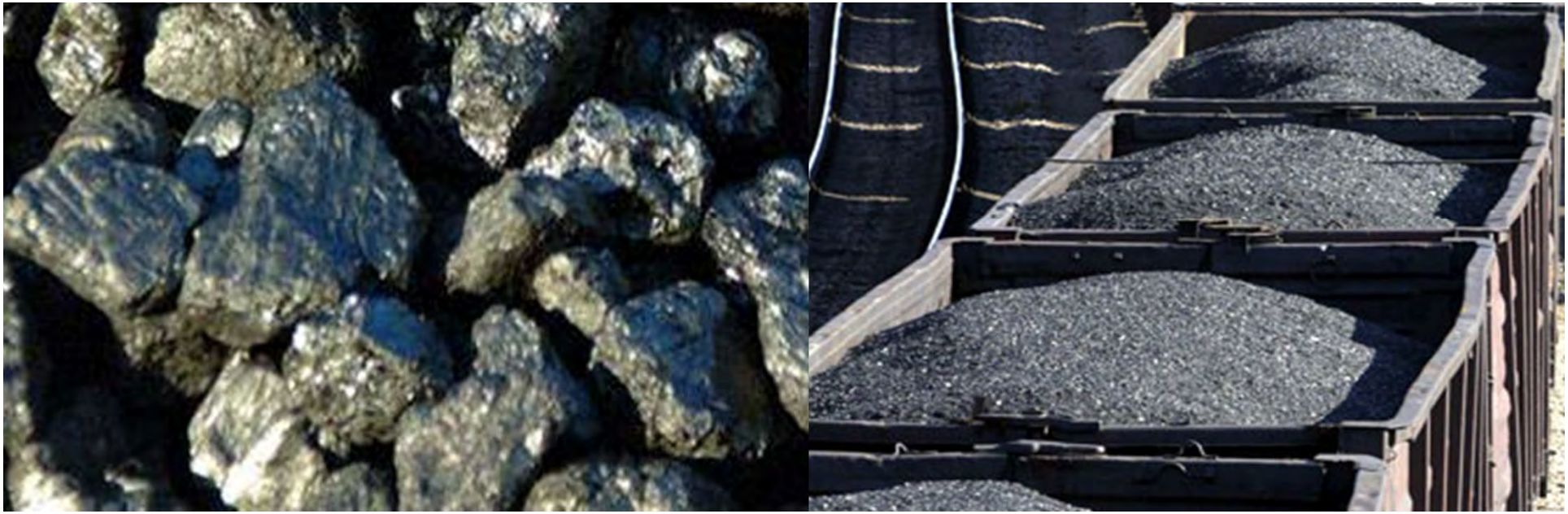
ویژگی های زغالسنگ



ویژگی های زغالسنگ

- **ویژگیهای زغالسنگ عبارتند از:**
  - ✓خواص شیمیایی
  - ✓خواص فیزیکی
  - ✓خواص مکانیکی

رطوبت زغال (Moisture)

- انواع رطوبت در زغالسنگ

1. رطوبت آزاد
2. رطوبت جذب شده
3. رطوبت ترکیبی

- اهمیت رطوبت

✓ ۳-۲ درصد در زغالسنگ بیتومینه
✓ تا ۴۵ درصد در لیگنیت
✓ کاهش استحکام زغالسنگ، افزایش تناژ زغال و کک، افزایش هزینه ترابری، کاهش ارزش حرارتی

رطوبت زغال (Moisture)

- اندازه گیری رطوبت

1. سرند کردن نمونه (زیر ۸ مش)
2. ۵۰۰ گرم نمونه
3. حرارت دهی در دمای ۱۰۵ تا ۱۱۰ درجه سانتیگراد به مدت یک ساعت ونیم.
4. توزین نمونه (بررسی اختلاف ۰/۰۵ درصدی)
5. تقسیم وزن رطوبت به وزن اولیه

مواد فرار زغال (Volatile matter)

- مواد فرار عبارتست از گازهایی که در اثر تقطیر زغال در فضای بسته و دمای ۹۵۰ درجه سانتیگراد از زغال خارج می شوند.

- این مواد شامل:

✓ گازهای گوگردی
✓ آمونیاک
✓ هیدروژن
✓ منوکسیدکربن
✓ متان
✓ قطران بخار
✓ دی اکسید کربن
✓ بخار آب

مواد فرار زغال (Volatile matter)

- میزان مواد فرار زغال بین ۸ تا ۵۱ درصد است.

- اندازه گیری مواد فرار:
- خردایش تا زیر ۶۰ مش
- حرارت دهی تا دمای ۸۷۰ درجه سانتیگراد به مدت ۷ دقیقه
- عملیات در ظرف دربسته و عدم حضور هوا انجام می شود.
- کسر وزن زغال پس از حرارت دهی از وزن اولیه
- کسر درصد رطوبت و خاکستر از عدد بدست آمده
- تقسیم وزن مواد فرار به وزن اولیه زغال

خاکستر زغال (Ash)

- مواد معدنی غیرقابل سوختن در زغال را که پس از سوختن به شکل ترکیبات اکسیدی و سولفاته باقی می مانند، خاکستر می نامند.

- خاکستر با کانیهای همراه زغال متفاوت است و ممکن است کمتر، برابر و یا بیشتر از کانیهای همراه زغال باشد.

- پارامتر اصلی تعیین کننده کیفیت زغالسنگ!

- حداکثر خاکستر قابل قبول در زغال، ؟ درصد است.

خاکستر زغال (Ash)

- مواد معدنی موجود در زغالسنگ از نظر زمان تشکیل شدن:

1. همزمان (Syngenetic)
2. ناهمزمان (Epigenetic)

- مواد معدنی (کانیها) موجود در زغال از نظر نحوه تشکیل شدن:
- کانیهای خارجی (Extraneous)
- کانیهای ذاتی (Inherent)

خاکستر زغال (Ash)

- مواد تشکیل دهنده خاکستر:

✓ کائولینیت، ایلیت، مونتموریلونیت، کلریت، کوارتز، ژیپس، روتیل، دولومیت، کلسیت و غیره

✓ پیریت

✓ عناصر نادر خاکی: اورانیوم، ژرمانیوم، بریلیوم، بور

خاکستر زغال (Ash)

- تعیین میزان خاکستر

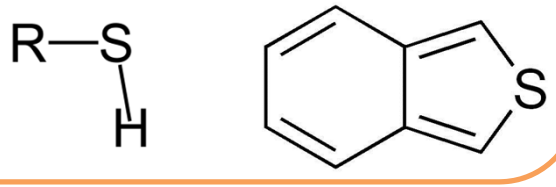
1. انتخاب یک تا دو گرم نمونه، با اندازه ۶۰ تا ۱۰۰ مش
2. نیم ساعت حرارت دهی در دمای ۸۵۰ درجه سانتیگراد
3. توزین نمونه (بررسی اختلاف ۰/۰۰۰۵ گرمی)

کانیهای رسی زغال (Clay minerals)

- کانیهای رسی، ۷۰-۶۰ درصد کانیهای موجود در زغال را تشکیل می دهند.
- رس در حضور آب متورم شده و ایجاد مشکل می کند.

گوگرد در زغال (Sulfur)

- پیوند کووالانسی با ترکیبات آلی
- ساختار زغال سنگ



- سولفات های فلزی
  آهن، کلسیم، باریم، ...
- قابل حل در آب
- حدود ۰/۱ درصد

- ماده معدنی
- جدا از ساختار زغال سنگ
- سولفیدهای فلزی — پیریت FeS_2
- تنوع پراکندگی زیاد

- مقادیر بسیار اندک
  (حدود ۰/۲ درصد)

گوگرد در زغال (Sulfur)

- میزان گوگرد بین ۰/۵ تا ۱۱ درصد تغییر می کند.

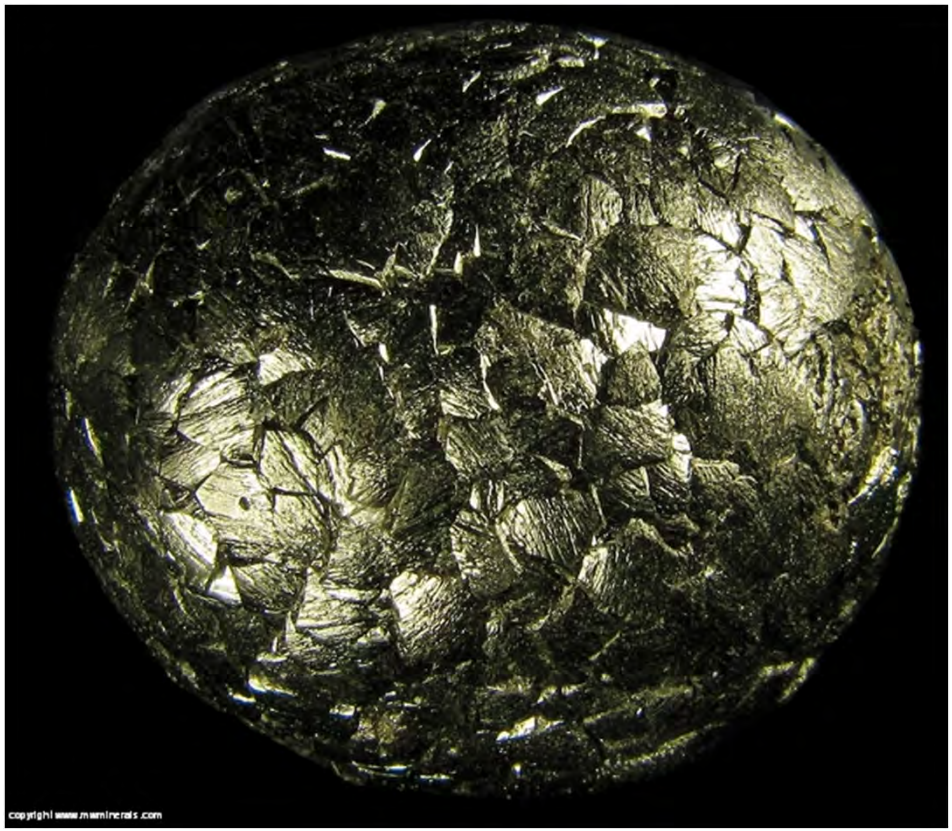
- انواع پیریت
  - ✓ رگه ای
  - ✓ عدسی
  - ✓ کروی
  - ✓ رشته گیاهی

گوگرد در زغال (Sulfur)

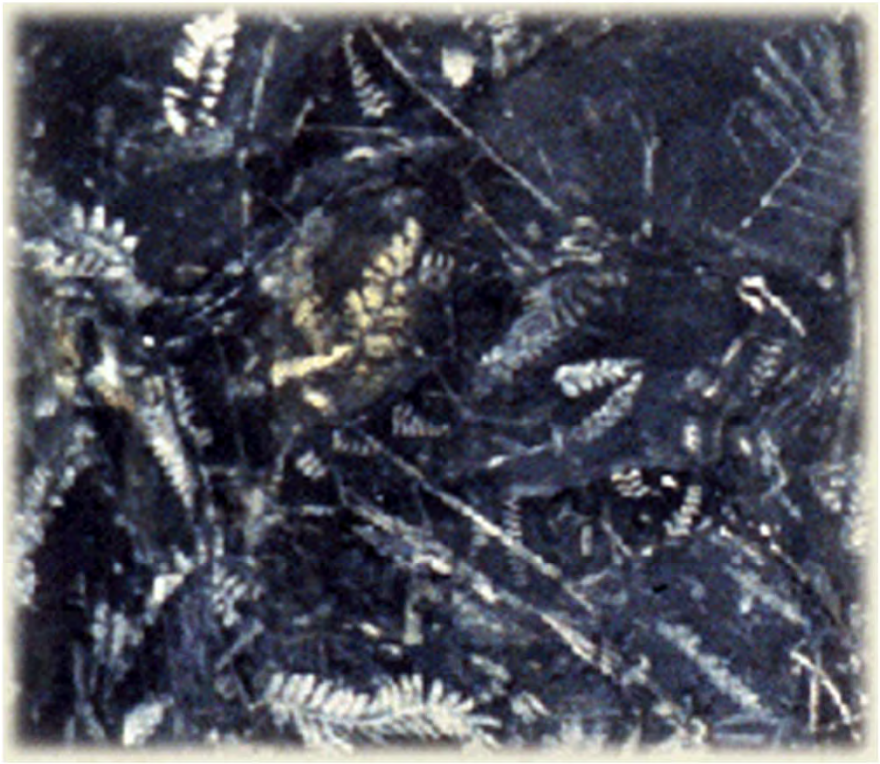
گوگرد در زغال (Sulfur)

گوگرد در زغال (Sulfur)

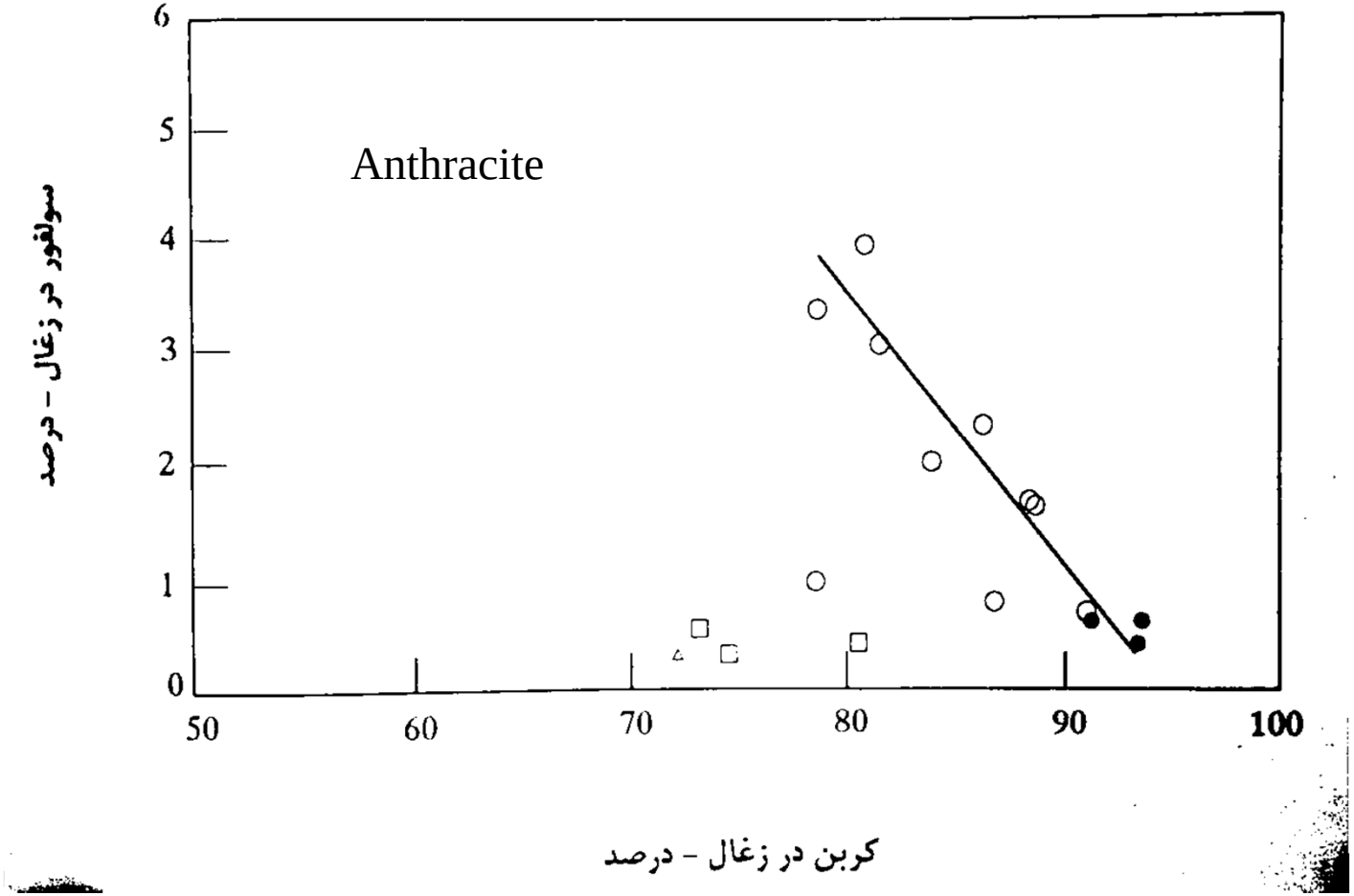
گوگرد در زغال (Sulfur)



گوگرد در زغال (Sulfur)



گوگرد در زغال (Sulfur)



گوگرد در زغال (Sulfur)

- اثرات زیان آور گوگرد در زغال:

✓کاهش انرژی حرارتی زغالسنگ.

✓اضافه وزن زغالسنگ و افزایش هزینه های ترابری.

✓آلودگی محیط زیست در اثر تولید گازهای سمی.

گوگرد در زغال (Sulfur)

- نقش گوگرد در ارزش حرارتی زغالسنگ

o گوگرد عنصری به SO_2 اکسید شده و تولید حرارت می کند.

o گوگرد به شکل سولفاته، هنگام سوختن، حرارت جذب می کند.

o پیریت تا ۲ درصد وزن خود با اکسیژن و ۴ درصد وزن خود با آب ترکیب می شود.

o ۱٪ پیریت ← ۶٪ افزایش وزن ← ۷٪ کاهش انرژی حرارتی

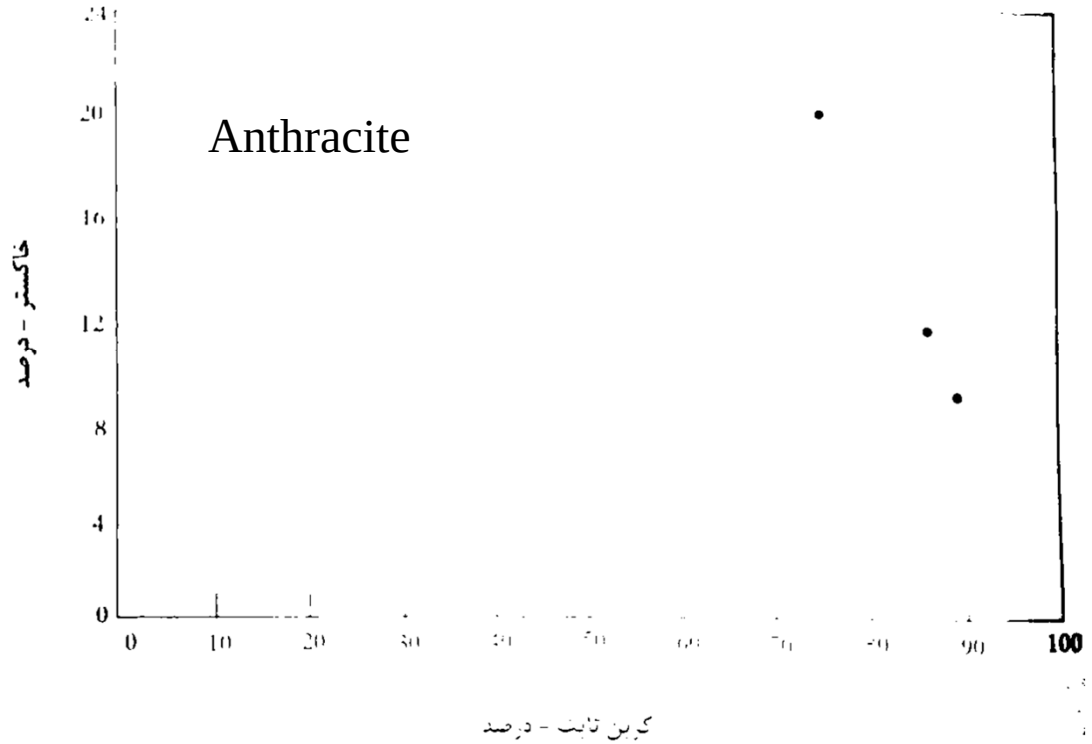
گوگرد در زغال (Sulfur)

- اندازه گیری گوگرد (روش Eschka) :

1. یک گرم زغال با سه گرم مخلوط اکسید منیزیم (MgO) و کربنات سدیم ($NaCO_3$) مخلوط می شود.
2. مخلوط در دمای ۸۰۰ درجه سانتیگراد حرارت داده می شود.
3. $MgSO_4$ و $NaSO_4$ تولید شده وزن می شود.
4. پس از انجام محاسبات، میزان گوگرد در هر گرم زغال تعیین می گردد.

کربن ثابت زغال (Fixed carbon)

- کربن ثابت، ماده باقیمانده در زغالسنگ پس از کسر مقدار خاکستر، رطوبت و مواد فرار موجود در آن است.



ویژگیهای شیمیایی انواع زغال ها

TABLE 3.1 Composition and Property Ranges for Various Ranks of Coal

	Anthracite	Bituminous	Subbituminous	Lignite
Moisture (%)	3–6	2–15	10–25	25–45
Volatile matter (%)	2–12	15–45	28–45	24–32
Fixed carbon (%)	75–85	50–70	30–57	25–30
Ash (%)	4–15	4–15	3–10	3–15
Sulfur (%)	0.5–2.5	0.5–6	0.3–1.5	0.3–2.5
Hydrogen (%)	1.5–3.5	4.5–6	5.5–6.5	6–7.5
Carbon (%)	75–85	65–80	55–70	35–45
Nitrogen (%)	0.5–1	0.5–2.5	0.8–1.5	0.6–1.0
Oxygen (%)	5.5–9	4.5–10	15–30	38–48
Btu/lb	12,000–13,500	12,000–14,500	7500–10,000	6000–7500
Density (g/mL)	1.35–1.70	1.28–1.35	1.35–1.40	1.40–1.45

چگالی زغال (Density)

- جرم مخصوص با زغال شدگی (درجه دگرگونی) نسبت مستقیم دارد.
- جرم مخصوص با افزایش خاکستر، زیاد می شود.

- چگالی زغال بین ۱/۲۳ تا ۱/۷۲ g/cm^3 متغیر است.
- چگالی ناخالصی های زغال بین ۲ تا ۲/۷ g/cm^3 است.
- چگالی پیریت، حدود ۵ g/cm^3 است.

چگالی زغال (Density)

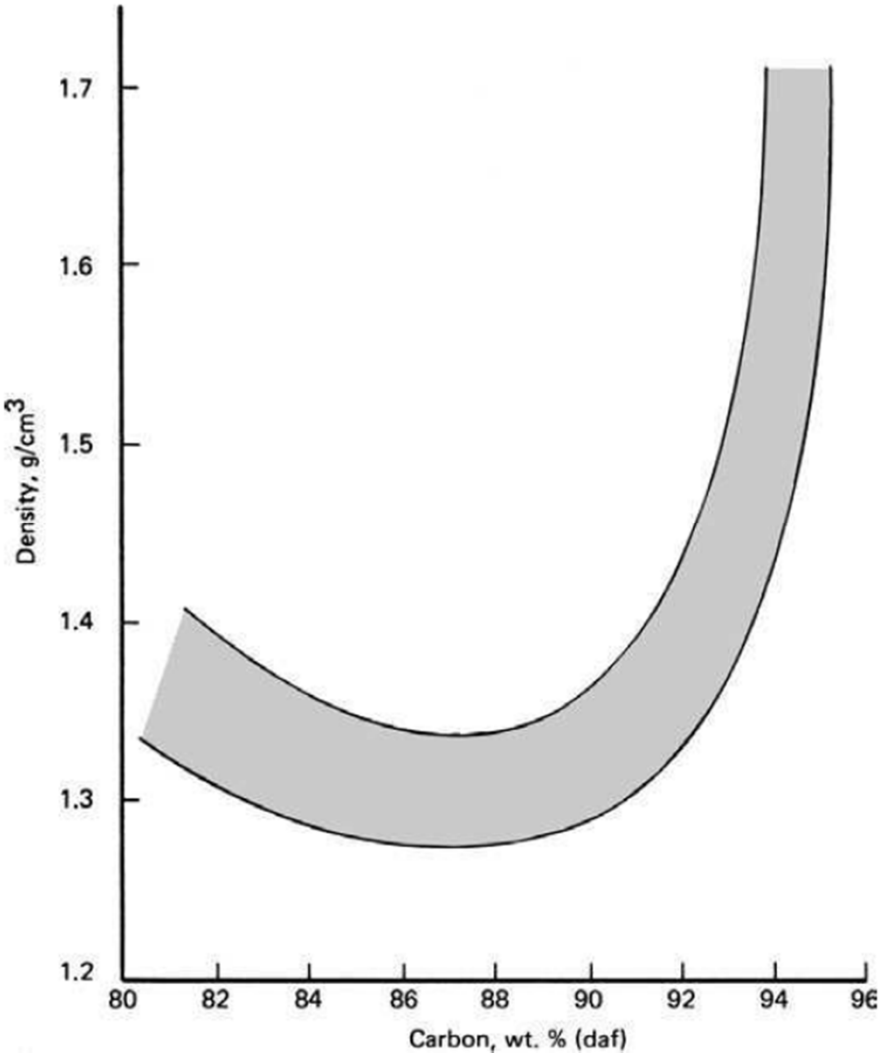
- *True density*
- *Apparent density*
- *Particle density*
- *Bulk density*
- *In-place density*

چگالی زغال (Density)

جدول ۶-۲ ارتباط بین چگالی و نوع زغال

نوع زغال	محدوده چگالی	چگالی غالب (رایج)
لیگنیت	۰/۵-۱/۳	۱/۲۹
ساب بیتومنوس	۱/۱۵-۱/۵	۱/۳
بیتومنوس	۱/۲۷-۱/۵	۱/۳۲
نیمه آنتراسیت و آنتراسیت	۱/۴-۱/۷	۱/۴۷

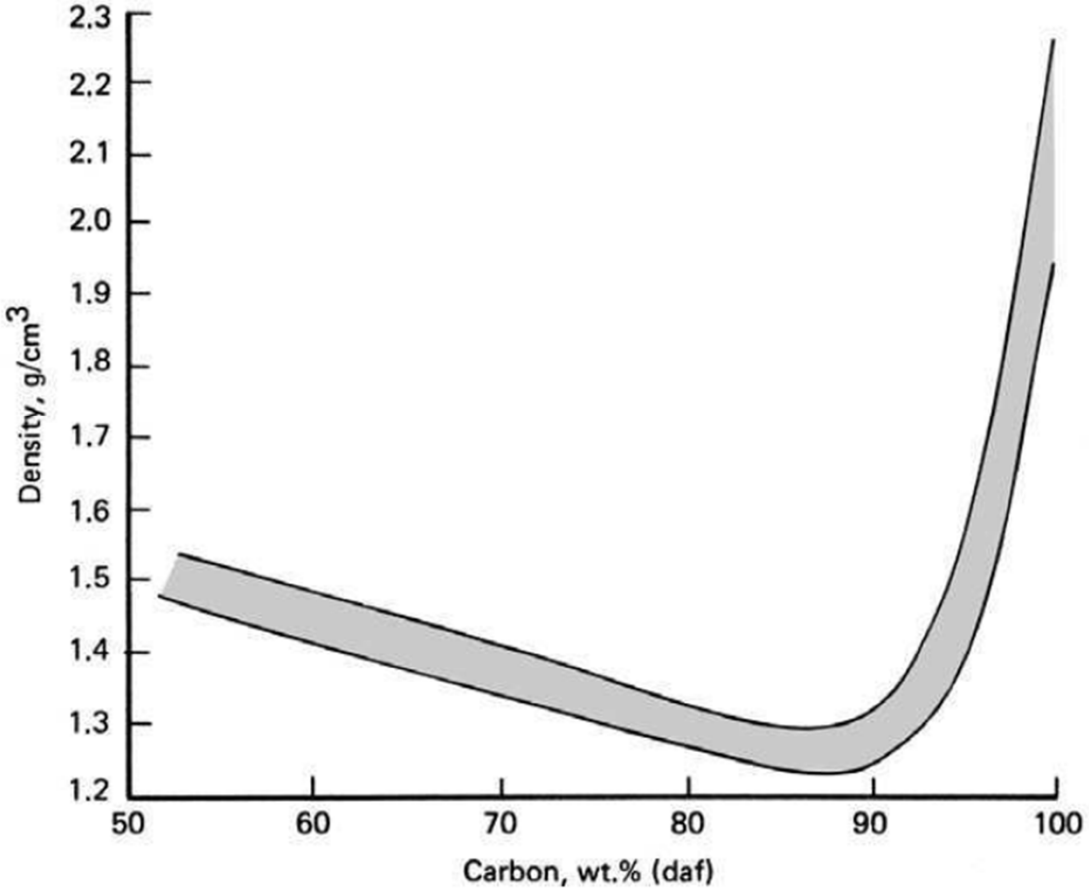
چگالی زغال (Density)



- رابطه دانسیته با درجه زغالشدگی

چگالی زغال (Density)

- رابطه دانسیته ویترینیت با درجه زغالشدگی



تخلخل زغال (Porosity)

- میزان تخلخل در زغال به ۲ تا ۲۰ درصد می رسد.
- میزان تخلخل با زغال شدگی تا حدی نسبت معکوس دارد.

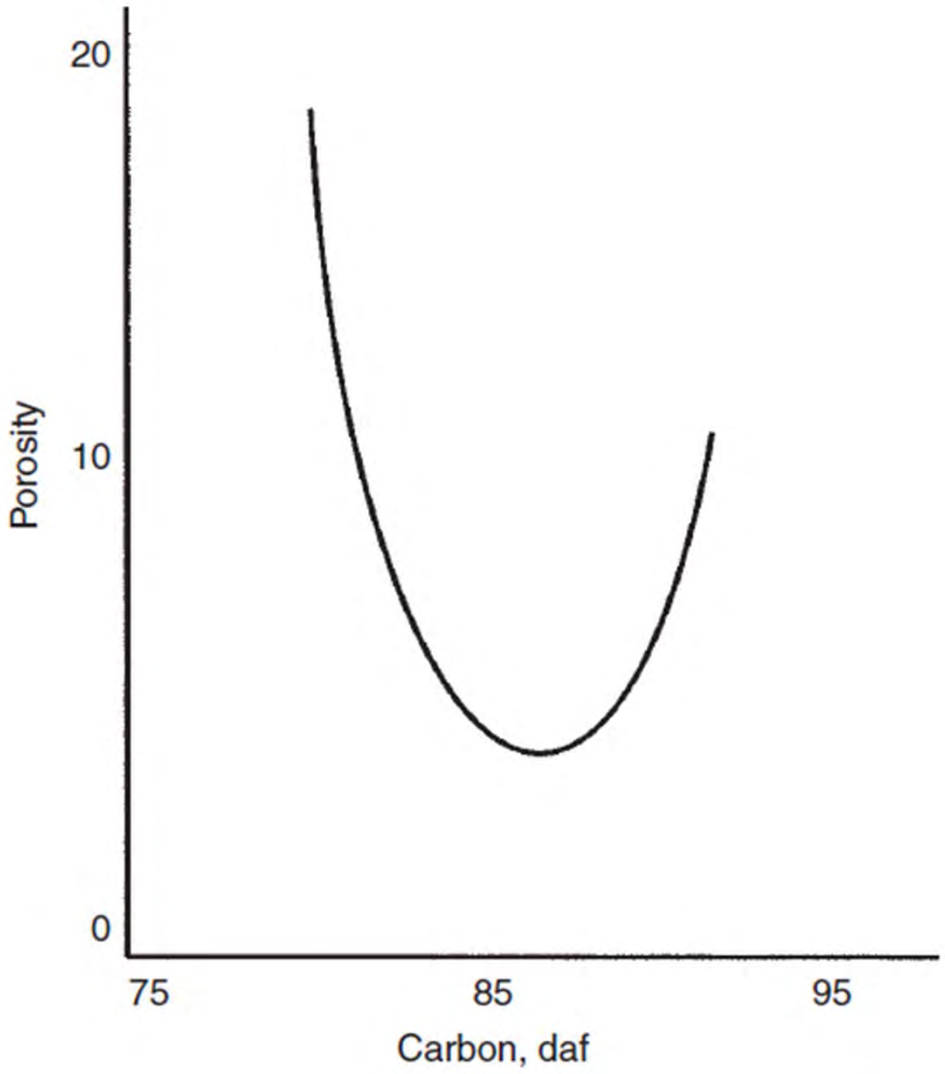
- انواع منافذ زغالسنگ
  - درشت (بزرگتر از ۲۰۰ A)
  - متوسط (۲۰۰A–۲۰)
  - ریز (کوچکتر از ۲۰ A)

تخلخل زغال (Porosity)

- نحوه محاسبه تخلخل زغالسنگ

$$\text{porosity} = 100 - 100\left(\frac{\text{apparent specific gravity}}{\text{true specific gravity}}\right)$$

تخلخل زغال (Porosity)



- رابطه تخلخل با درجه زغالشدگی

هوازدگی زغال (Weathering)

- به کلیه تغییرات شیمیایی و فیزیکی که پس از جابجایی زغالسنگ از محیط طبیعی خود، در آن رخ می دهد، هوازدگی می گویند.

- انواع هوازدگی زغالسنگ

1. مکانیکی
2. شیمیایی

هوازدگی زغال (Weathering)

- **هوازدگی مکانیکی**

✓کاهش انرژی حرارتی

✓کاهش خاصیت کک شوندگی

✓ایجاد خودسوزی

✓عدم امکان انبار کردن

- تمایل به هوازدگی: لیگنایت> ساب بیتومینه> بیتومینه
- هوازدگی در اثر تابش خورشید و بارندگی

هوازدگی زغال (Weathering)

- **هوازدگی شیمیایی (اکسایش)**

✓نرمه های زغال سریعتر تحت تاثیر اکسایش قرار می گیرند.

✓کاهش ارزش حرارتی زغال

✓کاهش کک دهی زغال

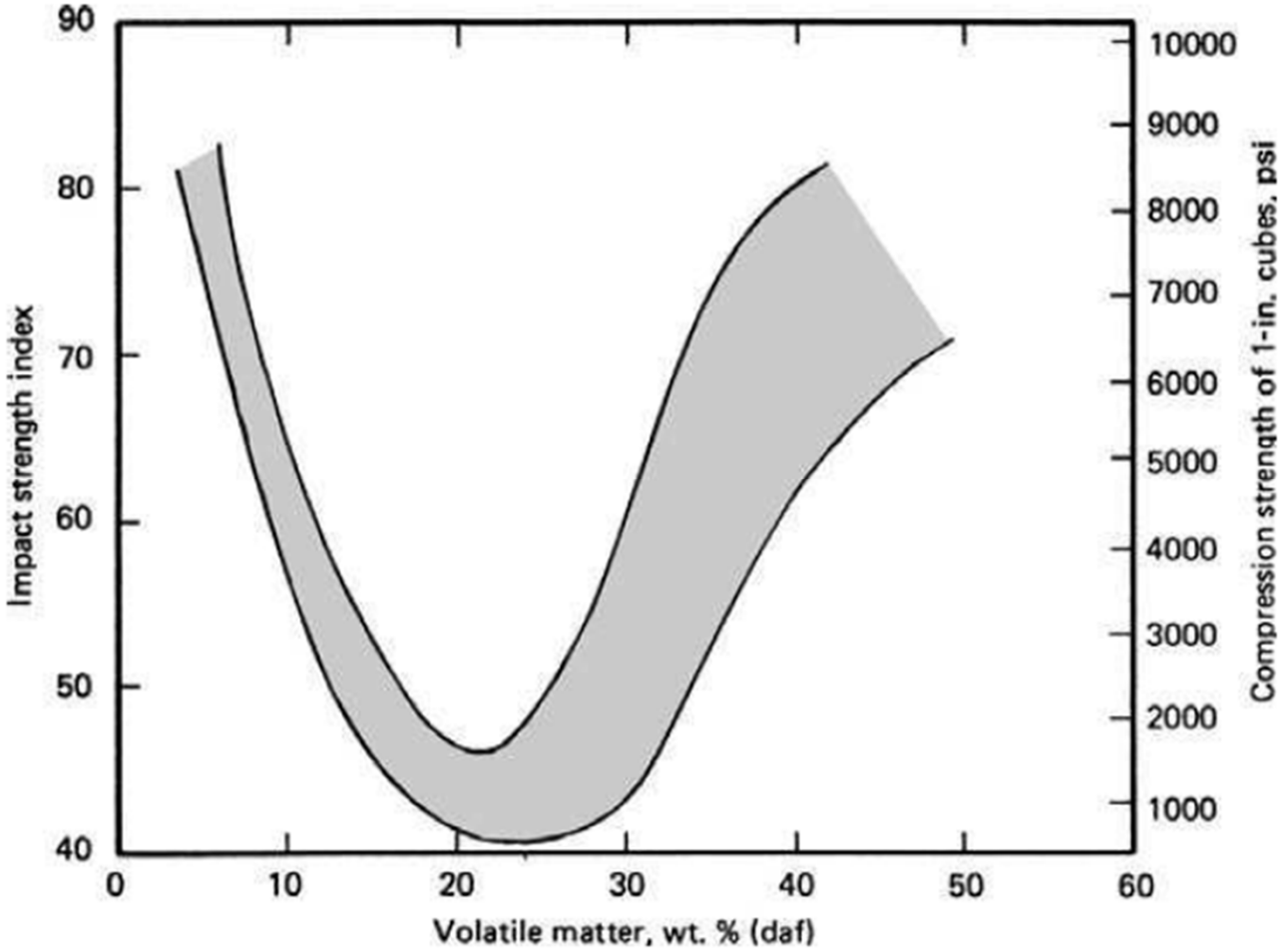
✓تاثیر منفی در فلوتاسیون

مقاومت زغال (Strength)

- مقاومت زغال
  - مقاومت فشاری (Compressive strength)
  - مقاومت برشی (Shear strength)
  - مقاومت کششی (Tensile strength)

- مقاومت زغال به درجه دگرگونی، نوع زغال و نحوه وارد نمودن تنش بستگی دارد.

مقاومت زغال (Strength)



مقاومت زغال (Strength)

- رابطه اندازه نمونه و مقاومت زغال

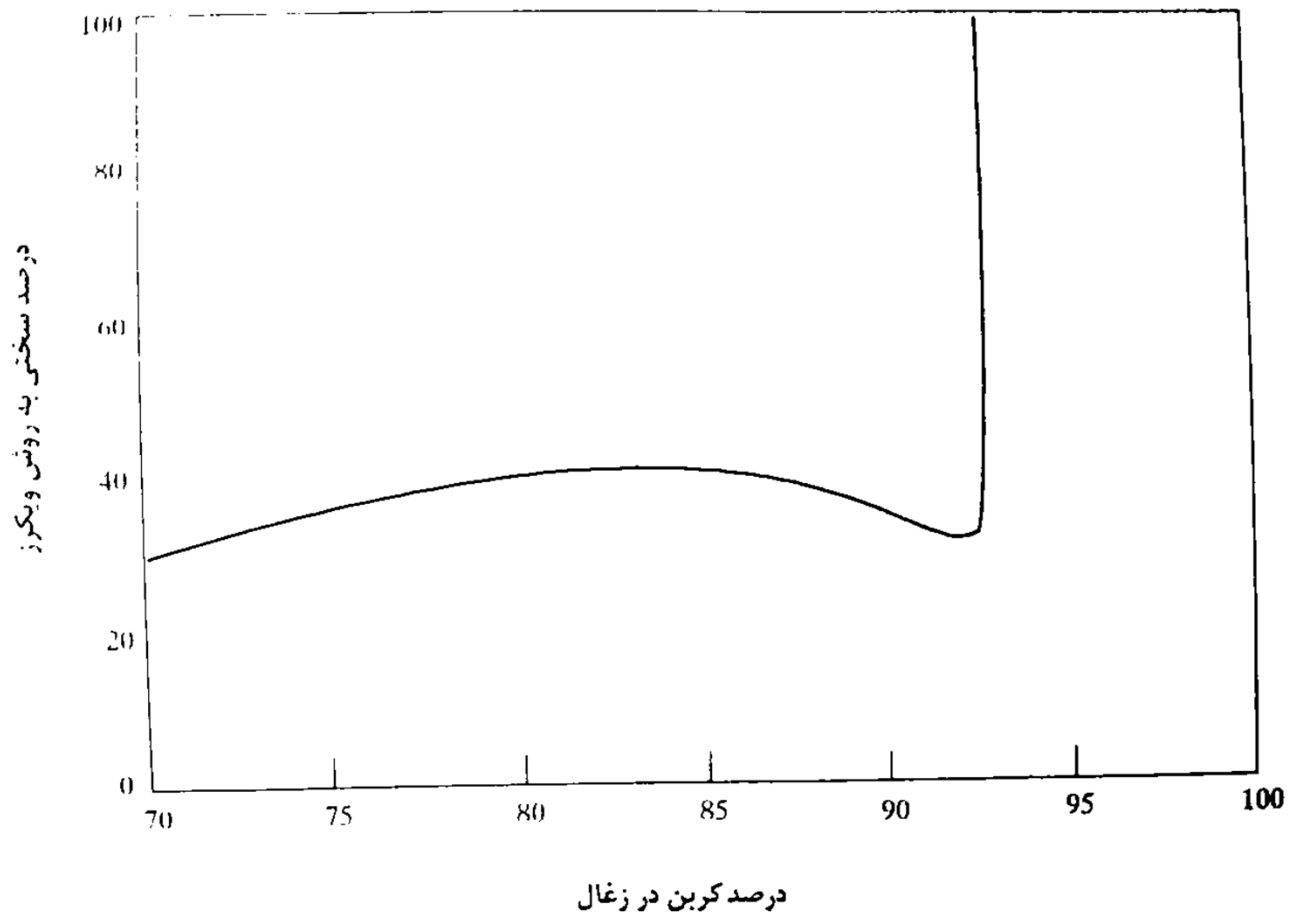
TABLE 8.1 Variation of Compressive Strength with Size

Size	Average Maximum Load
2.5–4-in. cubes	2486
7–8-in. cubes	2170
10–12-in. cubes	2008
12 × 12 × 18 in. high	1152
Approx. 30-in. cube	817
Approx. 54-in. cube	306

سختی زغال (Hardness)

- سختی زغال با درجه زغال شدگی (درصد کربن) متناسب است.
- سختی زغال با مواد فرار زغال متناسب است.
- نحوه اندازه گیری سختی زغالسنگ

سختی زغال (Hardness)



سختی زغال (Hardness)

TABLE 8.3 Scratch Hardness of Coal

Material	Scratch Hardness Relative to Barnsley Soft Coal
Anthracite, Great Mountain	1.70
Anthracite, Red Vein	1.75
Welsh steam	0.29
Barnsley hards	0.85
Barnsley softs	1.00
Illinois coal	1.10
Cannel	0.92
Carbonaceous shale	0.69
Shale	0.32
Pyrite	5.71
Calcite	1.92

شکنندگی زغال (Friability)

- شکنندگی زغال عبارتست از مقاومت آن در برابر کاهش اندازه (خرد شدن) در اثر لمس کردن یا جابجا شدن.
- مقدار آن به الاستیسیته، درزه و شکاف وابسته است.
- هرچه خردشوندگی بیشتر باشد، قابلیت احتراق ناگهانی افزایش میابد.
- قابلیت شکنندگی با زغال شدگی (درصد کربن) متناسب است.
- نحوه تعیین خردشوندگی.

قابلیت خرد شوندگی یا شکنندگی (Friability)

- $\text{پایداری ابعاد} = \frac{\text{متوسط ابعاد پس از آزمایش}}{\text{متوسط ابعاد قبل از آزمایش}} \times 100$
- $\text{قابلیت خرد شوندگی} = 100 - \text{پایداری ابعاد}$

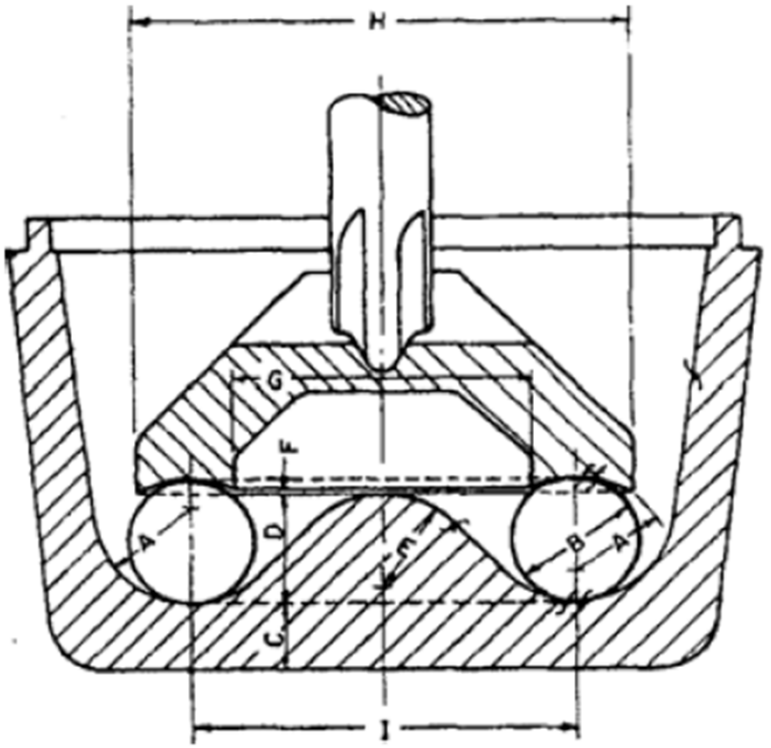
قابلیت نرم شوندگی (Grindability)

- هدف از تعیین قابلیت نرم شوندگی، پیش بینی رفتار زغال سنگ در مقابل آسیا کنی و تعیین نوع آسیا است.

- متداولترین روش تعیین نرم شوندگی، روش هاردگرو (Hardgrove) است.

قابلیت نرم شوندگی (Grindability)

- آسیای هاردگرو



قابلیت نرم شوندگی (Grindability)

- روش هاردگرو:

1. یک کیلوگرم نمونه معرف آماده و در معرض هوا خشک می شود.
2. با خردایش مرحله به مرحله، ۵۰ گرم نمونه با اندازه ۶۰۰+۱۱۸۰- میکرون بدست می آید.
3. نمونه به آسیا منتقل شده و سرعت روی ۲۰ RPM تنظیم می شود.
4. نمونه با الک ۲۰۰ مش سرند شده و وزن می شود.

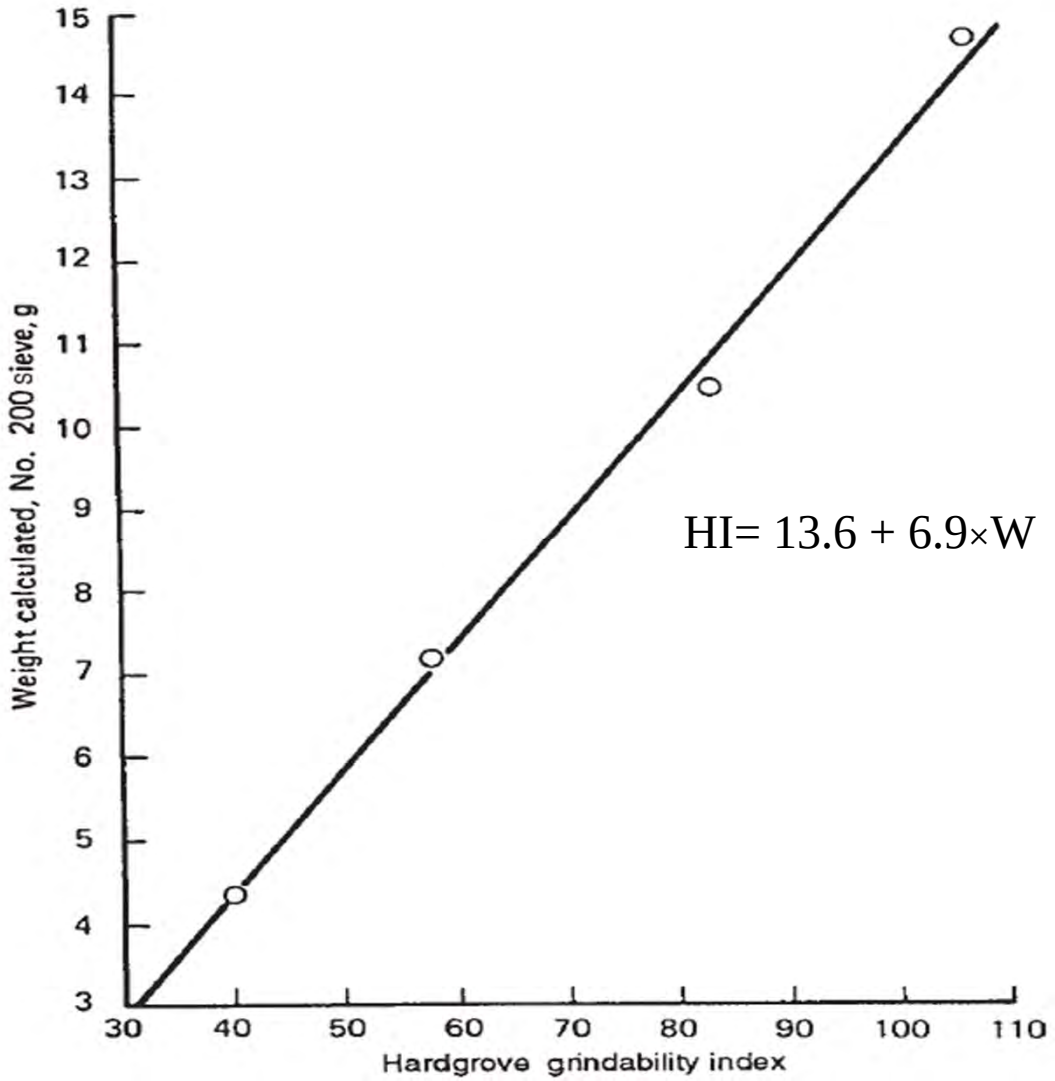
قابلیت ت نرم شوندگی (Grindability)

- با داشتن میزان مواد عبوری (زیر ۷۵ میکرون) و معادله زیر، اندیس هاردگرو تعیین می شود.

$$HI = 13.6 + 6.9 \times W$$

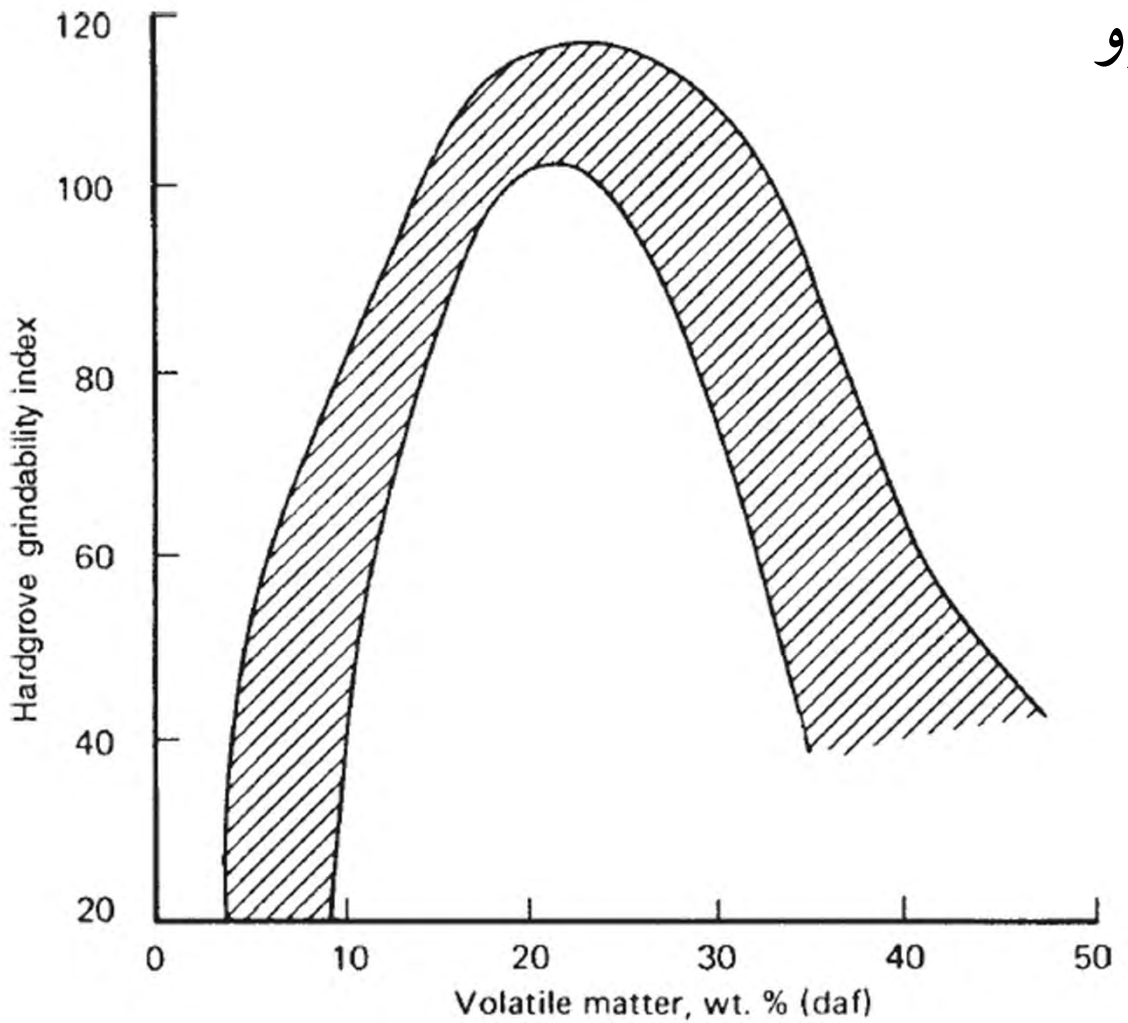
- زغال سخت: بین ۲۰ تا ۵۰
- زغال نیمه سخت: بین ۵۰ تا ۷۰
- زغال نرم: بیش از ۷۰

قابلیت نرم شوندگی (Grindability)



- رابطه اندیس هاردگرو با وزن ذرات عبوری از سرند

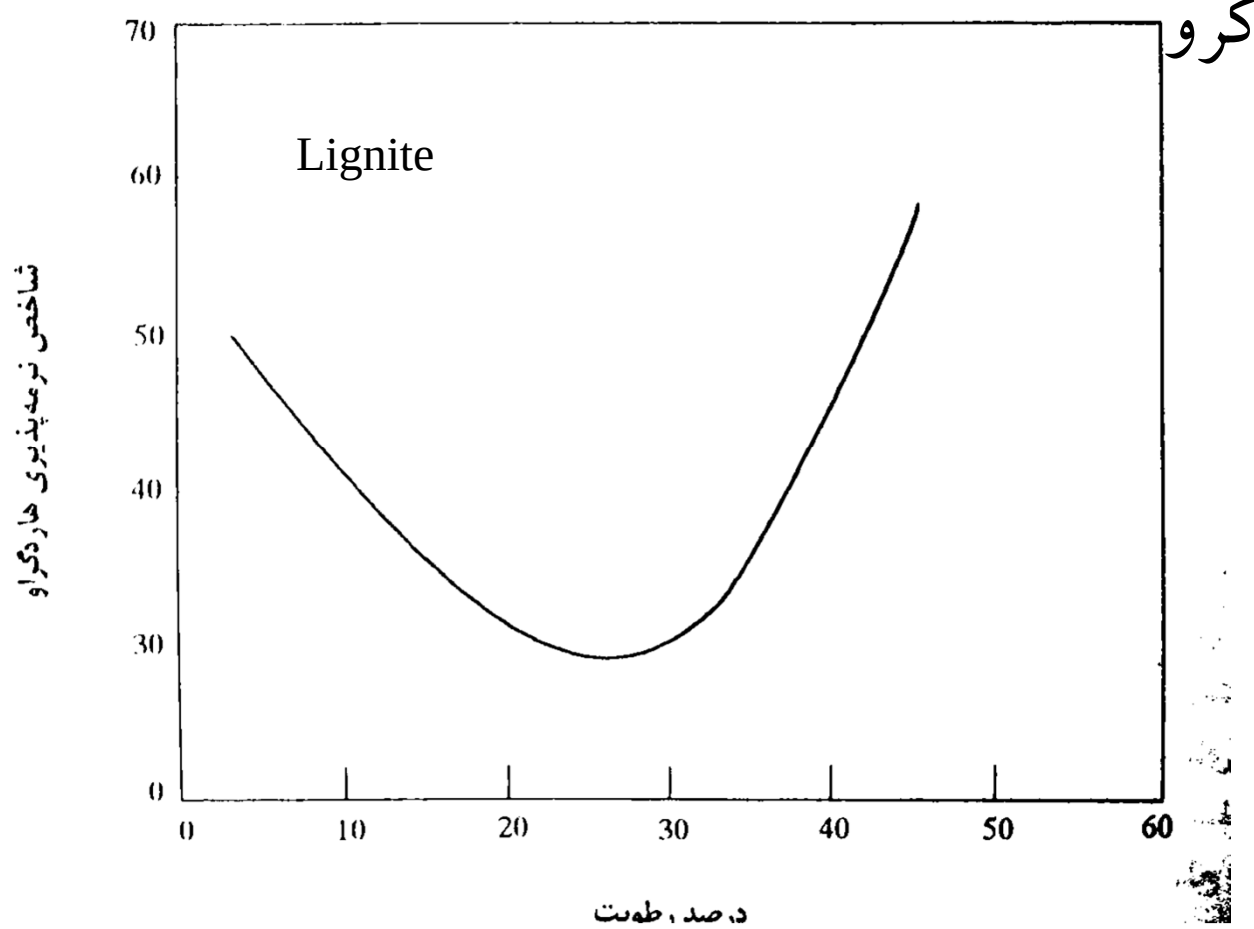
قابلیت نرم شوندگی (Grindability)



- رابطه اندیس هاردگرو
  با درصد مواد فرار

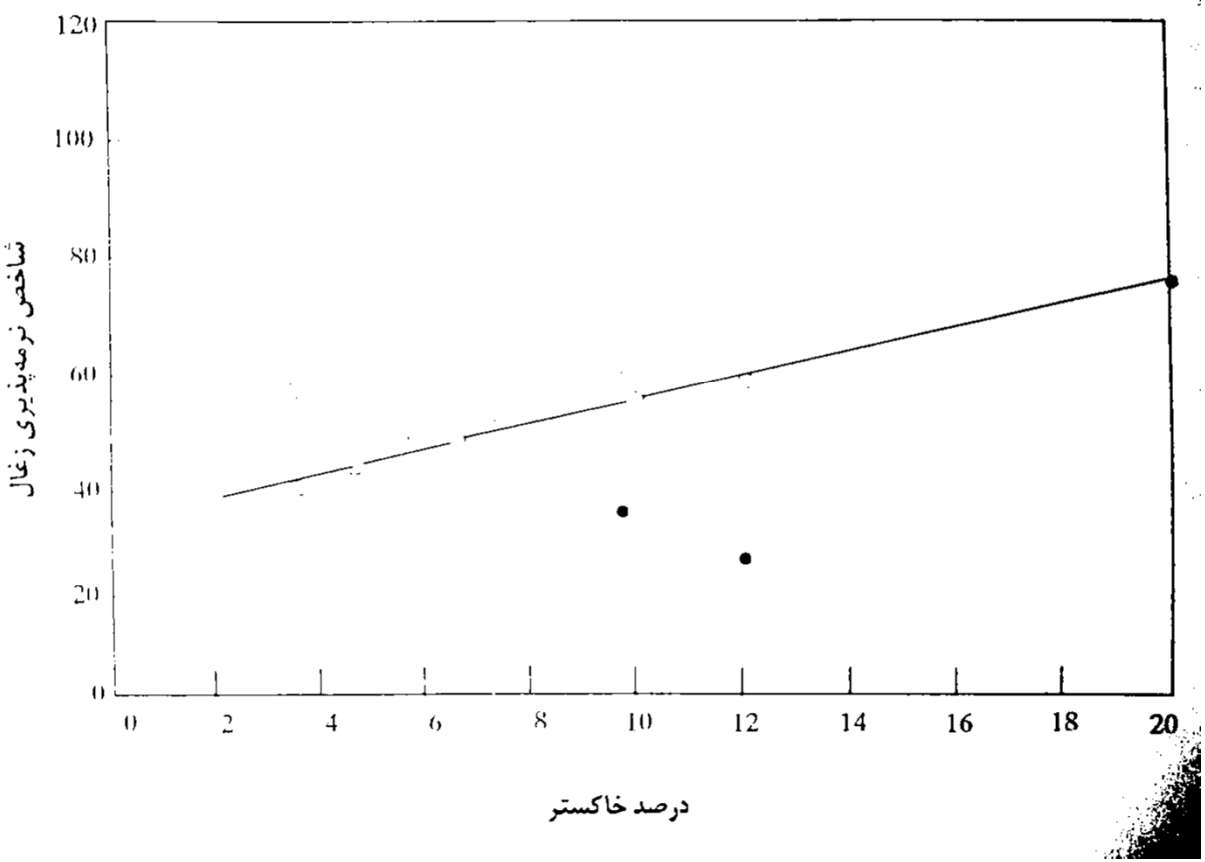
قابلیت نرم شوندگی (Grindability)

- رابطه اندیس هاردگرو با درصد رطوبت



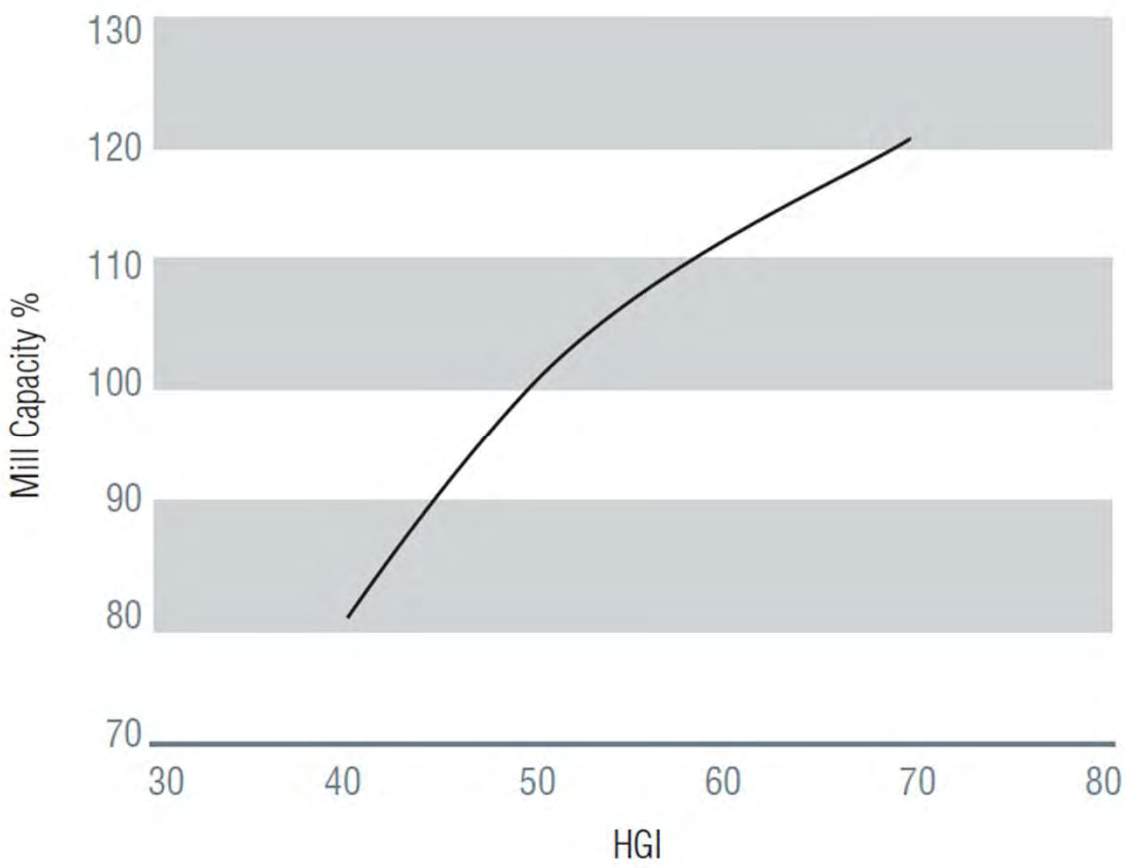
قابلیت نرم شوندگی (Grindability)

- رابطه اندیس هاردگرو با درصد خاکستر



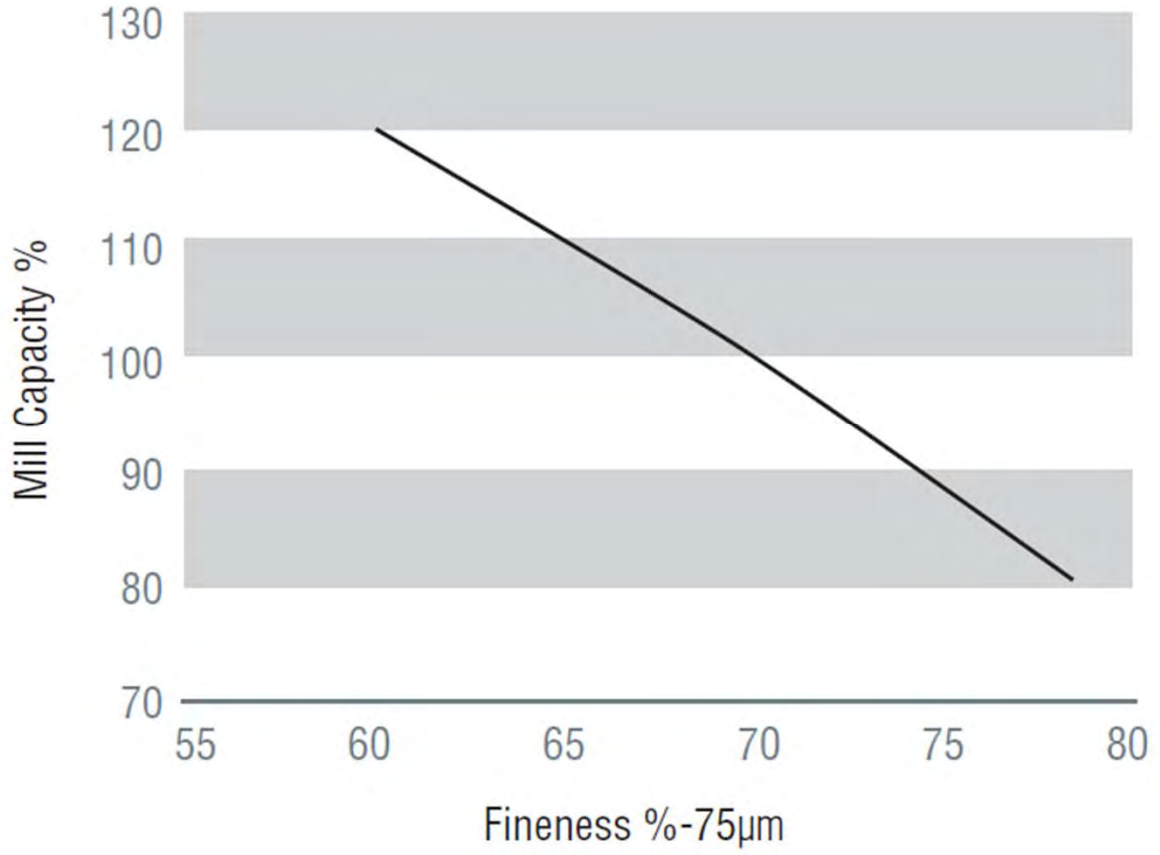
قابلیت نرم شوندگی (Grindability)

- رابطه ظرفیت آسیا با اندیس هاردگرو



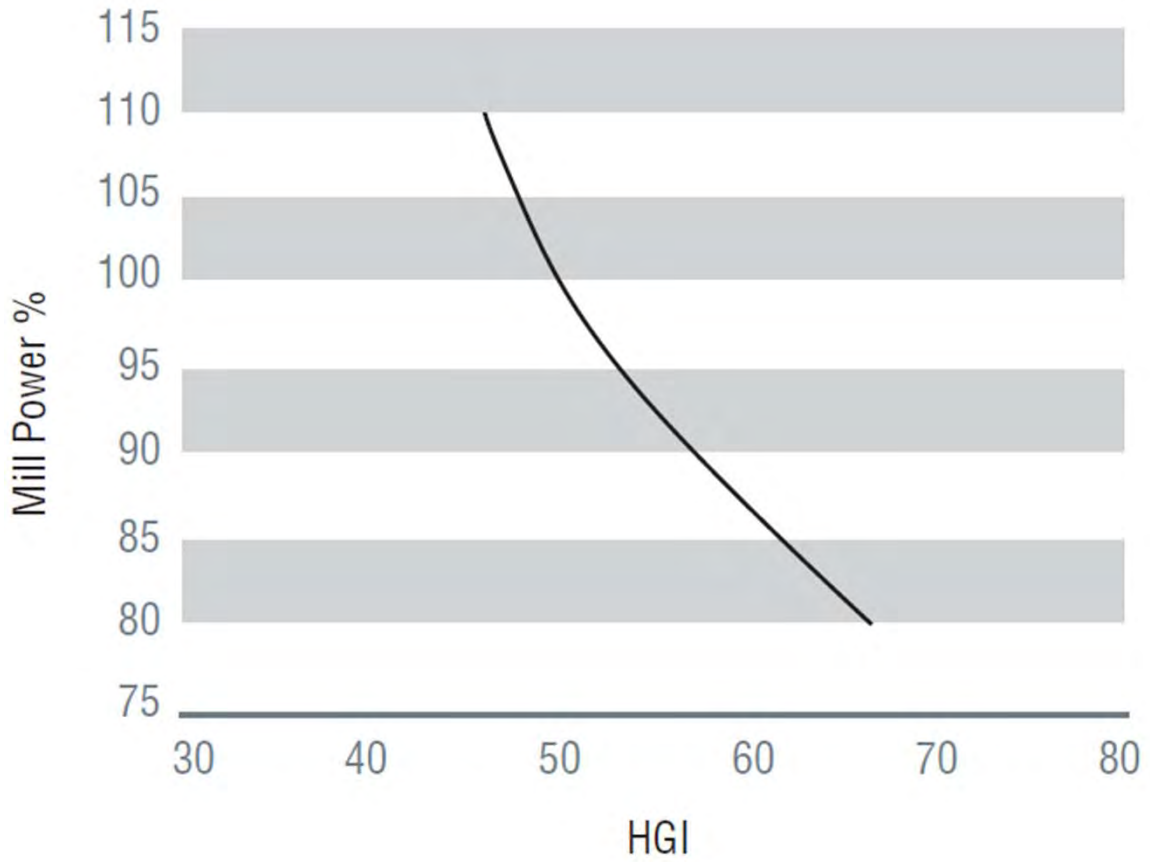
قابلیت نرم شوندگی (Grindability)

- رابطه کیفیت خردایش با ظرفیت آسیا



قابلیت نرم شوندگی (Grindability)

- رابطه توان کشی آسیا با اندیس هاردگرو



رنگ، جلا و درخشندگی زغال (Reflectance)

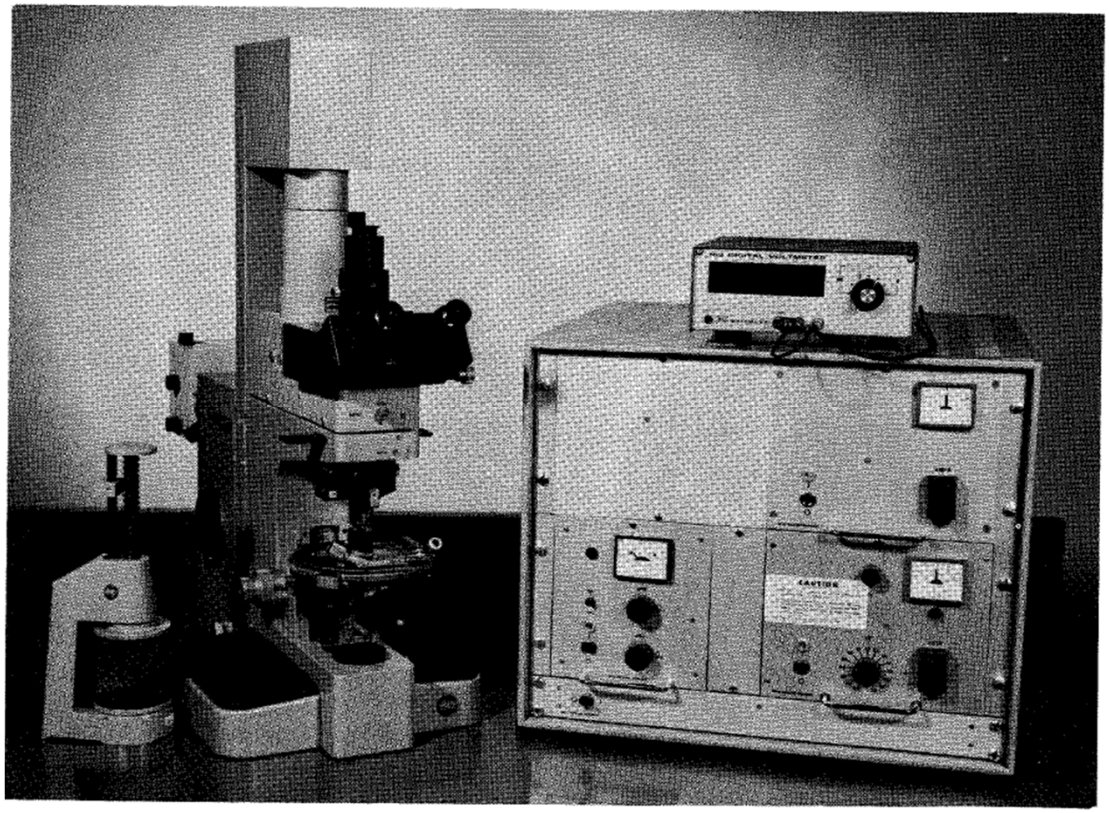
- رنگ زغالسنگ به ترکیبات پتروگرافی، میزان خاکستر، رطوبت و درجه زغالشدگی بستگی دارد.ش

- ارتباط خاکستر و ماسرالهای زغالسنگ با جلا

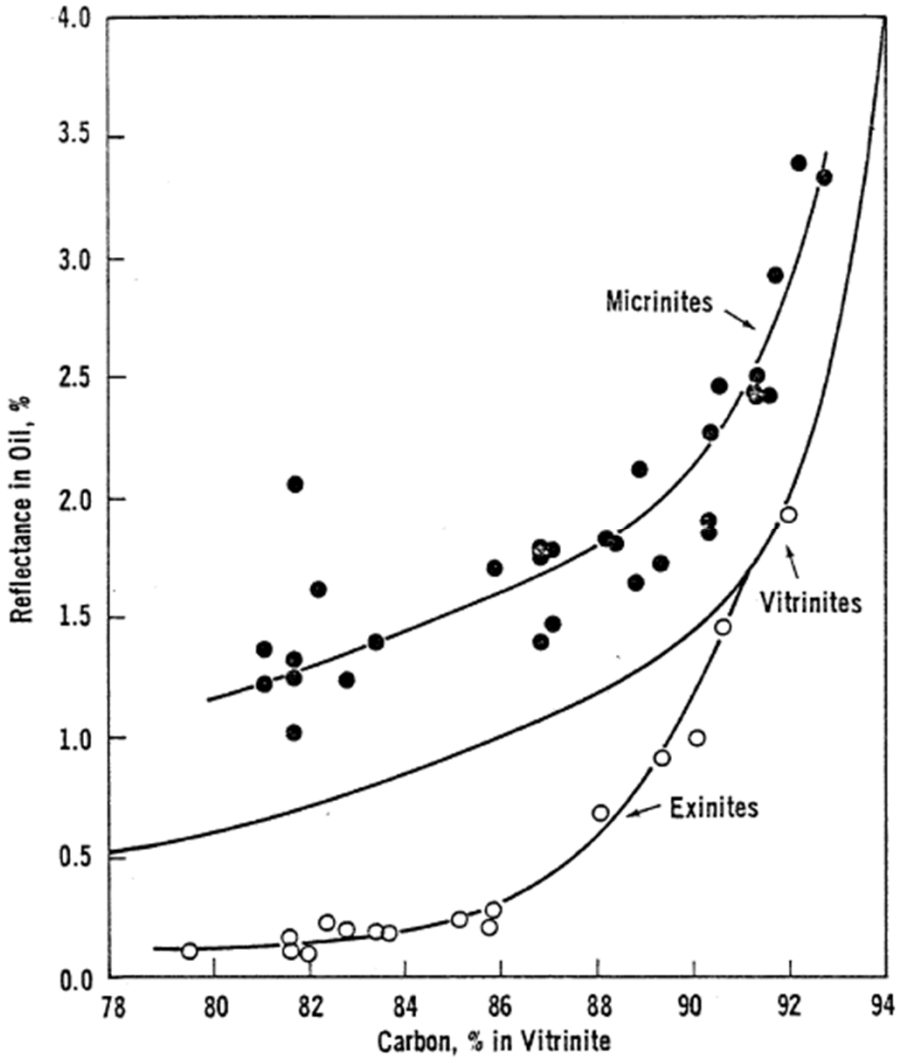
نوع ماسرال	وضعیت خاکستر	جلا	نوع ماسرال	وضعیت خاکستر	جلا
فوق کلارین	کم	براق تند	فوق کلارین	زیاد	نیمه براق
کلارین و فوق کلارین	کم	براق	کلارین ـ دورین	کم	نیمه مات
کلارین	کم	نیمه براق	دورین ـ کلارین	کم	نیمه مات
کلارین	متوسط	نیمه براق	دورین ـ فوق دورین	کم و متوسط	مات

رنگ، جلا و درخشندگی زغال (Reflectance)

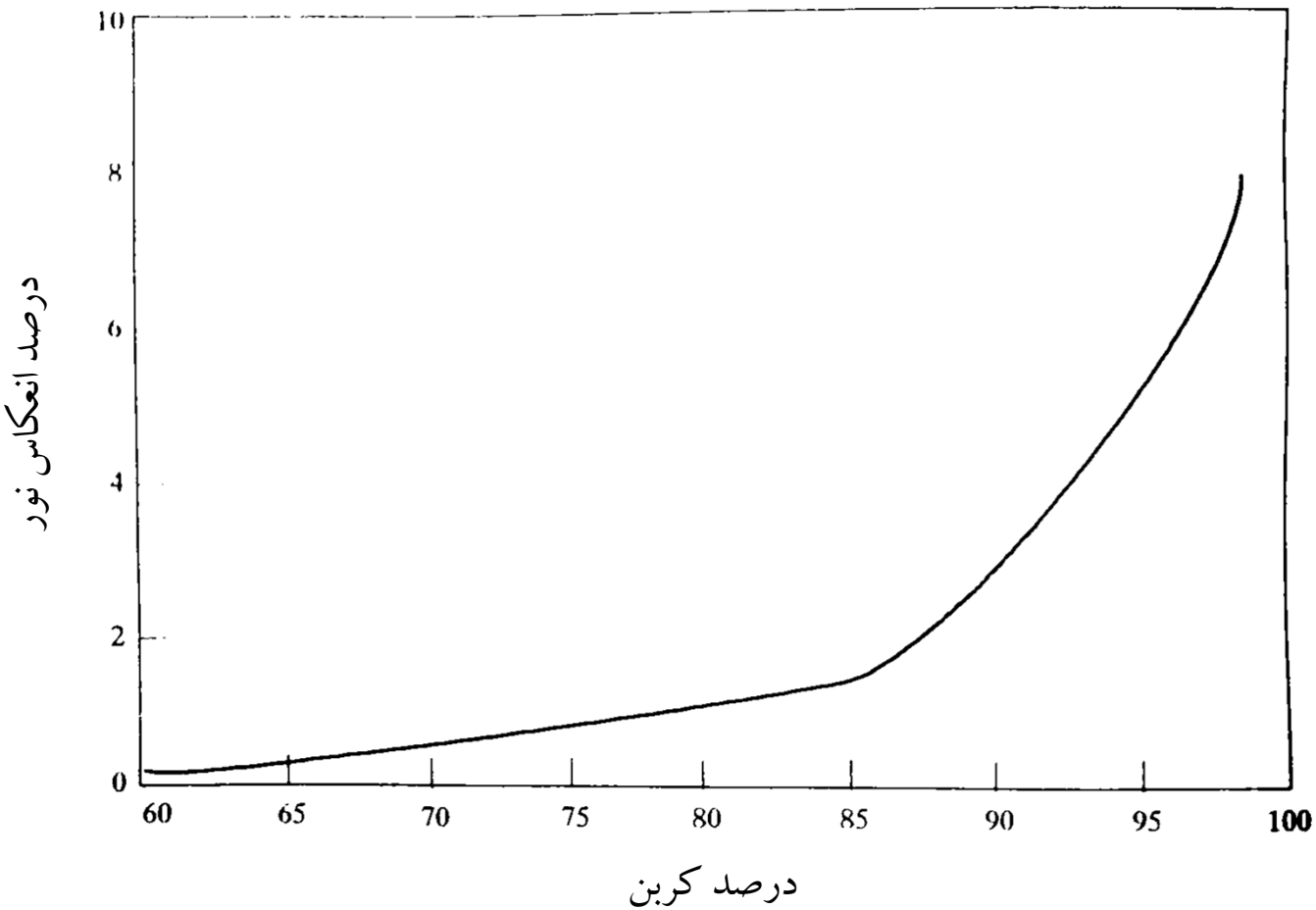
- درخشندگی (ویترین) باتوجه به قابلیت انعکاس نور از سطح زغال تعیین می شود.



رنگ، جلا و درخشندگی زغال (Reflectance)



رنگ، جلا و درخشندگی زغال (Reflectance)



پلاستیسیته زغال (Plasticity)

✓ تغییرات فیزیکی برگشت ناپذیر که در این محدوده دمایی رخ می دهد را خواص پلاستیکی (پلاستیسیته) زغال می نامیم.

- **کیک دهی زغال**

✓ رفتار زغالسنگ نسبت به حرارت
- ۱- شیمیایی ← غیر کیک ده
- ۲- شیمیایی و فیزیکی ← کیک ده

✓ محدوده دمایی که باعث ایجاد تغییرات فیزیکی (ایجاد کیک) در زغالسنگ می شود، محدوده پلاستیک گفته می شود.

پلاستیسیته زغال (Plasticity)

- **شاخص تورم آزاد (Free Swelling Index)**

✓نمونه زغال را خرد کرده و در کوره (دمای ۸۰۰°C) قرار می دهند.

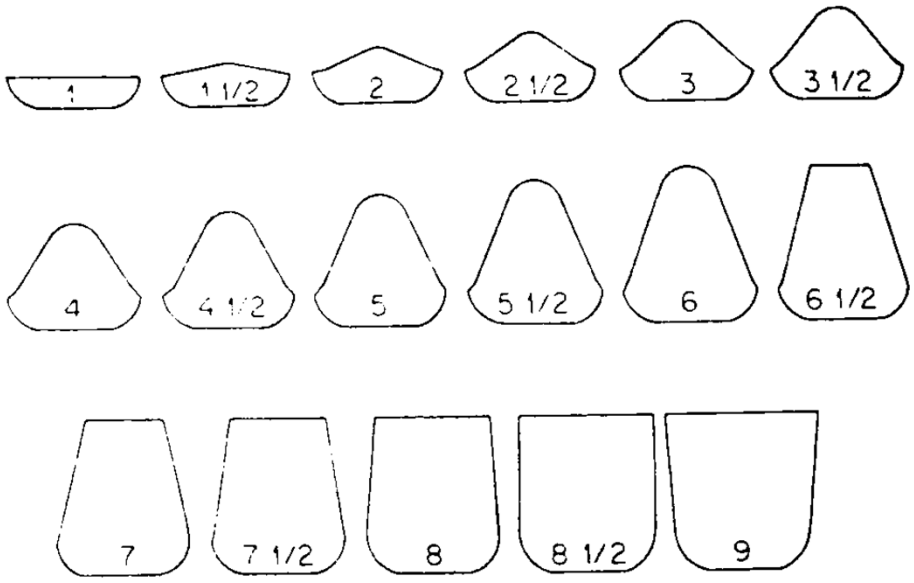
✓تغییرات در نمونه های کیک ده و غیر کیک ده ثبت می شود.

✓مفهوم نقاط شروع نرم شوندگی و جامد شوندگی.

پلاستیسیته زغال (Plasticity)

✓با توجه به میزان تورم، نمونه ها از ۱ تا ۹ رده بندی می شوند.

✓به این آزمایش، آزمایش آگلومراسیون (Agglomeration) نیز گفته می شود.



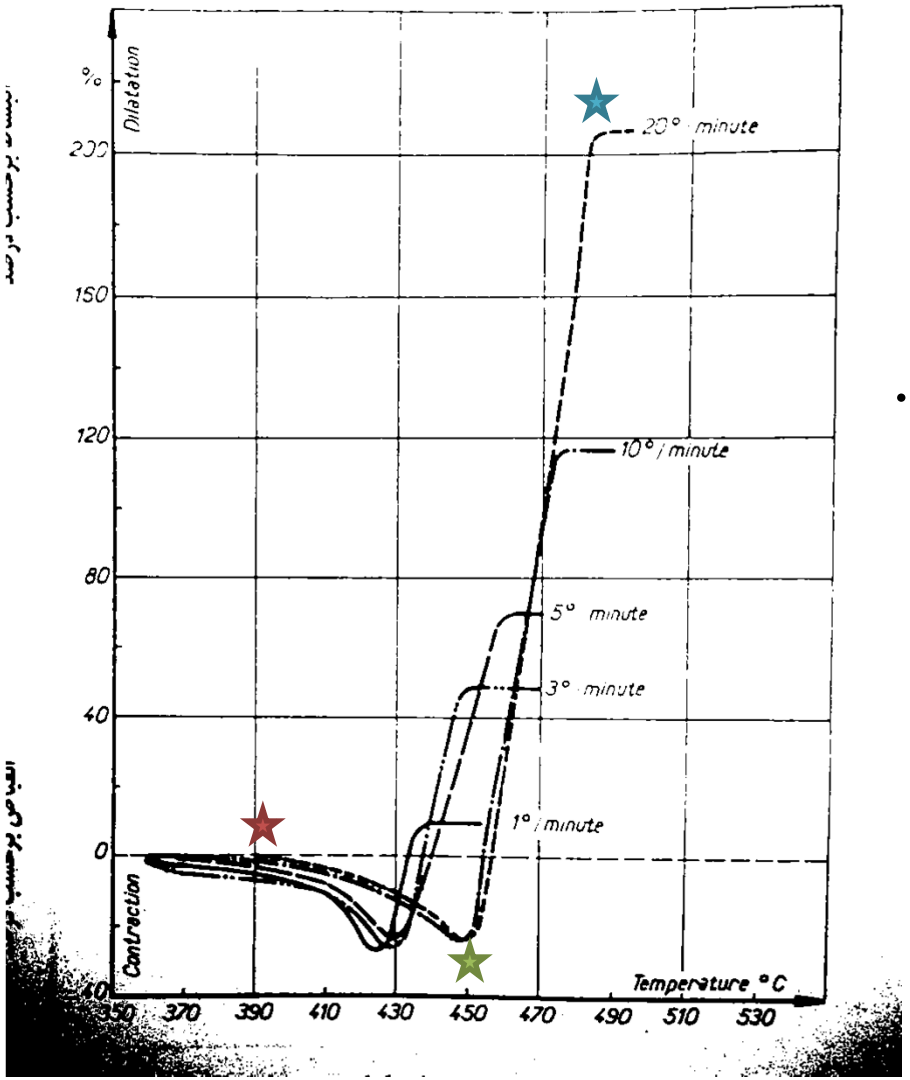
پلاستیسیته زغال (Plasticity)

- جهت اندازه گیری پلاستیسیته از پلاستومتر استفاده می شود.
- رابطه پلاستیسیته و کک دهی زغال

- **عوامل موثر بر پلاستیسیته زغالسنگ**

✓ نرخ افزایش دما
✓ اندازه ذرات
✓ مواد فرار
✓ فشار
✓ اکسیداسیون
✓ مقدار گوگرد

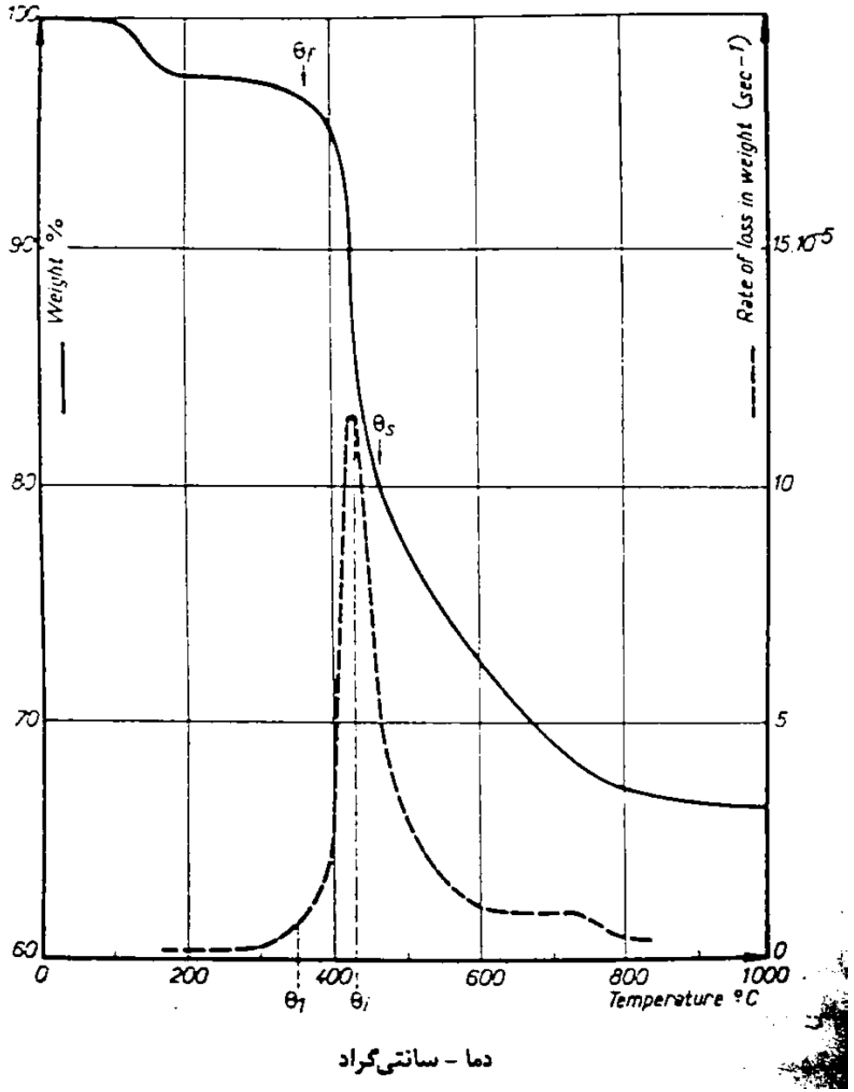
پلاستیسیته زغال (Plasticity)



- **نرخ افزایش دما:**

هرچه بالاتر باشد، باعث افزایش دمای نقطه جامد شوندگی شده و پلاستیسیته زغال را افزایش می دهد.

پلاستیسیته زغال (Plasticity)



دما - سانتی‌گراد

- **نرخ افزایش دما:**

هرچه بالاتر باشد، باعث افزایش دمای شروع تجزیه زغال می شود.

پلاستیسیته زغال (Plasticity)

- **اندازه ذرات:**

✓ وجود نرمه در زغالسنگ، پلاستیسیته را کاهش می دهد.

- **مواد فرار:**

✓ خاصیت پلاستیسیته در زغالهایی با مواد فرار بالای ۱۳٪ شروع شده و در ۲۵ تا ۳۰٪ به حداکثر می رسد.

✓ افزایش مواد فرار، دمای نقطه شروع نرم شوندگی را کاهش می دهد (افزایش پلاستیسیته).

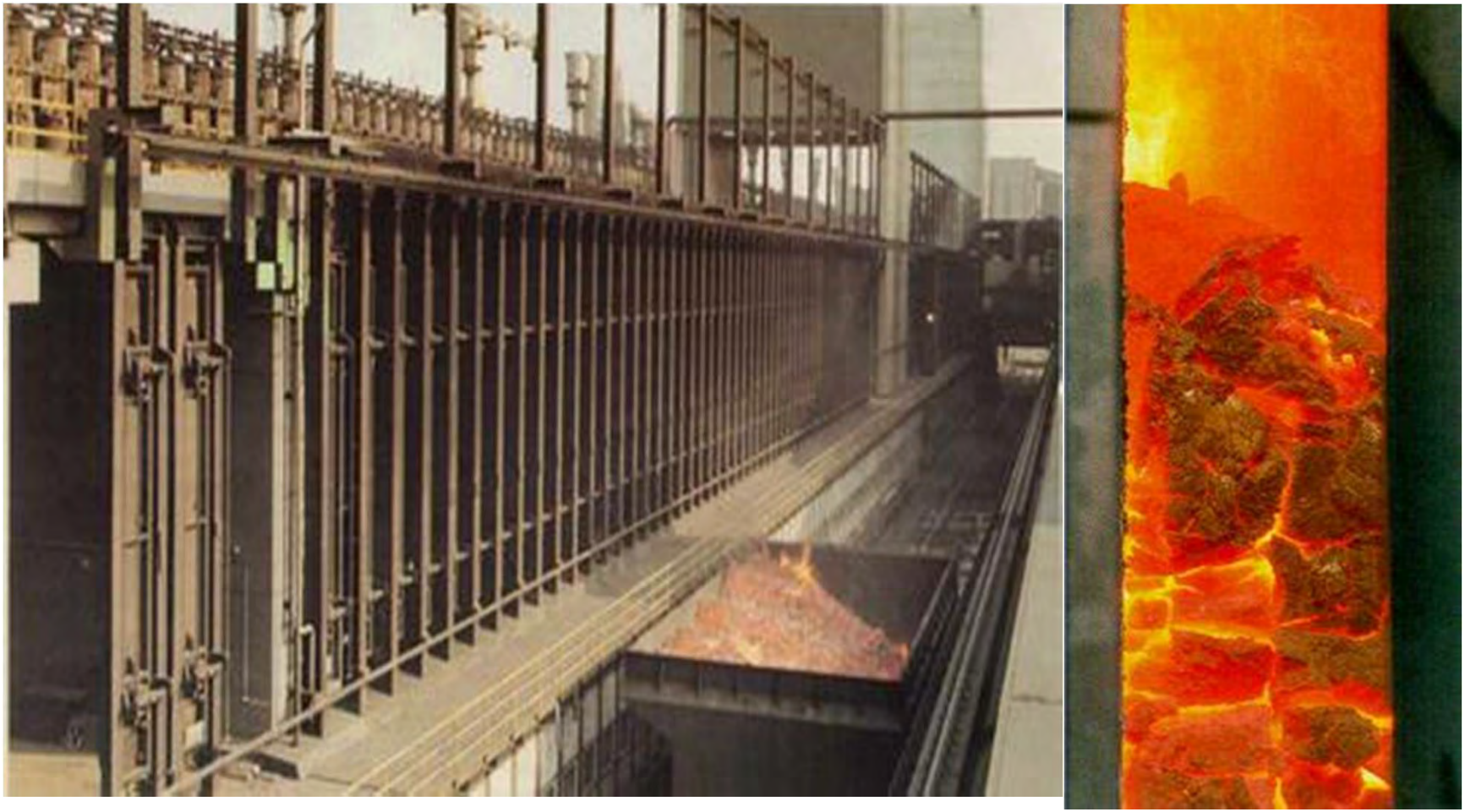
پلاستیسیته زغال (Plasticity)

- **فشار**: افزایش فشار، باعث افزایش خاصیت تورمی می شود.

- **اکسیداسیون**: باعث افزایش نقطه نرم شوندگی و کاهش نقطه جامد شوندگی می شود.

- **گوگرد**: به طور قابل ملاحظه ای باعث کاهش خاصیت پلاستیسیته زغال می شود.

تبدیل زغالسنگ به کک



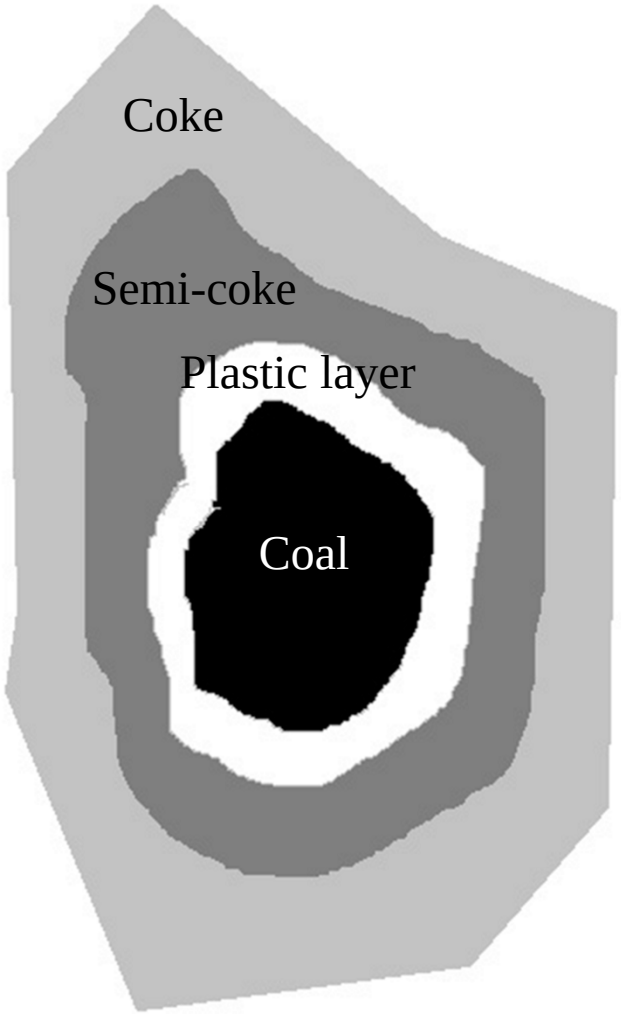
کک (Coke)

- کک در اثر پیرولیز زغالسنگ تشکیل می شود.

- پیرولیز (Pyrolysis) عبارتست از حرارت دادن مواد حاوی ترکیبات آلی در فضای بسته و عاری از اکسیژن در دمای بالا (۱۰۰۰ درجه سانتیگراد) که در اثر آن، مولکولهای سنگین آلی به گاز و مولکولهای سبکتر تبدیل می شوند.

- در اثر خروج گاز از زغالسنگ در حین فرایند کک سازی، یک جسم جامد متخلخل و سخت که بیشتر آن از کربن می باشد، باقی می ماند.

تبدیل زغالسنگ به کک



- دمای ۳۷۵ تا ۴۷۵ درجه سانتیگراد:

لایه پلاستیک (Plastic layer)

- دمای ۴۷۵ تا ۶۰۰ درجه سانتیگراد:

شبه کک (Semi-coke)

- دمای ۶۰۰ تا ۱۱۰۰ درجه سانتیگراد:

کک (Coke)

استخراج آهن

- استخراج آهن با استفاده از احیای اکسیدهای آهن در حضور کربن (کک) و در کوره بلند انجام می شود.
- برای بدست آوردن یک تن آهن، ۳ الی ۵ تن سنگ آهن و یک تن کک و ۵ تن هوا لازم است.
- وظیفه کک در کوره، تولید گرما و احیا کنندگی است.

$$3Fe_2O_3+CO\leftrightarrow 2Fe_3O_4+CO_2$$

$$Fe_3O_4+CO\leftrightarrow 3FeO+CO_2$$

$$FeO+CO\leftrightarrow Fe+CO_2$$