# فصل اول

## «مباحث مقدماتی در استخراج زیرزمینی»

### مقدمه

نیاز به مواد معدنی به علت افزایش سطح رفاه و فزونی جمعیت دنیا، روزبه‌روز افزیش می‌یابد. صنایع معدنی بخش عمده ثروت ملی یک کشور محسوب می‌شود که در رسیدن کشور به استقلال، رشد و توسعه صنایع مختلف، اشتغال و افزایش درآمد سرانه نقش مهمی دارند. معدن‌کاری به‌عنوان یکی از قدیمی‌ترین فعالیت‌های بشر دارای تاریخچه‌ای طولانی است.

قدیمی‌ترین معدن زیرزمینی شناخته شده، یک معدن هماتیت در کشور سوئیس بوده که متعلق به عصر حجر است. معدن‌کاران قدیمی برای کنترل زمین، تهویه، بالابری مواد، روشنایی و کندن سنگ‌ها از روش‌های ابتدایی استفاده می‌کرده‌اند.

اختراع باروت، انقلاب بزرگی در صنعت معدن‌کاری به وجود آورد. باروت برای اولین بار در سال ۱۶۳۵ میلادی توسط یک مهندس معدن آلمانی در معدن نقره ناسا (Nasa) به کار رفته است.

در سال ۱۸۴۶ میلادی یک دانشمند ایتالیایی به نام سوبرو موفق به کشف نیتروگلیسیرین شد.

**نکته ۱**: نیتروگلیسیرین نقطه انجماد بالایی دارد و در دمای ۱۳ درجه سانتی‌گراد یخ می‌زند، بنابراین کاربرد آن در موقعیت‌های یخ زده، فوق‌العاده خطرناک است.

در سال ۱۸۶۷ میلادی، آلفرد نوبل سوئدی به قدرت جذب ماده‌ای به نام گلیسو (نوعی خاک دیاتومه‌دار) پی برد و بدین ترتیب با جذب نیتروگلیسیرین توسط این خاک، توانست ماده‌ای به نام دینامیت گور بسازد.

### تاریخچه معدن‌کاری در ایران

وجود آثار فعالیت‌های معدنی و ذوب فلزات در نواحی مختلف ایران نشان‌دهنده سابقه طولانی معدن‌کاری است.

در بسیاری از معادن فعلی ایران آثار معدن‌کاری قدیمی وجود دارد. از جمله این معادن می‌توان معدن سرب آهنگران در حوالی ملایر، سرب و رُوی نخلک در حوالی انارک و غیره را نام برد.

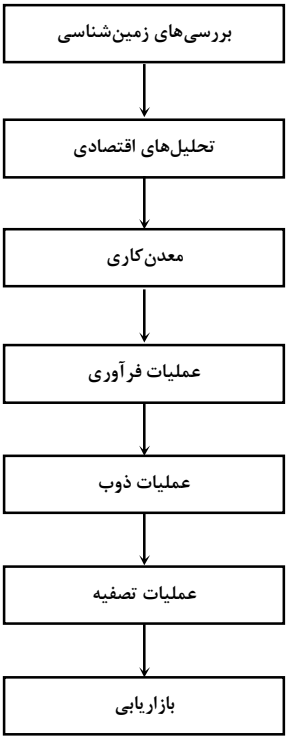
معدن‌کاری باستانی که در اصطلاح معدن‌کاری شدادی نیز گفته می‌شود، به طور سنتی در هزاره چهارم قبل از میلاد و احتمالاً قبل از آن انجام شده است.

معدن‌کاران ایرانی در استخراج مواد مهارت خاصی داشته‌اند؛ زیرا وجود شبکه‌های وسیع حفریات زیرزمینی معدن قدیمی فیروزه نیشابور در طی چند هزار سال به وجود آمده و در بعضی مواقع برای پیشگیری از ریزش آن از ستون‌ها و داربست‌هایی استفاده شده است که امروزه مایه حیات اهل فن است.

### فرایند استحصال مواد معدنی

فعالیت‌های معدنی از کشف ذخیره مورد نظر شروع شده و با تحویل ماده اولیه قابل مصرف در بازار و صنایع مختلف خاتمه می‌یابد. این فعالیت‌ها پس از بررسی‌های زمین در محل ذخیره و تحلیل‌های اقتصادی و حساسیت انجام می‌پذیرند. زمین‌شناسی شرط لازم برای ورود به مباحث پی‌جویی، اکتشاف و استخراج معادن است. هدف از عملیات زمین‌شناسی پیش‌بینی کارهای معدنی، مشخصات و طبیعت کانسارها است. علاوه بر زمین‌شناسی، مطالعات فنی و اقتصادی در امور معدنی از حساس‌ترین کارهای معدنی است.

بعد از عملیات معدن‌کاری، ماده معدنی استخراج شده خردایش و تحت عملیات فرآوری قرار می‌گیرد. فرایند استحصال مواد معدنی با توجه به شکل روبرو است که در آن مراحل عمر یک معدن و مجموعه عملیات رایج در معدن‌کاری نشان داده شده است.




فرایند استحصال مواد معدنی

## مراحل عمر یک معدن

این مراحل به ترتیب عبارت‌اند از: **پی‌جویی، اکتشاف، آماده‌سازی، بهره‌برداری و بازسازی**.

### الف) پی‌جویی

عملیات پی‌جویی از اولین اقدامات اکتشافی یک معدن است.

هدف از عملیات پی‌جویی: تعیین موقعیت کانسار و وضعیت عمومی آن با توجه به معیارها، نشانه‌های مختلف و با استفاده از روش‌های مختلف است.

اخذ تصمیم در مورد نوع کانی و محلی که باید پی‌جویی انجام شود، بخشی از برنامه کلی پی‌جویی است.

از آنجا که کانسارها هم در سطح زمین و هم در زیرزمین یافت می‌شوند، روش‌های پی‌جویی به دو گروه، روش‌های مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می‌شوند:

**۱) روش‌های مستقیم پی‌جویی**

این روش در کانسارهای سطحی مورد استفاده قرار گرفته و شامل روش‌هایی مانند مشاهده چشمی رخنمون است.

**۲) روش‌های غیر مستقیم**

الف) ژئوفیزیک: در این روش از طریق اندازه‌گیری مقادیر ثقلی، لرزه‌ای، مغناطیسی، الکتریکی، الکترومغناطیسی و... به وجود کانسار پی برده می‌شود.

ب) ژئوشیمی: تغییرات جزئی ناشی از وجود ماده معدنی (معمولاً فلزی) در نزدیکی محل پی‌جویی را مشخص می‌کند. ژئوشیمی اغلب در موقعیت‌هایی که زمین‌شناسی و ژئوفیزیک کارایی خوبی نداشته باشد مورد استفاده قرار می‌گیرد.

### ب) اکتشاف

عملیات اکتشاف پس از یافتن کانسار شروع و تا قبل از آماده کردن طرح معدن انجام می‌پذیرد. هدف از عملیات اکتشاف، بررسی و شناسایی دقیق کانسار، مطالعه ساختار داخلی آن، خصوصیات سنگ‌های مجاور و در نهایت تعیین اندازه، شکل و ارزش کانسار است.

**اهداف عملیات اکتشافی**

۱ـ تعیین شکل کانسار، وجود چین‌خوردگی‌ها، طرز قرار گرفتن ذخیره و...
۲ـ تعیین سن و ترتیب قرار گرفتن طبقات درون‌گیر
۳ـ تعیین ضخامت لایه
۴ـ تعیین پارامترهای فنی ماده معدنی از دیدگاه اقتصادی و کاربردی
۵ـ ویژگی کمرهای ماده معدنی از لحاظ استخراجی
۶ـ بررسی وجود و برآورد میزان گاز، آب و غیره مؤثر در طراحی معدن

**مثال۱: کدام گزینه در رابطه با پی‌جویی صحیح است؟**

۱) در مرحله پی‌جویی معدن، شکل کانسار، طرز قرارگرفتن ذخیره و ... تعیین می‌شود.
۲) مطالعات ژئوفیزیکی و ژئوشیمیایی جز مرحله پی‌جویی است.
۳) برای کانسارهای سطحی در این مرحله، از حفر ترانشه استفاده می‌شود.
۴) کمرهای ماده معدنی را می‌توان مشخص کرد.

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» شکل کانسار، طرز قرارگرفتن ذخیره، کمرهای ماده معدنی در مرحله اکتشاف مشخص می‌شوند. برای کانسارهای سطحی در مرحله پی‌جویی از مشاهدات چشمی غیر مسلح از رخنمون موجود استفاده می‌شود.

◆ ◆ ◆ ◆

مهم‌ترین فعالیت‌های اکتشافی عبارت‌اند از: حفر تراشه، حفر اوکلون، حفر گمانه اکتشافی، حفر تونل‌های اکتشافی

**نکته۲:** حفر گمانه، سریع‌ترین و اقتصادی‌ترین روش نمونه‌برداری از آن دسته مواد معدنی است که تا اعماق گسترش یافته‌اند.

**نکته۳:** استفاده از تونل‌های اکتشافی وقتی میسر است که وضعیت پستی و بلندی زمین اجازه این کار را بدهد.

**نکته۴:** ارزش کانسار با دانستن میزان ذخیره (وزن کل) و عیار ماده معدنی تعیین می‌گردد.

**نکته۵:** با افزایش اطلاعات اقتصادی، احتمال تبدیل بخشی از منبع به ذخیره وجود دارد.

**نکته۶:** منبع به مواد جامد، مایع و گاز پرعیار شده طبیعی گفته می‌شود.

## تقسیم‌بندی منابع با توجه به دقت برآورد

**۱) منبع معدنی اندازه‌گیری‌شده (Measured):** بخشی از منبع معدنی که می‌توان با سطح اعتماد بالا، تناژ، عیار، شکل، ویژگی‌های فیزیکی و کانی‌شناسی محتوی آن را ارزیابی کرد. انتخاب رده مناسب برای منبع معدنی، وابسته به کمیّت ، کیفیت و توزیع داده‌های موجود و سطح اعتماد آن‌ها است.

**۲) منبع معدنی شناسایی‌شده (Indicated):** بخشی از منابع معدنی که تناژ، چگالی، شکل، عیار و... با سطح اعتماد کافی و مستدل، قابل ارزیابی است. در این منابع، کمیّت و عیار ماده معدنی از روی اطلاعات اکتشافی محاسبه می‌شود.

**۳) منبع معدنی استنباطی (Inferred):** در این منابع، برآوردها بر اساس شواهد زمین‌شناسی بوده و پیوستگی مفروض در آن دارای سطح اعتماد پایین‌تری است.

**نکته۷:** ذخیره بخشی از منبع (اندازه‌گیری‌شده یا شناسایی‌شده) است که با توجه به مشخصات آن قابل استخراج و بهره‌برداری است.

**انواع ذخایر**

ذخیره معدنی براساس اطلاعات موجود، کمیّت و کیفیت آن به دو نوع **قطعی** و **احتمالی** دسته‌بندی می‌شود.

**۱) ذخیره قطعی:** بخشی از منبع اندازه‌گیری‌شده است که شرایط لازم برای تبدیل شدن به ذخیره را دارا است.

**۲)ذخیره احتمالی:** بخشی از منابع شناسایی‌شده است که شرایط لازم برای تبدیل شدن به یک ذخیره را داشته باشد.

## ج) آماده‌سازی

به کلیه اقدامات لازم برای رساندن یک معدن به ظرفیت و تولید کامل و برنامه‌ریزی‌شده، آماده‌سازی یا تجهیز معدن گفته می‌شود.

**نکته ۸:** آماده‌سازی در معادن زیرزمینی، پیچیده‌تر از آماده‌سازی معادن روباز است، زیرا این کار مستلزم طراحی و جانمایی دقیق بازکننده‌ها از نظر راحتی، ایمنی و اجرا است.

**عوامل مؤثر بر آماده‌سازی**

**۱) عوامل وابسته به موقعیت و محل معدن**

- سهولت حمل و نقل مواد
- در دسترس بودن نیروهای کار ماهر و خدمات پشتیبانی
- مشکلات اجرایی ناشی از شرایط جوّی و آب و هوایی

**۲) عوامل طبیعی (فیزیکی و مکانیکی) و زمین‌شناسی**

- شرایط توپوگرافی و عوارض زمین
- شکل هندسی کانسار
- ملاحظات زمین‌شناسی
- خصوصیات مکانیک سنگی
- خصوصیات شیمیایی و متالورژیکی

**۳) عوامل زیست محیطی، سیاسی، اجتماعی و اقتصادی**

- قابلیت دسترسی به نیروی انسانی آموزش‌دیده
- محدودیت‌های تأمین منابع مالی
- قوانین مربوط به نشست سطح زمین
- استانداردهای مربوط به تهویه
- ثبات سیاسی کشور

**طبقه‌بندی فضاهای آماده‌سازی زیرزمینی**

این فضاها را می‌توان برحسب اهمیت یا برحسب شیب فضای آماده‌سازی تقسیم‌بندی کرد، این تقسیم‌بندی در جدول زیر آورده شده است.

| معیار طبقه‌بندی | طبقه‌بندی |
|---|---|
| اهمیت فضای آماده‌سازی | **بازکننده‌های اصلی:** چاه قائم (Shaft)، چاه یا تونل شیب‌دار، تونل یک دهانه یا دو دهانه (Adit or Tunnel) |
| | **آماده‌سازی طبقه:** تونل دنبال لایه (Drift)، راهرو (Entry)، تونل موازی لایه (Strike) |
| | **آماده‌سازی پهنه‌ای:** فضاهای افقی (جانبی (Lateral)) یا پهنه‌ای (Panel) مثل رمپ (Ramp)، میانبر (Cross cut) |
| شیب فضای آماده‌سازی | **قائم:** چاه قائم، کور چاه (Blind Shaft)، چاهک (Test Pit) |
| | **شیب‌دار:** رمپ، چاه شیب‌دار، تونل شیب‌دار، دویل (Raise)، دویل پنجه‌ای (Finger Raise)، راهرو عبور ماده معدنی (Ore pass)، گزنگ (Winze)، بونکر (Chute) |
| | **افقی:** تونل یک دهانه و دو دهانه، تونل امتدادی، میان‌بر، تونل دنباله‌رو |
| عمر متوسط | **آماده‌سازی اولیه:** این آماده‌سازی‌ها عمر طولانی داشته و شامل مواردی همچون چاه‌ها، رمپ‌ها، تونل‌های اصلی، گذرگاه‌های ماده معدنی و باطله، میانبرها، محل سنگ‌شکن و دیگر فضاهای بزرگ می‌شود. |
| | **آماده‌سازی ثانویه:** این نوع از آماده‌سازی‌ها عمری بین ۱ تا ۲ سال دارند و بیشتر در رابطه با واحد یا واحدهای تولیدی خاص ایجاد می‌شوند. |

**د) بهره‌برداری**

در این مرحله تأکید عمده بر روی تولید است.

**نکته۹:** انتخاب روش مناسب برای استخراج در مرحله بهره‌برداری به نوع ماده معدنی ارتباطی نداشته بلکه **خواص آن**، نوع استخراج را تعیین می‌کند.

**عوامل مؤثر در انتخاب روش‌های استخراج سطحی یا زیرزمینی**

- اندازه، شکل و عمق کانسار
- ساختارهای زمین‌شناسی و شرایط ژئومکانیکی
- بهره‌وری و ظرفیت ماشین‌آلات
- در دسترس بودن نیروی کار باتجربه
- جنبه‌های اجتماعی و فرهنگی
- هزینه سرمایه‌گذاری و هزینه‌های اجرایی
- درصد بازیابی کانسنگ و درآمدها
- ایمنی و تلفات
- اثرات زیست محیطی حین و بعد از معدن‌کاری
- بازسازی معدن و هزینه‌های آن

**نکته۱۰:** اگر هدف حداکثر تولید یا حداقل هزینه باشد، معدن‌کاری سطحی در مقایسه با معدن‌کاری زیرزمینی گزینه برتر است.

**هـ) بازسازی**

به فرایندی اطلاق می‌شود که به موجب آن از ایجاد آلودگی‌ها و آسیب‌های زیست محیطی حاصل از عملیات معدن‌کاری تا سرحد امکان کاسته شود و آلودگی‌ها و آسیب‌های ایجادشده مورد رفتارنگاری و ردیابی قرار می‌گیرند.

**نکته۱۱:** بهترین زمان برای شروع عملیات بازسازی یک معدن پیش از انجام نخستین حفاری‌ها است.

**مثال ۲: انتخاب روش استخراج مناسب در مرحله بهره‌برداری از عمر معدن وابسته به چه عامل(هایی) است؟**

۱) هزینه‌های تولیدی و بالاسری ۲) خواص ماده معدنی ۳) نوع ماده معدنی ۴) ماشین‌آلات موجود در دسترس

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» در مرحله بهره‌برداری، نوع ماده معدنی ارتباطی به انتخاب روش استخراج نداشته و تنها وابسته به خواص ماده معدنی استخراجی است.

## مقایسه معدن‌کاری سطحی و زیرزمینی

**الف) از نظر مقدار تولید:** در معادن سطحی محدودیت فضا وجود نداشته لذا امکان به کارگیری ماشین‌آلات غول‌پیکر وجود دارد. در نتیجه در معادن سطحی نسبت به معادن زیرزمینی، بهتر می‌توان به ظرفیت بالای تولید رسید.

**ب) از نظر بهره‌وری:** توان تولید در معادن بزرگ بیش از معادن کوچک و در معادن سطحی بیش از معادن زیرزمینی است. میزان تولید به ازای هر معدن‌کار در سال، در معادن سطحی بیشتر از معادن زیرزمینی است؛ اما این مقدار در معادن زیرزمینی بزرگ، بیشتر است.

راندمان در معادن زیرزمینی بزرگ، بیشتر از معادن سطحی است، در حالی‌که راندمان در معادن زیرزمینی کوچک، به علت بسته شدن این معادن، کمتر است.

**ج) از نظر هزینه‌ها و توسعه هزینه‌ها:** هزینه‌های معدن‌کاری سطحی به مراتب پایین‌تر از هزینه‌های معدن‌کاری زیرزمینی است، بنابراین سرمایه لازم برای راه‌اندازی معادن زیرزمینی، بیشتر است.

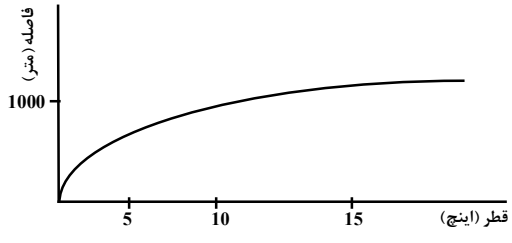
**د) از نظر احتمال وقوع حوادث و خطرات:** این احتمال برای تمام معادن زیرزمینی بیشتر از معادن سطحی بوده و همچنین شدت حوادث در آنها بیشتر است.

**هـ) از نظر مقدار انرژی مصرفی :** مقدار انرژی مصرفی در معادن زیرزمینی به مراتب بیشتر از معادن سطحی است.

**و) از نظر مسائل زیست محیطی:** اثرات محیطی معادن سطحی بیش از معادن زیرزمینی است.

**ز) از نظر محدوده ایمنی:** از جمله مسائل مهم در معادن سطحی، رعایت محدوده ایمنی است که در بعضی مواقع برای جلوگیری از بروز خطرات ناشی از انفجار باید از کار و حضور در آن محدوده جلوگیری شود.

شکل روبه‌رو حداکثر فاصله پرتاب سنگ در معادن سطحی را به صورت تابعی از قطر چال‌های انفجاری نشان می‌دهد.




**ح) از نظر ترقیق:** مخلوط‌شدن باطله با ماده معدنی ترقیق نامیده می‌شود.

در معادن سطحی چون مواد قابل رؤیت هستند، بهتر می‌توان از مخلوط شدن ماده معدنی و باطله جلوگیری کرده؛ لذا در معادن سطحی به مراتب ترقیق

کمتری از معادن زیرزمینی خواهیم داشت.

**خ) از نظر افت ماده معدنی:** افت ماده معدنی در معادن زیرزمینی بیشتر از معادن روباز است. در معادن زیرزمینی افت ماده معدنی به روش استخراج بستگی دارد. از بین روش‌های زیرزمینی روش کندن و پرکردن دارای کمترین افت و روش اتاق و پایه، بیشترین افت را دارد.

**مثال ۳: در رابطه با تفاوت روش‌های استخراج سطحی و زیرزمینی کدام گزینه صحیح است؟**

۱) اثرات زیست‌محیطی روش‌های سطحی در مقایسه با روش‌های زیرزمینی کمتر است.

۲) هزینه‌های معدن‌کاری زیرزمینی در مقایسه با معدن‌کاری سطحی کمتر است.

۳) میزان تولید به ازای هر معدن‌کار در سال، در معادن سطحی بیشتر از معدن زیرزمینی است؛ اما این مقدار در معادن زیرزمینی بزرگ، بیشتر است.

۴) راندمان در معادن سطحی بیشتر از معادن زیرزمینی بزرگ است.

☑ **پاسخ:** گزینه «۳» اثرات زیست‌محیطی معدن‌کاری سطحی بیشتر از معدن‌کاری زیرزمینی بوده و هزینه‌های آن نیز بالاتر است. راندمان در معادن بزرگ زیرزمینی به علت توان تولید بالا، بیشتر از معادن سطحی است.

## عملیات معدن‌کاری (استخراج)

اگر فعالیت‌های اکتشاف، آماده‌سازی و بهره‌برداری به طور مستقیم در استخراج ماده معدنی نقش داشته باشد، فعالیت یا عملیات تولید خوانده شده و چرخه تولید را دربر می‌گیرد.

فعالیت‌های جنبی از فعالیت‌های اصلی معدن‌کاری پشتیبانی کرده و به‌طور مستقیم بخشی از عملیات تولید نیستند.

**الف) عملیات تولیدی**

در استخراج مواد معدنی یا باطله، فعالیت‌هایی که در چرخه تولید صورت می‌گیرد، به دو دسته ۱) فعالیت عمده شکستن یا جدا کردن سنگ و ۲) جابجایی آنها تقسیم می‌شود.

در بیشتر معادن، کندن سنگ از طریق چالزنی و آتشکاری (خرد کردن سنگ) انجام می‌شود. انتقال و جابجایی مواد معمولاً در مراحل بارگیری و باربری صورت می‌گیرد.

چرخه تولید در معدن‌کاری به‌صورت زیر است:

**چرخه اصلی تولید = چالزنی + آتشکاری + بارگیری + باربری**

چرخه تولید را می‌توان متناسب با شرایط، اجرا و در صورت نیاز اصلاح کرد.

**ب) عملیات جنبی**

در استخراج زیرزمینی، این عملیات عبارت‌اند از: تأمین و نگهداری سقف، کنترل زمین و پر کردن محل استخراج شده، تهویه، تأمین و توزیع انرژی، آبکشی، تعمیر و نگهداری، ارتباطات و پشتیبانی، کنترل نشست زمین، کنترل آب و سیلاب، حمل و نقل یا جابجایی نیروی انسانی، انتقال باطله و غیره.

**نکته۱۲:** در استخراج سطحی نگهداری و تهویه ضرورتی نداشته و در عوض کنترل شیب و انتقال باطله باید صورت گیرد.

## عوامل مقدماتی در تجهیز معادن زیرزمینی

**اندازه قطعه معدن:** قسمتی از کانسار ماده معدنی و یا تمامی آن که برای کار یک معدن اختصاص یافته، قطعه معدن نامیده می‌شود. محاسبه ظرفیت تولید سالانه معدن و اندازه قطعه کاملاً به یکدیگر وابسته بوده و بنابراین توأم با هم صورت می‌گیرد.

عواملی که در تعیین اندازه معدن مؤثر هستند شامل موارد زیر می‌باشند:

۱ـ محدودیت‌های قانونی ۲ـ عوارض سطحی ۳ـ مالکیت خصوصی زمین‌ها ۴ـ محدودیت سرمایه ۵ـ بیشینه کردن سود

**مثال ۴: چرخه اصلی تولید در معدن کدام است؟**

۱) چالزنی، استخراج، بارگیری، باربری

۲) چالزنی، آتشکاری، بارگیری، باربری

۳) چالزنی، آتشکاری، تهویه، بارگیری

۴) آتشکاری، تهویه، بارگیری، بازسازی

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» چرخه اصلی تولید در معادن به ترتیب عبارت‌اند از: چالزنی، آتشکاری، بارگیری و باربری. تهویه، بازسازی جز عملیات جنبی معدن به حساب می‌آیند.

**اندازه قطعه معدن در کانسارهای لایه‌ای**

پاره‌ای از هزینه‌ها از جمله استهلاک سرمایه برای احداث تأسیسات سطحی با بزرگ‌تر شدن اندازه معدن کاهش می‌یابد. در مقابل، هزینه‌های باربری و تعمیرات با افزایش اندازه معدن به علت افزایش طول گالری، افزایش می‌یابد.

هزینه‌های استخراج در داخل کارگاه، مستقل از ابعاد قطعه است.

برای رسیدن به تولید سالانه بالاتر، بایستی طول قطعه معدنی را بیشتر انتخاب کرد.

متغیرهای مستقل در محاسبه مناسب‌ترین اندازه معدن، طول امتدادی معدن و عمق آن هستند.

هزینه‌های تولید یک تن با در نظر گرفتن مجموع هزینه‌های ثابت و متغیر (c) به صورت تابعی از متغیرهای طول امتدادی کانسار (L) و تعداد طبقات (n) محاسبه می‌شود. $c = f(L, n)$

اگر $L$ طول قطعه ماده معدنی به متر، $W$ عرض قطعه معدن به متر، $P$ مقدار ماده معدنی که از هر مترمربع از لایه‌های مختلف استخراج می‌شود (توان تولید لایه) و $c$ ضریب بازیابی معدن باشد، میزان ذخیره قابل استخراج از رابطه روبرو بدست می‌آید: $Q = L.W.P.c = A.T$

که در این رابطه:

$A$: ظرفیت سالانه معدن ، $T$: عمر معدن

ضریب بازیابی معدن (c)، به عواملی مانند میزان پایه باقی‌مانده در معدن، افت در حین انتقال به نوار نقاله، محدودیت‌های زمین‌شناسی و... بستگی داشته و دارای مقدار ۰/۹ − ۰/۸ است.

انتخاب ابعاد قطعه‌های معدنی به چهار حالت زیر انجام می‌پذیرد:

الف ـ مرزهای طبیعی در امتداد طول و شیب لایه

ب ـ مرزهای طبیعی در امتداد طول لایه

ج ـ مرزهای طبیعی در امتداد شیب لایه

د ـ عدم وجود مرزهای طبیعی: در این حالت بین گسترش قطعه معدنی در راستای شیب و در امتداد لایه رابطه روبرو برقرار است: $L = W(\frac{\alpha}{۷/۸} + ۱)$

که در رابطه فوق:

$\alpha$ : شیب لایه برحسب درجه $L$: گسترش قطعه در طول امتداد کانسار(متر) $W$: گسترش قطعه در طول شیب (متر)

**نکته۱۳:** در عمل گسترش قطعه معدنی در راستای شیب لایه را ۴۰ تا ۶۰ درصد گسترش آن در راستای امتداد در نظر می‌گیرند.

**اندازه قطعه معدن در کانسارهای غیرلایه‌ای**

این کانسارها اغلب دارای اندازه محدودتری از کانسارهای لایه‌ای بوده و از طریق یک معدن استخراج می‌شوند. معمولاً طول قطعه کانسار برای احداث یک قطعه کانسار و برای احداث یک معدن بین ۴۰۰ تا ۲۰۰۰ متر انتخاب می‌شود.

در کانسارهای غیرلایه‌ای، شکل توده کانسار مؤثرترین عامل در انتخاب طول قطعه معدن است.

## برآورد ظرفیت تولید سالانه‌ی معدن

انتخاب و تعیین اندازه کارگاه‌های استخراج، ماشین‌آلات معدن و کارخانه فرآوری و همچنین تعداد نیروی انسانی بر اساس میزان ظرفیت تولید صورت می‌گیرد.

با افزایش نرخ تولید، میزان هزینه سرمایه‌گذاری و عملیات و همچنین میزان درآمد بیشتر شده، اما طول عمر معدن کوتاه می‌شود. در مباحث تولید سالانه، دو نوع مختلف یعنی تولید خالص و تولید ناخالص مورد توجه است. منظور از **تولید ناخالص**، میزان تولید معدن در طول عمر آن است که از تقسیم ذخیره قابل استخراج بر عمر معدن به‌دست می‌آید. میزان تولید پس از گذشتن از کارخانه کانه‌آرایی، **تولید خالص** نامیده می‌شود.

در صورتی‌که مقدار فلز مورد نیاز در سال مشخص باشد، با توجه به ضرایب بازیابی در مراحل مختلف فرآوری ماده معدنی، میزان ماده معدنی لازم برای رسیدن به فلز مورد نیاز را می‌توان به صورت مقابل به دست آورد: $A = \frac{P}{۱۰ \times R \times \overline{g}}$

که در رابطه فوق:

$A$: تناژ ماده معدنی استخراجی سالانه که دارای تولید $P$ کیلوگرم فلز است. $P$: مقدار فلز تولید سالانه (kg)

$R$: حاصل‌ضرب بازیابی استخراج، بازیابی تغلیظ، ذوب و تصفیه $\overline{g}$ : عیار متوسط ماده معدنی

لازم به ذکر است که عمر معدن با توجه به ظرفیت سالانه و میزان ذخیره از رابطه مقابل به دست می‌آید: $T = \frac{Q}{A}$

$Q$= ذخیره بر حسب تن $A$= ظرفیت تولید سالانه

**عوامل مؤثر بر تولید سالانه معدن**

الف) مشخصات فیزیکی کانسار: میزان ذخیره، عیار حد و عیار متوسط، خصوصیات ژئومکانیکی و عمق کانسار ب) عوامل اقتصادی ج) مسائل فنی

## روش‌های تجربی تعیین ظرفیت سالانه معدن

**روش‌های تجربی تعیین ظرفیت سالانه معدن**

**الف) قانون تجربی تیلور:** با توجه به بررسی‌های تیلور، طول عمر معدن با ریشه چهارم تناژ ذخیره و نرخ تولید با توان سه چهارم ذخیره متناسب است.

$^{0/75}$(ذخیره برحسب تن )۵= (۳۵۰ روز در سال) نرخ تولید سالانه

$^{0/75}$(ذخیره برحسب تن )۰/۰۱۴= نرخ تولید روزانه

$^{0/25}$(ذخیره برحسب تن )۰/۲= (سال) طول عمر معدن

**ب) قانون تجربی موشر و همکاران:** رابطه ارائه شده توسط ایشان به صورت مقابل است: $A = ۲۰۰ \times \sqrt{Q}$

## برآورد ظرفیت تولید سالانه در کانسارهای لایه‌ای

**الف) بر اساس نقطه سربه‌سری**

هدف از تجزیه و تحلیل نقطه‌ی سربه‌سری، تعیین سطح تولید در زمانی است که درآمد کل برابر هزینه کل می‌شود.

اگر مقدار تولید را با $Q$، قیمت فروش هر واحد را با $P$ ، کل هزینه‌های ثابت در طی یک دوره را با $F$ و هزینه متغیر به ازای واحد محصول را با $V$ نشان دهیم، $Q \times P$ معرف درآمد کل و $F + (Q \times V)$ معرف هزینه کل است. در نقطه‌ی سربه‌سری داریم:

$$Q \times P = F + (Q \times V) \Rightarrow Q = \frac{F}{P - V}$$

**ب) تعیین ظرفیت بر اساس کمینه‌کردن هزینه مربوط به هر تن ماده معدنی**

با افزایش تولید برخی از هزینه‌ها از جمله استهلاک و سرمایه افزایش یافته؛ برخی از هزینه‌ها از جمله هزینه باربری در چاه یا هزینه‌های نظارت و پرسنل اداری کاهش و برخی از هزینه‌ها مثل هزینه استخراج ثابت می‌مانند.

برای مجموع این متغیر نمودارهایی ترسیم گردیده و کمترین هزینه از مجموع این نمودارها تعیین می‌گردد که به عنوان هزینه‌ی بهینه نام‌گذاری می‌شود.

**ج) تأثیر روش استخراج و آماده‌سازی بر ظرفیت**

تولید سالانه هر کارگاه با استفاده از رابطه روبه‌رو تعیین می‌شود: $A = L.h.P.c$

که در رابطه فوق:

A: ظرفیت تولید سالانه L: مقدار پیشروی سالانه h: ارتفاع مایل طبقه (طول کارگاه استخراج)،

c: ضریب بازیابی معدن P: توان استخراجی لایه (تن بر متر مربع)

**د) تعیین ظرفیت بر اساس بیشینه‌کردن ارزش خالص**

اساس اکثر ارزیابی‌ها و طراحی‌های جدید معادن، بر بهینه‌سازی ارزش خالص فعلی استوار است. ظرفیتی که دارای بیشترین ارزش خالص فعلی باشد، به عنوان ظرفیت تولید در نظر گرفته می‌شود.

## برآورد ظرفیت تولید سالانه در کانسارهای غیرلایه‌ای

عوامل مؤثر در تعیین ظرفیت:

الف) عوامل طبیعی: میزان ذخیره و شکل آن، امکانات استخراج کانسار، عمق، میزان عیار، وجود آب و...

ب) عوامل غیرطبیعی: این عوامل ناشی از وضعیت اقتصادی تولید و فروش ماده معدنی هستند.

**مثال۵: ذخیره یک کانسار مس ۱۶۰۰ میلیون تن برآورد شده‌است. در محاسبه تخمینی اولیه و قبل از طراحی تفصیلی، ظرفیت مناسب سالانه چند تن به دست می‌آید؟**

۱) ۴۰ ۲) ۴۰۰۰۰۰۰۰ ۳) ۴۰۰۰۰۰ ۴) ۸۰۰۰۰۰۰۰

☑ **پاسخ:** گزینه «۲» با توجه به روابط داریم:

$$T = ۰/۲\sqrt[۴]{Q} \Rightarrow T = ۰/۲\sqrt[۴]{۱۶۰۰۰۰۰۰۰۰} = ۴۰ \text{ سال}$$

$$A = \frac{Q}{T} = \frac{۱۶۰۰۰۰۰۰۰۰}{۴۰} = ۴۰۰۰۰۰۰۰ \text{ تن}$$

**مثال ۶: ذخیره یک کانسار آهن ۸/۵۵ میلیون تن برآورد شده‌است. اگر معدن ۵ روز در هفته (۲۵۰ روز در سال) و کارخانه تغلیظ ۷ روز در هفته (۳۵۰ روز در سال) کار کند، ظرفیت مناسب روزانه معدن و کارخانه چند میلیون تن است؟**

۱) ۲/۵ – ۰/۱ ۲) ۰/۱ – ۰/۱ ۳) ۰/۱ – ۰/۰۷۱ ۴) ۰/۰۷۱ – ۰/۱

☑ **پاسخ:** گزینه «۴» با توجه به روابط داریم:

$$\text{تولید سالانه(تن)} = A = \frac{Q}{T} = ۵ \times Q^{۰/۷۵} = ۵(۸/۵۵)^{۰/۷۵} \simeq ۲۵ \text{ میلیون تن}$$

$$\text{تولید روزانه معدن} = \frac{A}{\text{Working days}} = \frac{۲۵ \text{ میلیون‌تن}}{۲۵۰} = ۰/۱ \text{ میلیون تن}$$

$$\text{تولید روزانه کارخانه} = \frac{A}{\text{Working days}} = \frac{۲۵ \text{ میلیون‌تن}}{۳۵۰} = ۰/۰۷۱ \text{ میلیون تن}$$

## خلاصه فصل اول

- زمین‌شناسی شرط لازم برای ورود به مباحث پی‌جویی، اکتشاف و استخراج معادن است.
- مراحل عمر یک معدن عبارت‌اند از: پی‌جویی، اکتشاف، آماده‌سازی، بهره‌برداری، بازسازی
- هدف از پی‌جویی، تعیین موقعیت کانسار و وضعیت عمومی آن است.
- هدف از اکتشاف، بررسی و شناسایی دقیق کانسار، مطالعه ساختار داخلی آن، خصوصیات سنگ‌های مجاور است.
- انواع منابع از نظر دقت برآورد: ۱ـ اندازه‌گیری‌شده ۲ـ شناسایی‌شده ۳ـ استنباطی
- انواع ذخایر: ۱ـ ذخیره‌ی قطعی ۲ـ ذخیره احتمالی
- آماده‌سازی در معادن زیرزمینی مستلزم طراحی و جانمایی دقیق بازکننده‌ها از نظر سهولت، ایمنی و اجرا است.
- انتخاب روش مناسب برای استخراج مستقل از نوع ماده معدنی بوده و با توجه به خواص ماده تعیین می‌گردد.
- چرخه اصلی تولید در معادن = چالزنی+ آتشکاری + بارگیری + باربری
- با افزایش نرخ تولید، میزان هزینه سرمایه‌گذاری و عملیاتی و همچنین درآمد بیشتر شده ولی طول عمر معدن کوتاه می‌شود.

## تست‌های طبقه‌بندی شده فصل اول

**۱ـ با افزایش ظرفیت تولید سالانه یک معدن زیرزمینی کدام‌یک از شرایط زیر حاصل می‌شود؟** (سراسری ۹۰)

۱) بهره‌وری و هزینه سرمایه‌گذاری به ازاء هر تن کاهش می‌یابد.

۲) بهره‌وری و هزینه سرمایه‌گذاری به ازاء هر تن افزایش می‌یابد.

۳) بهره‌وری افزایش ولی هزینه سرمایه‌گذاری به ازاء هر تن تولید کاهش می‌یابد.

۴) بهره‌وری مستقل از مقدار تولید بوده، ولی هزینه سرمایه‌گذاری به ازاء هر تن کاهش می‌یابد.

**۲ـ یک منطقه‌ی زغالی به طول ۵km در امتداد لایه و تعداد ۴ طبقه به طول شیب‌دار هر طبقه ۲۵۰ متر وجود دارد. اگر راندمان (بازده) لایه ۵ تن بر متر مربع، ضریب بازیابی ۸۰ درصد و تولید سالانه‌ی این معدن ۸۰۰,۰۰۰ تن باشد، عمر آن چند سال است؟** (سراسری ۹۲)

۱) ۱۸　　۲) ۲۵　　۳) ۲۲/۵　　۴) ۲۸

## پاسخنامه تست‌های طبقه‌بندی شده فصل اول

**۱ـ گزینه «۳»** با افزایش ظرفیت تولید سالانه یک معدن زیرزمینی، بهره‌وری افزایش می‌یابد، چون تولید افزایش یافته و هزینه سرمایه‌گذاری اولیه کاهش می‌یابد (با افزایش تولید، هزینه‌های سرمایه‌گذاری به ازای هر تن کاهش می‌یابد و با میزان تولید رابطه عکس دارد)، بنابراین گزینه ۳ صحیح است.

◆ ◆ ◆ ◆

**۲ـ گزینه «۲»** برای به دست آوردن عمر معدن از رابطه روبرو استفاده می‌کنیم:

$$T = \frac{\text{کل ظرفیت کانسار(معدن)}}{\text{تولید سالانه}}$$

که در رابطه فوق: $t$ :عمر معدن　　طول منطقه ذغالی = ۵ کیلومتر　　تعداد طبقه = ۴

طول هر طبقه = ۲۵۰ متر　　ضریب بازیابی = ۰/۸　　تولید سالانه معدن = $۸\times۱۰^{۵}$ تن

در نهایت با جایگذاری مقادیر فوق در رابطه داریم:

$$Q = L.w.p.c$$

$$Q = ۴\times(۵۰۰۰\times۲۵۰\times۵\times۰/۸) = ۲۰۰۰۰۰۰۰$$

$$Q = A.T \rightarrow T = \frac{۲۰۰۰۰۰۰۰}{۸۰۰۰۰۰} = ۲۵$$

◆ ◆ ◆ ◆

## آزمون فصل اول

**۱ـ مراحل عمر یک معدن به ترتیب شامل کدام‌یک از گزینه‌های زیر است؟**

۱) پی‌جویی، آماده‌سازی، حفاری، بهره‌برداری

۲) پی‌جویی، اکتشاف، آماده‌سازی، بهره‌برداری، بازسازی

۳) اکتشاف، استخراج، باربری، بازسازی

۴) پی‌جویی، اکتشاف، آماده‌سازی، استخراج، بازسازی

**۲ـ کدام‌یک از موارد زیر از اهداف عملیات اکتشافی محسوب نمی‌شود؟**

۱) بررسی و شناسایی دقیق کانسار

۲) مطالعه ساختار داخلی کانسار

۳) تعیین موقعیت و وضعیت عمومی کانسار با توجه به معیارها و نشانه‌ها

۴) تعیین خصوصیات سنگ‌های مجاور

**۳ـ در مقایسه بین روش‌های سطحی و زیرزمینی استخراج معادن کدام گزینه صحیح است؟**

۱) سرمایه لازم برای راه‌اندازی معادن زیرزمینی کمتر است.

۲) اثرات زیست‌محیطی معادن سطحی کمتر از معادن زیرزمینی است.

۳) توان تولید در معادن بزرگ زیرزمینی کمتر از معادن سطحی است.

۴) مقدار انرژی مصرفی در معادن زیرزمینی به مراتب بیشتر از معادن سطحی است.

**۴ـ کدام گزینه به عنوان فعالیت یا عملیات تولید در استخراج معادن زیرزمینی محسوب می‌شود؟**

۱) تأمین و نگهداری سقف

۲) تهویه

۳) آماده‌سازی

۴) آبکشی

**۵ـ هزینه‌های ثابت یک معدن ۸۱۰ واحد و هزینه‌های متغیر آن ۲۵ واحد بر تن است. معدن هر تن محصول خود را با قیمت ۴۰ واحد به فروش می‌رساند. اگر معدن با ظرفیت ۴۰ تن در واحد زمان کار کند، سود یا زیان معدن و نقطه سر به سری تولید چقدر است؟**

۱) ۱۲۰ واحد زیان، نقطه سربه‌سری تولید ۴۵ تن

۲) ۱۲۰ واحد سود، نقطه سربه‌سری تولید ۴۵ تن

۳) ۲۱۰ واحد زیان، نقطه سربه‌سری تولید ۵۴ تن

۴) ۲۱۰ واحد سود، نقطه سربه‌سری تولید ۵۴ تن