

مدل عددی یعنی روش استخراج معادن زیرزمینی

رحمت‌اله استوار

مربی دانشکده معدن و متالورژی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

چکیده

عواملی نظیر شکل، شیب، عمق، ابعاد و عیار کانسار، مشخصات فیزیکی و مکانیکی کانسنگ و سنگ درونگیر، مقدار ذخیره و میزان استخراج سالیانه، روش استخراج معادن زیرزمینی را معین می‌کنند. [۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷] در این مقاله به جای تجزیه و تحلیل تشریحی ویژگیهای فوق، به هر عامل امتیازی عددی داده شده است و بسته به اهمیت آن در هر یک از روشهای استخراج زیرزمینی، امتیاز در نظر گرفته شده در ضریبی به نام ضریب اهمیت ضرب می‌شود. مجموع امتیازهای حاصل شده در مورد هر کانسار، روشهای استخراج زیرزمینی آن را از نقطه نظر فنی به ترتیب اولویت مشخص می‌کند. طبیعی است که محاسبات اقتصادی روش نهایی را مشخص خواهد نمود.

A Numerical process for underground Mining

Method selection

Rahmatollah Ostovar

Lecturer of Mining & Metallurgical Eng. Dept.

AmirKabir Univ. of Tech.

Abstract

Underground mining methods are selected according to the characteristics of orebody as; shape, dip, depth, dimensions, assay and mechanical and physical properties of orebody and country rock, ore reserve and annual production. These characters are ranked due to their affect on mining methods. At last the rank values of each deposit are added and the suitable mining methods from the technical point of view will be proposed. Ofcourse mining costs will propose the final mining method.

علائم و لغات کلیدی

علامت	لغت انگلیسی	فارسی
BC	Block Caving	تخریب بزرگ
CF	Cut & Fill	کندن و پرکردن
LW	Long Wall	جبهه طویل
RP	Room & Pillar	اتاق و پایه
SH	Shrinkage	انبارهای
SO	Square Set	کرسی چینی

SC	Sub - Level Caving	تخریب طبقات فرعی
SS	Sub- Level Stoping	استخراج طبقات فرعی
TS	Top Slicing	برش از بالا

۱- مقدمه

روشهایی که دارای بیشترین امتیاز مثبت باشند بعنوان روشهای مناسب در مرحله اول انتخاب می شوند. لازم به توضیح است در طول این روند روشهایی که امکان استفاده از آنها برای کانسار مورد بررسی وجود ندارد و یا استفاده از آنها منطقی نمی باشد حذف خواهند شد.

معادن زیرزمینی براساس ویژگیهای هر کانسار و سنگ درونگیر آن با روشی خاص استخراج می شوند. معمولاً ویژگیهای کانسارها بنحوی نیستند که در یک راستا عمل کرده و همگی متفق القول یک روش استخراج زیرزمینی را تجویز کنند، بلکه در اکثر قریب به اتفاق موارد، مشخصه های کانسار در جهات متفاوت عمل کرده و تصمیم گیرنده را دچار تردید می کنند.

۱-۲- ویژگیهای کانسار و تقسیم بندی آنها

ملاک تقسیم بندی زیر، اهمیت و تأثیر مقدار یا کیفیت ویژگی در روش استخراج زیرزمینی می باشد.

S1	- شکل عمومی کانسار: توده ای
S2	لایه ای یا رگه ای
S3	بی شکل
A1	- چگونگی توزیع عیار: یکنواخت
A2	تغییرات منظم
A3	[۵] مغشوش
- ضخامت متوسط کانسار:	
T1	خیلی نازک (کمتر از سه متر)
T2	نازک (۳ تا ۱۰ متر)
T3	متوسط (۱۰ تا ۳۰ متر)
T4	ضخیم (۳۰ تا ۶۰ متر)
T5	[۴] خیلی ضخیم (بیشتر از ۶۰ متر)
D1	- شیب متوسط کانسار: افقی (کمتر از ۱۰ درجه)
D2	کم شیب (۱۰ تا ۲۵ درجه)
D3	متوسط (۲۵ تا ۵۵ درجه)
D4	پر شیب (۵۵ تا ۷۰ درجه)
D5	قائم (بیشتر از ۷۰ درجه)
- عمق متوسط کانسار:	
d1	خیلی کم عمق (کمتر از ۵۰ متر)
d2	کم عمق (۵۰ تا ۱۰۰ متر)
d3	عمق متوسط (۱۰۰ تا ۳۰۰ متر)
d4	عمیق (۳۰۰ تا ۱۰۰۰ متر)
d5	خیلی عمیق (بیشتر از ۱۰۰۰ متر)
R1	- بازیابی مورد نیاز: متوسط (کمتر از ۸۰ درصد)
R2	زیاد (۸۰ تا ۹۵ درصد)

اولین بار در سال ۱۹۸۱ میلادی روشی عددی به وسیله آقای David E. Nicholas مطرح گردید [۴]، که راهی نو برای انتخاب شیوه استخراج معادن زیرزمینی است اما معایب زیر در آن مشهود است:

الف: همه عوامل موثر در انتخاب روش استخراج زیرزمینی بکار گرفته نشده اند:

ب: اعداد انتخاب شده در برخی از موارد نتیجه اشتباه و دور از حقیقت به دست می دهد.

شیوه امتیازدهی که در اینجا مورد بررسی قرار می گیرد، برای انتخاب مقدماتی روش استخراج زیرزمینی معادن می باشد. در ابتدا باید امکان استفاده از روش استخراج روباز مورد بررسی قرار گرفته باشد و در صورت عدم مناسب بودن آن، با استفاده از شیوه امتیازدهی، روش یا روشهای مناسب استخراج زیرزمینی کانسار مورد نظر را جهت مطالعات و بررسیهای تفصیلی و نهایی انتخاب کرد.

۲- شرح روش عددی

ابتدا پارامترهایی که در انتخاب روش استخراج مؤثرند مورد بررسی قرار گرفته و برای هر یک از آنها در ارتباط با روشهای مختلف استخراج، امتیازی در نظر گرفته می شود. حاصلضرب این امتیازها و ضریب اهمیت، امتیاز هر پارامتر را در حالتی مختلف خود برای یک روش استخراج تشکیل می دهد. سپس مجموع امتیاز پارامترهای مختلف برای هر یک از روشهای استخراج را بدست می آوریم و توسط ضریب همگنی، آنها را همگن می کنیم. پس از محاسبه مجموع امتیازهای همگن شده،

شرایط مختلف دارای امتیاز نهایی بسیار پایینی نسبت به سایر روشها می‌گردند؛ در صورتی که در عمل امکان استفاده از آنها وجود دارد. لذا برای هر یک از روشهای استخراج یک ضریب همگنی تعریف شده است به طوری که حاصلضرب مجموع ضریبهای اهمیت روشهای مختلف استخراج و ضریب همگنی تقریباً برابر هستند.

ضریب اهمیت و ضریب همگنی پارامترهای مؤثر در انتخاب روش استخراج زیرزمینی در جدول (۱) قید شده است.

۲-۳- امتیاز پارامترهای مختلف کانسار

تعیین امتیاز هر پارامتر برای کانسارهای مختلف مهمترین مرحله از کار می‌باشد. در صورتی که این امتیازها درست در نظر گرفته نشود عملاً نتایج حاصل غلط خواهد بود. برای تعیین امتیاز هر یک از پارامترها مطالب زیادی که در باره هر یک از روشهای استخراج منتشر شده است [۱، ۳، ۴، ۵، ۶، ۸] مورد بررسی قرار گرفته و حتی المقدور از آنها استفاده شده است، ولی بعلت عدم اتفاق نظری که بین منابع مختلف در این مورد وجود دارد حدود یکصد معدن زیرزمینی از نقاط مختلف جهان نیز از دیدگاه روش استخراج بررسی و براساس اطلاعات حاصل، امتیازهای هر پارامتر تعیین شده است. امتیازهای در نظر گرفته شده در جداول (۲) تا (۸) درج شده است. در مورد پارامترهایی که نمی‌توان آنها را به تنهایی مورد بررسی قرارداد به جدول (۸) باید مراجعه شود.

امتیاز برای هر پارامتر یا ویژگی کانسار بسته به مطلوب یا نامطلوب بودن آن برای روش استخراج مورد نظر به شرح زیر تعیین شده است.

پارامتر کاملاً مطلوب ۲ - پارامتر مطلوب ۱ - پارامتری بی‌تأثیر ۰
پارامتر نامطلوب ۱ - پارامتر کاملاً نامطلوب ۲ - پارامتر غیر منطقی ۱۰۰-

R3	خیلی زیاد (بیشتر از ۹۵ درصد)
P1	کم (کمتر از ۵۰۰۰۰۰ تن)
P2	متوسط (۵۰۰۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰۰۰ تن)
P3	زیاد (بیشتر از ۲۰۰۰۰۰۰ تن)
N1	مجاز
N2	غیرمجاز
	- طبقه‌بندی ژئوتکنیکی [۱۰]، کمربالا، کمربالین و توده معدنی:
m1	خیلی ضعیف (RMR < ۲۰)
m2	ضعیف (RMR = ۲۱-۴۰)
m3	متوسط (RMR = ۴۱-۶۰)
m4	خوب (RMR = ۶۱-۸۰)
	خیلی خوب (RMR = ۸۱-۱۰۰)
m5	

۲-۲- ضریب اهمیت و ضریب همگنی

ویژگیهایی که برای انتخاب روش استخراج مورد بررسی قرار می‌گیرند، برای تمام روشهای استخراج دارای اهمیت یکسان نمی‌باشند. برخی از آنها برای بعضی از روشها بسیار مهم و حتی تعیین‌کننده هستند ولی همین پارامتر برای بعضی از روشها نقش مهمی ندارد و امکان استفاده از آن روش بستگی قطعی به وجود و یا عدم آن ندارد. بعنوان مثال سست بودن کمربالا در برخی روشها مانند تخریب طبقات فرعی و تخریب بزرگ بسیار مهم می‌باشد، ولی این پارامتر برای روشهایی مانند کندن و پرکردن و کرسی چینی اهمیت زیادی ندارد. بنابراین با منظور کردن ضریب اهمیت برای هر یک از پارامترها در ارتباط با روشهای مختلف استخراج پارامترهایی که برای یک روش استخراج، مهم بوده و کانسار مورد بررسی دارای آن پارامتر می‌باشد و یا بالعکس فاقد آن پارامتر است. بررسی و قضاوت بصورت منطقی تر انجام شود. [۶، ۷، ۹]

با توجه به اینکه برخی از روشها نسبت به بعضی و یا بسیاری از ویژگیها حساسیت زیادی ندارند و بعبارت دیگر می‌توان از آنها در شرایط متفاوتی استفاده نمود، لذا عملاً ضریب اهمیت آن برای این روشهای مختلف استخراج کم می‌باشد. از طرف دیگر چون هر یک از پارامترها در ارتباط با هر یک از روشهای استخراج دارای یک امتیاز می‌باشند که مجموع حاصلضرب امتیازها و ضریبهای اهمیت امتیاز نهایی هر یک از روشهای استخراج را از نظر فنی تعیین می‌کند، بنابراین روشهایی عملاً در

جدول (۱) ضریب اهمیت و ضریب همگنی پارامترهای مختلف کانسارها

پارامتر	روش	BC	CF	LW	RP	SH	SQ	SC	SS	TS
شکل عمومی		۱۵	۱	۵	۱	۵	۱	۵	۵	۵
توزیع عیار		۱	۱	۱۵	۱	۵	۱	۵	۵	۱۵
ضخامت		۱۰	۱	۵	۵	۵	۱	۵	۵	۱
شیب		۵	۱	۵	۱۰	۱۰	۱	۱۰	۱۰	۱
عمق		۱	۱	۱	۱۰	۱	۱	۱	۱	۱
بازایی		۵	۱	۱	۵	۱	۱	۵	۵	۱
مقدار تولید		۵	۱	۵	۱	۵	۵	۵	۵	۵
نشت		۱۵	۱	۱۵	۱۵	۱۵	۱	۱۵	۱۵	۱۵
کمریالا		۱۵	۱	۵	۱۰	۵	۱	۱۵	۱۰	۵
ماده معدنی		۵	۱	۱	۱۰	۵	۱	۵	۵	۱
کمریابین		۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
ضریب همگنی		۱/۰۰	۷/۰۹	۱/۳۲	۱/۱۳	۱/۳۴	۵/۲۰	۱/۰۸	۱/۱۶	۱/۵۳

جدول (۲) امتیاز روشهای مختلف استخراج مربوط به شکل و ضخامت کانسار

روش استخراج	ضخامت متوسط کانسار					شکل کانسار		
	T1	T2	T3	T4	T5	S1	S2	S3
BC	-۱۰۰	-۱۰۰	-۱۰۰	۲	۲	۲	جدول ۸	-۱۰۰
CF	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۱
LW	۲	۱	-۱	-۲	-۱۰۰	۰	جدول ۸	-۱۰۰
RP	۱	۲	۲	-۱	-۱۰۰	۰	جدول ۸	جدول
SH	۱	۲	-۱	-۱۰۰	-۱۰۰	۰	جدول ۸	-۱۰۰
SQ	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۱	۰
SC	جدول ۸	جدول ۸	۱	۲	۲	۲	جدول ۸	-۱۰۰
SS	جدول ۸	جدول ۸	۲	۲	۲	۲	جدول ۸	-۱۰۰
TS	-۲	-۱	۱	۲	۲	۲	جدول ۸	-۱۰۰

جدول (۳) امتیاز روشهای مختلف استخراج مربوط به شیب و توزیع عیار

روش استخراج	شیب متوسط کانسار					توزیع عیار		
	D1	D2	D3	D4	D5	A1	A2	A3
BC	۲	۲	۱	۲	۲	۲	۲	۲
CF	۰	۰	۱	۲	۲	۲	۲	۲
LW	۲	۱	۰	-۱	-۲	۲	-۱۰۰	-۱۰۰
RP	۲	۱	-۲	-۱۰۰	-۱۰۰	۲	۰	جدول ۸
SH	جدول ۸	جدول ۸	جدول ۸	۲	۲	۲	۰	-۱۰۰
SQ	۱	۱	۱	۲	۲	۲	۰	-۲
SC	جدول ۸	جدول ۸	جدول ۸	۲	۲	۲	-۲	-۱۰۰
SS	جدول ۸	جدول ۸	جدول ۸	۲	۲	۲	-۲	-۱۰۰
TS	-۲	-۲	-۱	۱	۲	۲	-۱۰۰	-۱۰۰

جدول (۴) امتیاز روشهای مختلف استخراج مربوط به عمق کانسار و بازیابی

روش استخراج	عمق متوسط کانسار					بازیابی		
	D1	D2	D3	D4	D5	R1	R2	R3
BC	-۱۰۰	-۲	۰	۱	۲	۲	-۲	-۱۰۰
CF	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲
LW	-۱	۰	۱	۲	۲	-۲	۲	۰
RP	۲	۲	۲	۲	-۱۰۰	۲	-۲	-۱۰۰
SH	۲	۲	۲	۲	۲	-۱	۲	-۱
SQ	۲	۲	۲	۲	۲	-۲	۱	۲
SC	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	-۱۰۰
SS	۲	۲	۲	-۱	-۲	۲	۲	-۱۰۰
TS	-۱	۰	۱	۲	۲	-۲	۱	۲

جدول (۵) امتیاز روشهای مختلف استخراج مربوط به مقاومت کمر بالا و مقدار تولید

روش استخراج	مقاومت کمر بالا					تولید سالیانه		
	m1	m2	m3	m4	m5	P1	P2	P3
BC	۲	۱	۰	-۱۰۰	-۱۰۰	-۲	-۱	۲
CF	۰	۰	۱	۲	۲	۱	۲	۱
LW	-۱۰۰	۱	-۲	-۱۰۰	-۱۰۰	۱	۲	-۱
RP	-۱۰۰	-۲	۰	۲	۲	۱	۲	۲
SH	-۱۰۰	-۲	۰	۲	۲	۲	۱	-۲
SQ	-۲	-۱	۰	۱	۲	۲	-۱	-۱۰۰
SC	۲	۱	۰	-۱۰۰	-۱۰۰	-۲	۱	۲
SS	-۱۰۰	-۱۰۰	-۱۰۰	۱	۲	-۲	۱	۲
TS	۲	۱	-۲	-۱۰۰	-۱۰۰	۲	۰	-۱۰۰

جدول (۶) امتیاز روشهای مختلف استخراج مربوط به مقاومت کانسار و نشست زمین

روش استخراج	مقاومت کانسار					نشست زمین	
	m1	m2	m3	m4	m5	N1	N2
BC	۲	۲	-۲	-۱۰۰	-۱۰۰	-۱۰۰	۲
CF	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲
LW	۲	۲	۲	۲	۲	-۱۰۰	۲
RP	-۱۰۰	-۱۰۰	-۲	۲	۲	-۱۰۰	۲
SH	-۱۰۰	-۱۰۰	۰	۲	۲	-۱۰۰	۲
SQ	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲
SC	-۱۰۰	-۱۰۰	۰	۱	۲	-۱۰۰	۲
SS	-۱۰۰	-۱۰۰	۰	۲	۲	-۱۰۰	۲
TS	۲	۲	۲	۲	۲	-۱۰۰	۲

جدول (۷) امتیاز روشهای استخراج مربوط به مقاومت کمرباین

روش استخراج	m1	m2	m3	m4	m5
BC	-۲	-۱	۰	۱	۲
CF	۰	۰	۰	۰	۰
LW	۰	۰	۰	۰	۰
RP	۰	۰	۰	۰	۰
SH	-۲	-۱	۰	۱	۲
SQ	۰	۰	۰	۰	۰
SC	-۲	-۱	۰	۱	۲
SS	-۲	-۱	۰	۱	۲
TS	۰	۰	۰	۰	۰

جدول (۸) امتیاز کانسارهای لایه‌ای با در نظر گرفتن ضخامت متوسط

روش استخراج	ضخامت متوسط					شیب متوسط				
	T1	T2	T3	T4	T5	D1	D2	D3	D4	D5
BC	-۱۰۰	-۱۰۰	-۱۰۰	۱	۲					
SH	-۱۰۰	-۲	-۲	۲	۲					
SC	-۱۰۰	-۱۰۰	-۱۰۰	۲	۲	-۱۰۰	-۱۰۰	-۲	۲	
SS	-۱۰۰	-۲	-۲	۲	۲	-۱۰۰	-۱۰۰	-۱۰۰	۲	
LW						۲	۱	۰	-۱۰۰	
RP						۲	۲	-۲	۲	
TS						-۱۰۰	-۱۰۰	۱		

مثال: روش استخراج زیرزمینی کانساری با مشخصات زیر با استفاده از مدل عددی تعیین می‌گردد.
 شکل کانسار: لایه‌ای ضخامت: ۴ متر توزیع عیار: یکنواخت
 شیب: ۶۰ درجه عمق: ۱۸۰ متر بازبایی: ۸۰ درصد
 تولید سالانه: ۵۰۰۰۰۰ تن نشست زمین: مجاز کمربالا: ۸۰ $RMR = ۸۰$
 کمرباین: ۸۰ $RMR = ۸۰$ ماده معدنی: ۸۵ $RMR = ۸۵$

روشهای مختلف استخراج بدست آید.
 $SH = ۱۴۱$ $SR = ۱۰$ $RP = -۱۱۴۸$
 $CF = ۱۴۰$ $LW = -۶۰۴$ $SC = -۱۵۰۸$
 $SS = ۱۳۷$ $TS = -۶۵۹$ $SC = -۴۴۷۲$
 بدین ترتیب بیشترین امتیاز مربوط به روش انبارهای (SH) است.
 البته بهتر است سه روش اول که بیش از دیگران امتیاز دارند از نظر اقتصادی نیز بررسی شوند تا مناسبترین روش برای استخراج زیرزمینی بدست آید.

بر اساس جداول ذکر شده امتیازهای زیر برای این کانسار با

مراجع

- [۱] استوار، رحمت‌الله، جزوه‌های درس روشهای استخراج معادن زیرزمینی دانشکده معدن، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۷۲.
- [۲] سوری، محمد، انتخاب روش استخراج زیرزمینی کانسارهای فلزی با استفاده از مدل‌سازی عددی (پایان‌نامه کارشناسی ارشد)، دانشکده معدن، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۷۳.
- [3] Hustrulid, W.a, *Underground Mining, Method Handbook*, S. M. E., 1982, 1725 pp.
- [4] Stewart, Dan, *Design and Operation of Caving and Sublevel Stopping Mining*, S. M. E., 1981, 843 pp.
- [5] Cummins, A.B. and Given, I. A., *S. M. E. Mining*

- Mining*, A. A. Blakema, 1987, 536 pp. 257-365.
- [9] Hamrin, Hands. *Guide to Underground Mining Method and Application*, Atlas Copco AB, 1980, 39 pp.
- [10] Bieniawski, Z. T., *Rock Mechanics Design in Mining and Tunnelling*, A. A. Balkema, 1984, 270 pp.
- Engineering Handbook, Vol1*, S. M. E., 1973, 1308 pp.
- [6] Hartman, H. L., *Introductory Mining Engineering*, John Wiley and Sons, 1987, 763 pp.
- [7] Lewis, R. S. and Clark, G. B., *Elements of Mining*, John Wiley and Sons, 1964, 763 pp.
- [8] Jeremic, M. L., *Ground Mechanics in Hard Rock*