مجله زمین‌شناسی اقتصادی
سال 1393، شماره 1، (جلد 6)
صفحه 137 تا 148

Journal of Economic Geology
2014 No. 1 (Vol. 6)
ISSN 2008-7306

مدل‌سازی زمین‌شناسی و بلوکی کانسار مرمر اونیکس قره قشلاق به‌منظور بهینه‌سازی برنامه‌ریزی تولید معدن

جعفر عبدالهی‌شریف*، علی امامعلی‌پور

گروه معدن، دانشگاه ارومیه، ایران

دریافت مقاله: 1392/1/25، پذیرش: 1392/5/22

چکیده

معدن مرمر اونیکس قره قشلاق ازجمله ذخایر بسیار با ارزش سنگ تزیینی در گستره استان آذربایجان غربی است که محصول چشمه‌های گرم آهک‌ساز بوده و ضخامت توده معدنی آن در مقایسه با گسترش سطحی محدود است. در این پژوهش، مدل‌سازی زمین‌شناسی و بلوکی کانسار مرمر به‌منظور تدوین برنامه‌ریزی تولید معدن، شناسایی موقعیت تک‌کوپ‌های استخراجی و افزایش جنبه‌های اقتصادی بهره‌برداری از آن طراحی و اجرا شده است. در خلال این پژوهش، ضمن تهیه مدل زمین‌شناسی و بلوکی معدن، در گام نخست ابعاد بهینه تک‌کوپ‌های قابل استخراج از آن تعیین و با بازنمایی معادله رویه‌های محصورکننده این طبقات مرمری در محیط رایانه، ابعاد بهینه، بیشینه تعداد و موقعیت دقیق مکانی تک‌کوپ‌های قابل استخراج از این معدن شناسایی و به واحد استخراج معرفی شده است. بر اساس یافته‌های حاصل از این مطالعات با توجه به داده‌های 83 گمانه اکتشافی موجود امکان استخراج 183 تک‌کوپ مرمر صورتی و 103 تک‌کوپ مرمر سبز با ابعاد خام 2/5×2/5×1/5 متر و فقط 2 تک‌کوپ با ابعاد 2/5×2/5×1/3 متر از لایه مرمر سفید امکان‌پذیر است. همچنین نتایج حاصل از بررسیها نشان داد با اعمال ملاحظات استخراجی و با توجه به ضریب بهره‌دهی لایه‌ها و حذف زون تغییر رنگ تدریجی بیشترین ضخامت تک‌کوپ‌ها برای طبقات مرمر صورتی، سبز و سفید به‌ترتیب 1/65و 1/65 و 1/4 متر خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: *مرمر اونیکس، قره قشلاق، مدل زمین‌شناسی، مدل بلوکی، برنامه‌ریزی تولید*

مقدمه

سنگهای تزیینی یا ابعادی بلوکهای منظمی از سنگهایی نظیر گرانیت، گنیس، گابرو، دیاباز، مرمر، سنگ آهک، ماسه‌سنگ، سنگ صابونی و اسلیت هستند [1]. کشور ایران از لحاظ تولید سنگ تزیینی، جزو پنج کشور نخست در سطح جهان می‌باشد [2] و از لحاظ تنوع و گستردگی انواع سنگ شاید نخستین کشور در سطح جهان باشد. سنگهای تزیینی مرغوب در بازار به‌طور عام به‌خاطر ویژگیهای جذاب و زیبایی ظاهری خود که حاصل رنگ، بافت، صیقل‌پذیری، و ابعاد دانه‌ها هستند، از انواع دیگر متمایز می شوند [3]. در موارد متعددی شرکتهای بزرگ معدنی به‌منظور کاهش ضایعات و استفاده بهینه از سنگ به ابعاد بزرگی از سنگهای تزیینی برای مقاصد خاصی نیاز دارند. استفاده از این ابعاد سطوح برشی برای قواره کردن سنگ را کاهش داده و سودآوری و بهره‌وری از معادن را افزایش می‌دهد.

در معدن‌کاری سنگهای تزیینی، بهینه‌سازی برنامه‌ریزی تولید معدن به‌منظور افزایش جنبه‌های اقتصادی بهره‌برداری از کانسار حایز اهمیت است. توجه به ویژگیهای زمین‌شناسی اقتصادی کانسار به‌منظور مدل‌سازی زمین‌شناسی و بلوکی کانسار از ضروریات بهینه‌سازی برنامه‌ریزی تولید معدن می‌باشد.

مطالعات مبسوطی در خصوص بهینه کردن ابعاد اولیه کانسنگ استخراجی از معادن روباز توسط محققان مختلف به‌عمل آمده است [4]، ولی در مورد بهینه‌سازی ابعاد استخراجی سنگهای تزیینی کارهای محدودی در دنیا انجام شده است. از جمله نخستین پژوهشها در این زمینه می‌توان به

*مسؤول مکاتبات: j.a.sharif@mail.ru

Archive of SID
www.SID.ir

بررسیها و داده‌کاویهای انجام‌شده برای تهیه مدلهای سه بعدی توسط محققان کانادایی در سال 1995 اشاره نمود [5]. آنان در پژوهشهای خود تعیین ابعاد اقتصادی بلوک‌های سنگ تزیینی به‌منظور بیشینه کردن بهره‌وری وکمینه کردن ضایعات را موضوع تحقیق خود قرار دادند. در ادامه تحقیقات، پژوهشگران دیگری در سال 1999 با استفاده از مدلهای چند متغیره و بر اساس بانک اطلاعاتی که از معادن سنگ تزیینی در حال بهره‌برداری تهیه نمودند یک شاخص ساده خطی را برای طبقه‌بندی کیفی ذخایر سنگ تزیینی ارائه و توسعه دادند [6]. روش آنها اجازه می‌داد هر بلوک سنگ تزیینی را بر اساس میزان کانسنگ قابل استحصال از آن در رسته‌های کیفی مختلفی طبقه‌بندی نمود. روش آنها به توسعه رهیافتی انجامید که در فرآیند اجرایی آن بهره‌برداران ذخایر سنگ تزیینی می‌توانند به بیشترین بازیابی استخراجی دست یابند. در سال 2000 نیز یک فرآیند بازگشتی [7] برای مدل‌سازی زمین‌شناسی، تعیین ذخیره و طراحی استخراجی ذخایر سنگ تزیینی ارائه گردید. این روش ابداعی با مو فقیت در 8 معدن سنگ تزیینی برزیل که ابعاد کوپ‌های استخراجی، وضعیت بازار فروش، هزینه‌های تولید و محدودیتهای استخراجی متفاوتی داشتند، به‌کار گرفته شد. یک روش مدل‌سازی رایانه‌ای و طراحی برنامه‌ریزی تولید برای سنگ تزیینی بر اساس کمینه‌کردن هزینه‌های تولید در سال 2001 توسط [8] ارائه شد. در سال 2004، با ارایه نخستین الگوریتم طراحی، برنامه‌ریزی تولید و استخراج ذخایر سنگ تزیینی تحول بزرگی در بهینه‌سازی فرآیند استخراجی از ذخایر سنگ تزیینی به‌وجود آمد [9]. بر اساس الگوریتم پیشنهادی در آن سال مدل‌سازی ذخایر سنگ تزیینی شامل دو مرحله تهیه مدلهای بلوکی و مدلهای اقتصادی بود. به‌منظور تعیین مقدار سنگ تزیینی قابل استحصال از توده معدنی و قبل از فرآیند استخراج متدولوژی جدیدی در سال 2007 معرفی شد [10]. در این متدولوژی ویژگیهای کیفی مهمترین متغیر و شاخصه تصمیم‌گیری قلمداد می‌شود. در سال 2009 نیز جایگاه مدل‌سازی سه بعدی ذخایر معدنی سنگهای تزیینی توسط [11] و [14] مورد توجه قرار گرفته و یک روش رایانه‌ای را برای کمینه‌کردن برش ویژه و افزایش بهره‌وری استخراج ذخایر سنگ تزیینی ابداع و معرفی نمودند. روش ابداعی آنها بر اساس افزایش تعداد تک‌کوپ‌های استخراجی از ذخایر معدنی بنا نهاده شده است. دامنه کاربرد مدل‌سازیهای سه بعدی در حال حاضر به زون‌بندی استخراجی و تعیین موقعیت مناسب سینه‌کارهای معادن سنگ تزیینی نیز رسیده است [12] حتی در کاربردهای جدید پیش‌بینی کیفیت کانسنگ استخراجی در سینه‌کارهای معادن سنگ تزیینی نیز با استفاده از مدل‌سازی و شبیه‌سازیهای رایانه‌ای امکان‌پذیر شده است [13].

در پژوهش حاضر با نگرش جدیدی به مدل‌سازی ذخایر سنگ تزیینی بهینه‌سازی تولید معدن مرمر قره قشلاق با تکیه بر ویژگیهای زمین‌شناختی و منشأ آن مورد پژوهش قرار گرفته است. معدن مرمر قره قشلاق در 87 کیلومتری جنوب شرقی شهرستان ارومیه و محور ارتباطی ارومیه - مهاباد واقع شده است. این کانسار از سمت غرب و شرق به آهکهای الیگو میوسن (سازند قم) با رنگهای تیره و میان‌لایه‌هایی از چرت محدود می‌شود. بیشتر قسمتهای گستره منطقه کانسار از رسوبات آواری، آبرفتی و حوضه‌های نمکی و شوره‌زار کواترنر پوشیده شده است. ذخایر مرمر این کانسار به شکل عدسیهای جداگانه‌ای در قسمت زیرین این رسوبات در میان نهشته‌های تراورتن با سن احتمالی کواترنر قرار گرفته‌اند. ماده معدنی از سه لایه مرمری با رنگهای صورتی، سبز و سفید با ضخامت متوسط 50 سانتی‌متر تشکیل شده است. زون تغییر رنگ تدریجی در بین لایه‌های مختلف نیز از 10 سانتی‌متر تا 20 سانتی‌متر متغیر است. موقعیت معدن قره قشلاق در شکل 1 ارائه شده است.

تعریف مسأله

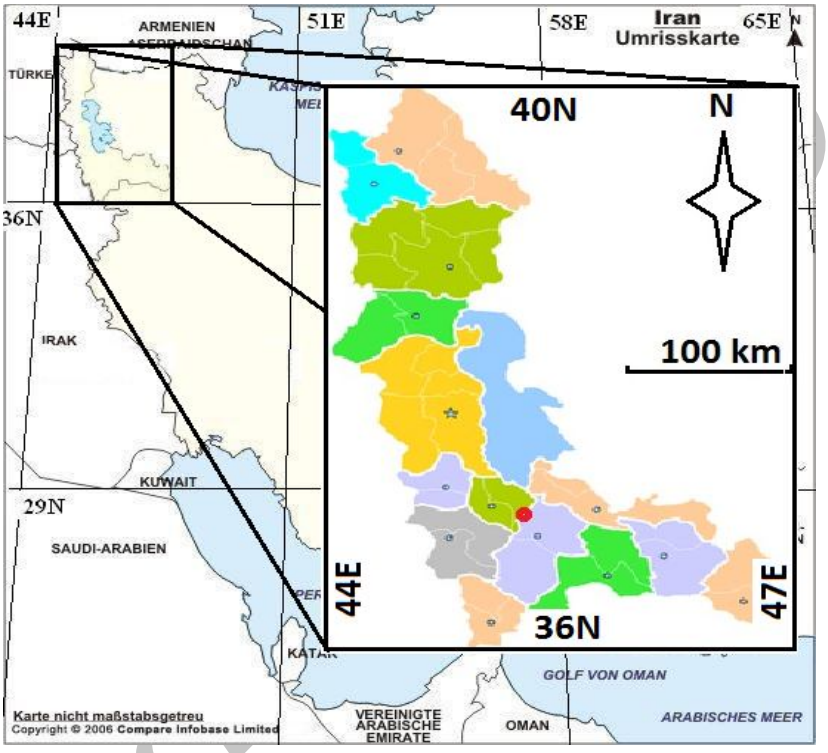
در این پژوهش، به‌منظور افزایش ارزش افزوده کانسار استخراجی و جلوگیری از اتلاف ماده معدنی، برنامه‌ریزی تولید به شرح مبانی زیر مورد توجه قرار گرفته است. در این برنامه تولید که هدف از آن بیشینه‌کردن سود و بهره‌وری از معدن است باید برای سؤالهای کلیدی زیر پاسخ لازم تهیه شود:

- با توجه به توزیع فضایی ذخیره تعداد و موقعیت تک‌کوپ‌هایی (کوپ‌های با وزن حدود 20 تا 25 تن) که از هر واحد مرمر می‌توان استخراج کرد چه مقدار است؟
- ترتیب استخراج از معدن باید به چه صورت برنامه‌ریزی شود تا زون تغییر رنگ تدریجی ماده معدنی تا حد امکان در مرز کوپ‌ها و سطوح برشی واقع گردد؟

Archive of SID

www.SID.ir

- بزرگترین کوپی که از معدن می‌توان استخراج کرد چه حجمی می‌تواند داشته باشد؟
- آیا با توجه به تجارب موجود معدن که بزرگترین کوپ استخراجی از آن ابعاد 1/5×1/8×1/2 را داشته است می‌توان با برنامه‌ریزی مناسب به کوپ‌های بزرگتر که ارزش اقتصادی بسیار بالایی دارند دست یافت؟
- برنامه تولید را به چه صورت می‌توان تنظیم نمود که کوپ‌های استخراجی فقط حاوی ماده معدنی با رنگ یکنواخت و یکسان باشند و از استخراج کوپ‌هایی که تواماً رنگ صورتی، سبز و سفید دارند اجتناب گردد؟



شکل 1. کروکی راه دسترسی به گستره معدن مرمر قره قشلاق

روش مطالعه

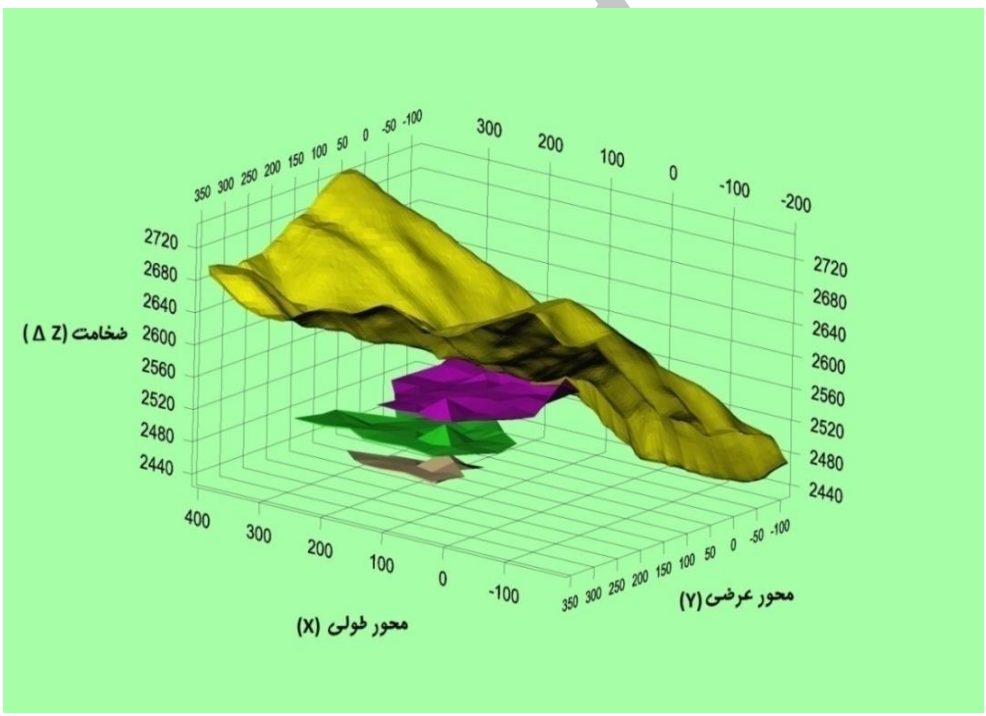
برای حل مسأله و دست‌یابی به اهداف تیم بهره‌برداری، فرآیند اجرایی کار به‌شرح زیر تدوین گردید. در این فرآیند در گام نخست داده‌های اکتشافی بیش از 117 حلقه چاهک اکتشافی بررسی، نشانه‌گذاری و مورد بازبینی قرار گرفت و از بین آنها اطلاعات 83 حلقه چاهک اکتشافی برای استفاده در تحلیلهای مهندسی انتخاب و مورد داده‌کاوی قرار گرفتند. در گام دوم پس از جمع‌بندی داده‌های صحرایی و پردازش رایانه‌ای آنها مدل سه‌بعدی ماده معدنی در سه دسته مرمر صورتی، سبز و سفید شامل مدل سطحی و مدل حجمی ذخیره تهیه شد. در گام سوم مدل بلوکی ماده معدنی با نگرش جدیدی به فرآیند مدل‌سازی و با تغییراتی که در فایل داده‌ها انجام شد، تهیه گردید و سپس با مبنا قرار دادن اطلاعات استخراجی قبلی معدن که بزرگترین کوپ استخراجی از آن ضخامتی درحدود 1/2 متر داشت، سلسله محاسباتی برای تعیین ابعاد مناسب تک‌کوپ استخراجی که ضخامت بیشتر از این مقدار را می‌تواند داشته باشد، به‌عمل آمد. پس از تعیین ابعاد کوپ‌های هدف، معادله رویه‌های محصورکننده لایه‌های مرمری پس از حذف زون تغییر رنگ تدریجی تهیه و با استفاده از تعریف برداری صفحه در فضای سه‌بعدی برنامه رایانه‌ای ویژه‌ای تدوین و بیشینه تعداد تک‌کوپ‌های قابل استخراج از هر واحد مرمر تعیین و در گام نهایی، با انجام محاسباتی ابعاد تک‌کوپ‌های قابل اسخراج بهینه‌سازی و موقعیت مکانی آنها به‌طور دقیق تعیین و در انتها برنامه تولید معدن تدوین شد.

www.SID.ir

بحث و بررسی

تهیه مدل سطحی و حجمی معدن

برای تهیه مدل سطحی و حجمی معدن از داده‌های سطحی نقشه‌برداری و نیز داده‌های 83 حلقه چاهک اکتشافی حفرشده در گستره معدن استفاده شده است. پس از مرتب‌کردن داده‌ها، فایل‌های رایانه‌ای مورد نیاز متناسب با اهداف پژوهش و با تغییراتی که در آنها به‌واسطه ماهیت خاص کانسار داده شد، تهیه و مورد پردازش قرار گرفتند. برای مدل‌سازی ذخیره قشلاق از برنامه مایکروماین که یکی از نرم‌افزارهای تخصصی قوی و مطرح در این زمینه است استفاده شده است. نرم‌افزار مزبور در محیط مجازی و بدون نیاز به خرید نسخه کامل آن از طریق اینترنت قابل دسترسی بوده و با پرداخت حدود 20 دلار به ازای هرساعت استفاده در اختیار علاقه‌مندان قرار می‌گیرد. نرم‌افزار مزبور محصول مشترک سه کشور امریکا، استرالیا و انگلیس بوده و دفتر اصلی شرکت مایکروماین در سیدنی استرالیا واقع است. خرید کامل نرم‌افزار به‌علت قیمت بسیار بالای آن برای کاربردهای محدود فاقد توجیه اقتصادی بوده و بهتر است از نسخه اینترنتی و با پرداخت هزینه ساعتی از امکانات آن استفاده کرد. در شکل 2 مدل سطحی معدن مرمر قره‌قشلاق که در زیر آن احجام سه‌بعدی سه لایه مرمر صورتی، سبز و سفید نمایش داده شده‌اند، ارائه شده است. موقعیت گمانه‌های اکتشافی به‌همراه مدل سطحی نیز در شکل 3 ارائه شده است. پس از تهیه مدل سطحی و نیز پردازش و ساخت استرینگ فایلهای مورد نیاز با تغییراتی که در ساختار فایل زمین‌شناسی معدن داده شد، این امکان فراهم گردید تا مدل حجمی سه لایه مرمر و نیز زون‌های تغییر رنگ تدریجی به‌صورت جداگانه ساخته شود.



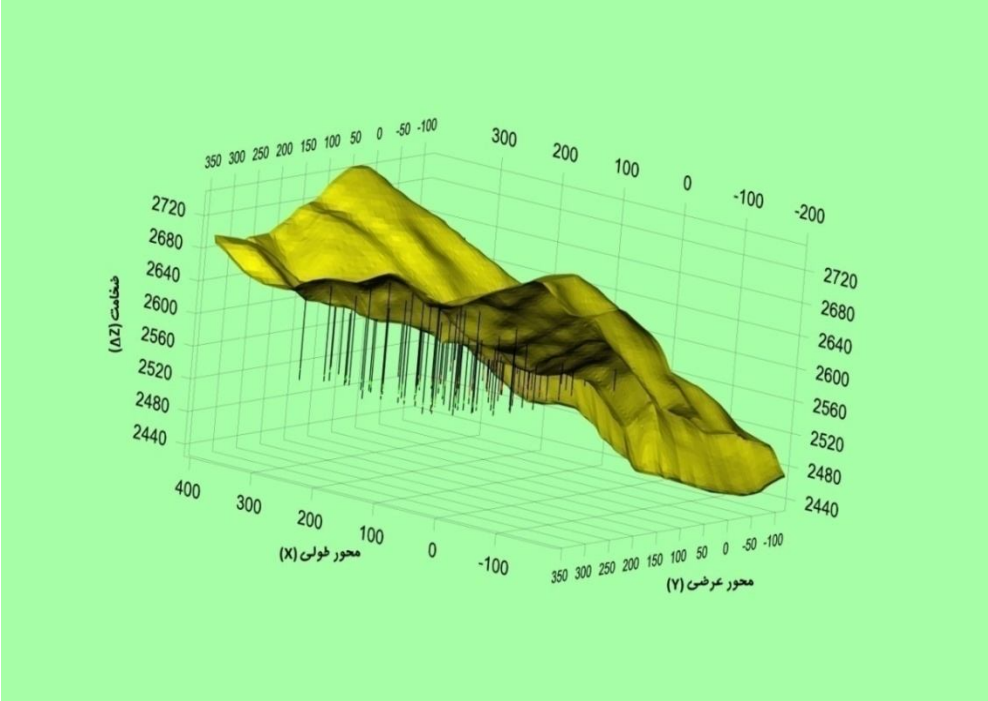
شکل 2. مدل سطحی معدن مرمر قره‌قشلاق به‌انضمام لایه‌های مرمر (برای ارائه جزئیات بیشتر فاصله طبقات مرمر از هم 30 متر منظور شده و محور ΔZ پنج برابر شده است).

تعیین ابعاد بهینه کوپ‌های استخراجی

استفاده از ابعاد بهینه برای کوپ‌های استخراجی جنبه‌های اقتصادی بهره‌برداری از معدن را افزایش داده و به افزایش ارزش اقتصادی آن منجر می‌شود. بر اساس نظر پژوهشگران مختلف شکل بهینه برای کوپ‌های استخراجی در وهله اول مکعب و در غیر این‌صورت مکعب مستطیل با مقطع مربع است [14]. ولی در هر معدن و متناسب با ویژگیهای ژئومتری ذخیره ابعاد کوپ‌های استخراجی برای بهره‌برداری بهینه از آن متفاوت خواهد بود. در معدن قره‌قشلاق که ضخامت اقتصادی کوپ‌های استخراجی به‌علت قیمت بسیار زیاد کانسنگ به

www.SID.ir

حدود 40 سانتی‌متر تقلیل یافته است، تعریف تک‌کوپ استخراجی که حاوی وزن بالا و ابعاد مناسب برای برش و قواره‌کردن باشد نسبت به ذخایر دیگر متفاوت است. در این معدن با توجه به تجارب اجرایی موجود و با توجه به ضخامت متوسط ماده معدنی، تک‌کوپ‌هایی که تاکنون استخراج شده‌اند ضخامتی حدود 100 تا 120 سانتی‌متر داشته‌اند. شایان ذکر است با افزایش ابعاد و تناژ کوپ استخراجی از معدن قشلاق قیمت آن به‌شدت افزایش می‌یابد، به‌گونه‌ای که قیمت واحد وزن کوپ 25 تنی این معدن چندین برابر قیمت کوپ‌هایی است که وزن آنها حدود 2 تا 3 تن می‌باشد. در ادامه با توجه به محدودیت کاری و با توجه به جنبه‌های بسیار جذاب اقتصادی کوپ‌های بزرگ، مناسبترین ابعاد برای تولید تک‌کوپ از این معدن که وزنی حدود 20 تا 25 تن دارند به شرح زیر مورد جست‌وجو قرار گرفته است.



شکل 3. مدل سطحی معدن مرمر قره‌قشلاق به‌انضمام گمانه‌های اکتشافی حفر شده در گستره کانسار (برای ارائه جزئیات بیشتر محور ΔZ پنج برابر شده است).

معادله پارامتری برای تعیین وزن تک‌کوپ بهینه معدن قره‌قشلاق را می‌توان به شرح رابطه 1 بازنویسی نمود. در این رابطه h معرف ارتفاع بلوک است که با توجه به تجارب کاری موجود در معدن و طرح بهره‌برداری مصوب آن با ارتفاع طبقه یا پله استخراجی از معدن متناسب بوده و با توجه به داده‌های طرح بهره‌برداری و تجارب اجرایی در نخستین مرحله بهینه‌سازی با عدد ثابت 1/2 متر جای‌گزین خواهد شد. دوباره تأکید می‌شود که مقدار عددی h با توجه به محدودیت کاری معدن قشلاق، تجارب اجرایی و بر اساس طرح بهره‌برداری و نظارتی آن انتخاب شده است [15] و در ذخایر مختلف می‌تواند مقادیر متنوعی را متناسب با ارتفاع پله استخراجی انتخاب نماید، پارامتر w معرف وزن تک‌کوپ است که متناسب با امکانات معدن و محدودیتهای حمل‌ونقل جاده‌ای20 تن منظورشده است، γ وزن مخصوص ماده معدنی بر حسب تن بر متر مکعب و a و b ابعاد قاعده تک‌کوپ استخراجی بر حسب متر هستند.

$$w = a \times b \times h \times \gamma = 0 \quad \text{رابطه (1)}$$

با توجه به پژوهشهای انجام‌شده و برداشت 20 نمونه از معدن برای تعیین وزن مخصوص نتایجی به شرح جدول 1 به دست آمده است. از روی نتایج حاصل میانگین حسابی وزن مخصوص برابر 2/618 گرم برسانتی‌متر مکعب به‌دست می‌آید، بنابراین می‌توان وزن مخصوص کانسنگ استخراجی را با اطمینان کافی 2/62 گرم بر سانتی‌متر مکعب منظور نمود.

www.SID.ir

جدول 1. نتایج حاصل از آزمایشهای تعیین وزن مخصوص کانسنگ معدن مرمر قره‌قشلاق.

ردیف	شماره نمونه	وزن مخصوص gr/cm^3	ردیف	شماره نمونه	وزن مخصوص gr/cm^3
1	SG-01	2/61	11	SG-11	2/62
2	SG-02	2/6	12	SG-12	2/64
3	SG-03	2/63	13	SG-13	2/63
4	SG-04	2/61	14	SG-14	2/64
5	SG-05	2/62	15	SG-15	2/6
6	SG-06	2/64	16	SG-16	2/6
7	SG-07	2/63	17	SG-17	2/61
8	SG-08	2/61	18	SG-18	2/62
9	SG-09	2/6	19	SG-19	2/61
10	SG-10	2/61	20	SG-20	2/63

با جانمایی مقادیر ثابت، رابطه 1 را می‌توان بـه شـرح رابطـه 2 بازنویسی نمود.

رابطه (2) $w = a \times b \times h \times \gamma \Rightarrow a \times b = 6/36\ m^2$

برای تعیین مقادیر بهینه b و a در ایـن پـژوهش سـعی شـده است مقدار عددی آنها با دیدگاه کمینه کردن سطح برش برای تک‌کوپ‌های استخراجی و به‌شرح روابط زیر تعیین گردد.

رابطه (3) $S = 2\times (a+b)\times 1.2 + 2\ a\times b$

در رابطه 3 پارامتر S معرف سطح جانبی کل تک‌کـوپ اسـت. رابطه 3 را می‌تـوان بـا اسـتفاده از رابطـه 2 بـه‌شـرح رابطـه 4 بازنویسی نمود.

رابطه (4) $S = (12.72\ a + 2.4\ a^2 + 15.26)/a$

مناسبترین مقدار a زمانی حاصل می‌شود که S کمترین مقدار خود را داشته باشد، زیرا S معرف سطح برش در معدن بـوده و کمینه‌کردن آن به افزایش جنبه‌های اقتصادی طـرح اسـتخراج از معدن منجر خواهد شد. برای کمینه‌کردن مقدار S رابطـه 5 از روی مشتق رابطه 4 به‌شرح زیر حاصل می‌شود

رابطه (5) $\partial S/\partial a = (2.4\ a^2 - 15.26)/a^2$

با مساوی قراردادن مقدار مشتق تـابع S بـا کمینـه مقـدار آن (صفر)، مناسبترین بعد a برای کمینـه‌کـردن سـطح بـرش بـه شرح رابطه 6 حاصل می‌شود.

رابطه (6) $2.4\ a^2 - 15.26 = 0 \Rightarrow a = 2.52 \approx 2.5\ m$

با جای‌گزینی مقـدار a از رابطـه 6 در رابطـه 3 ابعـاد مناسـب تک‌کوپ استخراجی معـدن بـه شـرح جـدول 2 خواهـد بـود.

جدول 2. ابعاد بهینه تک‌کوپ استخراجی معدن قره‌قشلاق (برحسب متر).

طول (X)	عرض (Y)	ارتفاع (Z)
2/5	2/5	1/2

مقادیر مندرج در جدول 2 بر اساس ضخامت تک‌کوپ‌هایی که تاکنون در معدن استخراج شده است، حاصل گردیـده و لزومـاً نمی‌تواند بهترین مقادیر برای ادامه عملیات استخراجی قلمـداد گردد. بـدیهی اسـت چنـان کـه بتـوان بـا اسـتفاده از فرآینـد مدل‌سـازی و بررسـیهای زمـین‌شناسـی و مهندسـی بـه ابعـاد بهتری دست‌یافت، این مقادیر باید مورد جست‌وجو و عمل قرار گیرند. به‌خصوص ارتفاع کـوپ‌هـا نیـاز بـه بـازنگری داشـته و نیازمند بهینه‌سازی جدی هستند.

تهیه مدل بلوکی ذخایر مرمر

پس از تعیین ابعاد بهینه تک‌کوپ برای معدن قره‌قشلاق سؤال مهمی که در پیش روی گـروه پژوهشـی قـرار داشـت، تعیـین موقعیت و تعداد تک‌کـوپ‌هـایی بـود کـه در هـر واحـد مرمـر می‌توانست استخراج شود. شایان ذکر است که قیمت هـر تـن تک‌کوپ معدن چند برابر کوپ‌هایی است که ابعاد کـوچکتری دارند. بر اساس این اصل برنامه‌ریزی تولید معدن به‌گونه‌ای که بتوان بیشترین تک‌کوپ را از آن استخراج نمود از اهداف بسیار مهم این پژوهش قلمداد می‌گردد. برای رسیدن به ایـن هـدف،

Archive of SID

www.SID.ir

مدل بلوکی اصلاح‌شده تک‌تک ذخایر با احتساب زون تغییر رنگ تدریجی که قرارگیری آن در ساختار کوپ‌های استخراجی موجب کاهش قیمت آن می‌گردد مد نظر قرار گرفت. برای تهیه این مدل در گام نخست ساختار فایل‌های اطلاعاتی معدن مورد بازنگری قرار گرفت و با اضافه نمودن واحدهای جدیدی در ساختار ستون چینه‌ای گمانه‌ها تحت عنوان زون‌های تغییر رنگ، مدل سه‌بعدی ذخایر مرمر دوباره تهیه و موقعیت زون تغییر رنگ تدریجی در آنها به‌طور دقیق مشخص گردید. به‌منظور افزایش جنبه‌های بهینه‌سازی و افزایش تعداد تک‌کوپ‌ها تهیه مدل بلوکی ذخایر مرمر با ابعاد بهینه تک‌کوپ مد نظر قرار گرفت. در تهیه مدل‌های بلوکی دو پارامتر مهم از ارزش و اهمیت بیشتری برخوردار بوده و انتخاب صحیح و مناسب این پارامترها کمک زیادی به بهینه‌سازی مدل و نیز تهیه مدل‌های تجمعی می‌کند. این دو پارامتر عبارتند از ابعاد بهینه بلوک‌های تشکیل‌دهنده مدل و به تبع آن ابعاد ریزبلوک‌های مدل و پارامتر دوم موقعیت مکانی و مختصه جغرافیایی نخستین بلوک مدل است که بقیه بلوک‌ها متناسب با موقعیت آن در داخل حجم سه‌بعدی ذخیره قرار می‌گیرند. هردو پارامتر در این معدن با توجه به نقش مهم آنها در کاهش و یا افزایش تعداد تک‌کوپ‌ها باید با دقت بالا تعیین گردند. با محاسبات انجام شده تاکنون ابعاد اولیه مدل بلوکی متناسب با اهداف بهینه‌سازی این پژوهش تعیین شده است و با اطمینان می‌توان مقادیر x=2/5، y=2/5 و z=1/2 را برای بلوک‌های اولیه لحاظ نمود. ولی چنان‌که پیشتر نیز اشاره گردید ساخت مدل بلوکی بهینه فزون بر ابعاد بلوک‌های اولیه به موقعیت مکانی نخستین بلوک مدل نیز وابسته است. انتخاب موقعیت مکانی مناسب برای مرکز نخستین بلوک مدل به تولید بیشترین تعداد تک‌کوپ از مدل‌های سه‌بعدی ذخایر مرمر منجر خواهد شد. برای تعیین موقعیت مکانی این بلوک کلیدی معادله رویه‌هایی که محصورکننده هر کدام از لایه‌های مرمر هستند در محیط رایانه بازنمایی شد.

تهیه معادله رویه‌های محصورکننده ذخایر مرمر

برای تعیین معادله رویه‌های محصورکننده ماده معدنی که هر کدام از یک دسته صفحات مختلف ساخته شده‌اند. در نخستین گام مختصات سه نقطه که رئوس سطوح مثلث‌بندی تشکیل‌دهنده سطح و کف رویه‌ها هستند از استرینگ فایل‌های ساخته شده در راستای پروفیل‌های اکتشافی استخراج و با سازوکار زیر معادله خطوط و صفحات محصورکننده این رویه‌ها در محیط رایانه‌ای بازنمایی شد.

برای تعیین معادله این سطوح گامهای اجرایی زیر به مرحله اجرا درآمده است که برای نشان‌دادن دقیق فرآیند اجرایی، سه نقطه موجود در روی دو استرینگ متوالی متعلق به مرمر صورتی به شرح شکل 4 که سازنده یکی از سطوح محصورکننده فوقانی مرمر صورتی‌رنگ است با مختصات ارائه شده در جدول 3 انتخاب و صفحه محصورکننده آن به‌شرح روابط 7 تا 14 تعیین گردید.

به منظور تعیین صفحه محصورکننده، دو بردار موجود برروی صفحه مزبور که ابتدای آن در پروفیل شماره 4 و انتهای آن در پروفیل شماره 5 قرار دارد (شکل 4) انتخاب می‌گردد. با توجه به مختصات نقاط A, B, C دوبردار مزبور معادلاتی به‌شرح روابط 8 و10 خواهند داشت.

$$\overrightarrow{AC} = (X_C - X_A)\vec{i} + (Y_C - Y_A)\vec{j} + (Z_C - Z_A)\vec{k}$$ رابطه (7)

$$\overrightarrow{AC} = 22\vec{i} + 40\vec{j} - 1.25\vec{k}$$ رابطه (8)

$$\overrightarrow{BC} = (X_C \quad X_B)\vec{i} + (Y_C \quad Y_B)\vec{j} + (Z_C \quad Z_B)\vec{k}$$ رابطه (9)

$$\overrightarrow{BC} = -4\vec{i} + 33\vec{j} - 1.04\vec{k}$$ رابطه (10)

از طریق معادلات 7 تا 10 می‌توان بردار نرمال بر صفحه ABC را از ضرب خارجی دو بردار $\overrightarrow{AC}$ و $\overrightarrow{BC}$ به شرح رابطه شماره 13 به‌دست آورد.

$$\vec{N} = \overrightarrow{AC} \times \overrightarrow{BC}$$ رابطه (11)

$$\vec{N} = \begin{vmatrix} i & j & k \\ 22 & 40 & -1.25 \\ -4 & 33 & -1.04 \end{vmatrix}$$ رابطه (12)

$$\vec{N} = -0.35\vec{i} + 27.88\vec{j} + 866\vec{k}$$ رابطه (13)

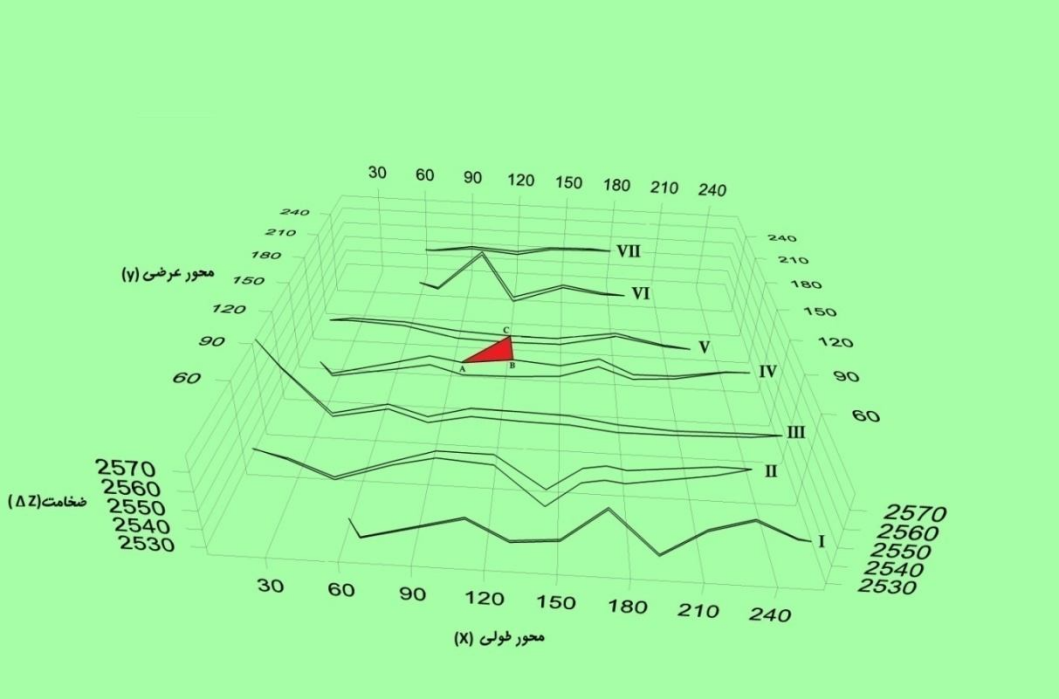
با توجه به مختصه‌های بردار نرمال بر سطح، معادله بخشی از صفحه محصورکننده مرمر صورتی در حد فاصل سه نقطه A، B و C به شرح رابطه 14 خواهد بود.

$$-0.35x + 27.88y + 866z = 1163398$$ رابطه (14)

تعداد معادلات محصورکننده این تیپ مرمر در فرآیند مدل‌سازی این کانسار بیش از 220 صفحه است که همگی با سازوکار ارائه شده در محیط مجازی رایانه ساخته و در ادامه مطالعات مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل 4. استرینگ‌های تشکیل‌دهنده پیکره مرمر صورتی (برای ارایه جزئیات بیشتر و امکان مشاهده ضخامت ماده معد نی محور ΔZ پنج برابر شده است).

جدول 3. مختصات نقاط انتخابی برای تعیین معادله‌بخشی از رویه محصورکننده مرمر صورتی (ابعاد بر حسب متر).

نقطه	طول(X)	عرض(Y)	ارتفاع(Z)
A	98	136	1308/85
B	124	143	1308/64
C	120	176	1307/60

تدوین کد رایانه‌ای به‌منظور بهینه‌سازی مدل بلوکی

پس از تعیین بردار نرمال بر هر یک از سطوح مثلثی تشکیل‌دهنده رویه‌ها، معادله رویه تشکیل‌دهنده سطح و کف هر کدام از لایه‌های مرمر در محیط رایانه ساخته شد و سپس در محیط نرم‌افزار Excel برنامه‌ای برای تجزیه و تحلیل رویه‌ها و یافتن مختصات بلوک کلیدی اولیه مدل بلوکی نگاشته شد. برای نگاشت رایانه‌ای روابط بازگشتی به شرح گامهای اجرایی زیر در نظر گرفته شده است.

در نخستین گام در این نرم‌افزار موقعیت مکانی بلوک کلیدی اولیه به ابعاد 1/2×2/5×2/5 متر در ابتدایی‌ترین نقطه مدل حجمی هریک از واحدهای مرمر انتخاب و براساس موقعیت آن چیدمان بقیه بلوک‌ها که ابعادی معادل تک‌کوپ استخراجی دارند انجام می‌گیرد. برای تعیین تکلیف بقیه قسمتهای ذخیره نیز که در ساختار تک‌کوپ‌ها قرار نمی‌گیرند از ایده ریزبلوک‌ها برای ساخت کوپ‌های کوچکتر استفاده شده است. ابعاد ریزبلوک‌ها با توجه به محدودیت استخراجی معدن و نیز بازار مصرف در راستای z معادل 0/4 متر و در راستای x و y معادل 0/5 متر در نظر گرفته شد. استفاده از ابعاد پیش گفته این مفهوم را القا می‌کند که کوچکترین کوپ قابل استخراج در معدن قره‌قشلاق که قابلیت فروش توسط معدن را دارد ابعادی معادل 0/5×0/5×0/4 متر است که از این کوپ‌ها برای ساخت لوازم تزیینی، گلدان، پایه چراغ و غیره استفاده می‌شود و دقیقاً با واقعیتهای استخراجی امروز معدن مطابقت دارد.

در گام دوم، بهینه‌سازی مدل بلوکی با دیدگاه افزایش ارتفاع تک‌کوپ‌ها و بهینه‌سازی ابعاد آنها انجام می‌گیرد. هدف از اجرای این مرحله از بهینه‌سازی افزایش ارزش افزوده تک‌کوپ‌های استخراجی با افزایش ارتفاع آنهاست. شایان ذکر

Archive of SID

www.SID.ir

است با نزدیک‌شدن ابعاد بلوکها به یکدیگر ارزش اقتصادی آنها افزایش می‌یابد و با استفاده از روابط 1 تا 6 می‌توان اثبات کرد با همگرایی ابعاد بلوک‌ها به همدیگر برش ویژه و متعاقب آن هزینه‌های تولید نیز کاهش می‌یابد. در این مرحله از بهینه‌سازی ارتفاع بلوکهای مرمر صورتی و سبز به 1/65 متر و مرمر سفید به 1/4 متر افزایش یافت که این امر به نوبه خود انقلابی در تاریخچه بهره‌برداری از این معدن به‌شمار می‌رود و موجب شد برخلاف گذشته امکان استخراج تک‌کوپ‌های مرغوبتری از این معدن فراهم گردد. پس از اجرای این گام، برنامه رایانه‌ای تعداد کوپ‌های قابل استخراج در 75 دسته را که ابعاد برخی از آنها در جدول 4 ارائه شده است، گزارش می‌نماید. در گام بعدی که در خلال آن فرآیند بهینه‌سازی موقعیت بلوک کلیدی اولیه انجام می‌گیرد، برنامه رایانه‌ای با تغییر مختصات بلوک اولیه به‌ترتیب در راستاهای z و y و x و در هر راستا به‌میزان یک سانتی‌متر در هر مرحله ترکیبهای دیگری در 75 دسته استخراجی را ایجاد و با یکدیگر مقایسه می‌کند و در نهایت ترکیب چیدمانی از بلوک‌ها را که به‌واسطه آن بیشترین تعداد تک‌کوپ را در ساختار مدل بلوکی مشارکت می‌نماید تعیین و مختصه نظیر بلوک کلیدی را که به ازای آن چیدمان بهینه حاصل می‌شود، گزارش می‌کند.

نتایج حاصل از فرآیند بهینه‌سازی بر روی لایه‌های مرمر

بر اساس نتایج حاصل از پردازش رایانه‌ای و نیز تحلیلهای مهندسی گروه پژوهشی موفق شد به نتایج بسیار با ارزش و خیره‌کننده‌ای دست یابد که در طول عمر بهره‌برداری از معدن سابقه نداشت. بر اساس نتایج حاصل تعداد تک‌کوپ‌های قابل استخراج به نحو چشم‌گیری افزایش یافت که این امر به نوبه خود جنبه‌های اقتصادی بهره‌برداری از معدن را افزایش می‌دهد. نتایج حاصل از این مرحله از بهینه‌سازی در جدول 5 ارائه شده است.

جدول 4. برخی از ابعاد محتمل کوپ‌های استخراجی معدن قره‌قشلاق (ابعاد بر حسب متر).

ردیف	شرح	طول(X)	عرض(Y)	ارتفاع(Z)
1	کاتاگوری I	2/5	2/5	1/2
2	کاتاگوری II	2	2/5	1/2
3	کاتاگوری III	1/5	2/5	1/2
4	کاتاگوری IV	1	2/5	1/2
5	کاتاگوری V	0/5	2/5	1/2
6	کاتاگوری VI	2	2/5	0/8
7	کاتاگوری VII	1/5	2/5	0/8
8	کاتاگوری VIII	1	2/5	0/8
9	کاتاگوری IX	0/5	2/5	0/8
10	کاتاگوری X	2	2/5	0/4

جدول 5. نتایج حاصل از بهینه‌سازی تعداد و ابعاد بلوکها (ابعاد بلوک‌ها برحسب متر).

ردیف	نوع مرمر	تعداد تک کوپ	طول تک کوپ	عرض تک کوپ	ارتفاع تک کوپ
1	صورتی	268	2/5	2/5	1/5
2	سبز	226	2/5	2/5	1/5
3	سفید	11	2/5	2/5	1/3

در ادامه مطالعات و به‌منظور اعمال جنبه‌های استخراجی در مدل و ملحوظ نمودن دیدگاههای بهره‌برداری و حذف تأثیر نامطلوب خطاهای محاسباتی و نیز برداشتهای زمین‌شناسی در فرآیند مدل‌سازی، افت ناشی از استخراج و برش در حین بهره‌برداری از معدن برای تصحیح نتایج حاصله، در مدل اعمال و ابعاد خام بلوکها با احتساب افت ناشی از برش در سه جهت

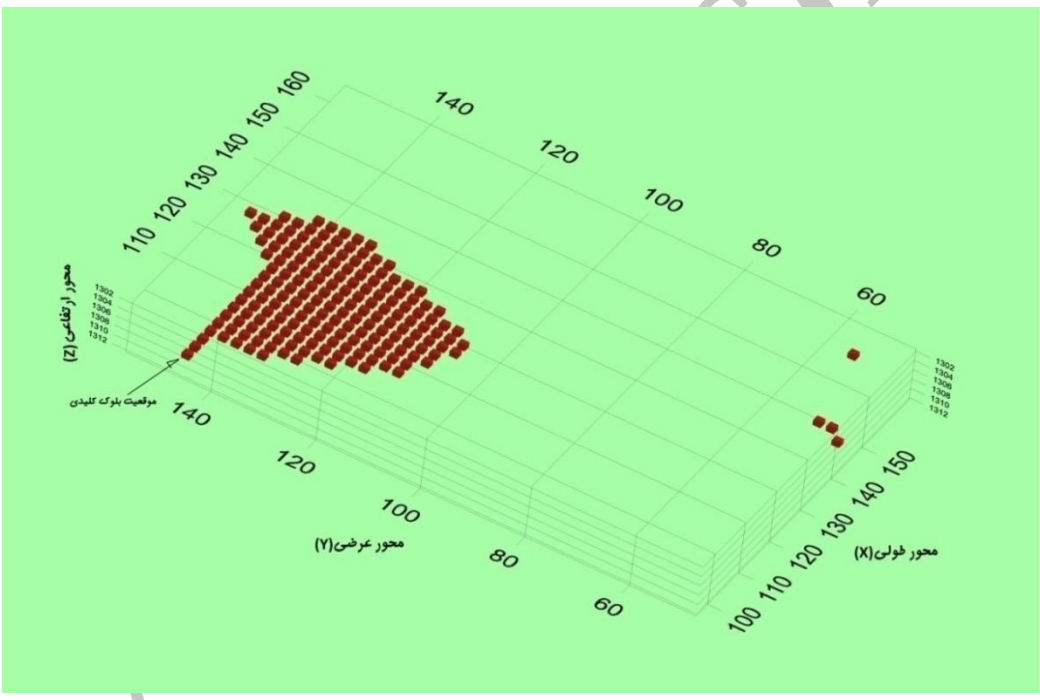
Archive of SID

www.SID.ir

حدود 10 سانتی‌متر افزایش و مجدداً تمامی مراحل مدل‌سازی به منظور دست‌یابی به نتایج عملی اجرا شد که یافته‌های حاصل از این مرحله از فرآیند بهینه‌سازی در جدول 6 ارائه شده است. برای ارائه تصویر روشنی از مراحل اجرایی، نتایج حاصل ازبهینه‌سازی نهایی مدل استخراجی از معدن برای واحدهای مرمر صورتی و سبز در شکلهای 5 و 6 نیز ارائه شده است.

جدول 6 . نتایج نهایی مدل‌سازی به‌انضمام مختصات بلوک کلیدی هر یک از طبقات مرمری (ابعاد بر حسب متر).

ردیف	نوع مرمر	تعداد نهایی تک کوپها	طول بلوک کلیدی(X)	عرض بلوک کلیدی(Y)	ارتفاع بلوک کلیدی(Z)
1	صورتی	183	97	145/5	1307/85
2	سبز	103	125/1	177/7	1306/1
3	سفید	2	122	260/4	1308



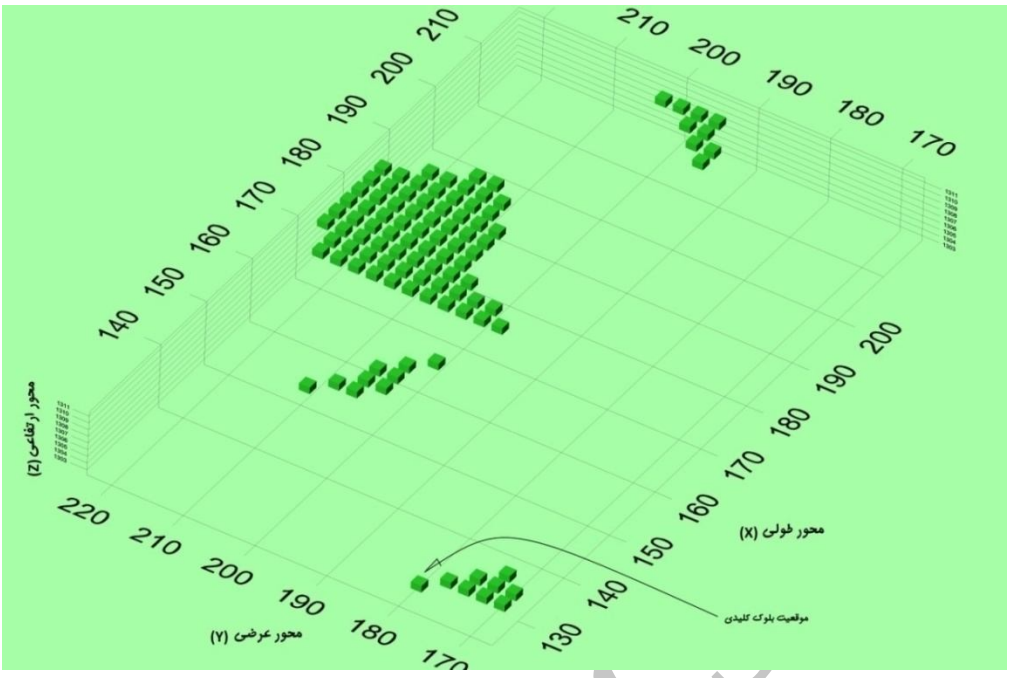
شکل 5. موقعیت نهایی تک‌کوپ‌های قابل استخراج از مرمر صورتی.

نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از اجرای پژوهش را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد:

انجام مدل‌سازی رایانه‌ای قبل از طراحی استخراج ذخایر سنگ تزیینی کمک شایانی به افزایش جنبه‌های اقتصادی و بهره‌وری از این ذخایر می کند. پژوهش حاضر نشان می‌دهد که توجه به ویژگیهای زمین‌شناسی ذخایر سنگ تزیینی و تعیین گسترش فضایی ذخیره رمز یک برنامه‌ریزی خوب و بهینه به‌شمار رفته و بدون تهیه مدل‌های رایانه‌ای امکان برنامه‌ریزی بلندمدت تولید در این قبیل ذخایر وجود ندارد. با توجه به نتایج حاصل می‌توان بیان نمود که تدوین برنامه‌ریزی تولید ذخایر سنگ تزیینی به افزایش ارزش افزوده کانسنگ استخراجی منجر شده و با استفاده از این مدل‌ها می‌توان انجام سفارشهای بازار و تأمین نیازمندیهای آن را با تکیه بر مدل‌های سه بعدی به‌راحتی انجام داد.

www.SID.ir



شکل 6 . موقعیت نهایی تک‌کوپ‌های قابل استخراج از مرمر سبز.

قدردانی

از زحمات آقای مهندس پاشاپور، مدیریت محترم معدن قره‌قشلاق که اطلاعات مفیدی را برای انجام این پژوهش در اختیار گروه پژوهشی قرار داده اند، صمیمانه سپاس‌گزاری می‌شود.

منابع

[1] Luodes H., Selonen O., Paakkonen K.," *Evaluation of dimension stone in gneissic rocks Ð a case history from southern Finland"*, Engineering Geology 52 (2000) 209-223.

[2] Montani C.," *Stone World Marketing Handbook "*, Gruppo Editoriale Faenza, Italy (2007) 200 p.

[3] Rathore S. S., Bhandari S., *"Study on controlled blasting techniques in dimensional stone quarrying"*, International Journal of Mining Engineering 86 (2006) 46-49.

[4] Caccetta L.,*"Application of Optimisation Techniques in Open Pit Mining. Handbook of perations Research in Natural Resources"*, Springer-US 99 (2007) 547-559.

[5] Koppe J. C., Zingano A. C.,Costa J. F. C. L., *"Three dimensional modeling in planning ornamental stone quarries"*, Proceeding of the Fourth International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection, Calgary, Canada. A. A. Balkema, Rotterdam, (1995) 1136 p.

[6] Taboada J., Vaamonde A., Saavedra A., *"Evaluation of the quality of a granite quarry"*, Engineering Geology 53 (1999) 1–11.

[7] Caranassios A., Tomi G. D., Senhorinho N., *" Geological modeling and mine planning for dimension stone quarries"* ,Proceedings of Mine Planning and Equipment Selection, Panagiotou & Michalakopoulos (eds), Balkema, Rotterdam (2000) 971.

[8] Xu H., Wu Q., *"A framework modeling of geological related spatial data in 3D scene"*, Proceedings of the 6th International Symposium on Future Software Technology, Zhengzhou, China (2001) 782 p.

[9] Bastante F. G., Taboada J., Ordonez C., *"Design and planning for slate mining using optimisation algorithms"*, Engineering Geology 73 (2004) 93–103.

[10] Mutlutürk M., *" Determining the amount of marketable blocks of dimesional stone before actual extraction"*, Journal of Mining Science 43 (2007) 67-72.

[11] Abdollaheisharif J., Bakhtavar E ., *"An intelligent algorithm of minimum cutting plane to find optimal size of extractable-blocks in dimension stone quarries"*, Archives of Mining Sciences 54 (2009) 641-656.

Archive of SID

www.SID.ir

[12] Ozcelik.Y ., *"Determination of the regions used as facing and building stone according to the material characteristics in an andesite quarry* ", Engineering Geology 118 (2011) 104-109

[13] Sohrabian B., Ozcelik Y., *"Joint simulation of a building stone deposit using minimum /maximum autocorrelation factors*'', Construction and Building Materials 37 (2012) 257-268

[14] عبدالهی‌شریف ج.، امامعلی‌پور ع.، علی‌پور ع.، مختاریان اصل م.، *"جایگاه مدل‌سازی سه بعدی ذخایر معدنی در بررسیهای زمین‌شناسی اقتصادی، تعیین ذخیره و ژنز آنها (با بررسی موردی بر روی گروهی از ذخایر سنگ تزیینی استان آذربایجان‌غربی)"*، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، شماره 1 (1389) ص 51-59.

[15] پاشاپور خ.، *" گزارش فنی طرح بهره‌برداری معدن مرمر قره‌قشلاق"*، گزارش داخلی سازمان صنعت معدن تجارت استان آذربایجان غربی، (1389).

Archive of SID

www.SID.ir