

تعیین جهت بهینه استخراج به منظور پیشینه سازی کوپ‌دهی سنگ ساختمانی با استفاده از مدل سازی ناپیوستگی‌ها (مطالعه موردی معدن تراورتن کپیول)

هادی صالح آبادی^۱، محمد عطایی^{۲*}، رامین رفیعی^۳

پذیرش مقاله: ۹۹/۰۶/۰۳

دریافت مقاله: ۹۸/۰۶/۲۰

چکیده

توده سنگ ساختمانی ترکیبی از سنگ و شبکه ناپیوستگی‌ها است. تقاطع ناپیوستگی‌ها، بلوک‌های سنگی با ابعاد متفاوت در این مجموعه ایجاد می‌کند. تعیین مشخصات هندسی بلوک‌های تشکیل شده در توده سنگ لازمه ارزیابی اقتصادی بودن ذخایر سنگ تزئینی است. از طرفی استخراج سنگ با صفحات برش انجام می‌شود و بهینه کردن الگو صفحات برشی برای استخراج بلوک‌های سنگی باعث افزایش بهره‌وری و کاهش باطله‌های ایجاد شده در معدن می‌شود. این عملیات موجب کاهش اثرات زیست محیطی و افزایش منافع اقتصادی خواهد شد. در این پژوهش، ابتدا خصوصیات مهم ناپیوستگی‌ها نظیر تداوم، فاصله‌داری، جهت‌یافتگی و... در معدن سنگ ساختمانی کپیول برداشت شده است. سپس با استفاده از نرم افزار 3DEC مدل بلوکی معدن ساخته شده و با استفاده از مدل سازی بلوکی، چرخش آزمون درزه‌های مختلف در چهار کلاس بررسی شدند. با تحلیل نتایج بدست آمده از مدل سازی 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 متر مکعب و میزان کوپ‌های قابل فروش در چهار کلاس ۶۵۸۲۶۲۷ متر مکعب حاصل می‌شود که براساس نرخ موجود منجر به درآمد حدود ۱۱۵ میلیارد و ۹۸ میلیون تومان برای این معدن خواهد شد.

کلید واژه‌ها: معدن سنگ‌های ساختمانی، نرم افزار 3DEC، بهینه‌سازی کوپ‌دهی، معدنکاری، تحلیل ناپیوستگی

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد استخراج مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی شاهرود

^۲ استاد دانشکده مهندسی معدن نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود ataei@shahroodut.ac.ir

^۳ استادیار دانشکده مهندسی معدن نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود

* مسئول مکاتبات

۱. مقدمه

همچنین در سال (۲۰۱۰) به بررسی تاثیر ویژگی‌های درزه در اندازه بلوک پرداخت و یک شاخص شکست در سنگ‌های ساختمانی تعریف کرد. نتایج در مورد اهمیت در نظر گرفتن ویژگی‌های درزه‌ها مختلف برای بهبود ارزیابی اندازه بلوک و کاهش ریسک از معدن گرانتیت را نشان داد (Sousa, 2010).

موتلوترک در سال (۲۰۰۷) از یک روش گرافیکی برای شناسایی بلوک‌های قابل فروش سنگ‌های ساختمانی بدون بهینه‌سازی جهت استخراج استفاده کرد که منجر به یک نتیجه محافظه کارانه‌ی می‌شود (Mutlutürk, 2007).

کیم و همکاران در سال (۲۰۰۷) برای تعیین حجم بلوک به بررسی پارامترهای هندسی درزه‌ها مانند جهت‌گیری، فاصله‌داری و تداوم درزه‌ها در توده‌سنگ پرداختند. در نهایت توانستند حجم بلوک را تخمین بزنند (Kim et al., 2007).

مش و همکاران در سال (۲۰۱۱) بهینه‌سازی را بهبود رونیدی که هدف خاصی را دنبال می‌کند تعریف کردند، و آن‌ها معتقد بودند که برای بهینه‌سازی معادن سنگ ساختمانی دانستن احجام، هندسه و توزیع بلوک‌های اولیه ضروری می‌باشد. آن‌ها نرم افزار 3D-Block Expert را برای تعیین بلوک‌ها اولیه در معادن سنگ براساس تحلیل شبکه درزه‌های سراسری موجود ارائه دادند. در پژوهش انجام شده با ایجاد مقاطع در جهات مختلف در ذخیره مدل شده سعی بر بهینه‌سازی استخراج بلوک‌ها شده است. ضعف کار آن‌ها در طراحی و ارائه دقیق ابعاد برشی لازم برای بهینه‌سازی استخراج و همچنین جهت پیشروی بهینه است (Mosch et al., 2011).

الموتی و پروپات در سال (۲۰۱۲) با ارائه تکنیکی جدید بر مبنای روش شبیه‌سازی مونت کارلو به تخمین توزیع برجای حجم بلوک در توده‌سنگ پرداختند (Elmoutie & Propat, 2012).

یار احمدی و همکاران در سال (۲۰۱۴) به تعیین هندسه بلوک‌های توده‌سنگ درزه‌دار در فضای دو بعدی با تهیه یک برنامه کامپیوتری پرداختند. آن‌ها در سال (۲۰۱۵) مطالعاتی برای یافتن بهترین روش تحلیل ناپیوستگی در معادن سنگ ساختمانی انجام دادند و در نهایت ترکیبی از روش پنجره برداشت و پردازش تصویر برای

سنگ تزئینی یکی از سه ماده معدنی با ارزش بالای کشور است. طبق گزارش مرکز آمار ایران ۵۳۵۳ معدن در سال ۱۳۹۶ در ایران در حال فعالیت بوده‌اند که ارزش کل تولیدات آن‌ها ۲۵۰۴۸۵ میلیارد ریال بوده است. تعداد معادن سنگ تزئینی ۷۰۴ معدن بوده که ۱۳/۲ درصد کل معادن کشور را تشکیل داده‌اند. ارزش تولیدات معادن سنگ تزئینی ۱۰۰۴۴ میلیارد ریال، حدود ۴ درصد ارزش کل تولیدات مواد معدنی بوده و پس از آهن و مس سومین ماده معدنی پر درآمد کشور محسوب می‌شود (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۶). از طرفی تنها حدود ۲۵ درصد سنگ تولید شده در ایران در بازار به فروش می‌رسد و حدود ۵۵ درصد در معادن و ۲۰ درصد دیگر در سنگبری‌ها به باطله تبدیل می‌شوند. هرچند وضعیت تکنیکی در بازدهی معادن سنگ موثر است اما در حالت کلی تفاوت زیادی بین میانگین بازدهی در کشورهای مختلف نباید وجود داشته باشد. می‌توان به این نتیجه رسید که معدن‌کاری سنگ تزئینی در ایران به صورت علمی دنبال نمی‌شود. عوامل اساسی در پایین بودن بازدهی در معادن کشور می‌تواند در عدم مطالعه و سرمایه‌گذاری پیش از معدن‌کاری، تکنولوژی پایین و عدم استفاده از نیروی ماهر باشد. افزایش بازدهی معادن سنگ تا ۱۰ درصد از هدر رفت میلیارد‌ها ریال سرمایه در کشور جلوگیری می‌کند. یک راه عملی برای افزایش بازدهی در معادن سنگ و سنگبری انجام عملیات استخراج و برش با در نظر گرفتن تحلیل ناپیوستگی‌ها است. مطالعات بسیاری در رابطه با تحلیل ناپیوستگی‌ها در معادن سنگ ساختمانی صورت گرفته است از جمله:

تابودا و همکاران در سال (۱۹۹۹، ۲۰۰۶)، با استفاده از تکنیک آنالیز چند متغیره، یک شاخص برای طبقه بندی کیفیت بلوک‌های گرانتیتی ارائه کردند. همچنین آن‌ها یک سیستم فازی پیشنهاد کردند که با ورود متغیرهای زمین‌شناسی و زیبا شناختی قادر است کیفیت ذخایر اسلیتی را به سه گروه خوب، متوسط و باطله تقسیم کند (Taboada et al., 1999, 2006).

سوسا در سال (۲۰۰۷) معیاری برای مطلوبیت رخنمون توده‌های گرانتیتی بر پایه میانگین تراکم درزه‌ها در واحد حجم، میانگین دسته درزه‌ها و میانگین فاصله‌داری درزه‌ها تعریف کرد (Sousa, 2007).

به منظور ارائه راهکاری مناسب برای بالا بردن بازدهی استخراج و افزایش کوپ‌دهی است. برای این کار ابتدا درزه‌های موجود در جبهه کار توسط کمپاس برداشت شدند. سپس، اطلاعات بدست آمده با استفاده از نرم افزار Dips تحلیل و دسته‌بندی شدند. و مشخصات آماری هر دسته درزه منطقه مشخص شد. در مرحله بعد با استفاده از نرم افزار 3DEC مدل بلوکی سه بعدی معدن تهیه شد. با شبیه‌سازی چرخش آزمون درزه‌های مختلف، مناسب‌ترین راستای استخراج سنگ ساختمانی، که منجر به بیشترین درآمد و کوپ‌دهی می‌شود، محاسبه شده است.

۱. موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی

معدن کپیول در ۹ کیلومتری شهرستان محلات در مختصات ۳۳ درجه و ۵۳ دقیقه و ۰۴ ثانیه عرض شمالی ($N 33^{\circ} 53' 04''$) و ۵۰ درجه و ۲۲ دقیقه و ۴۴ ثانیه طول شرقی ($E 50^{\circ} 22' 44''$)، واقع در ۱۱۰ کیلومتری اراک مرکز استان مرکزی واقع شده است (شکل ۱). این معدن با ذخیره قطعی ۲۳۰ هزارتن و ذخیره احتمالی ۱ میلیون تن در خرداد ماه ۱۳۹۶ کشف شد. وجود چشمه آب گرم محلات منجر به شکل‌گیری لایه‌های وسیعی از تراورتن در این منطقه شده است. معدن کپیول دارای ۵ سینه کار فعال است. سینه کار شماره ۵ این معدن دارای ۲ دستگاه سیم برش الماسه، یک میل سیم بر، یک عدد راسول، دو عدد ژنراتور و یک لودر کاتریلار ۹۸۸ است. در حال حاضر معدن دارای دو جبهه کار فعال شمالی و غربی است که ارتفاع پله در آن‌ها ۱۳ تا ۱۴ متر است. امتداد جهت استخراج فعلی شمال و شمال‌غربی است و سالیانه ۲۰ هزارتن سنگ استخراج می‌شود. این معدن از جهت جنوب با رمپی که از جاده معدن شروع می‌شود، باز شده است (جلالی، ۱۳۷۲).

سنگ‌های ساختمانی را پیشنهاد دادند. همچنین در ادامه با استفاده از نرم افزار Matlab هنده ناپیوستگی‌ها را مدل‌سازی و توانستند هنده بلوک درزه‌دار را تخمین بزنند (Yarahmadi et al., 2015; Yarahmadi et al., 2014, 2015). یار احمدی و همکاران در سال (۲۰۱۸) به ارائه نرم افزاری با قابلیت فرضیات ساده‌ساز و کیفیت خروجی بهتر برای شناسایی هنده بلوک‌ها پرداختند. در این مطالعه روش‌های بهینه‌سازی بلند مدت و کوتاه مدت برای استخراج سنگ با تعیین راستای معدن‌کاری و بهینه‌سازی الگو برش ارائه 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 (Yarahmadi et al., 2018).

آذر افراز و همکاران در سال (۲۰۱۹) با استفاده از روش تکنیک پردازش تصویر، ناپیوستگی توده‌سنگ را مدل کردند و با استفاده از این مدل‌سازی حجم بلوک‌ها را بدست آوردند (Azarafza et al., 2019).

حضرت حسینی و همکاران در سال (۲۰۱۸) با استفاده از الگوریتم ژنتیک شاخص جدیدی به منظور تعیین کوپ‌دهی در معدن سنگ ساختمانی معرفی کردند. سپس با استفاده از همان شاخص جدید، جهت استخراج معدن را بهینه کردند. در این مطالعه شاخص‌های به نام نسبت کوپ‌دهی (CPR) تعریف شده که معدن سنگ را از نظر عیار هندسی بلوک‌ها به سه رده خوب، متوسط، ضعیف طبقه‌بندی می‌کند. و نتایج نشان داد که برای کسب بیشترین کوپ‌دهی، جهت استخراج فعلی باید ۳۵ درجه به طرف شمال تغییر کند (Hoseiny et al., 2018).

هدف این مقاله تحلیل ناپیوستگی‌ها در جبهه کارهای معدن کپیول



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی معدن تراورتن کپیول

۲. مواد و روش‌ها

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 جمع آوری می‌شوند و مشخصات آماری هر دسته درزه منطقه مشخص می‌شود تا بتوان شبکه ناپیوستگی را مدل‌سازی کرد. در این تحقیق برای شناسایی بلوک‌های حاصل از برخورد دسته درزه‌ها، از نرم افزار 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 نرم افزار Dips شده و اطلاعات هندسی بدست آمده از تحلیل نرم افزار Dips و همچنین اطلاعات بدست آمده از برش حاصل از سیم برش الماسه وارد مدل بلوکی معدن می‌شود و در نهایت با شبیه‌سازی چرخش آزمون درزه‌های مختلف، بهترین راستای استخراج سنگ‌ساختمانی، که منجر به بیشترین حجم بلوک‌ها و کوپ‌دهی و کمترین باطله می‌شود، محاسبه می‌شود.

۱-۳. مطالعات درزه‌نگاری

عملیات درزه‌برداری در این معدن با استفاده از روش خط برداشت (Scan Line) صورت گرفته است. شیب و جهت شیب ناپیوستگی‌ها در این تحقیق به وسیله کمپاس (شکل ۲) برداشت، بر این اساس ۱۶ درزه از سمت غرب معدن به سمت شمال معدن برداشت و مختصات یک نقطه بر روی هر درزه با کمک دستگاه GPS ثبت شد. این اطلاعات در فرم برداشت درزه‌ها که شامل مشخصات خط برداشت، جبهه‌کار و شیب و جهت شیب، بازشدگی و فاصله‌داری درزه‌ها بود، وارد شده است. در پله‌ی اول بخش شمال غرب، طول خط برداشت ۲۲ متر، تعداد ۴ درزه، با خط برداشت، برخورد داشته و در پله‌ی اول بخش شمالی، طول خط برداشت ۴۱ متر و تعداد ۱۲ درزه، با خط برداشت، برخورد داشته است. (جدول ۱) در مشخصات درزه‌های برداشت شده از جبهه‌کار آورده شده است.



شکل ۲. برداشت درزه‌ها با استفاده از روش خط برداشت

حاصل از تحلیل اطلاعات برداشت در Dips را نشان می‌دهد. تعداد دسته درزه‌ها، مقدار میانگین و خصوصیات هر دسته در این مرحله مشخص شدند.

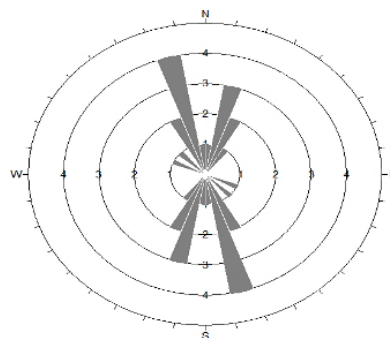
نمودار گل‌سرخ (رزیدیاگرام) درزه‌های برداشت شده در (شکل ۳) نشان داده شده است. با توجه به شکل، بیشتر درزه‌ها دارای امتداد شمال شرقی و شمال غربی هستند. با توجه به (شکل ۴) سه دسته درزه اصلی در این معدن شناسایی شده است. (جدول ۲) نتایج

جدول ۱. مشخصات دسته درزه‌ها در جبهه‌کار معدن کبیول

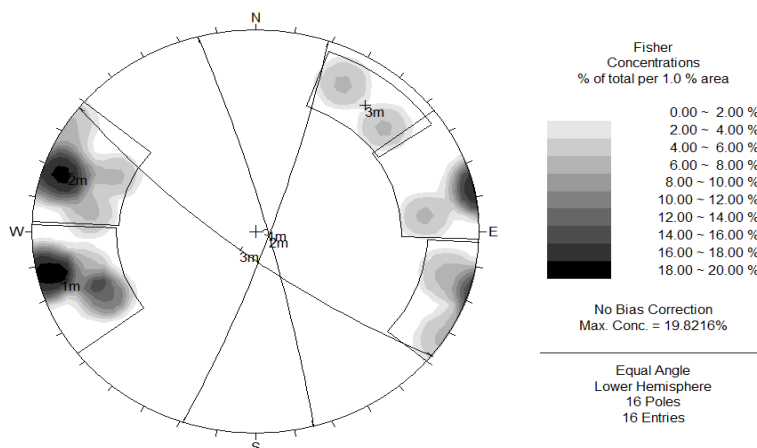
Face	Joints set	Joints numbers	Dip (degree)	Dip Direction (degree)	Average aperture (cm)	Average Spacing (m)
S ₁	J ₁	7	84	75	0.58	9.3
	J ₂	7	83	109	1.41	10.15
	J ₃	2	77	218	0.3	5.70

جدول ۲. مشخصات درزه‌های برداشت شده از معدن کپیول

Joints set	Dip (degree)	Dip Direction (degree)	Aperture (cm)	Spacing (m)	
J_1	76	76	1	17.55	
	87	78	1.6	3.85	
	87	78	0.3	8.45	
	dip/ dipd 84/75	74	65	0.5	7.6
		78	65	0.5	16.5
		90	77	0.5	2.25
		74	264	0.075	
J_2	83	110	0.2	18.8	
	86	107	0.2	6.1	
	73	97	0.3	28	
	dip/ dipd 83/109	68	114	0.3	5.55
		90	302	0.075	0.5
J_3	82	284	4	2	
	84	107	4		
	dip/ dipd 77/218	79	208	0.3	5.70
		75	228	0.3	



شکل ۳. نمودار گل سرخی درزه‌های برداشت شده



شکل ۴. خروجی نرم افزار Dips برای درزه‌ها برداشت شده

نایبوستگی‌ها در توده سنگ روند نشان داده شده در (شکل ۵) پیاده‌سازی شده است.

۳-۲. تهیه مدل نایبوستگی‌ها

پس از تشخیص سیستم درزه‌ی موجود در منطقه‌ی معدن کپپول، نوبت به مدل کردن نایبوستگی توده‌ی سنگ براساس مشخصات برداشت شده است. در این تحقیق به منظور مدل سازی



شکل ۵. مراحل مدل سازی نایبوستگی‌ها در توده سنگ

۲) با ساخت چند وجهی‌های مجزا و اتصال آن‌ها بایکدیگر

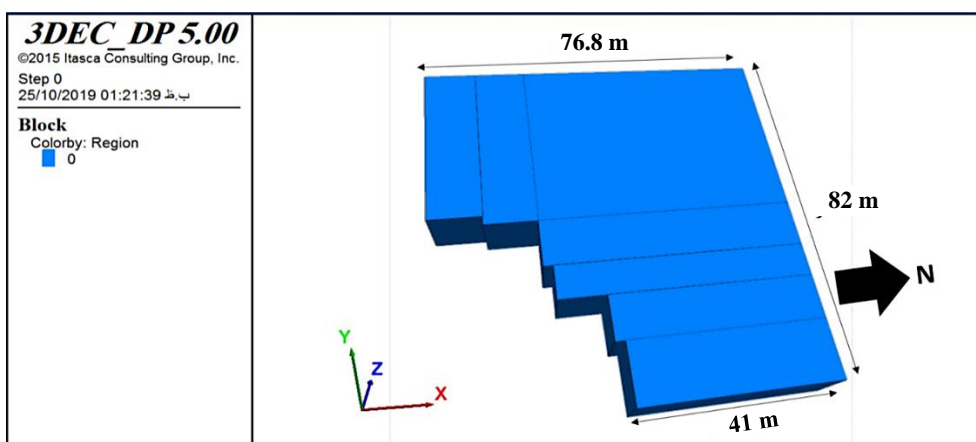
در این مقاله با ساخت چند وجهی‌های مجزا و اتصال آن‌ها

بایکدیگر، مدل بلوکی معدن کپپول ساخته شده است (شکل ۶).

۳-۲-۱. ساخت مدل بلوکی

ساخت مدل بلوکی در نرم افزار 3DEC به دو صورت امکان پذیر است:

(۱) با برش یک چند وجهی به چند وجهی‌های مجزا

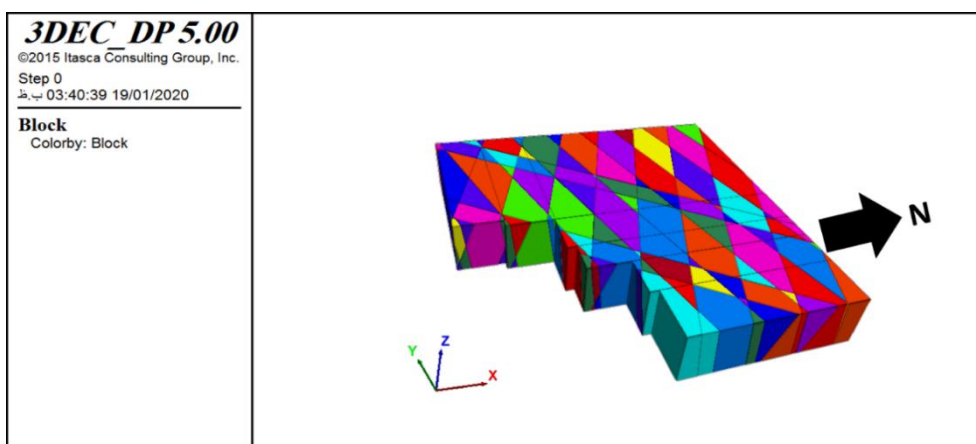


شکل ۶. مدل بلوکی معدن کپول در نرم‌افزار 3DEC

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 مقاله درزه به صورت دستی و با توجه به اطلاعاتی که در فرم برداشت جبهه‌کار معدن کپول برداشت شد، برای نرم‌افزار تعریف شده است (شکل ۷).

۲-۳. وارد کردن ناپیوستگی‌ها در داخل مدل

ناپیوستگی‌های به دو صورت در نرم‌افزار 3DEC وارد می‌شوند: (۱) خصوصیات درزه‌ها استفاده از کلید واژه‌های اصلی این دستور صفحه‌ای می‌سازد که با مشخصات تعیین شده، مدل را برش می‌دهد. (۲) به صورت تصادفی که در روش با وارد کردن اطلاعات



شکل ۷. مدل بلوکی درزه‌دار معدن کپول

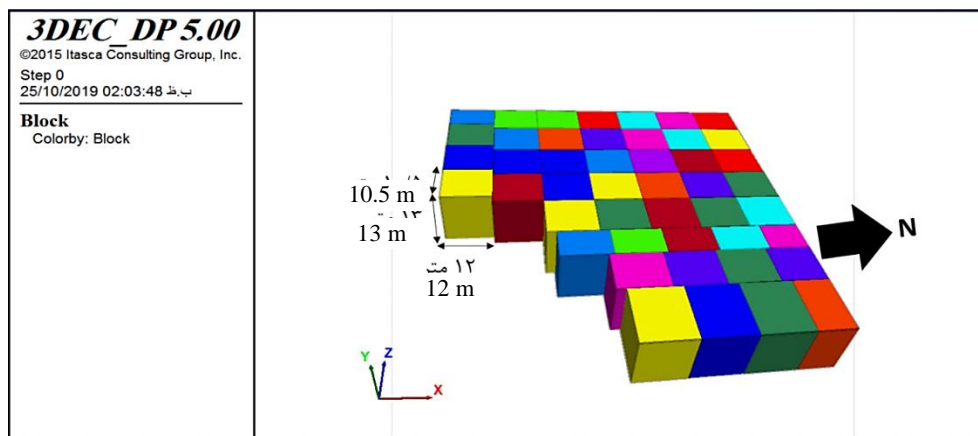
برشی عرضی با شیب ۹۰ درجه، امتداد فعلی پیشروی یعنی شمالی - جنوبی به عبارت دیگر، صفر درجه نسبت به شمال و فاصله داری ۱۰/۵ متر است. تک درزه دوم شامل خطوط برشی طولی با شیب ۹۰ درجه، راستای عمود بر خطوط برش نخست یعنی ۹۰ درجه نسبت به شمال و فاصله‌داری ۱۲ متر است. تک درزه سوم شامل خطوط برشی است که برای قواره کردن بلوک برش داده

۳-۳. وارد کردن برش حاصل از سیم‌برش در مدل عددی

مرزهای مدل در واقع برش‌هایی هستند که توسط سیم برش ایجاد می‌شوند. هر کدام از خطوط برش به عنوان یک تک درزه، به مدل اعمال می‌شود. ابعاد بلوک‌های برش داده شده در این معدن معمولاً ۱۰/۵×۱۳×۱۲ متر است. بنابراین خطوط برشی را می‌توان سه تک درزه عمود برهم در نظر گرفت. تک درزه اول شامل خطوط

صفر درجه و فاصله‌داری ۱۳ متر در نظر گرفت (شکل ۸).

شده استفاده می‌شود و می‌توان آن را دسته درزه‌ای با شیب و امتداد



شکل ۸. اعمال برش‌های حاصل از سیم برش در مدل عددی

است این مقدار ۰/۵ متر مکعب است (شاهوارورقی فراهانی و بابانوری ۱۳۹۵). با توجه به ارزش و حجم بلوک‌ها و مشورت با مهندسان معدن، ۴ کلاس برای درجه‌بندی بلوک‌های بزرگ پیشنهاد شده است که در (جدول ۳) آورده شده است. با احتساب فاکتور شکل کلاس ۱ شامل بلوک‌هایی با حجمی بیشتر از ۱۲ متر مکعب، کلاس ۲، بلوک‌هایی با حجم بین ۲ تا ۱۲ متر مکعب و کلاس ۳، بلوک‌هایی با حجم بین ۱ تا ۲ متر مکعب و کلاس ۴، بلوک‌های باطله با حجم کمتر از ۱ متر مکعب در نظر گرفته شده است.

۳-۳. تعیین بلوک‌های برج معدن

پس از مدل کردن سیستم درزه‌های موجود در منطقه و سه تک درزه‌ی جایگزین خطوط برش در توده‌ی سنگ، حجم و تناژ بلوک‌های ایجاد شده توسط این درزه‌ها در هر مرحله محاسبه می‌شود. در این معدن، بلوک‌های ایجاد شده که دارای حجم کمتر از یک متر مکعب یا به عبارتی دیگر تناژ تقریبی کمتر از ۲/۵ تن هستند، به عنوان باطله در نظر گرفته شدند. حجمی که کمتر از آن به عنوان باطله محسوب می‌شود 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

جدول ۳. کلاس‌های تعیین شده برای درجه‌بندی بلوک‌ها

Class 4	Class 3	Class 2	Class 1
Volume less than 1 cubic meter (waste)	Volume between 1 to 2 cubic meters	Volume between 2 to 12 cubic meters	Volume more than 12 cubic meters

تغییر داد اما عمق برش را می‌توان بهینه کرد. بدین صورت که پس از انتخاب جهت بهینه استخراج، عمق برش براساس فاصله‌داری ناپیوستگی غالب تعیین شود. از آن جایی که پیشروی در دو جهت مخالف نتایج یکسانی در پی خواهد داشت چرخش ۱۸۰ درجه‌ای برای تحلیل جهت پیشروی کافی است. به جای تغییر راستای استخراج در مدل بلوکی، می‌توان آزیموت درزه‌های مدل را در هر

۳-۴. تعیین راستای بهینه جبهه کار

برای استخراج سنگ، بسته به تنوع دستگاه‌ها، چال‌هایی با فاصله 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 براساس عرض کامیون برای حمل بلوک تعیین شده است. بنابراین حداکثر عرض برش را نمی‌توان

مرحله از مدل‌سازی به اندازه ۱۰ درجه چرخش داد. مقدار α درجه چرخش آزمون درزه‌ها به صورت ساعتگرد معادل تغییر راستای استخراج به اندازه α درجه جهت پادساعتگرد است (شاهوارورقی فراهانی و بابانوری ۱۳۹۵). چرخش آزمون درزه‌ها با گام ۱۰ درجه تغییر داده می‌شود تا بهترین راستای

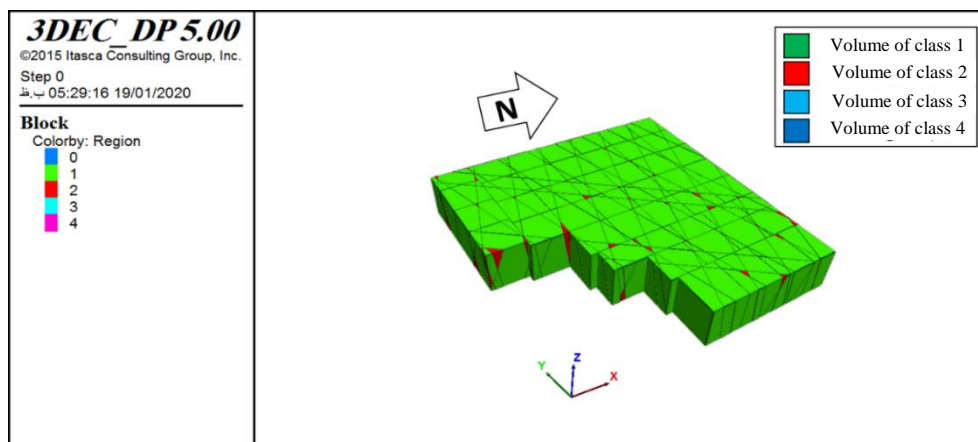
استخراج جهت پادساعتگرد شناسایی شود. نتایج در (جدول ۴) آورده شده است. حجم کوپ‌های قابل فروش به ازای چرخش آزمون درزه‌ها در کلاس‌های مختلف نشان می‌دهد.

جدول ۴. حجم کوپ‌های قابل فروش در چرخش آزمون درزه‌های مختلف

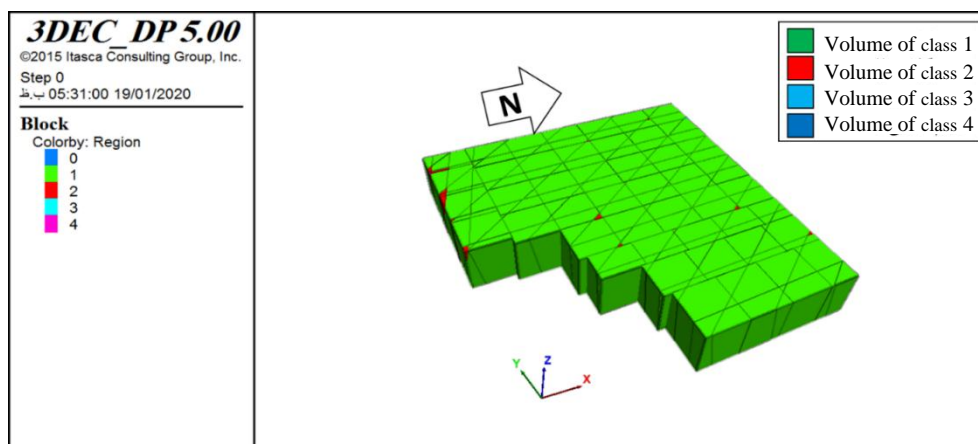
Azimuth of Extraction	Total volume (m^3)				Azimuth of Extraction	Total volume (m^3)			
	Class 1	Class 2	Class 3	Waste		Class 1	Class 2	Class 3	Waste
0	65528.1	1.282	5.9929	10.076	100	65584.9	226.08	9.8504	5.3539
10	65570	175.5	20.6325	7.511	110	65554	251.71	9.9326	10.626
20	65612.9	190.05	9.9633	13.312	120	65573.8	230.22	15.645	6.557
30	65638.4	175.829	4.5638	7.3177	130	65585.9	220	15.187	5.134
40	65672.1	143.744	12.172	7.2367	140	65478.1	324.968	14.85	8.344
50	65619.1	192.26	10.603	4.282	150	65542	258.054	14.311	11.82
60	65691.1	120.25	8.0221	6.8955	160	65499.3	295.595	18.106	13.185
70	65705.97	110.763	7.02948	2.5121	170	65555.1	238.366	22.715	10.094
80	65634.9	179.24	6.3863	5.7058	180	65564.9	235.64	15.051	10.587
7.2371	65619.4	191.97	7.6339	7.2371					

در شکل‌های شکل ۹ تا شکل ۱۱ حجم کوپ‌های قابل فروش در سه چرخش نشان داده شده است. در (شکل ۹) حجم کوپ‌دهی در حالت اولیه (پیشروی حال حاضر)، در (شکل ۱۰) بهترین

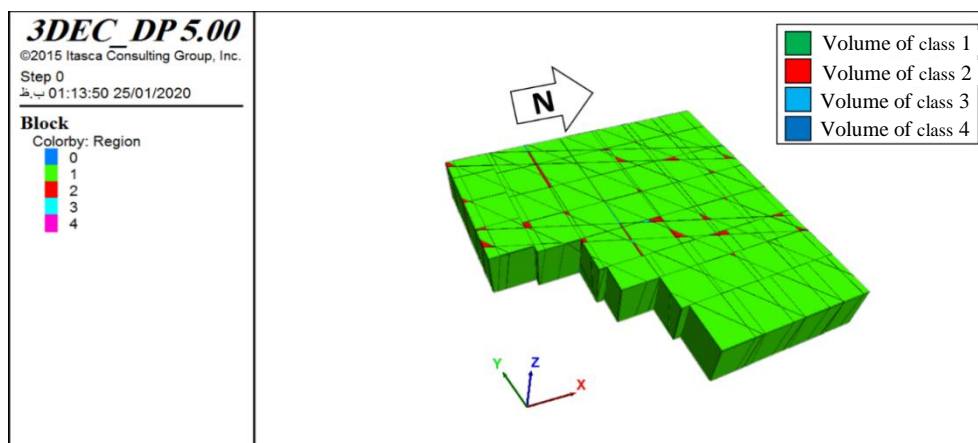
راستای استخراج در (شکل ۱۱) بدترین راستای استخراج نشان داده شده است.



شکل ۹. کوپ‌های ایجاد شده در جهت شمال و شمال غرب (پیشروی حال حاضر)



شکل ۱۰. کوپ‌های ایجاد شده در چرخش آزمایش درزه ۷۰ درجه (بهترین راستای استخراج)



شکل ۱۱. کوپ‌های ایجاد شده در چرخش آزمایش درزه ۱۶۰ درجه (بدترین راستای استخراج)

است. از طرفی دیگر، معیار مناسبی برای برنامه‌ریزی معدن و تعیین سکانس‌های استخراج از توده سنگ به دست می‌آید. که در این رابطه:

$$I = AMC \times \rho \times P \quad (۱)$$

AMC (Amount of marketable cuboid): میزان حجم

کوپ‌های قابل فروش

ρ : چگالی سنگ (تن بر متر مکعب)

P : قیمت فروش هر تن کوپ خام در معدن

I : ارزش (درآمد) حاصل از فروش کوپ‌های معدن

در نهایت با محاسبه ارزش هر کلاس، ارزش هر چهار کلاس با هم جمع شده و بالاترین ارزش به عنوان بهترین و مناسب ترین جهت پادساعتگرد برای راستای استخراج انتخاب می‌شود نتایج در (جدول ۵) آورده شده است.

۳. بررسی اقتصادی طرح

با مشخص شدن ۴ کلاس برای درجه بندی بلوک‌ها، ارزش هر یک از کلاس‌ها به این صورت است که کلاس ۱، بلوک‌های با حجم بیشتر از ۱۲ مترمکعب و ارزش ۷۰۰ هزار تومان، کلاس ۲، بلوک‌هایی با حجم بین ۲ تا ۱۲ مترمکعب و ارزش ۴۰۰ هزار تومان، کلاس ۳، بلوک‌های با حجم بین ۱ تا ۲ مترمکعب و ارزش ۱۵۰ هزار تومان و کلاس ۴، بلوک‌هایی با حجم کمتر از ۱ مترمکعب که باطله در نظر گرفته می‌شوند. به این ترتیب ارزش نسبی هر کلاس و ارزش کلی به ازای راستای مختلف استخراج با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود. با محاسبه مقدار کوپ‌های قابل فروش در هر کلاس می‌توان درآمد و توجیه پذیری اقتصادی معدن را در مرحله امکان‌سنجی تخمین زد که این موضوع عامل مهمی برای تصمیم‌گیری راجع به استخراج معدن یا جذب سرمایه‌گذار

تومان، کلاس که دارای حجم بین ۲ تا ۱ متر مکعب است به ارزش ۱۵۰ هزار تومان، کلاس ۴ که دارای حجم کمتر از ۱ متر مکعب است به ارزش صفر هزار تومان است. درآمد حاصل از فروش سنگ‌های این معدن طبق رابطه (۱) برحسب تومان برابر است با:

$$I_{total} = 114985447500 + 110763000 + 2636055 + 0 = 11509884655 \quad (1)$$

همان طور که در جدول ۶ و شکل های ۱۲ و ۱۳ مشاهده می‌شود، 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 پادساعتگرد بیشترین میزان کوپ‌دهی و درآمد و کمترین باطله، حاصل می‌شود.

۴. بحث

با یک مطالعه پیرامون ویژگی‌ها و وضعیت کلی ناپیوستگی‌های موجود در معدن سنگ ساختمانی کیپول، 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 بدست آمد.

برای تعیین جهت بهینه استخراج، ارزش کلی بلوک‌ها به ازای چرخش آزیموت درزه‌های مختلف با یکدیگر مقایسه شده است. به این صورت که در محور X چرخش آزیموت درزه‌ها و محور Y ارزش (درآمد) در نظر گرفته شده است. سپس از بین چرخش آزیموت درزه‌های مختلف، آزیموت درزه‌ای که بیشترین ارزش کلی را بدست آورده باشد، به عنوان بهترین راستای (امتداد) جهت بهینه استخراج پادساعتگرد در نظر گرفته شده است. با توجه به شکل‌های ۱۲ و ۱۳ بیش‌ترین ارزش (درآمد) در چرخش آزیموت درزه‌های ۴۰، ۶۰، ۷۰، ۹۰ است. از طرفی با توجه به شرایط دسته درزه معدن کیپول و همچنین با تغییر ۷۰ درجه چرخش آزیموت درزه‌ها به صورت ساعتگرد معادل تغییر راستای (امتداد) استخراج به اندازه‌ی ۷۰ درجه در جهت پادساعتگرد می‌باشد. راستای ۷۰ درجه پادساعتگرد به عنوان بهترین جهت استخراج معدن انتخاب شده است. ذخیره قابل استخراج این معدن پس از اعمال چرخش راستای استخراج به میزان ۷۰ درجه جهت پادساعتگرد در کلاس ۱ برابر ۶۵۷۰۵/۹۷ متر مکعب، کلاس ۲ برابر با ۱۱۰/۷۶۳ متر مکعب، کلاس ۳ برابر ۷/۰۲۹ متر مکعب، کلاس ۴ (باطله) برابر ۲/۵۱ متر مکعب خواهد شد (جدول ۶). از طرفی چگالی سنگ‌های این معدن برابر با ۲/۵ تن بر متر مکعب است. قیمت فروش کوپ‌های خام در این معدن در کلاس ۱ که دارای حجم بیشتر از ۱۲ متر مکعب است به ارزش ۷۰۰ هزار تومان، کلاس ۲ که دارای حجم بین ۱۲ تا ۲ متر مکعب است به ارزش ۴۰۰ هزار

جدول ۵. نتاج حاصل از بررسی بلوک‌های تشکیل شده در جهات مختلف

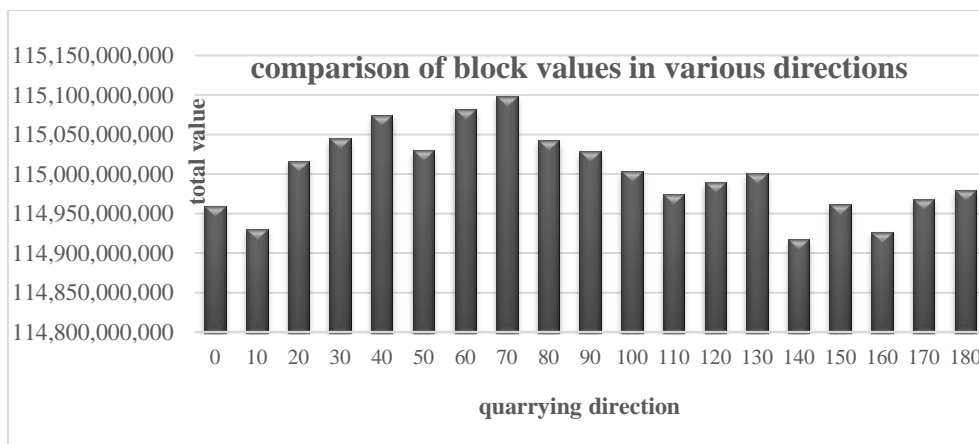
Rotation of joints azimuth	Production specifications	Class 1	Class 2	Class 3	Waste	Total
0	Number of blocks	260	46	4	38	348
	Total volume (m^3)	65528.1	282.1	5.9929	10.076	65826.2689
	Av. volume (m^3)	252.03	6.13	1.50	0.27	189.16
	Value (unit/ m^3)	114,674,175,000	282,100,000	2,247,338	0	114,958,522,338
10	Number of blocks	238	36	14	43	331
	Total volume (m^3)	65570	175.5	20.6325	7.511	65773.6435
	Av. volume (m^3)	275.50	4/88	1/47	0/17	198/7119139
	Value (unit/ m^3)	114,747,500,000	175,500,000	7,737,188	0	114,930,737,188
20	Number of blocks	219	33	7	39	298
	Total volume (m^3)	65612/9	190/05	9/9633	13/312	65826/2253
	Av. volume (m^3)	299/60	5/76	1/42	0/34	220/8933735
	Value (unit/ m^3)	114,822,575,000	190,050,000	3,736,238	0	115,016,361,238
30	Number of blocks	206	30	3	25	264
	Total volume (m^3)	65638/4	175/829	4/5638	7/3177	65826/1105

	Av. volume (m^3)	318/63	5/86	1/52	0/29	249/3413277
	Value (unit/ m^3)	114,867,200,000	175,829,000	1,711,425	0	115,044,740,425
	Number of blocks	199	26	9	24	258
	Total volume (m^3)	65672/1	143/744	12/172	7/2367	65835/2527
40	Av. volume (m^3)	330/01	5/53	1/35	0/30	255/1753981
	Value (unit/ m^3)	114,926,175,000	143,744,000	4,564,500	0	115,074,483,500
	Number of blocks	198	29	7	13	247
	Total volume (m^3)	65619/1	192/26	10/603	4/282	65826/245
50	Av. volume (m^3)	331/41	6/63	1/51	0/33	266/5030162
	Value (unit/ m^3)	114,833,425,000	192,260,000	3,976,125	0	115,029,661,125
	Number of blocks	193	19	5	25	242
	Total volume (m^3)	65691/1	120/25	8/0221	6/8955	65826/2676
60	Av. volume (m^3)	340/37	6/33	1/60	0/28	272/0093702
	Value (unit/ m^3)	114,959,425,000	120,250,000	3,008,288	0	115,082,683,288
	Number of blocks	191	19	5	14	229
	Total volume (m^3)	65705/97	110/763	7/02948	2/5121	65826/27458
70	Av. volume (m^3)	344/01	5/83	1/41	0/18	287/4509807
	Value (unit/ m^3)	114,985,447,500	110,763,000	2,636,055	0	115,098,846,555
	Number of blocks	197	27	4	22	250
	Total volume (m^3)	65634/9	179/24	6/3863	5/7058	65826/2321
80	Av. volume (m^3)	333/17	6/64	1/60	0/26	263/3049284
	Value (unit/ m^3)	114,861,075,000	179,240,000	2,394,863	0	115,042,709,863
	Number of blocks	193	30	6	32	261
	Total volume (m^3)	65619/4	191/97	7/6339	7/2371	65826/241
90	Av. volume (m^3)	340/00	6/40	1/27	0/23	252/2078199
	Value (unit/ m^3)	114,833,950,000	191,970,000	2,862,713	0	115,028,782,713
	Number of blocks	193	34	7	14	248
	Total volume (m^3)	65584/9	226/08	9/8504	5/3539	65826/1843
100	Av. volume (m^3)	339/82	6/65	1/41	0/38	265/4281625
	Value (unit/ m^3)	114,773,575,000	226,080,000	3,693,900	0	115,003,348,900
	Number of blocks	199	39	6	28	272
	Total volume (m^3)	65554	251/71	9/9326	10/626	65826/27
110	Av. volume (m^3)	329/42	6/45	1/66	0/38	242/0083404
	Value (unit/ m^3)	114,719,500,000	251,710,000	3,724,725	0	114,974,934,725
	Number of blocks	211	38	11	22	282
	Total volume (m^3)	65573/8	230/22	15/645	6/557	65826/22
120	Av. volume (m^3)	310/78	6/06	1/42	0/30	233/426319
	Value (unit/ m^3)	114,754,150,000	230,220,000	5,866,875	0	114,990,236,875
	Number of blocks	224	35	10	23	292
	Total volume (m^3)	65585/9	220	15/187	5/134	65826/22
130	Av. volume (m^3)	292/79	6/29	1/52	0/22	225/43226370
	Value (unit/ m^3)	114,775,325,000	220,000,000	5,695,125	0	115,001,020,125
	Number of blocks	223	45	10	28	306
	Total volume (m^3)	65478/1	324/968	14/85	8/344	65826/26
140	Av. volume (m^3)	293/62	7/22	1/49	0/30	215/11850327
	Value (unit/ m^3)	114,586,675,000	324,968,000	5,568,750	0	114,917,211,750

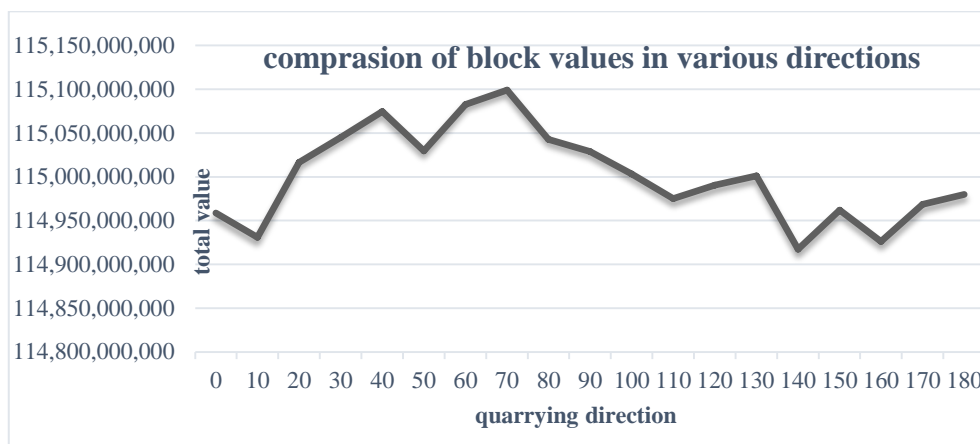
150	Number of blocks	241	45	9	48	343
	Total volume (m^3)	65542	258/054	14/311	11/82	65826/19
	Av. volume (m^3)	271/96	5/73	1/59	0/25	191/91
	Value (unit/ m^3)	114,698,500,000	258,054,000	5,366,625	0	114,961,920,625
160	Number of blocks	250	47	12	41	350
	Total volume (m^3)	65499/3	295/595	18/106	13/185	65826/19
	Av. volume (m^3)	262/00	6/29	1/51	0/32	188/07
	Value (unit/ m^3)	114,623,775,000	295,595,000	6,789,750	0	114,926,159,750
170	Number of blocks	252	37	15	37	341
	Total volume (m^3)	65555/1	238/366	22/715	10/094	65826/28
	Av. volume (m^3)	260/14	6/44	1/51	0/27	193/04
	Value (unit/ m^3)	114,721,425,000	238,366,000	8,518,125	0	114,968,309,125
180	Number of blocks	258	40	10	43	351
	Total volume (m^3)	65564/9	235/64	15/051	10/587	65826/18
	Av. volume (m^3)	254/13	5/89	1/51	0/25	187/54
	Value (unit/ m^3)	114,738,575,000	235,640,000	5,644,125	0	114,979,859,125

جدول ۶. نتایج حاصل از اعمال چرخش راستای استخراج ۷۰ درجه جهت پادساعتگرد

Rotation of joints azimuth	Production specifications	Class 1	Class 2	Class 3	Waste	Total
70	Number of blocks	191	19	5	14	229
	Total volume (m^3)	65705/97	110/763	7/02948	2/5121	65826/27458
	Av. volume (m^3)	344/01	5/83	1/41	0/18	287/4509807
	Value (unit/ m^3)	114,985,447,500	110,763,000	2,636,055	0	115,098,846,555



شکل ۱۲. مقایسه ارزش کلی بلوک‌ها به ازای چرخش آزیموت درزه‌ها مختلف در معدن کپیول



شکل ۱۳. مقایسه ارزش کلی بلوک‌ها به ازای چرخش آزمون درزه‌ها مختلف در معدن کپیول به صورت نمودار خطی

نایبوستگی‌ها در معادن سنگ‌ساختمانی امری حیاتی و ضروری است. در این تحقیق با برداشت خصوصیات نایبوستگی‌های موجود در معدن سنگ‌ساختمانی کپیول به روش خط برداشت و سپس مدل‌سازی توده‌ی سنگ درزه‌دار با استفاده از نرم افزار 3DEC و تحلیل نتایج بدست آمده از مدل‌سازی، مشاهده شد که امتداد جهت استخراج در این معدن با راستای (امتداد) جهت بهینه استخراج در منطقه، زاویه‌ای برابر ۷۰ درجه می‌سازد. بنابراین اگر جهت پیشروی جبهه‌کار (راستای جهت استخراج) را به همین مقدار به سمت غرب تغییر دهیم، نهایتاً با مقایسه ارزش (درآمد) حجم کوپ‌های قابل فروش در جهت پیشروی فعلی معدن و جهت پیشروی پیشنهادی این مطالعه، می‌توان مشاهده کرد که با تغییر جهت پیشروی معدن به مقدار ۷۰ درجه به سمت غرب، بیشترین کوپ‌دهی و کمترین باطله حاصل شود و می‌توان راندمان استخراج را افزایش داده و از هدر رفتن سرمایه جلوگیری کرد.

بنابراین امتداد جهت استخراج برابر NV۰W یا SV۰E خواهد بود، در جهت SV۰E این معدن به سمت جاده و رمپ می‌رسد. بنابراین جهت استخراج بهینه، جهت متناظر آن یعنی NV۰W خواهد بود. در حال حاضر، استخراج از این معدن در جهت W۰N (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 ۲ جهت دسته درزه‌های غالب در این معدن در جهت N۱۹W است. نکته جالب که در اینجا وجود دارد این است که جهت استخراج بهینه بدست آمده تقریباً بر جهت دسته درزه غالب معدن عمود است. پس به طور کلی در معادن سنگ‌ساختمانی نتیجه گرفت می‌شود که جهت استخراج بهینه، تقریباً باید عمود بر جهت استخراج دسته درزه‌های غالب منطقه باشد. اگر این راستای جهت استخراج بر معدن کپیول اعمال شود. میزان کوپ‌های قابل فروش در چهار کلاس ۶۵۸۲۶/۲۷ متر مکعب حاصل می‌شود که باعث درآمد حدود ۱۱۵ میلیارد ۹۸ میلیون تومان خواهد شد.

۵. نتیجه‌گیری

وجود نایبوستگی در معادن سنگ‌ساختمانی، نه تنها کیفیت بلوک سنگ استخراجی را تحت تاثیر قرار می‌دهد و باعث کاهش راندمان استخراج معدن می‌شود، بلکه از نظر اقتصادی و ایمنی نیز خطرات و خسارات جبران ناپذیری بر فعالان در این صنعت وارد می‌آورد، بنابراین مطالعه پیرامون خصوصیات وضعیت کلی

منابع

- مرکز آمار ایران، نتایج آمارگیری از معادن در حال بهره برداری کشور در سال ۱۳۹۶.
- جلالی، امیر، زمین شناسی مهندسی منطقه محلات اراک، ۱۳۷۲.
- بابانوری، ن. (۱۳۹۵). بهینه سازی راستای استخراج سنگ های ساختمانی با استفاد از تحلیل بلوکی (مطالعه موردی: معدن تراورتن دینگله کهریز). چهارمین کنگره بین المللی عمران، معماری و توسعه شهری بهینه سازی- راستای- استخراج- سنگ- های- ساختمانی- با- استفاد- از- تحلیل- بلوکی- مطالعه- موردی- معدن.
- حسینی، ح.، آرمان، مهدوی، و سعید. (۲۰۱۸). 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، ۱۳(۴۱)، ۹۲-۱۰۱.
- Azarafza, M., Ghazifard, A., Akgün, H., & Asghari-Kaljahi, E. (2019). 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.
- Elmouttie, M. K., & Poropat, G. V. (2012). A method to estimate in situ block size distribution. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 45(3), 401–407.
- Kim, B. H., Cai, M., Kaiser, P. K., & Yang, H. S. (2007). Estimation of block sizes for rock masses with non-persistent joints. *Rock Mechanics and Rock Engineering*, 40(2), 169.
- Mosch, S., Nikolayew, D., Ewiak, O., & Siegesmund, S. (2011). Optimized extraction of dimension stone blocks. *Environmental Earth Sciences*, 63(7–8), 1911–1924.
- Mutlutürk, M. (2007). Determining the amount of marketable blocks of dimensional stone before actual extraction. *Journal of Mining Science*, 43(1), 67–72.
- Sousa, L. M.O. (2010). Evaluation of joints in granitic outcrops for dimension stone exploitation. *Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology*, 43(1), 85–94.
- Sousa, Luís M.O. (2007). Granite fracture index to check suitability of granite outcrops for quarrying. *Engineering Geology*, 92(3–4), 146–159.
- Taboada, J., Ordóñez, C., Saavedra, A., & Fiestras-Janeiro, G. (2006). Fuzzy expert system for economic zonation of an ornamental slate deposit. *Engineering Geology*, 84(3–4), 220–228.
- Taboada, J., Vaamonde, A., & Saavedra, A. (1999). Evaluation of the quality of a granite quarry. *Engineering Geology*, 53(1), 1–11.
- Yarahmadi, R., Bagherpour, R., Khademian, A., Mirzaie, H., & Kakaie, R. (2015). Developing a MatLab code for determine geometry of rock mass blocks and its applications in mining and rock mechanic engineering. *Journal of Mining and Metallurgy A: Mining*, 51(1), 41–49.
- Yarahmadi, Reza, Bagherpour, R., Kakaie, R., Mirzaie, N. H., & Yari, M. (2014). Development of 2D computer program to determine geometry of rock mass blocks. *International Journal of Mining Science and Technology*, 24(2), 191–194.
- Yarahmadi, Reza, Bagherpour, R., Sousa, L. M. O., & Taherian, S.-G. (2015). How to determine the appropriate methods to identify the geometry of in situ rock blocks in dimension stones. *Environmental Earth Sciences*, 74(9), 6779–6790.
- Yarahmadi, Reza, Bagherpour, R., Taherian, S.-G., & Sousa, L. M. O. (2018). Discontinuity modelling and rock block geometry identification to optimize production in dimension stone quarries. *Engineering Geology*, 232, 22–33.