

الله
الرحمن الرحيم



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد استخراج مواد معدنی

تعیین جهت بهینه استخراج به منظور بیشینه سازی کوپ دهی در معادن

سنگ ساختمانی (مطالعه موردی: معدن تراورتن کپیول)

نگارنده: هادی صالح آبادی

اساتید راهنما:

دکتر محمد عطایی

دکتر رامین رفیعی

دی ۱۳۹۸

شماره: ۹۶۹۸۶۱۷۸
تاریخ: ۹۸/۱۱/۲۱

باسمه تعالی



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

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای هادی صالح آبادی با شماره دانشجویی ۹۶۰۹۵۳۴ رشته مهندسی معدن گرایش استخراج تحت تعیین جهت بهینه استخراج به منظور پیشینه سازی کوپ دهی در معادن سنگ ساختمانی (مطالعه موردی: معدن تراورتن کپیول) که در تاریخ ۹۸/۱۰/۲۳ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

الف) درجه عالی: نمره ۱۹-۲۰ ☒ (ب) درجه خیلی خوب: نمره ۱۸-۱۹ ☐
 ج) درجه خوب: نمره ۱۶-۱۷ ☐ (د) درجه متوسط: نمره ۱۴-۱۵ ☐
 ه) کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول و نیاز به دفاع مجدد دارد ☐
 نوع تحقیق: نظری ☒ عملی ☐

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر محمد عطایی	استاد	
۲- استاد راهنمای دوم	دکتر رامین رفیعی	استادیار	
۳- استاد مشاور	-	-	-
۴- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر محمد جهانی چگنی	استادیار	
۵- استاد ممتحن اول	دکتر فرهنگ سرشکی	استاد	
۶- استاد ممتحن دوم	دکتر مهدی نوروزی	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر محمد عطایی

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:



تقدیم به

ساحت مقدس شهدای مدافع حرم اهل بیت (ع) و سردار رشید شهید قاسم سلیمانی و شهید ابو مهدی المهندس و شهدا سانحه هواپیمای مسافربری، شکر شایان نثار ایزد منان که توفیق را رفیق راهم ساخت تا این پایان نامه را به اتمام برسانم. اکنون این دستاورد خود را به فرزندانی غیور و دلاورمرد از خطه‌ی ایران زمین، که عطر شهادت ایشان این بار نه از خاک‌های جنوب بلکه از خرابه‌های شام به مشام می‌رسد، تقدیم می‌کنم.

شکر و قدردانی

تختین پاس و ستایش از آن خداوندی است که بنده کوچکش را در دریای بیکران اندیشه، قطره‌ای ساخت تا وسعت آن را از دریچه اندیشه‌های ناب

آموزگارانی بزرگ به تماشانشیند. لذا اکنون که در سایه سار بنده نوازی‌هایش پایان نامه حاضر به انجام رسیده است، بر خود لازم می‌دانم تا مراتب پاس را از استادان

عزیزم، جناب دکتر محمد عطایی و جناب دکتر امین رفیعی که زحمات راهنمایی این پایان نامه را بر عهده داشتند، پاسگذاری نمایم.

در انتها از مهندس احمد احسانی و مهندس اقبال حاتمی و حمید زارعی که مراد انجام این پایان نامه یاری نمودند، شکر می‌کنم.

تهدنام

اینجانب هادی صالح آبادی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی معدن (استخراج) دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه با موضوع «تعیین جهت بهینه استخراج به منظور بیشینه سازی کوپ دهی در معادن سنگ ساختمانی (مطالعه موردی: معدن تراورتن کپیول)» تحت راهنمایی دکتر محمد عطایی و دکتر رامین رفیعی متعهد می شوم:

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

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 می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

صنعت سنگ ساختمانی، امروزه به یکی از پرکاربردترین صنایع اقتصادی دنیا تبدیل شده است و اهمیت آن بر هیچ کس پوشیده نیست. استفاده روزافزون از سنگ‌های ساختمانی و نما نیز بر اهمیت این صنعت افزوده است. حال آنکه سرمایه‌گذاری در این بخش از صنعت همواره با ریسک‌های بالایی همراه هست. 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 خردشدگی شدید بلوک‌های سنگ و در نتیجه کاهش راندمان استخراج، کاهش کوپ‌دهی مطلوب معدن را به وجود می‌آورد. در این پایان‌نامه، ابتدا خصوصیات مهم ناپیوستگی‌ها نظیر تداوم، فاصله‌داری، جهت یافتگی و... در معدن سنگ ساختمانی کپیول برداشت شده است. سپس با استفاده از نرم‌افزار 3DEC مدل بلوکی معدن ساخته شده و با استفاده از مدل‌سازی بلوکی، چرخش آزمون درزه‌ها در چهار کلاس بررسی شدند. با تحلیل نتایج به دست آمده از مدل‌سازی نشان داد که برای کسب بیشترین کوپ‌دهی، جهت راستای (امتداد) استخراج فعلی باید ۷۰ درجه به طرف غرب تغییر کند که در اثر اعمال آن، میانگین حجم بلوک‌های برجا ۲۸۷/۴۵ مترمکعب و میزان کوپ‌های قابل فروش در چهار کلاس ۶۵۸۲۶/۲۷ مترمکعب حاصل می‌شود که بر اساس نرخ موجود منجر به درآمد حدود ۱۱۵ میلیارد و ۹۸ میلیون تومان برای این معدن خواهد شد.

کلمات کلیدی: معدن سنگ ساختمانی، تحلیل ناپیوستگی، کوپ‌دهی، جهت بهینه استخراج، معدن

کپیول، نرم‌افزار 3DEC

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه:

- صالح آبادی، ه. عطایی، م. رفیعی، ر. "بهینه سازی کپ دهی در معادن سنگ ساختمانی با توجه به ساختارهای زمین شناسی" هشتمین کنفرانس مهندسی معدن ایران ، بیرجند، ۱۳۹۸.
- ه. صالح آبادی. م. عطایی. ر. مهدوی. " تعیین جهت بهینه استخراج به منظور بیشینه سازی کوپ دهی سنگ ساختمانی با استفاده از مدل سازی ناپیوستگی ها (مطالعه موردی معدن تراورتن کپیول)" نشریه علمی- پژوهشی انجمن زمین شناسی مهندسی ایران، (در حال داوری).

فهرست مطالب

۱- فصل اول: کلیات	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۲-۱- بیان مسئله	۳
۳-۱- ضرورت انجام پژوهش	۴
۴-۱- اهداف پژوهش	۵
۵-۱- روش پژوهش	۵
۱-۵-۱- مطالعات درزه نگاری	۵
۲-۵-۱- تهیه مدل ناپیوستگی	۵
۳-۵-۱- تعیین بلوک‌های برجا معدن	۶
۴-۵-۱- تعیین راستای مناسب جبهه کار	۶
۵-۵-۱- بررسی اقتصادی طرح	۶
۶-۱- ساختار پایان‌نامه	۷
۲- فصل دوم: مروری بر پیشینه پژوهش	۹
۱-۲- مقدمه	۱۰
۲-۲- پیشینه ارزیابی تحلیل ناپیوستگی‌ها در معادن سنگ ساختمان	۱۰
۳-۲- جمع‌بندی	۱۹
۳- فصل سوم: مبانی نظری	۲۱
۱-۳- مقدمه	۲۲
۲-۳- سنگ‌های ساختمانی	۲۲
۱-۲-۳- سنگ‌های زیربنایی	۲۲
۲-۲-۳- سنگ‌های تزئینی و نما	۲۲

- ۳-۳- چرخه‌ی حیات سنگ‌های ساختمانی..... ۲۳
- ۳-۴- تقسیم‌بندی سنگ‌های ساختمانی بر اساس طرز تشکیل..... ۲۴
- ۳-۵- تقسیم‌بندی سنگ‌های ساختمانی بر اساس برش و پردازش آن‌ها..... ۲۴
- ۳-۶- لغات و اصطلاحات رایج در مقوله‌ی سنگ‌های ساختمانی..... ۲۴
- ۳-۷- مشخصه‌های مطلوب سنگ‌های ساختمانی..... ۲۵
- ۳-۷-۱- عدم وجود آثار ناشی از پدیده‌ی دگرسانی..... ۲۶
- ۳-۷-۲- عدم وجود عوارض زمین‌شناسی..... ۲۶
- ۳-۷-۳- نداشتن شیبستوزیته و لایه‌بندی..... ۲۶
- ۳-۷-۴- داشتن قابلیت برش، ساب و صیقل..... ۲۷
- ۳-۷-۵- داشتن سختی قابل قبول..... ۲۷
- ۳-۷-۶- داشتن جذابیت از نظر زیبایی، رنگ و تباین رنگ‌ها..... ۲۷
- ۳-۷-۷- عدم وجود لایه‌های رسی در داخل سنگ..... ۲۸
- ۳-۷-۸- کم بودن تخلخل و ضریب جذب آب..... ۲۸
- ۳-۷-۹- داشتن مقاومت فشاری، کششی و اصطکاکی مناسب..... ۲۸
- ۳-۷-۱۰- داشتن دوام مناسب..... ۲۸
- ۳-۷-۱۱- آسانی استخراج..... ۲۹
- ۳-۷-۱۲- وجود ذخیره‌ی کافی..... ۲۹
- ۳-۸- عوامل مؤثر در کیفیت سنگ..... ۲۹
- ۳-۸-۱- عوامل غیرقابل کنترل..... ۲۹
- ۳-۸-۲- عوامل قابل کنترل..... ۲۹
- ۳-۹- عوامل مؤثر در انتخاب روش استخراج سنگ‌های ساختمانی..... ۳۰
- ۳-۱۰- روش‌های استخراج سنگ‌های ساختمانی..... ۳۰

۳-۱۰-۱-	استخراج سنگ‌های ساختمانی با استفاده از حفر چال‌های موازی.....	۳۱
۳-۱۰-۲-	استخراج با استفاده از سیم برش سنگ ساختمانی.....	۳۱
۳-۱۰-۳-	روش‌های نوین استخراج سنگ‌های ساختمانی.....	۳۱
۳-۱۱-	ضایعات سنگ‌های ساختمانی.....	۳۱
۳-۱۲-	اهمیت مطالعه‌ی درزه‌ها.....	۳۳
۳-۱۳-	مشخصات درزه‌ها.....	۳۴
۳-۱۴-	مدل‌سازی ناپیوستگی‌ها.....	۳۵
۳-۱۵-	نرم‌افزار 3DEC.....	۳۶
۳-۱۶-	جمع‌بندی.....	۳۸
۴-	فصل چهارم: مطالعه موردی.....	۳۹
۴-۱-	مقدمه.....	۴۰
۴-۲-	معرفی معدن سنگ‌ ساختمانی کپیول.....	۴۰
۴-۳-	وضعیت زمین‌شناسی منطقه.....	۴۱
۴-۴-	ژئومورفولوژی منطقه و روش استخراج.....	۴۲
۴-۵-	تکتونیک منطقه.....	۴۳
۴-۶-	عوامل ساختاری.....	۴۴
۴-۷-	جمع‌بندی.....	۴۵
۵-	فصل پنجم: مدل‌سازی و تحلیل نتایج.....	۴۷
۵-۱-	مقدمه.....	۴۸
۵-۲-	برداشت ناپیوستگی‌ها.....	۴۸
۵-۳-	تشخیص شیب و جهت ناپیوستگی‌ها و تعیین سیستم درزه.....	۵۰

۵-۴-.....	۵۲
۵-۴-۱-.....	۵۳
۵-۴-۲-.....	۵۳
۵-۴-۳-.....	۵۴
۵-۴-۴-.....	۵۵
۵-۵-.....	۵۶
۵-۶-.....	۵۹
۵-۷-.....	۶۶
۵-۸-.....	۶۹
۶-.....	۷۱
۶-۱-.....	۷۲
۶-۲-.....	۷۳
۷-.....	۷۴

فهرست نمودارها

- نمودار ۱-۵: مقایسه ارزش کلی بلوک‌ها به ازای چرخش آزمون درزه‌ها مختلف در معدن کپیول..... ۶۵
- نمودار ۲-۵: مقایسه ارزش کلی بلوک‌ها به ازای چرخش آزمون درزه‌ها مختلف در معدن کپیول به صورت نمودار خطی..... ۶۶

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۳: چرخه حیات سنگ‌های ساختمانی..... ۲۳
- شکل ۱-۴: موقعیت جغرافیایی معدن تراورتن کپیول..... ۴۰
- شکل ۲-۴: تصویر ماهواره‌ای از معدن کپیول..... ۴۳
- شکل ۳-۴: نقشه‌ی پراکندگی گسل در منطقه..... ۴۴
- شکل ۱-۵: الف) خط برداشت برای ناپیوستگی‌های موجود ب) استفاده از کمپاس برای برداشت ناپیوستگی..... ۴۸
- شکل ۲-۵: نمودار گل‌سرخ (رز دیاگرام) ناپیوستگی‌ها در معدن..... ۵۱
- شکل ۳-۵: نمودار خطوط تراز ناپیوستگی‌ها در معدن..... ۵۱
- شکل ۴-۵: مراحل مدل‌سازی ناپیوستگی‌ها در توده سنگ..... ۵۲
- شکل ۵-۵: مدل بلوکی معدن..... ۵۳
- شکل ۶-۵: مدل بلوکی دسته‌درزه معدن..... ۵۴
- شکل ۷-۵: مدل بلوکی برش در معدن..... ۵۵
- شکل ۸-۵: کوپ‌های ایجادشده در جهت شمال و شمال غرب (پیشروی حال حاضر)..... ۵۸
- شکل ۹-۵: کوپ‌های ایجادشده در چرخش آزمون درزه ۷۰ درجه (بهترین راستای استخراج)..... ۵۸
- شکل ۱۰-۵: کوپ‌های ایجادشده در چرخش آزمون درزه ۱۷۵ درجه (بدترین راستای استخراج)..... ۵۹

فهرست جداول

- جدول ۱-۲: خلاصه‌ای از پژوهش‌های پیشین..... ۱۸
- جدول ۱-۵: مشخصات درزه‌های برداشت‌شده از جبهه کارهای معدن کپیول..... ۴۹
- جدول ۲-۵: مشخصات دسته‌درزه‌ها در جبهه کار معدن کپیول..... ۵۱
- جدول ۳-۵: تعیین کلاس برای درجه‌بندی بلوک‌های بزرگ..... ۵۶
- جدول ۴-۵: حجم کوپ‌های قابل‌فروش به ازای چرخش آزمون درزه‌های مختلف..... ۵۷
- جدول ۵-۵: نتایج حاصل از بررسی بلوک‌های تشکیل‌شده به ازای چرخش آزمون درزه‌های مختلف..... ۶۰
- جدول ۶-۵: نتایج حاصل از اعمال چرخش راستای استخراج ۷۰ درجه جهت پادساعت‌گرد..... ۶۷
- جدول ۷-۵: حجم بلوک و میزان درآمد معدن بدون تغییر راستای استخراج..... ۶۸

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

سنگ، از قدیمی‌ترین مصالح ساختمانی مورد استفاده‌ی بشر است. استفاده از سنگ، برای مقاصد ساختمانی، از دیرباز تاکنون فرآیند تکاملی خود را طی کرده است و امروزه سنگ‌های تزئینی و نما، زینت‌بخش بناهای مدرن و کاخ‌ها هستند و سنگ‌های گران‌بها که جواهر نامیده می‌شوند با جلوه‌های جادویی خود مورد استفاده‌ی بشر قرار می‌گیرند [۱]. امروزه صنعت سنگ ساختمانی سهم بزرگی در اقتصاد جهانی داشته و ارزش محصول نهایی و فرآوری شده‌ی آن چندین برابر محصول خام است؛ به‌گونه‌ای که افزون بر پوشش دادن تمامی هزینه‌های مراحل اکتشاف، استخراج، تولید و فرآوری، درآمدهای قابل‌توجهی برای سرمایه‌گذاران در این بخش به همراه دارد. با این وجود، فعالیت و سرمایه‌گذاری در بخش اکتشاف و استخراج سنگ‌های ساختمانی، همواره ممکن است با ریسک بالایی مواجه شده و خسارت‌های سنگینی به فعالان در این بخش وارد نماید. یکی از مهم‌ترین این خطرهای وجود ناپیوستگی‌ها در محدوده معادن سنگ ساختمانی است. از دیدگاه تکتونیکی، بهترین شرایط برای استخراج سنگ‌های ساختمانی وجود توده‌های سنگی فاقد ناپیوستگی‌ها است؛ اما یافتن چنین شرایطی در طبیعت و به‌ویژه در کشوری مانند ایران که دارای گسل‌های فراوان است، تقریباً غیرممکن است. بنابراین مهم‌ترین پدیده زمین‌شناسی که در معادن سنگ ساختمانی باید مورد توجه قرار گیرد، وجود ناپیوستگی‌هایی همچون سیستم‌های درزه و شکستگی‌ها در توده‌های سنگی است و یکی از اساسی‌ترین مسائل در اکتشاف و استخراج معادن سنگ ساختمانی، شناسایی و مدل‌سازی ناپیوستگی‌ها است. مؤثرترین گام برای تعیین جهت و محل جبهه کار استخراجی، یافتن بهترین مدل و مسیر استخراج، افزایش بهره‌وری استخراج، تعیین الگوی ناپایداری سنگ و افزایش ضریب ایمنی مسیر استخراج در معادن سنگ ساختمانی، شناسایی و معرفی الگوی ناپیوستگی پیش از آغاز عملیات استخراجی است. عموماً در معادن سنگ ساختمانی تحلیل ناپیوستگی‌ها مورد توجه قرار نمی‌گیرد و در مراحل استخراج مسائل بسیاری از جمله خردشدگی شدید بلوک‌های سنگی و در نتیجه، راندمان پایین استخراج بلوک‌های سالم در جبهه کار را به وجود می‌آورد و زمانی اهمیت این موضوع برای معدن

کاران آشکار می‌شود که هزینه‌های هنگفتی در مسیرها و جبهه کارهای نامناسب صرف شده است. حال آنکه یک مطالعه‌ی دقیق پیرامون مشخصات ناپیوستگی‌های موجود، با هزینه‌ای به مراتب کمتر نه تنها راندمان استخراج را بالا می‌برد، بلکه می‌تواند موجب بازگرداندن جبهه کارهای تعطیل شده به چرخه‌ی تولید شود [۲].

۱-۲- بیان مسئله

در معادن سنگ ساختمانی ۳۵ تا ۷۵ درصد ماده در حین عملیات استخراج از بین می‌رود و اگر عملیات حمل و نقل و فرآوری نیز در نظر گرفته شود، میزان مواد ازدست‌رفته بین ۵۰ تا ۸۰ درصد توده سنگ خواهد بود [۱]. تولید بلوک مکعب مستطیل شکل باعث تسهیل در عملیات حمل و نقل و فرآوری خواهد شد، لذا در این معادن تولید بلوک‌های قواره (بلوک‌هایی به شکل مکعب و مکعب مستطیل با ابعاد استاندارد) از اهمیت زیادی برخوردار است. رفتار مهندسی توده سنگ، تا حد زیادی به مشخصات ناپیوستگی‌ها از جمله جهت و شیب درزه‌ها، طول، بازشدگی و ویژگی‌های سطوح درزه بستگی دارد. وجود این ناپیوستگی‌ها، توان کوپ‌دهی و ابعاد بهینه‌ی بلوک‌های سنگی قابل استخراج در معادن را به شدت کاهش داده و همچنین در مرحله برش و تهیه‌ی پلاک سنگ‌ها در کارخانه، موجب ازهم‌گسیختگی کوپ‌های سنگی می‌شود. کاهش شدید پایداری پله‌های استخراجی در معادن و کاهش راندمان استخراجی نیز از دیگر اثرات وجود ناپیوستگی‌ها است. بنابراین مهم‌ترین پدیده زمین‌شناسی که در معادن سنگ ساختمانی باید مورد توجه قرار گیرد، وجود ناپیوستگی‌هایی همچون سیستم‌های درزه و شکستگی‌ها در توده‌های سنگی است و یکی از اساسی‌ترین مسائل در اکتشاف و استخراج معادن سنگ ساختمانی، شناسایی و مدل‌سازی ناپیوستگی‌ها است. به همین منظور، باید با توجه به راستای ناپیوستگی‌ها، جهت استخراج را به گونه‌ای در نظر گرفت که میزان تولید بلوک‌های قواره بیشینه شود. داشتن اطلاعات کافی در خصوص صفحات ناپیوستگی و تشخیص بلوک‌های محصور بین آن‌ها باعث می‌شود بلوک‌های بیشتری را به عنوان بلوک قابل قبول (از نظر ابعادی) استخراج کرد و میزان ضایعات را تا حد زیادی کاهش داد. بنابراین در این تحقیق پس از مطالعه درزه نگاری و تعیین

بلوک‌های اصلی معدن، راستای استخراج به‌گونه‌ای تعیین خواهد شد که میزان کوپ‌های قابل فروش معدن افزایش یافته و در نتیجه از بین رفتن ماده معدنی به حداقل ممکن برسد.

۳-۱- ضرورت انجام پژوهش

صنعت سنگ ساختمانی، امروزه به یکی از پرکاربردترین صنایع اقتصادی دنیا تبدیل شده است و اهمیت آن بر هیچ‌کس پوشیده نیست. استفاده روزافزون از سنگ‌های ساختمانی و نما نیز بر اهمیت این صنعت افزوده است. حال آنکه سرمایه‌گذاری در این بخش از صنعت همواره با ریسک‌های بالایی همراه هست. یکی از مهم‌ترین خطرات موجود برای سرمایه‌گذاران در این صنعت، وجود غیرقابل‌انکار انواع ناپیوستگی‌های طبیعی در توده‌ی سنگ است که کیفیت سنگ استخراج شده را تحت تأثیر قرار می‌دهد. وجود ناپیوستگی‌ها در سنگ‌های ساختمانی، علاوه بر کاهش راندمان استخراج، کاهش کوپ‌دهی مطلوب معدن را نیز در پی خواهد داشت. کوپ‌دهی و راندمان استخراج در معادن سنگ ساختمانی، به‌شدت به خصوصیات این ناپیوستگی‌ها اعم از شیب، جهت شیب، امتداد، بازشدگی، پرشدگی، فاصله‌داری، تداوم و... وابسته است. بنابراین شناسایی، مطالعه و تحلیل ناپیوستگی‌های موجود در سنگ، پیش از انجام هرگونه فعالیت استخراجی در معادن سنگ ساختمانی، امری بسیار منطقی و عقلانی به نظر می‌رسد. حال آنکه معمولاً این امر مهم در صنعت سنگ ساختمانی موردتوجه قرار نمی‌گیرد و زمانی به اهمیت این موضوع پی برده می‌شود که هزینه‌های زیادی در مسیرهای نامناسب استخراجی به هدررفته باشد. این در حالی است که با یک مطالعه اجمالی حول ناپیوستگی‌های موجود، می‌توان جهت پیشروی مناسب برای منطقه را تعیین کرده، و به تبع آن، کوپ‌دهی و راندمان استخراج معدن را نیز افزایش داد. با توجه به اینکه ناپیوستگی‌های موجود، اغلب دارای پراکندگی نامنظم است، لذا مطالعه و بررسی وضعیت این سطوح، قبل از شروع عملیات استخراج به‌منظور برنامه‌ریزی برای دستیابی به حداکثر کوپ‌دهی و داشتن کمترین ضایعات، کاهش هزینه‌های انتقال بلوک‌های استخراج، کاهش تولید باطله و در نتیجه کاهش مشکلات زیست‌محیطی، امری ضروری به نظر می‌رسد.

۴-۱- اهداف پژوهش

مهم‌ترین اهداف این تحقیق عبارت‌اند از:

- افزایش میزان کوپ‌های قابل‌استخراج و قابل‌فروش از معدن
- افزایش بهره‌وری معدن
- کاهش هزینه‌های انتقالی بلوک‌های استخراجی
- کاهش تولید باطله و در نتیجه کاهش مشکلات زیست‌محیطی
- کاهش تضييع ذخيره
- افزایش سوددهی پروژه

۵-۱- روش پژوهش

مراحل انجام تحقیق به شرح زیر است:

۱-۵-۱- مطالعات درزه نگاری

در این تحقیق برای برداشت ناپیوستگی‌ها، در ابتدا از روش خط برداشت^۱ استفاده خواهد شد تا بتوان شبکه ناپیوستگی را برداشت و مدل‌سازی کرد. بدین منظور عملیات برداشت درزه در معدن انجام خواهد شد. موقعیت و مشخصات درزه‌ها به کمک دستگاه GPS، ثبت خواهد شد. این اطلاعات در فرم برداشت ناپیوستگی‌ها که شامل مشخصات خط برداشت، جبهه کار و درزه‌ها است، ثبت می‌شود. در نهایت با انتقال این داده‌ها در نرم‌افزار Dips، دسته درزه‌های غالب و مشخصات آن‌ها تعیین می‌شود.

۱-۵-۲- تهیه مدل ناپیوستگی

توده‌ی سنگ‌ها عموماً ناهمگن هستند و تعیین دقیق شبکه‌ی ناپیوستگی آن‌ها تقریباً

^۱ Scan line

غیرممکن است. در هر حال، قسمتی از توده‌ی سنگ با ابعاد مشخص معمولاً مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و یک شبکه‌ی ناپیوستگی به آن‌ها اختصاص داده می‌شود. در این مطالعه، از نرم‌افزار 3DEC برای تولید شبکه ناپیوستگی‌ها به صورت توده‌ی سنگ درزه‌دار استفاده شده است.

۱-۵-۳- تعیین بلوک‌های برجا معدن

الگوهای مختلف ناپیوستگی‌ها، بلوک‌هایی با اضلاع و اشکال مختلف می‌سازند. در این مرحله پس از شناسایی بلوک‌های حاصله در اثر برخورد درزه‌های گوناگون در نرم‌افزار 3DEC، حجم بلوک‌های تشکیل شده محاسبه می‌شود.

۱-۵-۴- تعیین راستای مناسب جبهه کار

روش استخراج و جهت استخراج از عوامل مؤثر بر ذخیره قابل استخراج هستند. با توجه به اینکه امروزه استفاده از سیم برش الماسه بسیار رایج شده است، بنابراین انتخاب جهت استخراج بهینه، وجه تمایز معادن سنگ است. داشتن اطلاعات کافی در خصوص صفحات ناپیوستگی و تشخیص بلوک‌های محصور بین آن‌ها باعث می‌شود تا بلوک‌های بیشتری را به عنوان بلوک قابل قبول (به لحاظ ابعادی) استخراج نمود و میزان ضایعات را تا حد زیادی کاهش داد. نکته مهم در استخراج سنگ، تعیین جهت پیشروی سینه کار و فاصله بین سطوح استخراجی است که خود به عنوان یک سطح ناپیوستگی عمل می‌کند. با بررسی جهت‌ها و فواصل استخراج مختلف می‌توان مقادیر مناسب آن‌ها را با توجه به بیشترین نرخ کوپ‌دهی (حجم بلوک‌های محاسبه شده در مرحله قبل) تعیین کرد. در این مرحله در ابتدا حداقل ابعاد اقتصادی کوپ‌ها تعیین می‌شود، سپس به ازای به ازای راستاهای مختلف استخراج سینه کار، میزان کوپ‌های تولید شده در داخل بلوک برجا تعیین می‌شود.

۱-۵-۵- بررسی اقتصادی طرح

در این مرحله، با توجه به اطلاعات مراحل پیشین، سودآوری طرح مورد بررسی قرار خواهد

گرفت.

۱-۶- ساختار پایان نامه

پژوهش حاضر به ۶ فصل تقسیم‌بندی شده است. در فصل اول به بیان کلیات مسئله از قبیل بیان تعریف مسئله، ضرورت انجام تحقیق و روش انجام آن پرداخته شده است. در فصل دوم مروری بر مطالعات مهم در زمینه بررسی تحلیل ناپیوستگی‌ها در معادن سنگ ساختمانی انجام شده و نتایج برخی از این مطالعات آورده شده است. در فصل سوم خلاصه‌ای از مبانی نظری و روش‌های استخراج سنگ‌های ساختمانی و اهمیت درزه‌ها آگاهی از انواع ناپیوستگی‌های موجود در سنگ‌های ساختمانی و همچنین کلیاتی در خصوص نرم‌افزار 3DEC و کاربرد این نرم‌افزار در مدل‌سازی توده‌ی سنگ درزه‌دار ارائه شده است. در فصل چهارم جهت آشنایی بیشتر و بهتر با مطالعه موردی انتخاب شده، موقعیت جغرافیایی، اطلاعات زمین‌شناسی، مطالعات آماری و دلایل انتخاب مطالعه موردی مورد بحث قرار گرفته است. در فصل پنجم مدل‌سازی‌های عددی در راستای اهداف پژوهش و با استفاده از داده‌های مطالعه موردی انتخابی صورت گرفته و به تحلیل و تفسیر نتایج به دست آمده پرداخته شده است. در انتها و در فصل ششم نتیجه‌گیری کلی از پژوهش صورت گرفته و پیشنهادهایی برای مطالعات بعدی ارائه شده است.

فصل دوم

مروری بر همیشه پرتو، مش

۲-۱- مقدمه

روش‌های گوناگونی برای تعیین شکل و حجم بلوک‌ها در توده سنگ درزه‌دار وجود دارد که در این روش‌ها مشخصات هندسی بلوک‌های برجای توده سنگ محاسبه می‌شود. برخی از روش‌ها ناپیوستگی‌های توده سنگ را موازی و با طول نامحدود فرض می‌کنند که در این روش‌ها با استفاده پارامترهای هندسی توده سنگ درزه‌دار نظیر تعداد دسته‌درزه‌ها، فاصله‌داری درزه‌ها و... هندسه بلوک‌های توده سنگ تعیین می‌شود. در برخی دیگر از روش‌های ناپیوستگی‌های موجود در توده سنگ به‌صورت واقعی‌تر و با طول محدود فرض می‌شوند. در این روش‌ها مشخصات هندسی توده سنگ و بلوک‌های آن با استفاده از الگوریتم‌های مختلف تعیین می‌شود. ناپیوستگی‌ها در دو بعد به‌صورت خط و در سه بعد به‌صورت صفحه فرض می‌شوند. این الگوریتم‌ها بر مبنای عملیات ریاضی و هندسی بر روی شبکه‌ای از خطوط یا صفحات متقاطع در فضا هستند. در راستای اهداف این پژوهش، بیشینه موضوع به بررسی تحلیل ناپیوستگی‌ها در معادن سنگ ساختمانی ارائه خواهد شد.

۲-۲- پیشینه ارزیابی تحلیل ناپیوستگی‌ها در معادن سنگ ساختمانی

همان‌طور که در مقدمه اشاره شد دو رویکرد برای تعیین هندسه توده سنگ و حجم و شکل بلوک‌های آن در دو و سه بعد وجود دارد. در گذشته از روش‌های رویکرد اول که ناپیوستگی‌ها را نامحدود و سرا سری فرض می‌کند، برای تعیین خصوصیات هندسی توده سنگ استفاده می‌شد. شارما^۱ و همکاران در کتاب "خصوصیات برجای سنگ‌ها" روش‌های موجود با این رویکرد که اکثراً نتیجه تحقیقات و مطالعات پالمستروم^۲ است را گردآوری کرده‌اند [۳]. در این روش‌ها مشخصات یک بلوک به‌عنوان نماینده همه بلوک‌های توده سنگ انتخاب می‌شود و خصوصیات آن به همه بلوک‌های

¹ Sharma

² Palmstrom

توده سنگ اختصاص داده می‌شود. واربرتون^۱ (۱۹۸۵، ۱۹۸۳) با توجه به پارامترهای هندسی توده سنگ، الگوریتم و نرم‌افزاری برای تعیین خصوصیات هندسی بلوک‌های برجای توده سنگ ارائه داده است. در این الگوریتم درزه‌ها به صورت نامحدود و سرا سری فرض می‌شوند و با استفاده از روابط ارائه شده در مورد محاسبه هندسه بلوک‌های توده سنگ به وسیله پارامترهای هندسی حجم بلوک‌ها محاسبه می‌شود [۴، ۵]. لو و لاتهام^۲ (۱۹۹۹) [۶]، استارزک و تسانگ^۳ (۲۰۰۲) [۷] و اسمیت^۴ (۲۰۰۴) [۸] نیز از کسانی بوده‌اند که با توجه به پارامترهای هندسی به بررسی هندسه بلوک‌های توده سنگ پرداخته‌اند. به دلیل خطای بالا و فرضیات غیرواقع این روش‌ها کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرند. در رویکرد دوم، ناپیوستگی‌ها را با طول محدود و به صورت واقعی فرض می‌کنند. در این روش‌ها هدف تعیین بلوک‌های ایجاد شده در اثر برخورد خطوط و صفحات معین است. برای تعیین بلوک‌ها در دو و سه بعد الگوریتم‌های متفاوتی ارائه شده است که بر اساس ادعای فریرا و همکاران^۵ (۲۰۰۰) بهترین الگوریتم از لحاظ زمان لازم و حجم مورد نیاز برای پردازش اطلاعات، الگوریتم مبتنی بر تئوری گراف‌ها است. در این الگوریتم ابتدا نقاط و برخورد در دو بعد محاسبه و پس از آن گرافی با استفاده از این نقاط و خطوط بین آن‌ها تشکیل داده می‌شود. با استفاده از این گراف چندضلعی‌هایی که در شبکه خطوط به وجود آمده‌اند تعیین می‌شوند. این چندضلعی‌ها در دو بعد همان بلوک‌ها هستند [۹]. هیلوت^۶ (۱۹۹۸) الگوریتمی را بر مبنای سیستم‌های عددی در سه بعد برای مدل‌سازی ناپیوستگی‌ها و تعیین مشخصات هندسی بلوک‌های توده سنگ ارائه داده است. این الگوریتم ناپیوستگی‌ها را با طول محدود فرض می‌کند و دسته‌درزه‌هایی با طول نامحدود در این روش در نظر گرفته نمی‌شود [۱۰]. گودمن و شی^۷ (۱۹۸۵، ۱۹۹۵) برای تحلیل پایداری توده‌های سنگی از تحلیل ناپیوستگی‌ها کمک

¹ Warburton

² Lu & Latham

³ Starzec & Tsang

⁴ Smith

⁵ Ferreira et al

⁶ Heliot

⁷ Goodman & Shi

گرفته‌اند [۱۱]. شی (۱۹۸۸) در قسمتی از رساله دکتری خود به بررسی شناسایی بلوک‌هایی تشکیل‌شده در اثر برخورد ناپیوستگی‌ها منحنی شکل و مستقیم پرداخته است [۱۲].

لین و همکاران^۱ (۱۹۸۷) نیز برای حل این مسئله الگوریتمی بر مبنای تکنیک‌های مکان‌شناسی ارائه داده‌اند. این الگوریتم سه‌بعدی بوده و قادر است بلوک‌های ایجادشده در اثر برخورد صفحات در فضا را شناسایی کند [۱۳]. مارز و جرمین^۲ (۱۹۹۶) برای تعیین هندسه بلوک‌های توده سنگ از مدل‌سازی استفاده کرده‌اند، آن‌ها برای تعیین اندازه بلوک‌ها در اطراف فضاهای زیرزمینی نرم‌افزار SIMBLOCK را طراحی نموده‌اند [۱۴]. جینگ و استفانسون^۳ (۱۹۹۴، ۲۰۰۰، ۲۰۰۷) از کسانی بوده‌اند که بر روی این مسئله تحقیقات فراوانی داشته‌اند و الگوریتم ارائه‌شده توسط آن‌ها در طی سال‌های مختلف توسعه داده‌شده است. این الگوریتم به بررسی ناپیوستگی‌ها و بلوک‌های توده سنگ در دو و سه بعد می‌پردازد و بر مبنای تکنیک‌های عددی است. الگوریتم دوبعدی آن با در نظر گرفتن دو جهت برای هر خط ارائه‌شده است. در این الگوریتم با تبدیل شبکه خطوط به گراف جهت‌دار و طی مراحل مختلف بلوک‌های تشکیل‌شده را شناسایی می‌کند [۱۵، ۱۶، ۱۷]. لو و همکاران^۴ (۲۰۰۲) الگوریتمی ارائه دادند که بر اساس روش‌های برداری، بلوک‌ها را در سه بعد مشخص می‌کند. به این صورت که ابتدا صفحات ناپیوستگی را به صورت محدود فرض کرده و سپس نقاط حاصل از تقاطع خطوط فصل مشترک صفحات را به صورت بردار به یکدیگر متصل می‌کند. این بردارها اساس مراحل بعدی برای تشکیل بلوک خواهد بود [۱۸]. اولکر و توران بوی^۵ (۲۰۰۹) الگوریتمی ارائه دادند بر مبنای الگوریتم ژنتیک که بلوک‌ها را در سه بعد تعیین می‌کند. این الگوریتم بر اساس ساختار درختی برنامه‌ریزی‌شده است. پس از برداشت اطلاعات صحرایی ناپیوستگی‌ها و تبدیل آن به اطلاعات نرم‌افزاری ابتدا نقاط برخورد ناپیوستگی‌ها در سه بعد تعیین می‌شوند و پس‌از آن با استفاده از پاره‌خط‌های تشکیل‌دهنده بلوک‌ها و

¹ Line et al

² Maerz & Germain

³ Jing & Stephansson

⁴ Lu et al

⁵ Ulker & Turanboy

بر اساس یک الگوریتم درختی هندسه بلوک‌ها تعیین می‌شود [۱۹]. خیشوند و همکاران (۲۰۱۱) الگوریتمی ابتکاری بر مبنای عملیات بر روی ماتریس‌های اساسی برای شناسایی بلوک‌ها در دو بعد را ارائه داده‌اند. جعفری و همکاران (۲۰۱۳) نیز این الگوریتم را برای مسائل سه‌بعدی توسعه داده‌اند [۲۰]. ژانگ و همکاران^۱ (۲۰۱۰، ۲۰۱۲) نیز از کسانی بوده‌اند که در سال‌های اخیر در مورد شناسایی و تحلیل بلوک‌ها توده سنگ روش‌هایی را ارائه داده‌اند. در سال ۲۰۱۰ روش جدیدی برای شناسایی بلوک‌ها در فضای زیرزمینی ارائه کردند. این روش از تکنیک مدل‌سازی المان محدود (FE)^۲ برای شناسایی بلوک‌ها استفاده می‌کند، روش ارائه‌شده بلوک‌ها را با توجه به مشخصات پیچیده و ابعاد زیرزمینی شناسایی می‌کند [۲۱]. ژانگ و همکاران در سال (۲۰۱۲) یک روش دیگر برای شناسایی بلوک در توده‌های سنگ با استفاده از تکنیک شبکه‌های مشبک ارائه کردند. در اصل این روش یک روش تعمیم‌یافته در این تحقیق معرفی شده است. در این روش با در نظر گرفتن ماهیت محدود شکستگی زمین‌شناسی در شبکه مشبک^۳ تعریف می‌شود. مطابق با این ملاحظات، تغییراتی در الگوریتم شناسایی بلوک ایجاد می‌شود. در نتیجه تعداد گره‌های موجود در مدل بازسازی شده را می‌توان به میزان قابل توجهی کاهش داد. نتایج این روش با نتایج حاصل از روش‌های دیگر مقایسه می‌شود، در نهایت روش پیشنهادی می‌تواند برای بدست آوردن نتایج باارزش در فرآیند شناسایی بلوک‌های ناپایدار در توده‌های سنگی در اطراف سازه‌های مهندسی به کاررفته شود [۲۲]. تابودا و همکاران^۴ (۱۹۹۸) برای استخراج ذخایر اسلیتی سنگ ساختمانی از روش زمین‌آماري استفاده کردند. در این مطالعه با استفاده از اطلاعات اکتشافی که از گمانه‌ها به دست آمده، توانستند یک شاخص کیفی برای تخمین کیفیت ذخایر اسلیتی ارائه دهند. روش ارائه‌شده با تعریف پارامترهای اکتشافی و پارامترهای زیباشناختی، کیفیت ذخایر اسلیتی را مشخص می‌کند [۲۳]. تابودا و همکاران در سال (۱۹۹۹) به ارزیابی کیفیت یک معدن گرانیت پرداختند. در این تحقیق تعیین کیفیت یک توده از

¹ Zhang et al

² Finite Difference Elements

³ gridding

⁴ Taboada et al

گرانیت با توجه به بهره‌برداری از آن برای اهداف سنگ ساختمانی به‌وسیله شناسایی عوامل زمین‌شناسی، ژئوتکنیک، و زیبایی‌شناختی، انجام شده است. به‌منظور بهره‌گیری از یک روش استخراج بهینه برای هر کانسار گرانیت، با استفاده از تکنیک آنالیز چند متغیره، یک شاخص برای طبقه‌بندی کیفیت بلوک‌های گرانیتی اره کردند [۲۴]. تابودا و همکاران در سال (۲۰۰۶) با استفاده از تکنیک آنالیز چند متغیره، یک شاخص برای طبقه‌بندی کیفیت بلوک‌های گرانیتی ارائه کردند. همچنین با ارائه یک سیستم فازی با استفاده ۱۶ نمونه مغزه چاه‌ها و با ورود متغیرهای زمین‌شناسی و زیباشناختی ذخایر اسلیتی را از نظر کیفیت به سه گروه خوب، متوسط و باطله تقسیم کردند [۲۵]. موتلوترک^۱ (۲۰۰۷) از یک روش گرافیکی برای شناسایی بلوک‌های قابل فروش سنگ‌های ساختمانی بدون بهینه‌سازی جهت استخراج استفاده کرد که منجر به یک نتیجه محافظه‌کارانه شد. در این ادامه جهت استخراج نیز بهینه و باعث افزایش راندمان معدن شد [۲۶]. کیم همکاران (۲۰۰۷)^۲ روشی برای تعیین اندازه‌های بلوک با در نظر گرفتن تداوم درزه‌ها ارائه کردند. برای تعیین دقیق اندازه بلوک از یک رویکرد کمی که از سیستم GSI^۳ برای طبقه‌بندی توده سنگ ایجاد می‌شد، استفاده کردند. با استفاده از پارامترهای هندسی درزه‌ها مانند جهت‌گیری، فاصله‌داری و تداوم درزه‌ها، توانستند حجم بلوک را تخمین بزنند [۲۷]. سوسا^۴ (۲۰۰۷) به بررسی معیاری برای مطلوبیت رخنمون توده‌های گرانیتی پرداخت و درنهایت یک شاخص شکست گرانیت (GFI)^۵ معرفی کرد، این شاخص بر پایه میانگین تراکم درزه‌ها در واحد حجم، میانگین دسته‌درزه‌ها و میانگین فاصله‌داری درزه‌ها به دست می‌آید. طبقه‌بندی GFI شاخص شکست گرانیت به ما امکان ارزیابی مناسب برای بهره‌برداری سود آورد در مکان‌های مورد مطالعه را به ما می‌دهد [۲۸]. سوسا در سال (۲۰۱۰) تأثیر ویژگی‌های درزه را در اندازه بلوک سنگی مورد مطالعه قرارداد و هدف اصلی این مطالعه ارزیابی تأثیر خصوصیات درزه‌ها بر روی اندازه

¹ Mutluturk

² Kim et al

³ Geological Stength Index

⁴ Sousa

⁵ Granite Fracturing Index

بلوک و تعریف یک شاخص شکستگی برای سنگ ساختمانی است. نتایج در مورد اهمیت در نظر گرفتن ویژگی‌های درزه‌ها مختلف برای بهبود ارزیابی اندازه بلوک و کاهش ریسک بهره‌برداری از گرانیات را نشان داد [۲۹]. الموتی و همکاران^۱ در سال (۲۰۱۰) به مدل‌سازی چندوجهی ساختار توده سنگ، که یک پیشرفت مهم در مدل‌سازی دقیق از ساختار توده سنگ است، پرداختند. در این تحقیق جزئیات مربوط به یک الگوریتم قوی که قادر به شناسایی بلوک‌های سنگی تولیدشده از تقاطع جزئی یا کامل تعداد زیادی از ناپیوستگی‌های توده سنگی مسطح و منحنی است، را ارائه کردند [۳۰]. الموتی و پروپات^۲ (۲۰۱۲) روش جدیدی برای تخمین توزیع برجای حجم بلوک در یک توده سنگ درزه‌دار ارائه دادند. این روش بر مبنای روش شبیه‌سازی مونت کارلو، با استفاده از هندسه شکستگی به عنوان ورودی، نتیجه بهتر و واقعی‌تری نسبت به روش‌های تخمین اندازه بلوک داده است [۳۱]. موس و همکاران^۳ (۲۰۱۱) به بررسی تأثیر جهت‌داری درزه‌ها بر روی اندازه و شکل بلوک‌ها و بهینه‌سازی اندازه بلوک با به کارگیری یک الگوریتم عددی و تهیه یک برنامه کامپیوتری پرداخته و هم‌چنین استفاده از رویکرد توصیف‌شده که در نمونه‌های عملی استخراج سنگ‌های ساختمانی، یعنی ماسه‌سنگ، گرانیات، ریولیت و غیره، نشان داده شده است [۳۲]. آروسو و همکاران^۴ (۲۰۱۲) با تحلیل ناپیوستگی‌ها در معادن سنگ ساختمانی عمل تعیین و کنترل کیفیت بلوک‌های معدنکاری را انجام دادند [۳۳]. آلاده و همکاران^۵ (۲۰۱۲) برای بررسی مطلوبیت رخنمون‌های گرانیاتی یک شاخص شمارش حجمی درزه‌های اصلاح‌شده را معرفی کردند که برای تولید اقتصادی نباید بالاتر از ۱/۷ بر متر باشد. با این حال تراکم حجمی درزه‌ها یک معیار کلی است که بیشتر برای ساخت فضاهای زیرزمینی مانند تونل‌ها مناسب است. به منظور ارزیابی کیفیت هندسی بلوک‌ها برای استخراج به عنوان سنگ ساختمانی نیاز به شاخص دقیق‌تری است [۳۴]. السی و تورک^۶ (۲۰۱۴) برای ارزیابی توانایی توده سنگ در تولید بلوک‌های

¹ Elmouttie et al

² Elmouttie & Poropat

³ Mosch et al

⁴ Arosio et al

⁵ Alade et al

⁶ Elci & Turk

سنگی باکیفیت، پارامتری به نام شاخص کیفیت بلوک (BQD)^۱ را تعریف کردند. BQD به صورت مجموع مقادیر فاصله داری (S) بزرگ تر یا مساوی با یک متر، تقسیم بر طول کل خط برداشت (L) و بر حسب درصد تعریف می شود [۳۵]. سالیو و ایدون^۲ (۲۰۱۴) برای ملاحظات و امکان سنجی اقتصادی معادن سنگ ساختمانی از تحلیل ناپیوستگی بهره گرفته اند [۳۶]. استاورپولو^۳ (۲۰۱۴) به بررسی تخمین حجم بلوک و فرکانس ناپیوستگی ها با استفاده از پارامترهای هندسی درزه پرداخته اند. در این روش فاصله ناپیوستگی در تابع چگالی، از لحاظ تئوری با استفاده از اصول اولیه تئوری آنتروپی بیشینه می شود و سپس رابطه تحلیلی بین فرکانس ناپیوستگی و ناپیوستگی ها به دست می آید. در صورتی که ناپیوستگی از توزیع نمایی منفی پیروی کنند، آنگاه تعداد شکستگی هایی که به روش خط برداشت یا مغزه های حفاری برداشت شده اند، به خوبی از تابع توزیع ویبول تبعیت می کند [۳۷]. یاراحمدی و همکاران (۲۰۱۴) با استفاده از یک برنامه کامپیوتری، هندسه بلوک های توده سنگ را در فضای دوبعدی تعیین کردند. در این مطالعه هندسه توده سنگ درزه دار در نرم افزار MATLAB برنامه ریزی شده است [۳۸]. یاراحمدی و همکاران (۲۰۱۵) در یک مطالعه دیگر روش های مختلف برای تحلیل ناپیوستگی بلوک های سنگی را مورد بررسی قرار دادند، این روش ها به دو صورت روش شاخص و مدل سازی تقسیم می شوند. روش شاخص ساده، ارزان و سریع هست، اما نتایج آن ها برای سنگ ساختمانی معتبر نیست. در روش های مدل سازی، شبکه ناپیوستگی در توده سنگ با استفاده از فرضیات و اصول ریاضی پیش بینی می شود و اندازه و شکل بلوک های سنگ را به طور جداگانه محاسبه می کند. به منظور انجام ارزیابی تمام روش ها، ۶ شرط برای تحلیل ناپیوستگی بلوک های توده سنگ مورد بررسی قرار می گیرد و بر اساس شرایط فوق، یک رویکرد جدید برای تعیین روش های مناسب در ارزیابی سنگ های ساختمانی پیشنهاد می شود. در این تحقیق روش های مختلفی برای برداشت ناپیوستگی ها مورد بررسی قرار گرفت، در نهایت ترکیبی از پنجره برداشت و پردازش تصویر برای

¹ Block Quality Designation

² Saliu & Idon

³ Stavropoulou

سنگ‌های ساختمانی در معادن فعال پیشنهاد شد. حفاری مغزه گیری^۱ و تکنیک‌های GPR برای ذخایر غیرقابل پیش‌بینی توصیه شده است [۳۹]. آذر افزا و همکاران (۲۰۱۸) به توسعه یک الگوریتم محاسباتی دوبعدی و سه‌بعدی برای ناپیوستگی در هندسه ساختاری بر اساس تکنیک‌های پردازش تصویر باهوش مصنوعی پرداخته‌اند. در این تحقیق برای برآورد شکل و ابعاد بلوک از الگوریتم مبتنی بر تکنیک پردازش تصویر، که قادر ساختار توده سنگ و ناپیوستگی را تشخیص و شناسایی کند، استفاده کردند. برای تعریف بلوک سنگی از فضای دوبعدی به سه‌بعدی از نرم‌افزار ریاضی استفاده کردند. سپس با استفاده از رویکردهای شبیه‌سازی کامپیوتری توانستند شبکه ناپیوستگی را پیش‌بینی و هندسه بلوک ساختاری را بدست‌آورند [۴۰]. یاراحمدی و همکاران (۲۰۱۸) نرم‌افزاری را برای شناسایی هندسه بلوک‌ها و بهینه‌سازی استخراج آن‌ها در معادن سنگ توسعه دادند. نرم‌افزار ارائه شده در مقایسه با سایر نرم‌افزارهای مشابه دارای فرضیات ساده ساز کمتر و کیفیت تصاویر خروجی بهتری است. این نرم‌افزار علاوه بر تعیین هندسه بلوک‌های برجای ایجاد شده در توده سنگ، قابلیت تعیین میزان کیفیت هر بلوک بر اساس شبیه بودن به یک مکعب مستطیل را دارا است. در این مطالعه روش‌های بهینه‌سازی بلندمدت و کوتاه‌مدت برای استخراج سنگ با تعیین راستای معدنکاری و بهینه‌سازی الگوی برشی ارائه شده است. این روش‌ها در دو معدن سنگ ساختمانی در ایران مورد استفاده قرار گرفته شده است و نتایج نشان می‌دهند برای معادنی که به شکل مضرسی اقدام به استخراج بلوک می‌کنند، مهم‌ترین شاخص بهینه‌سازی، تعیین راستای استخراج بلوک است [۴۱]. حضرت حسینی و مهدوی (۲۰۱۸) با استفاده از الگوریتم ژنتیک یک شاخص جدید برای تعیین کوپ‌دهی معادن سنگ تعریف کردند و سپس با استفاده از همان شاخص جدید، جهت استخراج را بهینه کردند. در این مطالعه شاخصی به نام نسبت کوپ‌دهی (CPR) تعریف شده که معادن سنگ را از نظر عیار هندسی بلوک‌ها به سه رده خوب، متوسط، ضعیف طبقه‌بندی می‌کند. علاوه بر این با اعمال صفحات استخراجی و مقایسه CPR در جهت‌های مختلف، جهت استخراج بهینه می‌شود. این شاخص

¹ Core drilling

در معدن تراورتن اسک استان مازندران مورد استفاده قرار گرفته و مقدار آن برابر با ۲۲ درصد محاسبه شده که کیفیت هندسی بلوک های معدن را در رده ضعیف قرار می دهد. امتداد جهت استخراجی بهینه N۶۰W ارزیابی شده است که نشان می دهد برای کسب بیشترین کوپ دهی، جهت استخراج فعلی باید ۳۵ درجه به طرف شمال تغییر کند [۴۲]. خلاصه ای از مطالعات صورت گرفته در زمینه اهداف این پژوهش به صورت فهرست وار در جدول ۱-۲ آورده شده است.

جدول ۱-۲: خلاصه ای از پژوهش های پیشین

ردیف	پدیدآورنده	سال انتشار	زمینه ی کاربرد	مبانی روش	کاربرد در سنگ های تزئینی
۱	پالمستروم	۱۹۸۲	کلی	استفاده از پارامترهای هندسی	کم
۲	واربرتون	۱۹۸۳، ۱۹۸۵	کلی	استفاده از پارامترهای هندسی	کم
۳	لین و همکاران	۱۹۸۷	کلی	تکنیک های مکان شناسی	متوسط
۴	هیلوت	۱۹۸۸	پایداری بلوکی	سیستم های عددی	متوسط
۵	شی	۱۹۸۸	کلی	استفاده از گراف های جهت دار	کم
۶	جینگ و استفانسون	۱۹۹۰، ۲۰۰۰، ۲۰۰۷	کلی	تکنیک های عددی	متوسط
۷	مارز و جرمین	۱۹۹۶	کلی	استفاده از پارامترهای هندسی	کم
۸	لو و لاتهام	۱۹۹۴	کلی	استفاده از پارامترهای هندسی	متوسط
۹	فریرا و همکاران	۲۰۰۰	کلی	تکنیک های عددی	کم
۱۰	جینگ	۲۰۰۰	کلی	تکنیک های عددی	متوسط
۱۱	استارزک و تسانگ	۲۰۰۲	کلی	استفاده از پارامترهای هندسی	متوسط
۱۲	اسمیت	۲۰۰۴	کلی	استفاده از پارامترهای هندسی	کم
۱۳	سوسا	۲۰۰۷	گرانیت	پارامترهای هندسی	کم
۱۴	موتلو ترک	۲۰۰۷	سنگ های تزئینی	اصول هندسه ی فضایی	کم
۱۵	لو و همکاران	۲۰۰۸	کلی	روش های برداری	کم
۱۶	توران بوی و اولکر	۲۰۰۹	کلی	الگوریتم ژنتیک	متوسط
۱۷	توران بوی	۲۰۱۰	کلی	روش های هندسی	متوسط
۱۸	ژانگ و همکاران	۲۰۱۰، ۲۰۱۲	فضای زیرزمینی	مدل های المان محدود و تکنیک شبکه های مشبک	کم
۱۹	الموتی و همکاران	۲۰۱۰	کلی	روش های عددی	زیاد
۲۰	خیشوند و همکاران	۲۰۱۰	کلی	ماتریس های اساسی	کم
۲۱	الموتی و پروپات	۲۰۱۲	کلی	روش های عددی	متوسط
۲۲	آلاد و همکاران	۲۰۱۲	سنگ تزئینی	پارامترهای هندسی و روش های عددی	متوسط
۲۳	جعفری و همکاران	۲۰۱۳	کلی	ماتریس های اساسی	زیاد

ردیف	پدیدآورنده	سال انتشار	زمینه‌ی کاربرد	مبانی روش	کاربرد در سنگ‌های تزئینی
۲۴	الموتی و همکاران	۲۰۱۳	سنگ‌های با چگالی درزه‌ی زیاد	روش‌های عددی	کم
۲۵	استاوروپولو	۲۰۱۴	کلی	پارامترهای هندسی	کم
۲۶	السی و تورک	۲۰۱۴	معادن مرمریت	پارامترهای هندسی	کم
۲۷	سالیو همکاران	۲۰۱۴	کلی	استفاده از پارامترهای هندسی	متوسط
۲۸	یاراحمدی و همکاران	۲۰۱۴	سنگ ساختمانی	بر اساس برنامه‌های کامپیوتری	زیاد
۲۹	یاراحمدی و همکاران	۲۰۱۵	سنگ ساختمانی	بر اساس روش‌های برداشت	زیاد
۳۰	یاراحمدی و همکاران	۲۰۱۵	سنگ ساختمانی	برنامه کامپیوتری متلب	زیاد
۳۲	یاراحمدی و همکاران	۲۰۱۸	سنگ ساختمانی	بر اساس الگوریتم	زیاد
۳۳	حضرت حسینی و مهدوی	۲۰۱۹	سنگ ساختمانی	بر اساس الگوریتم ژنتیک	زیاد

۲-۳- جمع‌بندی

باوجود اهمیت موضوع تحلیل ناپیوستگی در سنگ‌های ساختمانی که در این فصل نیز به آن اشاره شد، کمبود مطالعه این موضوع در معادن سنگ ساختمانی احساس می‌شود. با توجه به اهمیت اقتصادی بالای مسئله تحلیل ناپیوستگی در معادن سنگ‌های ساختمانی بزرگ، این پژوهش در راستای ارائه یک درک کلی از نحوه تأثیرگذاری عوامل مختلف بر روی نتایج تحلیل‌های این مسائل انجام شده است. داشتن آگاهی از ویژگی‌ها و خصوصیات درزه‌ها، آگاهی از ناپیوستگی‌های موجود و مشخصه‌های مطلوب سنگ ساختمانی و روش‌های استخراج و اهمیت درزه‌ها و کلیاتی در خصوص نرم‌افزار مدل‌سازی لازم است که در فصل بعدی به آن‌ها اشاره شده است.

مبانی نظری

۳-۱- مقدمه

از آنجاکه بررسی سنگ‌های ساختمانی و رسیدن به هدف پروژه، مستلزم داشتن آگاهی از ویژگی‌ها و خصوصیات این دسته از سنگ‌ها است، لذا در این فصل لازم است توضیحاتی در خصوص سنگ ساختمانی، انواع این سنگ‌ها، تقسیم‌بندی آن‌ها و روش‌های استخراج و خصوصیات درزه‌ها ارائه شود. سپس کلیاتی در خصوص نرم‌افزار 3DEC و همچنین کاربرد این نرم‌افزار در مدل‌سازی توده‌ی سنگ درزه‌دار ارائه شده است.

۳-۲- سنگ‌های ساختمانی

سنگ‌های ساختمانی سنگ‌هایی با منشأ متفاوت هستند که از جمله این سنگ‌ها می‌توان به مرمر، گرانیت، تراورتن، سنگ‌آهک، دیوریت و غیره اشاره نمود [۴۳]. این سنگ‌ها کاربرد مختلفی در صنایع گوناگون و ساختمان دارند و با تغییر شکل یا بدون تغییر شکل فیزیکی در یکی از قسمت‌های ساختمان، سنگ‌فرش، جاده، دیواره‌ی پل، ساختمان‌های زیرزمینی و... به کار می‌روند و به دودسته‌ی سنگ‌های زیر بنایی و سنگ‌های نما تقسیم می‌شوند [۴۴].

۳-۲-۱- سنگ‌های زیربنایی

سنگ‌هایی که به صورت خرده‌سنگ، لاشه‌سنگ، لوح و... به کار می‌روند و عملیات فرآوری زیادی روی آن‌ها انجام نمی‌شود [۱].

۳-۲-۲- سنگ‌های تزئینی و نما

سنگ‌های مستحکمی هستند که واجد مشخصات کیفی خاصی می‌باشند، به طوری که پس از برش در اندازه‌های مختلف و ساب و صیقل نمودن آن‌ها، در قسمت‌هایی از ساختمان‌ها که در معرض دید باشند به کار می‌روند [۴۴]. رایج‌ترین سنگ‌های تزئینی و نما عبارت‌اند از [۱]:

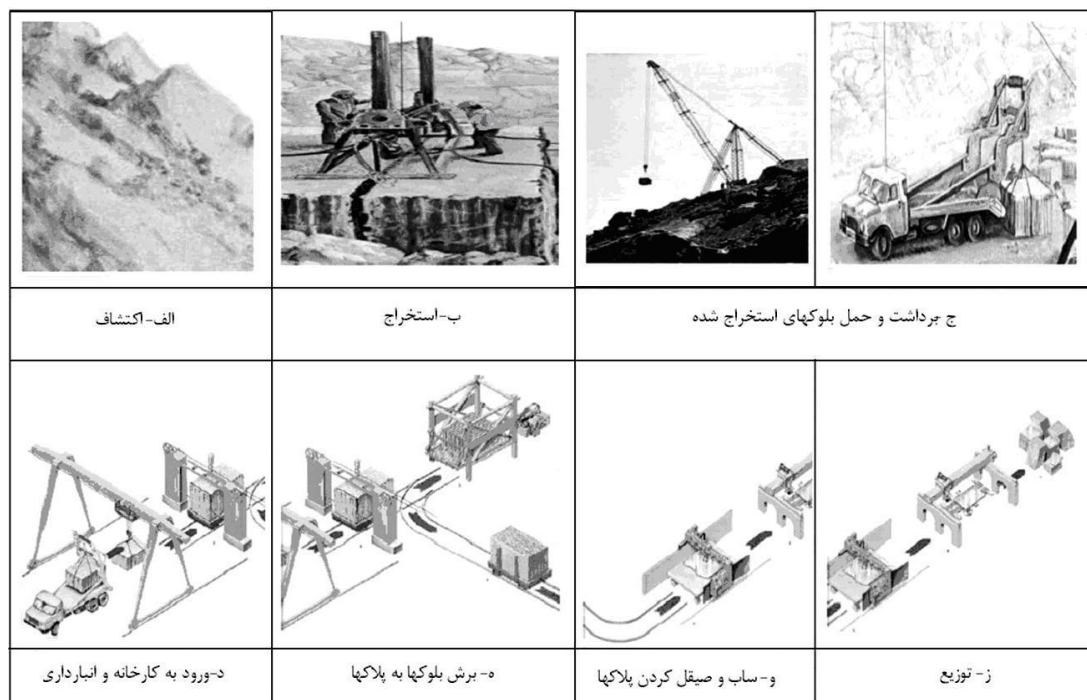
۱- گرانیت‌ها و سنگ‌های آذرین وابسته

۲- سنگ‌های آهکی دگرگون‌شده شامل خانواده‌ی سنگ‌های چینی، مرمریت‌ها و مرمرها

۳- ماسه‌سنگ‌ها، کنگلومرای‌های خوب سیمانی شده و اسلیت‌ها

۳-۳- چرخه‌ی حیات سنگ‌های ساختمانی

کلیه‌ی عملیات ضروری، از شناسایی منبع اولیه تا کاربرد نهایی سنگ، چرخه‌ی حیات آن را تشکیل می‌دهد شکل ۱-۳ این عملیات با اکتشافات شروع می‌شود که در این مرحله، منابع سنگ شناسایی و مشخصات آن‌ها تعیین می‌شود. در صورت موفقیت‌آمیز بودن عملیات اکتشاف، پس از برنامه‌ریزی، عملیات استخراج سنگ شروع خواهد شد. سنگ استخراج‌شده پس از بارگیری و حمل به کارخانه، تحت عملیات فرآوری قرار می‌گیرد. این فرآیند ممکن است در نزدیکی محل تولید و یا حتی در فواصل دور صورت گیرد. درنهایت پس از تجارت سنگ پرداخت‌شده، در محل مناسبی از محصولات سنگی استفاده خواهد شد [۱].



شکل ۱-۳: چرخه حیات سنگ‌های ساختمانی

۳-۴- تقسیم‌بندی سنگ‌های ساختمانی بر اساس طرز تشکیل

سنگ‌های ساختمانی را بر اساس منشأ و طرز تشکیل به انواع آذرین، رسوبی و دگرگونی تقسیم‌بندی می‌کنند.

۳-۵- تقسیم‌بندی سنگ‌های ساختمانی بر اساس برش و پردازش آنها

طبقه‌بندی سنگ‌های ساختمانی بر اساس معیار برش و پردازش به‌صورت زیر است [۱]:

- مواد نرم: این مواد به‌آسانی با اره بریده می‌شوند (مانند تمام سنگ‌های کربناتی).
 - مواد نیمه سخت: این مواد تا حدودی با اره بریده می‌شوند (مانند توف‌ها، مرمرها و ماسه‌سنگ‌ها).
 - مواد سخت: این مواد به‌سختی با اره بریده می‌شوند (مانند تمام سنگ‌های آذرین و دگرگونی).
- البته علاوه بر برش سنگ‌ها، پردازش آن‌ها نیز از فاکتورهای اساسی است که باید موردتوجه قرار بگیرد. هدف از به‌کارگیری سنگ‌های نما در تزئین و زیباسازی است، لذا لازم است سنگ انتخاب‌شده متناسب با شرایط محیطی محل موردنظر باشد تا علاوه بر طولانی شدن عمر سنگ، از تخریب زودرس آن جلوگیری شود و نما و زیبایی خود را حفظ نماید.

۳-۶- لغات و اصطلاحات رایج در مقوله‌ی سنگ‌های ساختمانی

در اینجا لازم است با لغات و اصطلاحات مورد استفاده در بحث سنگ‌های ساختمانی آشنا شویم [۱].

بلوک: قطعه‌ی سنگی بزرگ که به‌صورت طبیعی و یا توسط روش‌های استخراج سنگ‌های ساختمانی از توده‌ی سنگ جدا شده باشد. هر بلوک، قابل تقسیم به چند کوپ و یا چند قواره است.

کوپ: قطعه‌ای از سنگ که برای تهیه سنگ قواره مورد استفاده قرار می‌گیرد. وزن کوپ در حد معمول

بیش از چند تن است و تا ۲۰ تن هم می‌رسد.

قواره: قطعاتی از سنگ با وزن بیش از ده تن و به شکل مکعب مستطیل که برای تهیه پلاک به کارخانه‌ی سنگ‌بری فرستاده می‌شوند.

نیم قواره: سنگی که حداقل سه وجه آن به‌صورت دستی یا مکانیزه برش داده‌شده باشد.

اغلب: سنگ کوپ یا قواره‌ای که هنوز به‌صورت ورق بریده و به قطعات کوچک‌تر تبدیل نکرده باشند را اسلب گویند.

حکمی: سنگی که با شکل مکعبی و ابعاد معمول 30×30 و یا 20×40 بریده و صیقل داده‌شده باشد و به فروش برسد.

طولی: سنگی با ضخامت و عرض مشخص و طول نامعلوم که به‌صورت متری و طولی معامله می‌شود.

پلاک: صفحات سنگی برش داده‌شده از بلوک و یا قواره‌ی سنگی که پس از ساب و صیقل، به قطعات موردنظر تقسیم‌بندی می‌شوند.

سنگ ارزه: سنگ‌هایی مقاوم در برابر انواع شرایط جوی و دارای رنگ موردپسند و ارتفاع حدود ۲۵ تا ۳۵ سانتی‌متر که در محل برخورد دیوارهای خارجی ساختمان با زمین استفاده می‌شوند.

سنگ قرنیز: سنگ‌هایی مقاوم در برابر جذب آب و دارای رنگ زیبا و ارتفاع ۸ تا ۱۰ سانتی‌متر که در محل برخورد دیوارهای داخلی ساختمان با زمین استفاده می‌شوند.

۳-۷- مشخصه‌های مطلوب سنگ‌های ساختمانی

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

۳-۷-۱- عدم وجود آثار ناشی از پدیده‌ی دگرسانی

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

۳-۷-۲- عدم وجود عوارض زمین‌شناسی

وجود درزه و شکاف در متن سنگ، چه به صورت درزه‌های بزرگ و چه به صورت ریز درزه‌ها، مقاومت سنگ را کاهش می‌دهد و فرایند استخراج و فراوری سنگ ساختمانی، با مشکل خرد شدن و متلاشی شدن سنگ‌ها همراه خواهد بود. معدن سنگ ساختمانی ایده آل، معدنی است که بتوان در امتداد سیستم درزه موجود در سینه کار، بلوک‌های بزرگ و قواره استخراج کرد به طوری که سطوح سنگ‌های استخراج شده، سطوح درزه‌های طبیعی باشند. البته در بسیاری از موارد، این درزه‌ها طی فرایندهای ثانوی، با مواد پرکننده، پر می‌شوند و سنگ مقاومت لازم را دارا است [۱].

۳-۷-۳- نداشتن شیستوزیته و لایه‌بندی

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

۳-۷-۴- داشتن قابلیت برش، ساب و صیقل

از مشخصات اصلی سنگ‌های ساختمانی، صیقل پذیری آن‌ها است. این عامل بدون شک پارامتر بسیار مهمی در تعیین میزان محبوبیت، قیمت و میزان فروش سنگ محسوب می‌شود. سنگ‌هایی که به علت تنش‌های تکتونیکی، ناهماهنگی بافت و یا اثرات هوازدگی حفره‌دار می‌باشند، قابلیت صیقل پذیری کمی دارند و مسلماً بازار فروش چندانی نداشته و در نتیجه قیمت بالایی نخواهند داشت. با انجام چند آزمایش تجربی بر روی کوپ سنگی، می‌توان قابلیت برش، ساب و صیقل سنگ را مورد بررسی قرارداد. جلا پذیری سنگ‌ها به وزن مخصوص آن‌ها بستگی دارد. هرچه وزن مخصوص سنگ بیشتر باشد، جلا پذیری آن بیشتر خواهد بود. معمولاً سنگ‌های با وزن مخصوص کمتر از ۱۵۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب، جلا بر نمی‌دارند و سنگ‌های با وزن مخصوص بیش از ۲۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب دارای جلا پذیری بسیار خوب بوده و آینه‌ای می‌شوند. سنگ‌های با وزن مخصوص بین این دو، کم‌وبیش جلا بر می‌دارند [۱].

۳-۷-۵- داشتن سختی قابل قبول

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

۳-۷-۶- داشتن جذابیت از نظر زیبایی، رنگ و تباین رنگ‌ها

مؤثرترین عامل برای انتخاب سنگ از نظر معماران، رنگ آن است. سنگ مطلوب دارای رنگ

یکنواخت بوده و رنگ آن در مقابل نور آفتاب و آب و هوای محیط تغییر نمی‌کند. با توجه به تنوع طلبی بشر و همچنین تغییر در سلیقه‌ها با گذشت زمان، ممکن است انواع رنگ‌ها محبوبیت پیدا کرده و یا از محبوبیتشان کاسته. همان‌طور که در سالیان دور، بیشتر از سنگ‌های نما بارنگ‌های سفید، کرمی و یا استخوانی استقبال می‌شد اما اکنون سلیقه‌ی مردم به سمت استفاده از گرانیتهای تیره‌رنگ سبز، قرمز و سیاه متمایل شده است [۱].

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

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

۳-۷-۸- کم بودن تخلخل و ضریب جذب آب

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

۳-۷-۹- داشتن مقاومت فشاری، کششی و اصطکاکی مناسب

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

۳-۷-۱۰- داشتن دوام مناسب

دوام مناسب در برابر عوامل هوازدگی فیزیکی و شیمیایی، از ویژگی‌های مهم سنگ‌های ساختمانی

است که با توجه به آب‌وهوای منطقه‌ی استفاده از سنگ، نوع سنگ مصرفی مقاوم در برابر عوامل هوازدگی همان منطقه، انتخاب می‌شود [۱].

۳-۷-۱۱- آسانی استخراج

مهم‌ترین عامل در قضاوت سنگ برای انتخاب آن به‌عنوان سنگ ساختمانی، آسانی استخراج است. باید بتوان از یک معدن مناسب، قطعات بزرگ و بدون عیب سنگ‌ها را استخراج کرد. ایده‌آل‌ترین بلوک‌های سنگی از نظر استخراجی، بلوک‌هایی هستند که شیب توپوگرافی کمتر از ۳۰ درجه دارند و امکان احداث راه دسترسی به نقاط بالایی آن‌ها وجود داشته باشد و همچنین به امکانات شهری و راه‌های ارتباطی اصلی نزدیک باشند [۱].

۳-۷-۱۲- وجود ذخیره‌ی کافی

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

۳-۸- عوامل مؤثر در کیفیت سنگ

کیفیت سنگ تحت تأثیر دودسته از عوامل غیرقابل کنترل و عوامل قابل کنترل قرار دارد.

۳-۸-۱- عوامل غیرقابل کنترل

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

۳-۸-۲- عوامل قابل کنترل

این‌گونه عوامل توسط بشر قابل کنترل هستند و دقت و برنامه‌ریزی در آن‌ها تا حد قابل قبولی می‌تواند در بهبود کیفیت پلاک سنگی مؤثر باشد. در ادامه این عوامل ذکر شده‌اند [۱].

الف) نحوه‌ی استخراج

طراحی اصولی معدن، انتخاب ماشین آلات مناسب، آموزش پرسنل، استفاده از افراد کارآزموده و از همه مهم‌تر استفاده از روش مناسب، در استخراج سنگ قواره با ابعاد و شکل مطلوب و جلوگیری از اتلاف ذخایر و یا استهلاک بی‌مورد ماشین آلات نقش مؤثری دارد [۱].

ب) نحوه‌ی برش و صیقل

تکنیک برش و صیقل و دقت در این امر، تا حد زیادی در کیفیت پلاک سنگی مؤثر است. استفاده از تکنیک مناسب کنترل، نظارت بر کار آن‌ها و تدوین ضوابط و استانداردهای لازم، در بهبود کار این صنعت نقش اساسی دارد. یکنواختی ضخامت سنگ، گونیا بودن اضلاع، حد بزرگی پلاک و میزان جلای سنگ از جمله عواملی هستند که به دقت کارخانه سنگ‌بری و درجه‌ی تکنولوژی مربوطه بستگی دارند [۱].

۳-۹- عوامل مؤثر در انتخاب روش استخراج سنگ‌های ساختمانی

عوامل مهمی که در تعیین روش استخراج سنگ‌های ساختمانی مؤثر هستند عبارت‌اند از: قیمت بلوک، دسترسی به ماشین آلات، دسترسی به نیروی متخصص، ترکیب روش‌ها، امکان استفاده از ضایعات، تعداد پله‌ها، طول کارگاه، امکان تأمین آب کافی، امکان تأمین نیروی برق، میزان تولید، خصوصیات کانسار و نوع سنگ ساختمانی، نوع کارگاه استخراج، شکل و فرم کانسار، نوع ماده‌ی معدنی، ترکیب ساختاری و شیمیایی آن، میزان ذخیره، ضخامت باطله، مقدار روباره‌ی محدوده‌ی سنگی، نوع و محل مصرف سنگ و... [۴۶].

۳-۱۰- روش‌های استخراج سنگ‌های ساختمانی

روش‌های استخراج سنگ‌های ساختمانی که امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرد را می‌توان به سه دسته کلی تقسیم کرد که برای هر یک از این روش‌ها کلی، انواع مختلفی وجود دارد که به بیان آن پرداخته می‌شود [۱].

۳-۱۰-۱- استخراج سنگ‌های ساختمانی با استفاده از حفر چال‌های

موازی

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

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

۳-۱۰-۲- استخراج با استفاده از سیم برش سنگ ساختمانی

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

- استخراج بلوک‌های سنگ با استفاده از ماشین‌های ضربه زن
- برش با استفاده از سیم برش فولادی
- برش با استفاده از سیم برش الماس
- برش با استفاده از سنگ‌بر

۳-۱۰-۳- روش‌های نوین استخراج سنگ‌های ساختمانی

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

- برش سنگ با استفاده از فشار آب
- برش سنگ با استفاده از شعله

۳-۱۱- ضایعات سنگ‌های ساختمانی

برای بررسی عوامل ایجاد ضایعات در سنگ‌های ساختمانی ابتدا باید تعریفی از ضایعات در این معادن ارائه شود. ابتدا این سؤال پیش می‌آید که آیا می‌توان تعریف واحدی برای ضایعات معادن سنگ

ساختمانی در نظر گرفت و آن را به همهی معادن عمومیت بخشید یا خیر؟ پاسخ این است که نمی‌توان یک تعریف واحد برای ضایعات ارائه نمود، زیرا عوامل مهمی در باطله بودن یا نبودن سنگ ساختمانی نقش دارند که از جمله این عوامل می‌توان به ابعاد بلوک‌ها، ویژگی‌های کیفی، فیزیکی و مکانیکی سنگ نظیر زیبایی، رنگ، وجود آثار ناشی از پدیده‌ی دگرسانی، وجود عوارض زمین‌شناسی، وجود شلیستوزیته و لایه‌بندی در سنگ، قابلیت ساب و برش سنگ، سختی سنگ، لایه‌های رسی موجود در سنگ، میزان تخلخل و ضریب جذب آب، مقاومت سنگ در برابر تنش‌های کششی و فشاری، دوام سنگ و... اشاره کرد [۱،۲۳]. ممکن است سنگی به لحاظ ابعادی در وضعیت مناسبی جهت تبدیل‌شدن به پلاک باشد، اما به لحاظ زیبایی و رنگ مطلوب نباشد. همچنین ممکن است سنگی زیبا و خوش‌رنگ بوده و از نظر اندازه نیز در حد قابل قبولی باشد، ولی به دلیل نامناسب بودن ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی نظیر تخلخل، مقاومت در برابر تنش و... شرایط خوبی نداشته باشد. حتی امکان دارد که سنگی تمامی شرایط کیفی و ویژگی‌های مکانیکی را در حد مطلوب داشته باشد، اما ابعاد آن به‌قدری کوچک باشد که قابلیت انجام مراحل فرآوری جهت تبدیل‌شدن به پلاک را نداشته باشد. بنابراین می‌توان گفت که تلفیقی از فاکتورهای اشاره‌شده را می‌توان در اطلاق واژه‌ی ضایعات و باطله به یک بلوک سنگی مؤثر دانست. به عبارت دیگر سنگ‌هایی که به عنوان سنگ‌های زینتی انتخاب می‌شوند باید در مجموع از نظر بعضی مشخصه‌ها دارای حداقلی باشند که این حداقل‌ها ممکن است برای انواع سنگ‌های گرانیته، ماسه‌سنگی، آهکی و... تعیین شود و علاوه بر این می‌توان از نظر محل مصرف سنگ (با توجه به آب‌وهوای منطقه، سبک معماری و محل نصب آن) از نظر اندازه و پارامترهای دیگر استانداردهایی تعیین کرد. در زمینه‌ی بررسی ضایعات به لحاظ ابعادی نیز تحقیقاتی گسترده‌ای صورت گرفته است. در مجموع عوامل ایجاد ضایعات معدن در معادن سنگ ساختمانی را می‌توان در مشخصه‌های نامطلوب سنگ‌های ساختمانی برشمرد: ویژگی‌های کیفی، فیزیکی و مکانیکی سنگ نظیر زیبایی، رنگ، وجود آثار ناشی از پدیده‌ی دگرسانی، وجود عوامل زمین‌شناسی، وجود شلیستوزیته و لایه‌بندی در سنگ، نداشتن قابلیت ساب و برش سنگ، لایه‌های رسی موجود در سنگ، بالا بودن

میزان تخلخل و ضریب جذب آب سنگ، مقاومت کم سنگ در برابر تنش‌های مختلف، دوام سنگ و قابلیت کوپ دهی سنگ، باطله‌های حاصل از ایجاد سینه کار و عملیات اکتشاف، نحوه‌ی استخراج و استفاده از روش‌های مختلف بهره‌برداری از معادن سنگ ساختمانی [۱]. علاوه بر موارد یادشده، مطالعه درزه‌ها و شکستگی‌ها (سطوح گسست) قبل از بهره‌برداری از معادن سنگ ساختمانی امری بسیار مهم است. شناسایی درزه و شکاف‌ها و برنامه‌ریزی استخراج با در نظر گرفتن وضعیت آن‌ها می‌تواند کمک بسیاری به کاهش میزان ضایعات ناشی از وجود این ناپیوستگی‌ها نماید [۴۸]. جهت سینه کار انتخاب‌شده نیز نقش مهمی در بلوک دهی سنگ‌ها دارد. زیرا این سطح، خود مانند یک سطح ناپیوستگی عمل کرده و اگر در خلاف جهت امتداد عمومی درزه‌های طبیعی توده‌ی سنگ باشد می‌تواند به‌عنوان یک سطح درزه‌ی جدید مطرح بوده و در افزایش میزان ضایعات تأثیرگذار باشد [۱۹].

۳-۱۲- اهمیت مطالعه‌ی درزه‌ها

درزه‌ها عبارت‌اند از شکستگی‌هایی که غالباً در سنگ مشاهده می‌شود. مهم‌ترین مشخصه‌ی درزه‌ها این است که در این نوع شکستگی‌ها، حرکت نسبی به‌موازات صفحه‌ی شکستگی وجود ندارد و در صورتی که در این سطح حرکتی وجود داشته باشد، شکستگی حاصل را گسل می‌نامند. بایستی توجه داشت که در بسیاری موارد ممکن است سنگ‌هایی موجود در دو طرف سطح شکستگی در امتداد عمود بر این سطح حرکت کنند و بعضی موارد ممکن است این حرکت به چندین سانتیمتر برسد. ابعاد درزه‌ها از چند سانتیمتر تا چند صد متر تغییر می‌کند. سطح درزه در بسیاری موارد یک سطح مساوی است اما ممکن است در بعضی حالات، یک سطح غیرمساوی باشد. در غالب موارد، محدود و در حقیقت به حالت بسته است، اما در مراحل بعد، بر اثر هوازدگی، ممکن است درزه گسترش یافته و به سطح رسیده و به‌صورت یک درزه‌ی باز درآید [۴۹].

مطالعه‌ی درزه‌ها در بسیاری از کارهای مهندسی ضرورت دارد. از جمله [۲۳]:

- هنگام انتخاب محل تونل‌های راه‌سازی و معدنی بایستی قبلاً وضعیت درزه‌های محل بررسی شود، زیرا وجود آن‌ها از طرفی مسائلی را در امر حفر تونل به وجود می‌آورد و از طرف دیگر نگهداری آن را مشکل می‌سازد. قبل از احداث سدها نیز مطالعه‌ی درزه‌های منطقه ضروری است.
- وجود درزه در سنگ‌های اطراف جاده‌ها باعث لغزش آن‌ها شده و خطراتی را به بار می‌آورد. بنابراین باید وضعیت آن‌ها مشخص و اقدامات لازم به عمل آورده شود.
- هنگام پی‌جویی منابع معدنی نیز اطلاع داشتن از وضعیت درزه‌های محل ضروری است، زیرا بسیاری از رگه‌های معدنی، از شکستگی‌های سنگ‌ها و از جمله از درزه‌ها تبعیت می‌کنند.
- در مواردی که به‌منظور استفاده از آب زیرزمینی چاهی حفر می‌شود هرچه سنگ‌های منطقه دارای شکستگی بیشتری باشد آبدهی چاه بهتر خواهد بود.
- از نظر زمین‌شناسی ساختمانی نیز مطالعه‌ی درزه‌ها اهمیت زیادی دارد، زیرا با مطالعه‌ی آماری آن‌ها می‌توان مشخصات تنش‌های وارده به سنگ‌های ناحیه را مشخص نمود.
- از جمله دلایل بررسی درزه‌ها و شکاف‌ها که مورد بحث در این پایان‌نامه نیز است در امر استخراج سنگ‌های ساختمانی و همچنین تعیین جهت بهینه استخراج با شناسایی درزه‌های سنگ به‌خصوص در سنگ‌هایی که باید به‌صورت قطعات بزرگ استخراج شوند (مثل تراورتن). لذا شناسایی درزه‌ها و شکستگی‌ها در این مورد امری ضروری به نظر می‌رسد.

۳-۱۳- مشخصات درزه‌ها

سطح درزه‌ها در بسیاری از موارد یک سطوح مساوی است و در حالت کلی آن را به‌صورت یک صفحه در نظر می‌گیرند. لذا برای مشخص کردن آن کافی است که شیب و امتداد صفحه‌ی درزه را مشخص نمود. بنابراین مهم‌ترین مشخصات درزه‌ها عبارتند از [۴۹]:

- ۱- جهت‌داری درزه^۱: شامل شیب و امتداد یا شیب و راستای شیب درزه
- ۲- فاصله‌داری^۲: فاصله‌ی عمودی بین دو سطح ناپیوسته‌ی یک درزه
- ۳- زبری سطوح درزه^۳: برای کنترل اصطکاک بین سطوح
- ۴- بازشدگی درزه^۴: فاصله عمودی بین دو سطح ناپیوسته یک درزه
- ۵- هوازدگی درزه‌ها^۵: تاثیرفرایندهای فرسایش بر سطوح درزه
- ۶- پرشدگی^۶: وجود یا عدم وجودموادبرشی و یا پوشاندن سطوح با مواد پرکننده
- ۷- تعداد درزه‌ها^۷
- ۸- چگالی درزه^۸: تعداد درزه در واحد حجم توده‌ی سنگی که با فاصله‌داری درزه نسبت عکس دارد.

۳-۱۴- مدل سازی ناپیوستگی‌ها

توده‌ی سنگ‌ها عموماً ناهمگن هستند و تعیین دقیق شبکه‌ی ناپیوستگی آن‌ها تقریباً غیرممکن است. درهرحال قسمتی از توده‌ی سنگ با ابعاد مشخص معمولاً مورد ارزیابی قرار می‌گیرد و یک شبکه‌ی ناپیوستگی به آن‌ها اختصاص داده می‌شود. در توده سنگ‌هایی که تعداد ناپیوستگی‌ها بسیار زیاد است و برداشت همه‌ی آن‌ها ممکن نیست باید با توجه به ناپیوستگی‌های برداشت‌شده، شبکه‌ی ناپیوستگی را شبیه‌سازی کرد[۳۹]. در این مطالعه، از نرم‌افزار 3DEC برای مدل‌سازی ناپیوستگی‌ها به‌صورت توده‌ی سنگ درزه‌دار استفاده‌شده است. در اینجا لازم است کلیاتی در مورد این نرم‌افزار ارائه شود.

¹ joint orientation

² joint spacing

³ joint roughness

⁴ joint aperture

⁵ joint weathering

⁶ joint filling

⁷ joint number

⁸ joint density

۳-۱۵- نرم افزار 3DEC

نرم افزار 3DEC یک برنامه‌ی سه بعدی است که بر اساس روش المان مجزا، برای مدل سازی محیط های ناپیوسته، به کار می رود. اصول این نرم افزار مشابه نرم افزار دوبعدی UDEC است. این نرم افزار قادر است که محیط های ناپیوسته، مانند توده سنگ های درزه دار را تحت شرایط بارگذاری دینامیکی یا استاتیکی شبیه سازی و تحلیل نماید. یک محیط ناپیوسته را می توان ترکیبی از بلوک های مجزا در نظر گرفت که ناپیوستگی در این مرزها اعمال می شود. بنابراین، این برنامه می تواند جابجایی های زیاد در امتداد ناپیوستگی ها و چرخش بلوک ها را مورد تحلیل قرار دهد. رفتار بلوک را می توان به صورت مصالح صلب^۱ یا تغییر شکل پذیر^۲ در نظر گرفت بلوک های تغییر شکل پذیر، خود به مش هایی از المان های تفاضل محدود^۳ تقسیم شده و هر المان بر اساس قانون تنش - کرنش، رفتار خطی یا غیر خطی دارد. جابجایی نسبی ناپیوستگی ها، به وسیله روابط خطی یا غیر خطی جابجایی - نیرو، کنترل می شود. 3DEC دارای چندین مدل رفتاری برای بلوک های بکر و ناپیوستگی هاست که مدل رفتاری ناپیوستگی های ساختاری و لایه های زمین شناسی را به رفتار واقعی آن ها نزدیک می کند. نرم افزار 3DEC بر اساس روش حل لاگرانژی که روش بسیار مناسبی برای جابجایی های بزرگ و تغییر شکل دستگاه های بلوکی است، عمل می کند. در 3DEC توده سنگ به صورت مجموعه ای از بلوک ها صلب و تغییر شکل پذیر مدل می شود. ناپیوستگی ها به عنوان مرز جداکننده بین بلوک ها در نظر گرفته شده و خصوصیات ناپیوستگی در این مرزها اعمال می شود. طرح درزه را می توان بر اساس مطالعات آماري در مدل وارد نمود. درزه ها می توانند به صورت مستقیم و بر اساس نگاشت زمین شناسی در مدل وارد شوند. قابلیت های گرافیکی نرم افزار 3DEC امکانات مناسبی در اختیار کاربر قرار می دهد. کاربر قادر خواهد بود، در صفحه گرافیکی، در مدل حرکت نموده و نواحی ای از مدل را مخفی نماید تا بتواند نواحی مورد نظر را در وضعیت مناسب تری مشاهده نماید. این امکانات تفسیر نتایج مدل را

¹ Lagrangian

² Deformable

³ Finite Difference Elements

ساده‌تر می‌نماید. این نرم‌افزار از جمله نرم‌افزارهای دستوری است، هرچند کار با نرم‌افزارهای فهرست‌وار آسان‌تر است اما ساختار دستوری 3DEC دربرگیرنده‌ی مزایایی است که عبارت‌اند از:

۱- فرمان‌های ورودی، از کلماتی قابل تشخیص تشکیل شده‌اند که به طریقی منطقی با کاربر ارتباط برقرار کرده و کاربر هریک از دستورات برای کاربر مشخص می‌شود.

۲- از آنجاکه مدل‌سازی عموماً دارای مراحل متعددی است لذا دستورات ورودی به صورت فیزیکی با مراحل انجام مدل‌سازی انطباق مناسبی دارد.

۳- فایل داده می‌تواند به راحتی اصلاح شود و چندین فایل داده را می‌توان به هم متصل کرد و یک سری تحلیل عددی را به طور متوالی انجام داد. این قابلیت، به خصوص برای انجام تحلیل حساسیت روی پارامترهای ورودی مدل عددی بسیار مفید است.

۴- طبیعت فایل‌های ورودی که از فرمان‌های قابل تشخیص تشکیل شده است باعث می‌شود تا این فایل‌ها به عنوان سندهای بسیار خوبی از تحلیل‌های انجام گرفته برای مطالعات مهندسی بعدی، باقی بماند [۵۰].

۳-۱۶- جمع‌بندی

تأثیر پارامترهای ناپیوستگی بر نتایج تحلیل‌های سه‌بعدی کاملاً مشخص است. توانایی تحلیل‌های سه‌بعدی در مدل‌سازی واقعی‌تر جنبه‌های مختلف یک مسئله غیرقابل‌انکار است. در این بین، در نظر گرفتن وجود ناپیوستگی‌ها در سنگ‌های ساختمانی علاوه بر افزایش راندمان استخراج، کوپ‌دهی مطلوب معدن را نیز در پی خواهد داشت، اما طراحان معمولاً این اثر را در نظر نمی‌گیرند. با این حال و با توجه به اهمیت بررسی این موضوع در معادن سنگ‌ساختمانی، پژوهش‌های کمی در زمینه بررسی درزه‌ها و وجود ناپیوستگی‌ها موجود در معادن سنگ‌ساختمانی صورت گرفته است. در ادامه و در فصل «مدل‌سازی و تحلیل نتایج» به این موضوع نیز پرداخته خواهد شد.

فصل چهارم

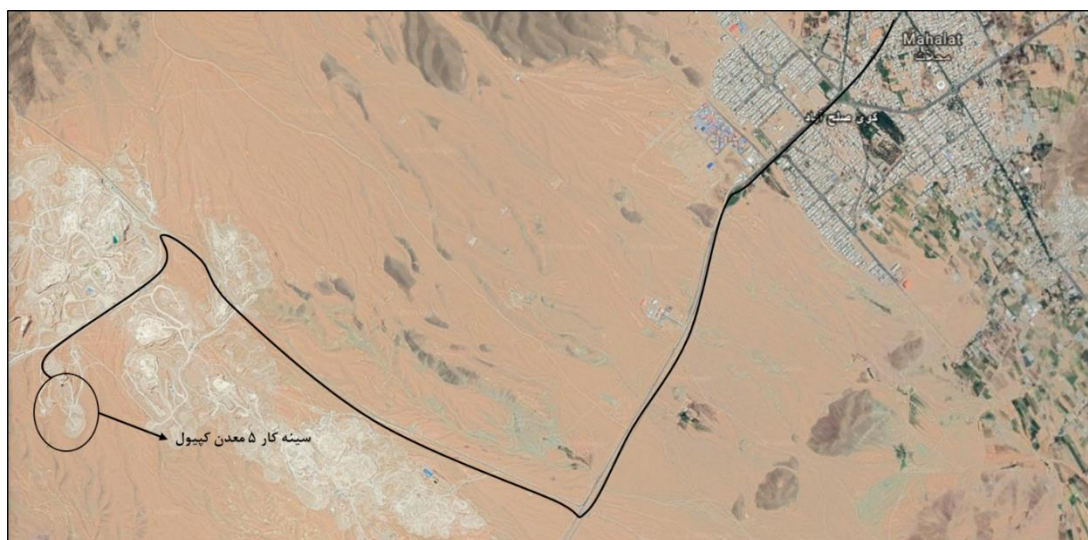
مطالعه موردی

۱-۴- مقدمه

در این فصل به بررسی و معرفی کلی معدن کپیول، وضعیت زمین‌شناسی منطقه، توپوگرافی و روش استخراج، تقسیم‌بندی نواحی مختلف معدن، عوامل ساختاری موجود در منطقه و تحلیل‌های صورت گرفته بر روی آن‌ها پرداخته می‌شود. در انتها با توجه به مطالب ذکر شده، دلیل انتخاب این مطالعه موردی توضیح داده شده است.

۲-۴- معرفی معدن سنگ ساختمانی کپیول

معدن کپیول در ۹ کیلومتری شهرستان محلات در مختصات ۳۰ درجه و ۵۳ دقیقه و ۰۴ ثانیه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۲۲ دقیقه و ۴۴ ثانیه طول شرقی، واقع در ۱۱۰ کیلومتری اراک مرکز استان مرکزی واقع شده است (شکل ۱-۴). این معدن دارای ذخیره‌ای معادل ۲۳۰ هزار تن است. عملیات بهره‌برداری از این معدن در خرداد سال ۱۳۹۶ آغاز شده است. ارتفاع اولیه توده کپیول ۱۷۵۰ متر از سطح دریا و حدود ۱۸۰ متری از سطح منطقه اطراف بوده است. این معدن از طریق جاده آسفalte به طول ۲۷ کیلومتر در جنوب شرقی به شهر دلیجان (جاده اصفهان - قم) و از سمت جنوب غربی از طریق جاده آسفalte به مسافت ۴۵ کیلومتری به خمین و ۷۵ کیلومتر به گلپایگان ارتباط دارد.



شکل ۱-۴: موقعیت جغرافیایی معدن تراورتن کپیول

۴-۳- وضعیت زمین‌شناسی منطقه

این منطقه قسمت کوچکی از ناحیه ایران مرکزی و در حدفاصل کمر بند آتش‌فشانی ارومیه - بزمان و ناحیه سنندج - سیرجان قرار دارد. رسوبات موجود در منطقه که به رخساره پالئوزیک محلات معروف می‌باشند به ترتیب شامل دولومیت‌های سلطانیه، زاگون، لالون است. در اطراف محلات دولومیت‌های خاکستری‌رنگ سلطانیه، توسط تشکیلات شیلی سبز تا قرمز کمی ماسه‌ای و میکادار که به‌طور محلی به ماسه‌سنگ‌های دانه‌ریز تبدیل می‌گردد، پوشیده می‌شود. بر روی این شیل‌ها را ماسه سنگ کوارتزیتی متراکم و سخت بارنگ روشن پوشانده که شیل‌های میکادار به تشکیلات زاگون و ماسه‌سنگ‌های روی آن به لالون نسبت داده می‌شوند. تشکیلات مذکور توسط دولومیت‌های تیره ماسیو با آثاری از کربنوئیدها و مرجان‌های بدوی که حدود ۱۰۰ متر ضخامت دارند پوشیده شده‌اند. به‌طرف بالا دولومیت‌ها تدریجاً به آهک‌های ماسیو خاکستری تا سبز روشن حاوی قطعاتی از تریلوبیت می‌رسند. به دنبال این رسوبات، رسوبات مربوط به دوره اردوئیسین، دونین، کربونیفر و رخساره‌های مختلف پرمین مستقیماً بر روی تشکیلات قدیمی‌تر قرار گرفته است. رسوبات پرمین در اطراف محلات بیشتر دولومیتی است و در بعضی نقاط ماسه‌سنگ کوارتزیتی در قاعده آن مشاهده می‌شود. در پاره‌ای از نقاط شیل‌های آهکی قرمز‌رنگ همراه با ماسه‌سنگ‌های قرمز و کنگلومرای، رخساره‌های پرمین را تشکیل می‌دهد. لیتولوژی پرمین در منطقه عمدتاً شامل دولومیت‌های ضخیم لایه تا ماسیو است که بیشتر به رنگ خاکستری روشن بوده و به علت هوازدگی به رنگ زرد متمایل می‌گردد. تراورتن‌های این منطقه معمولاً جوان بوده و بعد از پلیوسن تشکیل شده‌اند و هنوز هم در آبراهه‌های بعضی از روستاها می‌توان آثار رسوب‌گذاری را مشاهده نمود. در معدن کپیول تراورتن به‌صورت لایه‌های افقی با ضخامت‌های بین ۱۰ تا ۱۳ متر بر روی توف‌های آهکی سبزرنگ واقع شده است و در اطراف این سنگ‌ها سیمان آهکی و کنگلومرا مشاهده می‌گردد [۵۱].

۴-۴- ژئومورفولوژی منطقه و روش استخراج

این منطقه در دامنه شرقی رشته کوه‌های زاگرس واقع شده است. حرکات کوه‌زایی در کل منطقه سبب ایجاد چین‌خوردگی، گسل و رواندگی‌هایی شده که در پاره‌ای از مکان‌ها، بخصوص در ارتفاعات شمالی و غربی محلات وجود گسل‌های متعدد با طول زیاد در شکستگی‌های طبقات کمک نموده و باعث افزایش آب‌های زیرزمینی منطقه گردیده است که از آن جمله می‌توان به چشمه آب محلات، به‌عنوان یکی از آثار آن اشاره نمود. به‌طور کلی حرکات کوه‌زایی در کل منطقه شامل سه دوره است: دوره اول، دوره پرکامبرین که تشکیلات ساختمانی آن دارای جهت شمال غرب - جنوب شرق است. دوره دوم، دوره پرمین که ساختمان‌های چین خورده بیشتر دارای جهت شمال شرقی - جنوب غربی است و دوره سوم، دوره کرتاسه که حرکات کوه‌زایی سبب تشکیل مورفولوژی کنونی شده و ساختمان‌های آن در جهت شمال غرب به جنوب شرق است. به‌طور کلی در این منطقه آهک‌های پرمین در ارتفاعات شمالی منطقه دارای ارتفاع زیادی بوده و بعداز آن آهک‌های کرتاسه و سنگ‌های آذرین درونی در جنوب حوضه، بخصوص سنگ‌های گرانیت، دیوریت و گابروها به حالت برجسته می‌باشند [۵۱]. معدن کپیول دارای ۴ سینه کارفعال است. روش استخراج سنگ در این معدن به روش برش به‌وسیله سیم الماسه است. با توجه به نوع توپوگرافی ماده معدنی و نحوه قرارگیری لایه‌های تراورتن به‌صورت افقی بعد از برداشت باطله روی ماده معدنی، سنگ تراورتن استخراج می‌شود. برای استخراج سنگ از تلفیق دو روش استخراج سنگ به‌وسیله سیم برش و قواره نمودن آن به‌وسیله نعل و پارس بهره گرفته شده است. و ارتفاع پله‌ها بین ۱۳ تا ۱۴ متر متغیر است. تصویر ماهواره‌ای از معدن فعلی در شکل آورده شده است (شکل ۴-۲).



شکل ۴-۲: تصویر ماهواره‌ای از معدن کپیول

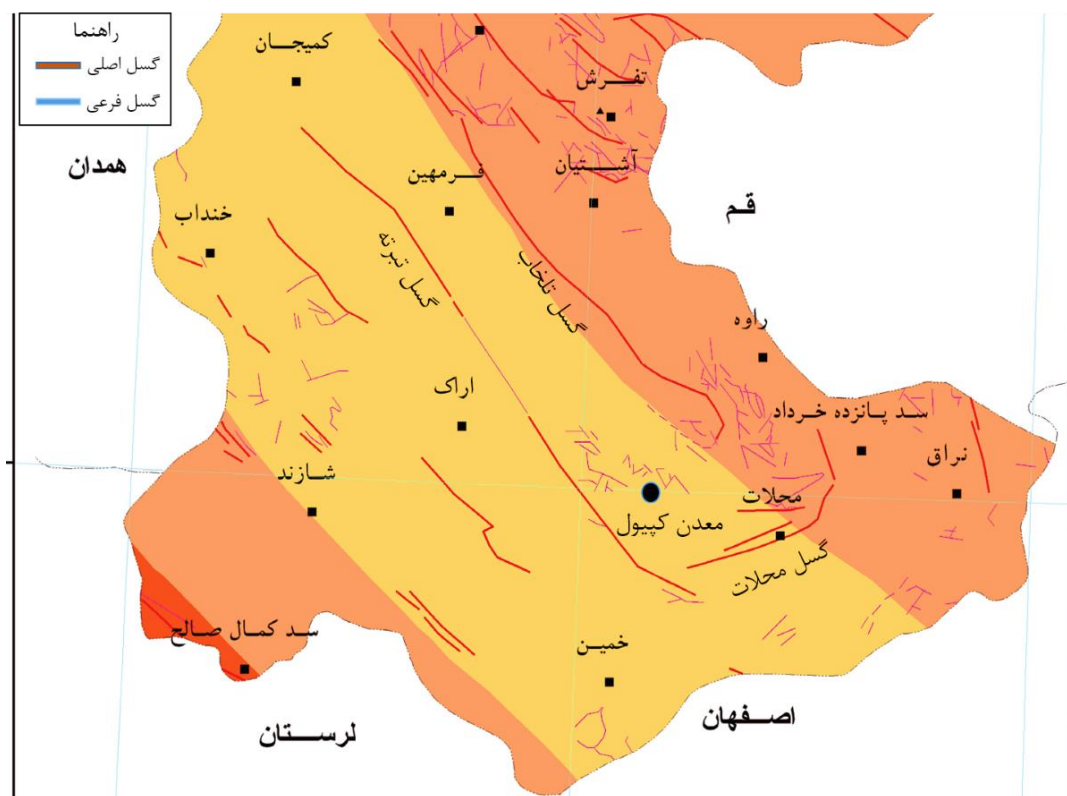
۴-۵- تکتونیک منطقه

از لحاظ زمین‌شناسی ساختمانی وجود گسل‌های متعدد در این استان نظیر گسل تبرته و تلخاب نقش مهمی در تکوین زمین‌شناسی این ناحیه از کشور داشته‌اند. این دو گسل از مهم‌ترین ساختارهای زمین‌شناسی ناحیه هستند که فعالیت‌های لرزه‌ای ناحیه مرکزی را کنترل می‌کنند و وجود چشمه‌های آب گرم تراورتن زایی و نقش مهم این دو گسل در تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی می‌تواند دال بر فعال بودن این گسل‌ها باشد.

الف) گسل تلخاب: این گسل با راستای شمال غرب - جنوب شرق از شهر تلخاب، شهر داودآباد و روستاهای مسیر عبور می‌کند. این گسل سنگ‌بستر را به گسل‌ها فرعی متعددی تقسیم نموده است. گسل موردنظر در جنوب شرق وارد کوه‌های هفتاد قله شده و با عبور از روستاهای کهک، خوره محلات و شمال آبگرم محلات توسط گسل محلات قطع می‌گردد. به نظر می‌رسد این گسل نیز سهمی در شکل‌گیری آبگرم محلات داشته باشد. گسل تلخاب در شمال غرب به سمت شهر خنجین هدایت‌شده و با عبور از ارتفاعات شمال شرق کمیجان وارد منطقه وفس شده و سپس توسط گسل‌های

فرعی دیگری قطع و محو می‌گردد.

ب) گسل تبرته: این گسل با راستای شمال غرب - جنوب شرق دقیقاً به موازات گسل تلخاب است. شهرهایی چون فرمهین، اراک و کارچان و حتی کمیجان و روستاهای زیادی در مسیر آن شدیداً متأثر از گسل تبرته هستند. گسل تبرته نظیر گسل تلخاب دارای چندین گسل فرعی بوده و شهر اراک دقیقاً بر روی گسل اصلی و فرعی آن قرار دارد. در شکل ۳-۴ پراکندگی گسل‌ها در منطقه نشان داده شده است [۵۲].



شکل ۳-۴: نقشه‌ی پراکندگی گسل در منطقه

۴-۶- عوامل ساختاری

پس از گسل‌های اصلی، عوامل ساختاری غالب در توده سنگ‌های درزه‌دار، ناپیوستگی‌هایی مانند درزه، لایه‌بندی، شیب‌توزیته، دگرشیمی و ... هستند که ویژگی‌های آن‌ها در هریک از مناطق هموزن آماری، در مدل‌سازی هندسی مورد توجه قرار گرفته است. ناپیوستگی‌های مدنظر در این پژوهش

دسته‌درزهای موجود در معدن کپیول، سینه کار ۵ است که در فصل بعد جزئیات مربوط به دسته‌درزهای مربوطه ارائه می‌شوند.

۴-۷- جمع‌بندی

درمجموع و با توجه به مطالب بیان‌شده، مطالعه موردی حاضر به‌عنوان گزینه مناسبی برای انجام تحلیل ناپیوستگی و تعیین جهت بهینه استخراج در راستای اهداف این پژوهش انتخاب شد. دلیل اصلی انتخاب این مطالعه موردی این است که در این معدن، جهت استخراج مناسبی که بتواند کوپ با ابعاد مناسب بدهد را ندارد، برای بهینه نمودن امر استخراج از تلفیق دو روش استخراج سنگ به‌وسیله سیم برش و قواره نمودن آن به‌وسیله نعل و پارس استفاده می‌کنند.

مدل سازی و تحلیل نتایج

۵-۱- مقدمه

برای هرگونه مطالعات حول ناپیوستگی‌ها ابتدا باید مشخصات ناپیوستگی‌ها در منطقه‌ی مورد مطالعه، با روش مناسب برداشت شود و سپس مراحل بعدی مطالعه که می‌تواند شامل تصحیح داده‌های به‌دست‌آمده، مدل‌سازی و نهایتاً تجزیه و تحلیل نتایج به‌دست‌آمده باشد، انجام می‌شود. در این فصل ابتدا روش انجام تحقیق، برداشت ناپیوستگی‌ها و سپس مدل‌سازی آن‌ها توسط نرم‌افزار 3DEC شرح داده خواهد شد.

۵-۲- برداشت ناپیوستگی‌ها

روش اساسی در تحلیل ناپیوستگی‌ها مدل‌سازی بر اساس مشخصات آن‌ها است. در این تحقیق، روش خط برداشت^۱ برای برداشت ناپیوستگی‌ها انتخاب شده است. در این روش خصوصیات هندسی ناپیوستگی‌هایی که با یک خط مشخص برخورد می‌کنند را برداشت کرده و جهت ناپیوستگی‌های غالب را تعیین می‌کنند. با استفاده از روش خط برداشت پارامترهای شیب، جهت شیب، فاصله‌داری، بازشدگی درزه در معدن کپیول برداشت و ثبت شده است (الف- شکل ۵-۱). برای اندازه‌گیری پارامترهای شیب و جهت شیب و خط برداشت، از یک کمپاس استفاده شده است (ب- شکل ۵-۱). و سایر پارامترهای نیز با استفاده از یک متر نواری اندازه‌گیری شده است. برای اندازه‌گیری بازشدگی درزه، از یک صفحه فلزی نازک که در بازشدگی ناپیوستگی قرار می‌گیرد، استفاده شده است.

الف

ب



شکل ۵-۱: (الف) خط برداشت برای ناپیوستگی‌های موجود (ب) استفاده از کمپاس برای برداشت ناپیوستگی

¹ Scan line

عملیات برداشت درزه در این معدن به وسیله کمپاس و متر نواری در اردیبهشت ۱۳۹۸ انجام شد. به کمک روش خط برداشت ۱۶ درزه از سمت شمال معدن به سمت غرب معدن برداشت و مختصات یک نقطه بر روی هر درزه با کمک GPS ثبت شد. این اطلاعات در فرم برداشت درزه‌ها که شامل مشخصات خط برداشت، جبهه کار و شیب، جهت شیب، بازشدگی و فاصله‌داری درزه‌ها بود، وارد شد. در جدول ۱-۵ مشخصات درزه‌های برداشت‌شده از جبهه کار آورده شده است. در پله‌ی اول بخش شمال غرب، طول خط برداشت ۲۲ متر، تعداد ۴ درزه، با خط برداشت، برخورد داشته و اطلاعات آن‌ها شامل شیب، جهت شیب، بازشدگی و فاصله‌داری درزه‌ها اندازه‌گیری شده است (جدول ۱-۵). در پله‌ی اول بخش شمالی، طول خط برداشت ۴۱ متر، تعداد ۱۲ درزه، با خط برداشت، برخورد داشته، اطلاعات آن‌ها شامل شیب، جهت شیب، امتداد، بازشدگی و فاصله‌داری درزه‌ها اندازه‌گیری شده است (جدول ۱-۵).

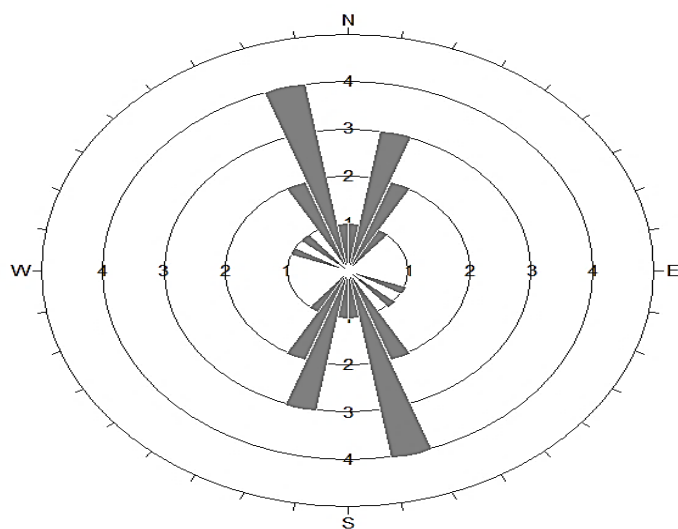
جدول ۱-۵: مشخصات درزه‌های برداشت‌شده از جبهه کارهای معدن کپیول

ردیف	شیب (درجه)	جهت شیب (درجه)	فاصله‌داری (متر)	بازشدگی (سانتی‌متر)
۱	۸۳	۱۱۰	۱	۰/۲
۲	۷۶	۷۶	۲/۱	۱
۳	۸۶	۱۰۷	۱۶/۷	۰/۲
۴	۸۷	۷۸	۰/۸۵	۱/۶
۵	۸۷	۷۸	۲/۵	۰/۳
۶	۷۳	۹۷	۱/۴	۰/۳
۷	۷۹	۲۰۸	۵/۲	۰/۳
۸	۷۴	۶۵	۱/۵۸	۰/۵
۹	۷۵	۲۲۸	۲/۲	۰/۳
۱۰	۷۱	۶۵	۳/۷۵	۰/۵
۱۱	۶۸	۱۱۴	۲	۰/۳
۱۲	۹۰	۷۷	۲/۸۰	۰/۵
۱۳	۷۴	۲۶۴	۲/۲۵	۰/۰۷۵
۱۴	۹۰	۳۰۲	۰/۵	۰/۰۷۵
۱۵	۸۲	۲۸۴	۰/۵	۴
۱۶	۸۵	۱۰۷	۲	۴

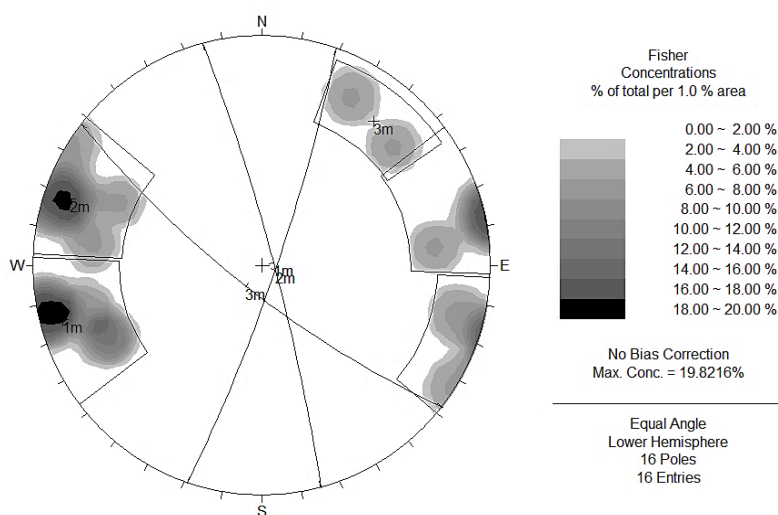
۵-۳- تشخیص شیب و جهت ناپیوستگی‌ها و تعیین سیستم درزه

با توجه به داده‌های برداشت‌شده، تعداد ۱۶ درزه از معدن کپیول سینه کار ۵، به روش خط برداشت که در جدول ۵-۱ مشخص است، برداشت‌شده است. پس از برداشت ناپیوستگی‌ها، با استفاده از نرم‌افزار Dips، دسته‌درزه‌های غالب موجود در سینه کار شناسایی شده نمودارهای گل‌سرخ (رز دیاگرام) و نمودارهای خطوط تراز^۱ برای ناپیوستگی‌های موجود در هر سینه کار، که با استفاده از نرم‌افزار Dips، ترسیم‌شده‌اند را نشان می‌دهد. نمودار گل‌سرخ، امتداد غالب ناپیوستگی‌ها و شیب ناپیوستگی‌ها را نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل ۵-۲ ترسیم‌شده، می‌توان برداشت کرد، امتداد غالب ناپیوستگی‌ها موجود در پله‌ی استخراجی معدن، به‌صورت شمال غربی-شمال شرقی است، شیب اغلب درزه‌ها برداشت‌شده، قائم، و یا نزدیک به قائم است. نمودار خطوط تراز، دسته‌درزه‌های موجود در سینه کار رو نشان می‌دهد. که در شکل ۵-۳، سه دسته‌درزه اصلی در این معدن با مشخصات N۱۵W / ۸۴NE (شیب ۸۴ درجه و جهت شیب ۷۵ درجه شمال به سمت شرق) و N۱۹E / ۸۳SE (شیب ۸۳ درجه و جهت شیب ۱۰۹ درجه شمال به سمت شرق) و N۵۲W / ۷۷SE (شیب ۷۷ درجه و جهت شیب ۲۱۸ درجه شمال به سمت شرق) در سینه کار وجود دارد. که به ترتیب دسته‌درزه شماره ۱ و شماره ۲ و شماره ۳ نام‌گذاری می‌شود. دسته‌درزه شماره ۱، شامل ۷ درزه و میانگین فاصله‌داری این دسته‌درزه برابر ۹/۳۰ متر است. تعداد دسته‌درزه‌ها در دسته‌درزه شماره ۲، برابر ۷ عدد است و میانگین فاصله‌داری برابر با ۱۰/۱۵ متر است. دسته‌درزه شماره ۳، برابر ۲ عدد است و میانگین فاصله‌داری برابر ۵/۷۰ متر است. جدول ۵-۲، نتایج حاصل از تحلیل اطلاعات برداشت در نرم‌افزار Dips را نشان می‌دهد.

^۱ Contour plot



شکل ۵-۲: نمودار گل سرخی (رز دیاگرام) ناپیوستگی‌ها در معدن



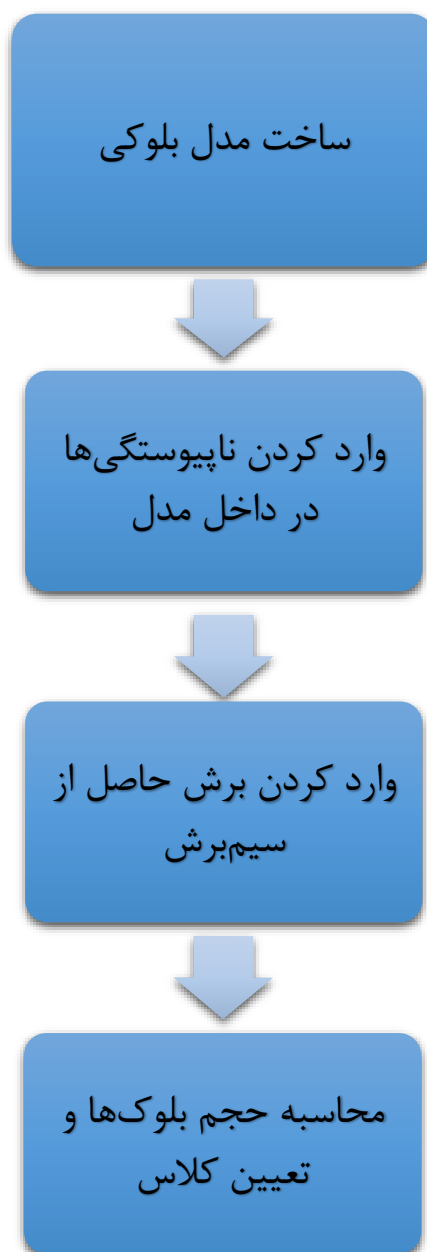
شکل ۵-۳: نمودار خطوط تراز ناپیوستگی‌ها در معدن

جدول ۵-۲: مشخصات دسته‌درزه‌ها در جبهه کار معدن کپیول

جبهه کار	دسته‌درزه‌ها	تعداد درزه‌ها	میانگین شیب و جهت شیب (درجه)	میانگین امتداد (درجه)	میانگین بازشدگی (cm)	میانگین فاصله‌داری (m)
S _۱	J _۱	۷	۸۴NE	N۱۵W	۰/۵۸	۹/۳۰
	J _۲	۷	۸۳SE	N۱۹E	۱/۴۱	۱۰/۱۵
	J _۳	۲	۷۷SW	N۵۲W	۰/۳	۵/۷۰

۴-۵- مراحل مدل سازی ناپیوستگی ها در توده سنگ

پس از تشخیص سیستم درزه‌ی موجود در منطقه‌ی معدن کپیول، نوبت به مدل کردن ناپیوستگی در توده‌ی سنگ بر اساس مشخصات برداشت شده می‌رسد. در این تحقیق به منظور مدل سازی ناپیوستگی ها در توده سنگ باید مراحل مندرج در شکل ۴-۵ را پیاده سازی کرد. در ادامه این مراحل شرح داده شده است.



شکل ۴-۵: مراحل مدل سازی ناپیوستگی ها در توده سنگ

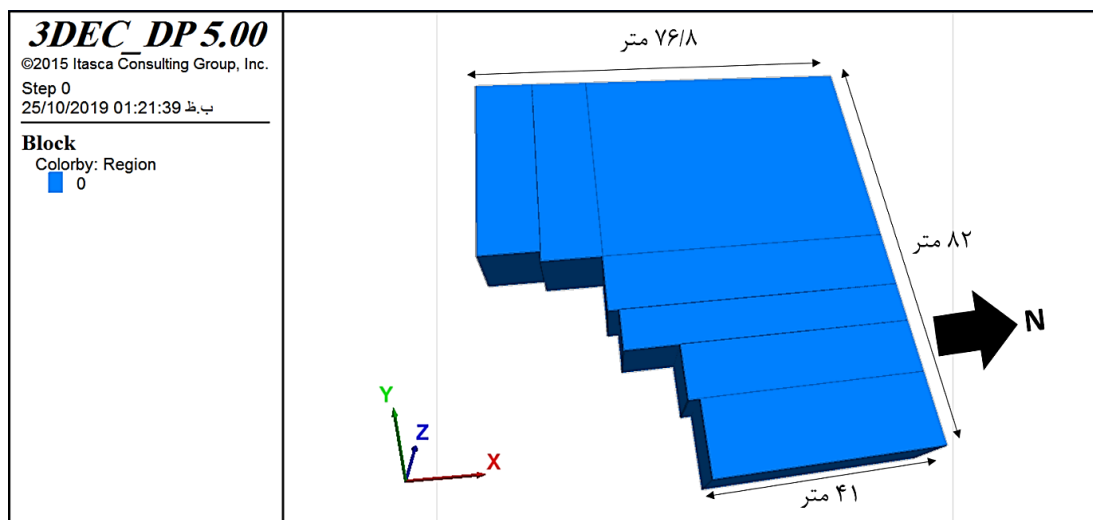
۵-۴-۱- ساخت مدل بلوکی

یک مدل بلوکی در 3DEC را می‌توان به دو روش ساخت.

۱- با برش یک‌چند وجهی به چند وجهی‌های مجزا

۲- با ساخت چند وجهی‌های مجزا و اتصال آن‌ها با یکدیگر

در این پایان‌نامه با ساخت چند وجهی‌های مجزا و اتصال آن‌ها با یکدیگر، مدل بلوکی معدن کپیول در شکل ۵-۵ ساخته شده است.



شکل ۵-۵: مدل بلوکی معدن

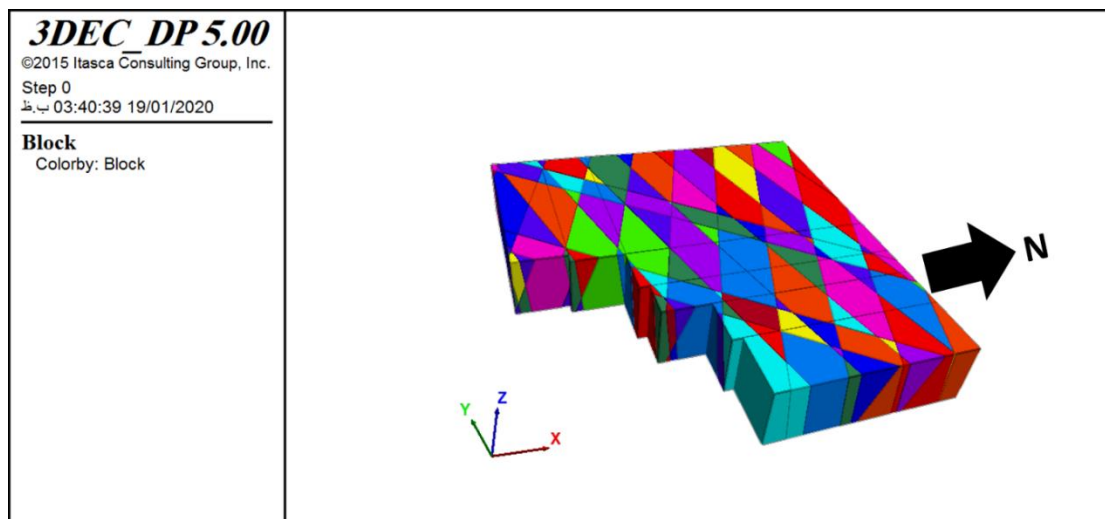
۵-۴-۲- وارد کردن ناپیوستگی‌ها در داخل مدل

ناپیوستگی‌های به دو صورت در نرم‌افزار 3DEC وارد می‌شوند:

- خصوصیات درزه‌ها استفاده از کلیدواژه‌های اصلی این دستور صفحه‌ای می‌سازد که با مشخصات تعیین شده، مدل را برش می‌دهد.
- به صورت تصادفی که در روش با وارد کردن اطلاعات خصوصیات هندسی و ویژگی‌های که به طور آماری تعریف شده‌اند، طبیعت ناهمگن توده سنگ‌های درزه‌دار را با استفاده از نمایش سه‌بعدی شبکه درزه به صورت عناصری گسسته نمایش می‌دهد.

در این پایان نامه درزه به صورت دستی و با توجه به اطلاعاتی که در فرم برداشت جبهه کار معدن کپیول برداشت شد و همچنین اطلاعات به دست آمده از نرم افزار Dips، برای نرم افزار تعریف شده است

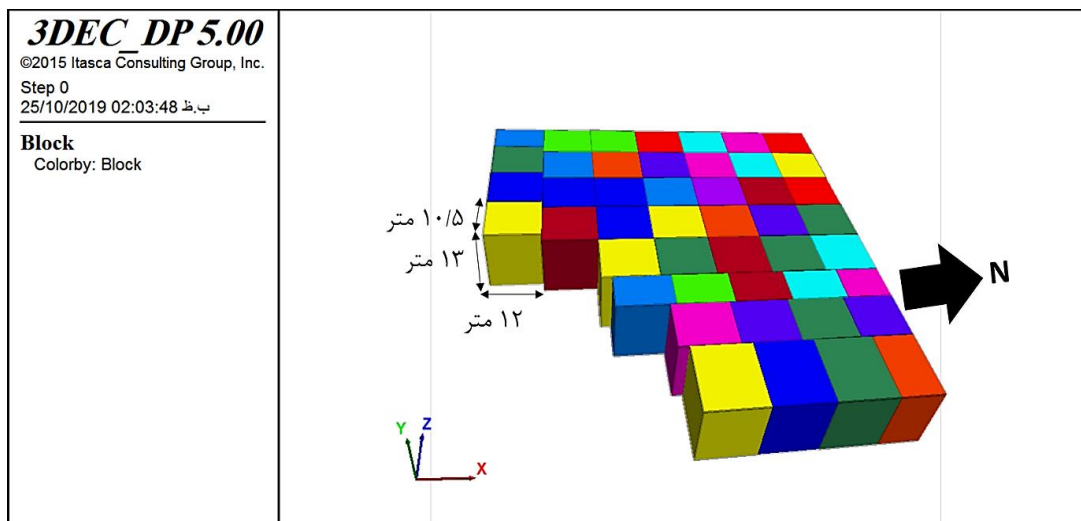
شکل ۵-۶.



شکل ۵-۶: مدل بلوکی دسته درزه معدن

۵-۴-۳- وارد کردن برش حاصل از سیم برش

مرزهای مدل درواقع برش هایی هستند که توسط سیم برش ایجاد می شوند. هر کدام از خطوط برش به عنوان یک تک درزه، به مدل اعمال می شوند. ابعاد بلوک های برش داده شده در این معدن معمولاً $12m \times 13m \times 10/5m$ است. بنابراین خطوط برشی را می توان سه تک درزه عمود برهم در نظر گرفت. تک درزه اول شامل خطوط برشی عرضی با شیب 90° درجه، امتداد فعلی پیشروی یعنی شمالی - جنوبی به عبارت دیگر، صفر درجه نسبت به شمال و فاصله داری $10/5$ متر است. تک درزه دوم شامل خطوط برشی طولی با شیب 90° درجه، راستای عمود بر خطوط برش نخست یعنی 90° درجه نسبت به شمال و فاصله داری 12 متر است. تک درزه سوم شامل خطوط برشی است که برای قواره کردن بلوک برش داده شده استفاده می شوند و می توان آن را تک درزه ای با شیب و امتداد صفر درجه و فاصله داری 13 متر در نظر گرفت. در شکل ۵-۷ مدل بلوکی حاصل از سیم برش آورده شده است.



شکل ۵-۷: مدل بلوکی برش در معدن

۵-۴-۴- محاسبه حجم بلوک و تعیین کلاس‌ها

پس از مدل کردن سیستم درزه‌های موجود در منطقه و سه تک درزه‌ی جایگزین خطوط برش در توده‌ی سنگ، حجم و تناژ بلوک‌های ایجادشده توسط این درزه‌ها در هر مرحله محاسبه می‌شود. در این معدن، بلوک‌های ایجادشده که دارای حجم کمتر از یک مترمکعب یا به عبارتی دیگر تناژ تقریبی کمتر از $\frac{2}{5}$ تن هستند، به عنوان باطله در نظر گرفته شده است. حجمی که کمتر از آن به عنوان باطله محسوب می‌شود و به نوع و قیمت سنگ بستگی دارد. هرچه قدر قیمت سنگ ساختمانی بیشتر باشد این حجم باطله عدد کمتری خواهد بود مثلاً برای یک معدن سنگ مرمر ممکن است این مقدار $\frac{0}{5}$ مترمکعب باشد [۵۳]. با توجه به ارزش شکل و حجم بلوک‌ها و مشورت با مهندسان معدن، ۴ کلاس برای درجه‌بندی بلوک‌های بزرگ در جدول ۵-۳ پیشنهاد شده است. با احتساب فاکتور شکل کلاس ۱ شامل بلوک‌هایی با حجمی بیشتر از ۱۲ مترمکعب، کلاس ۲، بلوک‌هایی با حجم بین ۲ و ۱۲ مترمکعب و کلاس ۳، بلوک‌هایی با حجم بین ۲ تا ۱ مترمکعب و کلاس ۴، بلوک‌های باطله با حجم کمتر از ۱ مترمکعب در نظر گرفته شدند.

جدول ۵-۳: تعیین کلاس برای درجه‌بندی بلوک‌های بزرگ

کلاس ۱	کلاس ۲	کلاس ۳	کلاس ۴
حجم بیشتر از ۱۲ مترمکعب	حجم بین ۱۲ تا ۲ مترمکعب	حجم بین ۲ تا ۱ مترمکعب	حجم کمتر از ۱ مترمکعب (باطله)

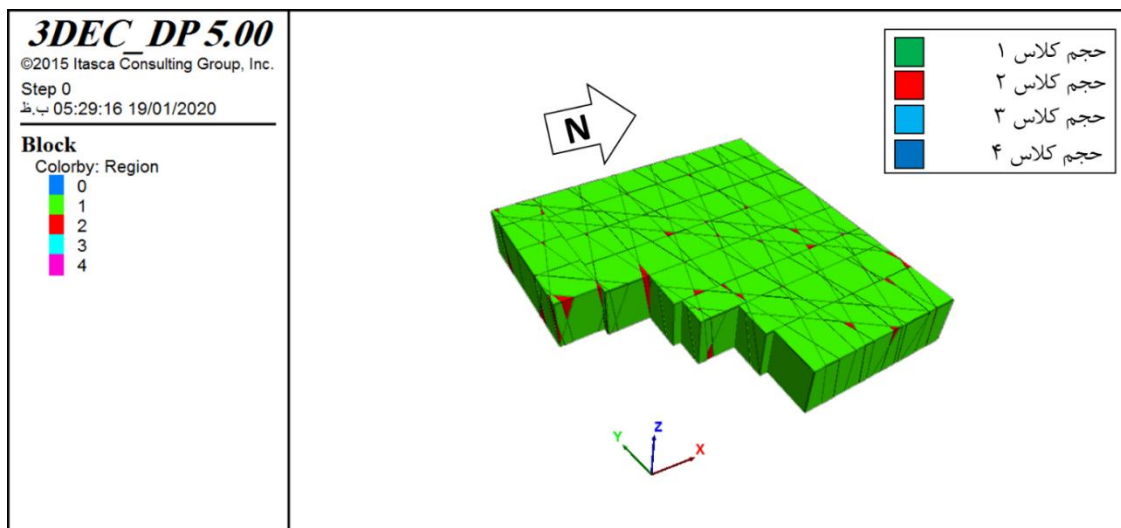
۵-۵- تعیین جهت بهینه به‌منظور دستیابی به بیشترین میزان کوپ‌دهی

برای استخراج، بسته به تنوع دستگاه‌ها، چال‌هایی بافاصله افقی ۱۵ تا ۲۰ متر حفر شده، سپس این فاصله به چال‌هایی به فواصل ۱/۸ متری تقسیم می‌شود که همان عرض بلوک‌های اولیه است. این فاصله ۱/۸ متری بر اساس عرض کامیون برای حمل بلوک تعیین شده است. بنابراین حداکثر عرض برش را نمی‌توان تغییر داد اما عمق برش را می‌توان بهینه کرد. بدین‌صورت که پس از انتخاب جهت بهینه استخراج، عمق برش بر اساس فاصله‌داری ناپیوستگی غالب تعیین شود. سطوح استخراجی با آزمون‌های بین ۰ تا ۱۸۰ درجه بر مدل بلوکی اولیه اعمال می‌شوند. دلیل انتخاب این محدوده از آزمون‌ها این بود که به‌طور مثال، نتایج حاصل از انتخاب جهت استخراج با آزمون ۳۰ درجه با جهت استخراج با آزمون ۲۱۰ درجه برابر است و این امکان دسترسی به کانسار است که تعیین می‌کند که کدام یک به‌عنوان جهت استخراج بهینه برگزیده شوند. بنابراین لزومی ندارد که جهت استخراج برای ۳۶۰ درجه بررسی شود. به‌جای تغییر راستای استخراج در مدل بلوکی، می‌توان آزمون درزه‌های مدل را در هر مرحله از مدل‌سازی به‌اندازه ۵ درجه چرخش داد. مقدار α درجه چرخش آزمون درزه‌ها به‌صورت ساعت‌گرد معادل تغییر راستای استخراج به‌اندازه α درجه جهت پادساعت‌گرد است [۵۳]. آزمون درزه‌ها با گام ۵ درجه به‌صورت ساعت‌گرد تغییر داده می‌شود تا بهترین راستای استخراج جهت پادساعت‌گرد شناسایی شود. نتایج در جدول ۵-۴ آورده شده است.

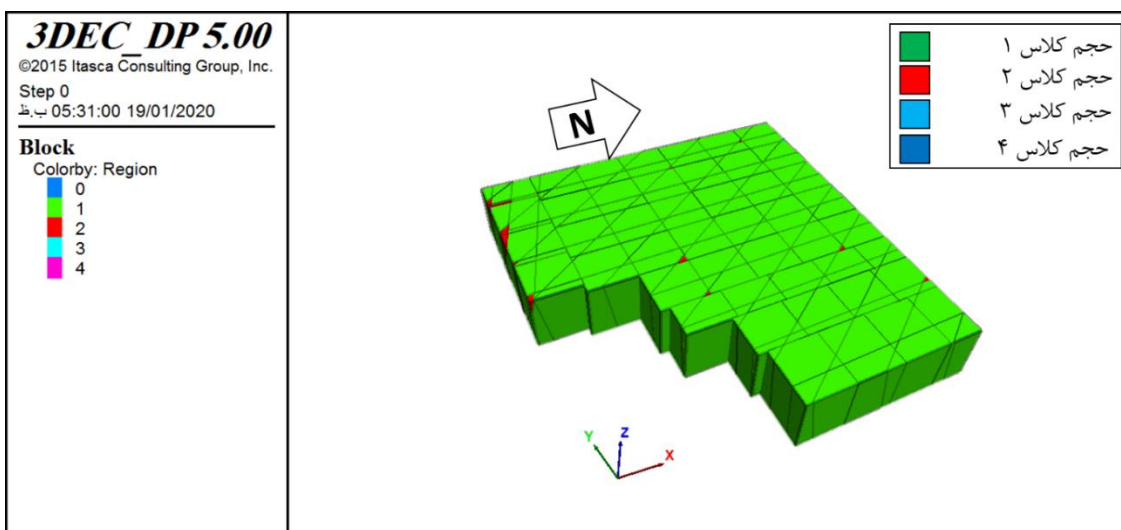
جدول ۴-۵: حجم کوپ‌های قابل فروش به ازای چرخش آزمون درزه‌های مختلف

حجم کوپ‌های قابل فروش (مترمکعب)				آزمون چرخش درزه‌ها	حجم کوپ‌های قابل فروش (مترمکعب)				آزمون چرخش درزه‌ها
کلاس ۱	کلاس ۲	کلاس ۳	کلاس ۴		کلاس ۱	کلاس ۲	کلاس ۳	کلاس ۴	
۶۵۶۵۶/۵	۱۵۳/۷۶	۱۰/۷۲۲	۸/۲۷۳۶	۹۵	۶۵۵۲۸/۱	۲۸۲/۱	۵/۹۹۲۹	۱۰/۰۷۶	۰
۶۵۵۸۴/۹	۲۲۶/۰۸	۹/۸۵۰۴	۵/۳۵۳۹	۱۰۰	۶۵۵۷۴/۸	۲۲۸/۵	۱۱/۷۲۶	۱۱/۲۱۹۸	۵
۶۵۶۰۶/۹	۲۰۱/۹۱	۸/۹۶۶۸	۸/۴۴۶۲	۱۰۵	۶۵۵۷۰	۱۷۵/۵	۲۰/۶۳۲۵	۷/۵۱۱	۱۰
۶۵۵۵۴	۲۵۱/۷۱	۹/۹۳۲۶	۱۰/۶۲۶	۱۱۰	۶۵۵۷۷/۳	۲۲۳/۰۷	۱۹/۲۲۵	۶/۶۵۰۲	۱۵
۶۵۵۸۴/۳	۲۲۱/۷۱۵	۱۰/۴۰۵	۹/۸۲۱۴	۱۱۵	۶۵۶۱۲/۹	۱۹۰/۰۵	۹/۹۶۳۳	۱۳/۳۱۲	۲۰
۶۵۵۷۳/۸	۲۳۰/۲۲	۱۵/۶۴۵	۶/۵۵۷	۱۲۰	۶۵۶۲۵/۹	۱۸۰/۴۵	۱۱/۳۲۷	۸/۵۳۸۲	۲۵
۶۵۶۲۶/۷	۱۸۰/۲۴۳	۶/۹۲۵	۱۰/۳۷۹	۱۲۵	۶۵۶۳۸/۴	۱۷۵/۸۲۹	۴/۵۶۳۸	۷/۳۱۷۷	۳۰
۶۵۵۸۵/۹	۲۲۰	۱۵/۱۸۷	۵/۱۳۴	۱۳۰	۶۵۶۵۸/۹	۱۴۸/۵۲	۱۱/۴۷۶	۷/۳۲۱۲	۳۵
۶۵۵۴۳	۲۶۴/۵۱۱	۱۲/۲۵۵	۶/۴۳۴۸	۱۳۵	۶۵۶۷۲/۱	۱۴۳/۷۴۴	۱۳/۱۷۲	۷/۲۳۶۷	۴۰
۶۵۴۷۸/۱	۳۲۴/۹۶۸	۱۴/۸۵	۸/۳۴۴	۱۴۰	۶۵۶۶۸/۴	۱۴۰/۱۶	۹/۷۴۹	۷/۸۹۹۵	۴۵
۶۵۵۲۶/۳	۲۷۱/۲۳۲	۱۷/۶۳۲	۱۱/۰۸۴	۱۴۵	۶۵۶۱۹/۱	۱۹۲/۲۶	۱۰/۶۰۳	۴/۲۸۲	۵۰
۶۵۵۴۲	۲۵۸/۰۵۴	۱۴/۳۱۱	۱۱/۸۲	۱۵۰	۶۵۶۶۴/۹	۱۴۵/۱۲	۹/۷۳۷۴	۶/۴۴۸۹	۵۵
۶۵۵۴۷/۴	۲۵۰/۲۱۹	۱۳/۳۵۷	۱۵/۲۱۸	۱۵۵	۶۵۶۹۱/۱	۱۳۰/۲۵	۸/۰۲۲۱	۶/۸۹۵۵	۶۰
۶۵۴۹۹/۳	۲۹۵/۵۹۵	۱۸/۱۰۶	۱۳/۱۸۵	۱۶۰	۶۵۶۶۰/۵	۱۵۴/۷۴۱	۶/۳۹۰۷	۴/۵۵۸۷	۶۵
۶۵۵۴۰/۳	۲۶۸/۸۷۳	۸/۶۴۲۲	۸/۳۶۷۲	۱۶۵	۶۵۷۰۵/۹۷	۱۱۰/۷۶۳	۷/۰۲۹۴۸	۲/۵۱۲۱	۷۰
۶۵۵۵۵/۱	۲۳۸/۳۶۶	۲۲/۷۱۵	۱۰/۰۹۴	۱۷۰	۶۵۶۳۳/۲	۱۷۱/۵۲	۱۲/۳۷۸	۹/۱۱۰۱	۷۵
۶۵۴۱۱/۹	۳۸۴/۳۳	۱۳/۴۷	۱۶/۴۷۹	۱۷۵	۶۵۶۳۴/۹	۱۷۹/۲۴	۶/۳۸۶۳	۵/۷۰۵۸	۸۰
۶۵۵۶۴/۹	۲۳۵/۶۴	۱۵/۰۵۱	۱۰/۵۸۷	۱۸۰	۶۵۵۹۰/۳	۲۱۲/۷	۱۶/۲۶۳	۶/۹۷۱۱	۸۵
					۶۵۶۱۹/۴	۱۹۱/۹۷	۷/۶۳۳۹	۷/۲۳۷۱	۹۰

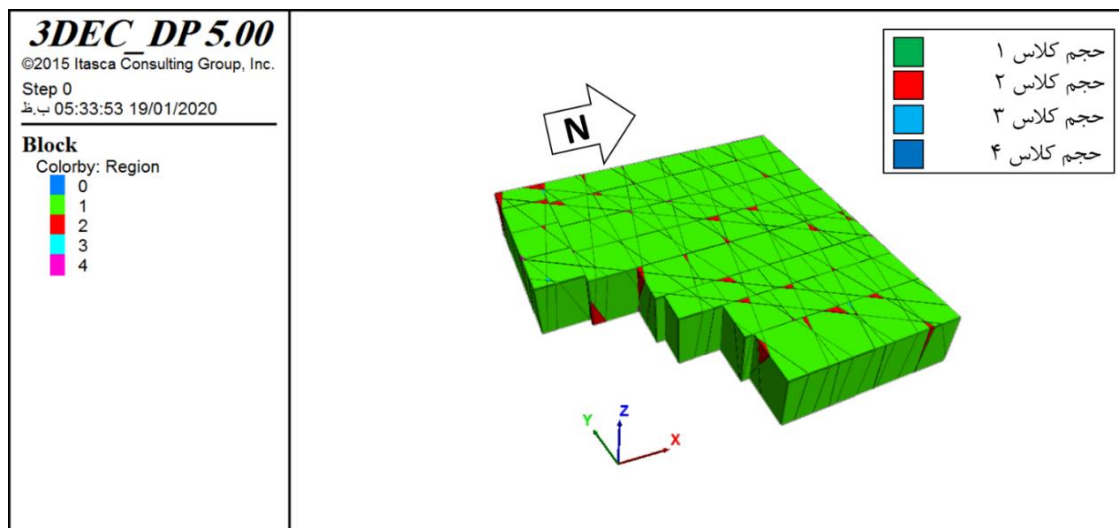
در شکل ۵-۸ تا شکل ۵-۱۰ حجم کوپ‌های قابل فروش در سه چرخش آزمون درزه‌ها نشان داده شده است. در شکل ۵-۸ حجم کوپ‌دهی در حالت اولیه (پیشروی حال حاضر)، در شکل ۵-۹ بهترین راستای استخراج در شکل ۵-۱۰ بدترین راستای استخراج نشان داده شده است.



شکل ۵-۸: کوپ‌های ایجادشده در جهت شمال و شمال غرب (پیشروی حال حاضر)



شکل ۵-۹: کوپ‌های ایجادشده در چرخش آزمون درزه ۷۰ درجه (بهترین راستای استخراج)



شکل ۵-۱۰: کوپ‌های ایجادشده در چرخش آزمون درزه ۱۷۵ درجه (بدترین راستای استخراج)

۵-۶- بررسی اقتصادی طرح

با مشخص شدن ۴ کلاس برای درجه‌بندی بلوک‌ها، ارزش هریک از کلاس‌ها به این صورت است که کلاس ۱، بلوک‌های با حجم بیشتر از ۱۲ مترمکعب ارزش ۷۰۰ هزار تومان، کلاس ۲، بلوک‌هایی با حجم بین ۱۲ تا ۲ مترمکعب ارزش ۴۰۰ هزار تومان، کلاس ۳، بلوک‌های با حجم بین ۲ تا ۱ مترمکعب ارزش ۱۵۰ هزار تومان، کلاس ۴، بلوک‌هایی با حجم کمتر از ۱ مترمکعب ارزش ۰ هزار تومان، به این ترتیب ارزش نسبی هر کلاس و ارزش کلی به ازای راستای مختلف استخراج قابل محاسبه خواهد بود با محاسبه مقدار کوپ‌های قابل فروش در هر کلاس می‌توان درآمد و توجیه‌پذیری اقتصادی معدن را در مرحله امکان‌سنجی تخمین زد که این موضوع عامل مهمی برای تصمیم‌گیری راجع به استخراج معدن یا جذب سرمایه‌گذار است. از طرفی دیگر، معیار مناسبی برای برنامه‌ریزی معدن و تعیین سکانس‌های استخراج از توده سنگ به دست می‌آورد. محاسبه ارزش با استفاده از رابطه زیر انجام شده است.

$$I = AMC \times \rho \times P \quad (1)$$

^۱ AMC: میزان حجم کوپ‌های قابل فروش

ρ : چگالی سنگ (تن بر مترمکعب)

P: قیمت فروش هر تن کوپ خام در معدن

I: ارزش (درآمد) حاصل از فروش کوپ‌های معدن

با جایگذاری پارامترها در داخل معادله ارزش هر یک از کلاس‌ها مشخص شده است. سپس ارزش هر چهار کلاس رو باهم جمع شده و بالاترین ارزش به عنوان بهترین و مناسب‌ترین جهت پادساعت گرد برای راستای استخراج انتخاب می‌شود. نتایج در جدول ۵-۵ آورده شده است.

جدول ۵-۵: نتایج حاصل از بررسی بلوک‌های تشکیل شده به ازای چرخش آزمون درزه‌های مختلف

چرخش درزها (AZ)	مشخصات تولید	کلاس ۱	کلاس ۲	کلاس ۳	کلاس ۴	جمع
۰	تعداد بلوک‌ها	۲۶۰	۴۶	۴	۳۸	۳۴۸
	حجم کلی (m^3)	۶۵۵۲۸/۱	۲۸۲/۱	۵/۹۹۲۹	۱۰/۰۷۶	۶۵۸۲۶/۲۶۸۹
	میانگین حجم	۲۵۲/۰۳	۶/۱۳	۱/۵۰	۰/۲۷	۱۸۹/۱۶
	ارزش	۱۱۴,۶۷۴,۱۷۵,۰۰۰	۲۸۲,۱۰۰,۰۰۰	۲,۲۴۷,۳۳۸	۰	۱۱۴,۹۵۸,۵۲۲,۳۳۸
۵	تعداد بلوک‌ها	۲۵۱	۴۳	۸	۴۱	۳۴۳
	حجم کلی (m^3)	۶۵۵۷۴/۸	۲۲۸/۵	۱۱/۷۲۶	۱۱/۲۱	۶۵۸۲۶/۲۴۵۸
	میانگین حجم	۲۶۱/۲۵	۵/۳۱	۱/۴۷	۰/۲۷	۱۹۱/۹۱۳۲۵۳۱
	ارزش	۱۱۴,۷۵۵,۹۰۰,۰۰۰	۲۲۸,۵۰۰,۰۰۰	۴,۳۹۷,۲۵۰	۰	۱۱۴,۹۸۸,۷۹۷,۲۵۰
۱۰	تعداد بلوک‌ها	۲۳۸	۳۶	۱۴	۴۳	۳۳۱
	حجم کلی (m^3)	۶۵۵۷۰	۱۷۵/۵	۲۰/۶۳۲۵	۷/۵۱۱	۶۵۷۷۳/۶۴۳۵
	میانگین حجم	۲۷۵/۵۰	۴/۸۸	۱/۴۷	۰/۱۷	۱۹۸/۷۱۱۹۱۳۹
	ارزش	۱۱۴,۷۴۷,۵۰۰,۰۰۰	۱۷۵,۵۰۰,۰۰۰	۷,۷۳۷,۱۸۸	۰	۱۱۴,۹۳۰,۷۳۷,۱۸۸
۱۵	تعداد بلوک‌ها	۲۲۶	۳۹	۱۲	۲۵	۳۰۲
	حجم کلی (m^3)	۶۵۵۷۷/۳	۲۲۳/۰۷	۱۹/۲۲۵	۶/۶۵۰۲	۶۵۸۲۶/۲۴۵۲
	میانگین حجم	۲۹۰/۱۷	۵/۷۲	۱/۶۰	۰/۲۷	۲۱۷/۹۶۷۶۹۹۳
	ارزش	۱۱۴,۷۶۰,۲۷۵,۰۰۰	۲۲۳,۰۷۰,۰۰۰	۷,۲۰۹,۳۷۵	۰	۱۱۴,۹۹۰,۵۵۴,۳۷۵
۲۰	تعداد بلوک‌ها	۲۱۹	۳۳	۷	۳۹	۲۹۸
	حجم کلی (m^3)	۶۵۶۱۲/۹	۱۹۰/۰۵	۹/۹۶۳۳	۱۳/۳۱۲	۶۵۸۲۶/۲۲۵۳
	میانگین حجم	۲۹۹/۶۰	۵/۷۶	۱/۴۲	۰/۳۴	۲۲۰/۸۹۳۳۷۲۵
	ارزش	۱۱۴,۸۲۲,۵۷۵,۰۰۰	۱۹۰,۰۵۰,۰۰۰	۳,۷۳۶,۲۳۸	۰	۱۱۵,۰۱۶,۳۶۱,۲۳۸

¹ Amount of marketable cuboid (AMC)

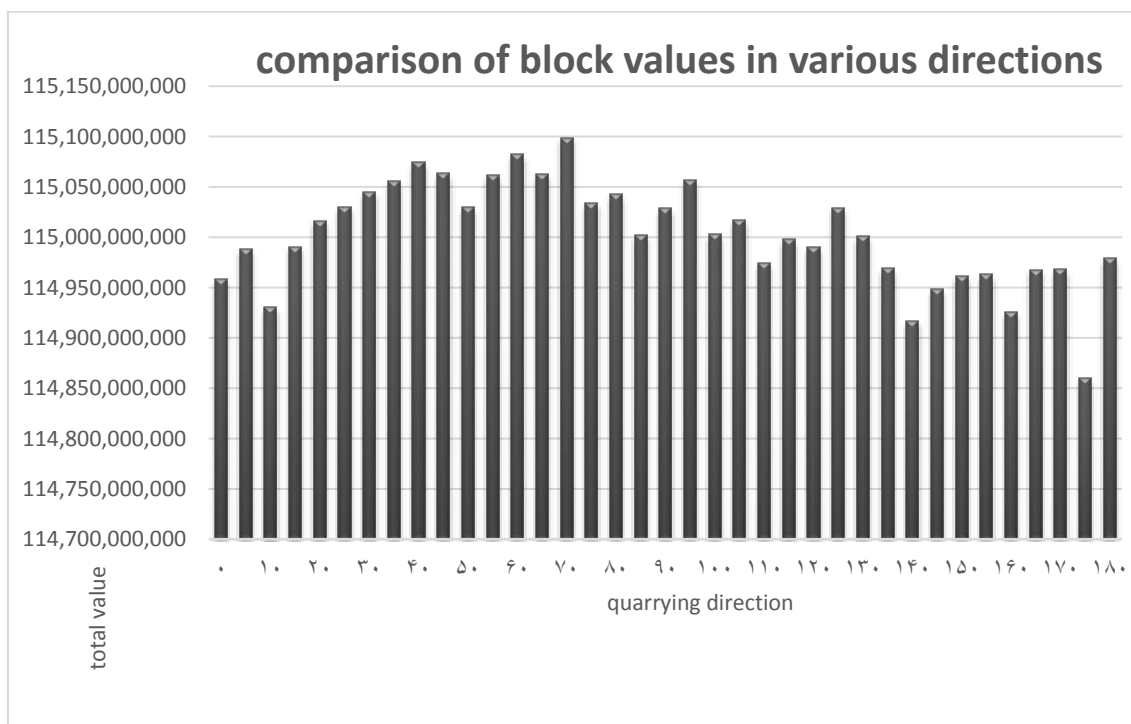
چرخش درزها (AZ)	مشخصات تولید	کلاس ۱	کلاس ۲	کلاس ۳	کلاس ۴	جمع
۲۵	تعداد بلوک‌ها	۲۱۰	۳۴	۷	۲۸	۲۷۹
	حجم کلی (m^3)	۶۵۶۲۵/۹	۱۸۰/۴۵	۱۱/۳۲۷	۸/۵۳۸۲	۶۵۸۲۶/۲۱۵۲
	میانگین حجم	۳۱۲/۵۰	۵/۳۱	۱/۶۲	۰/۳۰	۲۳۵/۹۴
	ارزش	۱۱۴,۸۴۵,۳۲۵,۰۰۰	۱۸۰,۴۵۰,۰۰۰	۴,۲۴۷,۶۲۵	۰	۱۱۵,۰۳۰,۰۲۲,۶۲۵
۳۰	تعداد بلوک‌ها	۲۰۶	۳۰	۳	۲۵	۲۶۴
	حجم کلی (m^3)	۶۵۶۳۸/۴	۱۷۵/۸۲۹	۴/۵۶۳۸	۷/۳۱۷۷	۶۵۸۲۶/۱۱۰۵
	میانگین حجم	۳۱۸/۶۳	۵/۸۶	۱/۵۲	۰/۲۹	۲۴۹/۳۴۱۳۲۷۷
	ارزش	۱۱۴,۸۶۷,۲۰۰,۰۰۰	۱۷۵,۸۲۹,۰۰۰	۱,۷۱۱,۴۲۵	۰	۱۱۵,۰۴۴,۷۴۰,۴۲۵
۳۵	تعداد بلوک‌ها	۲۰۳	۲۷	۸	۲۳	۲۶۱
	حجم کلی (m^3)	۶۵۶۵۸/۹	۱۴۸/۵۲	۱۱/۴۷۶	۷/۳۲۱۲	۶۵۸۲۶/۲۱۷۲
	میانگین حجم	۳۲۳/۴۴	۵/۵۰	۱/۴۳	۰/۳۲	۲۵۲/۲۰۷۷۲۸۷
	ارزش	۱۱۴,۹۰۳,۰۷۵,۰۰۰	۱۴۸,۵۲۰,۰۰۰	۴,۳۰۳,۵۰۰	۰	۱۱۵,۰۵۵,۸۹۸,۵۰۰
۴۰	تعداد بلوک‌ها	۱۹۹	۲۶	۹	۲۴	۲۵۸
	حجم کلی (m^3)	۶۵۶۷۲/۱	۱۴۳/۷۴۴	۱۲/۱۷۲	۷/۲۳۶۷	۶۵۸۳۵/۲۵۲۷
	میانگین حجم	۳۳۰/۰۱	۵/۵۳	۱/۳۵	۰/۳۰	۲۵۵/۱۷۵۳۹۸۱
	ارزش	۱۱۴,۹۲۶,۱۷۵,۰۰۰	۱۴۳,۷۴۴,۰۰۰	۴,۵۶۴,۵۰۰	۰	۱۱۵,۰۷۴,۴۸۳,۵۰۰
۴۵	تعداد بلوک‌ها	۲۰۳	۱۹	۶	۲۶	۲۵۴
	حجم کلی (m^3)	۶۵۶۶۸/۴	۱۴۰/۱۶	۹/۷۴۹	۷/۸۹۹۵	۶۵۸۲۶/۲۰۸۵
	میانگین حجم	۳۲۳/۴۹	۷/۳۸	۱/۶۲	۰/۳۰	۲۵۹/۱۵۸۳۰۱۲
	ارزش	۱۱۴,۹۱۹,۷۰۰,۰۰۰	۱۴۰,۱۶۰,۰۰۰	۳,۶۵۵,۸۷۵	۰	۱۱۵,۰۶۳,۵۱۵,۸۷۵
۵۰	تعداد بلوک‌ها	۱۹۸	۲۹	۷	۱۳	۲۴۷
	حجم کلی (m^3)	۶۵۶۱۹/۱	۱۹۲/۲۶	۱۰/۶۰۳	۴/۲۸۲	۶۵۸۲۶/۲۴۵
	میانگین حجم	۳۳۱/۴۱	۶/۶۳	۱/۵۱	۰/۳۳	۲۶۶/۵۰۳۰۱۶۲
	ارزش	۱۱۴,۸۳۳,۴۲۵,۰۰۰	۱۹۲,۲۶۰,۰۰۰	۳,۹۷۶,۱۲۵	۰	۱۱۵,۰۲۹,۶۶۱,۱۲۵
۵۵	تعداد بلوک‌ها	۱۹۸	۲۷	۷	۲۰	۲۵۲
	حجم کلی (m^3)	۶۵۶۶۴/۹	۱۴۵/۱۲	۹/۷۳۷۴	۶/۴۴۸۹	۶۵۸۲۶/۲۰۶۳
	میانگین حجم	۳۳۱/۶۴	۵/۳۷	۱/۳۹	۰/۳۲	۲۶۱/۲۱۵۱۰۴۴
	ارزش	۱۱۴,۹۱۳,۵۷۵,۰۰۰	۱۴۵,۱۲۰,۰۰۰	۳,۶۵۱,۵۲۵	۰	۱۱۵,۰۶۲,۳۴۶,۵۲۵
۶۰	تعداد بلوک‌ها	۱۹۳	۱۹	۵	۲۵	۲۴۲
	حجم کلی (m^3)	۶۵۶۹۱/۱	۱۲۰/۲۵	۸/۰۲۳۱	۶/۸۹۵۵	۶۵۸۲۶/۲۶۷۶
	میانگین حجم	۳۴۰/۳۷	۶/۳۳	۱/۶۰	۰/۲۸	۲۷۲/۰۰۹۳۷۰۲
	ارزش	۱۱۴,۹۵۹,۴۲۵,۰۰۰	۱۲۰,۲۵۰,۰۰۰	۳,۰۰۸,۲۸۸	۰	۱۱۵,۰۸۲,۶۸۳,۲۸۸

چرخش درزها (AZ)	مشخصات تولید	کلاس ۱	کلاس ۲	کلاس ۳	کلاس ۴	جمع
۶۵	تعداد بلوک‌ها	۱۸۸	۲۷	۴	۲۳	۲۴۲
	حجم کلی (m^3)	۶۵۶۶۰/۵	۱۵۴/۷۴۱	۶/۳۹۰۷	۴/۵۵۸۷	۶۵۸۲۶/۱۹۰۴
	میانگین حجم	۳۴۹/۲۶	۵/۷۳	۱/۶۰	۰/۲۰	۲۷۲/۰۱
	ارزش	۱۱۴,۹۰۵,۸۷۵,۰۰۰	۱۵۴,۷۴۱,۰۰۰	۲,۳۹۶,۵۱۳	۰	۱۱۵,۰۶۳,۰۱۲,۵۱۳
۷۰	تعداد بلوک‌ها	۱۹۱	۱۹	۵	۱۴	۲۲۹
	حجم کلی (m^3)	۶۵۷۰۵/۹۷	۱۱۰/۷۶۳	۷/۰۲۹۴۸	۲/۵۱۲۱	۶۵۸۲۶/۲۷۴۵۸
	میانگین حجم	۳۴۴/۰۱	۵/۸۳	۱/۴۱	۰/۱۸	۲۸۷/۴۵۰۹۸۰۷
	ارزش	۱۱۴,۹۸۵,۴۴۷,۵۰۰	۱۱۰,۷۶۳,۰۰۰	۲,۶۳۶,۰۵۵	۰	۱۱۵,۰۹۸,۸۴۶,۵۵۵
۷۵	تعداد بلوک‌ها	۱۹۷	۲۹	۸	۲۸	۲۶۲
	حجم کلی (m^3)	۶۵۶۳۳/۲	۱۷۱/۵۲	۱۲/۳۷۸	۹/۱۱۰۱	۶۵۸۲۶/۲۰۸۱
	میانگین حجم	۳۳۳/۱۶	۵/۹۱	۱/۵۵	۰/۳۳	۲۵۱/۲۴۵۰۶۹۱
	ارزش	۱۱۴,۸۵۸,۱۰۰,۰۰۰	۱۷۱,۵۲۰,۰۰۰	۴,۶۴۱,۷۵۰	۰	۱۱۵,۰۳۴,۲۶۱,۷۵۰
۸۰	تعداد بلوک‌ها	۱۹۷	۲۷	۴	۲۲	۲۵۰
	حجم کلی (m^3)	۶۵۶۳۴/۹	۱۷۹/۲۴	۶/۳۸۶۳	۵/۷۰۵۸	۶۵۸۲۶/۲۳۲۱
	میانگین حجم	۳۳۳/۱۷	۶/۶۴	۱/۶۰	۰/۲۶	۲۶۳/۳۰۴۹۲۸۴
	ارزش	۱۱۴,۸۶۱,۰۷۵,۰۰۰	۱۷۹,۲۴۰,۰۰۰	۲,۳۹۴,۸۶۳	۰	۱۱۵,۰۴۲,۷۰۹,۸۶۳
۸۵	تعداد بلوک‌ها	۱۸۶	۳۶	۱۱	۲۴	۲۵۷
	حجم کلی (m^3)	۶۵۵۹۰/۳	۲۱۲/۷	۱۶/۲۶۳	۶/۹۷۱۱	۶۵۸۲۶/۲۳۴۱
	میانگین حجم	۳۵۲/۶۴	۵/۹۱	۱/۴۸	۰/۲۹	۲۵۶/۱۳۳۲۰۶۶
	ارزش	۱۱۴,۷۸۳,۰۲۵,۰۰۰	۲۱۲,۷۰۰,۰۰۰	۶,۰۹۸,۶۲۵	۰	۱۱۵,۰۰۱,۸۲۳,۶۲۵
۹۰	تعداد بلوک‌ها	۱۹۳	۳۰	۶	۳۲	۲۶۱
	حجم کلی (m^3)	۶۵۶۱۹/۴	۱۹۱/۹۷	۷/۶۳۳۹	۷/۲۳۷۱	۶۵۸۲۶/۲۴۱
	میانگین حجم	۳۴۰/۰۰	۶/۴۰	۱/۲۷	۰/۲۳	۲۵۲/۲۰۷۸۱۹۹
	ارزش	۱۱۴,۸۳۳,۹۵۰,۰۰۰	۱۹۱,۹۷۰,۰۰۰	۲,۸۶۲,۷۱۳	۰	۱۱۵,۰۲۸,۷۸۲,۷۱۳
۹۵	تعداد بلوک‌ها	۱۹۵	۲۶	۷	۲۷	۲۵۵
	حجم کلی (m^3)	۶۵۶۵۶/۵	۱۵۳/۷۶	۱۰/۷۲۲	۸/۲۷۳۶	۶۵۸۲۹/۲۵۵۶
	میانگین حجم	۳۳۶/۷۰	۵/۹۱	۱/۵۳	۰/۳۱	۲۵۸/۱۵۳۹۴۳۵
	ارزش	۱۱۴,۸۹۸,۸۷۵,۰۰۰	۱۵۳,۷۶۰,۰۰۰	۴,۰۲۰,۷۵۰	۰	۱۱۵,۰۵۶,۶۵۵,۷۵۰
۱۰۰	تعداد بلوک‌ها	۱۹۳	۳۴	۷	۱۴	۲۴۸
	حجم کلی (m^3)	۶۵۵۸۴/۹	۲۲۶/۰۸	۹/۸۵۰۴	۵/۳۵۳۹	۶۵۸۲۶/۱۸۴۳
	میانگین حجم	۳۳۹/۸۲	۶/۶۵	۱/۴۱	۰/۳۸	۲۶۵/۴۲۸۱۶۲۵
	ارزش	۱۱۴,۷۷۳,۵۷۵,۰۰۰	۲۲۶,۰۸۰,۰۰۰	۳,۶۹۳,۹۰۰	۰	۱۱۵,۰۰۳,۳۴۸,۹۰۰

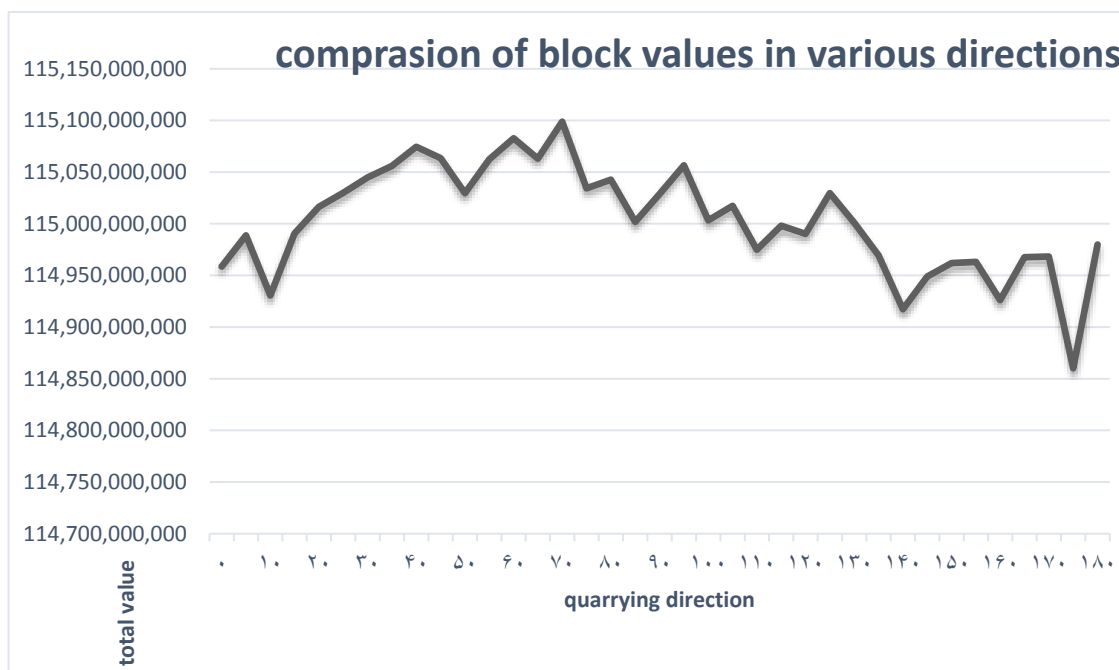
چرخش درزها (AZ)	مشخصات تولید	کلاس ۱	کلاس ۲	کلاس ۳	کلاس ۴	جمع
۱۰۵	تعداد بلوک‌ها	۱۹۹	۳۸	۶	۲۳	۲۶۶
	حجم کلی (m^3)	۶۵۶۰۶/۹	۲۰۱/۹۱	۸/۹۶۶۸	۸/۴۴۶۲	۶۵۸۲۶/۲۲۳
	میانگین حجم	۳۲۹/۶۸	۵/۳۱	۱/۴۹	۰/۳۷	۲۴۷/۴۶۷۰۰۳۸
	ارزش	۱۱۴,۸۱۲,۰۷۵,۰۰۰	۲۰۱,۹۱۰,۰۰۰	۳,۳۶۲,۵۵۰	۰	۱۱۵,۰۱۷,۳۴۷,۵۵۰
۱۱۰	تعداد بلوک‌ها	۱۹۹	۳۹	۶	۲۸	۲۷۲
	حجم کلی (m^3)	۶۵۵۵۴	۲۵۱/۷۱	۹/۹۳۲۶	۱۰/۶۲۶	۶۵۸۲۶/۲۷
	میانگین حجم	۳۲۹/۴۲	۶/۴۵	۱/۶۶	۰/۳۸	۲۴۲/۰۰۸۳۴۰۴
	ارزش	۱۱۴,۷۱۹,۵۰۰,۰۰۰	۲۵۱,۷۱۰,۰۰۰	۳,۷۲۴,۷۲۵	۰	۱۱۴,۹۷۴,۹۳۴,۷۲۵
۱۱۵	تعداد بلوک‌ها	۲۰۵	۳۶	۷	۳۶	۲۸۴
	حجم کلی (m^3)	۶۵۵۸۴/۳	۲۲۱/۷۱۵	۱۰/۴۰۵	۹/۸۲۱۴	۶۵۸۲۶/۲۴
	میانگین حجم	۳۱۹/۹۲	۶/۱۶	۱/۴۹	۰/۲۷	۲۳۱/۷۸۲۵۴۰۱
	ارزش	۱۱۴,۷۷۲,۵۲۵,۰۰۰	۲۲۱,۷۱۵,۰۰۰	۳,۹۰۱,۸۷۵	۰	۱۱۴,۹۹۸,۱۴۱,۸۷۵
۱۲۰	تعداد بلوک‌ها	۲۱۱	۳۸	۱۱	۲۲	۲۸۲
	حجم کلی (m^3)	۶۵۵۷۳/۸	۲۳۰/۲۲	۱۵/۶۴۵	۶/۵۵۷	۶۵۸۲۶/۲۲
	میانگین حجم	۳۱۰/۷۸	۶/۰۶	۱/۴۲	۰/۳۰	۲۳۳/۴۲۶۳۱۹
	ارزش	۱۱۴,۷۵۴,۱۵۰,۰۰۰	۲۳۰,۲۲۰,۰۰۰	۵,۸۶۶,۸۷۵	۰	۱۱۴,۹۹۰,۲۳۶,۸۷۵
۱۲۵	تعداد بلوک‌ها	۲۲۱	۲۹	۵	۳۱	۲۸۶
	حجم کلی (m^3)	۶۵۶۲۶/۷	۱۸۰/۲۴۳	۶/۹۲۵	۱۰/۳۷۹	۶۵۸۲۴/۲۵
	میانگین حجم	۲۹۶/۹۵	۶/۲۲	۱/۳۹	۰/۳۳	۲۳۰/۱۵۴۷۰۹۸
	ارزش	۱۱۴,۸۴۶,۷۲۵,۰۰۰	۱۸۰,۲۴۳,۰۰۰	۲,۵۹۶,۸۷۵	۰	۱۱۵,۰۲۹,۵۶۴,۸۷۵
۱۳۰	تعداد بلوک‌ها	۲۲۴	۳۵	۱۰	۲۳	۲۹۲
	حجم کلی (m^3)	۶۵۵۸۵/۹	۲۲۰	۱۵/۱۸۷	۵/۱۳۴	۶۵۸۲۶/۲۲
	میانگین حجم	۲۹۲/۷۹	۶/۲۹	۱/۵۲	۰/۲۲	۲۲۵/۴۳۲۲۶۳۷۰
	ارزش	۱۱۴,۷۷۵,۳۲۵,۰۰۰	۲۲۰,۰۰۰,۰۰۰	۵,۶۹۵,۱۲۵	۰	۱۱۵,۰۰۱,۰۲۰,۱۲۵
۱۳۵	تعداد بلوک‌ها	۲۱۲	۴۲	۸	۳۳	۲۹۵
	حجم کلی (m^3)	۶۵۵۴۳	۲۶۴/۵۱۱	۱۲/۲۵۵	۶/۴۳۴۸	۶۵۸۲۶/۲۰
	میانگین حجم	۳۰۹/۱۷	۶/۳۰	۱/۵۳	۰/۱۹	۲۲۲/۹۶۱۵۰۳۳۹
	ارزش	۱۱۴,۷۰۰,۲۵۰,۰۰۰	۲۶۴,۵۱۱,۰۰۰	۴,۵۹۵,۶۲۵	۰	۱۱۴,۹۶۹,۳۵۶,۶۲۵
۱۴۰	تعداد بلوک‌ها	۲۲۳	۴۵	۱۰	۲۸	۳۰۶
	حجم کلی (m^3)	۶۵۴۷۸/۱	۳۲۴/۹۶۸	۱۴/۸۵	۸/۳۴۴	۶۵۸۲۶/۲۶
	میانگین حجم	۲۹۳/۶۲	۷/۲۲	۱/۴۹	۰/۳۰	۲۱۵/۱۱۸۵۰۳۲۷
	ارزش	۱۱۴,۵۸۶,۶۷۵,۰۰۰	۳۲۴,۹۶۸,۰۰۰	۵,۵۶۸,۷۵۰	۰	۱۱۴,۹۱۷,۲۱۱,۷۵۰

چرخش درزها (AZ)	مشخصات تولید	کلاس ۱	کلاس ۲	کلاس ۳	کلاس ۴	جمع
۱۴۵	تعداد بلوک‌ها	۲۲۹	۴۱	۱۱	۳۵	۳۱۶
	حجم کلی (m^3)	۶۵۵۲۶/۳	۲۷۱/۲۳۲	۱۷/۶۳۲	۱۱/۰۸۴	۶۵۸۲۶/۲۵
	میانگین حجم	۲۸۶/۱۴	۶/۶۲	۱/۶۰	۰/۳۲	۲۰۸/۳۱
	ارزش	۱۱۴,۶۷۱,۰۲۵,۰۰۰	۲۷۱,۲۳۲,۰۰۰	۶,۶۱۲,۰۰۰	۰	۱۱۴,۹۴۸,۸۶۹,۰۰۰
۱۵۰	تعداد بلوک‌ها	۲۴۱	۴۵	۹	۴۸	۳۴۳
	حجم کلی (m^3)	۶۵۵۴۲	۲۵۸/۰۵۴	۱۴/۳۱۱	۱۱/۸۲	۶۵۸۲۶/۱۹
	میانگین حجم	۲۷۱/۹۶	۵/۷۳	۱/۵۹	۰/۲۵	۱۹۱/۹۱
	ارزش	۱۱۴,۶۹۸,۵۰۰,۰۰۰	۲۵۸,۰۵۴,۰۰۰	۵,۳۶۶,۶۲۵	۰	۱۱۴,۹۶۱,۹۲۰,۶۲۵
۱۵۵	تعداد بلوک‌ها	۲۴۷	۵۱	۹	۴۳	۳۵۰
	حجم کلی (m^3)	۶۵۵۴۷/۴	۲۵۰/۲۱۹	۱۳/۳۵۷	۱۵/۲۱۸	۶۵۸۲۶/۱۹
	میانگین حجم	۲۶۵/۳۷	۴/۹۱	۱/۴۸	۰/۳۵	۱۸۸/۰۷
	ارزش	۱۱۴,۷۰۷,۹۵۰,۰۰۰	۲۵۰,۲۱۹,۰۰۰	۵,۰۰۸,۸۷۵	۰	۱۱۴,۹۶۳,۱۷۷,۸۷۵
۱۶۰	تعداد بلوک‌ها	۲۵۰	۴۷	۱۲	۴۱	۳۵۰
	حجم کلی (m^3)	۶۵۴۹۹/۳	۲۹۵/۵۹۵	۱۸/۱۰۶	۱۳/۱۸۵	۶۵۸۲۶/۱۹
	میانگین حجم	۲۶۲/۰۰	۶/۲۹	۱/۵۱	۰/۳۲	۱۸۸/۰۷
	ارزش	۱۱۴,۶۲۳,۷۷۵,۰۰۰	۲۹۵,۵۹۵,۰۰۰	۶,۷۸۹,۷۵۰	۰	۱۱۴,۹۲۶,۱۵۹,۷۵۰
۱۶۵	تعداد بلوک‌ها	۲۶۲	۴۵	۶	۳۹	۳۵۲
	حجم کلی (m^3)	۶۵۵۴۰/۳	۲۶۸/۸۷۳	۸/۶۴۲۲	۸/۳۶۷۲	۶۵۸۲۶/۱۸
	میانگین حجم	۲۵۰/۱۵	۵/۹۷	۱/۴۴	۰/۲۱	۱۸۷/۰۱
	ارزش	۱۱۴,۶۹۵,۵۲۵,۰۰۰	۲۶۸,۸۷۳,۰۰۰	۳,۲۴۰,۸۲۵	۰	۱۱۴,۹۶۷,۶۳۸,۸۲۵
۱۷۰	تعداد بلوک‌ها	۲۵۲	۳۷	۱۵	۳۷	۳۴۱
	حجم کلی (m^3)	۶۵۵۵۵/۱	۲۳۸/۳۶۶	۲۲/۷۱۵	۱۰/۰۹۴	۶۵۸۲۶/۲۸
	میانگین حجم	۲۶۰/۱۴	۶/۴۴	۱/۵۱	۰/۲۷	۱۹۳/۰۴
	ارزش	۱۱۴,۷۲۱,۴۲۵,۰۰۰	۲۳۸,۳۶۶,۰۰۰	۸,۵۱۸,۱۲۵	۰	۱۱۴,۹۶۸,۳۰۹,۱۲۵
۱۷۵	تعداد بلوک‌ها	۲۴۹	۵۹	۹	۴۷	۳۶۴
	حجم کلی (m^3)	۶۵۴۱۱/۹	۳۸۴/۳۳	۱۳/۴۷	۱۶/۴۷۹	۶۵۸۲۶/۱۸
	میانگین حجم	۲۶۲/۷۰	۶/۵۱	۱/۵۰	۰/۳۵	۱۸۰/۸۴
	ارزش	۱۱۴,۴۷۰,۸۲۵,۰۰۰	۳۸۴,۳۳۰,۰۰۰	۵,۰۵۱,۲۵۰	۰	۱۱۴,۸۶۰,۲۰۶,۲۵۰
۱۸۰	تعداد بلوک‌ها	۲۵۸	۴۰	۱۰	۴۳	۳۵۱
	حجم کلی (m^3)	۶۵۵۶۴/۹	۲۳۵/۶۴	۱۵/۰۵۱	۱۰/۵۸۷	۶۵۸۲۶/۱۸
	میانگین حجم	۲۵۴/۱۳	۵/۸۹	۱/۵۱	۰/۲۵	۱۸۷/۵۴
	ارزش	۱۱۴,۷۳۸,۵۷۵,۰۰۰	۲۳۵,۶۴۰,۰۰۰	۵,۶۴۴,۱۲۵	۰	۱۱۴,۹۷۹,۸۵۹,۱۲۵

برای تعیین جهت مناسب استخراج، به مقایسه ارزش کلی بلوک‌ها به ازای چرخش آزمون درزه‌های مختلف پرداخته شده است. به این صورت که در نمودار ۵-۱ و نمودار ۵-۲ محور Xها چرخش آزمون درزه‌های مختلف و محور Yها ارزش (درآمد) را نشان می‌دهد. سپس از بین چرخش آزمون درزه‌های مختلف، آزمون درزه‌ای که بیشترین ارزش کلی را به دست آورده باشد، به عنوان بهترین راستای (امتداد) جهت بهینه استخراج پادساعت گرد در نظر گرفته می‌شود.



نمودار ۵-۱: مقایسه ارزش کلی بلوک‌ها به ازای چرخش آزمون درزه‌ها مختلف در معدن کپول



نمودار ۵-۲: مقایسه ارزش کلی بلوک‌ها به ازای چرخش آزمون درزه‌ها مختلف در معدن کپیول به صورت نمودار خطی

۵-۷- تعیین جهت بهینه استخراج

با تغییر گام ۵ درجه‌ای آزمون درزه‌ها، بیشترین نرخ کوپ‌دهی قابل فروش (حجم بلوک‌ها در هر کلاس) و ابعاد اقتصادی کوپ‌ها در جدول ۵-۵ محاسبه شده است. با توجه به نمودار ۵-۱ و نمودار ۵-۲، بیشترین ارزش (درآمد) در چرخش آزمون درزه‌های ۴۰، ۶۰، ۷۰، ۹۵ است. از طرفی با توجه به شرایط دسته‌درزه معدن کپیول، و همچنین با تغییر ۷۰ درجه چرخش آزمون درزه‌ها به صورت ساعت‌گرد معادل تغییر راستای (امتداد) استخراج به اندازه‌ی ۷۰ درجه در جهت پادساعت‌گرد است. راستای ۷۰ درجه پادساعت‌گرد به عنوان بهترین جهت استخراج معدن انتخاب شده است. اگر این معدن در راستای (امتداد) ۷۰ درجه پادساعت‌گرد استخراج شود، نتایج جدول ۵-۶ حاصل می‌شود. ذخیره قابل استخراج این معدن پس از اعمال چرخش راستای استخراج به میزان ۷۰ درجه جهت پادساعت‌گرد، در کلاس ۱ برابر ۶۵۷۰۵/۹۷ مترمکعب، کلاس ۲ برابر ۱۱۰/۷۶۳ مترمکعب، کلاس ۳ برابر ۷/۰۲۹ مترمکعب، کلاس ۴ (باطله) برابر ۲/۵۱ مترمکعب خواهد شد. از طرفی چگالی سنگ‌های این معدن برابر با ۲/۵ تن بر مترمکعب است. قیمت فروش کوپ‌های خام در این معدن در کلاس ۱ که

دارای حجم بیشتر از ۱۲ مترمکعب است به ارزش ۷۰۰ هزار تومان، کلاس ۲ که دارای حجم بین ۱۲ تا ۲ مترمکعب است به ارزش ۴۰۰ هزار تومان، کلاس که دارای حجم بین ۲ تا ۱ مترمکعب است به ارزش ۱۵۰ هزار تومان، کلاس ۴ که دارای حجم کمتر از ۱ مترمکعب است به ارزش ۰ هزار تومان است.

جدول ۵-۶: نتایج حاصل از اعمال چرخش راستای استخراج ۷۰ درجه جهت پادساعت گرد

چرخش درزه‌ها (AZ)	مشخصات تولید	کلاس ۱	کلاس ۲	کلاس ۳	باطله	جمع
۷۰	تعداد بلوک‌ها	۱۹۱	۱۹	۵	۱۴	۲۲۹
	حجم کلی (m^3)	۶۵۷۰۵/۹۷	۱۱۰/۷۶۳	۷/۰۲۹۴۸	۲/۵۱۲۱	۶۵۸۲۶/۲۷۴۵۸
	میانگین حجم	۳۴۴/۰۱	۵/۸۳	۱/۴۱	۰/۱۸	۲۸۷/۴۵۰۹۸۰۷
	ارزش	۱۱۴,۹۸۵,۴۴۷,۵۰۰	۱۱۰,۷۶۳,۰۰۰	۲,۶۳۶,۰۵۵	۰	۱۱۵,۰۹۸,۸۴۶,۵۵۵

درآمد حاصل از فروش سنگ‌های این معدن طبق معادله ۱ برحسب تومان برابر است با:

کلاس ۱

$$I = ۶۵۶۹۸/۸ \times ۲/۵ \times ۷۰۰۰۰۰ = ۱۱۴۹۸۵۴۴۷۵۰۰$$

کلاس ۲

$$I = ۱۰۱/۶۳ \times ۲/۵ \times ۴۰۰۰۰۰ = ۱۱۰۷۶۳۰۰۰$$

کلاس ۳

$$I = ۱۴/۶۷۴ \times ۲/۵ \times ۱۵۰۰۰۰ = ۲۶۳۶۰۵۵$$

کلاس ۴

$$I = ۱۱/۰۸ \times ۲/۵ \times ۰ = ۰$$

مجموع کلاس‌ها

$$I_{total}=114985447500 + 110763000 + 2636055 + 0 = 115098846555$$

با توجه به جدول ۵-۷ میزان درآمد معدن بدون تغییر راستای استخراج ۱۱۴ میلیارد ۹۵۸ میلیون تومان است، از طرفی حجم کوپ‌های قابل فروش در کلاس ۱ به مقدار ۶۵۵۲۸/۱ مترمکعب و میزان باطله ما ۱۰ مترمکعب است.

جدول ۵-۷: حجم بلوک و میزان درآمد معدن بدون تغییر راستای استخراج

چرخش درزها (AZ)	مشخصات تولید	کلاس ۱	کلاس ۲	کلاس ۳	کلاس ۴	جمع
۰	تعداد بلوک‌ها	۲۶۰	۴۶	۴	۳۸	۳۴۸
	حجم کلی (m^3)	۶۵۵۲۸/۱	۲۸۲/۱	۵/۹۹۳۹	۱۰/۰۷۶	۶۵۸۲۶/۲۶۸۹
	میانگین حجم	۲۵۲/۰۳	۶/۱۳	۱/۵۰	۰/۲۷	۱۸۹/۱۶
	ارزش	۱۱۴,۶۷۴,۱۷۵,۰۰۰	۲۸۲,۱۰۰,۰۰۰	۲,۲۴۷,۳۳۸	۰	۱۱۴,۹۵۸,۵۲۲,۳۳۸

با توجه به جدول ۵-۶ میزان درآمد معدن با تغییر راستای (امتداد) استخراج به اندازه ۷۰ درجه پادساعت گرد، ۱۱۵ میلیارد و ۹۸ میلیون تومان است، از طرفی حجم کوپ‌های قابل فروش در کلاس ۱ به مقدار ۶۵۷۰۵/۹۷ مترمکعب و میزان باطله ما ۲/۵ مترمکعب است.

همان‌طور که در جدول ۵-۶ و جدول ۵-۷ مشاهده می‌کنید، اگر این معدن راستای (امتداد) استخراج خود را ۷۰ درجه به سمت غرب تغییر بدهد، به میزان ۱۴۰ میلیون تومان برای معدن سود به همراه دارد، به دین معنی که با استخراج این معدن در راستای ۷۰ درجه پادساعت گرد بیشترین میزان کوپ‌دهی و درآمد و کمترین باطله، حاصل می‌شود.

۵-۸- جمع بندی

درمجموع با توجه به نتایج به دست آمده، در نظر گرفتن هندسه واقعی ناپیوستگی ها در اجرای تحلیل ها، تأثیر غیرقابل انکاری در نتایج به دست آمده خواهد داشت. بامطالعه موردی انتخاب شده در این پایان نامه، توجه به وجود ناپیوستگی ها می تواند در انتخاب جهت پیشروی و به تبع آن کوپ دهی و راندمان استخراج مؤثر باشد. علاوه بر این جهت استخراج انتخابی نیز در تعیین دقیق ابعاد کوپ و میزان باطله تأثیرگذار است و همین مسئله اهمیت انتخاب جهت استخراج بهینه را افزایش می دهد. با تغییر درزه ها به ازای چرخش آزمون های مختلف، بیشترین نرخ کوپ دهی قابل فروش (حجم بلوک در هر کلاس) و ابعاد اقتصادی کوپ ها محاسبه شده است. سپس از بین آزمون درزه های مختلف، آزمون درزه ای که بیشترین ارزش کلی را به دست آورده باشد، به عنوان بهترین راستای (امتداد) جهت پادساعت گرد استخراج انتخاب می شود.

نتیجہ گیری و پیشہادات

۶-۱- نتیجه‌گیری

مدل‌سازی توده سنگ و شناسایی بلوک‌ها و مشخصات هندسی آن‌ها، مهم‌ترین مرحله در آنالیز پایداری و رفتاری توده سنگ است. ابتدا خصوصیات هندسی ناپیوستگی‌ها به روش‌های مختلفی مانند خط برداشت و نظایر آن جمع‌آوری می‌شوند و مشخصات آماری هر دسته‌درزه منطقه مشخص می‌شود تا بتوان شبکه ناپیوستگی را مدل‌سازی کرد. در این تحقیق برای شناسایی بلوک‌های حاصل از برخورد دسته‌درزه‌ها، از نرم‌افزار 3DEC استفاده شده است. با استفاده از این نرم‌افزار مدل بلوکی سه‌بعدی معدن تهیه شده است. سپس خصوصیات هندسی برداشت شده از ناپیوستگی‌های منطقه وارد نرم‌افزار Dips شده و اطلاعات هندسی به‌دست‌آمده از تحلیل نرم‌افزار Dips و همچنین اطلاعات به‌دست‌آمده از برش حاصل از سیم برش الماسه وارد مدل بلوکی معدن می‌شود و در نهایت با شبیه‌سازی چرخش آزمایشی درزه‌های مختلف، بهترین راستای استخراج سنگ‌ساختمانی، که منجر به بیشترین کوپ‌دهی و کمترین باطله می‌شود. به دست می‌آید.

در این تحقیق، با یک مطالعه پیرامون ویژگی‌ها و وضعیت کلی ناپیوستگی‌های موجود در معدن سنگ ساختمانی کپیول، مشاهده شد که تعیین جهت استخراج بهینه برای این معدن اهمیت زیادی دارد. با محاسباتی که صورت گرفت، راستای (امتداد) استخراج بهینه ۷۰ درجه جهت پادساعت‌گرد به دست آمد. بنابراین امتداد جهت استخراج برابر $N 70^{\circ} W$ یا $S 70^{\circ} E$ خواهد بود، در جهت $S 70^{\circ} E$ ، این معدن به سمت جاده و رمپ می‌رسد. بنابراین جهت استخراج بهینه، جهت متناظر آن یعنی $N 70^{\circ} W$ خواهد بود. در حال حاضر، استخراج از این معدن در جهت $N 0^{\circ} W$ (شمال و شمال غربی) انجام می‌شود، بنابراین، جهت استخراج فعلی رو باید به میزان ۷۰ درجه به سمت غرب تغییر کند تا بیشترین کوپ‌دهی حاصل شود. با توجه به جدول ۵-۲، جهت دسته‌درزه‌های غالب در این معدن در جهت $N 19^{\circ} E$ است. نکته جالب که در اینجا وجود دارد این است که جهت استخراج بهینه به‌دست‌آمده تقریباً بر جهت دسته‌درزه غالب معدن عمود است. پس به‌طور کلی در معادن سنگ ساختمانی نتیجه گرفت می‌شود که امتداد

جهت استخراج بهینه، تقریباً باید عمود بر امتداد جهت دسته‌درزه‌های غالب منطقه باشد. اگر این راستای جهت استخراج بر معدن کپیول اعمال شود، میزان کوپ‌های قابل‌فروش در چهار کلاس ۶۵۸۲۶/۲۷ مترمکعب حاصل می‌شود که باعث درآمد حدود ۱۱۵ میلیارد ۹۸ میلیون تومان خواهد شد.

۶-۲- پیشنهاد

- در این تحقیق، برای برداشت ناپیوستگی‌های موجود در منطقه از روش خط برداشت^۱ استفاده شد. در این روش فقط ناپیوستگی‌های قابل‌مشاهده در سطح سنگ قابل‌برداشت هستند و بنابراین تغییرات در امتداد، شیب و تداوم درزه‌ها در توده‌ی سنگ قابل‌برداشت نیستند. برای مطالعات بعدی در این زمینه پیشنهاد می‌شود که از روش‌های دیگر نظیر گمانه‌های اکتشافی و بررسی شکستگی‌ها در مغزه‌های حفاری یا استفاده از روش‌های ژئوفیزیک برای شناسایی عوارض ساختاری کامل‌تر شود. روش‌های نظیر GPR برای برداشت ناپیوستگی‌ها استفاده شود، تا بتوان وضعیت ناپیوستگی‌ها از جمله تغییرات شیب، امتداد و تداوم ناپیوستگی در دل توده‌ی سنگ را نیز مدنظر قرار داده و عمل بهینه‌سازی استخراج به‌طور مؤثرتری انجام شود.
- از آنجاکه این مطالعه در یک معدن فعال در حال استخراج انجام‌شده است، لذا ارتفاع هر پله از پیش طراحی، اعمال‌شده است، حال آنکه در مواردی که هدف از مطالعه‌ی ناپیوستگی‌ها، طراحی روش و چگونگی استخراج و یا طراحی ابعاد پله‌های استخراجی در معدن باشد، می‌توان پیرامون تغییر در ارتفاع پله‌ها و تأثیر آن در کاهش خردشدگی بلوک‌های سنگی و بهینه‌سازی استخراج نیز مطالعات مفید و ارزنده‌ای انجام داد.
- در این تحقیق کلاس‌بندی حجم بلوک‌ها در بازده کمی قرار داشتند، پیشنهاد می‌شود که این کلاس‌بندی در بازده بیشتری قرار بگیرند.

¹ Scanline

منابع

- [۱] عطایی، م، استخراج سنگ های ساختمانی، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۳۸۷.
- [۲] بصیری، م، "تحلیل ساختاری شکستگی های معادن و محدوده های اکتشافی سنگ های ساختمانی و تزئینی به منظور برآورد امکان استخراج"، مجموعه مقالات سی امین گردهمایی علوم زمین، اسفند ۱۳۹۰.
- [۳] V. Sharma and K. Saxena, *In-situ characterization of rocks*. AA Balkema, 2002.
- [۴] P. Warburton, "Applications of a new computer model for reconstructing blocky rock geometry-analysing single block stability and identifying keystones," in *5th ISRM Congress*, 1983: International Society for Rock Mechanics and Rock Engineering.
- [۵] P. Warburton, "A computer program for reconstructing blocky rock geometry and analyzing single block stability," *Computers & Geosciences*, vol. 11, no. 6, pp. 707-712, 1985.
- [۶] P. Lu and J.-P. Latham, "Developments in the assessment of in-situ block size distributions of rock masses," *Rock mechanics and rock engineering*, vol. 32, no. 1, pp. 29-49, 1999.
- [۷] P. Starzec and C.-F. Tsang, "Use of fracture-intersection density for predicting the volume of unstable blocks in underground openings," *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, vol. 6, no. 39, pp. 807-813, 2002.
- [۸] J. Smith, "Determining the size and shape of blocks from linear sampling for geotechnical rock mass classification and assessment," *Journal of structural geology*, vol. 26, no. 6-7, pp. 1317-1339, 2004.
- [۹] A. F. M. J. F. Joaquim and A. Jorge, "Polygon detection from a set of lines," 2003.
- [۱۰] D. Heliot, "Generating a blocky rock mass," in *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 1988, vol. 25, no. 3, pp. 127-138: Elsevier.
- [۱۱] گودمن ر و شی ج ه، ترجمه دهقان بنادکی م م، (۱۳۸۰)، "تئوری بلوک و کاربرد آن در مهندسی سنگ"، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.

- [۱۲] S. Gen-Hua, "Discontinuous Deformation Analysis A New Numerical Model for the Static and Dynamics of Block Systems," *PhD Dissertation, Dept. of Civil Engineering*, 1989.
- [۱۳] D. Lin, C. Fairhurst, and A. Starfield, "Geometrical identification of three-dimensional rock block systems using topological techniques," in *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts*, 1987, vol. 24 ,no. 6, pp. 331-338: Elsevier.
- [۱۴] N. H. Maerz and P. Germain, "Block size determination around underground openings using simulations," *Measurement of Blast Fragmentation*, pp. 215-223, 1996.
- [۱۵] L. Jing and O. Stephansson, "Topological identification of block assemblages for jointed rock masses," in *International journal of rock mechanics and mining sciences & geomechanics abstracts*, 1994, vol. 31, no. 2, pp. 163-172: Elsevier.
- [۱۶] L. Jing, "Block system construction for three-dimensional discrete element models of fractured rocks," *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, vol. 37, no. 4, pp. 645-659, 2000.
- [۱۷] L. Jing and O. Stephansson, *Fundamentals of discrete element methods for rock engineering: theory and applications*. Elsevier, 2007.
- [۱۸] J. Lu, "Systematic identification of polyhedral rock blocks with arbitrary joints and faults," *Computers and Geotechnics*, vol. 29, no. 1, pp. 49-72, 2002.
- [۱۹] E. Ülker and A. Turanboy, "Maximum volume cuboids for arbitrarily shaped in-situ rock blocks as determined by discontinuity analysis—A genetic algorithm approach," *Computers & Geosciences*, vol. 35, no. 7, pp. 1470-1480, 2009.
- [۲۰] M. Khishvand, A. Jafari, and H. Rahami, "Developing an algorithm for reconstruction of blocky systems in discontinuous media: two-dimensional analysis," *Geomechanics and Geoengineering*, vol. 6, no. 3, pp. 171-183, 2011.
- [۲۱] Zhang, Yuting, Ming Xiao, and Juntao Chen. "A new methodology for block identification and its application in a large scale underground cavern complex." *Tunnelling and Underground Space Technology* 25.2 (2010):168-180.

- [٢٢] Zhang, Yuting, et al. "Improvement of methodology for block identification using mesh gridding technique." *Tunnelling and Underground Space Technology* 30 (2012): 217-229.
- [٢٣] Taboada, J., et al. "Quality index for ornamental slate deposits." *Engineering Geology* 50.1-2 (1998): 203-210.
- [٢٤] Taboada, J., A. Vaamonde, and A. Saavedra. "Evaluation of the quality of a granite quarry." *Engineering Geology* 53.1 (1999): 1-11.
- [٢٥] Taboada, J., et al. "Fuzzy expert system for economic zonation of an ornamental slate deposit." *Engineering Geology* 84.3-4 (2006): 220-228.
- [٢٦] Mutlutürk, M. "Determining the amount of marketable blocks of dimensional stone before actual extraction." *Journal of mining science* 43-1 (2007): 67-72.
- [٢٧] Kim, B. H., et al. "Estimation of block sizes for rock masses with non-persistent joints." *Rock Mechanics and Rock Engineering* 40-2 (2007): 169.
- [٢٨] Sousa, Luís MO. "Granite fracture index to check suitability of granite outcrops for quarrying." *Engineering Geology* 92.3-4 (2007): 146-159.
- [٢٩] Sousa, L. M. O. "Evaluation of joints in granitic outcrops for dimension stone exploitation." *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology* 43.1 (2010):85-94.
- [٣٠] Elmouttie, Marc, George Poropat, and Grégoire Krähenbühl. "Polyhedral modelling of rock mass structure." *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 47.4 (2010): 544-552.
- [٣١] Elmouttie, M. K., and G. V. Poropat. "A method to estimate in situ block size distribution." *Rock mechanics and rock engineering* 45.3 (2012): 401-407.
- [٣٢] Mosch,S.,etal. "Optimized extraction of dimension stone blocks." *Environmental Earth Sciences* 63.7-8 (2011): 1911-1924.
- [٣٣] Arosio, Diego, Stefano Munda, and Luigi Zanzi. "Quality control of stone blocks during quarrying activities." *2012 14th International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR)*. IEEE, 2012.

- [۳۴] Alade, S., O. Muriana, and H. Olayinka. "Modified volumetric joint count to check for suitability of granite outcrops for dimension stone production." *Journal of Engineering Science and Technology* 7.5 (2012): 646-660.
- [۳۵] Elci, Hakan, and Necdet Turk. "Rock mass block quality designation for marble production." *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 69 (2014): 26-30.
- [۳۶] Saliu, Muyideen Alade, and Kayode Augustine Idowu. "Investigating the effect of fracture on rock fragmentation efficiency: a case study of Kopec Granite Quarries, South Western, Nigeria." (2014).
- [۳۷] Stavropoulou, M. "Discontinuity frequency and block volume distribution in rock masses." *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 65 (2014): 62-74.
- [۳۸] Yarahmadi, R., Bagherpour, R., Kakaie, R., Mirzaie, N. H., & Yari, M. "Development of 2D computer program to determine geometry of rock mass blocks. *International Journal of Mining Science and Technology*", Vol. 24(2) (2018): p. 191-194.
- [۳۹] R. Yarahmadi, R. Bagherpour, L. M. Sousa, and S.-G. Taherian, "How to determine the appropriate methods to identify the geometry of in situ rock blocks in dimension stones," *Environmental Earth Sciences*, vol. 74, pp. 6779-6790, 2015.
- [۴۰] Azarafza, M., Ghazifard, A., Akgün, H., & Asghari-Kaljahi, E. "Development of a 2D and 3D computational algorithm for discontinuity structural geometry identification by artificial intelligence based on image processing techniques". *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78(5), 3371-3383 (2019).
- [۴۱] Yarahmadi, R., Bagherpour, R., Taherian, S. G., & Sousa, L. M. "Discontinuity modelling and rock block geometry identification to optimize production in dimension stone quarries". *Engineering Geology*, 232, 22-33. (2018)
- [۴۲] آ. حضرت حسینی س. مهدوی. "استفاده از الگوریتم ژنتیک برای معرفی شاخصی جدید به منظور تعیین کوبدهی معادن سنگ ساختمانی و یافتن جهت استخراج بهینه" نشریه علمی-پژوهشی مهندسی معدن, Vol 13, No 41, 2019., 91-101.

- [۴۳] Luodes, H., O. Selonen, and K. Pääkkönen. "Evaluation of dimension stone in gneissic rocks—a case history from southern Finland." *Engineering Geology* 58.2 (2000): 209-223.
- [۴۴] Moreiras, Sérgio Trajano Franco, Antenor Braga Paraguassú, and Rogério Pinto Ribeiro. "Dimension stone for building façades: methodology for structural design." *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 67.1 (2008): 53-57.
- [۴۵] Menezes, Romualdo R., et al. "Use of granite sawing wastes in the production of ceramic bricks and tiles." *Journal of the European Ceramic Society* 25.7 (2005): 1149-1158.
- [۴۶] Tomašić, Ivan. "The influence of discontinuity fabric and other factors on optimum exploitation of dimension stone." *Rudarsko-geološko-naftni zbornik* 6.1 (1994): 101-105.
- [۴۷] Selonen, O., H. Luodes, and C. Ehlers. "Exploration for dimensional stone—implications and examples from the Precambrian of southern Finland." *Engineering Geology* 56.3-4 (2000): 275-291.
- [۴۸] Kemeny, John, and Randy Post. "Estimating three-dimensional rock discontinuity orientation from digital images of fracture traces." *Computers & Geosciences* 29.1 (2003): 65-77.
- [۴۹] مدنی، ح، زمین‌شناسی ساختمانی و تکتونیک، انتشارات جهاد دانشگاهی واحد علامه طباطبائی، ۱۳۸۰.
- [۵۰] شامیرزای جوشقانی، ه، آموزش جامع نرم‌افزار 3DEC.
- [۵۱] جلالی، امیر، زمین‌شناسی مهندسی منطقه محلات اراک، ۱۳۷۲.
- [www.bhrc.ac.ir۵۲]
- [۵۳] شاهوار ورقی فراهانی، حسین، و نیما بابا نوری، "بهینه‌سازی راستای استخراج سنگ‌های ساختمانی با استفاده از تحلیل بلوکی (مطالعه موردی: معدن تراورتن دینگله کهریز)" چهارمین کنگره بین‌المللی عمران، معماری و توسعه شهری، تهران، دبیرخانه دائمی کنفرانس، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۳۹۵.

Abstract

Dimension stone industry, is now one of the world's most widely used by financial industry. Growth in using dimension stone in construction industry also shows the importance of this sector. Investment in this sector of the industry has always been associated with high risks. However, investing in this sector of the industry is always accompanied by high risks. Identification and modeling of discontinuities is one of the most fundamental issues in the exploration and extraction of masonry mines. Discontinuity analysis is generally overlooked in construction stone mines and during mining, many problems of severe crushing of the stone blocks, resulting in reduced extraction efficiency, result in a desirable mining cut. In this dissertation, first, important features of discontinuities such as persistence, spacing, orientation, etc. have been extracted in the Kipul Quarry stone mine. then, using 3DEC simulation of the block model and using block modeling, different joint azimuth rotation was investigated in four classes. analyzing the results obtained from the modeling showed that in order to obtain maximum value, the current extraction direction must be 70 degrees west, which resulted in an average in situ block of 287.58cubic meters and the amount of coups sold in four classes 65826.27 cubic meters, which according to the current rate will generate about 115 billion and 98 million USD for this mine.

Keywords: stone construction quarries, software 3DEC, coupling optimization, Analysis of discontinuities, Mining Kapul.



Faculty of mining, Petroleum and Geophysics Engineering

MSc Thesis in Mineral Excavation

Determination of optimum extraction to maximize coupling Quarry stone(Case study of Travertine Kapul Mine)

By: Hadi Salehabadi

Supervisors:

Dr. Mohamad Ataei

Dr. Ramin Rafiee

January, 2020