به نام خدا

درس مبانی اکتشاف مواد معدنی

مدرس:

دکتر غلامرضا کمالی

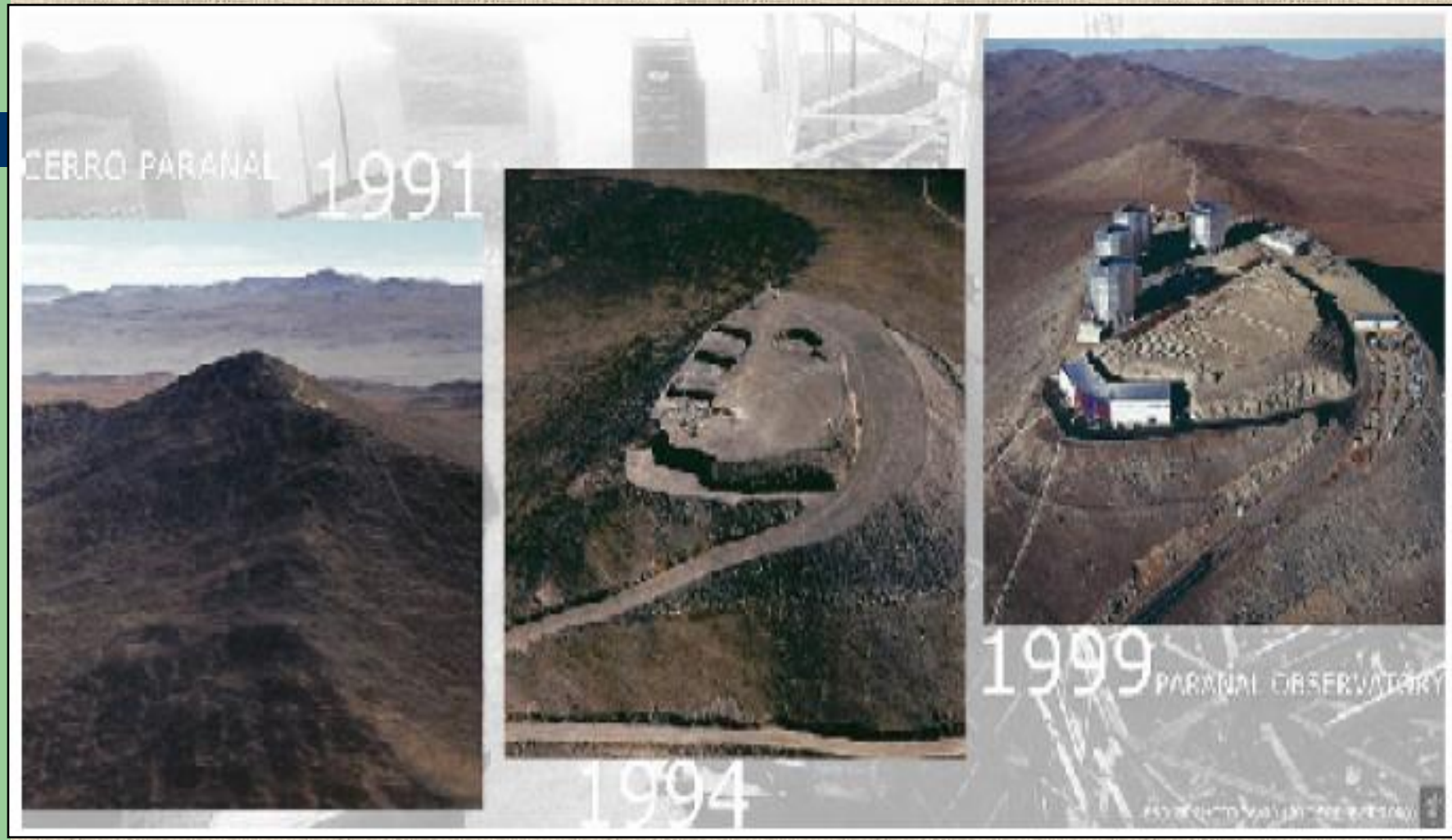
بخش ارزیابی ذخایر معدنی

۱۳۹۴

- برآورد منابع با موجودی کانی: اصول و مفاهیم کلی مدل‌سازی زمین شناسی، آشنایی مختصر با برآورد منابع (متدولوژی برآورد منابع، جمع‌آوری داده‌ها و تفسیر زمین‌شناسی، روش‌های برآورد شامل روش‌های کلاسیک، آماری و زمین آماری)، طبقه‌بندی منابع و ذخایر

© Hajalilou, B., & Khaleghi, F., Payame Noor University of Tabriz, 2006.

بسم الله الرحمن الرحيم



Prospecting and Resource Estimation Methods

اهمیت درس تخمین و ارزیابی ذخایر معدنی

- پی جویی و اکتشاف ذخایر معدنی
- تخمین و ارزیابی اقتصادی ذخایر معدنی
- مطالعات مقدماتی امکان سنجی
- بررسیهای زمین شناسی و تعیین ژنز کانسارها
- نمونه برداری معدنی

هدفهای کلی

- آشنایی کلی با اصول پی جویی، اکتشاف و ارزیابی ذخایر معدنی
- بررسی انواع روشهای تخمین ذخیره (سنتی، کلاسیک، زمین آمار)
- آشنایی با نحوه ارزیابی اقتصادی کانسار

راهنمای استفاده از بسته آموزشی

- درس تخمین و ارزیابی ذخایر معدنی دارای واحد نظری و عملی است. در ابتدا سعی شده مفاهیم مقدماتی راجع به درس ارائه شود و سپس روشهای تخمین ذخیره توصیف می گردد. لازم است دانشجو با مفاهیم دروس زمین شناسی اقتصادی، ژئوشیمی و ژئوفیزیک آشنایی کافی داشته باشد.
- در آغاز هر فصل موارد مهم اشاره و مورد تأکید قرار گرفته تا پس از مطالعه آنها معلومات، دانسته ها و مهارت دانشجو ارتقاء یابد.
- در تدوین مطالب، به منظور تأمین اهداف کمک آموزشی سعی شده علاوه بر کتاب درسی دانشگاه از سایر منابع و همچنین تصاویرآموزشی سایتهای اینترنتی استفاده گردد.

فهرست مطالب

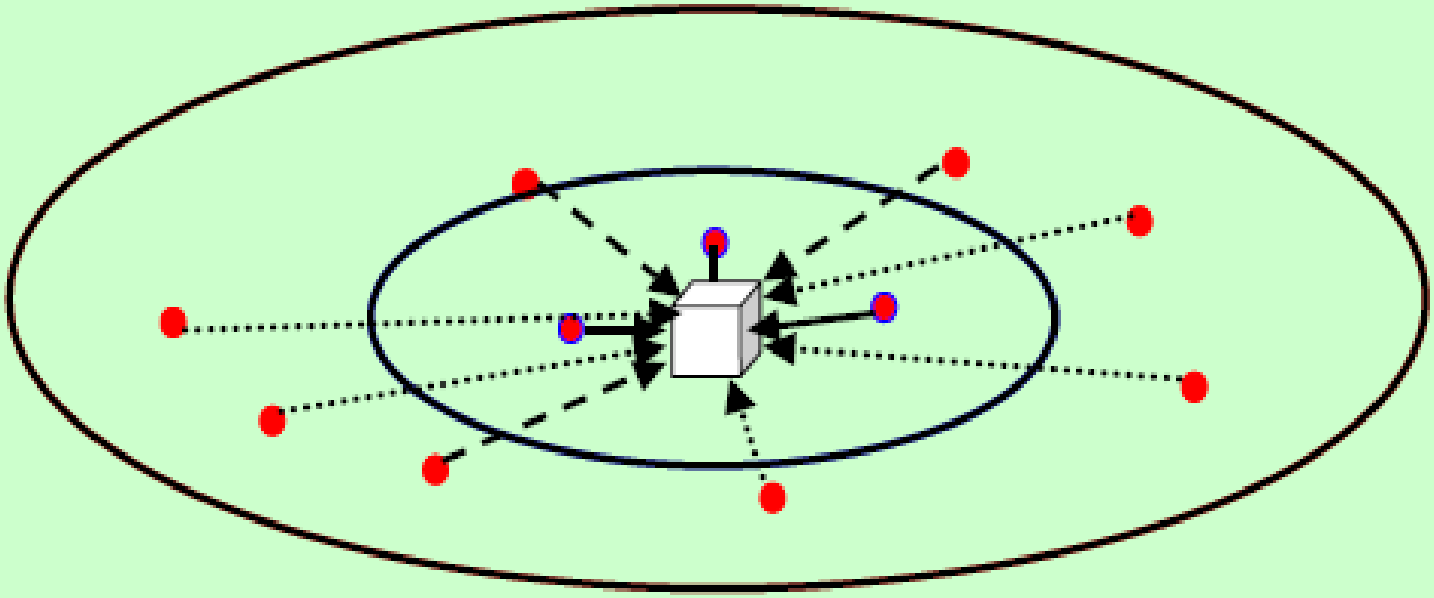
- فصل اول: مبانی آمار و کاربرد آن در ارزیابی
- فصل دوم: مفاهیم اولیه و آشنایی با مراحل پی جویی، اکتشاف و ارزیابی ذخایر معدنی
- فصل سوم: بررسیهای زمین شناسی و تعیین ژنز کانسار
- فصل چهارم: اطلاعات لازم برای ارزیابی کانسار

ادامه

- فصل پنجم: انواع نمونه برداری
- فصل ششم: تخمین ذخیره با روشهای سنتی
- فصل هفتم: محاسبه ذخیره به روش زمین آمار
- فصل هشتم: ارزیابی اقتصادی کانسار

Resource Estimation Techniques cont.

مبانی آمار و کاربرد آن
در ارزیابی



جامعه کلی

- جامعه کلی عبارت است از کل موجودی مواد مورد نظر؛ همچنین منبع کلی همه داده های ممکن که بوسیله یک یا چند نشانه یک بعدی یا چند بعدی مشخص می شود.
- به عبارت دیگر، بایستی دقیقاً محدوده مورد نظرخود یعنی کانسار را تعریف کنیم.
- جامعه کلی در کانساری که مرزهای زمین شناسی آن (مساحت، عمق، عیار) مشخص شده باشد، قابل تعریف است.

جمعیت(واحد نمونه گیری)

- جمعیت قسمتی از جامعه کلی است که مورد اندازه گیری قرار گرفته است.مثل یک نمونه ۲کیلوگرمی، یک مغزه ۳متری یا یک کامیون حاوی موادمعدنی.
- در اندازه گیری بایستی دقیقاً واحد نمونه گیری معلوم شود.
- بر خلاف علوم زیستی، در مورد کانسار یک واحد نمونه گیری طبیعی وجود ندارد و جامعه کلی به انواع مختلفی از واحدهای نمونه گیری تفکیک می شود در نتیجه جامعه های متفاوتی بدست می آید.

نکته

- بدین ترتیب در مورد یک ویژگی جامعه براساس واحدهای نمونه گیری تعداد معدودی اندازه گیری انجام شده و با توجه به آنها در مورد جامعه آماری اظهار نظر می شود.
- گاهی نتایج بدست آمده از اندازه گیری نمونه های یک جامعه به جامعه دیگر تعمیم داده می شود. بنابراین چنین نتایجی با شک و تردید توأم است.

متغیر تصادفی و احتمال رخداد

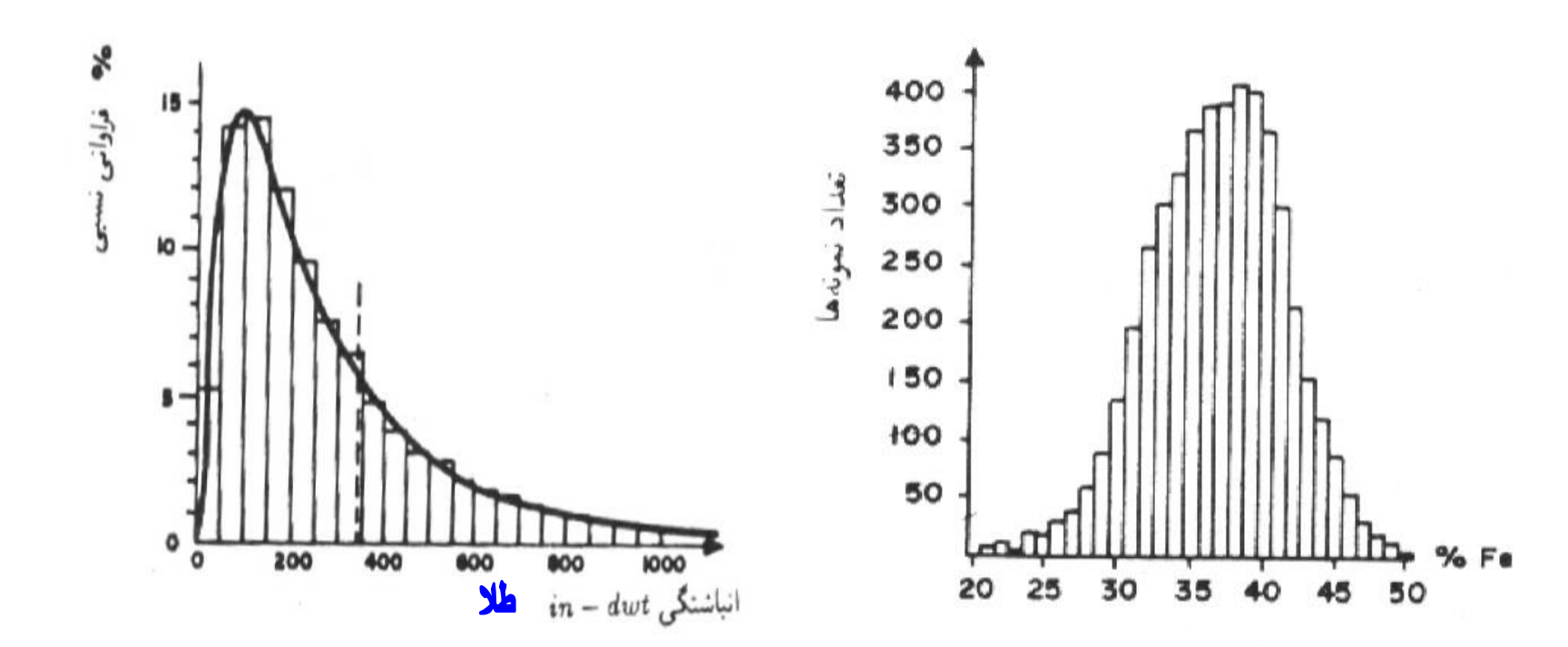
- وقتی نمونه ای از کانساری برداشته می شود، عیار آن معلوم نیست ولی حدود مقادیر ممکن عیار کانسار مشخص است، مثال حدود تغییرات عیار مس در نمونه های کانسار مس پورفیری.
- البته به جای یک فاصله عیاری، می توان تمام عیارهای ممکن نمونه ها را در نظر گرفت.
- احتمال رخداد عیاری در فاصله ۲ تا ۴درصد در کانسار نمی تواند از قبل مشخص باشد؛ بلکه فقط می توان توزیع احتمال را محاسبه کرد.

نمایش ترسیمی توزیع داده ها

- اگر فاصله تغییرات نمونه ها را به عنوان قاعده و تعداد نمونه های مربوط به این فاصله را به عنوان ارتفاع یک مستطیل در نظر بگیریم، بدین ترتیب سطح مستطیل نشانگر تعداد نمونه هایی است که مشخصه آنها در این فاصله قرار می گیرد.
- از آنجا که این نمودارها در نمایش توزیع فراوانی جامعه استفاده می شود به هیستوگرام یا فراوانی نما موسوم هستند. فراوانی نما تصویری عینی ازنحوه تغییرات داده ها و توزیع آنها می باشد.

انواع مختلف توزیع در نمونه ها

- همانطور که در شکل ۱-۲ دیده می شود، توزیع مقادیر طلا در ۲۸۳۳۴ نمونه با توزیع عیارآهن در مورد بیش از ۴۰۰۰ نمونه متفاوت هستند.



شکل۱-۲- فراوانی نما(هیستوگرام) مربوط به نمونه های حاوی طلا و عیار منیتیت در نمونه های سنگ آهن

توزیع لگاریتمی طبیعی و تخمین پارامترهای آن

- در بسیاری از مسایل زمین شناسی، مقادیر عیار از توزیع طبیعی تبعیت نمی کنند. اما لگاریتم آنها، گرایش به توزیع طبیعی دارد.
- تخمین میانگین توزیع لگاریتمی طبیعی به روش ریاضی مشکل است؛ چون در مورد توزیع داده هایی با چولگی، عیارهایی وجود دارند که بطور نامعقولی بالا هستند.

فصل دوم
آشنایی با مراحل پی جویی

مقدمه

آشنایی با مفاهیم اولیه (کانه، کانسنگ و ...)

پی جویی و اکتشاف ذخایر معدنی

راهنما و معیارهای پی جویی

مفاهیم

کانسنگ

Ore

سنگ یا کانیهایی که استخراج و ارائه آنها به بازار سودآور باشد. مثل سنگ معدن مس سرچشمه

باطله

Gangue

مواد بی ارزشی که همراه با بیشترکانه ها می باشند. البته یک کانی همیشه باطله نیست. مثل باریت

کانه

Ore mineral

کانی ای که به عنوان منبع اقتصادی یک فلز مفید مورد استفاده قرار می گیرد
مثل کاسیتریت (قلع)
اسفالریت(روی)

کانسار

کانسار فلزی

معدن

Mineral deposit

محل پیدایش طبیعی کانی یا کانیهایی که دارای ارزش اقتصادی هستند

Ore deposit

کانساری که در شرایط اقتصادی و فن آوری روز از آن بتوان فلزی بدست آورد

Mine

کانسار و یا کانسار فلزی که قبلاً یا در حال حاضر بهره برداری شده و می شود

تعاریف

- اندیس معدنی: تمرکزی از یک عنصر که این تمرکز چندین برابر کلارک است ولی ماده معدنی ارزش اقتصادی پیدا نکرده است.
- آستانه اقتصادی: مقدار تمرکزی از عنصر که وقتی به حد مذکور رسید، استخراج آن مقرون به صرفه است.

ارزیابی معدن

ارزیابی معدن در موارد ذیل انجام می شود:

- در هنگام تغییر مالکیت معدن
- پرداخت مالیات دولتی
- دریافت وام بانکی و بهبود وضع مالی معدن
- تغییر سیستم معدنکاری
- بررسی امکان راه اندازی مجدد معدن
- بررسی میزان اشتغالزایی آن در جامعه

انواع ارزیابی معدنی

۱. ارزیابی مقدماتی
۲. ارزیابی رسمی

ارزیابی اولیه

بررسی معدن یا پتانسیل معدنی از نظرویژگیهای کلی واهمیت اقتصادی آن در منطقه که شامل مراحل کنترل نقاط مهم، برداشت مختصر زمین شناسی ، نقشه برداری مقدماتی، مطالعه روشهای معدنکاری انجام شده، برآورد هزینه ها و تخمینی از نحوه مدیریت است.

ارزیابی رسمی

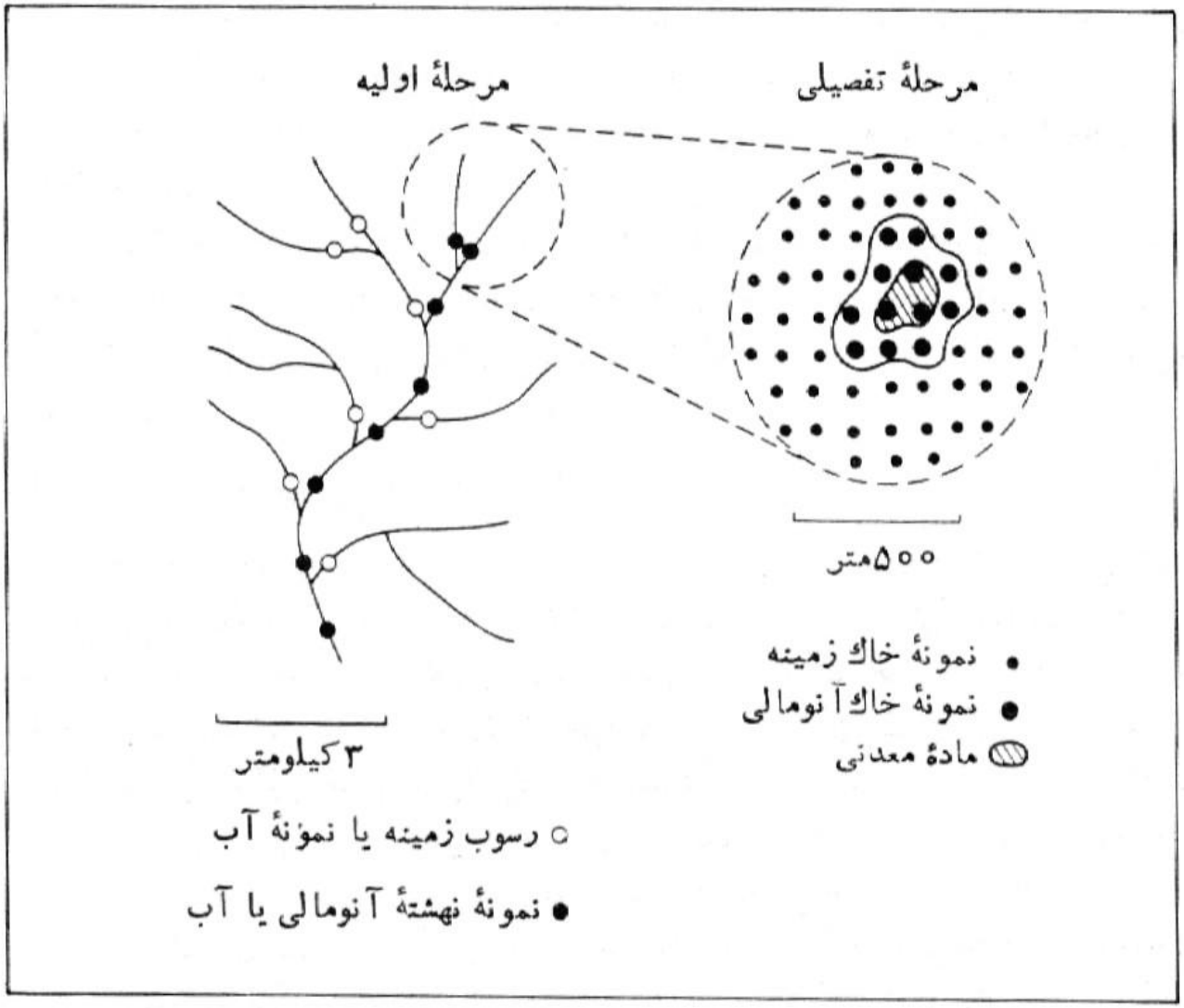
بررسی تفسیری ذخیره معدنی به منظور تهیه تمام اطلاعات درباره معدن و آینده آن که بسیار طولانی و پرهزینه بوده و در صورتی باید اجرا شود که ضرورت آن در ارزیابی مقدماتی مشخص شده باشد.

پی جویی ذخایر معدنی

- اجرای عملیات زمین شناسی که یافتن پتانسیل های بالقوه از کانی های باارزش را در پی دارد.
- عملیات پی جویی لزوماً به یافتن ذخیره منجر نمی شود.

اکتشاف

چنانچه پی جویی های انجام شده در منطقه حضور ماده معدنی را تأیید کند و ضرورت انجام بررسیهای لازم برای تعیین اهمیت صنعتی و صرفه اقتصادی یک پتانسیل معدنی اثبات گردد، عملیات اکتشاف در مراحل مقدماتی، نیمه تفصیلی و تفصیلی انجام خواهد شد.



شکل اکتشاف اولیه با استفاده از رسوب رودخانه‌ای یا با استفاده از اکتشاف تفصیلی.

راهنماها و معیارهای پی جویی

۱)آب و هوایی
۲) چینه شناسی
۳) سنگ شناسی و رخساره ای
۴) زمین ساختی
۵) ماگمایی
۶) ژئوشیمیایی
۷) ژئومورفولوژی
۸) ژئوفیزیکی
۹) متفرقه

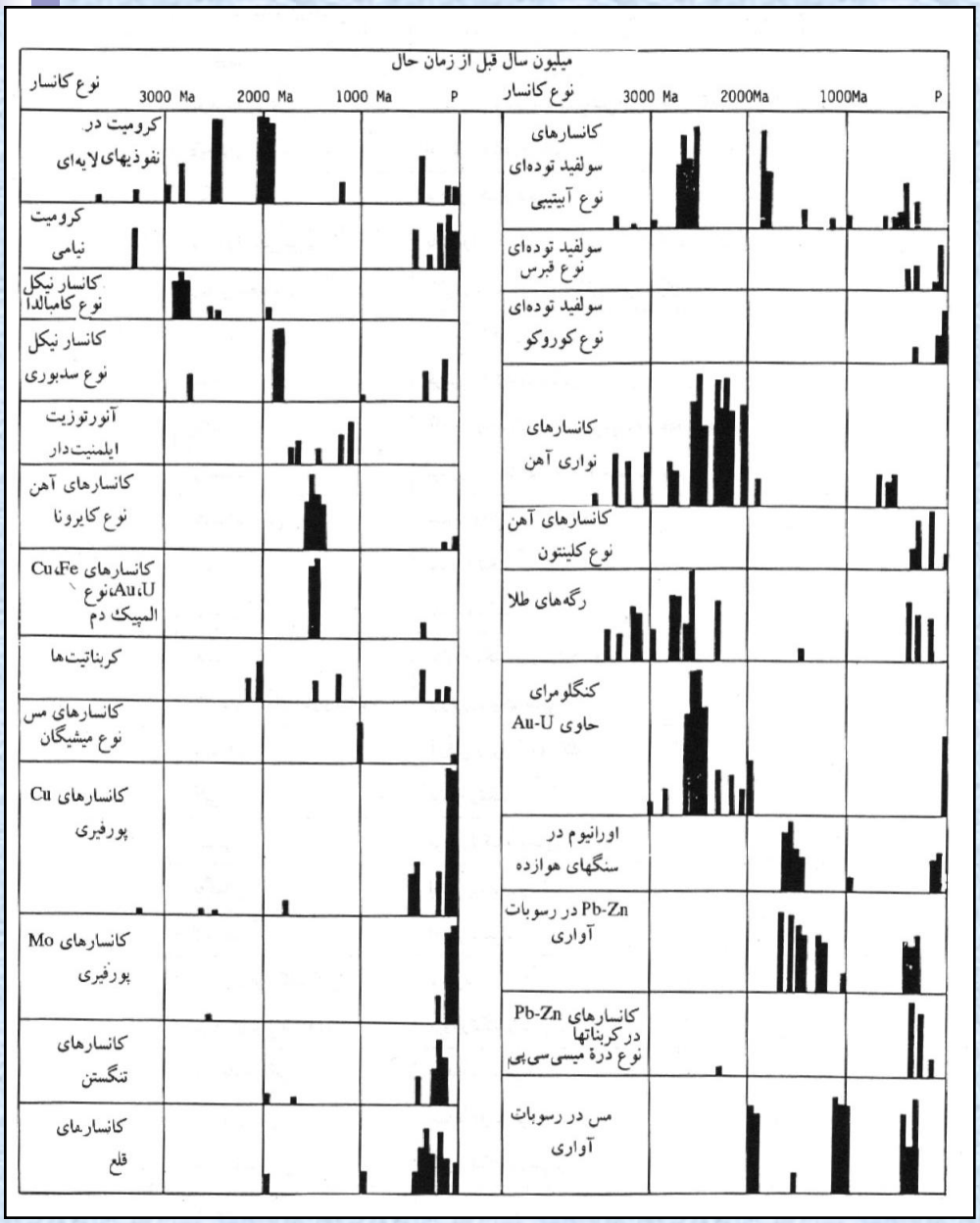
معیارهای آب و هوائی

این نوع معیار در مورد کانسارهای رسوبی اهمیت دارد.

۱) در شرایط گرم و خشک ← کانسارهای تبخیری، دولومیت، سرب و روی رسوبی، ماسه سنگهای مس دار

۲) در شرایط گرم و مرطوب ← ذخایر زغال سنگ، بوکسیت، کائولن، پلاسر طلا، تیتان، الماس، آهن و منگنز

معیارهای چینه شناسی



- برخی از کانسارها در طبقات رسوبی با سن خاصی متمرکز هستند.
- مثلاً ذخایر زغالی در دونین، کربونیفر و تریاس - ژوراسیک
- و شیلهای نفتی در سیلورین زیرین یافت می شوند.
- ذخایر آهن نواری (ژاسپیلایت) در پرکامبرین گسترش دارند.

راهنمای سنگ شناسی و رخساره ای

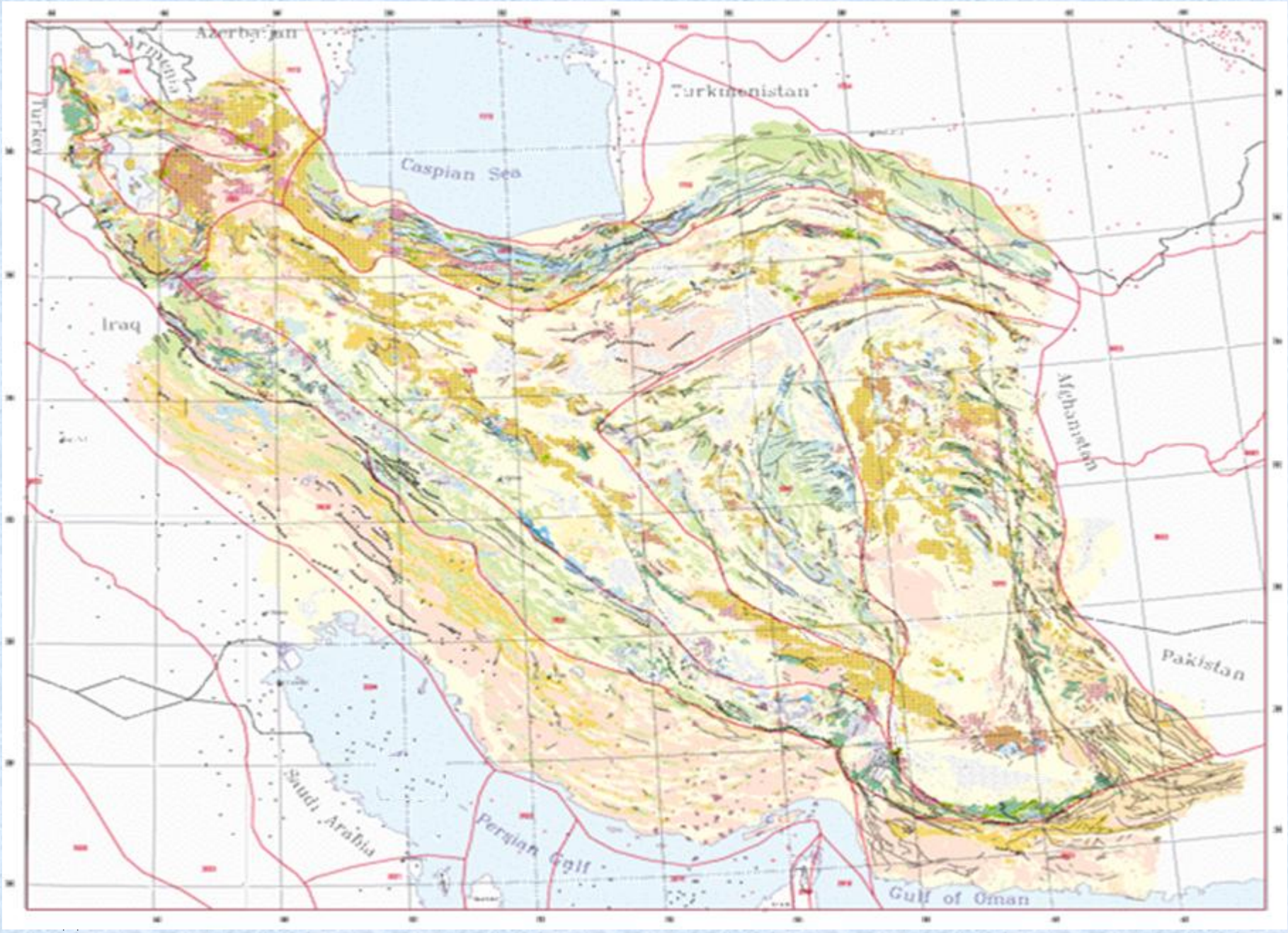
- ذخایر معدنی با ترکیب شیمیایی و سنگ شناسی خاص همراه هستند.
- این معیار درمورد پی جویی ذخایر آهن، افقهای منگنزدار، سیلیس رسوبی، بوکسیت و فسفریت کاربرد دارد.
- مثلاً کانسنگهای آلومینیوم به صورت ورقه ای روی توده های گرانیتی و سینیتی و به حالت عدسی شکل در بازالتها و دیابازها یافت می شود.
- نیکل به صورت لایه پوشاننده سطح سنگهای فرابازی و فلوریت و باریت همراه با سریهای کربناته دیده می شود.

راهنمای زمین ساختی

- توزیع ذخایر معدنی در موقعیت های زمین ساختی خاصی رخ می دهد؛ بنابراین در پی جویی کانسارها بایستی به ارتباط بین تکتونیک و مکان تمرکز مواد معدنی توجه گردد.
- مثلاً در کمربند آلپ ـ هیمالیا کانسارهای مس انتشاری، سرب و روی، سولفیدی توده ای و ذخایر همراه با توده های فرابازی یافت می شوند.

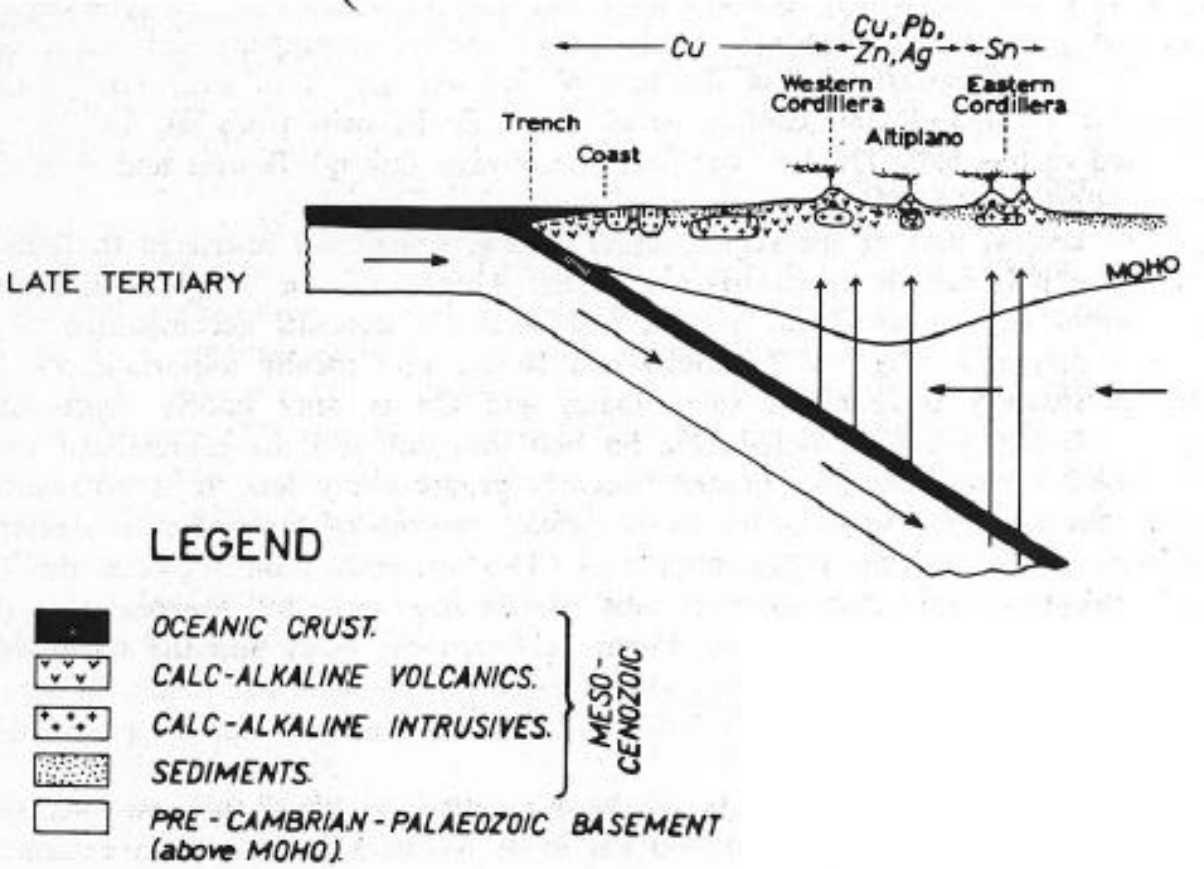
راهنمای ماگمایی

- ذخایر معدنی با ترکیب ماگمایی خاصی همراه هستند که شامل موارد ذیل است:
- ذخایر کروم، مس ـ نیکل، تیتان، وانادیوم، تالک و آزبست همراه با توده های نفوذی مافیک، بازی و فرابازی
- ذخایر مس پورفیری، مس ـ مولیبدن، قلع ـ تنگستن همراه با توده های نفوذی گرانیتی
- کانسارهای اورانیوم همراه با توده های نفوذی گرانیت آلکالن(تیپ آلاسکایت)


Azerbaijan
Armenia
Turkey
Turkmenistan
Caspian Sea
Iraq
Afghanistan
Pakistan
Saudi Arabia
Persian Gulf
Gulf of Oman

How the Copper deposits form.

Andean mineral belts reflect different depths to subduction zone (note Cu-belt



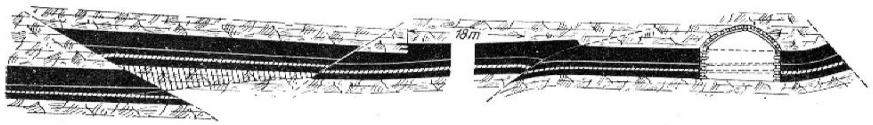
Sillitoe 1976

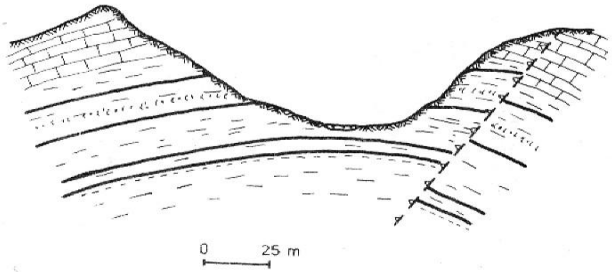
راهنمای ژئوشیمیایی

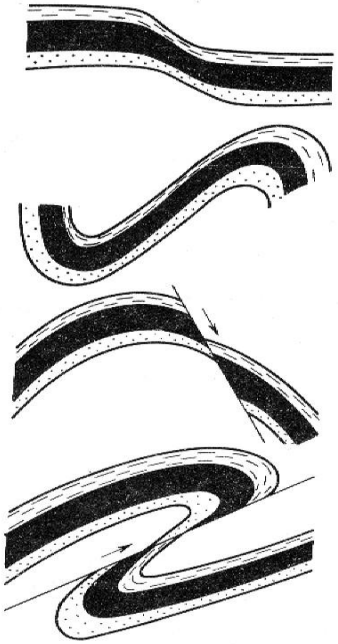
- پی جویی ذخایر معدنی از طریق بررسی الگوهای ژئوشیمیایی(رفتار عناصر در پوسته زمین) نیز انجام می شود.
- اگرهاله های ژئوشیمیایی اولیه در اطراف توده های معدنی به اندازه کافی گسترش داشته باشند، راهنمای باارزشی برای پی جویی خواهندبود.
- مطالعه پراکندگی ثانویه آثار کانی سازی در خاک، رسوبات، پوشش گیاهی وآبهای موجود در منطقه معدنی نیز در پیدا کردن ذخیره معدنی کاربرد دارد.

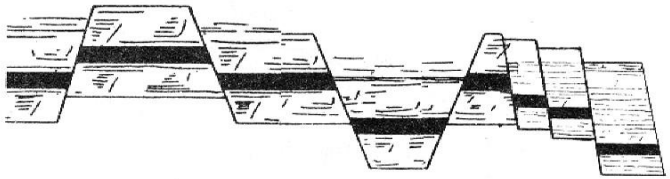
معیار ژئومورفولوژی

- در غالب موارد توده معدنی وضع توپوگرافی خاصی دارد.
- استفاده ازعکس هوایی، تصاویر ماهواره ای، نقشه های توپوگرافی، جستجوی مورفولوژی شاخص در سطح زمین و کلاهک آهنی به عنوان نشانه های مرتبط با حضور ماده معدنی در عمق مفید می باشد.
- ذخایر معدنی برمبنای توپوگرافی سطح به دو گروه شامل برونزاد و درونزاد تقسیم می شوند.





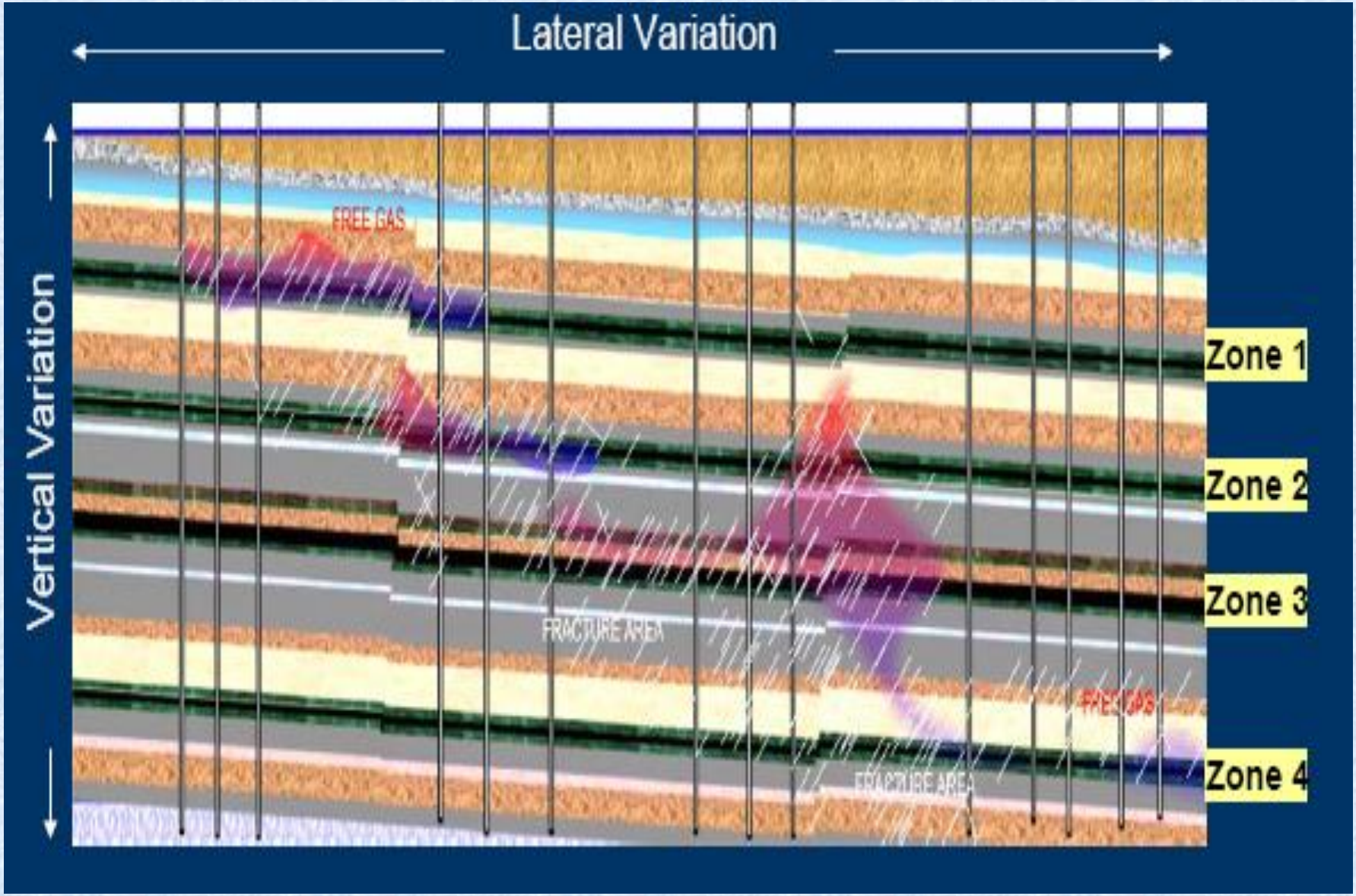




مثالهایی از کانسارهای لایه‌ای شکل

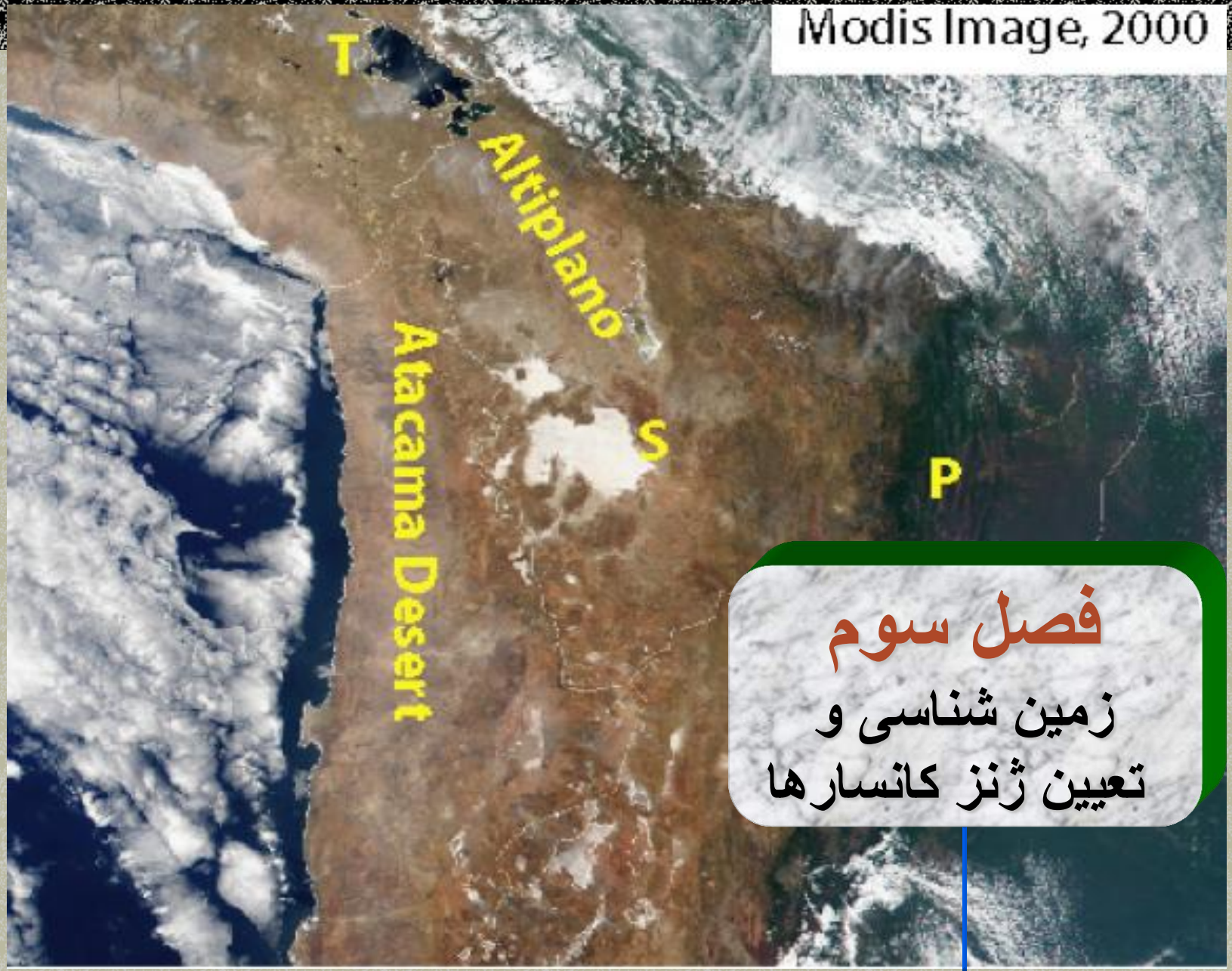
معیار های ژئوفیزیکی

- داده های ژئوفیزیکی می تواند شرایط غیرعادی در منطقه را مشخص کند. البته آنومالی های ژئوفیزیکی مشاهده شده ممکن است ظاهری بوده و حاکی از وجود توده معدنی خاصی در منطقه نباشد.
- داده های ژئوفیزیکی برای تفسیرهای زمین شناسی در زمینه تشخیص نوع سنگ، ساختمان، توالی چینه شناسی و کانی شناسی مورد استفاده قرار می گیرد.


Lateral Variation
Vertical Variation
FREE GAS
FRACTURE AREA
FREE GAS
FRACTURE AREA
Zone 1
Zone 2
Zone 3
Zone 4

معیارهای متفرقه

- آثار کوره های قدیمی، سرباره، باطله های دور ریخته شده و ابزارهای قدیمی احتمال وجود مناطقی مناسب برای پی جوئی را قوت می بخشد.
- اسامی مکانهایی که ریشه ای قدیمی دارند، می تواند دلیلی بر تمرکز ماده معدنی خاص باشد. این ماده معدنی رنگ یا مشخصه ای معین را به منطقه می دهد.
- مثالها: قلعه زری(مس و طلا)، زره شوران(طلا)، تالمسی(تمرکز مس و نیکل)، کوه زر(مس و طلا)



فصل سوم

زمین شناسی و تعیین ژنز کانسارها

۳-۱- مقدمه

- از آنجا که منظور از ارزیابی لزوماً بررسی مراحل استخراج محصول و عرضه آن به بازار است لذا مواردی مانند اندازه، شکل، شرایط، عیار و ذخیره، روش استخراج و کانه آرایی که عمدتاً در محدوده زمین شناسی قرار می گیرند، بایستی مطالعه شود.
- بنابراین ارزیاب کانسار بایستی با شرایط زمین شناسی مناسب برای پی جویی، ژنز احتمالی کانسار، روشهای پی جویی و اکتشاف مواد معدنی، نحوه نمونه برداری و محاسبات مربوطه آشنایی کافی داشته باشد.

۳-۴- ژنز کانسارها

حاصل از فرایندهای درونی

- حاصل از تبلور مستقیم ماگما
- حاصل ازجدایش ماگما
- کانسارهای گرمابی
- حاصل از تراوش جانبی
- حاصل از فرایندهای دگرگونی

حاصل از فرایندهای بیرونی

- حاصل از تمرکزمکانیکی
- حاصل از فرایندهای رسوبی
- کانسارهای برجای مانده
- حاصل از فرایندهای غنی سازی برونزاد
- حاصل از فعالیت سیالات آتشفشانی ـ متصاعدی

عوامل ته نشینی مواد معدنی و تشکیل کانسار

أ- نیروی ثقل مثل نهشت کرومیت و ته نشینی ثقلی طلا

ب- واکنش محلول حاوی ماده معدنی با سنگ میزبان وتغییرات pH ناشی از آن

ج- کاهش درجه حرارت

د- کاهش فشار

ه- کاهش سرعت محلول کانسارساز

و- مخلوط شدن محلولهای کانسارساز با محلولی دیگر

۳-۵- پاراژنز

- ✓پاراژنز(همزادی): مجموعه ای از کانیها که در تعادل با یکدیگر یافت می شوند. مثل پاراژنز نیکل، کروم، مس، پلاتین
- ✓بطور کلی توالی نهشته شدن کانه ها به ترتیب زیر است:
  - اکسیدها؛
  - سولفیدها و آرسنیدهای آهن، نیکل، کبالت و مولیبدن؛
  - سولفیدهای روی، سرب، نقره، آهن – مس؛
  - نمکهای سولفیدی کبالت، سرب، نقره؛
  - تلوریدها، استیبنیت و سینابر.

- 3 km long, 1.5 km wide, 650 m deep

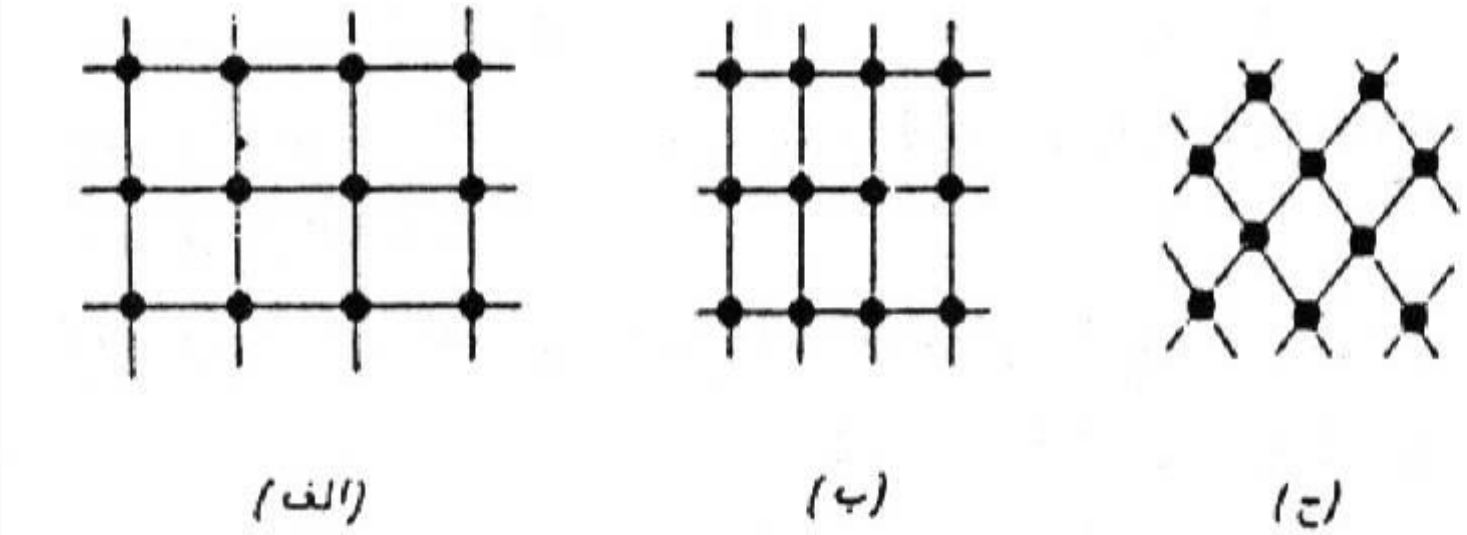
فصل چهارم
اطلاعات لازم برای ارزیابی

۴-۱- مقدمه

- پس از اتمام مطالعات پی جوئی و یافتن محل کانسار، باید اطلاعات لازم برای ارزیابی آنرا فراهم ساخت.
- این عملیات شامل تهیه نقشه زمین شناسی بزرگ مقیاس، حفریات اکتشافی، برداشت حفریات و نمونه برداری از آنها، تهیه مقاطع اکتشافی و سرانجام محاسبه ذخیره است.

۴-۲- طرح شبکه اکتشاف

- حفاری اکتشافی محدود و پرهزینه بوده و بایستی به نحوی انتخاب شود که حداکثر اطلاعات بدست آید.
- حفریات اکتشافی باید در تمام سطح کانسار به طور یکنواخت گسترش یابد. نحوه قرار گرفتن کارهای اکتشافی را شبکه اکتشاف می نامیم.
- تعدادی کاراکتشافی در طول فصل مشترک صفحه مقطع با سطح زمین که به نام نیمرخ های اکتشافی خوانده می شوند، عمود بر جهت گسترش کانسار توجیه می گردد.



شکل۴-۱- انواع شبکه اکتشاف، الف)مربع شکل، ب)مستطیل و ج) لوزی شکل

۴-۴- اکتشافات سطحی

- مقصود از اکتشافات سطحی، عملیاتی است که در سطح زمین و یا اعماق کم انجام می شود و هدف آن کسب اطلاعاتی از وضعیت سطحی ماده معدنی و سنگهای اطراف آن است.
- این مرحله شامل تهیه نقشه های زمین شناسی بزرگ مقیاس، حفر ترانشه و چاهک است.

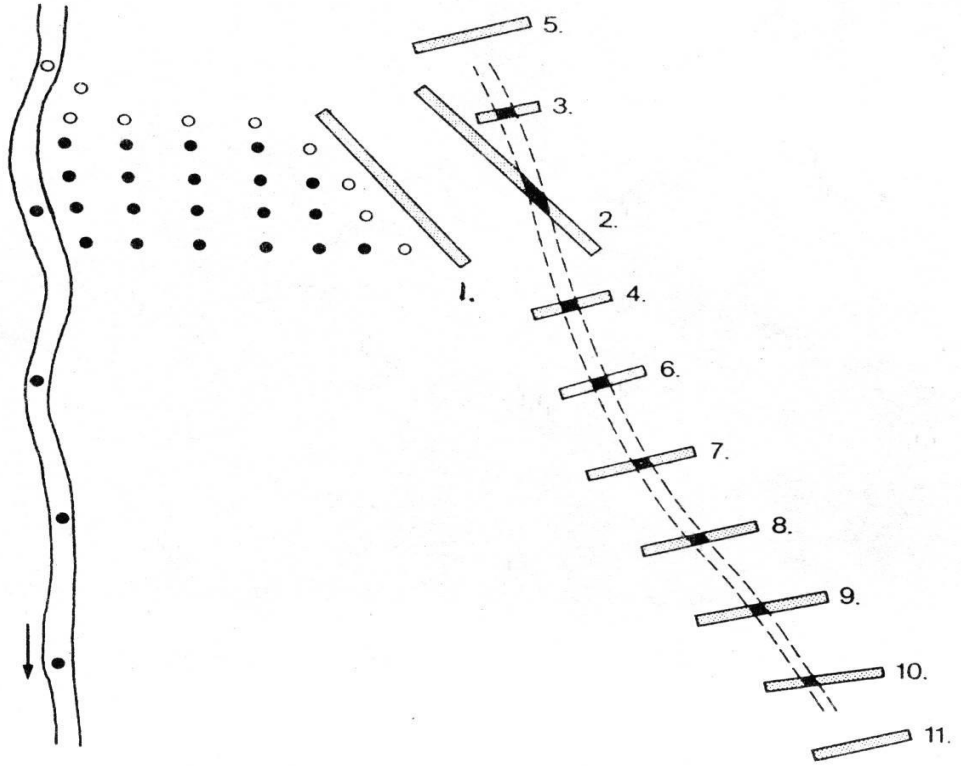
تهیه نقشه های زمین شناسی بزرگ مقیاس

أ- نقشه های تهیه شده در این مرحله مبنای تمام کارهای اکتشافی است و بنابراین بایستی دقت لازم در تهیه آنها بکار رود.

ب- انتخاب مقیاس نقشه به نوع ساختمان ماده معدنی بستگی دارد. در ذخایر زغال سنگ، مقیاس ۱:۵۰۰۰ و در مواد معدنی فلزی (حاوی تغییرات زیاد) از مقیاس بزرگتر استفاده می شود.

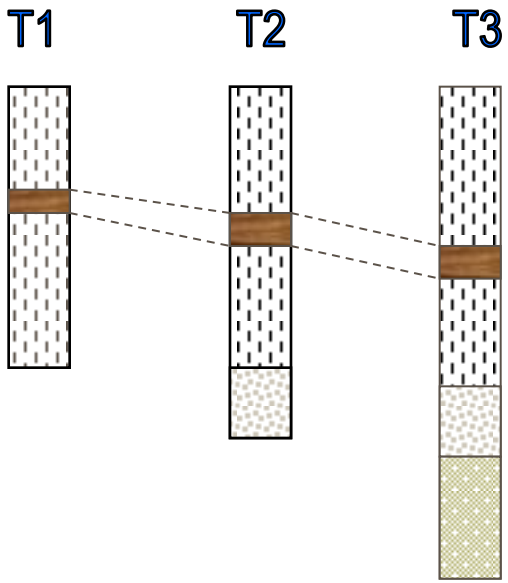
ترانشه

- به منظور تعیین کمیت و کیفیت ماده معدنی در زیر قشر هوازده، در جهت عمود بر گسترش ماده معدنی گودالی حفر می شود که به ترانشه معروف است.
- طول ترانشه تابع گسترش عرضی ماده معدنی است.
- عرض آن حدود ۸۰ سانتیمتر (برای سهولت حفاری) منظور می شود.
- عمق آن تابع ضخامت خاکی است که روی ماده معدنی را پوشانده است.



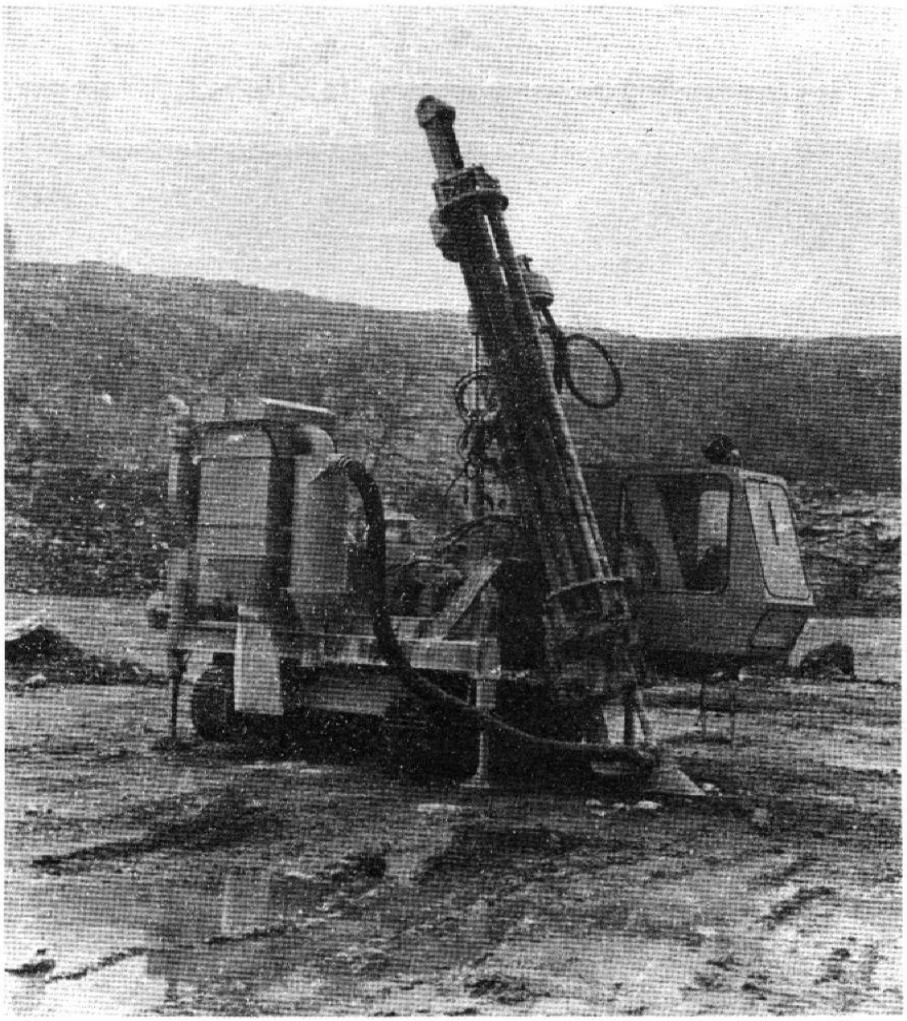
شکل ۴ - ۵ ترتیب ترانشه‌ای اکتشافی

برای این منظور ابتدا بایستی مقطع چینه شناسی رسم گردد. سپس یک طبقه راهنما که در تمام ترانشه ها وجود دارد، پیدا می کنند. این لایه راهنما خصوصیات سنگ شناسی و فسیل شناسی ویژه ای دارد که آن را از سایر لایه ها مشخص می سازد.



چالهای اکتشافی

- چالها کم هزینه تر و سریعتر از چاهکها حفر می شوند.
- حفر چالهای اکتشافی بوسیله ماشین های مخصوص و چالزنهای معدنی انجام می شود.
- در صورتی که ضخامت مواد پوشاننده کانسار نسبتاً زیاد و امکان حفر ترانشه و چاهک دستی وجود نداشته باشد، از ماشین های مخصوص استفاده می گردد.
- چالزنهای دورانی – ضربه ای در مجتمع های معدنی برای حفر چالهای اکتشافی و همچنین نمونه گیری استفاده می شوند(شکل ۴-۹).



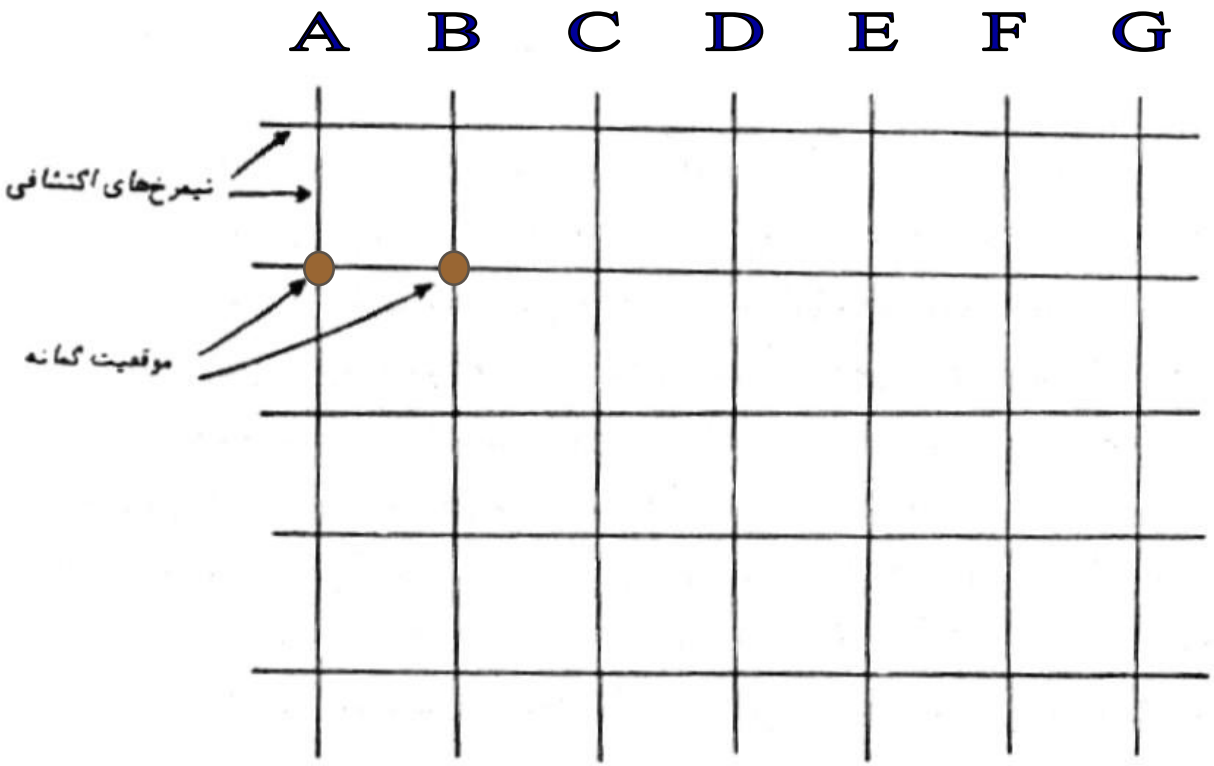
شکل ۴-۹ دستگاه چالزنی خشک

ادامه

- هدف اصلی از حفر گمانه، کسب اطلاعات از ماده معدنی در اعماق مختلف است.
- بوسیله حفر گمانه امکان نمونه گیری و همچنین شناسایی سنگها و لایه های زیرسطحی از طریق روشهای چاه پیمایی وجود دارد.
- در کانسارهای لایه ای، گمانه های کم عمق(تا ۳۰۰ متر)، عمق متوسط(۳۰۰ تا ۵۰۰ متر) و عمیق(بیش از ۵۰۰ متر) حفر می گردد.

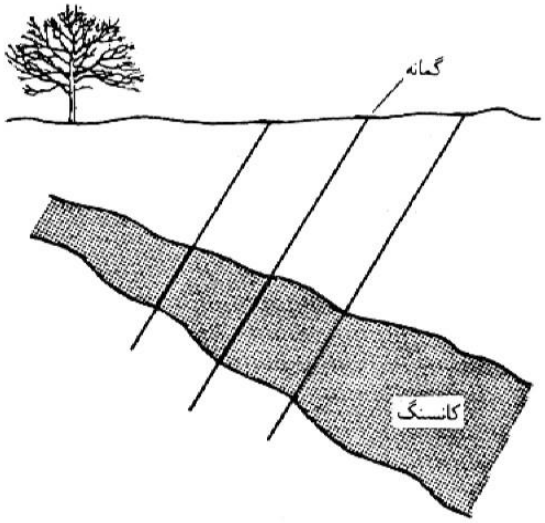
شبکه گمانه های اکتشافی

- ساده ترین شبکه گمانه های اکتشافی، یکسری نیمرخ های اکتشافی است که در امتداد عمود بر گسترش عمومی ماده معدنی توجیه شده اند. این شبکه برای کانسارهای لایه ای شکل مناسب است و در مورد کانسارهای توده ای، معمولاً شبکه مربعی، یعنی شبکه ای که از دو دسته نیمرخ های عمود بر هم بدست می آید، استفاده می کنند(شکل۴-۱۰).



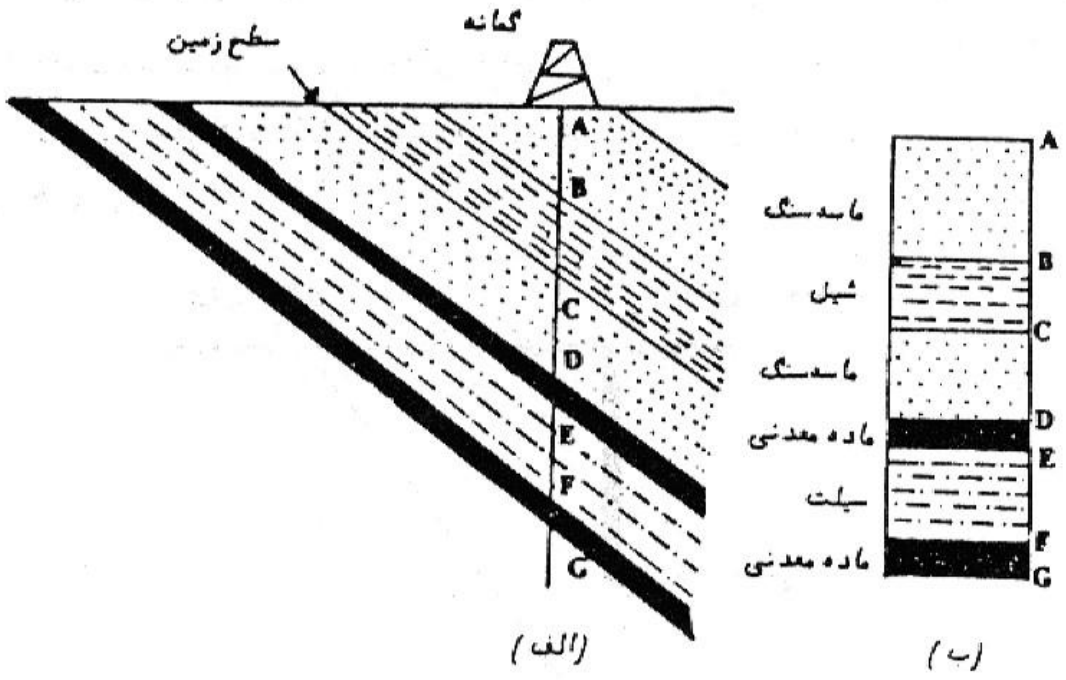
شکل ۴-۱۰-موقعیت گمانه‌ها در مورد کانسارهای توده‌ای یا افقی

ادامه

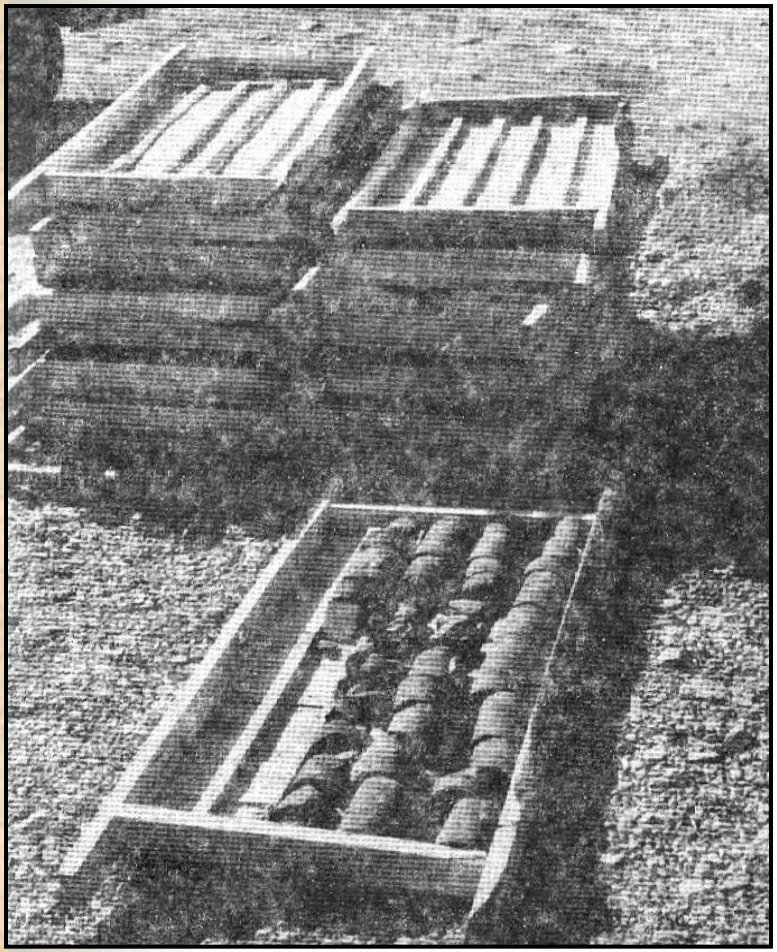


- در مورد گمانه های شیب دار، بایستی موقعیت گمانه ها را روی نیمرخهای اکتشافی به ترتیبی تعیین کرد که در عمق مورد نظر، لایه را قطع کند.

- اگر مقطع ماده معدنی و سنگهای اطراف آن را در امتداد نیمرخ اکتشافی مورد نظر با مقیاس مناسب رسم کنیم(شکل ۴-۱۲-الف)، از روی آن می توان ستون قائم یا راهنمای حفر گمانه را تهیه نمود.



شکل ۴-۱۲- تهیه پروژه گمانه

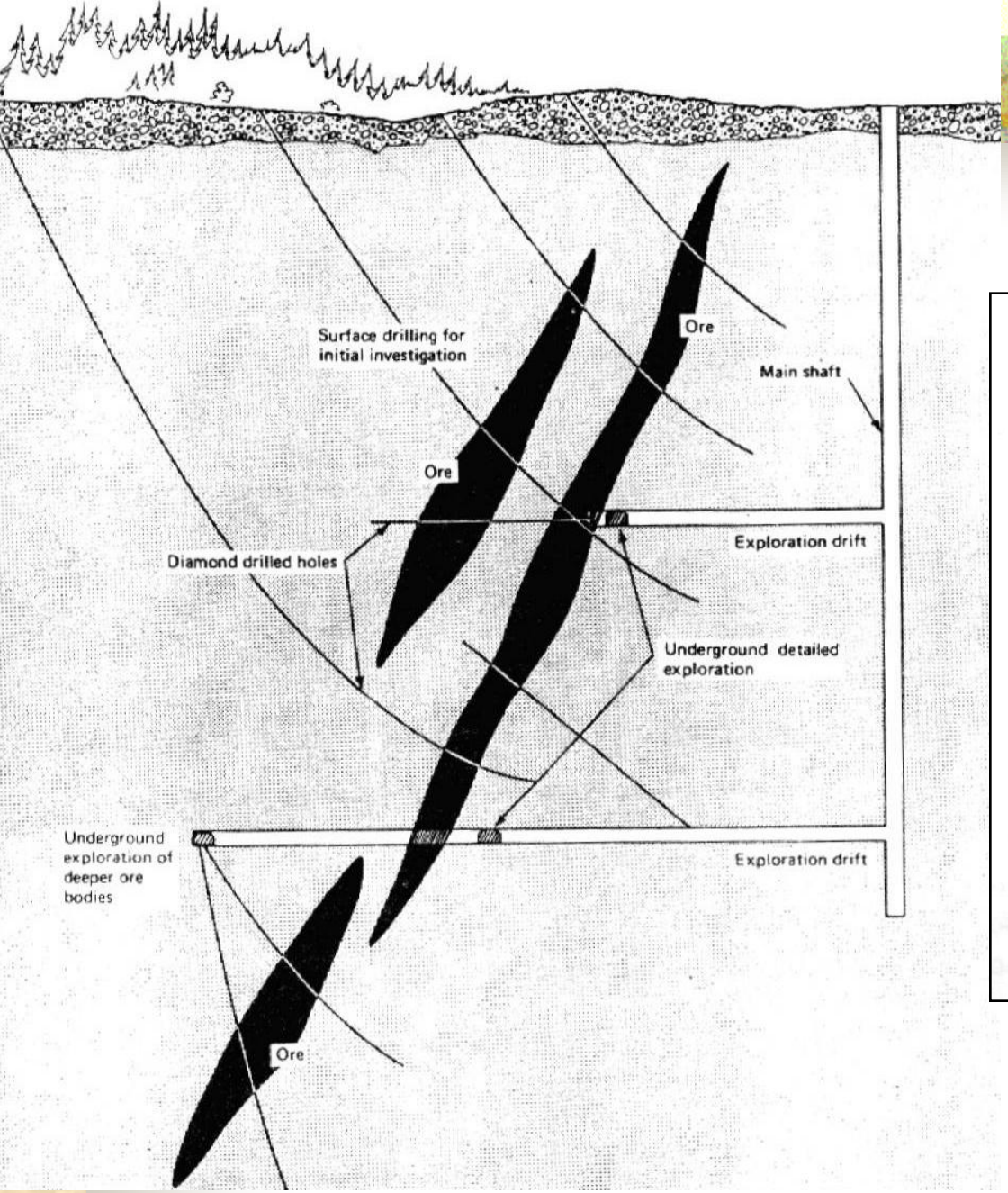


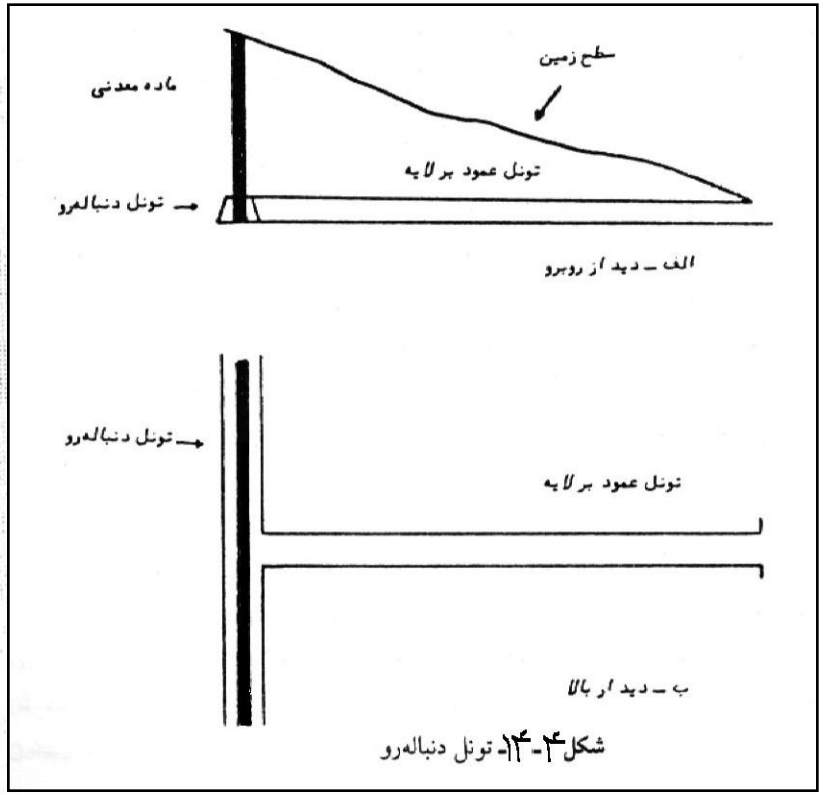
- پس از پر شدن مغزه گیر، که در انتهای ستون لوله های حفاری قرار دارد(شکل قبل)، آن را بالا کشیده و مغزه های داخل آن را به دقت تخلیه می کنند. مغزه ها را با ترتیب عمق در جعبه های چوبی مخصوص قرار داده و سپس آنها را برداشت و مشخصات را ثبت می کنند.

انواع تونل ها

- استفاده از تونلهای اکتشافی صرفاً در مناطقی که پستی و بلندی زیادی وجود داشته باشد، معمول است.

- عمود بر لایه(Adit)
- موازی لایه یا امتدادی(Strike)
- دنباله رو(Drift)
- میان بر(Cross cut)
- چاه(Shaft)





شکل ۴-۱۴- تونل دنباله‌رو

فصل پنجم
نمونه برداری

انواع نمونه و بیان چگونگی نمونه برداری برای نمونه هایی که معرف مشخصات ذخیره باشند

روشهای نمونه برداری و خطاهای آن

۵-۱- انواع نمونه

- **نمونه های موزه ای**: این نمونه ها، توسط معدنکاران در حین عملیات استخراجی بدست می آید و ارزش آنها به علت زیبایی است. گرچه این نمونه ها از نظر کانه جالب و غنی هستند ولی بیانگر واقعیت معدن نمی باشند.
- **نمونه های معدنی** : این نوع نمونه ها در حقیقت راهنمای اصلی برای مکتشف، استخراج کننده و ارزیاب است و آنها را به نحوی انتخاب می کنند که هر نمونه معرف منطقه ای باشد که از آنجا برداشت شده است(یعنی نمونه مبین و معرف باشد).

ادامه

- برداشت یک نمونه، یعنی نمونه برداری بخش کوچکی از ماده که معرف مجموعه آن باشد.
- در معادن فلزات گرانبها این مقدار به ارزش عیاری(Assay) معروف می باشد و مقدار آن برابر ارزش طلا، نقره یا فلزات گرانبهای دیگری است که در کانسنگ وجود دارد.
- در معادن آهن، نمونه برداری به منظور تجزیه کامل کانسنگ که شامل تعیین آهن، منگنز، سیلیس، اکسید آلومینیوم، آهک، منیزیم و ... است، انجام می گیرد.

ادامه

- در معادن زغالسنگ، نمونه عبارت است از قطعه ای که به کمک آن بتوان ارزش حرارتی، کربن ثابت، کربن کل، مواد فرار، مقدار خاکستر، کیفیت کک شدن و هر گونه عنصر زیان آور مانند گوگرد و ژیپس یا پیریت در لایه زغالسنگی را تعیین کرد.
- بطور کلی منظور از نمونه برداری تعیین تمام مشخصات فیزیکی یا شیمیایی است که در ارزش کانسنگ یا کانی موثراند.

روشهای نمونه برداری

- نمونه برداری شیاری (Channel sampling)
- ” ” لب پری (Chip sampling)
- ” ” لایه ای (Layer sampling)
- ” ” کلی یا حجیم (Bulk sampling)
- ” ” چالی(Blasthole sampling)
- ” ” کلوخه ای(Grab sampling)
- ” ” رسوبات رودخانه ای و آبراهه ای برای مطالعه کانی سنگین

سوابقی که در نمونه برداری بایستی ثبت گردد، شامل موارد ذیل است:

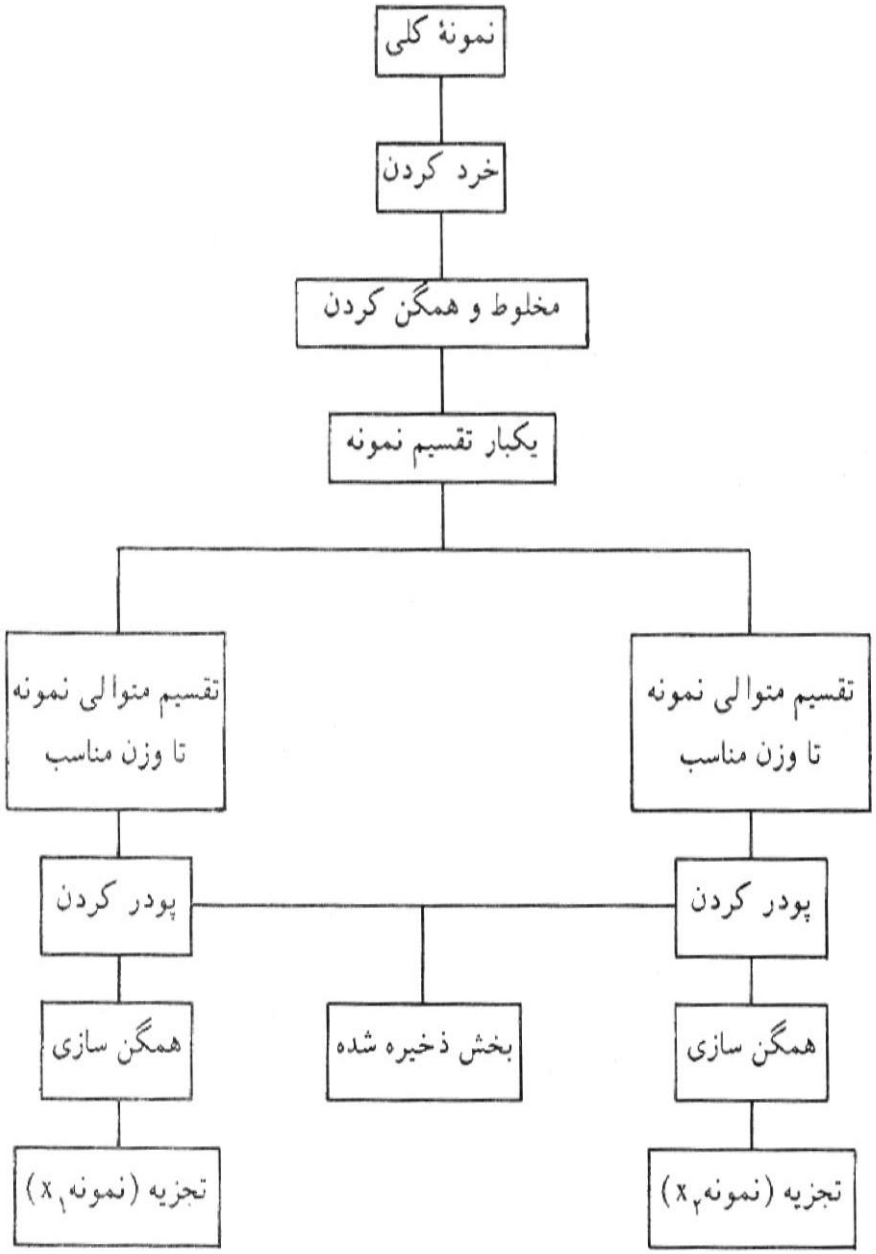
- نوع نمونه و اندازه آن
- ضخامت یا عرض رگه ها
- فواصل بین نمونه های برداشت شده
- محل برداشت
- تاریخ
- سایر اطلاعات لازم جهت بایگانی

نمونه تحویلی به آزمایشگاه

- این است مقدار نمونه ای که در آزمایشگاه عیار سنجی می شود:

آماده سازی نمونه ها

- آماده سازی شامل کلیه مراحلی است که طی آنها نمونه پس از خشک کردن و پودر شدن به صورت یک نمونه هموژن در می آید:



فصل ششم

محاسبه ذخیره به روش سنتی

قوانین محاسبه ذخیره

اطلاعات لازم برای تخمین ذخیره

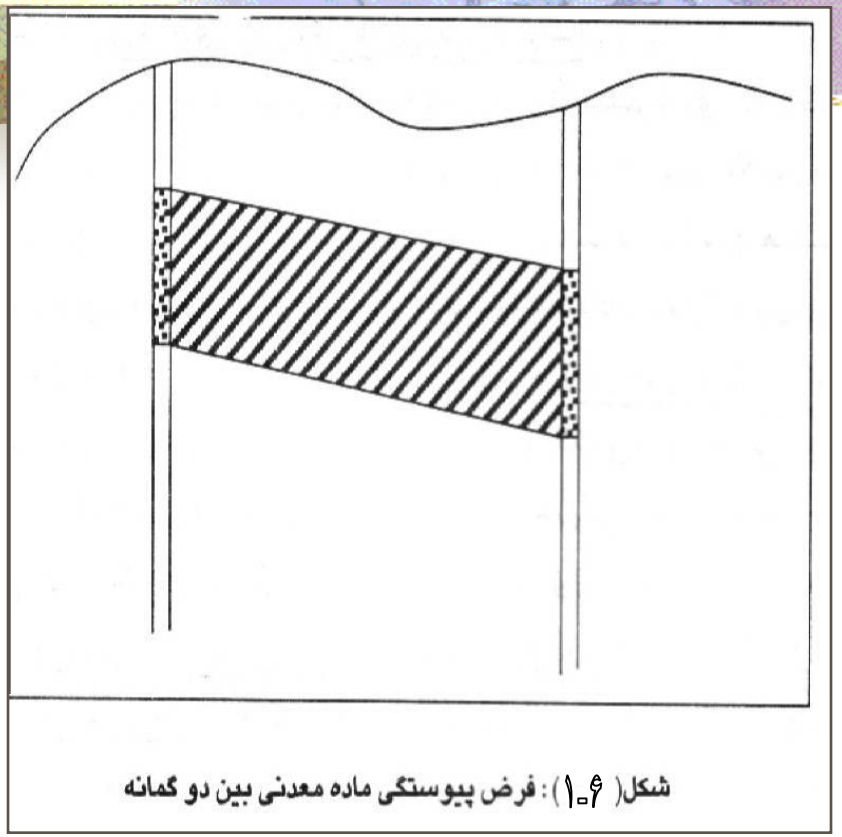
تقسیم بندی ذخایر معدنی

مقدمه

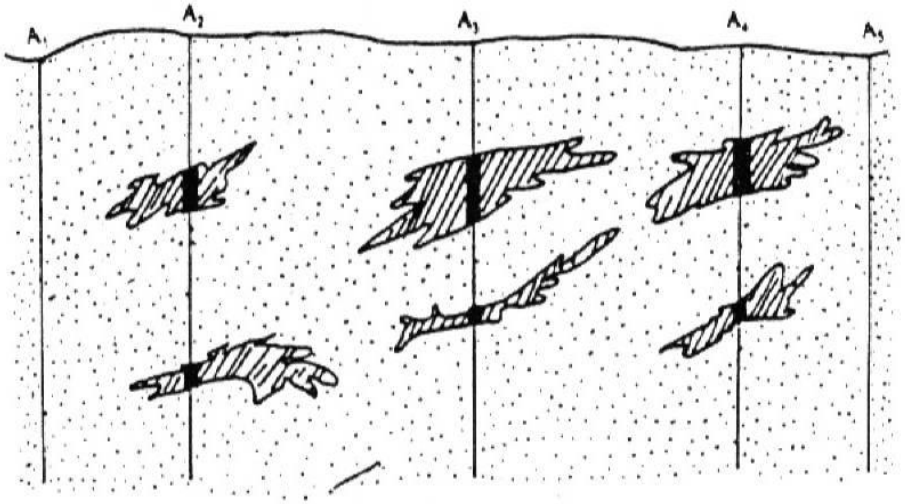
- محاسبه ذخیره کانسار یکی از اهداف عملیات اکتشاف است و تنها پس از این مرحله می توان در مورد امکان استخراج کانسار قضاوت کرد.
- ذخیره ماده معدنی براساس اطلاعات محدود محاسبه می شود، بنابراین توأم با خطا خواهد بود.
- انتخاب روش محاسبه ذخیره، تابع وضعیت ماده معدنی و مشخصات کارهای اکتشافی است. بهتر است ذخیره با چند روش محاسبه و میانگین آنها مدنظر قرار گیرد.

فرضیات محاسبه ذخیره

- برای محاسبه ذخیره، بایستی شکل ماده معدنی تجسم شود. فرضیاتی که در تعیین نوع گسترش مواد معدنی در عمق به کار می رود، شامل موارد ذیل است:
- فرض اول: تداوم
- فرض دوم: تغییرات تدریجی
- فرض سوم: نزدیک ترین نقاط



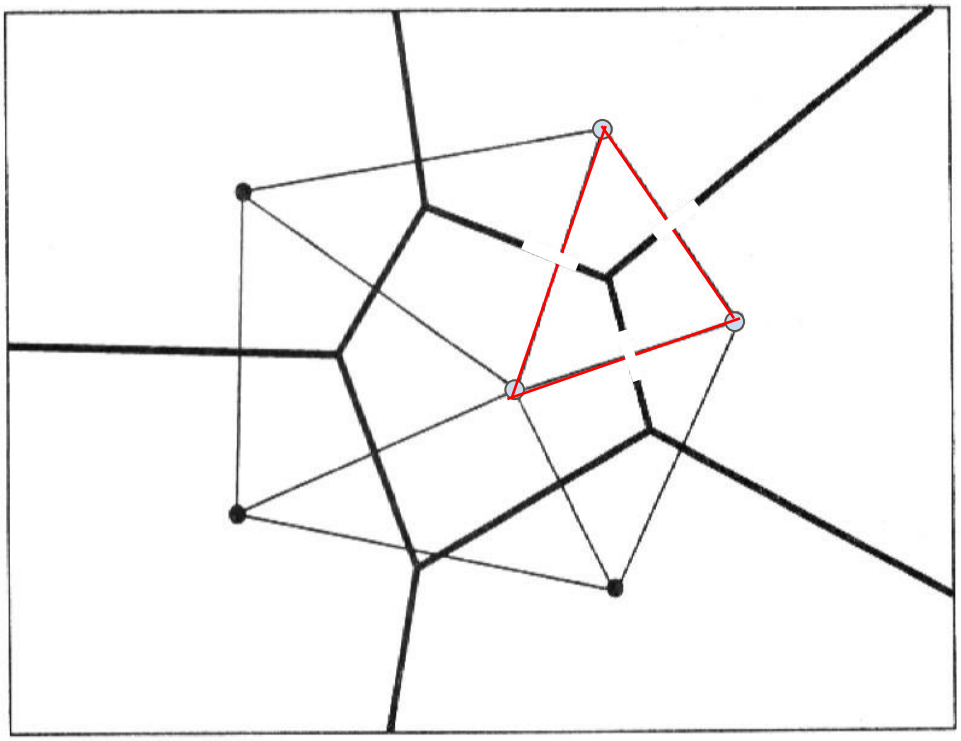
شکل(۶ـ۱) : فرض پیوستگی ماده معدنی بین دو گمانه



شکل ۶ـ۲ـ تعبیر دیگری از مقطع ماده معدنی

نتیجه

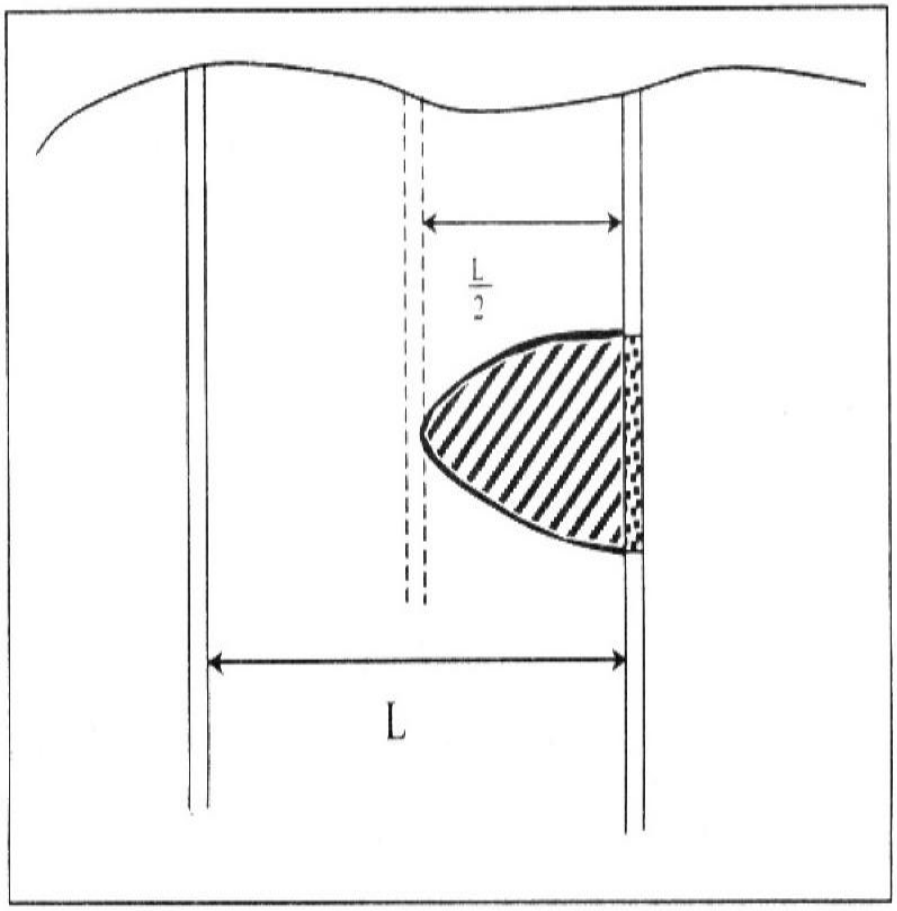
- در روش سنتی، شعاع تأثیر براساس ویژگیهای تغییرپذیری عیار و توزیع فضایی آن در جهات مختلف تعیین نمی شود، بلکه تابع ابعاد شبکه برداشت ها است. از این رو اگر توزیع گمانه ها در محدوده یک کانسار را در نظر بگیریم، محدوده تأثیر هر گمانه به صورت یک چندضلعی که اضلاع آن عمود منصف های خطوط واصل بین گمانه مورد نظر و گمانه های واقع در همسایگی آن است، تعریف می شود(شکل۶-۷).



شکل(۶-۷) : محدودهٔ تأثیر کمانه‌های واقع در یک کانسار

درون یابی

به تخمین یک پارامتر در نقطه ای که در اطراف آن داده وجود دارد، درون یابی گفته می شود. اگر ماده معدنی در یک گمانه قطع شده باشد و در گمانه دیگر قطع نشده باشد(شکل۶-۶)، ماده معدنی از گمانه اول تا وسط فاصله بین دو گمانه گسترش داده می شود.



شکل(۶-۶) : فرض شعاع تأثیر مساوی گمانه‌ها

برون یابی

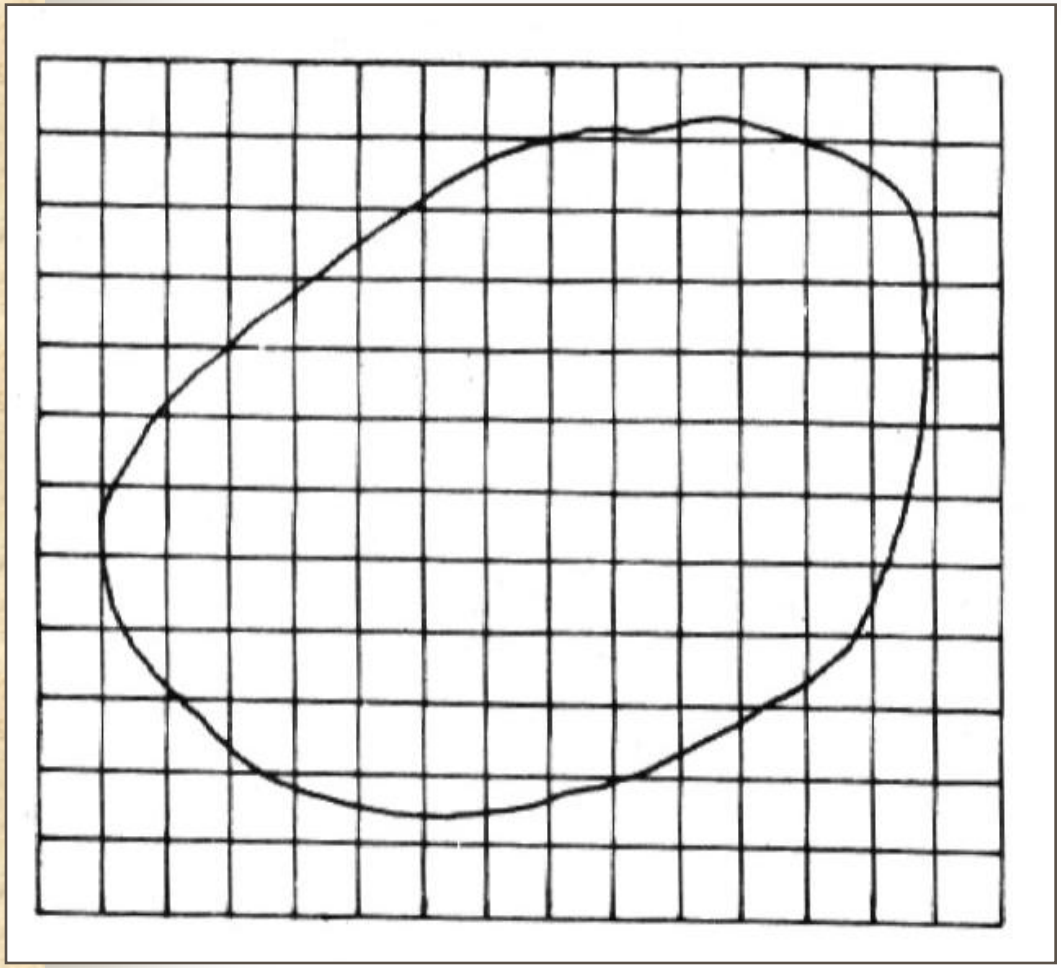
- گمانه سمت چپ را در نظر می گیریم. در سمت چپ این گمانه هیچ گونه داده ای در دسترس نمی باشد. در این گونه موارد باید تخمین به صورت برون یابی انجام شود. مقدار برون یابی معمولاً برابر $1/4$ فاصله بین داده ها منظور می شود. مثلاً در شکل اطلاعات در فاصله [موجود است بنابراین ماده معدنی را تا فاصله $l/4$ از گمانه سمت چپ می توان گسترش داد.

مشخصه های اصلی در محاسبه ذخیره

- وزن ماده معدنی عبارت از : $P=WC$ که در آن W وزن سنگ معدن و C عیار ماده معدنی است
- از طرفی: $W=V\gamma$ که در آن V حجم و γ وزن مخصوص ماده معدنی است
- حجم ماده معدنی از رابطه $V=St$ بدست می آید که در آن S سطح مقطع ماده معدنی و t ضخامت واقعی آنست

اطلاعات لازم برای تعیین ذخیره

- ضخامت، مساحت،وزن مخصوص،عیار



- در روش **شبکه بندی** سطح مورد نظر را با شبکه ای از مربع می پوشانند. با شمارش مربعها مساحت منحنی بدست می آید. در این شمارش تعداد مربعهای ناقص را نصف کرده و با تعداد مربعهای کامل جمع می کنند.

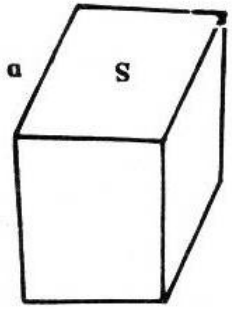
تعیین حجم

- برای تعیین وزن سنگ معدن بایستی حجم ماده معدنی محسبه گردد. مثالهایی از فرمولهای محاسبه حجم اشکال هندسی دیده می شود.

مکعب

$V = S.a$

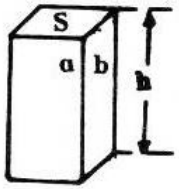
$V = a^3$



مکعب مستطیل

$V = S.h$

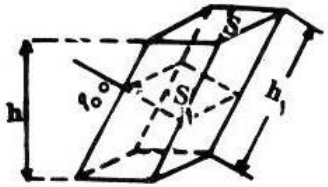
$V = a.b.h$



متوازی‌السطوح

$V = S_1.h_1$

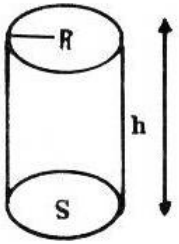
$V = S.h$



استوانه

$V = S.h$

$V = \pi R^2 h$



تعیین وزن مخصوص

- تعریف: وزن واحد حجم هر جسم به نام وزن مخصوص خوانده می شود.
- روش اندازه گیری:

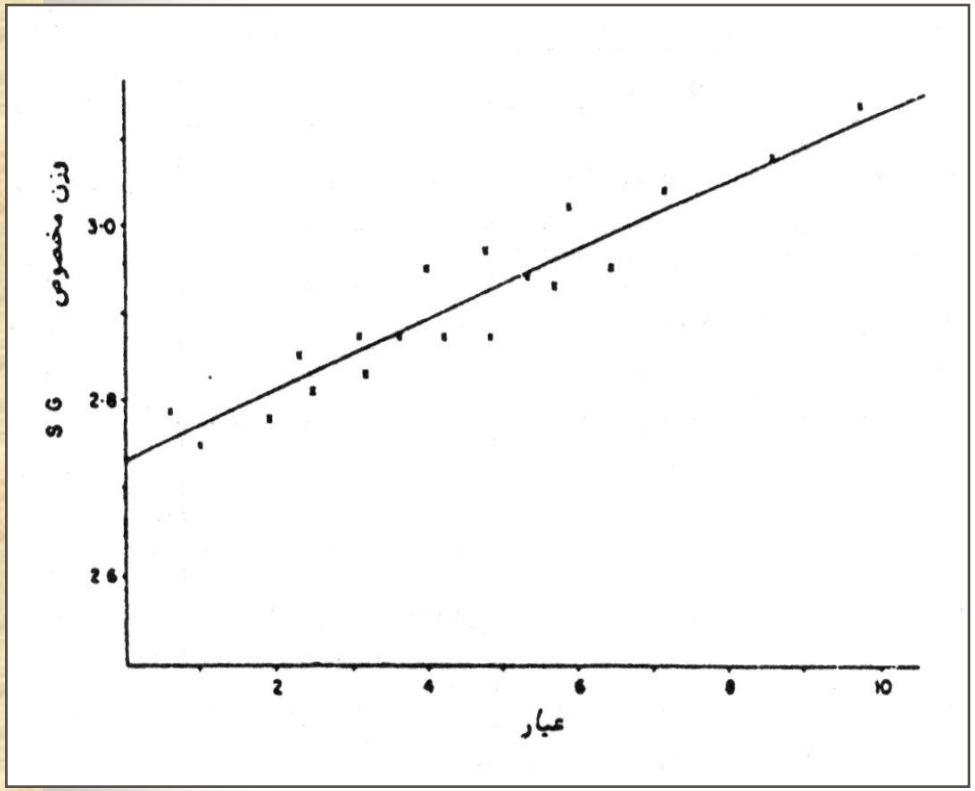
$$\text{وزن مخصوص نسبی} = \frac{\text{وزن نمونه در هوا}}{\text{وزن نمونه در آب - وزن نمونه در هوا}}$$

ادامه

- وزن مخصوص سنگها به دو صورت نمونه خشک و اشباع شده بیان می شود. در سنگهایی که تخلخل کمی دارند، این دو وزن مخصوص تقریباً مساوی است اما در مورد سنگهایی با تخلخل زیاد، تفاوت آنها قابل توجه است. از آنجا که قسمت عمده کانسار زیر سطح ایستابی واقع است، بنابراین از وزن مخصوص خشک استفاده می گردد.
- **وزن مخصوص بسته به عیار ماده معدنی تغییر می کند.**

معمولاً وزن مخصوص سنگ معدن را با توجه به عیار متوسط آن محاسبه می کنند.

- اگر تغییرات وزن مخصوص سنگ معدن نسبت به عیار رابطه خطی نشان دهد، با استفاده از روش آماری "کمترین مربعات" می توان معادله خط را به صورت y=ax+b نوشت. با جاگذاری عیار متوسط به جای x، وزن مخصوص کانسنگ محاسبه می شود.



محاسبه عیار

- عیار در تعیین ذخیره کانسارهای فلزی یکی از مهمترین ویژگیهاست و بایستی با دقت هر چه بیشتر محاسبه گردد.
- برای تعیین عیار متوسط منطقه، باید توزیع فراوانی ماده معدنی در داخل کانسار معلوم شود(توزیع طبیعی یا لگاریتمی).
- اگر توزیع لگاریتمی باشد(مثلاً در کانسارهای طلا و مولیبدن)، استفاده از متوسط گیری ریاضی برای محاسبه عیار متوسط کانسار نتایج نادرستی به دست می دهد.

عیار حد

- قبل از محاسبه ذخیره، بایستی حداقل عیار مورد قبول را که به عیار حد موسوم است، تعیین نمود. معمولاً این عیار کمی پائین تر از عیار مینیمم اقتصادی در نظر گرفته می شود.
- عیار حد کانسار بایستی با دقت و با توجه به تمام مسائل انتخاب شود زیرا این عیار نقش مهمی در میزان ذخیره و ارزش اقتصادی کانسار به عهده دارد(جدول۶-۲).

جدول ۶-۲- تغییرات ذخیره یک کانسار نیکل به ازای عیار حدهای مختلف

عیار حد - درصد	ذخیره - میلیون تن	عیار متوسط - درصد
۱	۳	۲/۴
۰/۵	۱۰	۱/۳

تقسیم بندی ذخایر معدنی و مزایای آن

- نظر به اینکه تعیین ذخیره کانسار براساس داده های اکتشافی محدود انجام می گیرد؛ لذا بسته به نحوه توزیع کارهای اکتشافی، اعتبار این محاسبه متفاوت است و بدین ترتیب بایستی ذخایر را در رده های مختلف طبقه بندی کرد.
- مزایای تقسیم بندی:

أ- به منظور ارزیابی ذخیره معدنی

ب- طراحی معدن جهت استخراج

ج- برنامه ریزی دراز مدت

ذخایر Reserves

به توده های معدنی درحال استخراج، توده های معدنی که موجودیت آنها بوسیله حفاری مشخص گردیده و توده های معدنی که وجودشان در مناطق خاصی با اطمینان حدس زده شده است، اطلاق می گردد.

کاربرد ذخیره Bبرای تخمین مخارج معدن و طرح توسعه آن

قطعی A

احتمالی B

ممکن C

کاربرد C1جهت تدوین طرح اکتشاف تفصیلی و توسعه طرحهای دراز مدت

کاربرد C2برای پی جویی کانسار در آینده

ذخایر صنعتی شامل گروه A، BوC1

ذخیره زمین شناسی شامل گروه C2

تخمین ذخیره بر اساس کارهای اکتشافی شبیه تجسم محتویات یک اتاق بوسیله سوزن است.

Imagine several knitting needles penetrating this room

خطای گروه های مختلف ذخایر معدنی

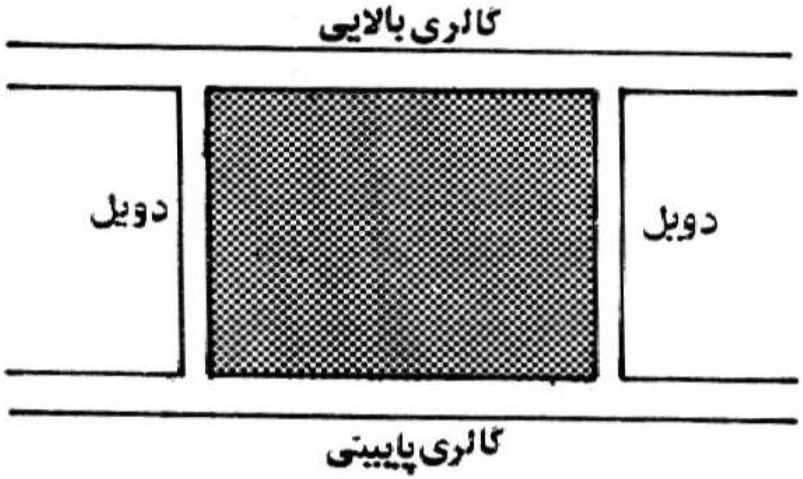
- درجه اعتبار، مهمترین عامل طبقه بندی ذخایر معدنی است؛ بنابراین بایستی بتوان میزان خطای مجاز را در مورد هر گروه از ذخایر یاد شده تعیین کرد.
- یکی از روشهای تعیین درجه اعتبار ذخیره حساب شده، آن است که ذخیره کانسار را با چند روش مختلف محاسبه و آنها را با هم مقایسه کنیم. هر چقدر نتایج حاصله از روشهای مختلف به هم نزدیکتر باشد، به همان نسبت درجه اعتبار ذخیره محاسبه شده بیشتر است.

میزان خطای مجاز برای انواع ذخایر معدنی

گروه ذخیره A	15تا ۲۰ درصد
گروه ذخیره B	۲۰ تا ۳۰ درصد
گروه ذخیره C_1	۳۰ تا ۶۰ درصد
گروه ذخیره C_2	۶۰ تا ۹۰ درصد

تقسیم بندی متداول در ایران

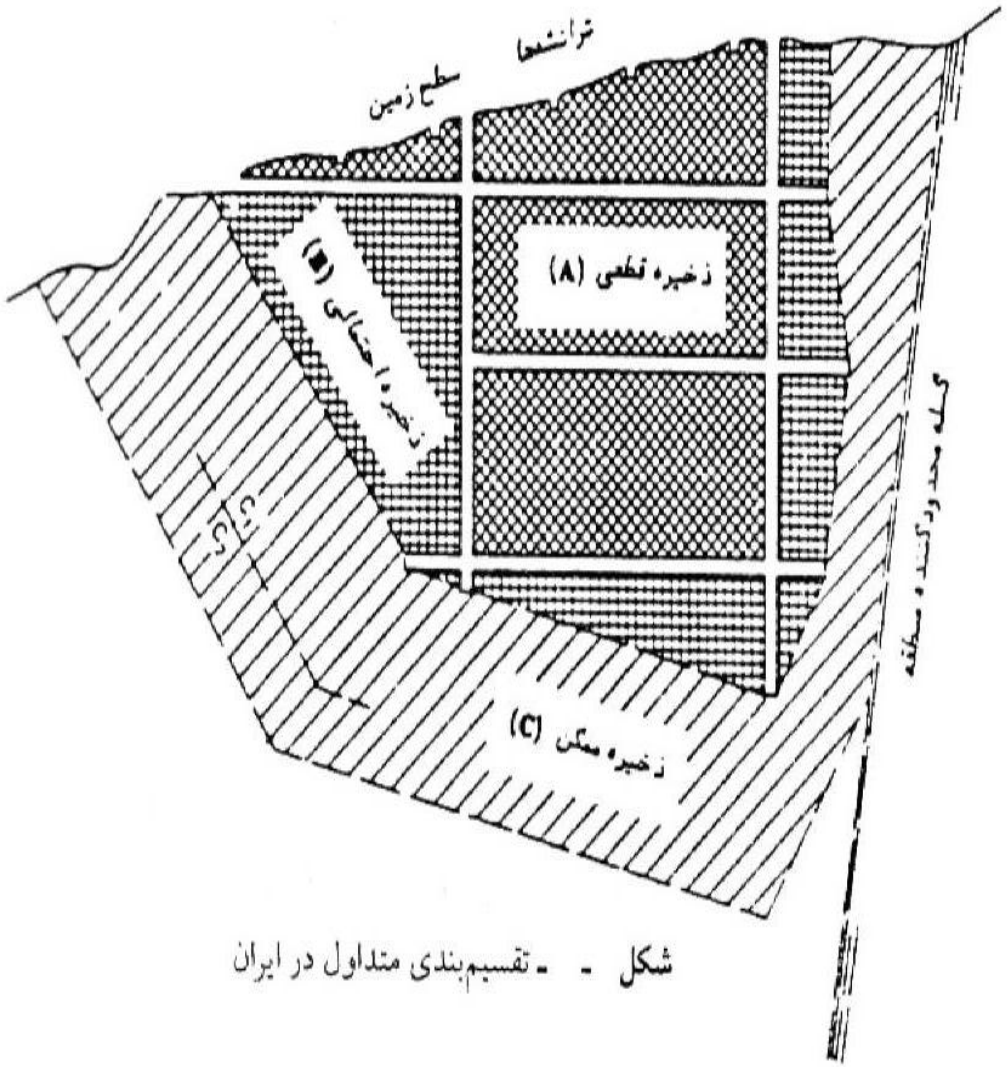
۱. ذخیره قطعی(A): قسمتی از ماده معدنی که از چهار طرف بوسیله تونلهای دنباله رو و دویل اکتشاف شده باشد.



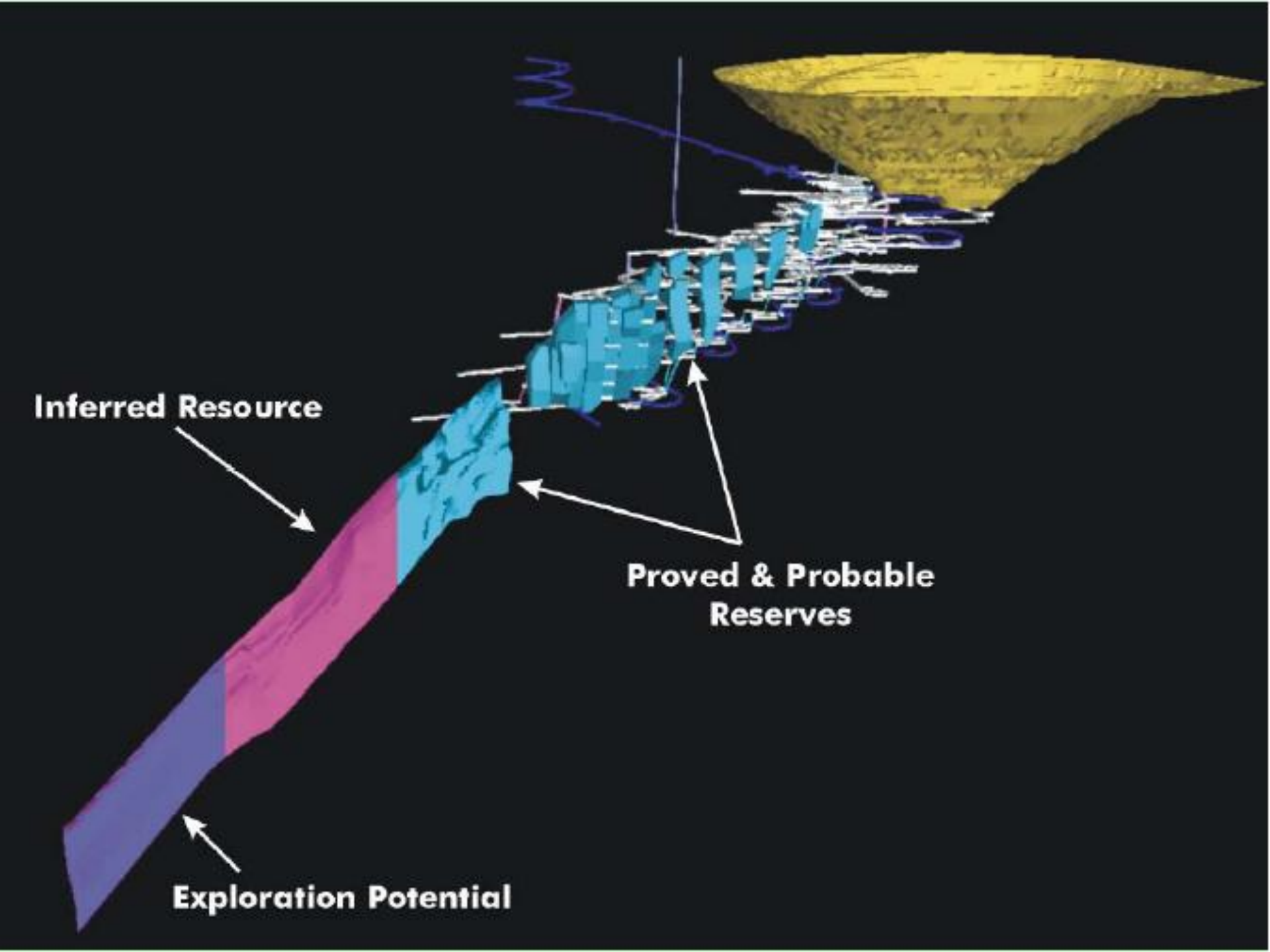
شکل - نمایش ذخیرهٔ قطعی در یک معدن زیرزمینی

۲- ذخیره احتمالی(B):
قسمتهایی که از دو طرف بوسیله تونلهای اکتشافی ، اکتشاف شده باشد.

۳- ذخیره ممکن(C):
قسمتهایی که تنها بوسیله گمانه ها اکتشاف شده باشد. بخشهای کم عمق تر که بوسیله شبکه انبوه تری از گمانه ها قطع شده اند، در گروه فرعی C_1 و بخش های عمیق در گروه C_2جای می گیرند.



شکل - تقسیم‌بندی متداول در ایران


Inferred Resource
Proved & Probable Reserves
Exploration Potential

روشهای محاسبه ذخیره

اختلاف اساسی روشها، نحوه تقسیم منطقه به قطعه ها و محاسبه ضخامت و عیار در آنهاست.

- روش متوسط گیری ریاضی
- قطعه های زمین شناسی
- قطعه های معدنی
- روش مقاطع
- روش مثلث
- روش چندضلعی
- روش خطوط تراز

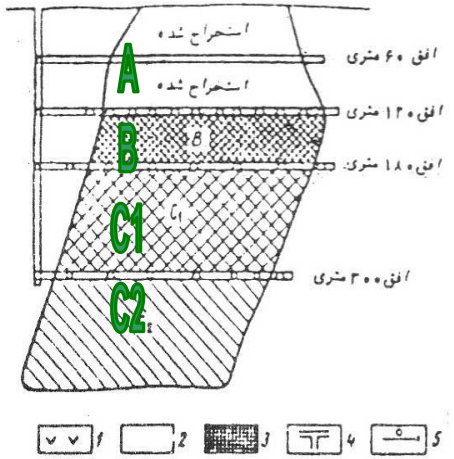
مقاطع افقی

$$V = \frac{S_1+S_2}{2} h + \frac{S_2+S_3}{2} h + \ldots + \frac{S_{n-1}+S_n}{2} h$$

و یا :

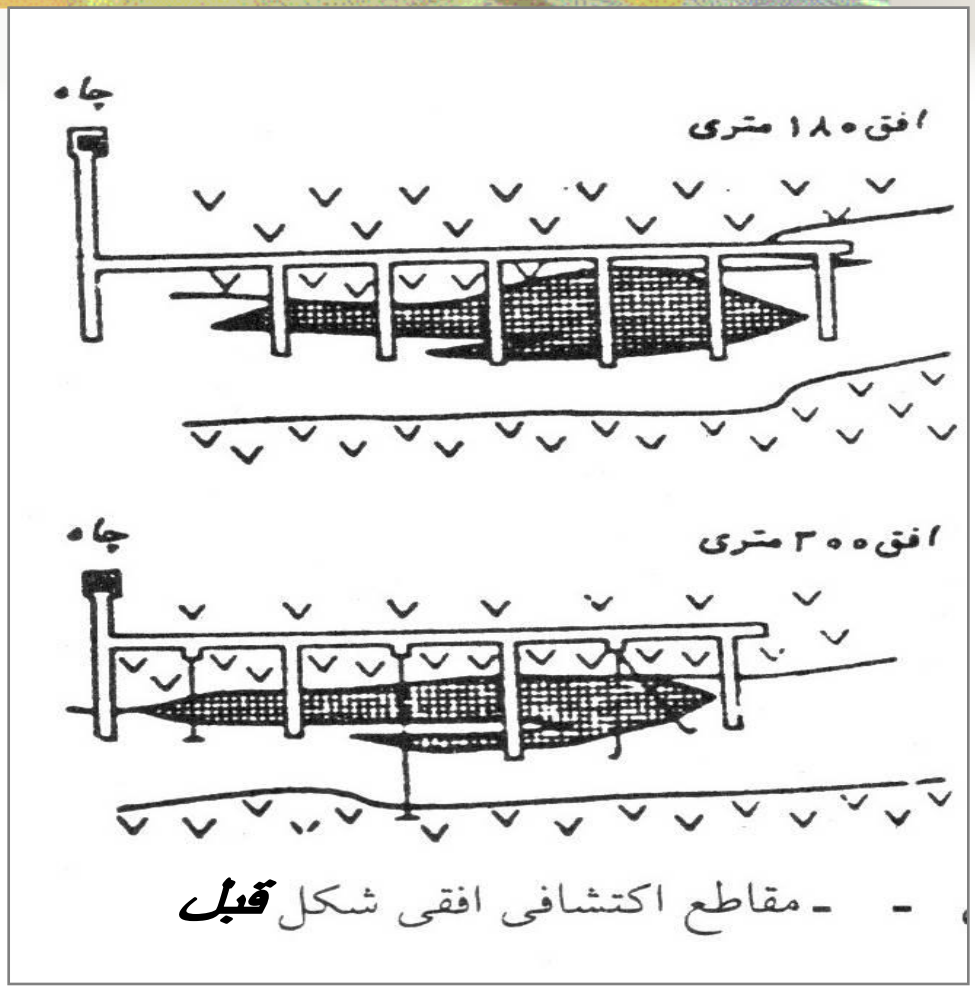
$$V = h \left(\frac{S_1+S_2}{2} + S_2+S_3+\ldots+S_{n-1}\right)$$

در این مورد نیز اگر اختلاف در سطح مجاور بیشتر از ۳۰٪ باشد از رابطه ۶-۲۳ استفاده می‌کنند.



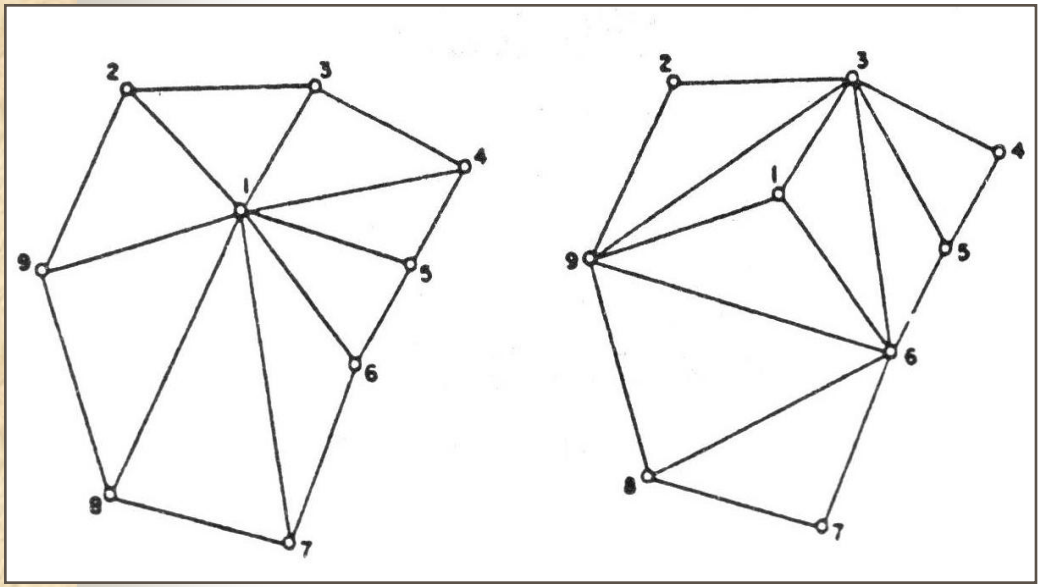
۱ـ دیوریت ۲ـ دیوریت دگرسان شده در اثر محلولهای گرمابی
۳ـ دیوریت طلادار (ماده معدنی) ۴ـ کارهای اکتشافی زیرزمینی
۵ـ گمانه‌های افقی که از داخل تونلها حفر شده است .

- در مواردی که ماده معدنی حالت قائم داشته و بوسیله کارهای زیرزمینی (چاه قائم، تونلهای امتدادی و میان برها) اکتشاف شده باشد، به کار می رود.



- مقاطع اکتشافی افقی شکل **قبل**

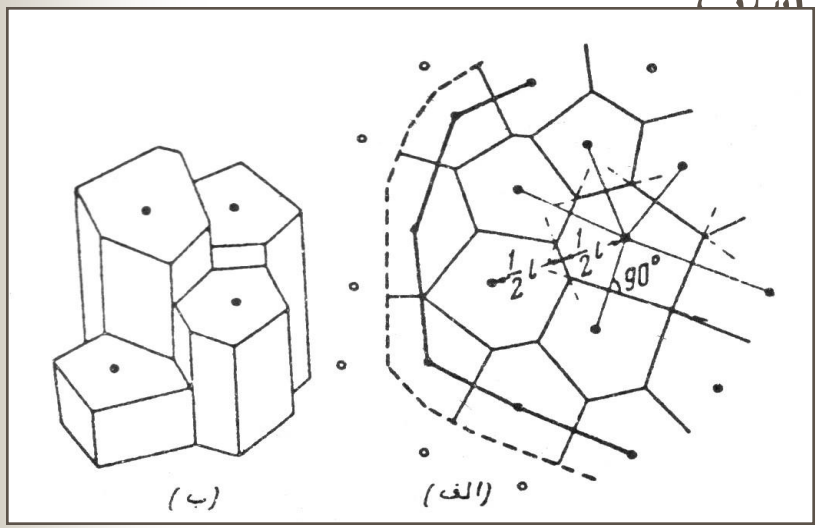
روش مثلثی



- در مـــواردی کـــه کانســـار بوسیله گمانه اکتشاف شده باشـد، بـا رسـم ویـژه بـین گمانـه ها، حجم ماده معدنی را می توان به منشورهایی با قاعده مثلث تقسیم کرد.
- $V=\frac{1}{3}(t_1+t_2+t_3)S$

روش چندضلعی

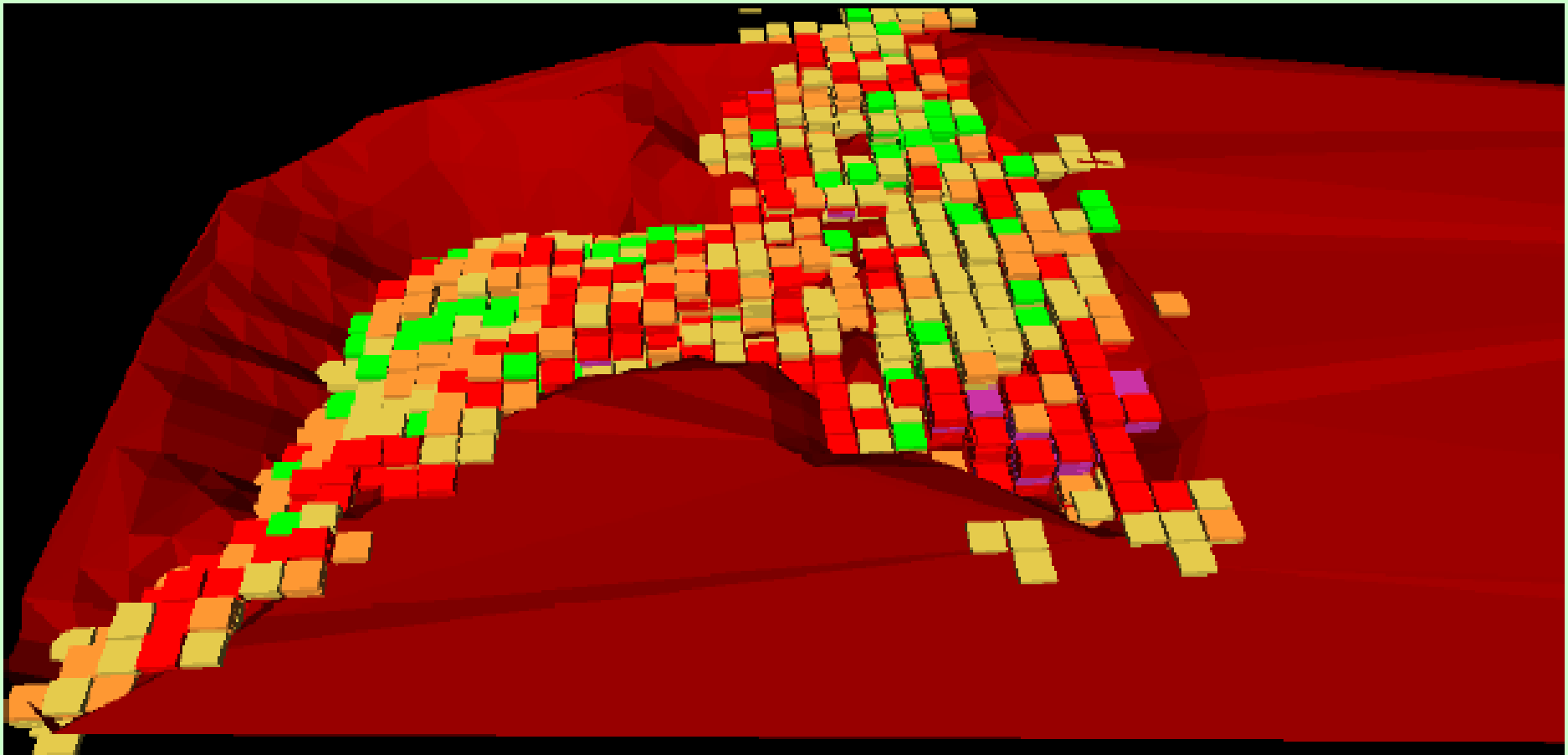
- در این روش ابتدا گمانه های مختلف را در روی نقشه به هم وصل و آنگاه عمود منصف این اضلاع را رسم می کنند. از مجموع این عمود منصف ها در اطراف هر گمانه چندضلعی هایی بوجود می آید. در واقع ماده معدنی به منشورهایی با قاعده چندضلعی تقسیم می شود که ارتفاع هر منشور، برابر ضخامت ماده معدنی در گمانه مرکزی آن است.



- $P=S_1t_1\gamma_1 C_1+ S_2t_2\gamma_2 C_2+\ldots+ S_nt_n\gamma_n C_n$

فصل هفتم
محاسبه ذخیره به روش زمین آمار

- Block modelling (e.g. Geostatistical)



مقدمه

- در آمـار کلاسـیک، فـرض آن اسـت کـه نمونـه هـا مسـتقل از یکدیگرند؛ بنابراین وجود یک نمونه، هیچ اطلاعی درباره نمونه بعدی به دست نمی دهد. اما در زمین آمار، نمونـه ها مستقل از هم نیستند و نمونه های مجاور تا فاصله معینی به طور فضایی به هم وابستگی دارند. این وابستگی فضایی را می توان به صورت مدل ریاضی تحت عنوان تغییرنما (واریوگرام)ارائه نمود.
- تغییر نما برای تشریح ارتباط فضایی بین عیار(یا هر مشخصه دیگر) نقاط مختلف کانسار به کار می رود و ابزار اساسی زمین آمار است.

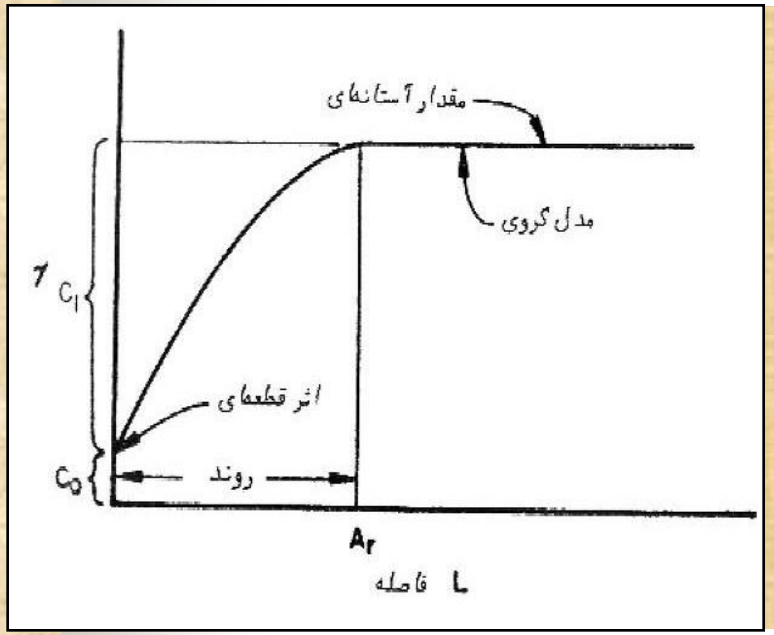
مراحل ارزیابی ذخیره به روش زمین آمار

أ- مطالعه و تعیین مدل تغییرنمای منطقه

ب- محاسبه مشخصات (مثل عیار و...) قطعه های مختلف کانسار به روش کریجینگ

ج- محاسبه واریانس تخمین

- **شعاع تأثیر یا دامنه تغییر نما**:یعنی فاصله ای که طی آن تغییر نما به حد ثابتی می رسد و به حالت افقی نزدیک می شود. در خارج ازشعاع تأثیر، نمونه ها دیگر به هم وابسته نیستند و مستقل از هم اند.
- **آستانه**: مقدار تغییرنما پس از آنکه به حد ثابتی رسید. آستانه برابر واریانس کلی تمام نمونه هایی است که در محاسبه تغییرنما به کار رفته اند. شاخصی برای بیان عدم قطعیت ناشی از تغییرات عیار در فاصله hاست.



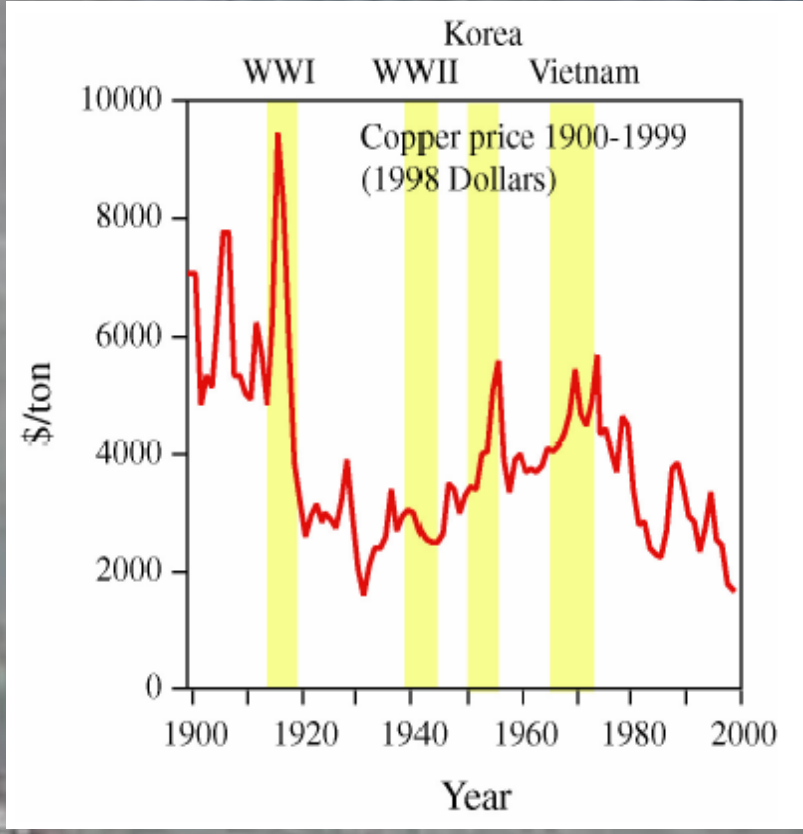
- **اثرقطعه ای**: مقدار تغییر نما در مبدأمختصات یعنی به ازای h=0. در حالت ایده آل بایستی صفر باشد زیرا دو نمونه که از نقطه واحدی گرفته شده اند، باید عیار یکسانی داشته باشند.

روش کریکینگ

- برای تخمین عیار هر قطعه به عنوان تابع خطی از نمونه های موجود در حوالی آن، از روش کریکینگ استفاده می شود. بر خلاف روشهای سنتی که عیار یک قطعه از متوسط گیری ریاضی عیار نمونه های داخل آن قسمت بدست می آمد، در این روش به هر یک از نمونه های داخل و خارج قطعه، وزن آماری متفاوتی نسبت داده می شود.

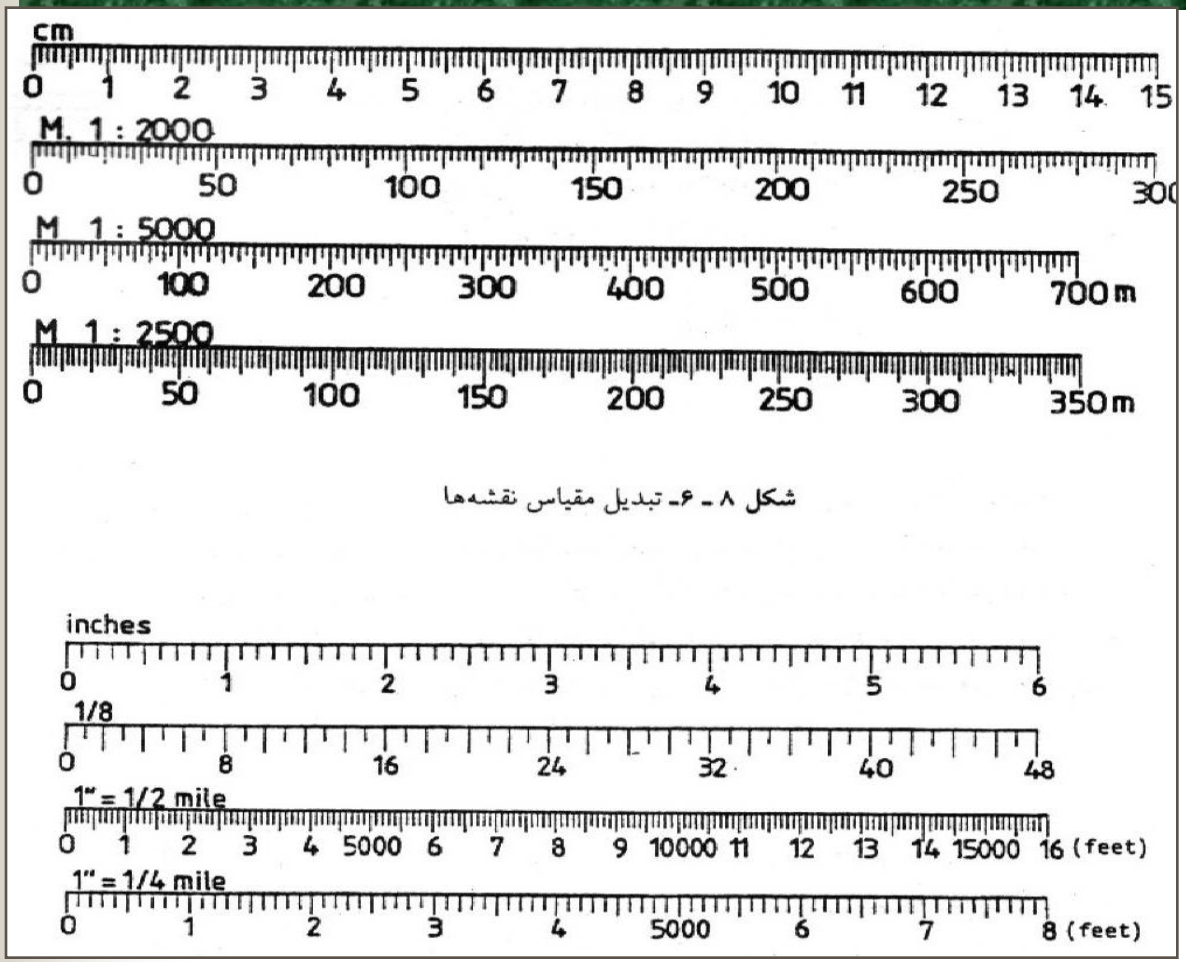
فصل هشتم

ارزیابی اقتصادی کانسار



مقدمه: زمین شناسان اکتشافی بایستی با تبدیل مقیاس های مربوط به سیستم های اندازه گیری آمریکائی، انگلیسی آشنا باشند.

شامل تبدیل:



شکل ۸ ـ ۶ـ تبدیل مقیاس نقشه‌ها

- واحدهای طول، سطح، حجم و جرم
- واحدهای فلزات قیمتی
- واحد در کنسانتره ها
- واحدهای وزنی ویژه و سایر
- و مقیاس نقشه ها

سایر منابع مورد استفاده

- استوار، رحمت اله(۱۳۷۷)نقشه برداری زیرزمینی، انتشارات جهاد دانشگاهی امیرکبیر.
- بصیر، سید حسن (۱۳۷۵) مبانی معدنکاری، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان.
- حسنی پاک، علی اصغر(۱۳۷۱) نمونه برداری معدنی، انتشارات دانشگاه تهران.
- حسنی پاک، علی اصغر(۱۳۸۰) تحلیل داده های اکتشافی، انتشارات دانشگاه تهران.
- شهاب پور، جمشید(۱۳۸۱) زمین شناسی اقتصادی، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- و سایتهای اینترنتی.