶۱
پیوست ..... ۶۲
**مراجع** **۶۳**

# فهرست جداول

جدول ۲-۱- مقایسه کیفی روش‌های استخراج ..... ۲۳

جدول ۳-۱- مشخصات ماده معدنی ..... ۳۷

جدول ۳-۲- مشخصات درزه‌های منطقه ..... ۳۹

جدول ۴-۱- ارزش بلوک‌های ایجاد شده در ارتفاع‌های مختلف ..... ۵۳

جدول ۴-۲- هزینه‌های برش و چالزنی معدن ..... ۵۶

جدول ۴-۳- درآمد کل معدن ..... ۵۷

# فهرست اشکال


شکل ۱-۱- نمایی از برش اولیه و قواره سازی بلوک ..... ۳
شکل ۱-۲- استخراج مستقیم بلوک تجاری از سینه کار ..... ۳
شکل ۱-۳- تاثیر طول بلوک برش بر هزینه‌ها ..... ۶
شکل ۲-۱- بلوک استخراجی با چال‌های موازی ..... ۱۴
شکل ۲-۲- جداسازی با پارس گوه ..... ۱۵
شکل ۲-۳- جداسازی بلوک به روش مکانیکی ..... ۱۵
شکل ۲-۴- دستگاه سیم برش الماسه ..... ۱۸
شکل ۲-۵- برش افقی و عمودی با سیم برش الماسه ..... ۱۹
شکل ۲-۶- دستگاه برش اره زنجیری ..... ۲۰
شکل ۲-۷- برش سنگ با سنگ‌بر دیسکی ..... ۲۱
شکل ۲-۸- شماتیک ابعاد بلوک در استخراج سنگ ساختمانی ..... ۲۶
شکل ۲-۹- واژگون سازی بلوک ..... ۲۷
شکل ۳-۱- موقعیت جغرافیایی محدوده اکتشافی و وضعیت راه‌های دسترسی ..... ۳۵
شکل ۳-۲- رئوس محدوده‌ی میله گذاری شده ..... ۳۶
شکل ۳-۳- رزدیاگرام شکستگی‌های منطقه ..... ۴۰
شکل ۴-۱- مدل ناپیوستگی‌ها در ارتفاع ۶ متر ..... ۵۰
شکل ۴-۲- مدل ناپیوستگی‌ها در ارتفاع ۸ متر ..... ۵۱
شکل ۴-۳- مدل ناپیوستگی‌ها در ارتفاع ۱۰ متر ..... ۵۲
شکل ۴-۴- مدل ناپیوستگی‌ها در ارتفاع ۱۲ متر ..... ۵۲

# فصل ۱ : کلیات

## ۱-۱ مقدمه

از زمانی که بشر به فکر ساختن مسکنی مستحکم بود استخراج سنگ‌های ساختمانی[۱] آغاز شده است؛ لذا تاریخ استفاده از سنگ دقیقاً به خلقت او بر می‌گردد. امروزه هم سنگ‌های تزئینی و نما زینت بخش بناهای مدرن و کاخ‌ها هستند؛ لذا مصرف سنگ به وسیله انسان یک روند رو به رشد و پایدار و دائمی در بخش ساختمان و عمران در سرتاسر دنیا به نمایش گذاشته است. ایران به لحاظ برخورداری از معادن سنگ در رتبه دوم و از حیث زیبایی و تنوع در سنگ‌های رنگی در رتبه نخست جهان ایستاده است [۱]. متاسفانه شرکت‌های تولید و فراوری سنگ به علت رعایت نکردن اصول علمی در تولید محصولات خود از فرصت‌ها و مزیت‌های موجود نتوانستند به سهم قابل توجهی در بازارهای بین المللی دست یابند. با توجه به اهمیت حیاتی که توسعه صادرات غیر نفتی برای اقتصاد ایران دارد و با توجه به اینکه سنگ جزء مواد استراتژیک نبوده و کمبود آن کشور را محتاج ابر قدرت‌ها نمی‌کند؛ لذا ایجاب می‌کند که بر میزان استخراج سنگ‌های ساختمانی افزوده شود و البته این استخراج به گونه‌ای باید باشد که کمترین لطمه و خسارت به سنگ وارد آمده و تولید با حداقل هزینه و بیشترین بازده همراه باشد.

در بسیاری از سنگ‌های ساختمانی، معدنکاری از دو روش زیر پیروی می‌شود:

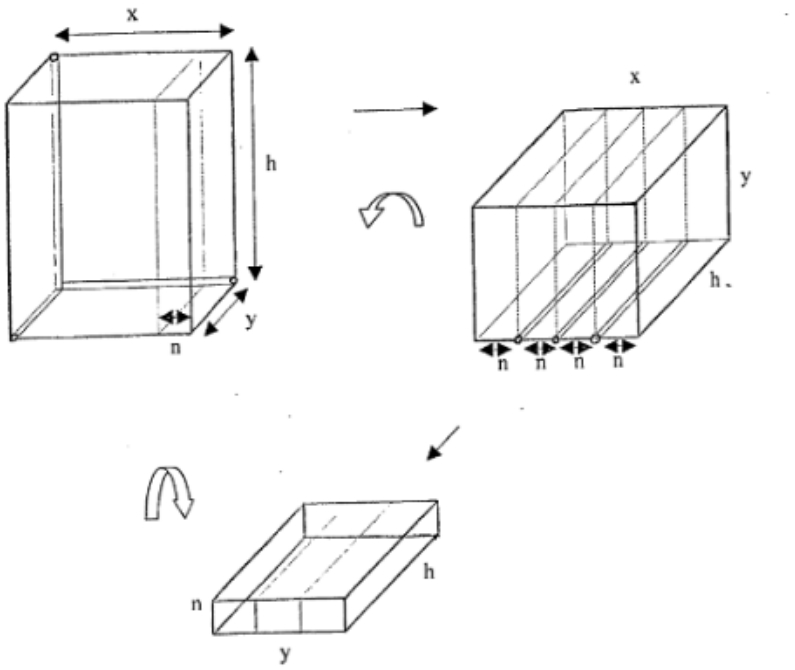
- **روش اول**

در ابتدا حجم بزرگی از سنگ بریده می شود و سپس به قطعات کوچک بلوک تجاری تقسیم می‌شود، این اصلی‌ترین روش به کار گرفته شده در معدن‌های مرمریت[۲] و گرانیت[۳] است (شکل ۱-۱).

[۱] Building rocks

[۲] marble

[۳] granit




شکل ۱-۱- نمایی از برش اولیه و قواره سازی بلوک [۲]

- **روش دوم**

در این روش بلوک‌های تجاری مستقیماً از خود سینه کار برش داده می‌شود، این روش معمولاً در ماسه سنگ‌ها به کار گرفته می شود، جایی که بلوک‌ها نسبتاً از لایه‌های نازک یا از بین لایه‌های دیگر صفحات استخراج می‌شوند.

شکل ۱-۲- استخراج مستقیم بلوک تجاری از سینه کار [۳]

امروزه سیم برش الماسه[1] در استخراج بسیاری از معادن سنگ ساختمانی به دلیل راندمان بالای روش و کاهش باطله سنگ مورد استفاده قرار می‌گیرد. کوپ‌هایی که به روش سیم برش الماسه استخراج می‌شوند با توجه به سطوح صاف، کاهش ضایعات در کاخانه های فرآوری و در نتیجه افزایش راندمان نسبت به کوپ‌هایی که به روش‌های سنتی استخراج می‌شوند در بازار سنگ از قیمت بالایی برخوردار هستند [۴]. در جهت افزایش راندمان[2] روش تولید، یکی از عوامل عمده افزایش ابعاد[3] جبهه کار و یا قطعه استخراجی است که به هر حال با توجه به مشخصات ماشین آلات، عوامل طبیعی و یا ایمنی، ابعاد مذکور محدود می‌گردد. در کل هرچه بلوک بدون درزه و شکاف و هرچه به مکعب مستطیل (ارتفاع[4] جبهه کار یا قطعه بزرگتر از دو بعد دیگر باشد) و ابعاد بلوک بزرگتر باشد، دارای ارزش بالاتری است. در ارتباط با بزرگ بودن ابعاد بلوک سطح ویژه جدا کردن در نظر گرفته می شود که برابر با نسبت مجموع سطوح بلوک که باید جدا شود؛ به حجم بلوک است. هرچه بلوک استخراجی بزرگتر باشد سطح ویژه جدا کردن و به تبع آن هزینه استخراج بلوک کمتر خواهد شد؛ ولی با این حال ابعاد پله باید ضریبی از ابعاد بلوک در نظر گرفته شود که تاثیر زیادی در کاهش هزینه‌های استخراجی دارد.

## ۱-۲ بیان مسئله

ایران به لحاظ کیفیت و میزان ذخایر سنگ‌های تزئینی و نما، جزء ده کشور دارنده معادن مرغوب سنگ در جهان محسوب می‌شود. با توجه به حجم وسیع کاربرد سیم برش الماسه در معادن و از طرفی آمار حوادث و مشکلات در معادن سنگ تزئینی، مطالعه و تحقیق پیرامون افزایش ایمنی و راندمان سیم برش الماسه ضروری است. به طور کلی در راستای استخراج معادن سنگ تزئینی که با

[1] Diamond wire saw cutting
[2] Efficiency
[3] dimension
[4] height

روش روباز انجام می‌شود تعیین ابعاد مناسب و بهینه بلوک سنگ حائز اهمیت است. ابعاد بلوک دارای سه بعد ارتفاع، طول و عرض می‌باشد که این ابعاد باید به نحوی تعیین شود که علاوه بر فراهم شدن استخراج آسان و ایمن بلوک از لحاظ اقتصادی نیز کمترین هزینه را داشته باشند. سنگ ساختمانی در نهایت به صورت پلاک مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ که برای تهیه سنگ پلاک باید ابتدا سنگ به شکل قواره یا کوپ از معدن استخراج گردد. برای تهیه پلاک سالم و بزرگ، داشتن قواره سالم با ابعاد مناسب اولین عامل تعیین کننده است. دستگاه سیم برش الماسه در بسیاری از معادن برای کم کردن هزینه‌های چالزنی افقی[۱] در ترکیب با دستگاه اره برش زنجیری[۲] (هاواژ) به کار می‌رود؛ لذا طول و عرض بلوک استخراجی با توجه به اندازه تیغه برشی و کارایی ماشین بستگی دارد و سیم برش الماسه در برش‌های عمودی[۳] به کار گرفته می‌شود؛ بنابراین در این تحقیق سعی بر این است با تعیین ارتفاع مناسب پله که یکی از عوامل موثر در به دست آوردن ابعاد بزرگ و سالم از سنگ ساختمانی است، به ایمنی و راندمان بالا و مورد نیاز دست یافت. ارتفاع پله استخراجی به ابعاد کوپ مورد نیاز بستگی دارد که باعث می شود ارتفاع پله‌ها را مضربی از کوپ مورد نیاز در نظر بگیرند. برای افزایش راندمان تولید، یکی از عوامل عمده افزایش ابعاد جبهه کار و یا قطعه استخراجی که به هر حال با توجه به مشخصات دستگاه‌ها و ایمنی و یا عوامل طبیعی (لایه‌بندی، درزه‌ها) و غیره ابعاد مذکور محدود می‌گردد ولی در هر حال باید سعی نمود که ارتفاع جبهه کار و یا قطعه بیشتر از دو بعد دیگر باشد. مهم‌ترین بعد پله استخراجی ارتفاع آن است، هر چقدر ارتفاع پله‌ها کمتر باشد، تعداد پله‌ها و جاده‌ها و رمپ‌های ارتباطی بیشتر خواهد بود و باعث افزایش هزینه‌های استخراج می شود؛ همچنین اگر ارتفاع پله بیش از حد مناسب انتخاب شود باعث صدمه دیدن کوپ در هنگام جدا شدن از سینه کار و خرد شدن آن می‌شود.

---

[۱] Horizontal

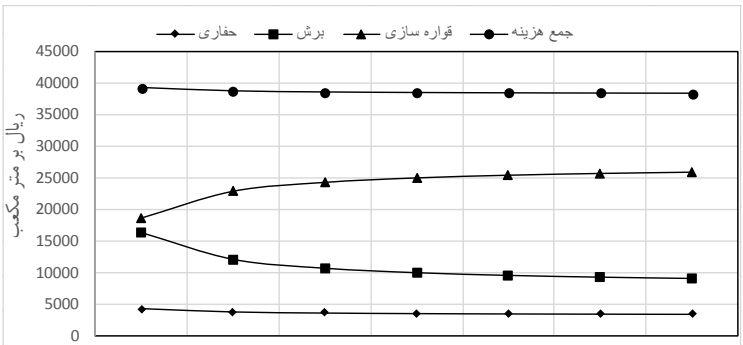
[۲] Chain cutting machine

[۳] Vertical

## ۱-۳ سابقه موضوع

با وجود اینکه ارتفاع پله نقش مهمی در استخراج سنگ های ساختمانی دارد ولی تاکنون عمده تحقیقات صورت گرفته در مورد استخراج سنگ‌های ساختمانی کمتر به نقش ارتفاع پله در استخراج سنگ‌های ساختمانی پرداخته‌اند.

با این حال خدادادی و گشتاسبی (۱۳۸۴) در بهینه‌سازی ابعاد بلوک استخراجی نشان دادند که برای تمامی ارتفاع‌ها و عرض‌ها، افزایش طول بلوک تا محدوده‌ی معینی باعث کاهش هزینه‌ها می‌شود به گونه‌ای که با افزایش طول به بیش از ۸ متر، دیگر تأثیر چندانی بر کاهش هزینه‌ها نخواهد گذاشت (شکل ۱-۳). ضمن اینکه حفاری بیش از ۸ متر انحراف [۱]چال افقی را تا از بین بردن نقطه تقاطع چال‌ها افزایش خواهد داد (به دلیل وزن میله های حفاری) و این روند در مورد افزایش عرض و ارتفاع نیز به چشم می خورد [۵].




| طول | ۲ | ۴ | ۶ | ۸ | ۱۰ | ۱۲ | ۱۴ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| حفاری | ۴۲۷۹.۲ | ۳۷۸۵.۵ | ۳۶۲۰.۸ | ۳۵۳۸.۵ | ۳۴۸۹.۲ | ۳۴۵۶.۳ | ۳۴۳۲.۷ |
| برش | ۱۶۲۹۲ | ۱۲۰۴۲ | ۱۰۶۲۵ | ۹۹۱۶.۷ | ۹۴۹۱.۷ | ۹۲۰۸.۳ | ۹۰۰۶ |
| قواره سازی | ۱۸۶۸۸ | ۲۲۹۳۸ | ۲۴۳۵۴ | ۲۵۰۶۳ | ۲۵۴۸۸ | ۲۵۷۷۱ | ۲۵۹۷۳ |
| جمع هزینه | ۳۹۲۵۹.۲ | ۳۸۷۶۵.۵ | ۳۸۵۹۹.۸ | ۳۸۵۱۸.۲ | ۳۸۴۶۸.۹ | ۳۸۴۳۵.۶ | ۳۸۴۱۱.۷ |

شکل ۱-۳- تاثیر طول بلوک برش بر هزینه‌ها [۲]

حاتیجه[۲] و همکاران (۲۰۰۵) تحلیلی که از هزینه واحد به منظور تعیین اقتصادی‌ترین ارتفاع پله در یک معدن که به صورت کواری[۳] و با تولید سالانه ۱۰۰۰۰۰۰ تن استخراج می‌گردد، انجام دادند که

[۱] deviation
[۲] Hatice kose
[۳] Quarry

نشان داد، تعیین اقتصادی ارتفاع پله ممکن است با توجه به نوع ماشین‌آلات و تجهیزات مورد استفاده، توپوگرافی، شرایط زیست محیطی، طرح‌های عملیاتی و غیره متنوع باشد. همچینن ارتفاع پله ارتباط نزدیکی با هزینه واحد تولید دارد و هزینه واحد حفاری با افزایش قطر چال و ارتفاع پله، کاهش می یابد [۶].

جین[۱] و همکاران (۲۰۰۸) تحقیقی در مورد بازده سیم برش الماسه در برش مرمریت‌های دولومیتی در هند انجام دادند که نشان می‌دهد با بیشتر شدن مساحت برش[۲] (بیشتر شدن هر یک از ابعاد)، نرخ برش[۳] (میزان برش سطح در واحد زمان) ابتدا افزایش می یابد ولی بعد از حد معینی کاهش می یابد و نیز با افزایش مساحت برش، نرخ فرسایش دانه‌های الماسه بیشتر می‌شود [۷].

چسینی[۴] و همکاران (۲۰۰۱) تحقیقی برای آنالیز هزینه‌های استخراج و فرآوری سنگ‌های ساختمانی در استرالیا انجام دادند و اثبات کردند که می‌توان به کاهش هزینه واحد با افزایش اندازه بلوک استخراجی رسید. در این تحقیق برای مشاهده تاثیر اندازه ابعاد روی هزینه‌ی عملیات (برش اول، برش دوم و برش سوم) طول پله تغییر داده شده است؛ در حالی که ارتفاع و عرض آن ثابت و شش متر است. با توجه به داده‌ها می‌توان مشاهده کرد که هزینه‌های برش اولیه در هر متر مکعب با افزایش طول پله کاهش می‌یابد، همچنین هزینه های برش دوم افزایش یافته ولی هزینه‌های برش سوم ثابت می‌مانند که در مجموع هزینه های برش با افزایش طول پله کاهش می‌یابد [۸].

یاری و همکاران (۲۰۱۶) رویکردی برای ارزیابی و طبقه‌بندی در معادن سنگ ساختمانی ارائه کردند که نتایج نشان داد، ارتفاع پله استاندارد در معادن سنگ ساختمانی که به وسیله سیم برش استخراج می شود، حدود ۵ تا ۶ متر است و افزایش ارتفاع پله منجر به کاهش ایمنی در معدن می شود. [۹].

---

[۱] Jain

[۲] Cutting area

[۳] Cutting rate

[۴] Chesini

لویتسکی[۱] و همکاران در سال ۲۰۱۸ به عنوان یک نتیجه تحقیق نشان دادند که با توجه به شرایط رسوبات گرانودیوریت ناتالیوسکی[۲]، ارتفاع منطقی پله ها حدود ۶ متر است که در این ارتفاع اجازه تولید مورد نیاز از ظرفیت معدن، عملکرد بالای تجهیزات معدن، ایمنی معدن، حداقل هزینه اقتصادی برای عملیات استخراج، تولید کم هزینه و حداقل از دست دادن مواد خام را می دهد [۱۰].

ارسوی[۳] در سال ۲۰۱۳ به عنوان نتایج تحقیق نشان داد که برای جلوگیری از خطرات ناشی از سقوط از ارتفاع که ۱۰ درصد حوادث را در معدن منطقه ایسجه حصار[۴] شامل می‌شوند بلوک استخراجی نباید با ارتفاع زیاد و ضخامت کم باشد [۱۱].

## ۱-۴ ضرورت انجام تحقیق

تعیین ارتفاع پله در معادن سنگ ساختمانی در بهینه‌سازی عملیات استخراج مهم است و برای رسیدن به یک طرح ایمن و اقتصادی باید مطالعات دقیق در مورد عوامل فنی دخیل در این راستا که شامل نحوه حفاری و قدرت دستگاه‌های برش، قدرت جک‌های هیدرولیکی و بالشتک‌های هوا برای جابجایی، نحوه قواره سازی بلوک و ابعاد آن و عوامل اقتصادی همچون هزینه‌های حفاری، هزینه‌های برش و قواره‌سازی صورت گیرد. از لحاظ تئوریک محدودیتی برای ارتفاع بلوک وجود ندارد؛ اما در تعیین ارتفاع بلوک حداکثر ارتفاع باید با توجه به مسائل ایمنی حمل‌ونقل و بارگیری کنترل شود، در صورتی که ارتفاع پله بیشتر از حد معین تعیین شود، باعث می شود که کوپ پس از جدا شدن از سینه کار در اثر سقوط صدمه ببیند و به بلوک با قطعات ناخواسته تبدیل شود. همچنین اگر ارتفاع پله کمتر از حد مشخص تعیین شود، باعث افزایش تعداد پله‌ها و در نهایت افزایش هزینه‌های آماده‌سازی خواهد شد. به طور کلی افزایش ابعاد بلوک باعث کاهش هزینه‌های استخراج می‌شود و در عین حال

---

[۱] Levytskyi

[۲] Natalyivske

[۳] Ersoy

[۴] Iscehisar

باعث افزایش هزینه‌های قواره‌سازی و در نهایت باعث کاهش هزینه‌های کلی می‌شود. در این تحقیق هدف نهایی به دست آوردن ارتفاع مناسب پله در معدن سنگ مرمریت عزیزکندی[1] بوکان می‌باشد به گونه‌ای که ایمن بودن و اقتصادی بودن طرح را تامین کند.

## ۱-۵ روش انجام تحقیق

مراحل انجام تحقیق به سه مرحله اصلی یعنی مطالعات کتابخانه‌ای و بررسی پیشنه موضوع، دریافت و تحلیل داده‌های مورد نیاز از معدن و نتیجه‌گیری قابل تقسیم است.

### ۱-۵-۱ جمع‌آوری اطلاعات و مطالعات لازم

این بخش شامل انجام مطالعات کتابخانه‌ای و مقالات علمی برای بررسی دقیق‌تر و جامع‌تر سابقه علمی موضوع و شناسایی پارامترهای وابسته به ارتفاع پله و نقش ارتفاع پله روی هر یک از این پارامترها و جمع بندی مطالعات و یادداشت برداری‌های اولیه جهت انجام مطالعات تطبیقی است.

### ۱-۵-۲ دریافت و تحلیل داده‌های مورد نیاز از معدن

این بخش شامل مدلسازی زمین‌شناسی معدن برای مطالعه بر روی ناپیوستگی‌های معدن که تاثیر زیادی در ارتفاع بهینه معدن‌کاری دارد و نیز تحلیل اقتصادی در ارتفاع‌های مختلف است.

### ۱-۵-۳ نتیجه گیری

این بخش شامل آنالیز مقایسه‌ای برای حالت‌های مختلف در نظر گرفته شده برای تصمیم‌گیری جهت انتخاب مناسب‌ترین ارتفاع پله است.

[1] Aziz kandi

## ۱-۶ ساختار تحقیق

این پایان نامه شامل پنج فصل است.

**فصل اول:** در این فصل به عنوان کلیات، ضرورت و اهداف تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است؛ لذا پس از ذکر یک مقدمه به ترتیب بیان مساله، سابقه موضوع، ضرورت انجام تحقیق و بخش‌های مختلف پایان نامه بیان شده است.

**فصل دوم:** در این فصل روش‌های مختلف استخراج سنگ ساختمانی بیان شده است. سپس ابعاد بهینه بلوک و استراتژی مهم معادن یعنی حداقل هزینه و بیشترین ایمنی و سود بیان شده است و برای این منظور پارامترهای وابسته به ارتفاع پله و نقش ارتفاع پله بر روی هر از این پارامترها تشریح شده است.

**فصل سوم:** در این فصل به معرفی معدن و همچنین مطالعات ناپیوستگی‌های معدن که از مهم‌ترین عوامل تاثیر گذار بر ارتفاع پله و میزان راندمان استخراج است، پرداخته شده است.

**فصل چهارم:** این فصل پارامترهای اقتصادی ارتفاع‌های مختلف پله را مورد مطالعه قرار می‌دهد، با توجه به هزینه‌های مورد نیاز در هر ارتفاع، چالزنی، برش، میزان کوپ‌دهی و درصد بازیابی بلوک پس از واژگونی هر یک از آنها در ارتفاع‌های مختلف، ارتفاعی که بیشترین میزان ارزش خالص فعلی را داراست، به عنوان بهترین ارتفاع پله قابل اجرا پیشنهاد می‌کند.

**فصل پنجم:** این فصل به جمع‌بندی مطالب و مقایسه نتایج به دست آمده و نتیجه‌گیری کلی به منظور معرفی ارتفاع مناسب و کاربردی در معدن پرداخته است.

# فصل ۲ : مبانی نظری تحقیق

## ۲-۱ مقدمه

در این فصل ابتدا مباحث مربوط به مراحل برش سنگ ساختمانی مورد بحث قرار خواهد گرفت و در قسمت‌های بعد به ترتیب روش‌های استخراج، تعیین ابعاد بهینه بلوک و تاثیر ارتفاع بهینه پله‌ها در مراحل مختلف عملیات استخراج بررسی خواهد شد.

# ۲-۲ مراحل برش سنگ ساختمانی

استخراج از توده سنگ و فرآوری آن برای فروش شامل دو مرحله اصلی برش اولیه از پله معدن‌کاری، برش و تقسیم بلوک به بلوک‌های کوچک‌تر که عمدتا در تمام معادن صرف نظر از روش استخراج از آن پیروی می‌کنند.

## ۲-۲-۱ برش اولیه

برش اولیه فرآیندی است که بلوک بزرگ از جبهه کار معدن برداشته می‌شود، این برش اولین مرحله فرایند معدن‌کاری است. اندازه بلوک استخراجی وابسته به دستگاه‌های در دسترس و صفحه‌های ضعیف (ناپیوستگی) در توده سنگ است، در هر حال باید بلوک سالم بدست بیاید تا بیشترین سوددهی را داشته باشد. برداشتن بلوک از جبهه کار معدن به طور کلی شامل جدا کردن بلوک از هر سه یا چهار سطح بسته به کار که قبلاً بر روی پله انجام شده است؛ البته در کاربرد سیم برش الماسه بلوک استخراجی از سینه‌کار پله بهتر است، دارای سه سطح آزاد باشد، در این صورت کار با دستگاه‌های برش راحت است؛ زیرا بلوک دارای حداقل تنش است، چون از هر طرف که به کوه متصل است از طرف مقابل آن آزاد است. هنگامی که بلوک از جبهه کار استخراج می‌شود، لازم است، برای پردازش نهایی روی زمین انداخته شود که می توان به روش های مختلفی از جمله استفاده از

بالشتک‌های پنوماتیک[۱]، جک های هیدرولیکی[۲] یا یک لودر این کار را انجام داد. قبل از واژگون کردن بلوک‌ها باید یک لایه از سنگ‌های سست یا خاک و یا لاستیک‌های کهنه در محل فرود بلوک‌ها برای کم کردن تاثیر سقوط آماده شود؛ زیرا در غیر این‌صورت بلوک‌ها آسیب خواهند دید. در برش اولیه از ترکیب روش‌های استخراجی مختلفی استفاده می‌شود که یکی از کارامدترین این ترکیب‌ها، ترکیب ماشین هاواژ برای برش افقی[۳] زیر بلوک و سیم برش الماسه برای برش‌های عمودی[۴] کناره‌ها است که هزینه‌های حفاری افقی در این روش تقلیل پیدا می‌کنند.

### ۲-۲-۲ برش ثانویه

برش دوم شامل تقسیم کردن بلوک‌های بزرگ به بلوک‌های قابل فروش می‌باشد، اندازه این بلوک-ها با توجه به قدرت دستگاه‌های بارگیری[۵] و باربری[۶] و البته درزه‌های[۷] موجود در سنگ (سالم بودن[۸] بلوک نهایی) تعیین می‌شود.

روش های استخراج سنگ ساختمانی به طور خلاصه توضیح داده شده است.

## ۲-۳ استخراج با حفر چال‌های موازی

استخراج سنگ ساختمانی با این روش یکی از قدیمی ترین روش های استخراج سنگ‌های ساختمانی می‌باشد، در این روش در راستای جدایش[۹] مورد نظر تعدادی چال به فواصل معین از همدیگر حفر می‌شوند، سپس با روش‌های زیر بلوک را از توده سنگ جدا می‌کنند [۱].

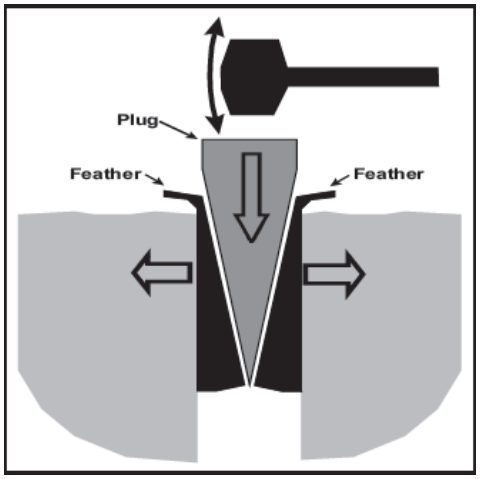
---

[۱] Pneumatic cushion
[۲] Hydraulic jack
[۳] Horizontal cutting
[۴] Vertical cutting
[۵] Loading equipment
[۶] Haulage equipment
[۷] Joints
[۸] Intact
[۹] Separation

شکل ۲-۱- بلوک استخراجی با چال‌های موازی [۱۲]

## ۲-۳-۱ جداسازی با نعل و پارس

استفاده از روش نعل و پارس یکی از قدیمی‌ترین روش‌های مورد استفاده در استخراج بلوک‌های سنگ می‌باشد، نحوه‌ی کار با نعل و پارس به این صورت است که ابتدا در طول خطی که قرار است، شکاف یا برش ایجاد شود، چال‌هایی حفر می‌شود. قطر، عمق و تعداد این چالها به جنس و نوع سنگ بستگی دارد، هرچه چال‌ها به هم نزدیک‌تر و عمق آن‌ها زیادتر باشد، جدایش بلوک سنگ راحت‌تر و بهتر انجام می‌گیرد. پس از حفر چال‌ها، پارس و سپس نعل داخل آن گذاشته می‌شود و بعد با فرود آوردن ضربات توسط پتک بر روی نعل‌ها شکاف مورد نظر در داخل سنگ ایجاد شده و با گسترش این شکاف‌ها بلوک سنگی جدا می‌شود. در شکل ۲-۲ نحوه استفاده از نعل و پارس برای شکاف سنگ نشان داده شده است [۱۳].




شکل ۲-۲- جداسازی با پارس گوه [۱٤]

## ۲-۳-۲ جدا کردن بلوک به روش مکانیکی

به منظور بالا بردن تولید و پائین آوردن هزینه استخراجی و صرفه جوئی در وقت، شرکت‌های سازنده وسایل معدنی اقدام به ساختن دستگاه‌هائی کرده‌اند که به عنوان استخراج به شیوه گوه مکانیکی از آن استفاده می‌شود از جمله این دستگاه‌ها می‌توان ماشین ضربه زن[۱] را نام برد که کار ضربه زدن روی گوه را بر عهده دارد، بکارگیری این دستگاه کار طاقت فرسای پتک زدن در معادن سنگ را حذف می-کند ولی به علت ضربه روی گوه ها ارتعاش وارد شده به بلوک‌ها زیاد بوده که باعث صدمه دیدن آن می‌شود (شکل ۲-۳).

شکل ۲-۳- جداسازی بلوک به روش مکانیکی [۱۵]

[۱] Hydraulic splitter

### ۲-۳-۳ استفاده از مواد ناریه ضعیف و یا روش‌های کنترل شده

اگرچه در گذشته استخراج کلیه سنگ های نما و تزئینی با استفاده از این روش صورت می‌گرفت ولی در حال حاضر با ابداع روش‌های نوین در کشورهای پیشرفته استفاده از این روش به جز در سنگ‌های آذرین تقریباً منسوخ شده است، با این وجود از دیدگاه معدن‌کاران این روش باعث سرعت زیاد کار، هزینه کم استخراج و به کارگیری تجهیزات ساده و کم می‌شود، در این روش بعد از حفر چال‌های عمودی و افقی در فواصل معین با استفاده از مواد ناریه مخصوص آتش‌کاری صورت می‌گیرد و بلوک از توده سنگ جدا می‌شود. تفاوت اساسی بین آتشکاری در معادن سنگ و روش‌های آتشکاری معمولی در این است که سنگ باید ترک خورده و لق شود و این ترک ها فقط در جهت دلخواه به وجود آمده باشد و سنگ‌های اطراف نباید صدمه ببینند.

### ۲-۳-۴ استفاده از مواد منبسط شونده

این ماده به جای مواد ناریه در معادن سنگ ساختمانی مورد استفاده قرار می گیرد و به طور روز افزون مصرف آن‌ها در معادن افزایش می‌یابد، این مواد در ایران با نام کتراک[۱] شناخته می‌شود، قدرت انفجار و تخریب این مواد نظیر باروت، آنفو و دینامیت نیست و در واقع به نوعی کار نعل و پارس را انجام می‌دهد. برای استفاده از این مواد بعد از حفر چال‌های موازی در سنگ، این ماده را با آب مخلوط کرده و به حالت دوغاب درمی‌آورند، سپس دوغاب در چال‌ها ریخته شده و پس از مدتی در اثر هیدراتیزاسیون[۲] و آب‌گیری، دوغاب چندین برابر حجم خود افزایش حجم می‌دهد و در اثر این افزایش حجم، تنش فشاری بسیار زیادی به دیواره چال وارد می‌شود، این تنش در نهایت موجب شکسته شدن دیواره چال در نقاط ضعیف موجود در اطراف دیواره می‌شود [۱۶].

---

[۱] Katrock

[۲] Hydration

## ۲-۴ استخراج با برش سنگ

### ۲-۴-۱ استخراج بلوک‌های سنگ توسط ماشین ضربه‌زن

در این روش شکاف‌های لازم برای جداسازی سنگ توسط دستگاهی ایجاد می شود که با وارد آوردن ضربه‌های متوالی و همچنین حرکت رفت و برگشتی روی سنگ این عمل را انجام می‌دهد. طریقه کار این دستگاه به این صورت است که پیستون دستگاه با وارد آوردن ۱۵۰ تا ۳۰۰ ضربه در دقیقه روی سرمته باعث ایجاد شیاری به عض ۳ تا ۵ سانتی متر و ارتفاع ۶ متر در سنگ می شود، این دستگاه قادر است شیارهای افقی، عمودی و مورب حفر کند. بعضی از مدل‌ها به گونه‌ای طراحی شده-اند که می توانند دو شیار موازی در سنگ به طور هم‌زمان ایجاد کنند [۱].

### ۲-۴-۲ برش با سیم‌های برش فولادی (حلزونی)

اصول کار در این روش آسان بوده و وسایل مورد نیاز از سادگی زیادی برخوردار هستند. شیوه کار بر این اساس است که از طریق ماده ساینده‌ای با سختی بالاتر از سختی سنگ می‌توان سنگ مورد نظر را برش داد و بدین منظور یک سیم بی انتها در یک جهت معین به طور دائم روی سنگ حرکت داده می‌شود تا سیم در سنگ شیاری ایجاد کند، در شیار ایجاد شده ماده ساینده و آب ریخته می‌شود تا بدین وسیله سنگ مورد نظر بریده شود.

### ۲-۴-۳ روش برش با سیم برش الماسه

سیم برش الماسه نخستین بار برای برش سنگ و استخراج معادن سنگ تزئینی از دهه ۱۹۷۰ و در معادن سنگ مرمر کشور ایتالیا به کار گرفته شده است. به علت مزایای اقتصادی و فنی این روش نسبت به روش‌های معمول پیشین به سرعت بر روند گسترش و به کارگیری آن افزوده شده است، به

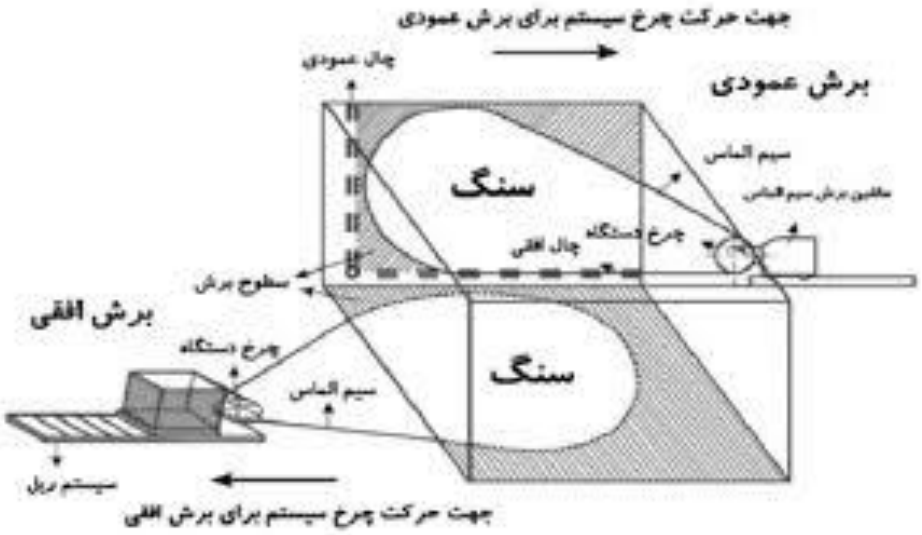
طوری که امروزه یکی از اساسی ترین و مطلوب‌ترین روش‌های استخراج معادن سنگ تزئینی در دنیا است. برش سطوح منظم و صاف‌تر، کاهش هزینه تولید بلو های تجاری، کاهش میزان ضایعات سنگ و ایجاد سطح صدای کم‌تر در استخراج معدن از مزایای این روش محسوب می‌شوند. روش سیم برش الماسه می‌تواند به تنهایی برای انجام برش‌های اولیه و همچنین برش‌های ثانویه و قواره کردن سنگ‌های استخراج شده و یا در ترکیب با روش‌های دیگر استخراج مورد استفاده قرار گیرد [۱۷]. هنگامی که این روش در ابتدا معرفی شد، استفاده از آن به سنگ‌های نرم مانند سنگ مرمر محدود می‌شد؛ اما مشکل استخراج سنگ‌های سخت‌تر مانند گرانیت‌ها از طریق پیشرفت‌های گسترده در ترکیب این روش برطرف شده است و این سیستم با کمک یک سری از قرقره‌ها قادر به برش عمودی، افقی و شیب‌دار است (شکل ۲-۴).

شکل ۲-۴- دستگاه سیم برش الماسه [۱۶]

- **عملکرد روش:** دستگاه سیم برش الماسه اساساً از سه قسمت مجزا تشکیل شده است، واحد کنترل، واحد محرکه و سیم الماسه های به طول ۲۵ تا ۴۵ متر (حداکثر ۱۵۰ متر) که به وسیله یک وینچ با قرقره راهنما در جهتی معین و به طور دایم روی سنگ کشیده می‌شود، برای این منظور ابتدا در سنگ دو چال عمود برهم و هم‌راس[۱] که محدوده بلوک را تشکیل می‌دهند، حفر کرده و سیم الماسه از آن عبور داده می‌شود. واحد محرکه در موقع کار بر روی

[۱] Intersection

ریل قرار دارد و براساس تنظیمات الکتریکی و هیدرولیکی به طور اتوماتیک بر روی ریل جابجا می‌شود و همزمان با انجام برش خود را به عقب می‌کشد و نیروی کشش سیم که حدود ۱۰۰ تا ۱۵۰ کیلوگرم است به صورت ثابت در حین برش حفظ می‌شود. دستگاه وینچ[۱] معمولاً در فاصله ۵ الی ۸ متری سینه کار قرار می‌گیرد و بدین ترتیب حدود ۱۵ متر از سیم الماسه به طور آزاد در هوا کار می‌کند، مکانیزم دستگاه به گونه‌ای است که می‌توان با جابجایی و تغییر جهت محور وینچ از حالت افقی به عمودی سنگ را به طور افقی و یا عمودی برش داد (شکل ۲-۵) [۱۸].




شکل ۲-۵- برش افقی و عمودی با سیم برش الماسه [۱۹]

سیم برش الماسه شامل یک کابل فولادی محوری حامل به قطر پنج میلی‌متر است که بر روی آن سگمنت‌های الماسه استوانه‌ای با قطر تقریباً ۱۱ میلی‌متر در فواصل مشخص (۲۵ تا ۳۲ میلی‌متر) توسط فنر، فاصله دهنده‌ها و یا نوعی پلاستیک پلیمری که مانند خمیره و بافتی سگمنت‌ها را دربر می گیرد به دور کابل جانمایی و نصب شده‌اند [۲۰].

[۱] Winch

## ۲-۴-۴ ایجاد برش در سنگ با استفاده از دستگاه‌های سنگ‌بر

در این روش نیاز به حفر چال نمی‌باشد به همین دلیل در هزینه‌ها و زمان عملیات صرفه‌جویی می شود و درنهایت هزینه تولید هر متر مکعب سنگ کاهش می‌یابد، در این روش تیغه ها یا دیسک برنده‌ای عمل برش را انجام می‌دهد که در استخراج سنگ‌هایی که سختی چندانی ندارند ولی ارزش قابل توجهی دارند به کار می رود و به طور کلی سه نوع دستگاه سنگ بر ساخته و مورد استفاده قرار گرفته است.

۱. **سنگ‌بر با بازوی زنجیری (هاواژ[۱]):** این دستگاه دارای یک بازو به شکل بیضی کشیده می‌باشد که روی لبه آن زنجیری با دندانه‌های تیز و برنده کاربیدی[۲] یا الماسی نصب شده است که با سنگ تماس گرفته و باعث ایجاد شکافی به ضخامت ۴ سانتی‌متر در سنگ می‌شود (شکل ۲-۶).

شکل ۲-٦- دستگاه برش اره زنجیری [۲۱]

۲. **سنگ‌بر با دیسک برنده:** این دستگاه دارای یک یا چند دیسک دندانه‌ای است که بر روی دندانه‌های الماس یا کربور تنگستن نشانده شده است که کاملاً شبیه دیسک‌های مورد استفاده در کارخانه‌های سنگ‌بری می‌باشند. حرکت و جابجایی دستگاه بر روی ریل

[۱] Havage
[۲] Carbide

انجام می‌شود، این دستگاه‌ها باید به گونه‌ای در معادن سنگ مورد استفاده قرار گیرند که با یک بار حرکت روی سنگ برش لازم را انجام دهند. با توجه به قطر دیسک مورد استفاده، بلوک‌هائی با ابعاد مورد نظر به دست می آید و با توجه به قطر دیسک ها، تهیه بلوک های بزرگ مقدور نیست (شکل ۲-۷).

شکل ۲-۷- برش سنگ با سنگ‌بر دیسکی [۲۲]

**۳_ سنگ بر با صفحه فرز:** به دلیل قادر نبودن تهیه بلوک بزرگ در سنگ‌برهای دیسکی، ماشین‌هایی برای استخراج بلوک‌های بزرگتر ابداع شده‌اند، در این دستگاه یک صفحه برنده به نام فرز توسط چرخ دنده که خود به وسیله موتور دستگاه به حرکت در می‌آید، گردانده می‌شود و دندانه‌های صفحه فرز قادر است سنگ را ببرد [۱].

## ۲-۵ روش‌های نوین استخراج

از این روش‌ها به صورت خاص استفاده می‌شود که عبارت‌اند از:

### ۲-۵-۱ برش سنگ با استفاده از فشار آب

در روش استخراج هیدرومکانیکی آب به وسیله آبفشان‌هایی که با موتورهای هیدرولیکی به حرکت درمی‌آیند، در سنگ شیار ایجاد می‌نماید و در این روش آب تحت فشار بسیار زیاد قرار می‌گیرد و جریان آب به صورت یک رشته باریک به قطر مداد معمولی از سر شیلنگ‌های مخصوص و دورانی به سنگ پاشیده می‌شود و انرژی سینتیک آب باعث بریده شدن سنگ می‌گردد. در برخی از انواع آبفشان‌ها، آب به شکل ضربه‌ای از دهانه خارج می‌شود که در این صورت می‌توان فشار آب را به تراکم زیادتری افزایش داد [۱۶].

### ۲-۵-۲ روش استخراج با شعله

در این روش به کمک شعله در عمق صفحه مورد استخراج و در سطوح مختلف شیاری به ضخامت ۷۰ تا ۱۰۰ میلی متر ایجاد می شود، در واقع برای برش سنگ از خاصیت ذوب یا خاصیت سوزاندن سنگ استفاده می شود که بستگی به خود جنس سنگ دارد. حرارت لازم از گازوییل به عنوان سوخت اصلی و هوای فشرده به عنوان کمک تأمین می‌گردد. عمل برش توسط کارگر انجام می شود و شعله ایجاد شده با حرارتی بیش از ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد به سنگ برخورد می‌کند و بر اثر استنباط ناشی از حرارت، پوسته‌ی سنگ جدا می‌شود و گازهای حاصله ذرات را معلق می‌سازد. مصرف ویژه سوخت در این روش به ازاء هر متر مربع از صفحه مورد برش حدود ۵۰ ـ ۴۰ لیتر است و با توجه به قیمت سوخت که در اکثر کشورها بالاست و مشکلاتی که در زمینه حفاظت کارگران در مقابل حرارت و صدای زیاد وجود دارد، این روش استخراج چندان متداول نیست و فقط در بعضی از معادن گرانیت که کاربرد سایر روش‌ها نیز پرهزینه است، به کار می‌رود [۱۶].

## ۲-۶ انتخاب تجهیزات و روش مناسب استخراج

در انتخاب تجهیزات لازم باید نکات زیر مورد توجه قرار گیرد:

- نوع سنگ و مشخصات کانسار
- سرمایه‌گذاری اولیه
- انعطاف‌پذیری در امکان به کارگیری تجهیزات
- سهولت در جابه‌جایی تجهیزات
- میزان نیاز به نیروی ماهر
- میزان مصرف انرژی
- هزینه‌های عملیاتی
- امکان تهیه تجهیزات، ماشین‌آلات، ابزار و قطعات مصرفی آن‌ها

برای انتخاب روش برش و تجهیزات لازم می‌توان از جدول ۲-۱ استفاده کرد [۲۳].

جدول ۲-۱- مقایسه کیفی روش‌های استخراج [۲۳]

| پارامتر / روش | سیم برش الماسه | سنگ‌بر بازودار زنجیری | سنگ‌بر نواری | آتشباری کنترل شده | ملات منبسط شونده | پارس و گوه دستگاهی | پارس وگوه دستی | جت آب | جت شعله | حفر چال‌های همپوش موازی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| سرمایه گذاری اولیه | متوسط | نسبتا زیاد | نسبتا زیاد | متوسط | کم | متوسط | کم | زیاد | کم | زیاد |
| انعطاف پذیری | نسبتا زیاد | نسبتا زیاد | نسبتا زیاد | نسبتا زیاد | زیاد | نسبتا زیاد | خیلی زیاد | نسبتا زیاد | زیاد | متوسط |
| سازگاری زیست محیطی | زیاد | زیاد | خیلی زیاد | کم | زیاد | نسبتا زیاد | نسبتا زیاد | زیاد | خیلی کم | زیاد |
| ناهمواری سطح برش | خیلی کم | خیلی کم | خیلی کم | نسبتا زیاد | نسبتا زیاد | نسبتا زیاد | نسبتا زیاد | متوسط | زیاد | نسبتا زیاد |
| سهولت در جابجایی بلوک‌ها | نسبتا زیاد | متوسط | متوسط | زیاد | زیاد | نسبتا زیاد | زیاد | متوسط | زیاد | نسبتا زیاد |
| نیاز به نیروی ماهر | نسبتا زیاد | نسبتا زیاد | نسبتا زیاد | نسبتا زیاد | کم | کم | هیچ | نسبتا زیاد | کم | نسبتا زیاد |
| صدمه وارده به سنگ | هیچ | هیچ | هیچ | زیاد | خیلی کم | کم | کم | خیلی کم | خیلی زیاد | خیلی کم |

## ۲-۷ تعیین ابعاد مناسب بلوک

هر بلوک اولیه استخراجی سنگ در حالت ایده‌آل به صورت یک مکعب مستطیل و دارای سه بعد ارتفاع، طول و عرض است. با توجه به اینکه اکثر سنگ‌های ساختمانی از جمله مرمریت ابتدا به صورت یک بلوک بزرگ (بلوک اولیه) استخراج می‌شود؛ لذا بایستی به بلوک‌های کوچک‌تر تجاری و قابل فروش تقسیم شوند. هر چقدر ابعاد بلوک بزرگ‌تر باشد، راندمان تولید بیشتر است. در استخراج بلوک‌های بزرگ‌تر با توجه به برش ویژه که به صورت سطح برش یافته در واحد حجم یا وزن سنگ ساختمانی (نسبت مجموع سطوح بلوک برشی به حجم بلوک) تعریف می‌شود، می‌توان دریافت که هرچه سطوح استخراجی بزرگ‌تر باشد، برش ویژه کاهش می‌یابد که به تبع آن هزینه استخراج بلوک کاهش یافته و میزان سودآوری معدن که مهم‌ترین هدف معدن‌کاری است افزایش می یابد [۲۴]. با توجه به اینکه با افزایش ابعاد بلوک، هزینه ها کاهش می‌یابد؛ اما این روند تا جایی قابل بررسی است که شرایط ایمنی کار و تجهیزات مورد نظر قرار گیرد. همچنین با ادامه روند افزایش ابعاد تا محدوده معینی، دیگر تاثیر چندانی بر کاهش هزینه‌ها نخواهد داشت. در سنگ‌های ساختمانی، ناپیوستگی‌ها، عدم یک‌نواختی و شکل نامنظم، از جمله مشکلاتی است که کیفیت محصولات را کاهش می دهد. با وجود اینکه از لحاظ تئوریک هیچ محدودیتی برای ابعاد وجود ندارد ولی با توجه به روش استخراج انتخابی، شرایط زمین‌شناسی و تجهیزات معدن محدودیت‌هایی به وجود می‌آید که به صورت خلاصه آورده می‌شود.

### ۱-۷-۲ محدودیت ابعاد بلوک در برش اول

ابعاد بلوک در برش اولیه با توجه به شرایط زمین‌شناسی و تجهیزات مورد استفاده در معدن محدود می‌شود که در زیر آمده است.

- قدرت جداسازی دستگاه‌های جداسازی بلوک از جبهه کار

- نحوه حفاری و کیفیت و قابلیت آن
- وجود امتدادهای ضعیف یعنی لایه‌بندی و درزه‌ها و شکاف‌های اصلی: در این حال حتی در صورت امکان استفاده از حداکثر توان دستگاه‌های برش و جداسازی، باید محل چال‌ها از امتدادهای فوق تبعیت کند؛ زیرا در غیر اینصورت به جز اشکلاتی که این عوامل در کار برش ایجاد می‌کند، ضایعات را افزایش می‌دهد و علاوه بر این در نهایت بلوک‌های حاصله در امتدادهای مذکور شکسته خواهند شد [۲۵].

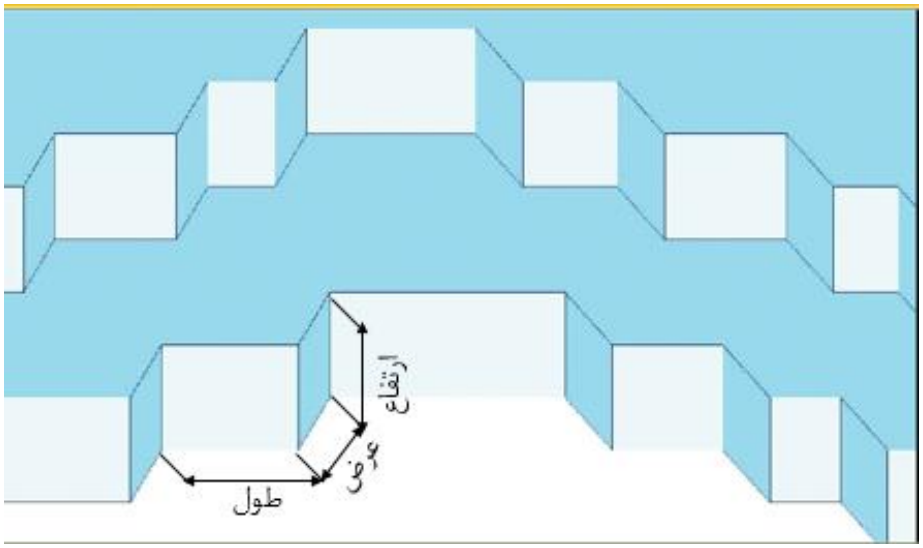
### ۲-۷-۲ محدودیت ابعاد بلوک در برش دوم

ابعاد بلوک در برش دوم نیز بر اساس قدرت تجهیزات و سفارشات مخصوص محدود می‌شود که در زیر آمده است.

- ابعاد خاص بلوک جهت مصارف و سفارشات مخصوص کارخانه‌ها
- درزه‌ها و ترک‌های عمده که در بلوک اصلی به‌جا مانده است؛ زیرا به هر حال در صورت وجود درزه‌ها و امتدادهای مختلف و متنوع در سنگ اصلی استفاده از تمام آن‌ها در به دست آوردن بلوک اصلی امکان‌پذیر نیست؛ لذا در قطعات حاصله و در امتدادهای عمده مجدد سنگ باید به قطعات کوچک‌تر تقسیم شود.
- قدرت دستگاه‌ها و تجهیزات بارگیری باعث محدودیت تناژ بلوک نهایی خواهد بود.
- قدرت حمل کامیون‌ها [۲۵].

## ۲-۸ پله‌های استخراجی و ابعاد آن

عموم استخراج سنگ‌های ساختمانی به صورت روباز بوده بنابراین همانند تمام این نوع معادن، محدوده ذخیره را باید به صورت پله درآورد. سطح جبهه کار بر خلاف تمام معادن روباز به صورت قائم است و هر پله استخراجی با سه بعد مشخص می‌شود. شماتیک ابعاد بلوک در شکل آورده شده است.




شکل ۲-۸- شماتیک ابعاد بلوک در استخراج سنگ ساختمانی [۲۶]

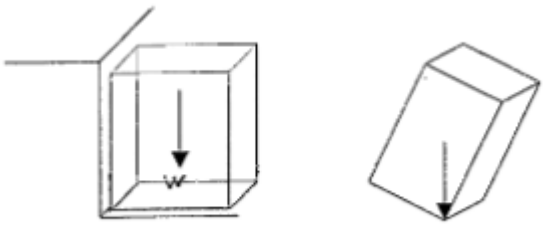
## ۲-۸-۱ طول پله

افزایش طول بلوک تا جایی امکان‌پذیر است که حفاری چال‌های افقی بدون انحراف یا انحراف خیلی کم میسر باشد که با توجه به نوع دستگاه حفاری، قابلیت آن، مهارت اپراتور و هم‌چنین جنس سنگ و ساختار آن محدود می‌شود. این محدودیت در طراحی معادن سنگ ساختمانی حائز اهمیت است؛ چون انحراف چال باعث می‌شود که چال‌های حفر شده از جهت‌های مختلف یکدیگر را قطع نکنند؛ بنابراین تا جایی که انحراف چال فاحشی وجود نداشته باشد، می‌توان طول را افزایش داد.

## ۲-۸-۲ عرض پله

کمترین عرض پله به سطحی محدود می‌گردد که باید ماشین آلات و ابزار برش روی آن مستقر گردد و باید به اندازه ای پیشروی کند که پله بالا را از بین نبرد، در این صورت ایجاد دوباره پله با مشکل روبرو می شود و همچنین به خاطر اینکه در هنگام واژگون‌سازی بلوک مطابق شکل ۲-۹ برآیند بردار نیروی وزن بلوک از سطح قاعده استقرار بلوک خارج خواهد شد و در بلوک‌های عریض انجام چنین کاری مشکل است؛ بنابراین افزایش عرض بلوک تا حدی امکان‌پذیر است که در مرحله واژگون سازی مشکل ساز نشود که در همین راستا باید قدرت جک‌های هیدرولیک و فاصله بازشوندگی آن‌ها مد نظر

قرار گیرد. همچنین به مانند محدودیت طول پله، افزایش طول چالزنی نباید باعث انحراف چال شود [۲].



شکل ۲-۹- واژگون سازی بلوک [۲]

### ۲-۸-۳ ارتفاع پله

سیم برش الماسه در بیشتر مواقع با ترکیب هاواژ به کار برده می‌شود و زیربری بلوک توسط هاواژ صورت می‌گیرد و طول و عرض بلوک توسط طول تیغه برش ماشین تعیین می‌شود؛ لذا در استخراج به روش سیم برش الماسه مهم‌ترین بعد پله استخراجی ارتفاع آن است که ارتباط نزدیکی با هزینه واحد تولید دارد و از لحاظ تئوریک هیچ محدودیتی برای ارتفاع پله وجود ندارد، اما در تعیین ارتفاع بلوک حداکثر ارتفاع باید با توجه به مسائل ایمنی حمل و نقل و بارگیری کنترل شود [۲۶]. بسته به نوع معدن و وسیله بارگیری ارتفاع پله استخراجی ممکن معادل ارتفاع کوپ استخراجی و مورد نیاز و یا مضربی از آن منظور می‌گردد [۲۷].

## ۲-۹ تاثیر ارتفاع مناسب پله‌ها در مراحل مختلف عملیات استخراج

### ۲-۹-۱ چالزنی

حفاری و چالزنی یکی از بخش های مهم عملیاتی در سنگ ساختمانی است که با توجه به حفاری دقیق و به هم رسیدن چال‌ها محدود می‌شود [۱۴]. در استخراج به روش سیم برش حدود ۱۰ الی ۱۵ درصد هزینه کلی را متحمل می‌شود [۲۸]. قطر چال‌ها باید طوری انتخاب شوند که حداقل در یک

نقطه بتوانند همدیگر را قطع کنند. هزینه‌های چالزنی سهم قابل توجهی از هزینه‌های عملیات استخراج را شامل می‌شوند که با افزایش عمق چال‌های عمودی و به تبع آن ارتفاع پله از میزان کل چال‌های افقی لازم برای برش اولیه بلوک در معدن کاسته می‌شود، درنتیجه از میزان هزینه‌های کلی عملیات کاسته شده و میزان سودآوری استخراج افزایش می‌یابد.

### ۲-۹-۲ جداسازی بلوک

پس از بریدن سنگ، بلوک باید برای قواره‌سازی و ایجاد فضای کاری برای استخراج بلوک‌های بعدی واژگون شود، با افزایش ارتفاع بلوک، حجم و وزن بلوک افزایش می‌یابد که در این صورت باید از دستگاه‌های جداسازی قوی‌تری استفاده کرد.

### ۲-۹-۳ تجهیزات بارگیری و باربری

پس از جدا کردن بلوک از توده سنگ باید برای تقسیم کردن به بلوک‌های نهایی که عموماً با جرثقیل و لودر انجام می‌شوند، جابجا شوند و نیز تجهیزاتی که برای جابجایی مواد باطله و آماده کردن خاک و ماسه برای واژگون کردن بلوک اولیه لازم است، باید با در نظر گرفتن اندازه بلوک برشی و ارتفاع مذکور بزرگ‌تر انتخاب شوند [۲۹]. عمدتا ارتفاع بلوک برابر ارتفاع پله یا کسری از آن به منظور ایجاد توازن و تعادل بین جبهه کار و تجهیزات بارگیری تعیین می‌گردد، زمانی که از ارتفاع پله کمتر و از تجهیزات کوچک‌تری استفاده شود، برای رسیدن به نرخ تولید ثابت باید تجهیزات افزایش یابند که در این صورت هزینه‌های سرمایه‌ای و عملیاتی تغییر یافته و هزینه‌های کلی معدن افزایش می‌یابد [۳۰].

### ۲-۹-۴ عملکرد دستگاه و سیم برش

عملکرد سیم برش یکی از اصلی‌ترین معیارهایی است که باید به آن توجه کرد. هزینه ماشین استفاده شده در روش سیم برش الماسه ثابت است ولی هزینه‌های مربوط به سایش دانه‌های الماسه متغیر است؛ لذا سایش ابزار برش یکی از پارامترهای اصلی در اقتصادی بودن برش مرمریت با سیم الماسه می باشد.

به طوری که کنترل سایش دانه‌های الماسه هزینه‌های برش را می‌تواند در این روش معدن‌کاری کاهش دهد [۳۱]. به عنوان نتیجه یک تحقیق نشان داده شده است که نرخ برش سیم برش الماسه با افزایش مساحت برش عمودی ابتدا افزایش یافته و سپس با رسیدن به یک مساحت مشخص کاهش می‌یابد. با توجه به اینکه مساحت برش عمودی تابع ارتفاع پله است باید در انتخاب کارایی مناسب سیم برش ارتفاع مناسب را در نظر گرفت [۷]. با توجه به اینکه در هر برش سیم برش مصرف می‌شود؛ لذا باید ارتفاع پله طوری تعیین شود که برش کامل سطح با یک سیم برش انجام شود در غیر این صورت باعث گسیختن سیم شده و به دستگاه سیم برش خسارت وارد می‌کند و ایمنی پرسنل را به خطر می‌اندازد. طبق تحقیق انجام شده در یک معدن تراورتن با ثابت نگه داشتن عوامل دیگر و با افزایش ارتفاع پله و فاصله بین جبهه‌کار و دستگاه نشان داده شده است که با افزایش ارتفاع پله و فاصله بین دستگاه و جبهه کار، نرخ برش دستگاه افزایش می یابد [۳۲].

### ۲-۹-۵ شرایط زمین شناسی

یکی از اساسی‌ترین مسائل در اکتشاف و استخراج معادن سنگ ساختمانی، شناسایی و مدل‌سازی ناپیوستگی‌هاست. عموماً در معادن سنگ ساختمانی، تحلیل ناپیوستگی‌ها مورد توجه قرار نمی‌گیرد و در مراحل استخراج، مسائل بسیاری از جمله خرد شدگی شدید بلوک‌های سنگی و در نتیجه کاهش راندمان استخراج بلوک‌های سالم در جبهه کار را به وجود می آورد. ویژگی‌های ناپیوستگی‌ها که تأثیر

آنها بر خواص مهندسی توده سنگ مهم است عبارتند از: جهت‌داری، فاصله‌داری[۱]، تداوم[۲]، زبری، مقاومت دیواره، بازشدگی[۳]، پرشدگی[۴] و تعداد دسته درزه‌ها [۳۳]. شناسایی ناپیوستگی‌ها در عملیات استخراج، می‌تواند به عنوان مؤثرترین گام در راستای افزایش بهره‌وری استخراج مطرح شود [۳٤]. نتیجه یک تحقیق در معدن تراورتن دلیچای[۵] از آنجایی که فقط یک دسته درزه افقی با شیب ۵ درجه وجود داشت، نشان داد که این عامل تنها در تعیین ارتفاع مطلوب بلوک موثر است و میزان ارتفاع را محدود می‌کند؛ بنابراین در تعیین ابعاد طولی و عرضی بلوک استخراج شده، توانایی لودر موجود در معدن به عنوان عامل محدود کننده ثانویه در نظر گرفته می‌شود [۲٦]. ممکن است از لحاظ فنی افزایش ارتفاع پله مشکلی نداشته باشد ولی با توجه به ناپیوستگی‌های موجود در سنگ، بلوک در امتداد این ناپیوستگی‌ها شکسته شده و در اثر لغزش قبل از واژگون‌سازی موجب کاهش ایمنی شود و نیز در اثر شکست در این امتدادها به قطعات ناخواسته کوچک تبدیل شود در این صورت میزان کوپ‌دهی بلوک کاهش و میزان باطله افزایش خواهد یافت که راندمان استخراج را کاهش می‌دهد.

## ۲-۹-۶ راندمان استخراج

مهم‌ترین هدف بسیاری از معادن، استخراج بلوک‌های با کیفیت بالا و حداکثر بازیابی با کم‌ترین هزینه ممکن یا همان سوددهی بالاست. هرقدر ارتفاع پله ها کمتر باشد، تعداد جاده‌ها و رمپ‌های ارتباطی بیشتر خواهد بود [۲۵] و با توجه به موارد ذکر شده با افزایش و بهینه سازی ارتفاع پله امکان برش کوپ‌های با کیفیت بالا از بلوک اولیه افزایش می یابد و با توجه به کاهش هزینه‌های آماده‌سازی، چالزنی، سیم برش الماسه و جابجایی تجهیزات، راندمان استخراج افزایش می‌یابد.

---

[۱] Spacing
[۲] Continuity
[۳] Opening
[۴] Filling
[۵] Dali chay

## ۲-۱۰ جمع بندی

در این فصل روش‌های استخراج سنگ ساختمانی به طور مختصر توضیح داده شده است و سپس به ابعاد بهینه استخراجی و محدودیت‌های افزایش و کاهش آن‌ها پرداخته شده است. در انتها هم تاثیر ارتفاع پله در مراحل مختلف عملیات استخراج شرح داده شده است. در فصل بعد به معرفی معدن مورد مطالعه پرداخته می‌شود و مشخصات مکانیکی سنگ و شرایط زمین شناسی منطقه که از عوامل اصلی در به دست آوردن ارتفاع مناسب پله است، آورده شده است.

# فصل ۳ : معرفی مطالعه موردی

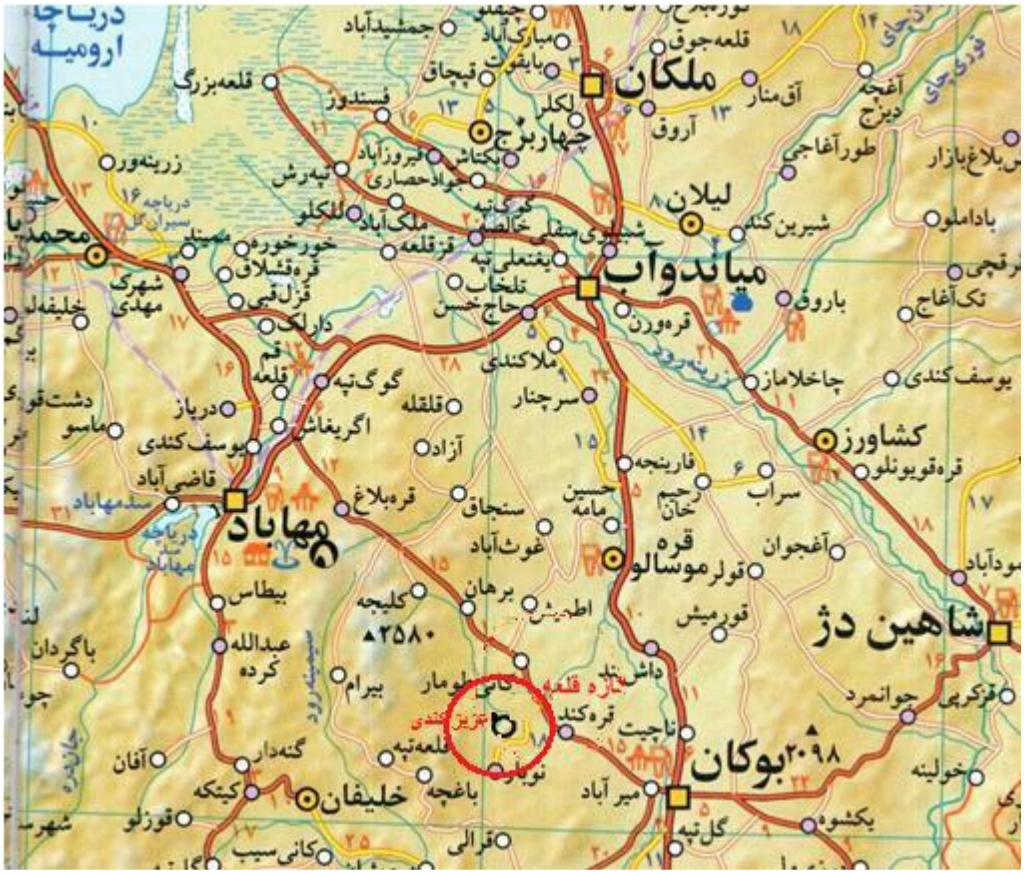
## ۳-۱ مقدمه

منطقه مورد نظر در استان آذربایجان غربی واقع شده است که در این فصل خلاصه‌ای از موقعیت جغرافیایی محدوده اکتشافی، وضعیت آب و هوا، ژئومورفولوژی[۱] و زمین شناسی منطقه و همچنین مشخصات و مطالعات درزه نگاری و مقدار ذخیره ماده معدنی بیان شده است.

## ۳-۲ موقعیت جغرافیایی محدوده اکتشافی و وضعیت راه‌های دسترسی به آن

محدوده اکتشافی مرمریت عزیز کندی بوکان در جنوب استان آذربایجان غربی ۱۵۲ کیلومتری مرکز استان (شهرستان ارومیه) و ۱۳ کیلومتری شمال غرب بوکان و ۴۷ کیلومتری جنوب شرق شهرستان مهاباد و به فاصله ۴۰۰ متری جنوب غرب روستای عزیز کندی قرار گرفته است (شکل۳-۱). دسترسی به محدوده اکتشافی از دو مسیر امکان‌پذیر است، مسیر اول از طریق جاده آسفالته درجه دو بوکان - مهاباد (جاده برهان) به طول ۱۳ کیلومتر تا سه‌راهی روستاهای عزیز کندی و سیف‌الدین بالا و از آنجا از طریق جاده آسفالته درجه دو روستایی به طول سه کیلومتر تا سه‌راهی روستای سیف‌الدین بالا و از آنجا از طریق جاده شن ریزی شده به طول ۱۵۰۰ متر تا روستای سیف‌الدین بالا و بعد از آن نیز از طریق ۱۸۰۰ متر جاده خاکی تا محدوده اکتشافی میسر است. مسیر دوم از طریق جاده برهان (مهاباد- بوکان) به طول ۴۷ کیلومتر تا سه‌راهی روستاهای عزیز کندی و سیف‌الدین و از آنجا از طریق مسیرهای ذکر شده قبلی میسر می باشد. ایستگاه راه آهن مراغه در ۱۴۰ کیلومتری شمال شرق محدوده قرار گرفته است.

[۱] Geomorphoogy



شکل ۳-۱- موقعیت جغرافیایی محدوده اکتشافی و وضعیت راه‌های دسترسی

## ۳-۳ وضعیت آب و هوای منطقه

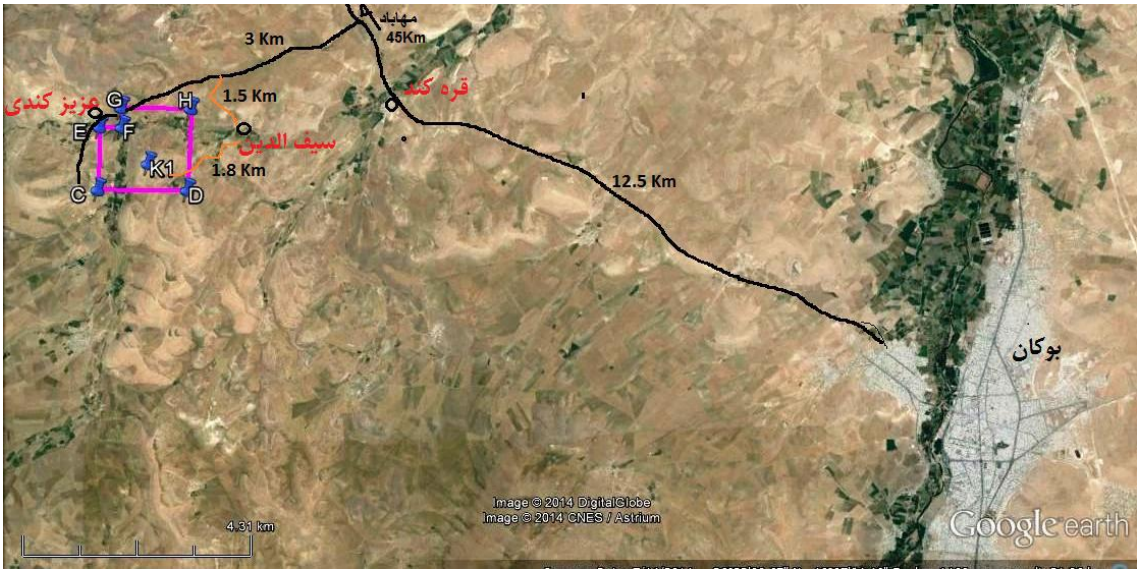
محدوده اکتشافی در یک منطقه تقریبا کوهستانی واقع شده است و دارای آب و هوای سرد و معتدل کوهستانی است، به طوری که در زمستان‌ها سرد و پربرف بوده و تابستان‌های نسبتاً معتدل تا گرمی دارد. سطح ارتفاعات منطقه در طول زمستان اکثرا پوشیده از برف است، میزان متوسط بارندگی منطقه حدود ۳۰۰ الی ۳۵۰ میلی متر در سال بوده و حداکثر درجه حرارت منطقه ۲۴ درجه سانتیگراد بالای صفر و حداقل دمای آن ۱۸ درجه سانتیگراد زیر صفر می باشد. با توجه به شرایط مذکور فعالیت معدن کاری در منطقه حدود ۸-۹ ماه در سال می باشد.

## ۳-۴ ژئومورفولوژی منطقه

محدوده اکتشافی از نظر توپوگرافی[۱] جزو مناطق کوهستانی با توپوگرافی نسبتا خشن و بلند می باشد. شکل عمومی منطقه به تبع از نوع واحدهای رسوبی (سنگ‌های آهکی و مارن، آهک‌های مارنی[۲] میوسن[۳]) و وضعیت فرسایش و هوازدگی آن می‌باشد. هر جا که سنگ‌های آهکی رخنمون دارد سطوح سخت آهکی به رنگ خاکستری با توپوگرافی تا حدودی خشن برونزد دارند و اکثرا به دلیل مقاومت کم‌تر و نرمی زیاد، مورفولوژی ملایمی را باعث گردیده‌اند ولی مارن و آهک‌های مارنی توپوگرافی نسبتاً آرامی را باعث شده‌اند.

## ۳-۵ مشخصات محدوده معدن

محدوده معدن به شکل شش ضلعی EFGHDC به مساحت تقریبی ۵۷/۲ کیلومتر مربع که مختصات جغرافیایی رئوس محدوده‌ی میله گذاری شده در شکل ۳-۲ آمده است.




شکل ۳-۲- رئوس محدوده‌ی میله گذاری شده

[۱] Topography
[۲] Marly limestone
[۳] Miocene

## ۳-۶ مشخصات ماده معدنی

ماده معدنی نوعی سنگ آهک رسوبی متخلخل فسیل‌دار نیمه متبلور می‌باشد (سنگ آهک ریفی) که بر اثر افزایش نسبی فشار این سنگ‌ها به هم فشرده‌تر گشته و تا حدودی متراکم شده‌اند. ماده معدنی به صورت لایه‌های نسبتاً ضخیم و به رنگ سفید تا کرمی روشن که در مقطع تیپیک[۱] با ستبرای[۲] بیش بیش از ۱۲۰ متر بر روی تناوبی از شیل[۳]، ماسه سنگ و سنگ‌های آتشفشانی (واحد شیلی با میان لایه های ولکانیکی[۴]) کرتاسه[۵] فوقانی با شیب ناچیز دو درجه به سمت جنوب غرب قرار گرفته است، کمر بالای ماده معدنی از جنس آلوویوم[۶] و سنگ هوازده است و سن این سنگ‌های آهکی با توجه به مجموعه فسیلی متنوع داخل آن میوسن (هم ارز سازند قم) به حساب می‌آید. نتایج سنگ شناسی نمونه ای از سنگ به شرح ذیل است.

این سنگ از یک کانی اصلی کربنات کلسیم تشکیل یافته است، نام سنگ بر اساس طبقه بندی پتی-جان[۷] سنگ آهک کلسیتی فسیل دار متخلخل می باشد. با توجه به نتایج آزمایشگاهی مقاومت فشاری تک‌محوره تر و خشک، وزن مخصوص، درصد جذب آب و تخلخل در جدول ۳-۱ آمده است.

جدول ۳-۱- مشخصات ماده معدنی

| ردیف | ویژگی | مقدار |
|---|---|---|
| ۱ | مقاومت فشاری تک محوره | ۴۴MPa |
| ۲ | مدول الاستیسیته | ۴۶ Gpa |
| ۳ | وزن مخصوص | ۲۷۱۰ $Kg/m^3$ |
| ۴ | درصد جذب آب | ۰/۷۸ درصد |
| ۵ | تخلخل | ۱/۵ درصد |

[۱] Typic
[۲] Thickness
[۳] Shale
[۴] Volcanic
[۵] Cretaceous
[۶] Alluvium
[۷] Pettijohn

## ۳-۷ زمین شناسی و زمین ساخت عمومی منطقه

پی‌سنگ منطقه را یک‌سری سنگ‌های دگرگون شده به سن پرکامبرین[۱] تشکیل می‌دهند که در بخش شمال غرب بوکان رخنمون دارند، این سنگ‌های دگرگونی شامل گنیس[۲]، شیست، آهک و دلومیت کریستالین می‌باشند. واحد سنگی مربوط به کرتاسه شامل واحد شیلی با میان لایه‌های ولکانیکی که در قسمت‌های شمالی منطقه رخنمون دارد. تشکیلات رسوبی الیگومیوسن به طور دگر شیب بر روی مجموعه مذکور قرار گرفته اند، این تشکیلات رسوبی ( سازند قم ) به صورت وسیع در منطقه رخنمون دارند و سنگهای پلیوکواترنر[۳] ( سنگهای ولکانیکی جوان ) بیشتر در بخش‌های شمال غربی منطقه قرار گرفته‌اند و شامل گدازه‌های آتشفشانی و تراورتن‌های ناشی از چشمه‌های آب گرم منطقه می‌باشند. رسوبات کواترنر نیز به صورت تراس[۴]های آبرفتی در مناطق پست و رسوبات آبراهه‌ای و رودخانه‌ای سطح سایر واحدهای قدیمی‌تر را پوشانیده‌اند.

## ۳-۸ مطالعات درزه‌نگاری در محدوده معدن

با استفاده از مطالعات درزه‌نگاری و تکتونیکی[۵] می‌توان دسته درزه‌های قالب منطقه را شناخت و از تداوم و فاصله‌داری، پرشدگی، بازشدگی و دیگر مشخصات درزه‌ها اطلاع حاصل نمود. با چنین اطلاعاتی تعیین شکل و ابعاد بلوک‌های حاصل از استخراج امکان‌پذیر می‌شود و همچنین جهت سینه کار و سمت پیشروی در آن نیز تعیین می‌شود و نحوه چالزنی، خرجگذاری، آتشباری و برش سنگ را به کمک جهت‌یابی فضایی صفحات درزه معین و استفاده از این گونه صفحات را در برش بلوک‌ها به وسیله سیم برش نیز مد نظر قرار دارد. ضمناً با شناخت درزه‌های مزاحم و بررسی جهت‌یابی ، تداوم و

---

۱ Precambrian

۲ Gneiss

۳ Pliocaturner

۴ Terrace

۵ Tectonics

فاصله درزه‌ها می‌توان مناطق دارای قواره‌دهی ضعیف را شناسایی کرد.

نتایج حاصل از برداشت مشخصات درزه‌ها و شکستگی‌ها در شکل ۳-۳ ارائه شده است.

مطالعات درزه نگاری نشان می‌دهد که:

۱- فاصله داری اکثر درزه‌ها زیاد است (۲/۷ تا ۳/۲ متر).

۲- سه دسته درزه در منطقه رخنمون دارد (دو دسته درزه اصلی و یک دسته درزه فرعی).

۳- اکثر درزه‌ها دارای شیب زیاد هستند.

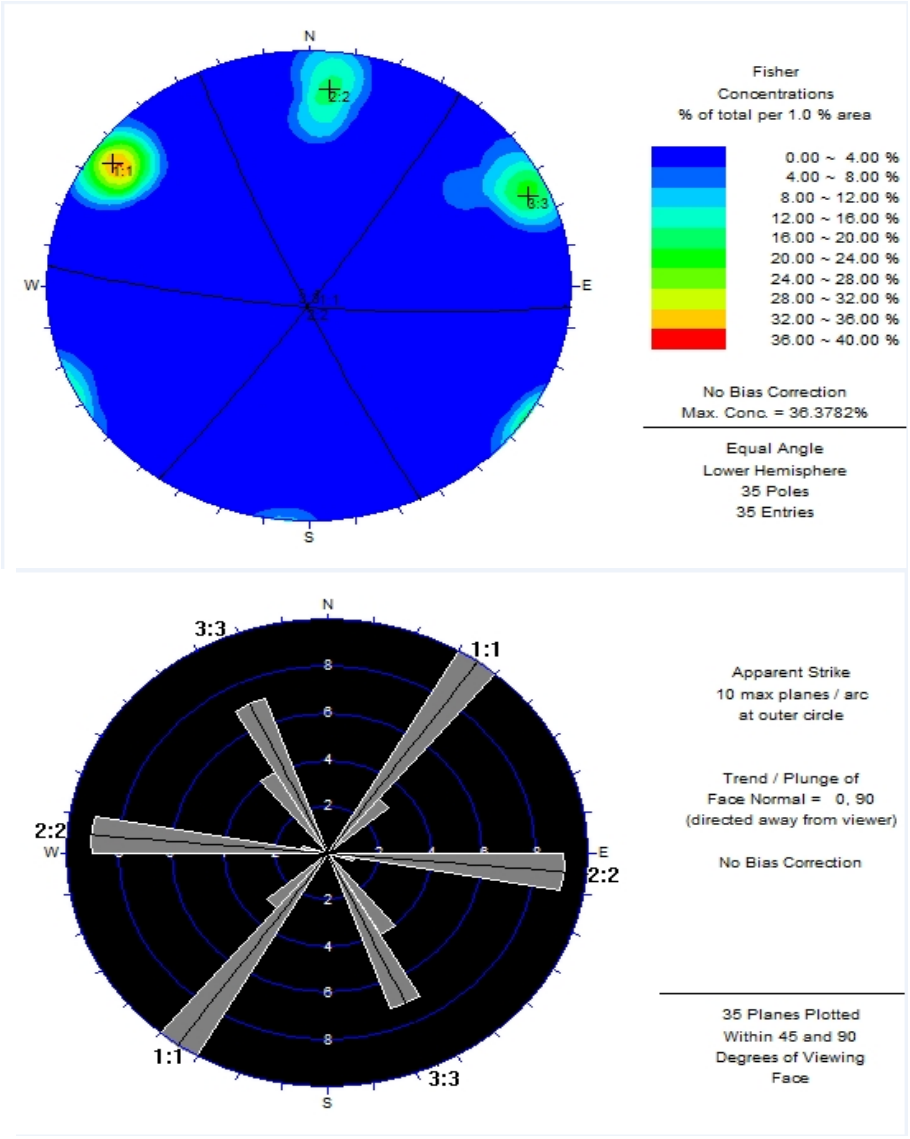
۴- دسته درزه‌های اصلی منطقه در راستاهای ۵±۱۵۵ و ۵±۳۵ است.

۵ - دسته درزه فرعی در راستا ۵±۹۵ است.

۶- درزه‌های اصلی نسبت به هم تا حدودی متعامد می‌باشند و دسته درزه فرعی با آن‌ها مورب است (جدول ۳-۲).

جدول ۳-۲- مشخصات درزه‌های منطقه

| ردیف | شیب | جهت شیب | تعداد |
|---|---|---|---|
| ۱ | ۷۰ | ۱۸۵ | ۴ |
| ۲ | ۸۵ | ۱۲۵ | ۸ |
| ۳ | ۸۰ | ۱۳۰ | ۶ |
| ۴ | ۷۰ | ۲۳۵ | ۲ |
| ۵ | ۸۵ | ۲۴۵ | ۹ |
| ۶ | ۸۰ | ۱۸۵ | ۲ |
| ۷ | ۸۵ | ۱۹۰ | ۴ |
| مجموع | | | ۳۵ |




شکل ۳-۳- رزدیاگرام شکستگی‌های منطقه

## ۳-۹ تعیین ذخیره معدن

جهت تعیین ذخیره قطعی و احتمالی سنگ با توجه به دو سینه کار و چهار حلقه گمانه اکتشافی احداث شده در محدوده اکتشافی و نقشه های توپوگرافی و زمین شناسی ۱/۱۰۰۰ تهیه شده از منطقه محاسبات به‌صورت زیر می‌باشد [۳۵].

$S_n$ : سطح مقطع n ام ( $m^2$ )

$S_{n-1}$ : سطح مقطع n-۱ ام ( $m^2$ )

$H_{n-۱}$ : فاصله دو مقطع متوالی n ام و N-۱ ام ( m )

$V_{n-۱}$ : حجم محصور بین دو مقطع متوالی ($m^۳$)

$$V_{n-۱} = [\ (S_{n-۱} + S_n + \sqrt{S_{n-۱}} \times \sqrt{S_n})/۳ \times (H_{n-۱})\ ]$$

W: وزن محصور بین دو نقطه متوالی (ton)

$$W = V_n \times d$$

D: وزن مخصوص ماده معدنی ( $gr/cm^۳$ )

Q : درصد کوپ دهی سنگ

W : تناژ قابل بهره برداری

$$W = w \times Q$$

در این محدوده با توجه به مقاطع و سینه کارهای اکتشافی $d=۲.۴۲۲\ gr/cm^۳$، Q = ۶۰ % و نیز اطلاعات گمانه‌ها، ذخیره قطعی به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$S_۱ = ۱۴۰۰\ m^۲$

$S_۲ = ۱۸۰۰\ m^۲$

$H_۱ = ۱۵۴\ m$

$V_۱ = ۲۴۵۷۵۶\ m^۳$

$w_۱ = ۶۵۱۲۵۲\ ton$

$W_۱ = ۳۲۵۶۲۶۵\ ton$

$S_۲ = ۱۸۰۰\ m^۲$

$S_۳ = ۱۳۰۰\ m^۲$

$H_۲ = ۱۵۴\ m$

$V_۲ = ۲۳۷۶۵۸\ m^۳$

$w_۲ = ۶۲۹۷۹۴\ ton$

$W_{۲}$ = ۳۱۴۸۹۷ ton

ذخیره قطعی ماده معدنی در محدوده به صورت زیر می‌باشد.

$W = W_{۱} + W_{۲}$ = ۳۲۵۶۲۶ + ۳۱۴۸۹۷ = ۶۴۰۵۲۳ ton

و ذخیره احتمالی به صورت زیر می‌باشد.

$W = ۲ \times W$ = ۲ × ۶۴۰۵۰۰ = ۱۲۸۱۰۰۰ ton

## ۳-۱۰ آماده سازی و روش استخراج

استخراج ماده معدنی به صورت روباز و روش پلکانی انجام خواهد پذیرفت از آنجا که کمر بالای ماده معدنی اکثرا از نوع خود ماده معدنی به صورت قسمت‌های هوازده و خرد شده و نیز رسوبات کواترنری با گسترش و حجم محدود می باشد؛ لذا قبل از شروع عملیات استخراج، عملیات باطله برداری و آماده سازی کارگاه استخراج توسط یک دستگاه بولدوزر انجام خواهد گرفت.

از آنجائیکه در محدوده اکتشافی در مرحله اکتشاف دو سینه کار با هدف آشکارسازی ماده معدنی و باطله برداری و استخراج احداث شده است؛ لذا ادامه عملیات بهره برداری در این سینه کار می تواند ادامه داشته باشد ولی بایستی توجه داشت که در ادامه عملیات بهره برداری، آماده‌سازی و استخراج این سینه کارها به ترتیب از تراز بالا به طرف تراز پایین صورت گیرد؛ زیرا قسمتی از سنگ‌هایی که در جریان عملیات آماده سازی توسط بولدوزر برداشت می شوند، زیر سنگ‌های قابل بهره برداری پله بالاتر واقع شده‌اند و یا بخشی از راه دسترسی به سینه کار آن را تشکیل می‌دهند.

باتوجه به ویژگی‌های ماده معدنی و مشخصات لایه‌های مرمریت، ضخامت و افراز لایه‌ها، شیب و نحوه گسترش لایه‌ها، سیستم تکتونیکی و دسته درزه حاکم در محدوده اکتشافی که پیشتر بررسی شده است، استخراج ماده معدنی در این محدوده می‌تواند با بهره‌گیری از دستگاه سیم برش الماسه صورت گیرد.

## ۳-۱۱ جمع بندی

در این فصل به معرفی مورد مطالعه پرداخته و موقعیت جغرافیایی محدوده، وضعیت آب و هوا و ژئومورفولوژی منطقه آورده شده است و سپس مشخصات محدوده‌ی معدن و مطالعات درزه‌نگاری مورد نیاز منطقه برای برآورد کوپ‌دهی معدن و مشخصات محدوده‌ی معدنی برای برآورد بازیابی کوپ‌ها توضیح داده شده و در انتها هم به آماده‌سازی و روش استخراج در این معدن اشاره شده است. در فصل بعد نیز روش کار و هم‌چنین ارتفاع مناسب پله معرفی می‌شود.

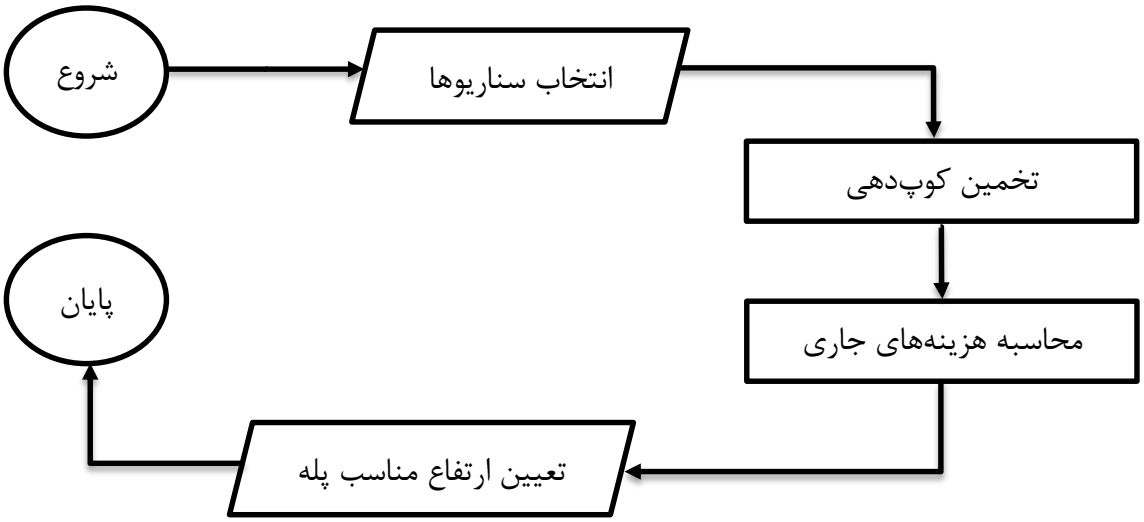
# فصل ٤ : تعیین ارتفاع مناسب پله

## ۴-۱ مقدمه

در این فصل به بررسی سناریوهای مختلف برای تعیین ارتفاع مناسب پله پرداخته می‌شود. با به کارگیری ارتفاع‌های مختلف، ارتفاعی که کمترین هزینه و بیشترین کوپ‌دهی و بازیابی را داشته باشد به عنوان ارتفاع مناسب در نظر گرفته می‌شود.

## ۴-۲ روش انجام کار

مراحل صورت گرفته در این پایان‌نامه برای تعیین ارتفاع مناسب پله طبق فلوچارت زیر می‌باشد.




طبق فلوچارت بالا برای تعیین ارتفاع مناسب پله در این معدن ابتدا با استفاده از نرم افزار ۳DEC[۱] کوپ‌دهی معدن در ارتفاع‌های مختلف بررسی شده و سپس هزینه‌های معدن در هر ارتفاع محاسبه می‌شود؛ که در نهایت ارتفاعی که بیشترین سوددهی را داشته باشد به عنوان ارتفاع مناسب معرفی می‌گردد.

[۱] Distinct element method

## ٤-٣ معرفی نرم افزار 3DEC

3DEC نرم افزاری بر مبنای روش المان گسسته است. این روش در دسته‌ی روش‌های تحلیل محیط‌های ناپیوسته قرار دارد. تفاوت میان یک محیط ناپیوسته و یک محیط پیوسته، وجود سطوح مشترک یا تماس میان پیکره[1]های جداگانه‌ی تشکیل دهنده‌ی سیستم است. بنیان این نرم افزار را فرمول‌بندی عددی آزمایش شده و به کار رفته در نرم افزار دو بعدی UDEC[2] تشکیل می‌دهد و در این نرم افزار واکنش محیط ناپیوسته (مانند یک توده سنگ درزه‌دار) در معرض بارگذاری استاتیک یا دینامیک شبیه‌سازی می‌شود. ساختمان این محیط ناپیوسته به صورت مجموعه‌ای از بلوک‌های جداگانه تعریف می‌شود، ناپیوستگی‌ها به صورت شرایط مرزی میان بلوک‌ها در نظر گرفته می‌شود و جابجایی های زیاد در امتداد ناپیوستگی‌ها و چرخش بلوک‌ها امکان پذیر است. رفتار هر بلوک می‌تواند به صورت ماده‌ای صلب یا تغییر شکل‌پذیر باشد، بلوک‌های تغییر شکل‌پذیر به شبکه‌ای از المان‌های تفاضل محدود[3] تبدیل شده و هر یک از این المان‌ها مطابق با قانون تنش-کرنش خطی یا غیر خطی از پیش تعریف شده‌ای رفتار می‌کند. حرکت نسبی ناپیوستگی‌ها نیز از روابط نیرو-جابجایی خطی یا غیر خطی برای حرکت در هر دو راستای عمودی و برشی تبعیت می‌کند. این نرم افزار دارای چندین مدل پیش ساخته برای رفتار ماده (هم برای بلوک‌های سالم و هم برای ناپیوستگی‌ها) است که امکان شبیه سازی واکنشی که معرف مواد زمین یا مشابه آن‌ها می‌باشد را می دهد. نرم افزار 3DEC بر مبنای یک طرح محاسباتی لاگرانژی[4] است که برای مدل کردن حرکت‌ها و تغییر شکل‌های بزرگ در یک سیستم بلوکی بسیار مناسب است.

ویژگی‌های مشخصه این نرم افزار در زیر خلاصه شده است.

---

[1] body

[2] Universal Distinct Element Code

[3] finite difference elements

[4] Lagrangian calculation scheme

- توده سنگ به صورت مجموعه ای سه‌بعدی از بلوک‌های صلب یا تغییر شکل‌پذیر مدل می‌شود.
- ناپیوستگی‌ها به صورت تماس‌های مرزی مجزا میان این بلوک‌ها در نظر گرفته شده که رفتار درزه‌ای برای این تماس‌ها از پیش تعریف شده است.
- الگوهای درزه‌ای پیوسته و ناپیوسته را می‌توان بر مبنایی آماری ایجاد کرد و ساختار درزه‌ای را می توان به طور مستقیم از نقشه برداری زمین شناسی در مدل به وجود آورد.
- در ۳DEC از الگوریتمی استفاده شده است، که هم جابجایی و هم چرخش را در خود جا داده است و محاسبات حوزه‌ی زمان[۱] را نیز ممکن می کند.
- هم‌چنین ۳DEC حاوی زبان برنامه نویسی داخلی قدرتمندی به نام FISH[۲] است و با FISH می توان برای بالا بردن کارایی این نرم افزار عملگر[۳]های دلخواهی نوشت، زبان FISH قابلیت منحصر به فردی در سازماندهی تحلیل‌ها برای اهداف خاص فراهم می‌کند.
- امکاناتی که FISH فراهم می‌آورد شامل موارد زیر است:
- تغییر خواص تعریف شده توسط کاربر در ساختار بلوک (مثلاً افزایش غیرخطی مدول در عمق).
- نمایش و چاپ متغیرهای تعریف شده توسط کاربر (پلات‌های طرح‌ریزی شده اختصاصی)
- به کار بردن ایجادگرهای درزه‌ی خاص
- کنترل دستوری آزمایش‌های عددی
- تعیین شرایط مرزی غیرمعمول (متغیر در زمان و مکان)
- خودکار سازی مطالعات پارامتریک

---

[۱] time domain calculations

[۲] خلاصه شده FLACish است که برای برنامه دوبعدی، تفاضل محدود و محیط پیوسته‌ی FLAC ایجاد شده است.

[۳] function

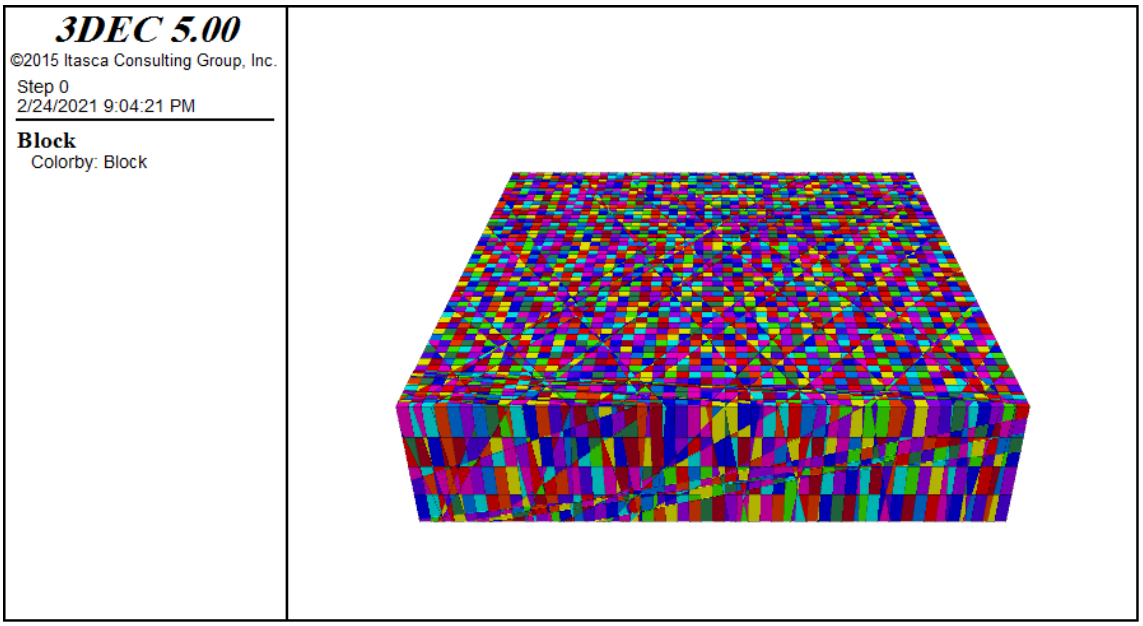
## ۴-۴ تخمین کوپ‌دهی

کوپ‌دهی کانسار یکی از مهم‌ترین پارامترهای لازم برای تعیین ارتفاع مناسب پله است، اطلاعات درزه‌نگاری معدن سنگ ساختمانی عزیز کندی بوکان در جدول ۳-۲ آورده شده است. با توجه به اطلاعات درزه‌نگاری معدن مذکور مدل مربوطه برای هر یک از ارتفاع‌ها با استفاده از نرم افزار ۳dec تهیه شد و میزان کوپ‌دهی هر یک از ارتفاع‌ها مشخصص گردید. پارامترهای طول و عرض در مدل به دلیل هماهنگی با ابعاد بلوک قواره ثابت و برابر ۲ در نظر گرفته شده است و ارتفاع نیز به ترتیب ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ متر در نظر گرفته شده است؛ زیرا ارتفاع‌های کمتر از ۶ متر به خاطر نیاز به پله‌های زیاد و هزینه‌های آماده سازی بالا از نظر اقتصادی توجیهی ندارند و ارتفاع‌های بیشتر از ۱۲ متر با توجه به ایمنی کارگاه و اندازه تجهیزات انتخابی به جز در موارد خاص کاربرد چندانی ندارند. در ادامه به بررسی سناریوهای پیشنهادی و مدلسازی ناپیوستگی‌های معدن جهت ارزیابی کوپ‌دهی هر یک از سناریوها پرداخته می‌شود. ابعاد بلوک قواره برابر با ۲×۲×۳ در نظر گرفته شده است؛ لذا با توجه به نوع شکل و حجم بلوک‌ها ۴ کلاس برای درجه بندی بلوک‌های بزرگ پیشنهاد شد. با احتساب نوع شکل، کلاس ۱ شامل بلوک‌هایی با حجم بیشتر از ۱۳ متر مکعب، کلاس ۲، بلوک‌هایی با حجم بین ۸ تا ۱۳ مترمکعب، کلاس ۳، بلوک‌هایی با حجم بین ۳ تا ۸ متر مکعب و کلاس ۴ بلوک‌های باطله با حجمی کمتر از ۳ متر مکعب در نظر گرفته شدند.

با توجه به ابعاد قواره (۲×۲×۳) حجم قواره مورد نیاز ۱۲ متر مکعب می‌باشد و با توجه به شکل کوپ حجم‌های بیشتر از ۱۳ متر مکعب با قیمت سنگ‌های درجه ۱ در بازار به فروش می‌رسد. بلوک‌های کلاس ۲ نیز به نصف قیمت درجه ۱ و بلوک‌های کلاس ۳ نیز با ۰/۳ برابر قیمت درجه ۱ به فروش می‌رسند؛ لذا ارزش هر بلوک با توجه به قرار داشتن در هر یک از کلاس بندی به ترتیب ۱، ۰/۵، ۰/۳ حجم مفید آن‌ها و ارزش باطله صفر در نظر گرفته می شود.

## ۴-۵ مدلسازی با 3Dec

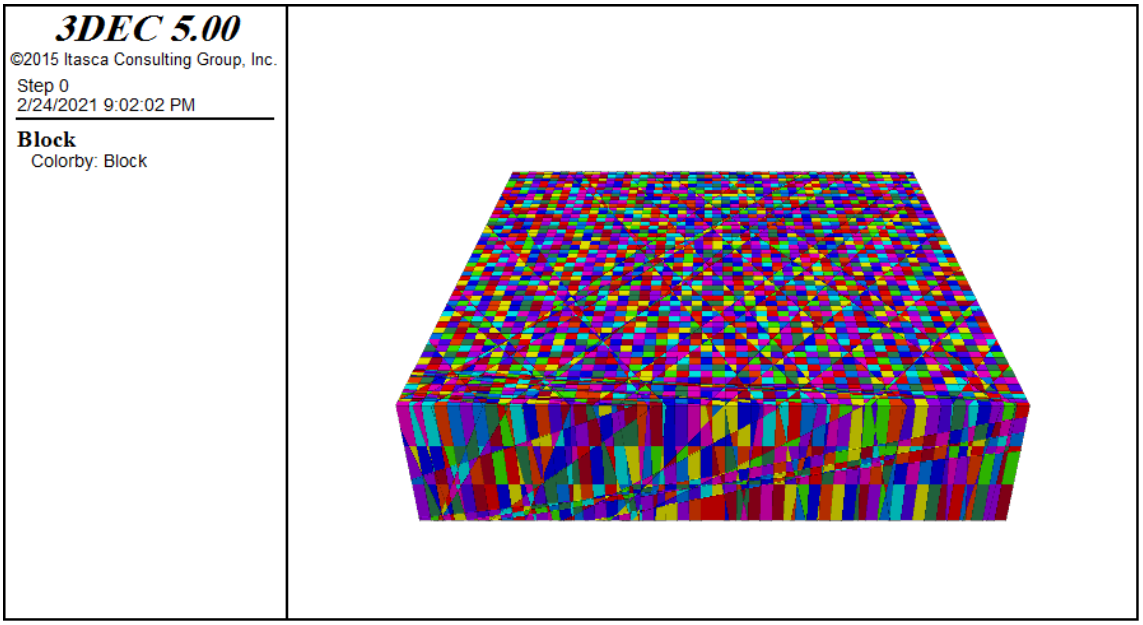
سیستم ناپیوستگی‌های منطقه منظم است؛ لذا در مرحله مدلسازی از ناپیوستگی‌های تصادفی صرف‌نظر شد و ناپیوستگی‌های غالب به صورت قطعی مدل شدند و به این ترتیب با ناپیوستگی‌های برداشت شده از قسمتی از معدن که در دسترس بود، یک شبکه ناپیوستگی با ابعاد مناسب که حاوی دسته درزه‌های مذکور باشد، ساخته شد. در مرحله اول بلوک با طول و عرض ۱۰۰ متر و با ارتفاع ۲۴ متر مدل شد؛ درزه‌های موجود به صورت خط برداشت و در ارتفاع ۱۵ متر برداشت شده است؛ لذا درزه‌ها با مبدأ برداشت در ارتفاع ۱۵متر و در محور xها با فاصله‌داری نسبت به درزه قبل و با تداوم کامل به مدل اضافه شدند. با توجه به خروجی نرم‌افزار و محاسبه تعداد و میانگین حجم بلوک‌های هر کلاس در هر سناریو پیشنهادی، ارزش نسبی هر کلاس و ارزش کلی بلوک‌ها قابل محاسبه خواهد بود. به این ترتیب در مرحله نخست با مدلسازی ذخیره معدن و ناپیوستگی‌های منطقه با نرم‌افزار پیشنهادی در ارتفاع ۶ متر محاسبه آغاز می‌شود (شکل ۴-۱).



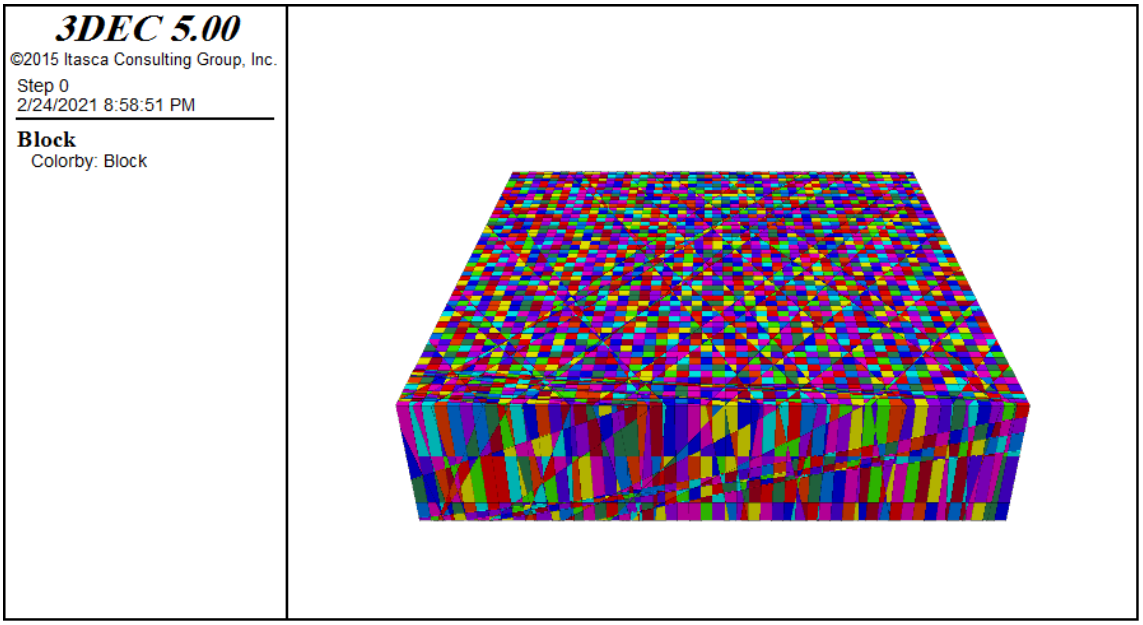

شکل ٤-١- مدل ناپیوستگی‌ها در ارتفاع ۶ متر

با توجه به مدل بالا، در ارتفاع ۶ متر تعداد بلوک‌ها در هر کلاس به ترتیب ۹۳۰۱، ۱۵۶۴، ۲۳۷۴ و ۶۶۱۶ با میانگین حجمی ۲۲/۱۸، ۱۰/۳۱، ۵/۲۲ و ۰/۷۴ متر مکعب محاسبه شده است. که با توجه به

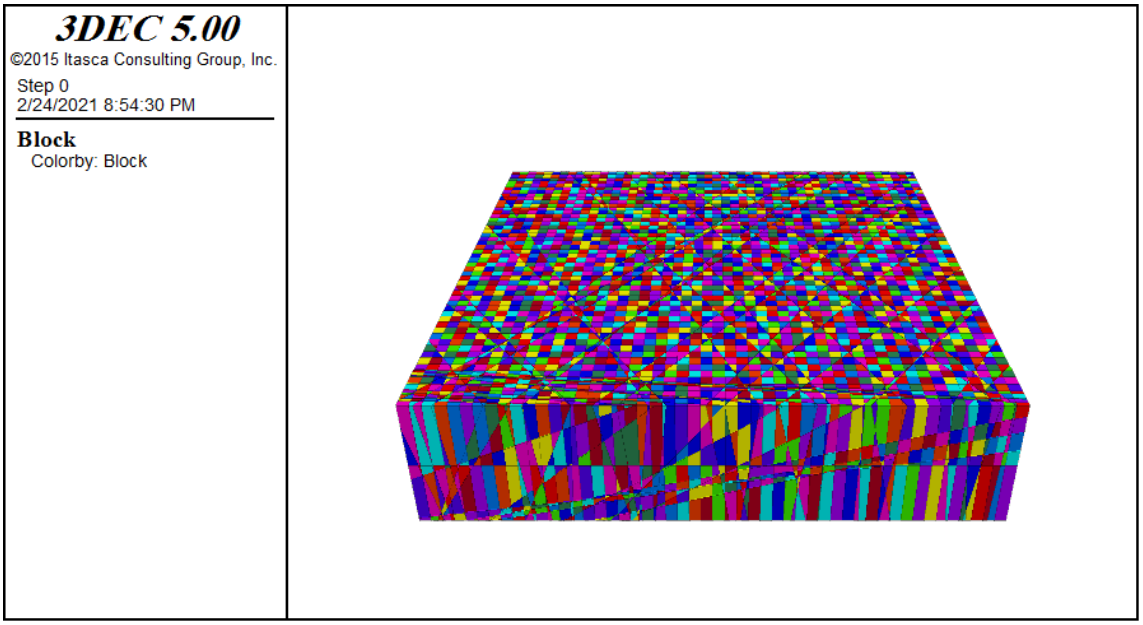
ارزش نسبی هر کلاس، ارزش حجمی هر کلاس بندی به ترتیب برابر با $۱۰^{۵} \times ۲/۰۶$، $۱۰^{۳} \times ۸/۰۵$، $۱۰^{۳} \times ۳/۶۹$ و ارزش حجمی کلاس چهار (باطله) صفر می باشد. جمع ارزش حجمی بلوک‌ها در ارتفاع ۶ متر برابر با $۱۰^{۳} \times ۲۱۷/۷۴$ متر مکعب خواهد بود که بازیابی در این ارتفاع ۹۰/۷۲ درصد از محدوده ۲۴۰ هزار متر مکعبی خواهد بود. به همین ترتیب طبق شکل‌های ۴-۲ تا ۴-۴ برای سناریوهای دیگر تکرار شده است.




شکل ٤-۲- مدل ناپیوستگی‌ها در ارتفاع ۸ متر




شکل ٤-٣- مدل ناپیوستگی‌ها در ارتفاع ۱۰ متر




شکل ٤-٤- مدل ناپیوستگی‌ها در ارتفاع ۱۲ متر

با توجه به خروجی نرم‌افزار در ارتفاع ۸ متر تعداد بلوک‌های هر کلاس به‌ترتیب ۷۶۴۱، ۱۰۵۹، ۱۸۱۶ و ۵۳۸۲ با میانگین حجمی ۲۸/۲، ۱۰/۴۶، ۵/۱۹ و ۰/۷۲ می‌باشد. جمع ارزش حجمی بلوک‌ها در این ارتفاع برابر با $۲۲۳/۳\times۱۰^{۳}$ متر مکعب است. برای ارتفاع ۱۰ متر جمع ارزش حجمی $۲۲۳/۱۳\times۱۰^{۳}$ و در ارتفاع ۱۲ متر $۲۲۸/۷۷\times۱۰^{۳}$ متر مکعب می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد با افزایش ارتفاع پله، میزان

کوپ‌دهی محدوده و مقدار بازیابی افزایش می‌یابد. در جدول ۴-۱ نتایج حاصل از بررسی بلوک‌های تشکیل شده و ارزش نسبی هر کلاس در ارتفاع‌های مختلف آورده شده است.

جدول ۴-۱- ارزش بلوک‌های ایجاد شده در ارتفاع‌های مختلف

| ارتفاع پله (متر) | مشخصات تولید | کلاس ۱ | کلاس ۲ | کلاس ۳ | باطله | جمع |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **۶ متر** | تعداد بلوک‌ها | ۹۳۰۱ | ۱۵۶۴ | ۲۳۷۴ | ۶۸۱۶ | ۲۰۰۵۵ |
| | حجم ($m^3$) | ۲/۰۶×۱۰^۵ | ۱/۶۱×۱۰^۴ | ۱/۲۳×۱۰^۴ | ۵/۰۹×۱۰^۳ | ۲/۴ ×۱۰^۵ |
| | میانگین حجم | ۲۲/۱۸ | ۱۰/۳۱ | ۵/۲۲ | ۰/۷۴ | ۱۱/۹۶ |
| | ارزش | ۲/۰۶×۱۰^۵ | ۸/۰۵×۱۰^۳ | ۳/۶۹×۱۰^۳ | ۰ | ۲۱۷/۷۴×۱۰^۳ |
| **۸ متر** | تعداد بلوک‌ها | ۷۶۴۱ | ۱۰۵۹ | ۱۸۱۶ | ۵۳۸۲ | ۱۵۸۹۸ |
| | حجم ($m^3$) | ۲/۱۵×۱۰^۵ | ۱/۱×۱۰^۴ | ۹/۴۳×۱۰^۳ | ۳/۹۲×۱۰^۳ | ۲/۴×۱۰^۵ |
| | میانگین حجم | ۲۸/۲ | ۱۰/۴۶ | ۵/۱۹ | ۰/۷۲ | ۱۵/۰۹ |
| | ارزش | ۲/۱۵×۱۰^۵ | ۵/۵×۱۰^۳ | ۲/۸۳×۱۰^۳ | ۰ | ۲۲۳/۳×۱۰^۳ |
| **۱۰ متر** | تعداد بلوک‌ها | ۷۳۹۵ | ۱۲۰۳ | ۱۸۴۱ | ۵۳۱۷ | ۱۵۷۵۶ |
| | حجم ($m^3$) | ۲/۱۴×۱۰^۵ | ۱/۲۵×۱۰^۴ | ۹/۶×۱۰^۳ | ۳/۹۵×۱۰^۳ | ۲/۴×۱۰^۵ |
| | میانگین حجم | ۲۸/۹۲ | ۱۰/۰۳ | ۵/۲۱ | ۰/۷۴ | ۱۵/۲۳ |
| | ارزش | ۲/۱۴×۱۰^۵ | ۶/۲۵×۱۰^۳ | ۲/۸۸×۱۰^۳ | ۰ | ۲۲۳/۱۳×۱۰^۳ |
| **۱۲ متر** | تعداد بلوک‌ها | ۵۷۴۶ | ۷۳۳ | ۱۲۷۳ | ۳۹۸۷ | ۱۱۷۳۹ |
| | حجم ($m^3$) | ۲/۲۳×۱۰^۵ | ۷/۶۳×۱۰^۳ | ۶/۵۵×۱۰^۳ | ۲/۸۷×۱۰^۳ | ۲/۴×۱۰^۵ |
| | میانگین حجم | ۳۸/۷۹ | ۱۰/۴ | ۵/۱۴ | ۰/۷۲ | ۲۰/۴۴ |
| | ارزش | ۲/۲۳×۱۰^۵ | ۳/۸۱×۱۰^۳ | ۱/۹۶×۱۰^۳ | ۰ | ۲۲۸/۷۷×۱۰^۳ |

در این تحقیق بر اساس خروجی نرم افزار از تصویر ناپیوستگی‌ها و بلوک‌های برجای مدلسازی شده، ارتفاع‌های ۱۲، ۸، ۱۰ و ۶ متر به ترتیب بیشترین تا کمترین کوپ‌دهی را در بلوک‌های برشی دارند. با توجه به عمق ذخیره با افزایش ارتفاع تا جایی که بتوان پله کامل استخراج کرد، ارزش بلوک‌های استخراجی افزایش می‌یابد.

## ۴-۶ هزینه‌های جاری

با توجه به اینکه بر اساس شرایط ماده‌ی معدنی و مشخصات لایه‌های مرمریت، شیب، نحوه گسترش لایه‌ها و دسته درزه‌های حاکم در محدوده‌ی اکتشافی که پیشتر بررسی شده است، استخراج ماده معدنی در این معدن با بهره‌گیری از دستگاه سیم برش الماسه صورت می‌گیرد؛ لذا با توجه به سناریوهای معرفی شده، فقط مقدار چالزنی و برش سطح در هزینه‌های جاری معدن تاثیرگذار خواهند بود؛ بنابراین در این قسمت هزینه‌های برش و حفاری محاسبه شده است.

با توجه به ارتفاع ذخیره که ۲۴ متر می‌باشد، برای استخراج در ارتفاع ۶ متر، چهار پله یا چهار بار برش افقی سطح صورت خواهد گرفت و همچنین با عرض و طول صد متر ذخیره، پنجاه و یک بار برش عمودی در طول و پنجاه و یک بار در عرض صورت خواهد گرفت که مساحت سطح برش افقی و عمودی به صورت زیر خواهد بود.

برش افقی

$$۴ \times ۱۰۰ \times ۱۰۰ = ۴۰۰۰۰$$

برش عمودی

$$۲۴ \times ۵۱ \times ۱۰۰ \times ۲ = ۲۴۴۸۰۰$$

مساحت کل برش

$$۴۰۰۰۰ + ۲۴۴۸۰۰ = ۲۸۴۸۰۰$$

همچنین برای چالزنی در ارتفاع ۶ متر، در هر دو امتداد طول و عرض پنجاه و یک بار چالزنی با عمق ۶ متر در هر پله و با وجود ۴ پله در مجموع ۲۴ متر چالزنی نیاز خواهد بود و برای چالزنی افقی با توجه به طول و عرض بلوک (۲×۲) در هر پله پنجاه و یک بار چالزنی در هر دو امتداد طول و عرض نیاز خواهد بود و از آنجایی که در استخراج کل ذخیره با ارتفاع مذکور چهار برش نیاز خواهد بود؛ بنابراین کل چالزنی عمودی و افقی مورد نیاز به صورت زیر خواهد بود.

چال‌های عمودی

۵۱× ۵۱ × ۲۴ = ۶۲۴۲۴

چال‌های افقی

۵۱ × ۱۰۰ × ۴ × ۲ = ۴۰۸۰۰

مجموع چال‌ها

۶۲۴۲۴ + ۴۰۸۰۰ = ۱۰۳۲۲۴

به همین ترتیب برای سناریوهای دیگر نیز محاسبه شده است که در ارتفاع ۸ متر میزان سطح برش افقی ۳۰۰۰۰ متر مربع و برش عمودی ۲۴۴۸۰۰ متر مربع که در مجموع ۲۷۴۸۰۰ متر مربع خواهد بود، چالزنی عمودی ۶۲۴۲۴ متر و چالزنی افقی ۳۰۶۰۰ متر که در مجموع ۹۳۰۲۴ متر خواهد بود.

برای ارتفاع ۱۰ متر مقدار برش سطح افقی برابر با ۳۰۰۰۰ متر مربع و برش عمودی ۲۴۴۸۰۰ متر مربع خواهد بود و مقدار چالزنی عمودی ۶۲۴۲۴ متر مقدار چال افقی ۳۰۶۰۰ متر است که در مجموع ۲۷۴۸۰۰ متر مربع برش و ۹۳۰۲۴ متر چالزنی نیاز خواهد بود.

برای ارتفاع ۱۲ متر نیز مقدار برش سطح افقی برابر با ۲۰۰۰۰ متر مربع و برش عمودی ۲۴۴۸۰۰ متر مربع خواهد بود. مقدار چالزنی عمودی ۶۲۴۲۴ متر و مقدار چال افقی ۲۰۴۰۰ متر است که در مجموع ۲۶۴۸۰۰ متر مربع برش و ۸۲۸۲۴ متر چالزنی نیاز خواهد بود.

لازم به ذکر است که عمر سیم برش الماسه (برحسب مترمربع سنگ بریده شده توسط یک متر سیم) برابر با ۹۰ متر مربع برش سطح سنگ مرمریت است [۴۰]. قیمت هر متر سیم برش نیز در بازار ۱۸۰ هزار تومان است و همچنین در محاسبات نسبت هزینه برش به حفاری با نسبت ۱ به ۰/۹ درنظر گرفته شده است.

قیمت هر متر مربع برش

۱۸۰۰۰۰ ÷ ۹۰ = ۲۰۰۰

قیمت هر متر چالزنی

۲۰۰۰ × ۰/۹ = ۱۸۰۰

هزینه‌های برش و چالزنی به طور مختصر در جدول ۴-۲ آمده است.

جدول ٤-۲- هزینه‌های برش و چالزنی معدن

| ارتفاع (متر) | مشخصات | عمودی | افقی | جمع | هزینه (هزار تومان) | جمع (هزار تومان) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۶ | برش ($m^۲$) | ۲۴۴۸۰۰ | ۴۰۰۰۰ | ۲۸۴۸۰۰ | ۵۶۹۶۰۰ | ۷۵۵۴۰۳ |
| | چالزنی (m) | ۶۲۴۲۴ | ۴۰۸۰۰ | ۱۰۳۲۲۴ | ۱۸۵۸۰۳ | |
| ۸ | برش ($m^۲$) | ۲۴۴۸۰۰ | ۳۰۰۰۰ | ۲۷۴۸۰۰ | ۵۴۹۶۰۰ | ۷۱۷۰۴۳ |
| | چالزنی (m) | ۶۲۴۲۴ | ۳۰۶۰۰ | ۹۳۰۲۴ | ۱۶۷۴۴۳ | |
| ۱۰ | برش ($m^۲$) | ۲۴۴۸۰۰ | ۳۰۰۰۰ | ۲۷۴۸۰۰ | ۵۴۹۶۰۰ | ۷۱۷۰۴۳ |
| | چالزنی (m) | ۶۲۴۲۴ | ۳۰۶۰۰ | ۹۳۰۲۴ | ۱۶۷۴۴۳ | |
| ۱۲ | برش ($m^۲$) | ۲۴۴۸۰۰ | ۲۰۰۰۰ | ۲۶۴۸۰۰ | ۵۲۹۶۰۰ | ۶۷۸۶۸۳ |
| | چالزنی (m) | ۶۲۴۲۴ | ۲۰۴۰۰ | ۸۲۸۲۴ | ۱۴۹۰۸۳ | |

با توجه به محاسبات فوق، با افزایش ارتفاع تا حد معین تا جایی که بتوان پله کامل استخراج کرد، مقدار چالزنی و برش اولیه کاهش خواهد یافت که در نتیجه هزینه‌ی کلی معدن کاهش می‌یابد.

## ۴-۷ ارزیابی درآمد کل معدن در ارتفاع‌های مختلف

قیمت هر متر مکعب سنگ در بازار یک میلیون تومان می‌باشد که با وجود حجم کل بازیابی می‌توان ارزش کل سنگ را در هر ارتفاع محاسبه کرد. همچنین با توجه به هزینه‌های انجام شده بازدهی کل معدن محاسبه شده است

با اطلاعات حاصل از میزان کوپ‌دهی این معدن در ارتفاع‌های مختلف و میزان بازیابی کل در هر ارتفاع، ارزش حجمی کل بلوک‌های استخراجی معدن به صورت زیر می‌باشد.

ارتفاع ۶ متر

۲۱۷۷۴۰ × ۱۰۰۰۰۰۰= ۲۱۷۷۴۰ میلیون تومان

ارتفاع ۸ متر

۲۲۳۳۰۰ × ۱۰۰۰۰۰۰ = ۲۲۳۳۰۰ میلیون تومان

ارتفاع ۱۰ متر

۲۲۳۱۳۰ × ۱۰۰۰۰۰۰ = ۲۲۳۱۳۰ میلیون تومان

ارتفاع ۱۲ متر

۲۲۸۷۷۰ × ۱۰۰۰۰۰۰ = ۲۲۸۷۷۰ میلیون تومان

و نتایج محاسبات انجام شده به طور مختصر در جدول ۴-۳ آمده است.

جدول ٤-۳- درآمد کل معدن

| ارتفاع (متر) | ارزش کل بلوک‌ها (میلیون تومان) | هزینه (هزار تومان) | سود کل معدن (میلیون تومان) |
|---|---|---|---|
| ۶ | ۲۱۷۷۴۰ | ۷۵۵۴۰۳ | ۲۱۶۹۸۴/۵۹۷ |
| ۸ | ۲۲۳۳۰۰ | ۷۱۷۰۴۳ | ۲۲۲۵۸۲/۹۵۷ |
| ۱۰ | ۲۲۳۱۳۰ | ۷۱۷۰۴۳ | ۲۲۲۴۱۲/۹۵۷ |
| ۱۲ | ۲۲۸۷۷۰ | ۶۷۸۶۸۳ | ۲۲۸۰۹۱/۳۱۷ |

طبق محاسبات انجام شده ارتفاع ۱۲ متر بیشترین سوددهی را در بین سناریوهای انتخابی دارد.

## ۴-۸ تعیین ارتفاع مناسب پله

در این معدن خاص مقدار مناسب ارتفاع برای معدن مورد نظر برابر ۱۲ متر به دست آمده است که این مقدار ارتفاع باتوجه به محاسبات صورت گرفته و خروجی‌های نرم افزار به علت زیاد بودن مقدار حجم کوپ‌دهی و هم‌چنین کم‌ترین مقدار هزینه؛ بیشترین بازدهی و سوددهی را در بین سناریوهای انتخابی دارد؛ بنابراین ارتفاع ۱۲ متر، ارتفاع مناسب پله در معدن عزیزکندی بوکان تعیین می‌شود.

# فصل ۵ : نتیجه گیری و پیشنهادات

## ۵-۱ نتیجه گیری

بر اساس مطالب ارائه شده در این پژوهش و بر اساس نتایج به دست آمده از نرم افزارهای استفاده شده و همچنین هزینه‌های برش و چالزنی و درآمد کلی معدن در ارتفاع‌های مختلف می‌توان نتیجه گرفت که:

۱. بر اساس نتایج حاصل از مدلسازی ناپیوستگی‌ها با افزایش ارتفاع پله و بر اساس عمق ذخیره تا جایی که بتوان پله کامل استخراج کرد، کوپ‌دهی معدن نیز افزایش می‌یابد؛ همچنین با افزایش بلوک‌های با ارزش بیشتر بهره‌وری معدن افزایش می‌یابد. با توجه با سناریوهای انتخابی در این معدن ارتفاع ۱۲ متر بیشترین کوپ‌دهی و ارزش بلوک‌های استخراجی را دارد.
۲. با افزایش ارتفاع پله، تعداد پله‌ها کاهش خواهد یافت و سطح برش افقی و نیز چالزنی افقی کاهش خواهد یافت که هزینه‌های کلی معدن را کاهش می‌دهد.
۳. با توجه به نتایج محاسبه هزینه سناریوهای انتخابی با افزایش ارتفاع، هزینه‌های چالزنی و برش کاهش یافته به طوری که ارتفاع ۱۲ متر کم‌ترین و ارتفاع ۶ بیش‌ترین هزینه را دارد.
۴. ارتفاع ۱۲ متر با توجه به محاسبات صورت گرفته، به علت زیاد بودن مقدار حجم کوپ‌دهی و کم شدن هزینه‌های برش و چال‌زنی به خاطر کاهش تعداد پله‌ها بیشترین بازدهی و سوددهی را در بین سناریوهای انتخابی دارد؛ بنابراین ارتفاع ۱۲ متر، ارتفاع مناسب پله در معدن عزیزکندی بوکان تعیین می‌شود.

## ۵-۲ پیشنهادها

- در پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شود که از دستگاه برش زنجیری (هاواژ) در ترکیب سیم برش الماسه برای برش‌های افقی استفاده شود، محاسبات اقتصادی معدن با کم کردن هزینه‌های چالزنی و برش افقی انجام شود.
- در مطالعات بعدی ارتفاع مناسب پله بر اساس مطالعات صحرایی و تاثیر ارتفاع پله بر سایش مته حفاری و سیم برش در سطوح مختلف بررسی شود.

# پیوست

جدول ۱- اطلاعات درزه‌نگاری معدن

| ردیف | شیب | جهت شیب | فاصله داری (متر) | تداوم (متر) | بازشدگی (میلی‌متر) | ردیف | شیب | جهت شیب | فاصله داری (متر) | تداوم (متر) | بازشدگی (میلی‌متر) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۸۰ | ۱۲۷ | ۱ | ۱۱ | ۲ | ۱۹ | ۸۲ | ۱۲۶ | ۳ | ۱۲ | ۴ |
| ۲ | ۸۴ | ۱۲۰ | ۲/۷ | ۱۲ | ۴ | ۲۰ | ۸۴ | ۲۴۸ | ۳ | ۱۲ | ۵ |
| ۳ | ۸۵ | ۱۲۴ | ۲/۸ | ۱۰ | ۵ | ۲۱ | ۸۲ | ۱۸۵ | ۲/۹ | ۱۰ | ۴ |
| ۴ | ۷۰ | ۲۳۵ | ۳/۲ | ۱۱ | ۵ | ۲۲ | ۸۰ | ۱۳۰ | ۳/۱ | ۱۲ | ۴ |
| ۵ | ۸۴ | ۱۹۰ | ۲/۸ | ۱۲ | ۴ | ۲۳ | ۸۳ | ۲۴۲ | ۲/۹ | ۱۰ | ۵ |
| ۶ | ۸۵ | ۱۸۲ | ۲/۷ | ۱۰ | ۳ | ۲۴ | ۸۸ | ۲۴۸ | ۳ | ۱۰ | ۴ |
| ۷ | ۸۵ | ۱۲۴ | ۲/۸ | ۱۲ | ۵ | ۲۵ | ۷۰ | ۱۸۲ | ۳ | ۱۰ | ۲ |
| ۸ | ۸۴ | ۱۲۰ | ۲/۹ | ۱۰ | ۴ | ۲۶ | ۸۸ | ۱۳۰ | ۲/۸ | ۱۱ | ۵ |
| ۹ | ۷۲ | ۲۳۵ | ۳/۱ | ۱۱ | ۳ | ۲۷ | ۸۰ | ۱۲۶ | ۲/۹ | ۱۲ | ۴ |
| ۱۰ | ۸۸ | ۲۳۰ | ۳/۰۵ | ۱۲ | ۲ | ۲۸ | ۸۵ | ۲۴۵ | ۲/۸ | ۱۱ | ۲ |
| ۱۱ | ۸۴ | ۱۸۵ | ۲/۹۵ | ۱۱ | ۳ | ۲۹ | ۷۲ | ۱۸۴ | ۳ | ۱۰ | ۳ |
| ۱۲ | ۸۰ | ۱۲۵ | ۲/۹ | ۱۰ | ۵ | ۳۰ | ۷۲ | ۱۸۵ | ۲/۶ | ۱۲ | ۴ |
| ۱۳ | ۸۵ | ۱۲۶ | ۲/۹ | ۱۱ | ۴ | ۳۱ | ۸۶ | ۱۲۲ | ۳ | ۱۲ | ۳ |
| ۱۴ | ۸۵ | ۲۴۵ | ۳ | ۱۲ | ۳ | ۳۲ | ۸۵ | ۱۳۰ | ۲/۹ | ۱۰ | ۳ |
| ۱۵ | ۸۵ | ۲۳۸ | ۲/۹ | ۱۱ | ۵ | ۳۳ | ۸۴ | ۲۴۰ | ۳ | ۱۱ | ۳ |
| ۱۶ | ۸۶ | ۱۸۵ | ۳ | ۱۱ | ۲ | ۳۴ | ۸۸ | ۲۴۵ | ۲/۹۵ | ۱۲ | ۳ |
| ۱۷ | ۷۸ | ۱۸۸ | ۲/۷۵ | ۱۰ | ۳ | ۳۵ | ۷۰ | ۱۸۳ | ۲/۷۵ | ۱۰ | ۲ |
| ۱۸ | ۸۲ | ۱۲۰ | ۲/۹۵ | ۱۱ | ۵ | مجموع ۳۵ درزه در سینه‌کار ۱۰۰ متری | | | | | |

# مراجع


[۱] م. عطائی, استخراج سنگ‌های ساختمانی, چاپ اول تدوین, شاهرود: انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود, ۱۳۸۷.

[۲] د. خدادادی, "طراحی معدن سنگ تزئینی (ساختمانی) لای بید به روش سیم برش الماسه بادرنظرگرفتن ابعاد بهینه بلوک," دانشگاه تربیت مدرس, تهران, ۱۳۸۱.

[۳] echidna, "Quarrying," echidna, [Online]. Available: https://www.echidna-rocksaws.com.au/applications/applications.php?app=Quarrying.

[۴] س. ا. ا. فاطمی و ا. پروین, "بررسی فنی و اقتصادی استفاده از سیم برش الماسه به منظور استخراج گرانیت برای اولین بار در ایران در معدن گرانیت گزیک، بیرجند," در کنفرانس مهندسی معدن ایران, دانشگاه تربیت مدرس, ۸۳.

[۵] ک. گشتاسبی و د. خدادادی, "تعیین ابعاد بهینه بلوک در استخراج معادن سنگ تزئینی به روش سیم برش الماسه," علوم زمین, .pp۱۲۰-۱۲۵, بهار ۱۳۸۴.

[۶] H. Kose, C. Aksoy, A. Gonen, M. Kun and T. Malli, "Economic evaluation of optimum bench height in quarries," The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy, pp. ۱۲۷-۱۳۵, ۲۰۰۵.

[۷] S. Jain and S. Rathore, "Role of cut size area on the performance of diamond wire saw," International Journal of Mining, Reclamation and Environment, pp. ۷۹-۹۱, ۲۰۰۸.

[۸] G. Chesini, "Optimisation of the Quarrying, Processing and Utilisation of South Australian Granite Resources," University of South Australia, ۲۰۰۱.

[۹] M. Yari, R. Bagherpour and N. Almasi, "An Approach to the Evaluation and Classification of Dimensional Stone Quarries with an Emphasis on Safety

Parameters," The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin, pp. ۱۵-۲۶, ۲۰۱۶.

[۱۰] V. Levytskyi, R. Sobolevskyi and V. Korobiichuk, "The optimization of technological mining parameters in a quarry for dimension stone blocks quality improvement based on photogrammetric techniques of measurement," The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin, pp. ۸۳-۹۰, ۲۰۱۸.

[۱۱] M. Ersoy, "The role of occupational safety measures on reducing accidents in marble quarries of Iscehisar region," Safety Science, vol. ۵۷, pp. ۲۹۳-۳۰۲, ۲۰۱۳.

[۱۲] سازمان پژوهش و برنامه ریزی آموزشی, عملیات استخراج، کنترل محیط و ماشین آلات معدنی, تهران: شرکت چاپ و نشرکتاب های درسی ایران, ۱۳۹۷.

[۱۳] ا. آریافر, ر. میکائیل و م. عطائی, "انتخاب روش مناسب برای استخراج سنگ‌های ساختمانی با استفاده از روش شباهت به گزینه‌ی ایده آل," فصل‌نامه زمین شناسی کاربردی, pp.-۱۶۲ ۱۳۸۹, ۱۶۹.

[۱۴] I. Ashmole and M. Motloung, "dimension stone: the latest trends in exploration and production technology," The Southern African Institute of Mining and Metallurgy, pp. ۳۵-۷۰, ۲۰۰۸.

[۱۵] Zhongtuo Mine Equipment, "Hydraulic Handheld Rock Cutting Splitter," Zhongtuo Mine Equipment, [Online]. Available: https://www.ztmineequipment.com/concrete-splitter/hydraulic-handheld-rock-cutting-splitter.html.

[۱۶] س. یوستون, "استخراج سنگهای ساختمانی," http://youstone.com/%D۸%D۷%۸A%D۸%AE%D۸%B۱%D۸%۳B%D۸%AA%D۸%AC%D۸%A۷%D۸%/.

[۱۷] P. Berry, G. Blengini, S. Fabbri and V. Tafaro, "Safety in quarrying ornamental stones by using diamond wire," Athens, Greece, ۲۰۰۰.

[۱۸] P. Berry , A. Bortolussi , R. Ciccu , P. Manca , G. Massacci and M. Pinzari, "Optimum use of diamond wire equipment in stone quarrying," Las Vegas, ۱۹۸۹.

[۱۹] N. Almasi and A. Khademian , ۲۴th International Mining Congress and Exhibition of Turkey, pp. ۱۰۹۶-۱۱۰۲, ۱۴-۱۷ april ۲۰۱۵.

[۲۰] G. Biasco, "Diamond wire for quarrying hard rocks," INDUSTRIAL DIAMOND REVIEW, vol. ۵۳, no. ۵, pp. ۲۵۲-۲۵۵, ۱۹۹۳.

[۲۱] fantini, "chain saw machines," fantini, [Online]. Available: https://www.fantinispa.it/en/chain-saw-machines/.

[۲۲] stone contact, "stone contact products," stone contact, [Online]. Available: https://www.stonecontact.com/products-۵۰۵۹۹۲/stone-cutting-machine.

[۲۳] وزارت صنایع و معادن, "راهنمای اکتشاف، استخراج و فرآوری سنگهای تزیینی و نما," دفتر نظام فنی اجرایی, تهران, ۱۳۸۷.

[۲۴] ج. عبدالهی شریف و ه. نوروزی, "تعیین ابعاد بهینه کوپهای استخراجی در مدلسازی کامپیوتری ذخایر سنگ تزیینی," در دومین کنفرانس مهندسی معدن ایران, تهران, ۱۳۸۷.

[۲۵] ه. ایران زاده, "اصول طراحی استخراج در معادن سنگ نما و تزئینی," در دومین سمینار سنگهای ساختمانی «تزئینی و نما», شیراز, ۱۳۷۰.

[۲۶] J. ABDOLLAHISHARIF and E. BAKHTAVAR, "AN INTELLIGENT ALGORITHM OF MINIMUM CUTTING PLANE TO FIND THE OPTIMAL SIZE OF," Archives of Mining Sciences, vol. ۵۴, no. ۴, p. ۶۴۱–۶۵۶, ۲۰۰۹.

[۲۷] H. Sedaghat Nejad, N. Hosseini and . A. . N. Hassani, "Determination of the Optimum Size of Building Stone Blocks: Case Study of Delichai Travertine Mine," International Journal of Geological and Environmental Engineering, vol. ۱۰, pp. ۳۹۷-۴۰۲, ۲۰۱۶.

[۲۸] م. امید شفیعی, "ارائه یک رویکرد جدید جهت تعیین ارتفاع پله مناسب در معادن روباز (مطالعه موردی معدن شماره ۲ سنگ آهن گل گهر)," دانشگاه صنعتی شاهرود, شاهرود,

.۱۳۹۵

[۲۹] Z. U. Rehman, S. Hussain and N. Mohammad, "Comparative analysis of different techniques used for dimension stone mining," Journal of Himalayan Earth Sciences, vol. ۵۱, pp. ۲۳-۳۳, ۲۰۱۸.

[۳۰] غ. ح. انارکی, "استخراج گرانیت," در دومین سمینار سنگهای ساختمانی «تزئینی و نما», شیراز, ۱۳۷۰.

[۳۱] A. Hekmat, M. Osanloo and P. Moarefvand, "Investigating the Effect of Different Block Dimensions on the Economic Life of Open Pit Mines," in Application of Computers and Operations Research in the Minerals Industry, Proceedings, Wollongong, New South Wales, ۲۰۱۱.

[۳۲] Y. Ozcelik and E. Kanbir, "Determination of Optimum Working Condition And Development of Cuttability Abacus For a Limestone And Real Marble Sample In Diamond Wire Cutting," San Francisco, California, ۲۰۱۱.

[۳۳] A. Khademian, R. Bagherpour and S. Almasi, "Optimum Distance Between Cutting Machine And Working Face In Travertine Exploitation With Diamond Wire Cutting Method," Antalya, ۲۰۱۵.

[۳۴] ش. شفیعی, م. عبادی و م. ترکاشوند, "تحلیل ناپیوستگی ها در معادن سنگ ساختمانی و اهمیت آن در بهینه سازی استخراج (مطالعه موردی معدن سنگ ساختمانی سعیدی، کرمان)," علوم زمین, .pp۸۹-۹۸, تابستان ۱۳۹۱.

[۳۵] A. Acheampong , "Importance of geotechnical field mapping in assessing the stability of underground excavations," Cincinnatei, Ohio, ۲۰۰۳.

[۳۶] ح. مدنی و ع. یعقوب پور, تخمین و ارزیابی ذخایر معدنی, دانشگاه پیام نور, ۱۳۸۷.

[۳۷] ح. حسین زاده, "بررسی فنی و اقتصادی استفاده از سیم برش الماسه در معدن گرانیت گئچی قالاسی شاهیندژ," در مقالات اولین همایش سراسری سنگهای ساختمانی و صنایع وابسته دانشگاه آزاد اسلامی واحد محلات, محلات, ۸۶.

# Abstract

chain saw cutting machine is used in many quarries to reduce horizontal drilling costs in combination with Diamond wire saw; Therefore, the length and width of the extraction block depends on the size of the cutting blade and the efficiency of the machine, and the diamond wire saw is used in vertical cuts; Therefore, in this research, by determining the appropriate height of the bench, which is one of the effective factors in obtaining large and Pristine dimensions of building stone, high safety and efficiency were achieved. In this study, in order to select the appropriate height of the bench, four scenarios (heights of ٦, ٨, ١٠ and ١٢ meters) have been determined and the exploratory data of Aziz Kandy Bukan Marble Mine have been used to study. To determine the appropriate height of the bench, the discontinuities model was first modeled by ٣dec software and the volume of extraction blocks at different heights was estimated. The amount of cutting and drilling costs at different heights were calculated. Finally, the profitability of the mine was determined at different heights; According to the calculations, the height of ١٢ meters had the lowest cost due to the reduction of number of benchs and the amount of horizontal cutting and drilling, also the height of ١٢ meters will have the highest amount of volume of extraction blocks. Finally, due to the higher profitability among the selected scenarios, the height of ١٢ meters was introduced as a suitable bench height in Aziz kandi Bukan marble mine.

**Keywords**: Building stone, Bench height, Numerical modeling, Block value, Quarry profitability

**Shahrood University of Technology**

Faculty of Mining Engineering, Petroleum and Geophysics

M.Sc. Thesis in Mining Exploitation Engineering

# Determining the appropriate bench height in building stones (A case study of Aziz Kandy Bukan Marble Mine)

**Hamid Hoseinpoor kalasar**

Supervisor:

**Prof. Mohammad Ataei**

**Prof. farhang sereshki**

**January**,۲۰۲۱