فصلنامه علمی پژوهشی زمین شناسی محیط زیست
سال نهم، شماره ۳۳، زمستان ۱۳۹۴

طبقه‌بندی و تفکیک باطله‌های معدنی در معدن سنگ آهن چادرملو با هدف کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی

سید حمیدرضا میراحمدی[۱] و امیرحسین بانگیان تبریزی*[۲]

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی معدن، دانشگاه آزاد اسلامی- واحد تهران جنوب، mirahmadi_hr@yahoo.co.uk
۲- استادیار، گروه مهندسی معدن، دانشگاه آزاد اسلامی- واحد تهران جنوب، ah_bangian@azad.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۴/۱/۲۰ تاریخ تصویب: ۹۴/۱۰/۳۰

چکیده

ازجمله مسائل زیست‌محیطی در معادن روباز مسئله تفکیک و ارسال باطله‌های معدنی با عیار متفاوت به مقصد انباشتگاه‌های متفاوت باطله است. در این مقاله از این منظر به برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت پرداخته می‌شود. در برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت مرز دقیق کانسنگ و باطله، بهینه‌سازی عیار کانسنگ استخراجی، ترتیب استخراج بلوک‌های کانسنگ و باطله و درنهایت تعیین مقصد آن‌ها دنبال می‌شود. یکی از ساده‌ترین راه‌های تخمین عیار در پله استخراجی استفاده از داده‌های چال‌های انفجاری یک یا دو پله بالاتر از پله موردنظر است. به‌منظور اعتبار سنجی مدل ارائه‌شده از داده‌های معدن سنگ‌آهن چادرملو استفاده می‌شود. در این معدن پله واقع در تراز ۱۴۶۵ متری به‌عنوان پله هدف برنامه‌ریزی تولید تعیین گردید. متوسط و کمترین عیار آهن در این پله به ترتیب ۵۷/۰۸ و ۵۳/۶۲ درصد برآورد شده است. بنابراین درصورتی‌که فقط به عیار تخمین زده‌شده در مرحله تخمین ذخیره جهت برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت توجه شود بیش از ۳۰٪ ذخیره به دپوی باطله منتقل می‌شود. مدل ارائه شده برای انباشتگاه‌های باطله با عیار متفاوت سنگ آهن برای کاربردهای بالقوه آینده برنامه‌ریزی می‌شود.

واژگان کلیدی: چال‌های انفجاری، مشکلات زیست‌محیطی، برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت، انباشتگاه‌های باطله، معدن سنگ‌آهن چادرملو.

مقدمه

در سال‌های اخیر، فشار بر شرکت‌های معدنی برای به حداقل رساندن اثرات زیست‌محیطی عملیات استخراج به‌طور فراوانی افزایش یافته است. درنتیجه اکنون، پیشگیری و کاهش اثرات زیست‌محیطی در دستور کار عملیات معدنکاری مدرن قرار دارد (Darling, 2011). مواد معدنی برای بقای بشر ضروری هستند، ولی اثرات منفی ناشی از گسترش وسیعی که در استخراج پدید آمده رفته‌رفته از فواید آن‌ها می‌کاهد. در سرتاسر دنیا استخراج و فراوری مواد معدنی نقش مهمی در مشکلات زیست‌محیطی از قبیل کاهش سطح جنگل‌ها، فرسایش خاک و آلودگی آب‌وهوا ایفا می‌کند. در مقیاس جهانی صنایع معدنی از جمله بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان انرژی هستند و از این راه به آلودگی هوا و گرم شدن کره زمین می‌افزایند (شکوفه، ۱۳۷۹).

با در نظر گرفتن معیار عمق کلیه معادن به یکی از دو روش سطحی و زیرزمینی استخراج می‌شوند. روش استخراج روباز در مورد کانسارهای فلزی و غیرفلزی‌ای کاربرد دارند که در سطح یا نزدیکی آن قرار دارند (Tatiya, 2013). در این روش باطله‌های معدنی به نقطه‌ای دورتر از محل معدن حمل و ذخیره می‌شوند. اصلاح هر مشکلی که پس از انتقال نهایی و انباشت باطله پیش بیاید بسیار پرهزینه خواهد بود (Hustrulid, 2013). مدیریت سنگ‌های استخراج‌شده از معدن بروی تفکیک باطله و مواد معدنی و همچنین مشکلات مرتبط با حجم عظیم آن‌ها متمرکز است. مادامی‌که عملیات معدنکاری بزرگ‌تر می‌شود حجم باطله‌ها و سنگ‌های استخراج‌شده افزایش می‌یابد. مدیریت این مواد بسیار چالشی است و اشتباهات می‌تواند فاجعه‌بار باشد (Botin, 2009). نتیجه استفاده از روش استخراج سطحی ایجاد گودالی بزرگ است که نمونه آن را در معدن سنگ‌آهن چادرملو شاهد هستیم. یکی از بزرگ‌ترین اثرات

زیست‌محیطی مرتبط با استخراج روباز معدن ناشی از تغییر فیزیکی شکل زمین در نتیجه جابجایی مقادیر عظیمی از مواد است (Spitz & Trudinger, 2008). تغییر فیزیکی چشم‌انداز شامل خاک‌برداری به‌خودی‌خود و محل دفع برای روباره و باطله می‌باشد (Svobodova & et al. 2014). به‌منظور دستیابی به ماده با ارزش عملیات استخراج با طراحی یک یا چند پله آغاز شده و استخراج ماده معدنی صورت می‌گیرد. شعاع این پله‌ها از بالا به پایین کم می‌شود، به‌طوری‌که درنهایت تشکیل یک کاواک مخروطی شکل را می‌دهد (Belyakov, 2014). سنگ‌های استخراج‌شده از این کاواک در زمین‌های اطراف انباشته می‌شوند. دپوی مواد معدنی بسته به برنامه‌ریزی‌های صورت گرفته مدت‌زمان زیادی باقی نخواهند ماند بنابراین در مقایسه با انباشتگاه‌های باطله کوچک‌تر هستند و فضای کمتری اشغال می‌کنند. در نتیجه علاوه بر ایجاد یک گودال عظیم، انباشتگاه‌های باطله نیز به‌عنوان یک تهدید برای محیط‌زیست محسوب می‌شوند. درصورتی‌که عمق معادن روباز زیاد بوده و با سطح ایستابی برخورد کند، باعث بروز مشکلاتی در آب‌های زیرزمینی می‌شود. همچنین اگر باطله‌های حاصل از معدنکاری در داخل دریاچه‌ها و رودخانه‌های اطراف تخلیه شود، موجب آلودگی آب خواهد شد. اگر پیت بازسازی نشود، ممکن است محل تشکیل حوضچه‌های اسیدی ناشی از نزولات جوی گردد. معادن روباز علاوه بر اینکه زمین‌های اطراف را در حد وسیعی تخریب می‌کنند، موجبات آلودگی صوتی و هوا را نیز فراهم می‌آورند. آلودگی صوتی معادن روباز ناشی از فرآیندهای معدنکاری و آلودگی هوای ناشی از آن نیز مربوط به عملیات استخراج، حمل و بارگیری است. در مورد حفاری می‌توان با بهره‌گیری از ماشین‌های پیشرفته حفاری، میزان گردوغبار را کاهش داد.

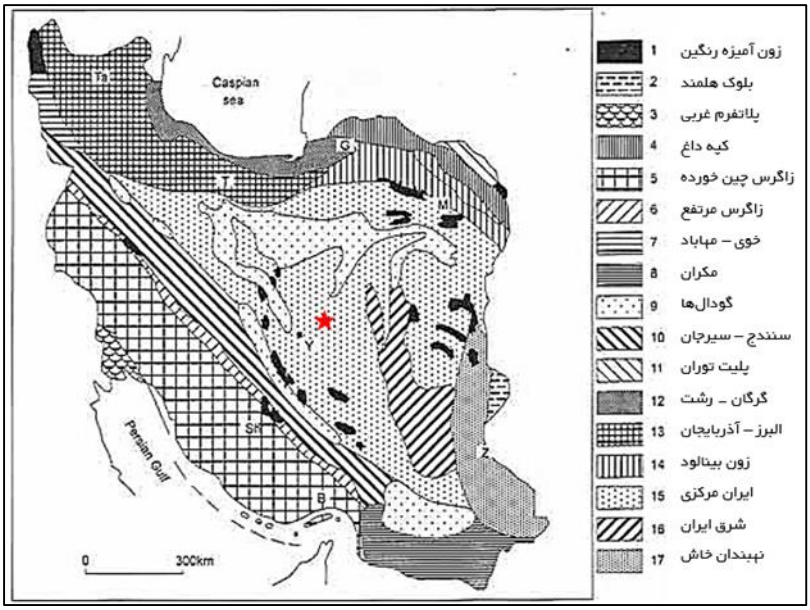
کریجینگ معمولی روشی مرسوم در تخمین منابع معدنی به شمار می‌آید. کریجینگ معمولی سودمندترین روش تخمین زمین‌آمار است که بهترین تخمین‌گر خطی نااریب نامیده می‌شود (Goovaerts, 1997). برنامه‌ریزی تولید برای معادن روباز یک‌روند چند زمینه‌ای است که نیاز به جمع‌آوری داده‌ها از زمینه‌های مختلف دارد. حجم و دقت داده‌ها به نوع پلان بستگی دارد. بعضاً منابع تأمین داده‌ها یکسان اما به دلیل متفاوت بودن برنامه، کیفیت و کمیت داده‌ها متفاوت خواهند بود.

فرآیند برنامه‌ریزی و طراحی یک معدن روباز کاواکی، بعد از تعیین متغیرهای اولیه طراحی، تهیه مدل بلوکی و سپس تعیین محدوده نهایی معدن، وارد مرحله برنامه‌ریزی تولید می‌شود. در این مرحله، به یک سؤال اساسی و چالش‌برانگیز پاسخ داده خواهد شد، بلوک‌های ماده معدنی و باطله‌ای که استخراج آن‌ها در طول عمر معدن در مرحله تعیین محدوده نهایی قطعی شده است در چه زمانی استخراج شوند و به چه مقصدی حمل شوند؟ هدف از برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت در معادن را می‌توان ارسال کانسنگ باکیفیت مناسب در بازه‌های زمانی روزانه، هفتگی یا ماهانه به کارخانه فرآوری بیان کرد. لذا تأمین خوراک یکنواخت ازلحاظ کمی و کیفی برای کارخانه فرآوری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است (Matheron, 1963). چراکه راندمان کارخانه فرآوری در وهله اول وابسته به کیفیت و کمیت کانسنگ استخراج‌شده است. برنامه‌ریزی تولید یکی از چالش‌های همیشگی طراحان و برنامه‌ریزان معادن روباز بوده است. درصورتی‌که برنامه تولید کوتاه‌مدت دارای خطای زیاد باشد منجر به ارسال بخشی از ذخیره به انباشتگاه‌های باطله خواهد شد و این بدان معنی است که بخشی از ماده معدنی از دست خواهد رفت. از طرف دیگر با استخراج هر چه بیشتر از معادن و عمیق و وسیع‌تر شدن فضای عملیاتی آن‌ها، وسعت زمین‌های تحت تأثیر فعالیت‌های معدنکاری، به‌ویژه انباشتگاه‌های باطله، روزبه‌روز رو به افزایش هست. در این مقاله برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت با نگاه ویژه به ارسال مواد به انباشتگاه‌های باطله موردبررسی قرارگرفته است. ابتدا به کمک روش‌های تخمین زمین‌آماری مناسب عیار ماده معدنی برآورد می‌گردد. سپس داده‌های عیار ماده معدنی در چال‌های انفجاری مربوط به دو پله بالاتر از پله هدف با داده‌های مرحله تخمین ذخیره در دو پله پایین‌تر از پله هدف ترکیب شدند. از این داده‌ها در تخمین عیار آهن در پله موردنظر استفاده می‌شود.

معدن سنگ‌آهن چادرملو

معدن سنگ‌آهن چادرملو در فاصله ۱۸۰ کیلومتری شمال شرقی شهر یزد و ۳۰۰ کیلومتری جنوب طبس قرارگرفته

است. چادرملو با ذخیره ۳۲۰ میلیون تنی از تولیدکنندگان سنگ‌آهن ایران است که از سال ۱۳۷۸ استخراج از آن شروع شده است. این معدن یکی از معادن سطحی بزرگ ایران است که به روش روباز استخراج می‌شود. سالیانه حدود ۱۶ میلیون تن عملیات استخراج شامل ۸/۵ میلیون تن باطله برداری و ۷/۵ میلیون تن استخراج سنگ‌آهن انجام می‌گیرد. طراحی و برنامه‌ریزی تولید چادرملو توسط شرکت ایی‌بی‌ایی و با همکاری شرکت اتو گلد از آلمان در سال ۱۹۹۰ انجام شده است. در زمان انجام این تحقیق از داده‌های ۷۹ گمانه حفرشده به متراژ ۱۷۸۵۲ متر و ۱۲۱۵۷ عدد چال انفجاری با عمق متوسط ۱۵ متر استفاده شد.



شکل ۱- موقعیت معدن سنگ‌آهن چادرملو در زون ایران مرکزی

ارائه‌ی مدل مهندسی

برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت کیفیت و کمیت کانسنگی که جهت فرآوری به کارخانه ارسال خواهد شد را مدیریت می‌کند. لزوم مدیریت صحیح در برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت این است که مشخصات کیفی کانسنگ ارسالی به کارخانه فرآوری کم‌ترین تغییرات را داشته باشد که این هم مهم‌ترین مسئله در برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت است. بنابراین، لازم است در پله استخراجی موردنظر مرز کانسنگ و باطله بهینه‌سازی شود و مناسب‌ترین الگوریتم برای تخمین مرز کانسنگ و باطله با استفاده از داده‌های یک پله بالاتر انتخاب شود. این داده‌ها شامل داده‌های اکتشافی (گمانه‌ها، تونل‌ها و ترانشه‌ها) و استخراجی هستند. این نوع برنامه‌ریزی در ارتباط با برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت (روزانه تا یک‌ساله) جای دارد. در این مرحله، داده‌های موجود نسبت به داده‌های مرحله برنامه‌ریزی بلندمدت چه ازلحاظ کمی بیش‌تر هستند و چه ازنظر کیفی بیش‌تر قابل‌اعتماد هستند (حسنی‌پاک، ۱۳۸۴).

استفاده از داده‌های چال‌های انفجاری یک تا دو پله بالاتر در تخمین پله پایینی که درواقع همان پله‌ای استخراجی است و بنابراین در ارتباط با برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت، ساده‌ترین روش تخمین عیار در پله استخراجی است. ازآنجاکه داده‌های چال‌های انفجاری اعتبار بیش‌تری نسبت به داده‌های گمانه‌ها دارند در پله‌های بالاتر از پله استخراجی مدنظر برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت فقط از داده‌های چال‌های انفجاری استفاده می‌شود. اما استفاده از این داده‌ها به‌تنهایی کفایت نمی‌کند چراکه داده‌ها در یک‌طرف سطح مورد تخمین قرار دارند و لذا تخمین از طریق برون‌یابی انجام می‌شود و اکثر روش‌های تخمین نمی‌توانند دست‌یابی به تخمین دقیق را تضمین کنند. برای رفع این مشکل از داده‌های مربوط به گمانه‌های پله‌های پایین‌تر استفاده می‌شود. در چنین حالتی در تخمین به روش کریجینگ با توجه به تعداد داده‌های گمانه‌ها در مقایسه با تعداد داده‌های چال‌های انفجاری وزن کم‌تری به داده‌های گمانه خواهد رسید. بنابراین در تخمین عیار پله

استخراجی کم‌تر مشارکت خواهند کرد. بنابراین باید تعدادی داده در پله استخراجی تولید شود.

تخمین با روش کریجینگ معمولی از طریق رابطه زیر صورت می‌گیرد.

در این رابطه Z_v^* متغیر ناحیه‌ای با مختصات معلوم، λ_i وزن یا اهمیت وابسته به نمونه i ام، Z_{v_i} متغیر ناحیه‌ای نمونه iام است. همچنین واریانس تخمین کریجینگ معمولی نیز از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$\sigma_{OK}^2 = \sum_{i=.}^{n} \lambda_i \gamma_{i0} - \gamma_{00} + \mu \qquad (۲)$$

در این روش مجموع اوزان کریجینگ برابر واحد است (Chiles & Delfiner, 2012). در تخمین به روش کریجینگ برای داشتن داده بیش‌تر از مقادیر تخمینی کم خطای فاز برنامه‌ریزی تولید بلندمدت استفاده شد. در انتخاب مقادیر تخمینی کم خطای حاصل از تخمین مرحله برنامه‌ریزی تولید بلندمدت معیار فاصله نزدیک‌ترین داده در تخمین بلوک موردنظر و پایایی عیار و ضخامت در نظر گرفته شد. بنابراین داده‌های ایجادشده در مدل بلوکی حاصل از برنامه‌ریزی تولید بلندمدت تولید در دو پله پایین‌تر به‌عنوان مقادیر تخمین کم خطا در نظر گرفته شد.

درواقع بعد از انتخاب مقادیر کم خطا، فایل داده‌ها که ترکیبی از داده‌های چال‌های انفجاری و مقادیر کم خطا است جهت تخمین عیار در پله استخراجی تشکیل می‌شود. سپس به روش کریجینگ متغیر ناحیه‌ای عیار در پله استخراجی مورد تخمین قرار می‌گیرد. سپس می‌توان با تعیین متغیرهای مختلف فنی و اقتصادی مانند در نظر گرفتن هزینه جابجایی ماشین‌آلات استخراجی، تأمین عیار موردنظر کارخانه فرآوری، تعیین عیار عناصر مزاحم به کمک روش‌های برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح، شبکه عصبی و سایر روش‌های موجود اقدام به برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت در معادن روباز کرد.

بعد از بهینه‌سازی عیار ماده معدنی در بلوک‌ها نوبت به تعیین مقصد جهت ارسال بلوک‌های استخراج‌شده است. در معادن روباز با توجه به محل قرارگیری کانسار نسبت به توپوگرافی، شرایط زمین‌شناسی کانسار و با در نظر گرفتن فنّاوری مورداستفاده در مجموعه معدن جهت فرآوری ماده معدنی چهار مقصد می‌توان تعیین نمود: کارخانه فرآوری، دپوی عیار سازی، انباشتگاه باطله و دپوی پوشان سنگ. چنانچه عیار ماده معدنی بلوک استخراج‌شده از عیار حد کارخانه فرآوری بیشتر باشد این بلوک می‌تواند مستقیماً راهی کارخانه فرآوری شود و یا

$$Z_v^* = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i Z_{v_i} \qquad (۱)$$

جهت پرعیارسازی بلوک‌های استخراجی با عیار نزدیک به عیار حد به دپوی عیار سازی ارسال شوند. ازآنجاکه فنّاوری انتخاب‌شده جهت فرآوری مواد در تعیین عیار حد کارخانه نقش تعیین‌کننده‌ای دارد لذا مواد استخراج‌شده‌ای که عیاری دور از عیار حد دارند به انباشتگاه باطله ارسال خواهند شد. در آینده با ارتقای فنّاوری امکان استفاده از این دپو وجود دارد چراکه حاوی مواد معدنی با عیار کم هستند. همچنین در زمان شروع فعالیت معدنکاری روباز، ممکن است بخشی از کانسار توسط مصالحی فاقد عیار ماده معدنی پوشیده شده باشد. این مصالح به دلیل وجود عناصری در آن‌ها مناسب جهت بازسازی پوشش گیاهی همان منطقه هستند. لذا در دپوی پوشان سنگ جهت استفاده در برنامه بازسازی معدن ذخیره می‌شوند.

فرضیات مدل

ازآنجاکه تفاوتی ازلحاظ مقدار عیار در مدل بلوکی حاصل از مرحله تخمین ذخیره و برنامه‌ریزی تولید بلندمدت وجود ندارد و تنها تفاوت در حد نهایی معدن روباز ناشی از اعمال فاکتورهای مالی و اقتصادی است لذا در این مقاله دو فرض در نظر گرفته شد:

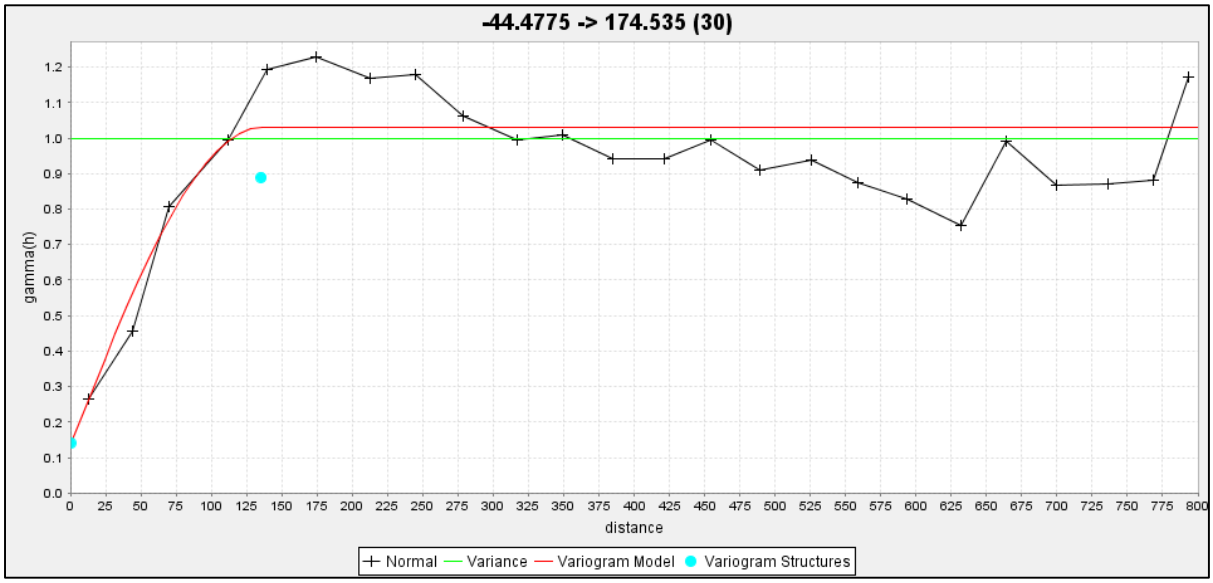
۱- پله استخراجی ۱۴۶۵ متری در یک پوش بک قرار دارد

۲- حد نهایی معدن روباز در این پله محدود به پیکره کانسار در مدل زمین‌شناسی است.

پیاده‌سازی مدل برای معدن سنگ‌آهن چادرملو

ازآنجاکه داده‌های خام گمانه‌ها به علل مختلف دارای طول متفاوتی هستند نمی‌توانند در مطالعات آماری و زمین‌آماری و به‌تبع آن بهینه‌سازی عیار شرکت کنند. بنابراین باید با وزن دهی مناسب ترکیب شوند. پس از انجام مطالعات آماری طول یک متر طول مناسب برای ترکیب کردن انتخاب شد. جهت انجام تخمین مناسب و نیز تعیین

متغیرهای موردنیاز برای روش‌های مختلف زمین‌آماری لازم است تا مطالعات واریوگرافی صحیحی انجام گیرد. با رسم واریوگرام‌های گوناگون در جهات مختلف مشخص شد منطقه دارای ناهمسانگردی هندسی است. برای یافتن حدود جهات اصلی ناهمسانگردی از روش مؤلفه اصلی استفاده شد. سپس در این جهات واریوگرام‌های مختلفی رسم شد. سپس از میان آن‌ها واریوگرامی که دارای بیشترین دامنه تأثیر و کمترین واریانس بود انتخاب شد و به‌عنوان جهت اصلی ناهمسانگردی در نظر گرفته شد (شکل ۲). همان‌گونه که وضعیت نقاط روی واریوگرام نشان می‌دهد، بهترین مدل تئوری برای این جهت مدل کروی است. بنابراین با برازش مدل کروی و تغییر دادن متغیرها بهترین مدل ممکن برازش گردید.



شکل ۲- واریوگرام تجربی و مدل کروی برازش شده در امتداد محور اصلی

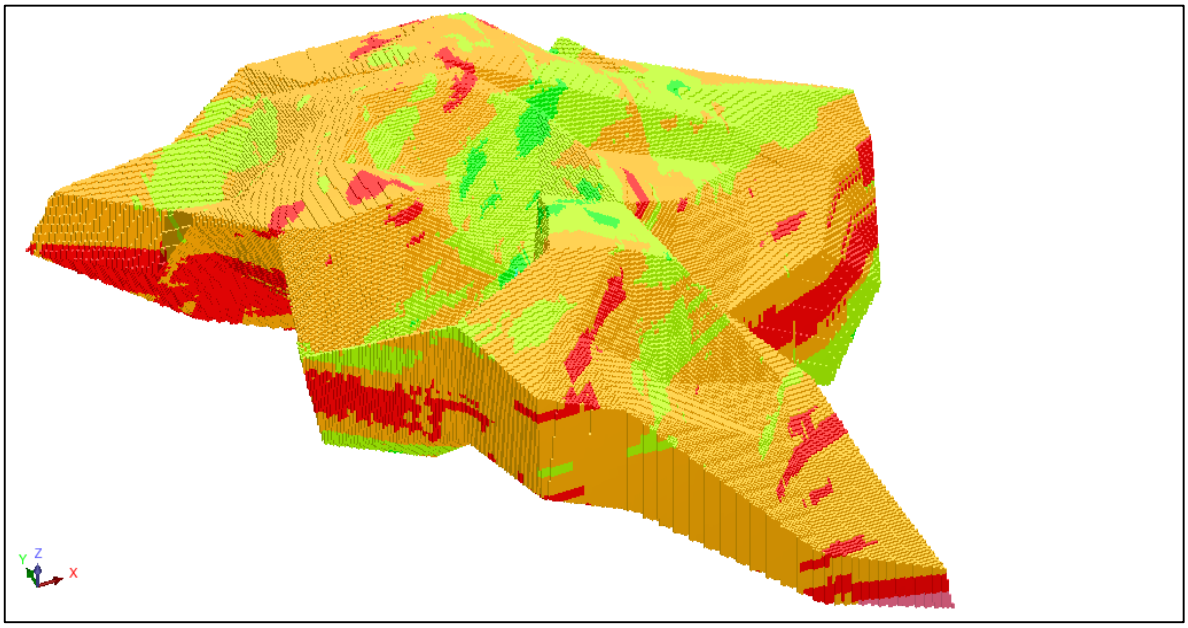
به کمک نرم‌افزار Surpac محور اصلی، نیمه‌اصلی و فرعی (متغیرهای بیضوی ناهمسانگردی) به دست آمد. مشخصات مدل‌های واریوگرام منطبق بر واریوگرام‌های امتدادهای اصلی بیضوی ناهمسانگردی طبق استاندارد نرم‌افزار (LRL Surpac YXZ) ارائه‌شده است.

جدول ۱- متغیرهای بیضوی ناهمسانگردی

متغیر	مقدار
امتداد (امتداد محور اصلی) (^{o}D)	۱۷۴/۵۳۵۱
زاویه میل (شیب‌محور اصلی) (^{o}D)	۴۴/۴۷۷۴
اثر قطعه‌ای واریوگرام برازش شده در جهت محور اصلی ($٪^{۲}$)	۰/۱۴۰۵۸۹
سقف واریوگرام برازش شده جهت محور اصلی ($٪^{۲}$)	۰/۸۸۹۴۹۹
دامنه تأثیر در امتداد محور اصلی (m)	۱۳۵/۲۹۶
نسبت ناهمسانگردی اصلی به نیمه‌اصلی	۱/۲۷۴
نسبت ناهمسانگردی اصلی به فرعی	۱/۷۴۳

جهت بهینه‌سازی برآورد عیار آهن در هر پله استخراجی در معدن روباز، از داده‌های چال‌های انفجاری یک تا دو تراز بالاتر و داده‌های به‌دست‌آمده از فرآیند برنامه‌ریزی تولید بلندمدت در یک تا دو تراز پایین‌تر استفاده می‌شود. با در نظر گرفتن فرضیات مدل، به‌منظور برآورد عیار آهن در تراز ۱۴۶۵ متری از داده‌های چال‌های انفجاری در ترازهای ۱۴۸۰ و ۱۴۹۵ متری و همچنین داده‌های استخراج‌شده از برآوردگر کریجینگ معمولی در مرحله تخمین ذخیره در ترازهای ۱۴۵۰ و ۱۴۳۵ متری استفاده شد. بنابراین لازم است ابتدا مقدار عیار آهن دو پله هدف برآورد شوند.

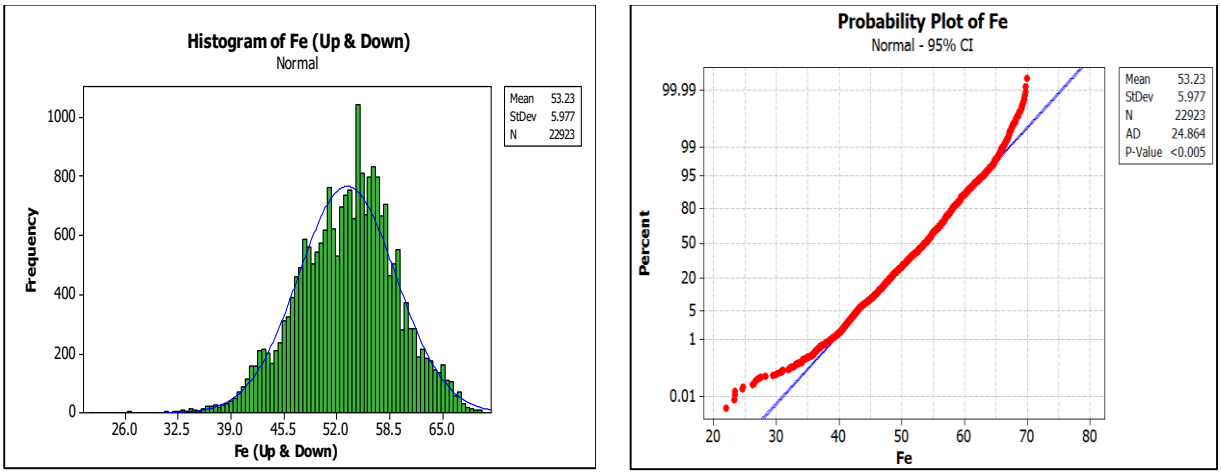
تعداد ۶۱۸۹ داده‌های چال‌های انفجاری به‌عنوان نمونه‌های گسسته به نرم‌افزار Surpac معرفی شدند. سپس یک مدل بلوکی پایه از منطقه مورد تخمین تهیه شد. ابعاد بلوک‌ها بر طبق ابعاد تعیین‌شده در بلوک‌بندی تخمین کانسار چادرملو ۱۵ × ۲۵ × ۲۵ در نظر گرفته شد. سپس محدوده فضای تخمین دور پیکره کانسار محدود شد. ازآنجاکه ابعاد انتخاب‌شده برای بلوک‌ها نمی‌توانند تمام فضای درون پیکره کانسار در نزدیک مرزهای آن را پوشش دهند و همچنین به‌منظور برآورد صحیح عیار و تناژ ابعاد ریزبلوک سازی تا ۳/۷۵ × ۶/۲۵ × ۶/۲۵ در نظر گرفته شد. ازآنجاکه متوسط عیار آهن در منطقه در دسترس نبود از تخمین گر کریجینگ معمولی برای تخمین عیار آهن در تراز ۱۴۵۰ و ۱۴۳۵ متری استفاده شد. نتایج حاصل از تخمین در این دو پله (دو پله پایین‌تر از پله استخراجی) به‌عنوان بخشی از داده‌های موردنیاز برای تخمین عیار آهن در پله ۱۴۶۵ متری استفاده می‌شوند. مدل بلوکی کانسار چادرملو به همراه نتایج ارزیابی عیار آهن با استفاده از تخمین‌گر کریجینگ معمولی در کل کانسار در شکل نشان داده‌شده است.



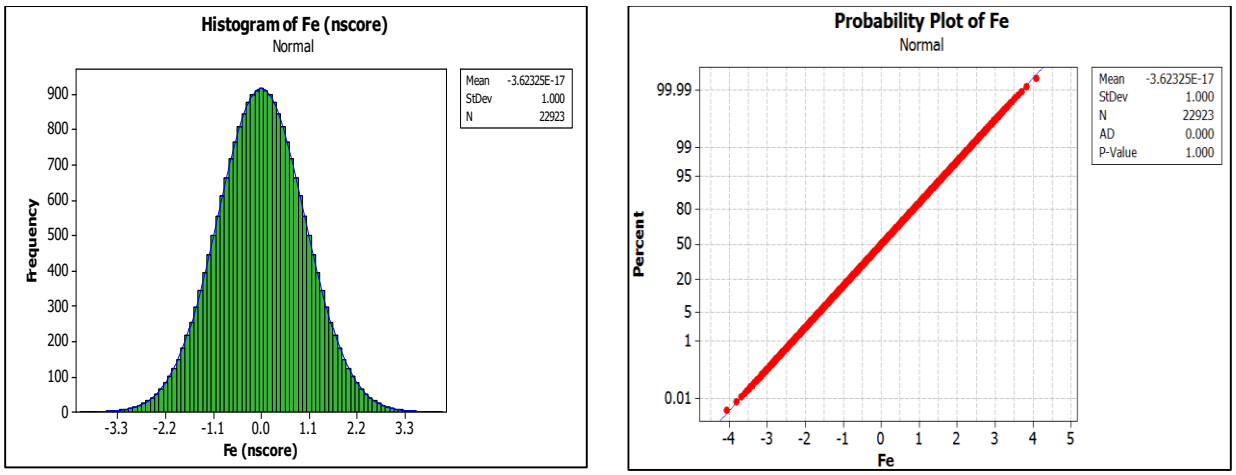
شکل ۳- نتایج تخمین عیار آهن به روش کریجینگ معمولی در کانسار چادرملو

آماده‌سازی داده‌ها جهت تخمین

بعد از تخمین عیار آهن در ترازهای بین ۱۴۲۰ تا ۱۴۵۰ متری به روش کریجینگ معمولی و استخراج آن‌ها لازم است با داده‌های چال‌های انفجاری در تراز ۱۴۸۰ تا ۱۴۹۵ متری در قالب یک فایل رشته‌ای جمع شوند (فایل مشترک) تا در نرم‌افزار Surpac استفاده شوند. همان‌طور که از شکل مشخص است داده‌های فایل مشترک دارای توزیع نرمال نمی‌باشند. ازآنجاکه شرط اصلی در استفاده از این داده‌ها نرمال بودن توزیع آن‌هاست بنابراین باید قبل از استفاده در تخمین فرآیند نرمال‌سازی انجام شود. جهت نرمال‌سازی داده‌های عیار آهن از روش تبدیل امتیازات نرمال استفاده شد (شکل).



شکل ۴- نمودار احتمال و توزیع فراوانی داده‌های فایل مشترک



شکل ۵- نمودار احتمال و توزیع فراوانی داده‌های فایل مشترک بعد از نرمال‌سازی

بهینه‌سازی عیار آهن در پله استخراجی

ازآنجاکه میانگین تقریبی از توده کانسار برای کل منطقه در دست نیست، تخمین زمین‌آماری سه‌بعدی استفاده‌شده برای آهن، کریجینگ معمولی است. داده‌های ترکیبی حاصل از کریجینگ معمولی در دو پله پایین‌تر و داده‌های چال‌های انفجاری در دو پله بالاتر برای تخمین عیار آهن (بهینه‌سازی) پله استخراجی پس از نرمال‌سازی استفاده شد. با استفاده از نرم‌افزار Surpac عملیات تخمین کریجینگ معمولی، در محدوده فضای تخمین با در نظر گرفتن جهات حداکثر و حداقل و نسبت ناهمسانگردی صورت گرفته است.

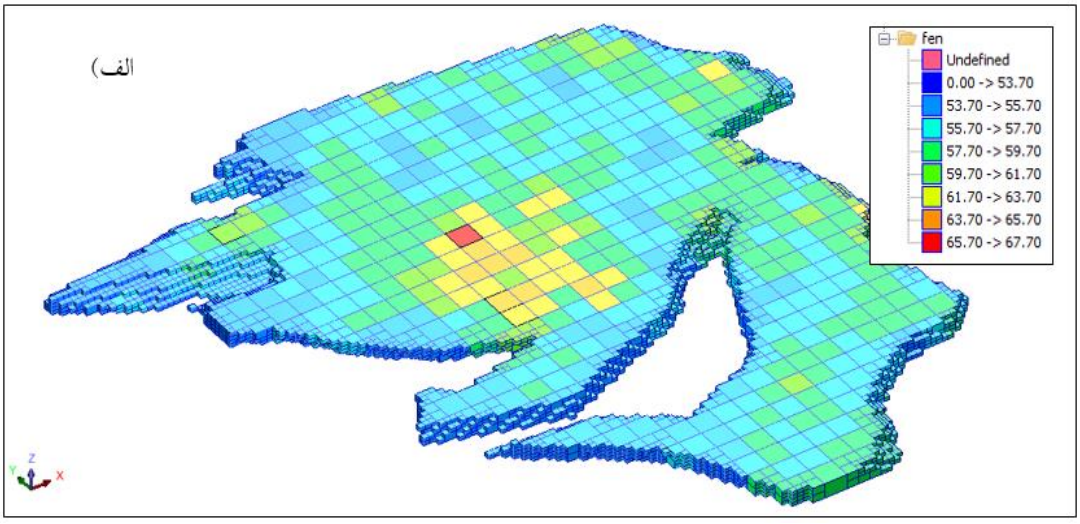
بیشترین تعداد نقاطی که در عملیات تخمین برای هر بلوک شرکت داشته‌اند ۱۵ عدد و کمترین تعداد ۳ عدد است. سایر متغیرهای تخمین در

جدول ۲ ذکرشده است. شکل ۳ خلاصه وضعیت عیار آهن در پله استخراجی در مراحل تخمین ذخیره و برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت (بهینه‌سازی) را نشان می‌دهد. با در نظر گرفتن اصل نزدیک‌ترین داده‌ها برای تخمین عیار بلوک موردنظر و با توجه به فاصله گمانه‌ها و تعداد نمونه-های حاصل از آن‌ها، تفاوت چشم‌گیر میان متغیرهای آماری قابل پیش‌بینی هستند. عیار آهن خوراک کارخانه کنسانتره‌سازی چادرملو ۵۲٪ است.

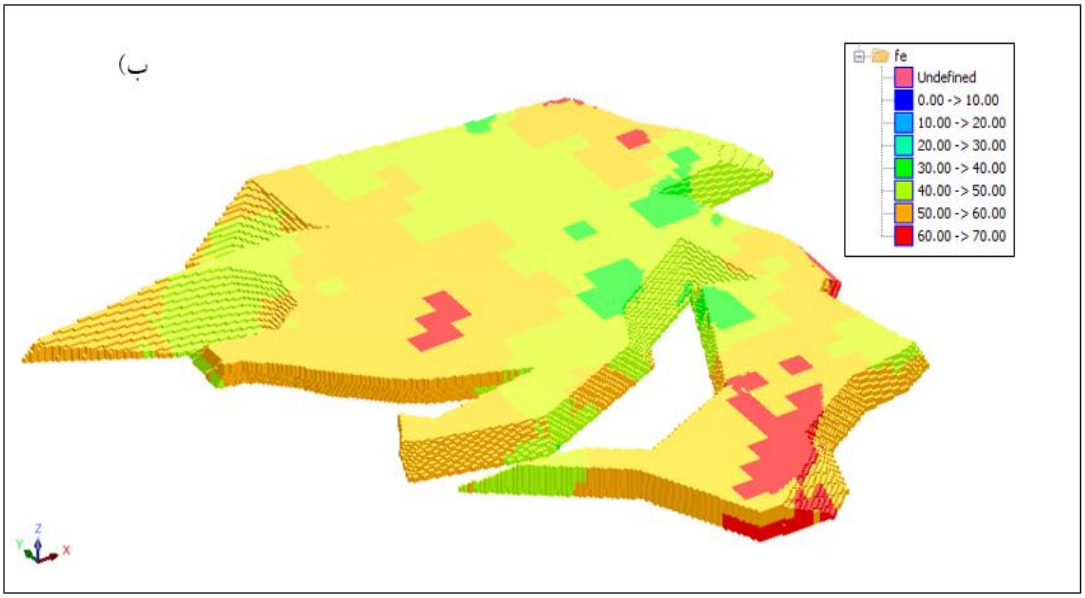
بنابراین چنانچه نتایج بهینه‌سازی در نظر گرفته شود محدودیتی ازلحاظ عیار آهن در ترتیب انتخاب بلوک استخراجی در این پله وجود ندارد چراکه کمترین عیار آهن در بلوک‌ها بیش از ۵۳٪ است. بنابراین علاوه بر از دست دادن بخشی از ماده باارزش و کاهش در میزان تولید، موجبات افزایش حجم انباشتگاه‌های باطله می‌شود. این بدان معنی است که محیط‌زیست بیشتر از گذشته تحت تأثیر آلودگی قرار می‌گیرد.

جدول ۲- متغیرهای موردنیاز برای تخمین

متغیر	مقدار	متغیر	مقدار
حداقل نقاط شرکت‌کننده در تخمین	۳ نمونه	حداقل شعاع جستجو	۷۷/۶۲۲ متر
حداکثر نقاط شرکت‌کننده در تخمین	۱۵ نمونه	حداکثر شعاع جستجو	۱۳۵/۲۹۶ متر
متغیرهای بیضوی ناهمسانگردی	مطابق جدول ۱		



شکل ۳- عیار آهن در پله استخراجی تراز ۱۴۶۵ متری در مرحله بهینه‌سازی، ب) در مرحله تخمین ذخیره



شکل۷- عیار آهن در پله استخراجی تراز ۱۴۶۵ متری در مرحله تخمین ذخیره

مرحله برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت	مرحله تخمین ذخیره	
کریجینگ معمولی – کریجینگ معمولی	کریجینگ معمولی	روش تخمین
۵۶/۶۹	۵۰/۸۶	میانگین (٪)
۶۶/۱۹	۶۳/۵۳	ماکزیمم (٪)
۵۳/۷۱	۳۵/۱۷	مینیمم (٪)
۱۲/۴۸	۲۸/۳۵	دامنه (٪)
۴/۴۲	۲۶/۲۱	واریانس (٪^{2})

درگذشته فلز آهن به‌عنوان یک عنصر آلوده‌کننده محیط‌زیست به شمار نمی‌آمد، اما مطالعات اخیر نشان می‌دهد که وجود آهن اضافی در خون انسان باعث ایجاد رسوباتی می‌شود که رگ‌های خونی را مسدود می‌کند. همچنین برعکس در اثر کمبود آهن در بدن انسان بیماری کم‌خونی ایجاد می‌شود.

نتیجه‌گیری

۱- چون مقادیر کم خطای تخمینی حاصل یک‌بار تخمین به روش کریجینگ هستند بنابراین مقداری هموارسازی در آن‌ها صورت گرفته است و با شرکت مجدد در کریجینگ مجدداً روی آن‌ها هموارسازی صورت می‌گیرد. ولی چنانچه با دو معیار فاصله نزدیک‌ترین داده در تخمین بلوک موردنظر و پایایی عیار و ضخامت انتخاب شوند می‌توان تا حدودی این اثرات را کنترل کرد. تجربه نشان داده است در شرایط مطلوب اثرات مثبت استفاده از این داده‌ها می‌تواند به‌مراتب بیش از اثرات منفی آن‌ها باشد.

۲- ازآنجاکه عیار آهن خوراک کارخانه کنسانتره‌سازی چادرملو ۵۲٪ است چنانچه نتایج بهینه‌سازی در نظر گرفته شود محدودیتی ازلحاظ عیار آهن در ترتیب انتخاب بلوک استخراجی در این پله وجود ندارد چراکه کم‌ترین عیار آهن در بلوک‌ها بیش از ۵۳٪ است.

۳- متوسط، کمترین و بیشترین عیار آهن در پله واقع در تراز ۱۴۶۵ متری حاصل از مرحله بهینه‌سازی به ترتیب ۵۶/۶۹٪، ۵۳/۷۱٪ و ۶۶/۱۹٪ برآورد شدند درحالی‌که این عیارها در مرحله تخمین ذخیره به ترتیب ۵۰/۸۶٪، ۳۵/۱۷ و ۶۳/۵۳٪ تخمین زده شدند.

۴- در مقایسه نتایج به‌دست‌آمده از مرحله تخمین ذخیره و مرحله بهینه‌سازی، مشخص شد چنانچه برآورد عیار آهن در مرحله تخمین ذخیره جهت برنامه‌ریزی تولید کوتاه‌مدت استفاده شود حدود ۳۰٪ از ذخیره موجود در پله هدف به دپوی باطله منتقل می‌شود. بنابراین علاوه بر از دست دادن بخشی از ماده باارزش و کاهش در میزان تولید، موجبات افزایش حجم انباشتگاه‌های باطله می‌شود. این بدان معنی است که محیط‌زیست بیشتر از گذشته تحت تأثیر آلودگی قرار می‌گیرد.

۵- چنانچه برنامه‌ای برای استحصال آهن از انباشتگاه‌های باطله در نظر گرفته نشود امکان بازگشت آهن به چرخه محیط‌زیست وجود دارد. درگذشته فلز آهن به‌عنوان یک عنصر آلوده‌کننده محیط‌زیست به شمار نمی‌آمد، اما مطالعات اخیر نشان می‌دهد که وجود آهن اضافی در خون انسان باعث ایجاد رسوباتی می‌شود که رگ‌های خونی را مسدود می‌کند و کمبود آهن در بدن انسان بیماری کم‌خونی ایجاد می‌شود.

سپاس‌گزاری

بدینوسیله از جناب آقای دکتر علی پرهیزکار استادیار دانشگاه آزاد اسلامی – واحد لاهیجان که در اجرای این پژوهش ما را یاری نمودند صمیمانه سپاسگزاری می‌نماییم.

منابع

- **حسنی پاک، علی‌اصغر.، شرف‌الدین، محمد.، (۱۳۸۴)**، "تحلیل داده‌های اکتشافی"، موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران، ص ۷۱۳-۷۲۵.

- **شکوفه، نادر.، (۱۳۷۹)**، "ارزیابی اثرات فعالیت‌های معدنی و فلزی بر محیطزیست"، سومین همایش ایمنی، بهداشت و محیطزیست در معادن و صنایع معدنی، تهران، شرکت ملی فولاد ایران، شرکت زغال‌سنگ البرز شرقی.۱۴ص.

-Belyakov, N., (2014), "Modeling Development of Deep Horizons of Open Pits", 22nd MPES Conference, Springer International Publishing, Dresden, Germany.

-Botin, J.A., (2009), "Sustainable Management of Mining Operations", Society for Mining, Metallurgy, and Exploration (SME), pp 261-308.

-Chiles, Jean P., Delfiner, P., (2012), "Geostatistics, Modeling Spatial Uncertainty", Wiley, Hoboken, New Jersey, pp 147-238.

-Darling, P., (2011), "SME mining engineering handbook", Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Englewood, Colo, pp 857-877.

Goovaerts, p., (1997), "Geostatistics for natural resources evaluation", Oxford University Press, New York, pp 482-485.

-Hustrulid, William A., Kuchta, M., Martin, Randall K., (2013), "Open pit mine planning and design", CRC Press, Hoboken, Vol. 1, pp 24-38.

-Matheron, G., (1963), "Principles of Geostatistics", Economic Geology, Vol. 58, pp 1246-1266.

-Spitz, K., Trudinger, J., (2008), "Mining and the Environment: From Ore to Metal", CRC Press, London, pp 294-343.

-Svobodova, K., Sklenicka, P., Vojar, J., (2014), "Dominance Level of Significant Features in Post-mining Landscapes as a Predictor of Perceived Scenic Beauty", 22nd MPES Conference, Springer International Publishing, Dresden, Germany.

-Tatiya, R., (2013), "Surface and Underground Excavations", CRC Press/Balkema, Boca Raton, pp 1-23.

Classification and Separation of mine wastes in Chadurmalu iron ore mine in order to decrease in environmental impacts rate

Seyed Hamid Reza Mirahmadi[1], Amir Hossien Bangian Tabrizi*[2]

1- Master of Mining Engineering, South Tehran Branch - Islamic Azad University, Tehran.

2- Assistant Professor, Department of Mining Engineering, South Tehran Branch - Islamic Azad University, Tehran.

Abstract

One of environmental issues in open pit mining is to separate and send of mine wastes with different grade to different waste dumps. In this paper the mentioned subject of short-term production planning is presented. In short-term production planning the subjects of exact contact boundaries between ore and waste, optimizing of extracting ore grade, the sequence of ore blocks' exploitation and waste blocks' removal are considered. Using of boreholes' data of one or two higher working benches is one of the easiest ways of grade estimating in mining bench. For evaluating of presented model in this research, Chadormalu iron ore mine data is used as a case study. In the case study, the place of the bench in elevation of 1465 m is determined as the target bench of production planning. Average and least of iron grade were estimated respectively 57.08% and 53.62%. So, if only estimated grade in reserve estimating step is considered in short-term production planning more than 30% of the ore block's reserve is transferred to the waste dump. So, the presented model waste dumps with different iron ore grade is planned for potentially future uses.

Keyword: borehole, environmental impact, short-term production planning, waste dump, Chadormalu iron ore mine