سومین کنفرانس معادن روباز ایران
۳۱-۲۹ اردیبهشت ماه ۱۳۹۴

مدلسازی بلوکی کانسار مس لار جهت بهره‌برداری بهینه در شرایط عدم‌قطعیت قیمت

محمدرضا مفیدی[۱]، عباس آقاجانی بزازی[۲]

[۱] دانشجوی کارشناسی‌ارشد، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی تهران، ایران، Mohamadreza_mofidi@yahoo.com
[۲] استادیار گروه مهندسی معدن، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران، a.aghajani.bazzazi@gmail.com

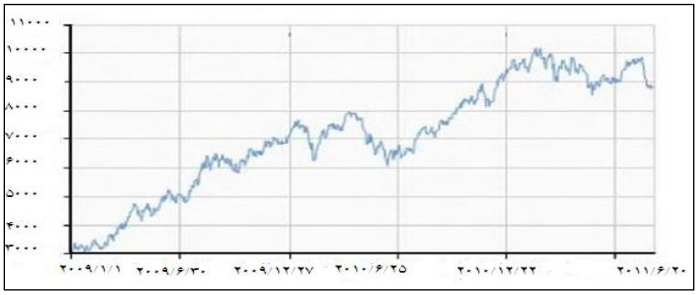
چکیده

بهره‌برداری بهینه از ذخایر معدنی مستلزم طراحی و برنامه‌ریزی صحیح مبتنی بر روش‌های بهینه‌سازی است. به طور کلی طراحی و برنامه‌ریزی برای معادن روباز با دو هدف تعیین محدوده نهایی پیت و برنامه‌ریزی تولید صورت می‌گیرد و ارتباط تنگاتنگی میان این دو عامل با ارزش اقتصادی بلوک‌ها وجود دارد. از جمله پارامترهای مهم به‌منظور تعیین ارزش اقتصادی بلوک‌ها، قیمت ماده‌معدنی می‌باشد. با نگاه به بازار فلزات، این مهم مشخص می‌شود که قیمت جهانی مس طی سالیان اخیر دچار نوسانات شدیدی شده است. لذا بهره‌برداری بهینه از ذخایر مس مستلزم درنظرگیری عدم‌قطعیت قیمت است. هدف از این تحقیق ارائه یک مدل بلوکی به‌منظور بهره‌برداری بهینه از کانسار مس لار در شرایط عدم‌قطعیت قیمت است. بدین‌منظور ابتدا به‌کمک نرم‌افزار Datamine Studio 3 مدل زمین‌شناسی در حالت قطعی تهیه گردید. در مرحله بعد، قیمت مس برای یک دوره ۹ ساله به‌کمک روش درخت دوجمله‌ای تخمین زده شد. سپس ارزش خالص هر بلوک محاسبه گردید، با وارد کردن اطلاعات اقتصادی به نرم‌افزار Npv-Schedular مدل بلوکی اقتصادی بدست آمد. نتایج نشان داد که بهره‌گیری از روش درخت دوجمله‌ای می‌تواند به‌عنوان یک روش قدرتمند و دقیق برای تخمین پارامترهای تاثیرگذار معدنی نظیر قیمت ماده معدنی مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: بهره‌برداری بهینه، روش درخت دوجمله‌ای، عدم قطعیت، قیمت فلز مس

۱. مقدمه

هدف اصلی بهره‌برداری از معادن، کسب سود بیشینه است. بدین‌منظور مدیر معدن باید بتواند از میان گزینه‌های موجود، گزینه‌ای که بیشترین سود و کمترین ریسک را دارد، انتخاب و سرمایه مورد نیاز را برای اجرای آن به‌کار گیرد. امروزه عدم‌قطعیت نقش موثری در ارزیابی پروژه‌های معدنی به خصوص در بررسی پارامترهای اقتصادی دارد. به‌طوری که ارزیابی یک پروژه معدنی بدون درنظر گرفتن عدم‌قطعیت‌های موجود غیرقابل اطمینان است. عدم‌قطعیت‌های قیمت ماده معدنی از جمله مهمترین عوامل عدم‌قطعیت‌های اقتصادی در پروژه‌های معدنی می‌باشد (دهقانی و شیرکوند، ۱۳۹۳). با نگاه به بازار فلزات این مهم مشخص می‌شود که قیمت جهانی مس طی سالیان اخیر به شدت در حال نوسان بوده است (شکل۱). این موضوع ناشی از شرایط بازار و تفاوت در میزان عیار مس موجود در بلوک‌ها است (Alonso و همکاران، ۲۰۱۴). در تحقیق حاضر ضمن ارائه مدل بلوکی زمین‌شناسی در شرایط قطعی برای کانسار مس لار با بهره‌گیری از روش درخت دوتایی، قیمت مس در سال‌های ۲۰۱۰- ۲۰۱۸ تخمین زده شده و ارزش اقتصادی بلوک‌ها نیز در این شرایط محاسبه گردیده‌اند. با ورود اطلاعات اقتصادی به نرم افزار NPV-Schedular، یک مدل بلوکی اقتصادی نیز به‌منظور بهره‌برداری بهینه از ذخیره مذکور در شرایط عدم‌قطعیت قیمت مس ارائه گردیده است.



شکل ۱. تغییرات قیمت مس در سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۱

۲-داده‌ها و روش تحقیق

کانسار مس لار در ۲۵ کیلومتری شمال زاهدان قرار گرفته است. این کانسار دارای موقعیت جغرافیایی ″۱۰ ′۵۲ °۲۹ عرض شمالی، ′۵۲ °۶۰ طول شرقی و ارتفاع ۱۶۰۰ متری است. از آنجا که بهره‌برداری بهینه از ذخایر معدنی مستلزم طراحی و برنامه‌ریزی صحیح مبتنی بر روش‌های نوین بهینه‌سازی است، لذا در گام اول این تحقیق با جمع‌آوری داده‌های اکتشافی (جدول۱) و وارد نمودن این داده‌ها به نرم‌افزار Datamine Studio 3، مدل بلوکی زمین‌شناسی مطابق با شکل ۲ به‌دست آمد. در مرحله بعد، به‌منظور بررسی اهمّیت عدم‌قطعیت قیمت ماده معدنی در تعیین ارزش اقتصادی بلوک‌ها، اقدام به محاسبه ارزش اقتصادی بلوک‌ها در دو حالت قطعیت و عدم قطعیت قیمت ماده معدنی شد.

جدول۱- اطلاعات اکتشافی جمع‌آوری شده از کانسار مس لار

RECORD	XC(N)	YC(N)	ZC(N)	R-TYPE(N)	DENSITY(N)	CU(N)	MO(N)
۱	۵	۲۴۸	۱۴۴۸	۰	۲/۶	۰	۰
۲	۹۵	۲۴۷	۱۴۴۸	۰	۲/۶	۰	۰
۳	۹۹۵	۲۴۷	۱۴۴۸	۰	۲/۶	۰	۰
۴	۹۹۵	۲۰۲	۱۴۴۸	۰	۲/۶	۰	۰
۵	۹۹۵	۲	۱۴۴۲	۰	۲/۶	۰	۰
۶	۹۹۵	۲	۱۳۵۲	۰	۲/۶	۰	۰
۷	۵	۲۴۸	۱۳۴۸	۰	۲/۶	۰	۰
۸	۱۵	۲۴۷	۱۳۴۸	۰	۲/۶	۰	۰
۹	۲۵	۲۴۷	۱۳۴۸	۰	۲/۶	۰	۰
۱۰	۴۵	۲۴۷	۱۳۴۸	۰	۲/۶	۰	۰
۱۱	۴۵	۲۴۷	۱۳۴۸	۰	۲/۶	۰	۰
۱۲	۵۵	۲۴۷	۱۳۴۸	۰	۲/۶	۰	۰
۱۳	۶۵	۲۴۷	۱۳۴۸	۰	۲/۶	۰	۰
۱۴	۷۵	۲۴۷	۱۳۴۸	۰	۲/۶	۰	۰
۱۵	۴۹۵	۸۷	۱۳۶۸	۱	۲/۶	۰/۳۳	۴۱۰/۶۰۰۰۰۶
۱۶	۵۰۵	۸۷	۱۳۶۸	۱	۲/۶	۰/۳۵	۴۷۸/۵۷۹۹۸۷
۱۷	۵۱۵	۸۷	۱۳۶۸	۱	۲/۶	۰/۳۶	۴۱۴/۲۹۹۹۸۸
۱۸	۵۲۵	۸۷	۱۳۶۸	۱	۲/۶	۰/۳۸	۳۸۰/۸۹۹۹۹۴
۲۹	۵۳۵	۸۷	۱۳۶۸	۱	۲/۶	۰/۳۸	۲۷۷/۵۷۰۰۰۷
۲۰	۵۴۵	۸۷	۱۳۶۸	۱	۲/۶	۰/۳۴	۲۹/۷۹۹۹۹۹

تاکنون محققان فراوانی همچون Ataee-pour و Whittle روابطی را جهت محاسبه ارزش اقتصادی بلوک‌ها در شرایط قطعیت قیمت ماده معدنی ارائه داده‌اند (Ataee-pour، ۲۰۰۵؛ Whittle، ۱۹۹۹).

عمومی‌ترین رابطه‌ای که در شرایط قطعیت قیمت ماده معدنی برای تعیین ارزش اقتصادی بلوک‌ها ارائه گردیده است، رابطه Whittle است که در ادامه به آن اشاره شده است.

$$BEV = T_0.G.R.P - T_0.C_P - T.C_M \qquad (۱)$$

که در رابطه ۱:

BEV= ارزش اقتصادی بلوک

T_0= وزن ماده معدنی در بلوک برحسب تن

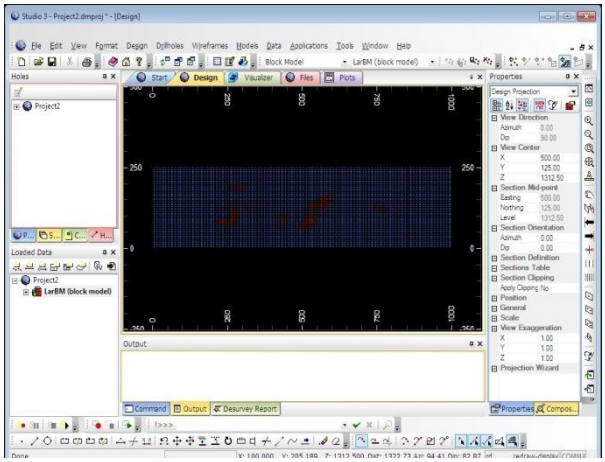
G= عیار ماده معدنی در بلوک

P= قیمت ماده معدنی

C_P= هزینه‌های فرآوری

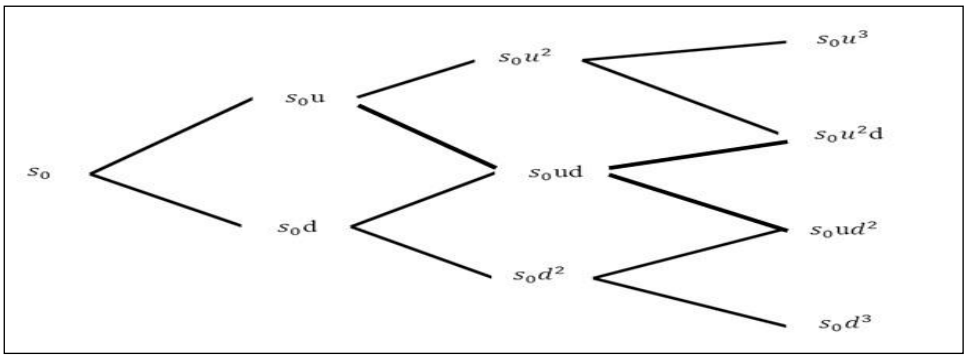
T= وزن تمام بلوک شامل ماده معدنی و باطله برحسب تن

C_M= هزینه معدنکاری



شکل۲. مدل بلوکی زمین‌شناسی کانسار مس لار در حالت قطعی

محققان فراوانی همچون Dimitrakopoulos و همکاران به بررسی اهمیت و نقش عدم‌قطعیت زمین‌شناسی، به‌خصوص عیار در ارزش‌گذاری پروژه‌های معدنی پرداخته‌اند (Dimitrakopoulos و همکاران، ۲۰۰۲). این تحقیق با رویکرد عدم‌قطعیت ماده معدنی صورت گرفته است، لذا با وجود اینکه عدم‌قطعیت عیار نقش موثری در روند محاسبه BEV دارد، از عدم‌قطعیت این پارامتر صرف نظر کرده و فرض شده است که تغییرات آن در مراحل قبلی نظیر مرحله اکتشاف و زمین‌شناسی مورد بررسی قرار گرفته است. به‌منظور تخمین قیمت مس از روش درخت دوجمله‌ای استفاده شده است (شکل۳). در این رویکرد اگر نرخ افزایش هر گره با u و نرخ کاهش هر گره با d نمایش داده شود، آنگاه ارزش هر گره در صورتی که متصل به شاخه بالارونده باشد از حاصلضرب ارزش گره لایه قبلی در u بدست می‌آید. به‌صورت مشابه ارزش گره‌های متصل به شاخه‌های پایین رونده از حاصلضرب ارزش گره لایه قبل در d محاسبه می‌گردد. به‌عنوان مثال، اگر ارزش گره در لایه‌ی صفر شکل ۳ برابر با s_0 ارزش گره متصل به شاخه بالارونده s_0u و ارزش گره متصل به شاخه پایین رونده s_0d است.



شکل۳. نمای شماتیک یک درخت دو جمله ای

با توجه به شکل ۱ نرخ افزایش و نرخ کاهش برای تخمین قیمت مس، در سال های۲۰۱۰-۲۰۱۸ به ترتیب برابر با ۱/۲۷ و ۰/۷۹ خواهد بود. با توجه به مطالب مذکور، در شکل۴ درخت دو جمله ای تخمین قیمت مس در سال های ۲۰۱۰-۲۰۱۸ نشان داده شده است.

۲۰۱۰	۲۰۱۱	۲۰۱۲	۲۰۱۳	۲۰۱۴	۲۰۱۵	۲۰۱۶	۲۰۱۷	۲۰۱۸
۷۴۵۷/۹	۹۴۹۴/۵	۱۲۰۸۷/۲	۱۵۳۸۸/۰	۱۹۵۹۰/۱	۲۴۹۳۹/۷	۳۱۷۵۰/۱	۴۰۴۲۰/۴	۵۱۴۵۸/۳
	۵۸۵۸/۲	۷۴۵۷/۹	۹۴۹۴/۵	۱۲۰۸۷/۲	۱۵۳۸۸/۰	۱۹۵۹۰/۱	۲۴۹۳۹/۷	۳۱۷۵۰/۱
		۴۶۰۱/۶	۵۸۵۸/۲	۷۴۵۷/۹	۹۴۹۴/۵	۱۲۰۸۷/۲	۱۵۳۸۸/۰	۱۹۵۹۰/۱
			۳۶۱۴/۵	۴۶۰۱/۶	۵۸۵۸/۲	۷۴۵۷/۹	۹۴۹۴/۵	۱۲۰۸۷/۲
				۲۸۳۹/۲	۳۶۱۴/۵	۴۶۰۱/۶	۵۸۵۸/۲	۷۴۵۷/۹
					۲۲۳۰/۲	۲۸۳۹/۲	۳۶۱۴/۵	۴۶۰۱/۶
						۱۷۵۱/۸	۲۲۳۰/۲	۲۸۳۹/۲
							۱۳۷۶/۰	۱۷۵۱/۸
								۱۰۸۰/۹

شکل۴. درخت دو جمله‌ای قیمت مس در سال‌های ۲۰۱۰ الی ۲۰۱۸

تغییرات عیار، هزینه‌های معدنکاری و فرآوری طی سال‌های ۲۰۱۰ الی ۲۰۱۸ در جدول ۲ ثبت گردید. با استفاده از شکل ۴ و رابطه ۱ درخت دوجمله‌ای ارزش اقتصادی بلوک مطابق با شکل ۵ برآورد شد. در هر گره از درخت BEV اگر ارزش اقتصادی بلوک کمتر از صفر باشد، مقدار آن گره تنها با درنظر گرفتن هزینه‌های معدنکاری محاسبه می‌شود.

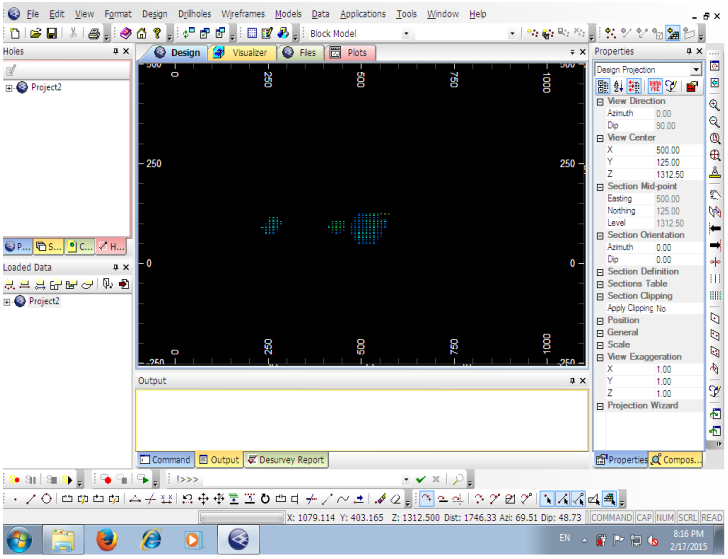
جدول۲. میزان عیار و هزینه‌های معدنکاری و فرآوری برای بلوک‌های استخراجی

	۲۰۱۰	۲۰۱۱	۲۰۱۲	۲۰۱۳	۲۰۱۴	۲۰۱۵	۲۰۱۶	۲۰۱۷	۲۰۱۸
عیار	۰/۸	۰/۱	۰/۶	۰/۹	۰/۱	۰/۸	۰/۱	۰/۸	۰/۸
هزینه معدنکاری	۱۲۷۶/۰	۱۳۷۱/۷	۱۴۷۴/۶	۱۵۸۵/۲	۱۷۵۴/۱	۱۸۳۱/۹	۱۹۶۹/۳	۲۱۱۶/۹	۲۲۷۵/۷
هزینه فرآوری	۲۳۶۱/۳	۲۵۳۸/۶	۲۷۲۸/۸	۲۹۳۳/۴	۳۱۵۳/۴	۳۳۹۰/۰	۳۶۴۴/۲	۳۹۱۷/۵	۴۲۱۱/۳

۲۰۱۰	۲۰۱۱	۲۰۱۲	۲۰۱۳	۲۰۱۴	۲۰۱۵	۲۰۱۶	۲۰۱۷	۲۰۱۸
۳/۲۴	۸/۶۱	۲۱/۴۷	۳۰/۱۵	۳۰/۵۴	۴۷/۱۸	۴۲/۵۷	۶۱/۶۰	۴۰/۹۰
	-۸/۵۸	-۲/۶۸	۶/۲۰	۸/۳۳	۱۸/۹۲	۱۸/۶۴	۳۰/۹۴	۲۱/۵۱
		-۱۳/۰۰	-۹/۸۹	-۵/۳۲	۱/۴۵	۳/۷۲	۱۲/۱۴	۹/۵۵
			-۱۳/۸۶	-۱۱/۸۵	-۹/۱۳	-۵/۳۵	۰/۱۴	۲/۱۶
				-۱۲/۹۰	-۱۱/۰۷	-۸/۹۰	-۶/۳۷	-۳/۴۱
					-۱۱/۰۷	-۸/۹۰	-۶/۳۷	-۳/۴۱
						-۸/۹۰	-۶/۳۷	-۳/۴۱
							-۶/۳۷	-۳/۴۱
								-۳/۴۱

شکل۵. درخت دوجمله‌ای ارزش اقتصادی بلوک

درآخرین گام با استفاده از نرم‌افزار Npv-Schedular مدل بلوکی اقتصادی مطابق با شکل ۶ ارائه شد.



شکل۶. مدل بلوکی اقتصادی کانسار مس لار

۳- تحلیل داده‌ها

داده‌های جمع‌آوری شده بیانگر این مهم است که در نظر گرفتن عدم‌قطعیت قیمت در برآورد هزینه مطالعات امکان سنجی، منجر به ایجاد نتایج متفاوتی از آنچه که بدون لحاظ این عدم‌قطعیت بدست می‌آید، می‌گردد. در نتیجه، بررسی و تحلیل اثرات عدم‌قطعیت قیمت در روند اجرای این مطالعات، ضمن ارائه نتایج واقع بینانه‌تر، امکان تحلیل و مدیریت ریسک‌های ناشی از عدم‌قطعیت قیمت را نیز فراهم خواهد کرد که این موضوع نیز، کمک به انتخاب یک سیستم بهینه در بهره‌برداری از ذخایر معدنی می‌نماید.

۴. بحث و بررسی

هزینه سرمایه‌گذاری در پروژه‌های معدنی زیاد است. از سوی دیگر پروژه‌های معدن‌کاری با دیگر پروژه‌های صنعتی متفاوتند چراکه دانش تولید در آن‌ها مبتی بر برآوردهایی است که به دلیل طبیعت متنوعشان، با عدم‌قطعیت همراه است و این امر خود منجر به پر ریسک شدن سرمایه‌گذاری در این بخش می‌شود. لذا بهره‌گیری از یک روش کارآمد همچون درخت دوجمله‌ای به منظور تخمین قیمت ماده معدنی در شرایط عدم قطعیت می‌تواند به شناسایی بهتر این شرایط و ارائه برنامه کارآمدتر مدیریت ریسک در این پروژه‌ها کمک کند.

۵-نتیجه گیری

در مقاله حاضر، روند مدلسازی بلوکی به منظور بهره‌برداری بهینه از کانسار مس لار در شرایط عدم قطعیت قیمت مورد بررسی قرار گرفت و نتایج زیر حاصل گردید:

تکنیک درخت دوجمله‌ای روشی قدرتمند و دقیق برای تخمین عدم قطعیت پارامترهای تاثیرگذار معدنی نظیر قیمت ماده معدنی است. وجود رویکرد قطعی حل مسأله طراحی، به دلیل در نظر گرفتن طبیعت غیر قطعی پارامترهای ورودی منجر به ارزیابی‌های گمراه کننده‌ای می‌شود.

۶-تقدیر و تشکر

بدین وسیله مراتب تشکر و قدردانی از آقای مهندس نیما کریم، کارشناس ارشد طراحی معدن شرکت مهندسین مشاور کاوشگران به دلیل فراهم نمودن زمینه‌های این تحقیق بعمل می‌آید.

۷. مراجع

دهقانی، ح.، شیرکوند، ر. (۱۳۹۳). ارزیابی پروژه‌های معدنی تحت تاثیر عدم قطعیت‌های اقتصادی با استفاده از سری‌های زمانی. **پنجمین کنفرانس مهندسی معدن**.

Alonso-Ayuso, A., Carvallo, F., Escudero, L. F., Guignard, M., Pi, J., Puranmalka, R., & Weintraub, A. (2014). Medium range optimization of copper extraction planning under uncertainty in future copper prices. **European Journal of Operational Research**, 233(3), 711-726.

Ataee-pour, M, (2005). A Linear Model for Determination of Block Economic Values. **The 19th International Mining Congress and Fair of Turkey**, pp 289-294.

Dimitra kopoulos, R, Farrelly, C T and Godoy, M, (2002). Moving forward from traditional optimization Grade uncertainty and risk effects in open pit design, **Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy, Mining Technology**, 111 :A82-A88.

Whittle, J, (1999). A decade of open pit mine planning and optimization: The craft of turning algorithms into packages, in Proceedings APCOM '99 Computer Applications in the Minerals **Industries 28th International Symposium**, pp 15-24 (Colorado School of Mines: Golden).

Block modeling of Lar copper mine for optimization of extraction with regard to price uncertainty

Mohamadreza Mofidi [1], Abbas Aghajani Bazzazi [2]
1- Student of Master of Science, mining engineering, Islamic Azad University, Tehran research & science branch, Mohamadreza_mofidi@yahoo.com
2- Assistant professor of mining engineering Department, Kashan University
a.aghajani.bazzazi@gmail.com

Abstract
Optimization of ore deposits extraction involves the correct planning based on optimization techniques. Totally, open pit mine planning is performed by two purposes: final pit limit determination and production planning. There is a close relation between these two factors and block economic value. Minerals price is one of the important parameters in determining of block economic value. With regard to metal market, it is cleared that global price of copper has fluctuated during last years. Therefore, optimum exploitation of copper deposits involves price uncertainty consideration. Purpose of this research is to provide a parochial model for optimum exploitation of copper deposit of Lar copper mine at price uncertainty conditions. For this purpose, at first, geological model is provided by Datamine Studio 3 software at certain status. Then, copper price was estimated for 9 years period by binomial tree method. Finally, net value of each block is calculated and economical parochial model is gained by entering economic data into Npv-Schedular software. The results of this study showed that binomial tree method can be used as a precise and powerful method for estimating mineral effective parameters such as price of mineral material.

Key words: optimum exploitation, binomial tree method, uncertainty, price of copper metal