توسعه نرم افزار به منظور تعیین حد روباز – زیرزمینی

مهدی یاوری[۱*] و محمدرضا کیومرثی[۲]

۱- عضو هیئت علمی دانشکده فنی، گروه مهندسی معدن، دانشگاه تهران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد استخراج معدن، دانشکده فنی، گروه مهندسی معدن، دانشگاه تهران

Email: mkiyoumarsi@yahoo.com

چکیده

تعیین حد روباز – زیرزمینی برای کانسارهایی با گسترش عمقی از سطح زمین و امکان استخراج زیرزمینی، یکی از اولین تصمیماتی است که باید در فرآیند طراحی معدن اخذ شود. مدل ارائه شده توسط Dan Nilsson (۱۹۸۲ , ۱۹۹۲) بر مبنای انتخاب عمقی که در آن مجموع ارزش خالص فعلی دو روش روباز و زیرزمینی بیشینه باشد، عمل می نماید. در این مقاله پس از اعمال اصلاحاتی در تعیین حد روباز و تهیه داده های لازم به منظور بیشینه سازی ارزش خالص فعلی، مدل نیلسون تکمیل شده است.

واژگان کلیدی: راهکار نیلسون، حد روباز-زیرزمینی

مقدمه

تعیین عمق حدی تبدیل معدنکاری روباز و زیرزمینی در مواردی که ظرفیت کارخانه فرآوری ثابت است و امکان معدنکاری زیرزمینی پس از اتمام معدنکاری روباز وجود دارد همواره یکی از مسائلی است که به لحاظ اقتصادی بسیار حائز اهمیت است چرا که از این عمق حدی هزینه های معدنکاری روباز در مقایسه با زیرزمینی و در نتیجه سود معدنکاری زیرزمینی بیشتر خواهد شد. بنابراین به منظور دستیابی به سود بیشتر باید در خصوص تعیین این عمق حدی در چنین معادنی اقدام کرد.

با افزایش عمق کاواک و افزایش نسبت باطله برداری متعاقب آن، استخراج روباز تاعمقی ادامه می یابد که هزینه معدنکاری روباز با زیرزمینی برابر شود[1]. بالای این عمق استخراج روباز و زیر این عمق معدنکاری زیرزمینی سودآورتر است. این عمق، عمق حدی یا حد روباز – زیرزمینی نامیده می شود. البته این تعریف

* دانشگاه تهران، دانشکده فنی، گروه مهندسی معدن

فاکتور زمان را در نظر نمی گیرد و با در نظر گرفتن زمان تحقق درآمد و هزینه ها که اساس راهکار نیلسون در تعیین عمق روباز – زیرزمینی است، این عمق حدی تغییر خواهد کرد.

مدل های زیادی برای تعیین محدوده نهایی و عمق بهینه معادن روباز ارائه شده اند و به دلیل تمایل بیشتر به استخراج روباز، این مدل ها به مقدار قابل توجهی توسعه یافته اند، ولی برای کانسارهای دارای گسترش عمقی و تعیین حد روباز – زیرزمینی، این توسعه صورت نگرفته و راهکارهای معدودی ارائه شده اند. از جمله مهمترین آنها می توان به راهکارNilsson اشاره کرد که در سال ۱۹۸۲ ارائه و در سال ۱۹۹۲ تکمیل گردید. در این مقاله ضمن تکمیل راهکار نیلسون و تهیه الگوریتم مناسب، نرم افزاری به زبان برنامه نویسی ویژوال بیسیک برای تعیین عمق حدی روباز – زیرزمینی تهیه و با اطلاعات کانسار مس چهارگنبد اجرا شد. در این مقاله پس از پرداختن به ملاحظات معمول در انتخاب روش معدنکاری (روباز و زیرزمینی) و روش های تعیین عمق بهینه در تبدیل از روباز به زیرزمینی، الگوریتم نرم افزار تهیه شده توضیح داده می شود.

ملاحظات معمول در انتخاب روش معدنکاری (روباز و زیرزمینی)

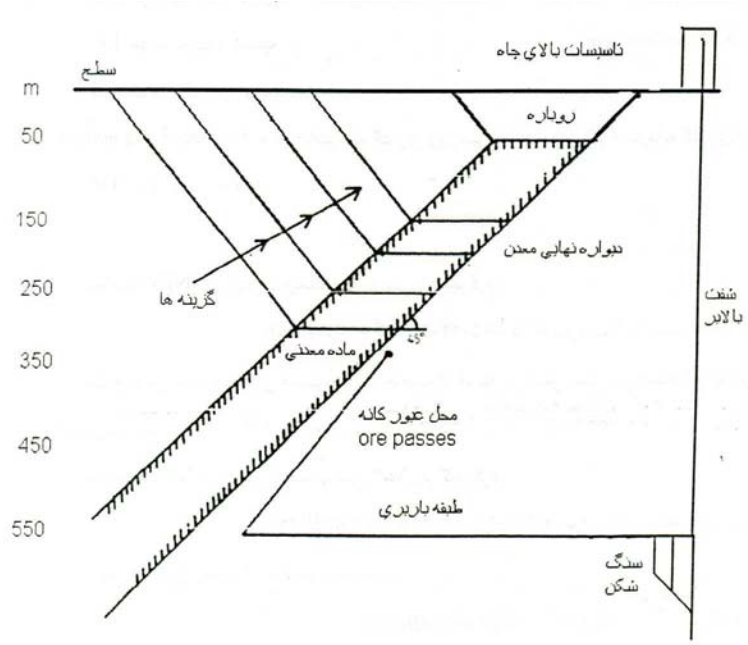
امکان استخراج روباز یک کانسار واقع در عمق نسبتاً زیاد را به طور سرانگشتی می توان با تخمین نسبت باطله برداری کلی، ارزیابی نمود و در صورتی که این نسبت باطله برداری از نسبت باطله برداری معادن روباز مشابه تجاوز کرد، استخراج روباز می باید کنار گذاشته شود.[1]

طراحی معدن مستلزم تخمین ذخیره و عیار کانسار و برآورد هزینه روش های استخراج مورد نظر و فرآیندهای اصلی نظیر فرآوری، ذوب و غیره می باشد. در انتخاب روش معدنکاری (روباز یا زیرزمینی) نیز بدین منوال عمل می شود. عیار حد، بازیابی و اختلاط(Dilution) نیز برای روش های مختلف، متفاوت خواهند بود. با تعیین نسبت باطله برداری برای گزینه های روباز و داشتن هزینه های سرمایه ای و عملیاتی روش های روباز و زیرزمینی و مشخصه های بازار یعنی ظرفیت و قیمت، امکان محاسبه ارزش خالص فعلی برای هر گزینه روباز و گزینه متناظر زیرزمینی آن و در نهایت انتخاب گزینه یا عمق مناسب فراهم خواهد بود.[1]

عمق بهینه در تبدیل از روباز به زیرزمینی

با درنظر گرفتن چند کاواک در اعماق مختلف (شکل ۱) و با یکی از دو روش معمول برای محاسبه عمق نهایی کاواک که در ذیل آمده اند، می توان عمق حدی روباز - زیرزمینی را تعیین کرد:

۱- محاسبه درآمد و هزینه های مرتبط با ماده معدنی در کاواک های با اعماق مختلف. عمقی که هزینه استخراج روباز از هزینه معدنکاری زیرزمینی همان مقدار ماده معدنی بیشتر باشد، می بایستی روش استخراج را به زیرزمینی تغییر داد.[1]



شکل ۱- برش عرضی از یک کانسار فرضی پرشیب[1]

۲- محاسبه ارزش خالص فعلی(Net Present Value) کل معدن در کاواک های با اعماق مختلف و گزینه های زیرزمینی متناظر با آن ها. گزینه یا عمقی که بالاترین ارزش خالص فعلی را به دست دهد، بهترین گزینه خواهد بود. در اینجا با توجه به منظور کردن زمان تحقق درآمد و هزینه ها به عمق حدی دقیق تری نسبت به روش اول می توان دست یافت. این مقاله که تکمیل کننده راهکار نیلسون است بر اساس این روش پایه گذاری شده است.[1]

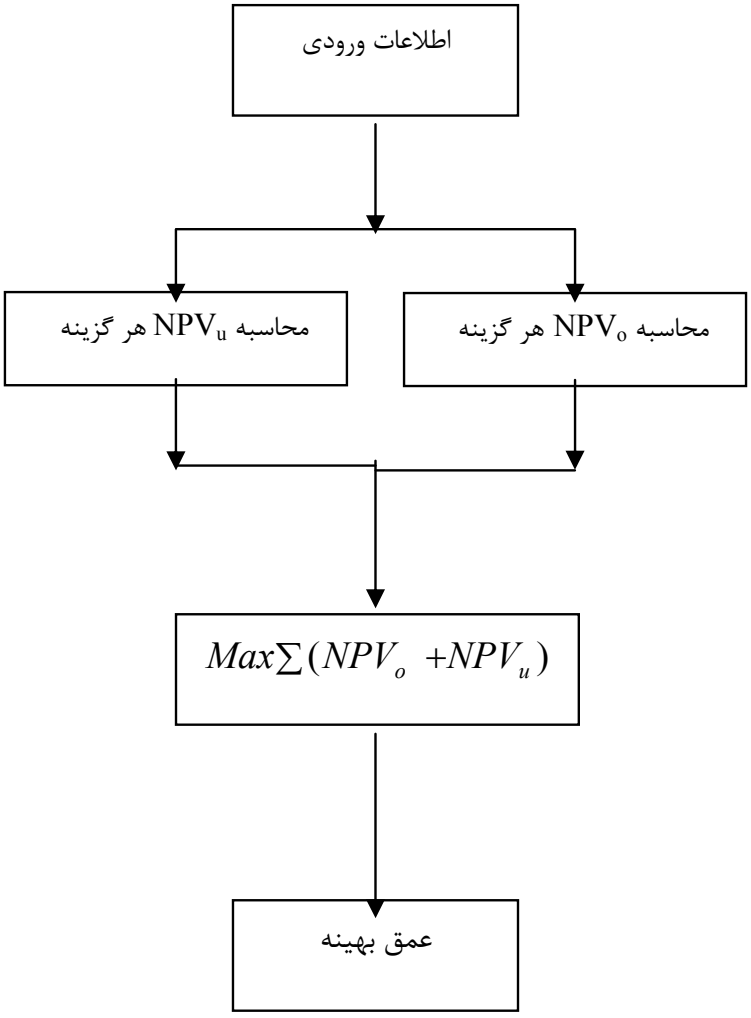
مبنای نرم افزار تعیین حد روباز – زیرزمینی

نرم افزار حاضر با استفاده از زبان برنامه نویسی ویژوال بیسیک و بر مبنای راهکار آقای نیلسون (۱۹۹۲) تهیه شده است. شکل ۲ روندنمای کلی فرآیند تعیین این عمق حدی را نشان می دهد.

در این برنامه فرضیات زیر مد نظر قرارگرفته اند:

- امکان معدنکاری زیرزمینی وجود دارد.

- ظرفیت ورودی کارخانه، عیار متوسط در کل ذخیره و در نتیجه درآمد سالیانه و هزینه های عملیاتی سالیانه ثابت در نظر گرفته شده اند.
- انجام سرمایه گذاری لازم در سال های قبل از تولید
- امکان سرمایه گذاری مجدد ماشین آلات



شکل۲- روند نمای تعیین عمق بهینه روباز - زیرزمینی

بر اساس آنچه که در شکل(۲) مشاهده می گردد، فرآیند تعیین حد روباز – زیرزمینی شامل بخش های زیر است:

الف) اطلاعات ورودی

ذخیره معدن	R	
ظرفیت سالیانه کارخانه فرآوری	C_y	
وزن کانسنگ روباز هر گزینه	W_{oom}	m=1,2,000,4
وزن کانسنگ قابل استخراج روباز هر گزینه	W_{ooem}	m=1,2,000,4
وزن کانسنگ باقیمانده بین کف روباز و سقف زیرزمینی هر گزینه	W_{pm}	m=1,2,000,4
وزن باطله روباز هر سال هر گزینه	W_{wmxm}	m=1,2,000,4 x=1,2,000,T_o
زمان شروع روباره برداری هر گزینه	T_{bovmm}	m=1,2,000,4
تعداد سال های روباره برداری هر گزینه	N_{ovmm}	m=1,2,000,4
میزان روباره برداری هر سال هر گزینه	W_{ovmnm}	m=1,2,000,4 n=1,2,000 ،N_{ovm}
عیار متوسط	$\overline{g}$	
عیار کنسانتره**	g_c	
راندمان استخراج روباز	R_o	
راندمان استخراج زیرزمینی	R_u	
راندمان کارخانه فرآوری	R_p	
راندمان ذوب و تصفیه*	$R_{s\&r}$	
میزان اختلاط در روش روباز	D_o	
میزان اختلاط در روش زیرزمینی	D_u	
تعداد سال های سرمایه گذاری روباز هر گزینه	N_{oicm}	m=1,2,000,4
تعداد سال های سرمایه گذاری زیرزمینی هر گزینه	N_{uicm}	m=1,2,000,4
میزان سرمایه گذاری در هر سال روباز هر گزینه	C_{oicvm}	m=1,2,000,4 v=1,2,000 ،N_{oicm}
میزان سرمایه گذاری در هر سال زیرزمینی هر گزینه	C_{uicwm}	m=1,2,000,4 w=1,2,000 ، N_{uicm}

دفعات سرمایه گذاری مجدد هر گزینه	N_{rcm}	m=1,2,000,4
دفعات سرمایه گذاری مجدد روباز هر گزینه	N_{orcm}	m=1,2,000,4
سال های سرمایه گذاری مجدد هر گزینه	T_{rczm}	m=1,2,000,4 z=1,2,000، N_{rm}
میزان سرمایه گذاری مجدد هر گزینه متناظر با سال های سرمایه گذاری مجدد	C_{rczm}	m=1,2,000,4 z=1,2,000، N_{rm}
ارزش اسقاطی در پایان استهلاک سرمایه هر گزینه	SV_{zm}	m=1,2,000,4 z=1,2,000، N_{rm}
ارزش مانده دفتری در پایان عمر معدنکاری روباز هر گزینه	BV_{om}	m=1,2,000,4
ارزش مانده دفتری در پایان عمر معدنکاری زیرزمینی هر گزینه	BV_{um}	m=1,2,000,4
هزینه عملیاتی استخراج هر تن کانسنگ به روش روباز	C_{ooe}	
هزینه عملیاتی هر تن باطله برداری	C_{wm}	
هزینه عملیاتی هر تن روباره برداری	C_{ovm}	
هزینه عملیاتی استخراج هر تن کانسنگ به روش زیرزمینی	C_{uoe}	
هزینه فرآوری هر تن کانسنگ	C_p	
هزینه ذوب و تصفیه هر تن فلز*	$C_{s\&r}$	
هزینه متفرقه هر تن محصول	$C_{misc.}$	
قیمت هر تن محصول	P	
نرخ بهره	%i	

* در صورتی که محصول استحصالی فلز باشد.
** در صورتی که محصول استحصالی کنسانتره باشد.

که در آنها:

m= گزینه ها ،v= سالهای سرمایه گذاری روباز ،w= سالهای سرمایه گذاری زیرزمینی ،z = دوره های سرمایه گذاری مجدد ،x= سالهای استخراج به روش روباز ،n= سالهای روباره برداری

ب) پردازش اطلاعات

گام اول: محاسبه وزن کانسنگ سالیانه ورودی به کارخانه فرآوری:

روش روباز: (۱)

$$W_{ooey} = \frac{C_y}{D\,(1+\frac{o}{100})}$$

روش زیرزمینی: (۲)

$$W_{uoey} = \frac{C_y}{D\,(1+\frac{u}{100})}$$

گام دوم: محاسبه وزن کانسنگ سالیانه قابل استخراج:

روش روباز: (۳)

$$W_{opoey} = \frac{W_{ooey}}{\frac{R_o}{100}}$$

روش زیرزمینی: (۴)

$$W_{upoey} = \frac{W_{uoey}}{\frac{R_u}{100}}$$

گام سوم: محاسبه عمر معدنکاری روباز هر گزینه از تقسیم وزن کانسنگ قابل استخراج روباز آن گزینه بر وزن کانسنگ سالیانه قابل استخراج به روش روباز.

(۵)

$$T_{om} = \frac{W_{ooem}}{W_{opoey}}$$

گام چهارم: محاسبه میزان کانسنگ قابل استخراج زیرزمینی:

(۶)

$$W_{uoem} = R - W_{pm} - W_{oom}$$

گام پنجم: محاسبه عمر معدنکاری زیرزمینی هر گزینه از تقسیم میزان کانسنگ قابل استخراج زیرزمینی آن گزینه بر وزن کانسنگ سالیانه قابل استخراج به روش زیرزمینی.

$$T_{um} = \frac{W_{uoem}}{W_{upoey}} \qquad (۷)$$

گام ششم: محاسبه وزن فلز استحصالی سالیانه هر گزینه:

در صورتی که محصول استحصالی فلز باشد:

روش روباز :
$$W_{o(metal)ym} = C_y \times \frac{\bar{g}}{100} \times (1 - \frac{D_o}{100}) \times \frac{R_p}{100} \times \frac{R_{s\&r}}{100} \qquad (۸)$$

روش زیرزمینی:
$$W_{u(metal)ym} = C_y \times \frac{\bar{g}}{100} \times (1 - \frac{D_u}{100}) \times \frac{R_p}{100} \times \frac{R_{s\&r}}{100} \qquad (۹)$$

در صورتی که محصول استحصالی کنسانتره باشد:

روش روباز:
$$W_{ocym} = C_y \times \frac{\bar{g}}{g_c} \times (1 - \frac{D_o}{100}) \times \frac{R_p}{100} \qquad (۱۰)$$

روش زیرزمینی:
$$W_{ucym} = C_y \times \frac{\bar{g}}{g_c} \times (1 - \frac{D_u}{100}) \times \frac{R_p}{100} \qquad (۱۱)$$

گام هفتم: محاسبه هزینه عملیاتی سالیانه استخراج کانسنگ به روش روباز از حاصلضرب ظرفیت سالیانه کارخانه فرآوری در هزینه عملیاتی استخراج هر تن کانسنگ به روش روباز.

$$C_{ooey} = C_y \times C_{ooe} \qquad (۱۲)$$

گام هشتم: محاسبه هزینه سالیانه باطله برداری هر گزینه از حاصلضرب میزان باطله برداری سالیانه آن گزینه در هزینه هر تن باطله برداری.

$$C_{wmxm} = W_{wmxm} \times C_{wm} \qquad (۱۳)$$

گام نهم: محاسبه هزینه روباره برداری سالیانه هر گزینه از حاصلضرب میزان روباره برداری هر سال آن گزینه در هزینه هر تن روباره برداری.

$$C_{ovmnm} = W_{ovmnm} \times C_{ovm} \qquad (۱۴)$$

گام دهم: محاسبه هزینه سالیانه استخراج کانسنگ به روش زیرزمینی از حاصلضرب ظرفیت سالیانه کارخانه فرآوری در هزینه استخراج هر تن کانسنگ به روش زیرزمینی.

$$C_{uoey} = C_y \times C_{uoe} \qquad (۱۵)$$

گام یازدهم: محاسبه هزینه سالیانه فرآوری کانسنگ از حاصلضرب ظرفیت سالیانه کارخانه فرآوری در هزینه فرآوری هر تن کانسنگ.

$$C_{py} = C_y \times C_p \qquad (۱۶)$$

گام دوازدهم: محاسبه هزینه سالیانه ذوب و تصفیه هر گزینه از حاصلضرب وزن فلز استحصالی سالیانه آن گزینه در هزینه ذوب و تصفیه هر تن فلز. (در صورتی که محصول استحصالی فلز باشد)

$$C_{o(s\&r)ym} = W_{o(metal)ym} \times C_{s\&r} \qquad \text{روش روباز :} \qquad (۱۷)$$

$$C_{u(s\&r)ym} = W_{u(metal)ym} \times C_{s\&r} \qquad \text{روش زیرزمینی:} \qquad (۱۸)$$

گام سیزدهم: محاسبه هزینه متفرقه سالیانه هر گزینه از حاصلضرب وزن محصول استحصالی سالیانه آن گزینه در هزینه متفرقه هر تن محصول.

در صورتی که محصول استحصالی فلز باشد:

$$C_{o(misc.)ym} = W_{o(metal)ym} \times C_{misc.} \qquad \text{روش روباز :} \qquad (۱۹)$$

$$C_{u(misc.)ym} = W_{u(metal)ym} \times C_{misc.} \qquad \text{روش زیرزمینی:} \qquad (۲۰)$$

در صورتی که محصول استحصالی کنسانتره باشد:

$$C_{o(misc.)ym} = W_{ocym} \times C_{misc.} \qquad \text{روش روباز :} \qquad (۲۱)$$

$$C_{u(misc.)ym} = W_{ucym} \times C_{misc.} \qquad \text{روش زیرزمینی:} \qquad (۲۲)$$

گام چهاردهم: محاسبه هزینه عملیاتی سالیانه کل روباز هر گزینه:

در صورتی که محصول استحصالی فلز باشد:

$$C_{otym} = C_{oy} + C_{wym} + C_{py} + C_{o(s\&r)ym} + C_{o(misc.)ym} \qquad (۲۳)$$

در صورتی که محصول استحصالی کنسانتره باشد:

$$C_{otym} = C_{oy} + C_{wym} + C_{py} + C_{o(misc.)ym} \quad (۲۴)$$

گام پانزدهم: محاسبه هزینه عملیاتی سالیانه کل زیرزمینی هر گزینه:

در صورتی که محصول استحصالی فلز باشد:

$$C_{utym} = C_{uy} + C_{py} + C_{u(s\&r)ym} + C_{u(misc.)ym} \quad (۲۵)$$

در صورتی که محصول استحصالی کنسانتره باشد:

$$C_{utym} = C_{uy} + C_{py} + C_{u(misc.)ym} \quad (۲۶)$$

گام شانزدهم: محاسبه درآمد سالیانه از حاصلضرب وزن محصول استحصالی سالیانه در قیمت هر تن محصول.

در صورتی که محصول استحصالی فلز باشد:

روش روباز: $$I_{oym} = W_{o(metal)ym} \times P \quad (۲۷)$$

روش زیرزمینی: $$I_{uym} = W_{u(metal)ym} \times P \quad (۲۸)$$

در صورتی که محصول استحصالی کنسانتره باشد:

روش روباز: $$I_{oym} = W_{ocym} \times P \quad (۲۹)$$

روش زیرزمینی: $$I_{uym} = W_{ucym} \times P \quad (۳۰)$$

گام هفدهم: محاسبه ارزش خالص روباز هر گزینه از تفاضل درآمد سالیانه و هزینه عملیاتی سالیانه کل آن گزینه.

روش روباز: $$NV_{om} = I_{oym} - C_{otym} \quad (۳۱)$$

روش زیرزمینی: $$NV_{um} = I_{uym} - C_{utym} \quad (۳۲)$$

گام هجدهم: محاسبه ارزش خالص فعلی روباز هر گزینه در سال صفر سرمایه گذاری معدنکاری روباز آن گزینه. $(i = \frac{\%i}{100})$

$$NPV_{om} = \left[\frac{(1+i)^{T_{om}}-1}{i(1+i)^{T_{om}}} \times \frac{1}{(1+i)^{N_{oicm}}} \times NV_{om}\right] - \sum_{f=1}^{N_{oicm}}\left[\frac{1}{(1+i)^{f}} \times C_{oicfm}\right] - \sum_{h=T_{bovmm}}^{N_{oicm}}\left[\frac{1}{(1+i)^{h}} \times C_{ovmhm}\right]$$
$$- \sum_{z=1}^{N_{orcm}}\left[\frac{1}{(1+i)^{T_{rczm}}} \times (C_{rczm} - SV_{zm})\right] + \left[\frac{1}{(1+i)^{T_{om}+N_{oicm}}} \times BV_{om}\right]$$

(۳۳)

گام نوزدهم: محاسبه ارزش خالص فعلی زیرزمینی هر گزینه در سال صفر سرمایه گذاری معدنکاری زیرزمینی آن گزینه.

$$NPV_{um} = \left[\frac{(1+i)^{T_{um}}-1}{i(1+i)^{T_{um}}} \times \frac{1}{(1+i)^{N_{uicm}}} \times NV_{um}\right] - \sum_{k=1}^{N_{uicm}}\left[\frac{1}{(1+i)^{k}} \times C_{uickm}\right]$$
$$- \sum_{z=1+N_{orcm}}^{N_{rcm}}\left[\frac{1}{(1+i)^{T_{rczm}}} \times (C_{rczm} - SV_{zm})\right] + \left[\frac{1}{(1+i)^{T_{um}+N_{uicm}}} \times BV_{um}\right]$$

(۳۴)

گام بیستم: محاسبه ارزش خالص فعلی زیرزمینی هر گزینه در سال صفر سرمایه گذاری معدنکاری روباز آن گزینه.

$$N_{oum} = N_{oicm} + T_{om} - N_{uicm} \quad (۳۵)$$

$$NPV_{oum} = \left[\frac{NPV_{um}}{(1+i)^{N_{oum}}}\right] \quad (۳۶)$$

گام بیست یکم: محاسبه ارزش خالص فعلی کلی هر گزینه از مجموع ارزش خالص فعلی روباز و ارزش خالص فعلی زیرزمینی آن گزینه در سال صفر سرمایه گذاری معدن روباز.

$$NPV_{o\&um} = NPV_{om} + NPV_{oum} \quad (۳۷)$$

ج) نتایج

۱- مقایسه ارزش های خالص فعلی روباز گزینه ها و تشخیص بهترین گزینه روباز و در نتیجه بهترین عمق معدنکاری روباز.

$$NPV_{\max om} = Max\left(NPV_{om}\right) \qquad (۳۸)$$

۲- مقایسه ارزش های خالص فعلی کلی گزینه ها و تشخیص بهترین گزینه روباز - زیرزمینی و در نتیجه بهترین عمق معدنکاری روباز با در نظر گرفتن معدنکاری زیرزمینی.

$$NPV_{\max o\&um} = Max(NPV_{o\&um}) \qquad (۳۹)$$

نتیجه گیری

تعیین عمق و محدوده نهایی کاواک یک معدن روباز از اساسی ترین اهدافی است که باید مد نظر قرار گیرند. از آنجا که شرکت های معدنی باید سرمایه گذاری زیادی را برای سالیان درازی قبل از رسیدن به درآمدهای حاصل از کانسنگ صرف باطله برداری نمایند، بنابراین می بایستی مسئله ارزش زمانی سرمایه را در نظر بگیرند. این بدین معنی است که هدف باید انتخاب کاواکی باشد که ارزش خالص فعلی را بر اساس نرخ بهره ای که شرکت برای سایر سرمایه گذاری هایش به کار می برد، به حداکثر برساند. [۲] در این مقاله ضمن توصیف مبانی تعیین حد استخراج روباز – زیرزمینی بر اساس راهکار نیلسون (۱۹۹۲) و تهیه الگوریتم مناسب، روش تعیین بهترین گزینه روباز و عمق حدی روباز – زیرزمینی ارائه گردید.

منابع

[1] Nilsson, Dan, (1992), *"Surface vs. Underground Mining Methods"*, In Mining Engineering Handbook, SME.
[2] Nilsson, Dan, (1982), *"Surface vs. Underground Mining Methods"*, In Mining Engineering Handbook, SME.