

دانشگاه شهید باهنر کرمان

دانشکده فنی و مهندسی

بخش مهندسی معدن

درس میانی استخراج مواد معدنی

بخش چهارم: معادن روباز و ترابری

پاییز ۱۳۹۳

1

منابع

- Open pit Mine Planning and Design, Hustrulid , Kuchta, 1995,2013.
- Surface Mining (2nd Edition) Kennedy ,1990.
- Surface Mining, E.P.Pfielder, AIME, 1968
- Mining Eng. Hnbk, SME 1983, 1992,2011
- Surface Mining and Quarrying ,IMM, 1982
- طراحی و برنامه ریزی در معادن روباز. هاسترولید، کوچتا. ترجمه خدایاری، یآوری، ۱۳۸۳
- روش های استخراج معادن سطحی، مرتضی اصانلو، ۱۳۸۴

2

تعریف ماده معدنی یا کانسنگ (ore)

- A natural aggregation of one or more solid minerals that can be mined, processed and sold at a profit.
- تجمع یک یا چند کانی جامد است که بتوان استخراج و فرآوری کرد و همراه با سود فروخت.
- هزینه-درآمد=سود
- قیمت واحد \times ماده فروخته شده=درآمد
- هزینه واحد \times ماده فروخته شده=هزینه
- (هزینه واحد-قیمت واحد) \times ماده فروخته شده=سود

3

تعریف باطله

- گانگ (Gangue) قطعات کانی بی ارزش یا مضر همراه با کانسنگ که باید از آن خارج شوند.
- باطله (Waste) مواد بی ارزش همراه با ماده معدنی هستند که برای به دست آوردن ماده معدنی باید استخراج و سپس دور انداخته شوند.

4

مراحل کار

- اکتشاف (Exploration): جستجو برای کانسار معدنی (شناسایی) و بررسی های بعدی تا شناخت ماده معدنی
- آماده سازی (Development): کارهای انجام شده روی کانسار برای دسترسی به کانسنگ است (بعد از اینکه کانسار در مرحله اکتشاف از نظر کمی و کیفی مناسب برای استخراج شناخته شود).
- تولید (Production): استخراج ماده معدنی و در صورت نیاز انجام فرآوری برای تبدیل آن به محصولات آماده برای فروش

5

طبقه بندی روش های استخراج معادن سطحی (کم عمق):

– ضعیف و نامتراکم ← هیدرولیکی

• پلاستی

Hydraulic mining – هیدرولیکی

– درج

Dredging

• حلایی

– گمانه ای

Borehole mining

– لیچینگ درجا

In-situ leaching

– مقاوم و متراکم ← مکانیکی:

• روباز Open-pit mining

• سطح برداری Strip mining

• تراس Terrace mining

• آگر Auger mining

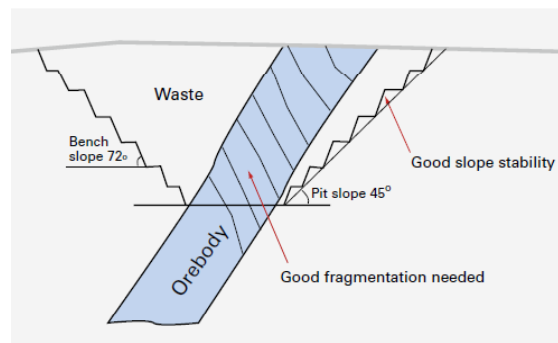
• کواری Quarry mining

•

۱- روش روباز (کاواکی) (Open-pit)

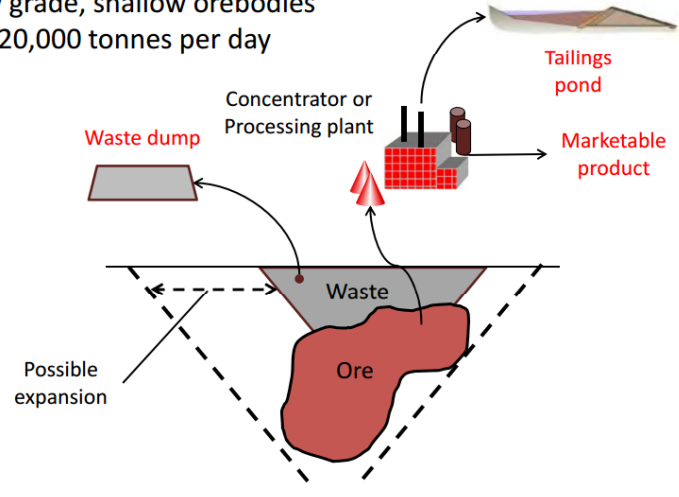
- استخراج کانسارهای نزدیک به سطح زمین توسط حفریات یا انجام برش (cut) از سطح زمین با استفاده از یک یا چند پله افقی همراه با انباشت باطله در بیرون از محدوده نهایی کاواک (pit)
- ایجاد کاواک (pit) با احداث پله تا عمقی که ضرر ندهد.
- برای معادن فلزی عمدتاً مس یا آهن - ذخایر توده ای کم عیار

اساس روش Open pit



Open pit mining

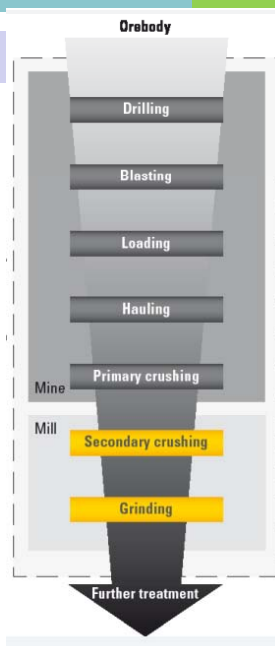
Generally low grade, shallow orebodies
Mining rate >20,000 tonnes per day



Open pit mining



Open pit mining





1 – In an open pit operation a rotary drill is used to drill holes that are ~30cm in diameter and ~15m deep. The holes are commonly filled with ANFO (short for ammonium nitrate fuel oil) explosives.



2 – The blast pattern – drill hole location and spacing and location - depends on the type of rock mined and overall mine plan. The depth of the hole will determine the height of the bench in the pit, generally 12-13m.



3 – Blasting! Explosives in the drill hole are detonated, breaking up the rock into smaller pieces that can be transported for further processing. Depending on the size of the mine, availability of equipment, and capacity of the mill, blasting may be scheduled every day or every 2-3 days.

15



4 – Large electric or hydraulic shovels scoop up blasted rock and load into haul trucks. Today trucks are very large, carrying 80-200+ tonnes per load. It may take only 2-3 shovels full to load a haul truck, then an empty one is ready to take its place.

16



5 - Haul trucks loaded with ore transport it to a primary crusher which crushes the ore to pieces less than 30 cm.



6 - There are different styles of primary crushers (e.g. jaw, gyratory, cone) which all use heavy steel parts that move together to break up the rock. Crushed ore must be hauled by truck or conveyed to a mill for further processing.

19



7 - Haul trucks also transport waste rock from a blast out of the pit to a waste rock dump.

20



8 – The location of waste rock dumps is determined in the original mine design. They are generally located on the margins of an active pit, but later on can be situated in an inactive pit, as shown here.

21



9 – Waste rock dumps are built up to specific dimensions. When reached that size and shape, they must be reclaimed (hyperlink to Mine site reclamation), re-sloped if necessary and re-vegetated.

22



روش سطح برداری Strip mining

- برای استخراج زغالسنگ، بوکسیت، ژئپس و فسفات
- بدون ایجاد پله و با انجام برش (Box cut)
 1. برداشت باطله (روباره)
 2. برداشت ماده معدنی

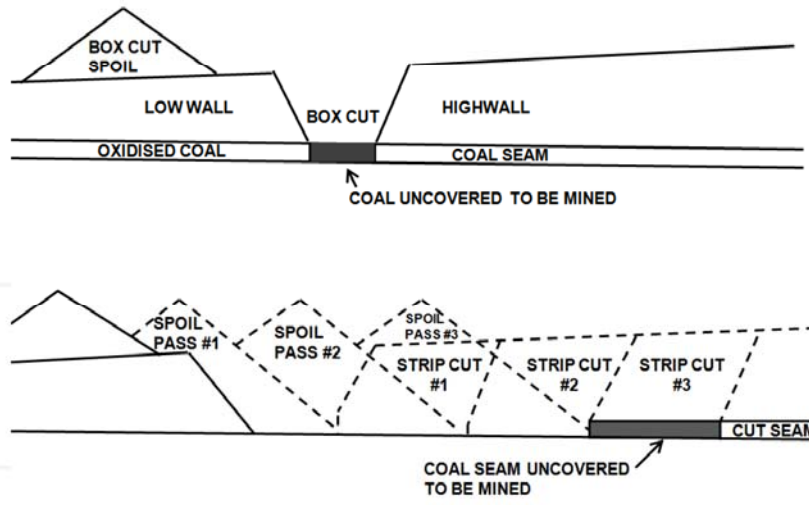
انواع روش های سطح برداری Strip mining

1. روش استخراج مسطحی (Area Mining Method)
منطقه کم عمق و کم ارتفاع- ضخامت باطله رویی کم
2. روش استخراج کنتوری (Contour Mining Method)
معدن در منطقه کوهستانی- امکان استخراج همه زغال وجود ندارد. در انتها معمولاً Auger Mining انجام می شود.

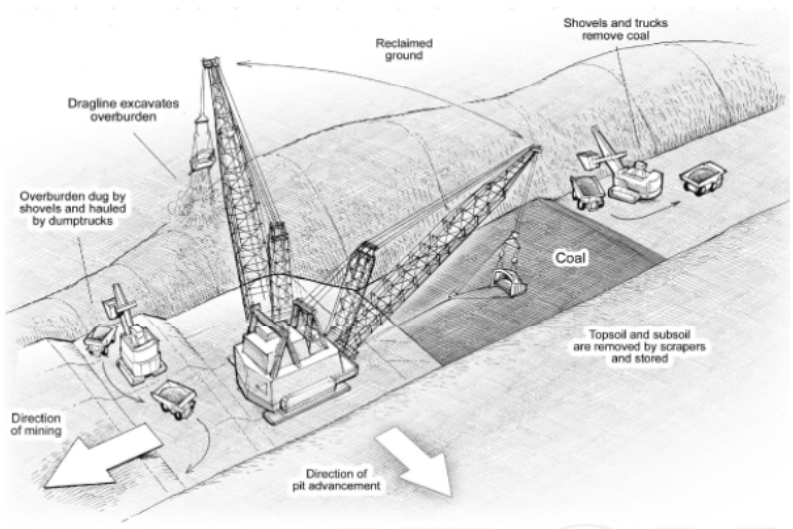
Strip mining



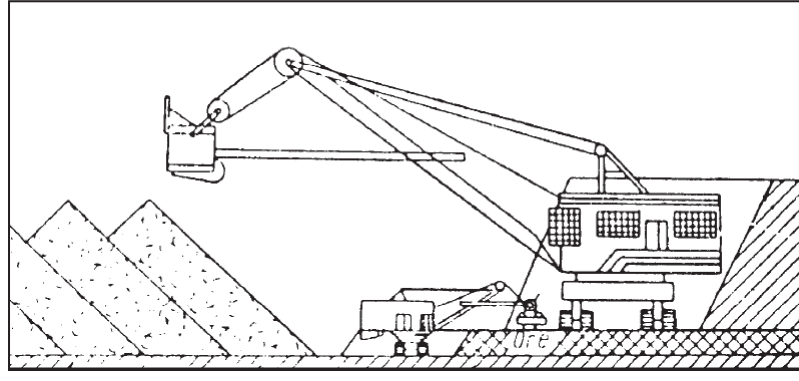
Strip mining



Strip mining



Strip mining



Continuous strip mining



Continuous strip mining

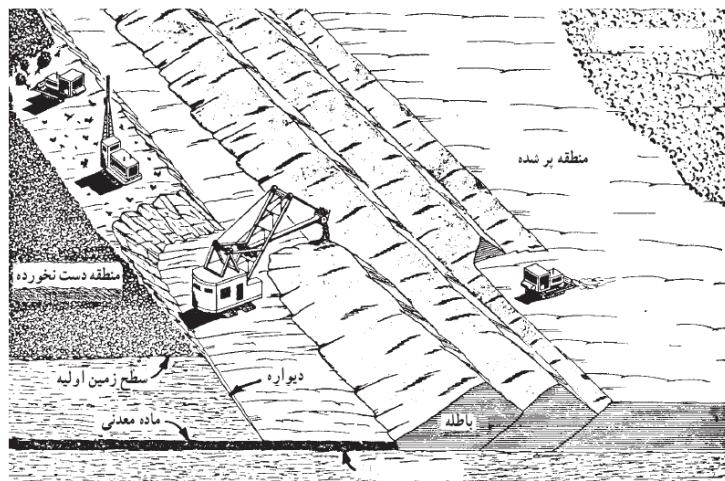
In the areas of surface mining and transportation, systems VAMH focus on the continuous extraction and conveying processes using bucket wheel excavators and belt conveyors. Our activities are oriented to operations that involve moving large volumes of soft materials such as overburden, lignite, coal, phosphate, etc.

The complete system of equipment includes excavators and belt conveyors for mobile conveyor systems for the primary conveyance process, belt conveyors for transport of material to the dumping site as well as the idling/steering equipment, necessary for disposal of the overburden, and a wide range of stackers and spreaders for making, forming and recharging of embankments, roads, dikes and stockpiles. For trackless haulage mining we offer mobile crushing and conveying systems which include self-propelled crushing plants, mine conveyor systems and spreaders.

Continuous excavation by cutting with rock is performed by VAMH's conveyor-based wheel excavators, in the "Krupp-PS-System" combined with beltconveyors and vertical wire conveyors. For the dumping of the overburden large crawler-mounted stackers are used. The improvement of the type of systems is supported by the "Gross-PS-System" supplied by VAMH. Gross Mining Company which has a length of over 100 m and a capacity of 6,000 ton per hour weight.

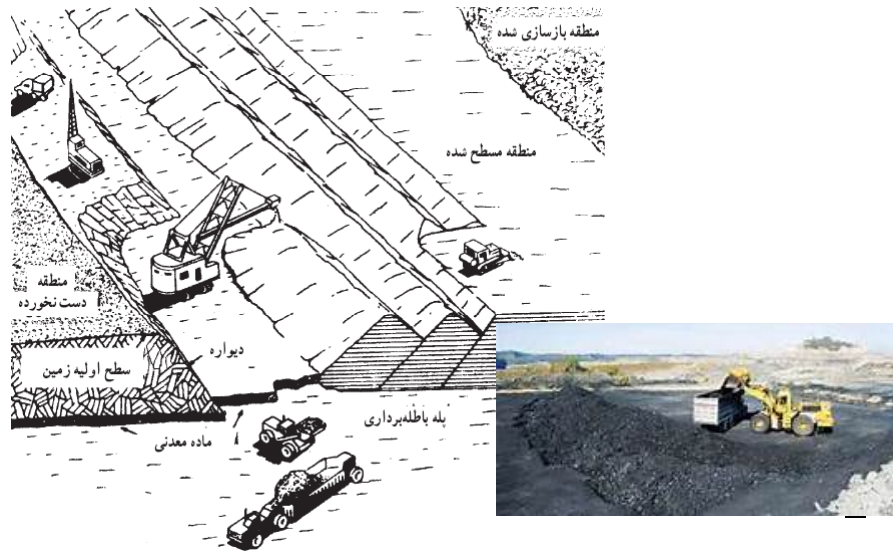
These highly efficient complex combinations are complemented by a range of advanced auxiliary devices such as transfer

Area mining & Reclamation

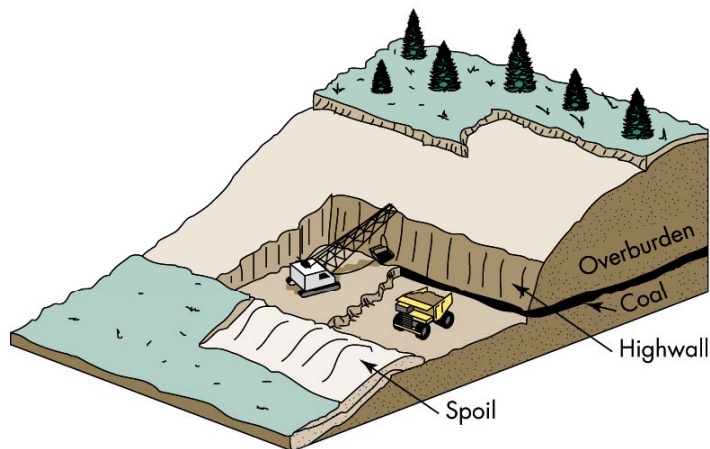


نحوه باطله برداری در روش نواری

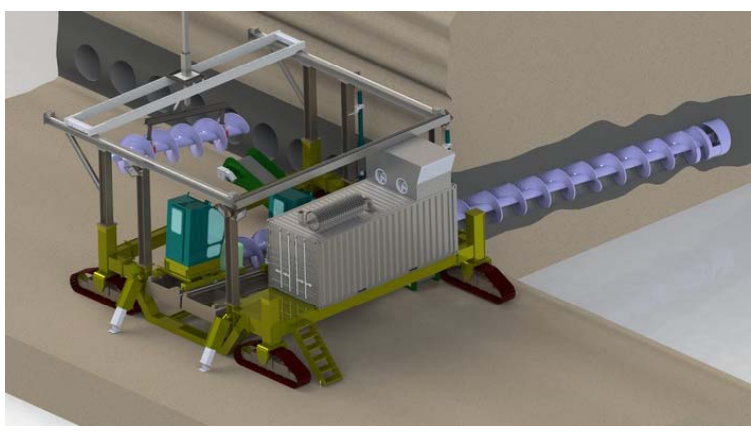
Area mining & reclamation



Contour Mining

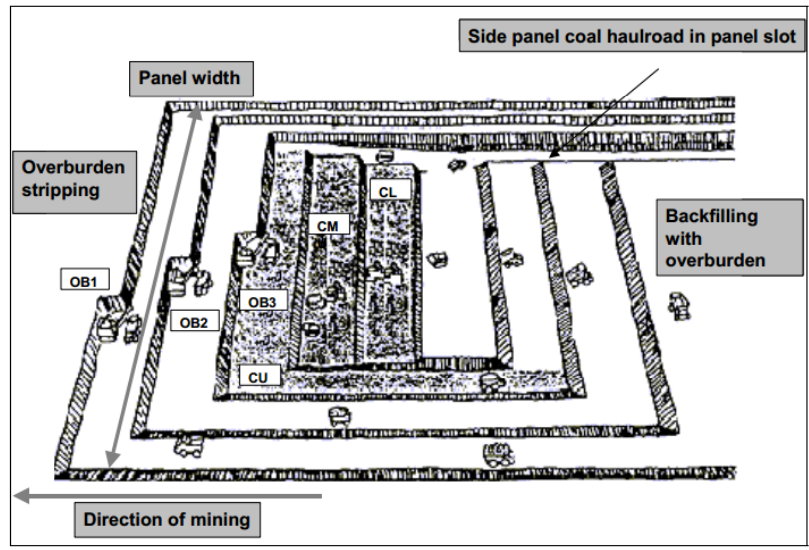


Auger Mining



Auger mining

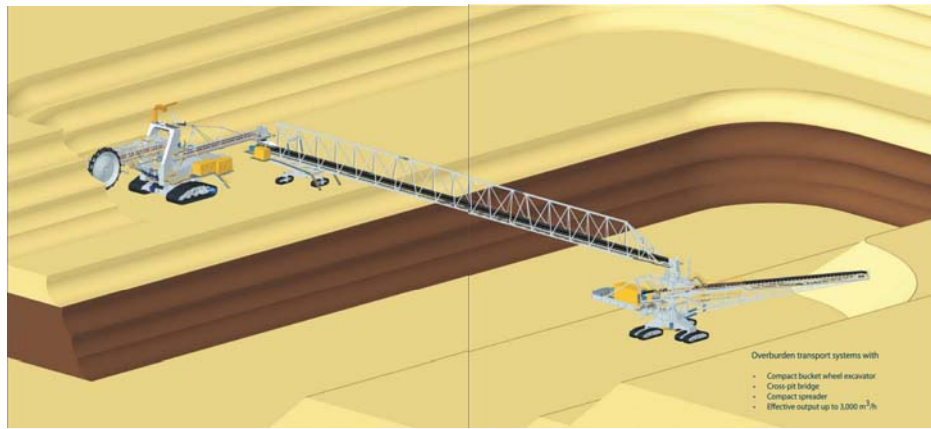




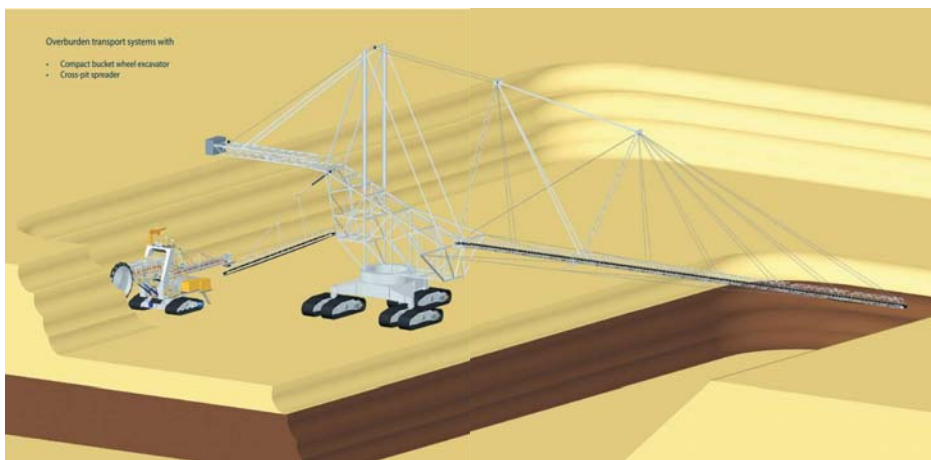
Terrace mining



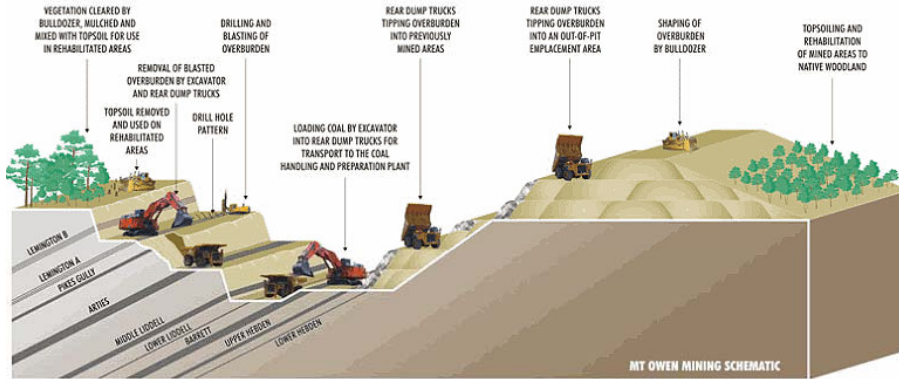
Terrace mining



Terrace mining



Terrace mining

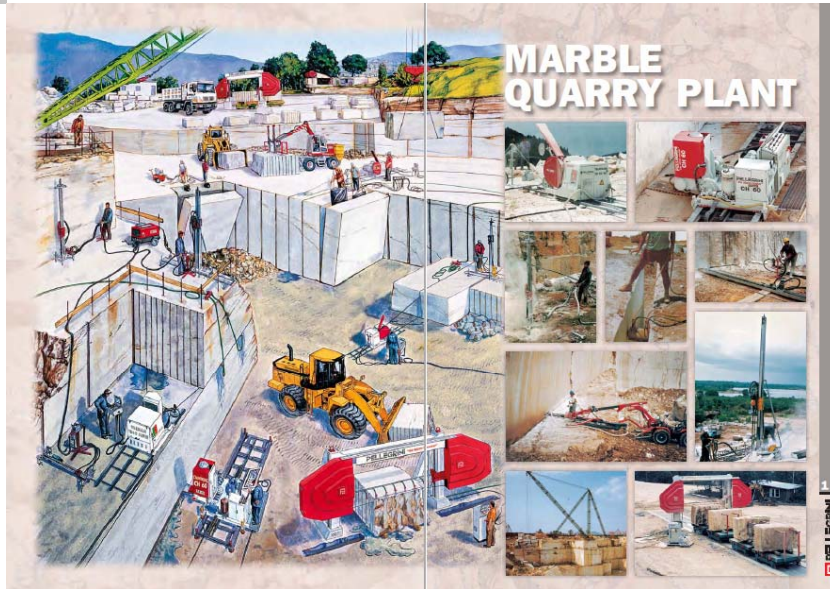


43

تقسیم بندی روش های استخراج سطحی

3. روش کواری : هدف سالم درآوردن سنگ.

- استخراج سنگ به کمک چالهای ردیفی
 - ▶ جداکردن بلوک از توده سنگ استخراج بلوک به کمک پارس و گوه
 - ▶ استخراج بلوک به شیوه مکانیکی
 - ▶ استخراج بلوک به کمک مواد ناریه سبک
- استخراج سنگ بدون حفرچالهای ردیفی
 - ▶ سیم برش الماسه
 - ▶ استخراج سنگ بلوک با سیم های برش فولادی یا حلزونی Helicoidal
 - ▶ استخراج سنگ بدون حفرچالهای
 - ▶ روش برش سنگ ماشین هاواژ - شیارزن
 - ▶ ماشین ها واژ با بازوی زنجیردار
 - ▶ ماشین هاواژ یا دیسک برنده
 - ▶ استخراج به روش هیدرومکانیکی
 - ▶ روش استخراج به کمک شعله

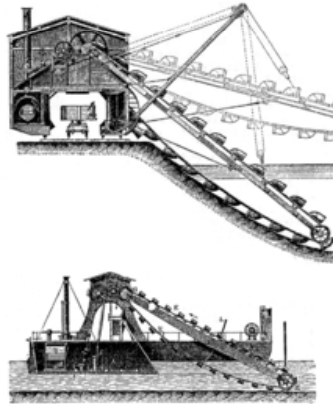


تقسیم بندی روش های استخراج سطحی

4. روش درج (Dredge) و هیدرولیکی

1. درج در محیط های آبی به صورت طبیعی یا مصنوعی.
2. روش هیدرولیکی با استفاده از آب پر فشار.

Dredge



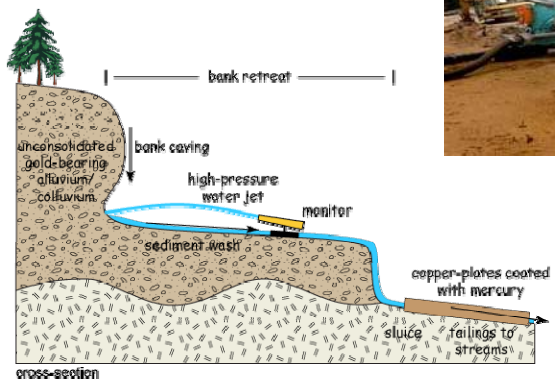
An example of a modern suction dredge used in small-scale placer mining operations



An example of a modern suction dredge used in small-scale placer mining operations



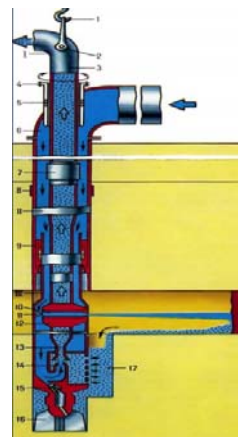
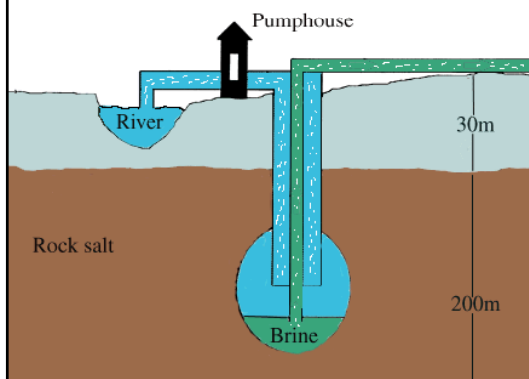
Hydraulic Mining



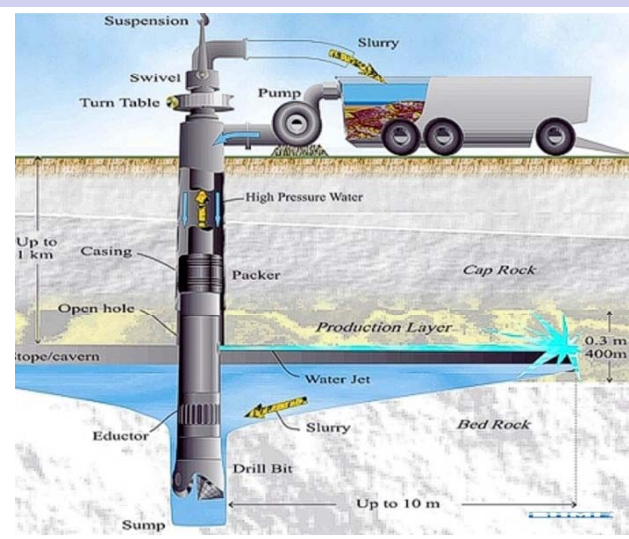
Hydraulic Mining



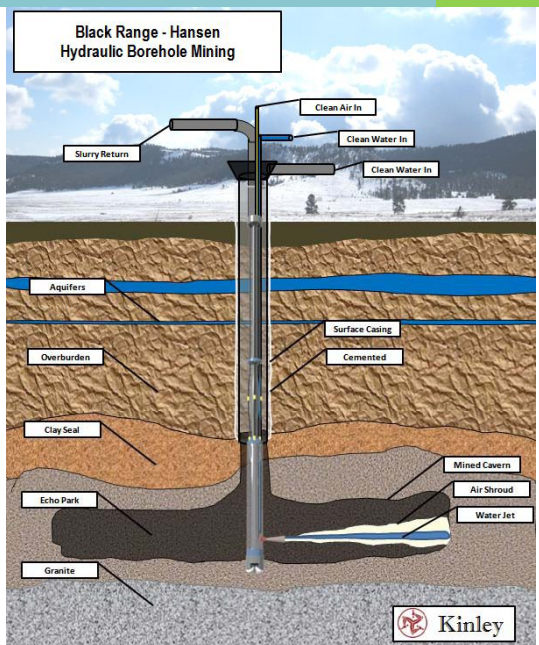
Borehole mining



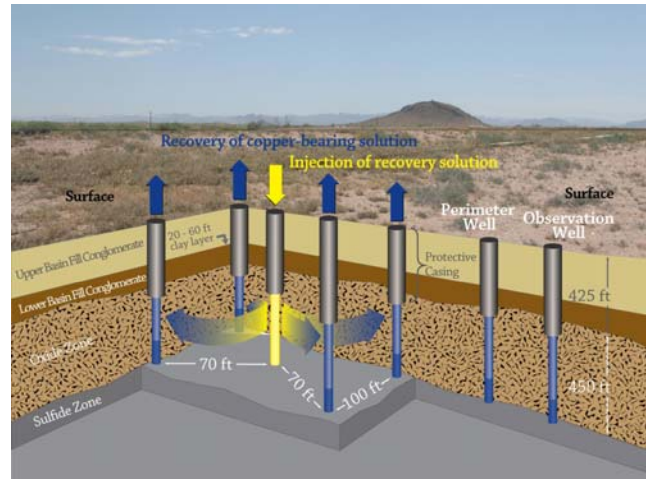
Borehole mining



Borehole mining

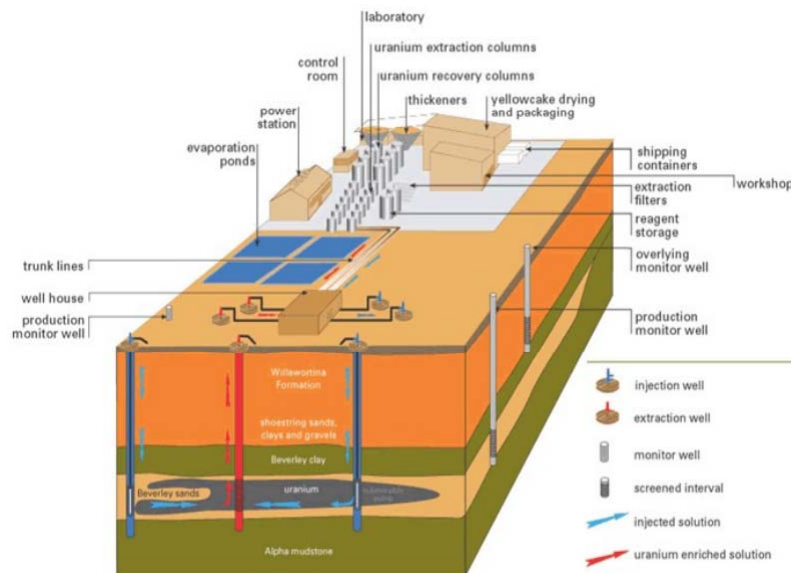


In-situ leaching



55

In-situ Leaching

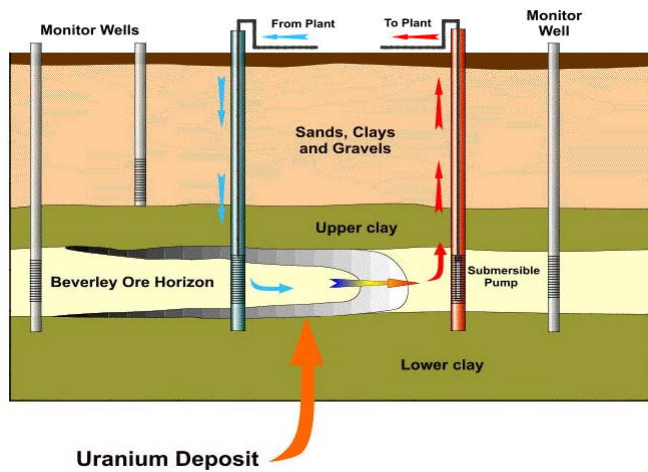


In-situ Leaching



Beverley wellfield

In-situ Leaching

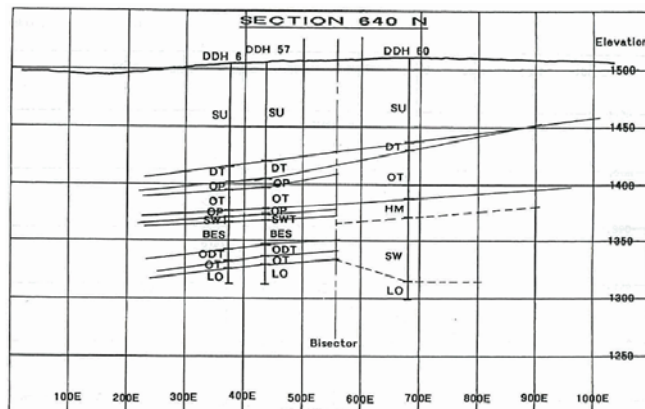


مقدمه

- روش متداول برای توصیف پیکره کانسار استفاده از اطلاعات حاصل از حفاری مغزه گیری الماسه است. اطلاعات حاصله به تفضیل مورد مطالعه قرار می گیرند و اطلاعات مربوط به آن ثبت می شوند.
- با استفاده از این اطلاعات به همراه دانسته هایی از وضعیت زمین شناسی محل و سایر عوامل، زمین شناس معدنی شروع به ساخت نمایش سه بعدی از پیکره کانسار می کند. هدف از این کار کمی کردن اندازه، شکل و توزیع جنبه های زمین شناسی است.
- توزیع عیار با سنگ شناسی، دگرسانی، ساختار و غیره مرتبط می شود. نتیجه برآورد موجودی کانی یا ذخیره زمین شناسی است.

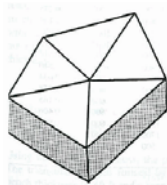
روش مقاطع قائم

- از گذشته تاکنون برای تخمین ذخیره کانسنگ استفاده می شود.

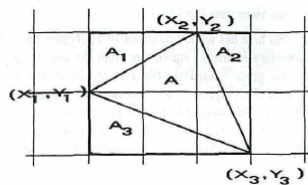


۱- روش مثلث بندی

- در این روش هر گمانه به عنوان گوشه مثلث در نظر گرفته می شود. عیار متوسط عبارتست از :



$$\bar{g} = \frac{g_1 + g_2 + g_3}{3}$$



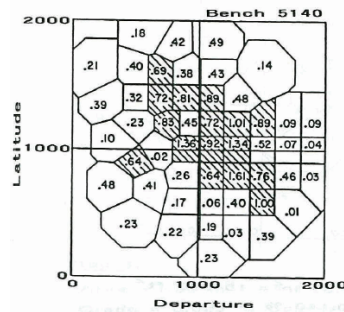
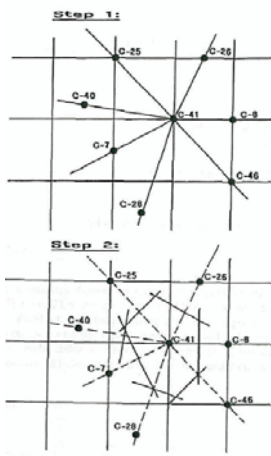
- چنانچه ضخامت ثابت نباشد:

$$\bar{t} = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{3}$$

$$\bar{g} = \frac{g_1 t_1 + g_2 t_2 + g_3 t_3}{t_1 + t_2 + t_3}$$

۲- روش پلی گون

- در این روش هر گمانه در مرکز یک چندضلعی قرار می گیرد. چندضلعی طوری ساخته می شود که مرز آن همیشه از گمانه مرکزی تا نزدیکترین گمانه های مجاور به یک فاصله باشد. در درون چندضلعی عیار ثابت و برابر عیار گمانه مرکزی آن فرض می شود.



ب- روش وزنی عکس مجذور فاصله (IDS)

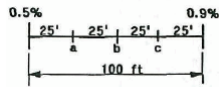
$$g = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{g_i}{d_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^2}}$$

• از این رابطه استفاده می شود:

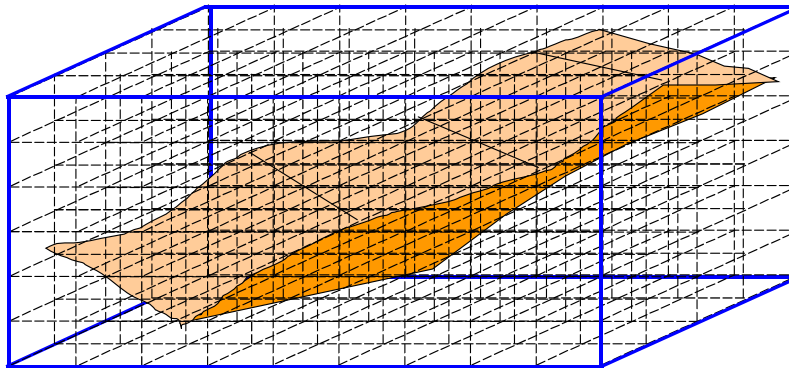
$$g_a = \frac{\frac{0.5}{25^2} + \frac{0.9}{75^2}}{\frac{1}{25^2} + \frac{1}{75^2}} = \frac{4/5 + 0.9}{10} = 0.54 \text{ درصد}$$

$$g_b = \frac{\frac{0.5}{50^2} + \frac{0.9}{50^2}}{\frac{1}{50^2} + \frac{1}{50^2}} = \frac{0.5 + 0.9}{2} = 0.7 \text{ درصد}$$

$$g_c = \frac{\frac{0.5}{75^2} + \frac{0.9}{25^2}}{\frac{1}{75^2} + \frac{1}{25^2}} = \frac{0.5 + 8/1}{10} = 0.86 \text{ درصد}$$



3.3 dividing the box into a group of small 3D blocks along each dimension



پارامترهای اقتصادی در روباز

- پارامترهای اقتصادی شامل
 1. نسبت های باطله برداری و
 2. عیارحد
- هستند.

67

نسبت های باطله برداری $\frac{W}{O}$

- نسبت باطله برداری Stripping Ratio در حالت کلی برابر است با نسبت باطله به ماده معدنی
- نسبت باطله برداری بیانگر این مطلب است که برای استخراج یک واحد ماده معدنی چند تن باطله بایستی استخراج شود.
- به شکل $a:1$ بیان می شود.
- واحد آن $\frac{m^3}{m^3}$ ، $\frac{ton}{ton}$ یا $\frac{m^3}{ton}$ است.

68

انواع نسبت های باطله برداری

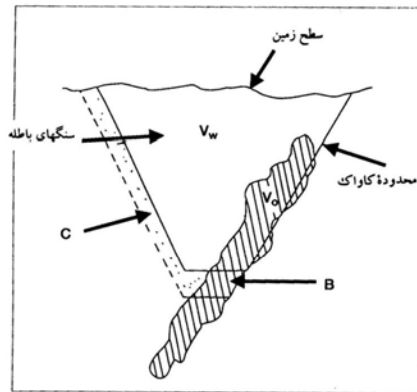
1. نسبت باطله برداری کلی :

Overall Stripping Ratio

$$SR_{ove} = \frac{V_w}{V_o}$$

مجموع باطله و روباره کلی = V_w

کانسنگ کلی = V_o

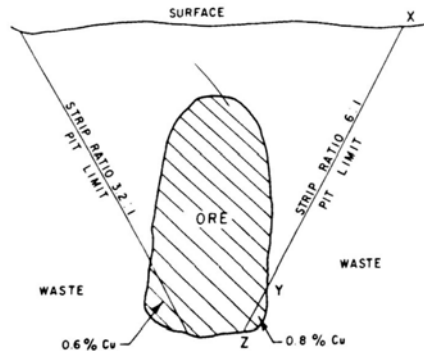


انواع نسبت های باطله برداری

4. نسبت باطله برداری سربسری: **Break Even Stripping Ratio**

$$BESR = \frac{\text{هزینه تولید یک تن کانسنگ} - \text{ارزش یک تن کانسنگ}}{\text{هزینه باطله برداری هر تن باطله}}$$

انواع نسبت های باطله برداری



$$BESR = \frac{XY}{YZ}$$

- نسبت باطله برداری سربسری تنها در حد نهایی معدن روباز مفهوم پیدا می کند.

71

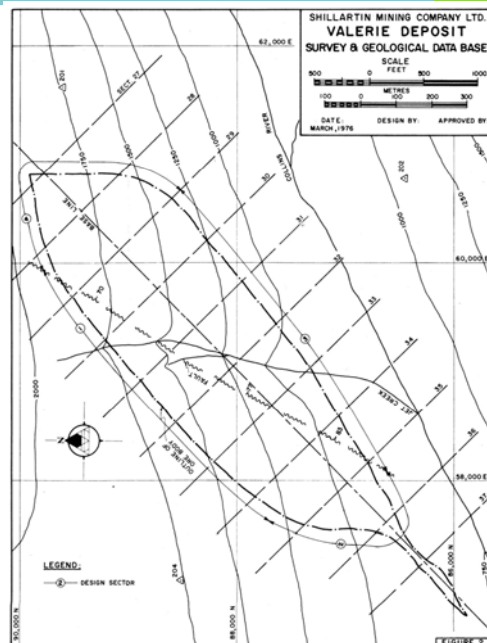
عیار حد (Cut-off grade)

- عیار حد عیاری است که ارزش خالص حاصل از آن صفر شود.
- **هزینه یک تن کانه - ارزش قابل بازیابی از یک تن کانه = Net value = I - K**
- یعنی عایدات حاصل از استخراج هر تن کانه با این عیار و کمتر در حد نهایی معدن هیچگونه هزینه های باطله برداری را نمی تواند تحمل کند.
- به بیان دیگر مواد دارای این عیار و یا کمتر به عنوان باطله منظور می شوند و استخراج آنها به آینده موکول می شود.
- عیار حد مرز بین باطله و ماده معدنی است.
- هدف از تعیین عیار حد تعیین حداقل عیاری است که استخراج و فرآوری آن از نظر اقتصادی به صرفه باشد.

72

با روش دستی طراحی محدوده نهایی معدن روباز

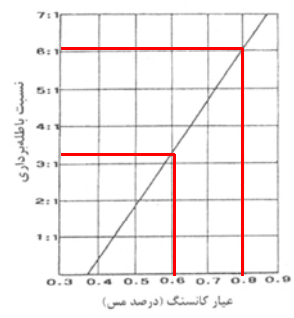
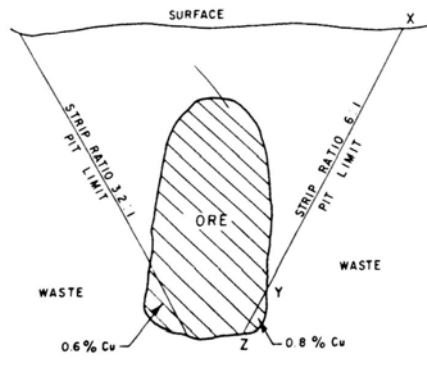
73



تعیین حد نهایی معدن روباز

74

تعیین حدود پیت با کف در باطله



$$BESR = \frac{XY}{YZ}$$

طراحی کامپیوتری محدوده نهایی معدن روباز

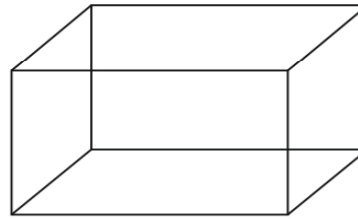
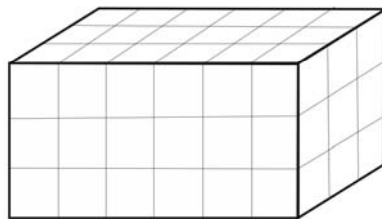
مقدمه

- محدوده معدن روباز معمولاً محدوده ای است که در خارج آن استخراج دیگر اقتصادی نیست. چنین محدوده ای را
 - محدوده اقتصادی پیت **Economic Pit Limit**
 - محدوده نهایی پیت **Ultimate Pit Limit**
 - طرح نهایی پیت **Ultimate Pit Design**
- می نامند.
- محدوده معدن روباز نشان دهنده ابعاد و شکل معدن در پایان عمر معدن است.
- این محدوده میزان ذخیره قابل استخراج و باطله ای را که باید حمل و نقل و انبار شود مشخص می کند.
- محدوده معدن روباز ناحیه ای را مشخص می کند که تأسیساتی از قبیل کارخانه کانه آرایی و دفاتر اداری معدن نباید در آن ساخته شود.

77

مدل بلوکی برای طراحی پیت

- مدل بلوکی تقریباً پایه تمام روش های طراحی کامپیوتری است.
- در این مدل بلوک مستطیل شکل که وسعت آن برای پوشش سطح مورد نظر در اطراف کانسار کافی باشد، در نظر گرفته می شود.
- در مرحله بعد این بلوک بزرگ به بلوک های کوچکتر تقسیم می شود.



78

ارزش اقتصادی یک بلوک

- بر اساس معیار بهینه کردن، به منظور ماکزیمم شدن ارزش کلی پیت، مسئله طراحی به این مسئله تبدیل می شود که مجموعه ای از بلوک ها را پیدا کنیم که بالاترین ارزش ممکن را داشته باشد.

$$\text{ارزش اقتصادی بلوک} = \text{BEV} = I - DC$$

درآمد $I =$ ارزش آن قسمت که قابل استخراج و فروش است.
 هزینه های مستقیم $DC =$ مستقیماً وابسته به بلوک هستند مانند هزینه های چالزنی، آتشباری، بارگیری و باربری
 هزینه های غیرمستقیم $IC =$ نمی توان آنها را به بلوک مجزایی نسبت داد. وابسته به زمان هستند مانند دستمزدها، استهلاک ماشین آلات

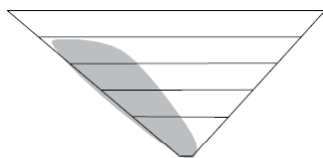
$$\text{سود (یا زیان)} = \sum (\text{BEV}) - IC$$

79

۹- پوش بک ها Pushbacks

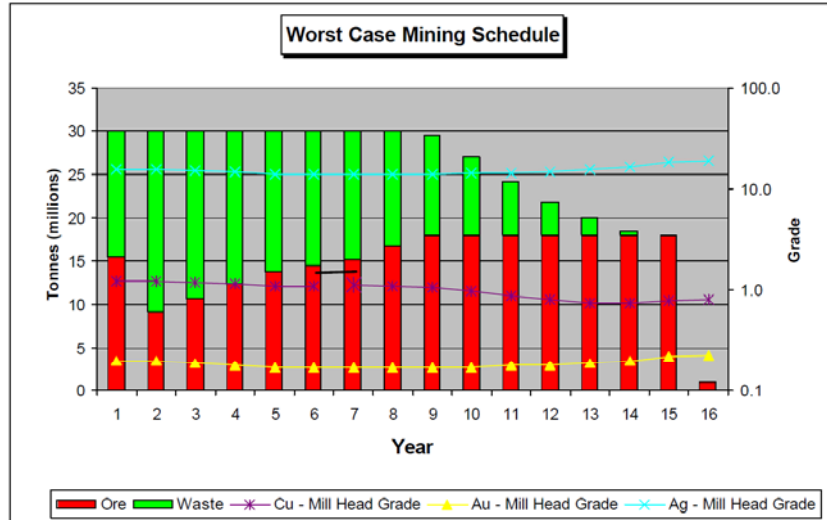
با توجه به اینکه ترتیب استخراج بلوک ها تأثیر زیادی بر ارزش فعلی خالص پروژه دارد، ۲ حالت مرزی در نظر گرفته می شود:

۱- بدترین حالت (worst case or pessimistic):



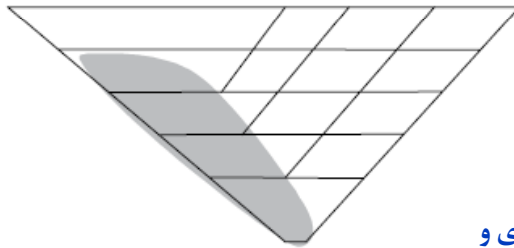
- استخراج پله به پله انجام می شود.
یک پله که تمام شد پله بعدی شروع می شود.
- این ترتیب استخراج آسان، با دسترسی عالی و پیچیدگی کم است.

- اما باطله برداری در سالهای اولیه عمر معدن بسیار بالاست و به تدریج کم می شود.



۹- پوش بک ها Pushbacks

۲- بهترین حالت (best case or optimistic):



- در این حالت اجتناب از باطله برداری و اولویت در برداشت کانستگ های پرعیار در نظر گرفته می شود.
- پوش بک های متعددی در نظر گرفته می شود.

