



دانشگاه سمنان

تولید آهن و فولاد

حسن کوهستانی

آهن (Fe)



- جرم اتمی: ۵۵,۸۵ گرم بر مول
- چهارمین عنصر
- خاکستری روشن
- زنگ آهن Fe_2O_3
- دمای ذوب: 1536°C
- ناخالصی: سیلیسیوم، کربن، منگنز، گوگرد، فسفر و ...

تولید آهن:

• حدود ۹۳٪ از تولیدات فلزی و آلیاژی جهان

Pig Iron production (million metric tons):				
Rank	Country	۱۹۸۰	۲۰۱۳	۲۰۱۵
	World	۵۰.۶	۱,۱۶۸	۱,۱۸۰
۱	China	۳۸	۷۰.۹	۷۱.۰
۲	Japan	۸۷	۸۴	۸۴
۳	India	۸۵	۵۰	۵۴
۴	Russia	n/a	۵۰	۵۱
۵	South Korea	۵,۶	۴۱	۴۷
۶	Brazil	۱۳	۲۶	۳۰
۷	Germany	۳۶	۲۷	۲۸
۸	United States	۶۲	۳۰	۲۶
۹	Ukraine	n/a	۲۹	۲۵
۱۰	United Kingdom	۶,۲	۹,۴	۹

Rank	Country	Usable iron ore production (thousand tonnes) in 2019
	World	۲,۵۰۰,۰۰۰
۱	Australia	۹۳۰,۰۰۰
۲	Brazil	۴۸۰,۰۰۰
۳	China	۳۵۰,۰۰۰
۴	India	۲۱۰,۰۰۰
۵	Russia	۹۹,۰۰۰
۶	South Africa	۷۷,۰۰۰
۷	Ukraine	۶۲,۰۰۰
۸	Canada	۵۴,۰۰۰
۹	United States	۴۸,۰۰۰
۱۰	Kazakhstan	۴۳,۰۰۰
۱۱	Iran	۳۸,۰۰۰



China

Source: World Steel Association

مصرف سرانه فولاد:

- کمتر از ۱۰۰، توسعه نیافته
- بین ۱۰۰ تا ۳۰۰، در حال توسعه
- بیش از ۳۰۰، توسعه یافته

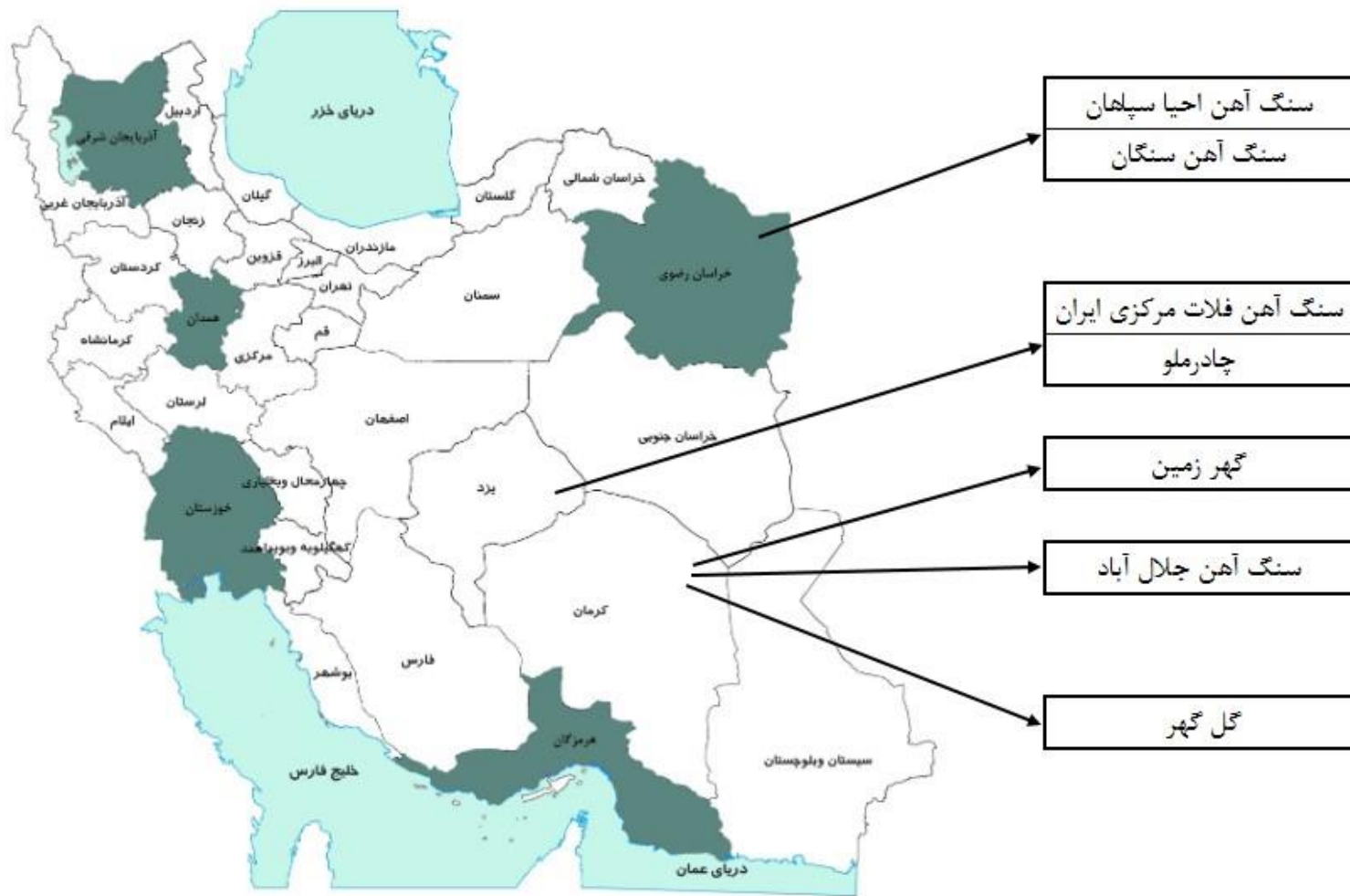
نمایی کلی از نسبت تولید فولاد بازیگران اصلی این صنعت

- ایران در سال ۲۰۱۸: ۲۳۸.۵ کیلوگرم و در سال ۲۰۱۷: ۲۴۵.۹ کیلوگرم
- مصرف سرانه جهانی در سال ۲۰۱۸: ۲۲۴.۵ کیلوگرم
- کره جنوبی در سال ۲۰۱۸: ۱۰۴۷,۲ کیلوگرم

تولید آهن در ایران:

- منطقه بافق (معادن چغارت، چادرملو و سه چاهون)
- منطقه کرمان (معادن گل گهر)
- منطقه خراسان (معادن سنگان)
- منطقه اصفهان-اراک (معادن شمس آباد)

میزان ذخیره (میلیون تن)			نام معدن
زمین شناسی	قطعی	احتمالی	
۲۵۰	۱,۰۰۰	۱,۲۵۰	گل گهر
۳۷۰	۸۵۰	۱,۲۲۰	سنگان
۴۷	۲۹۵	۳۴۲	چادرملو
۴۰	۶۰	۱۱۰	چغارت
۱,۲۲۰	۳۸۰	۱,۶۰۰	سایر ذخایر آهن
۱,۹۳۷	۲,۵۸۵	۴,۵۲۲	مجموع



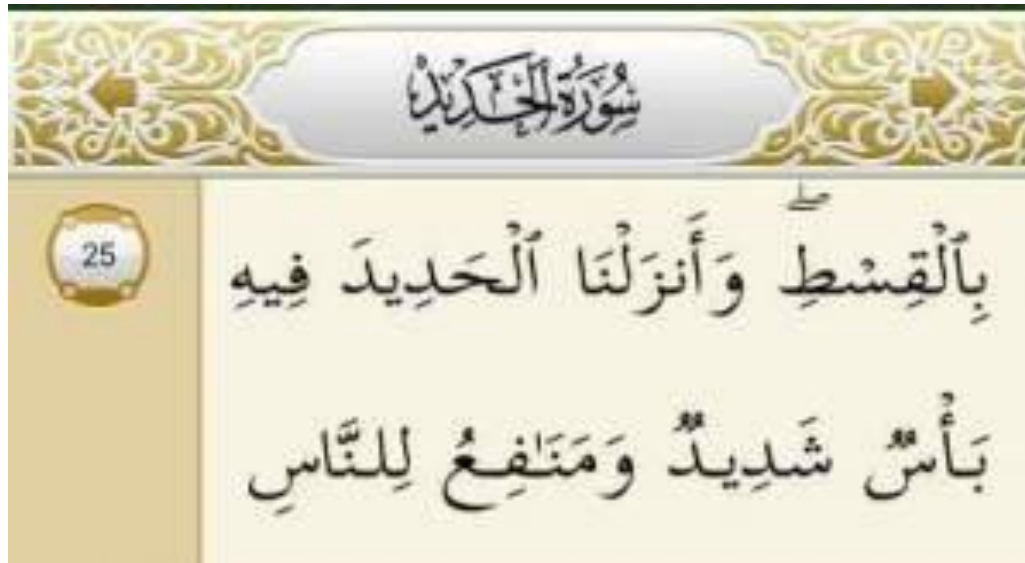
شکل ۲- پراکندگی کانسارهای آهن در ایران

انواع آهن:

- آهن کار شده (Wrought iron): قدیمی ترین نوع آهن، مقاومت بالا در مقابل شوک مکانیکی و ضربه
- آهن خام (Pig Iron): محصول کوره بلند، مستقیماً کاربرد ندارد.
- آهن اسفنجی (Sponge Iron): محصول روشهای احیای مستقیم، مستقیماً کاربرد ندارد
- چدن‌ها
- فولادها



شبهاب سنگ از جنس آهن و نیکل بنام
ویلامیت در سال ۱۹۰۲ در آمریکای شمالی
کشف شد





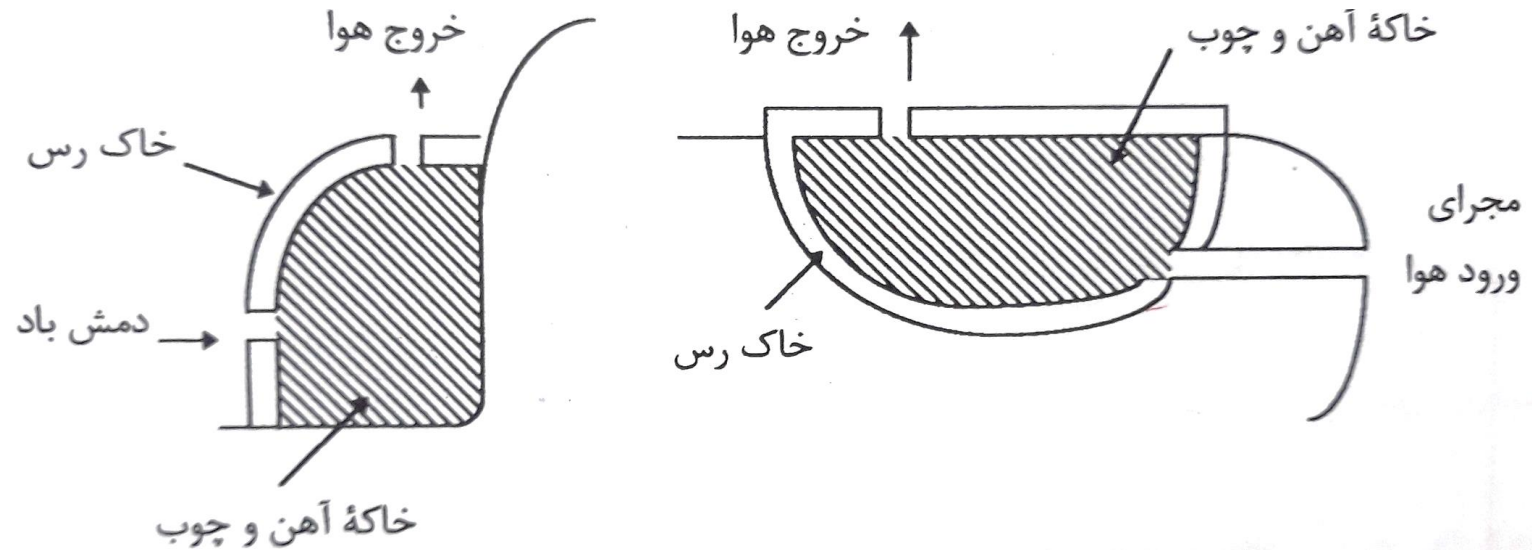
به آتش ز آهن جدا کرد سنگ
کزان سنگ خارا کشیدش برون
از آهنگری اره و تیشه کرد

• فردوسی در جهاندار هوشنگ

نخستین یکی گوهر آمد به چنگ
سر مایه کرد آهن آبگون
چو بشناخت آهنگری پیشه کرد

تاریخچه تولید آهن:

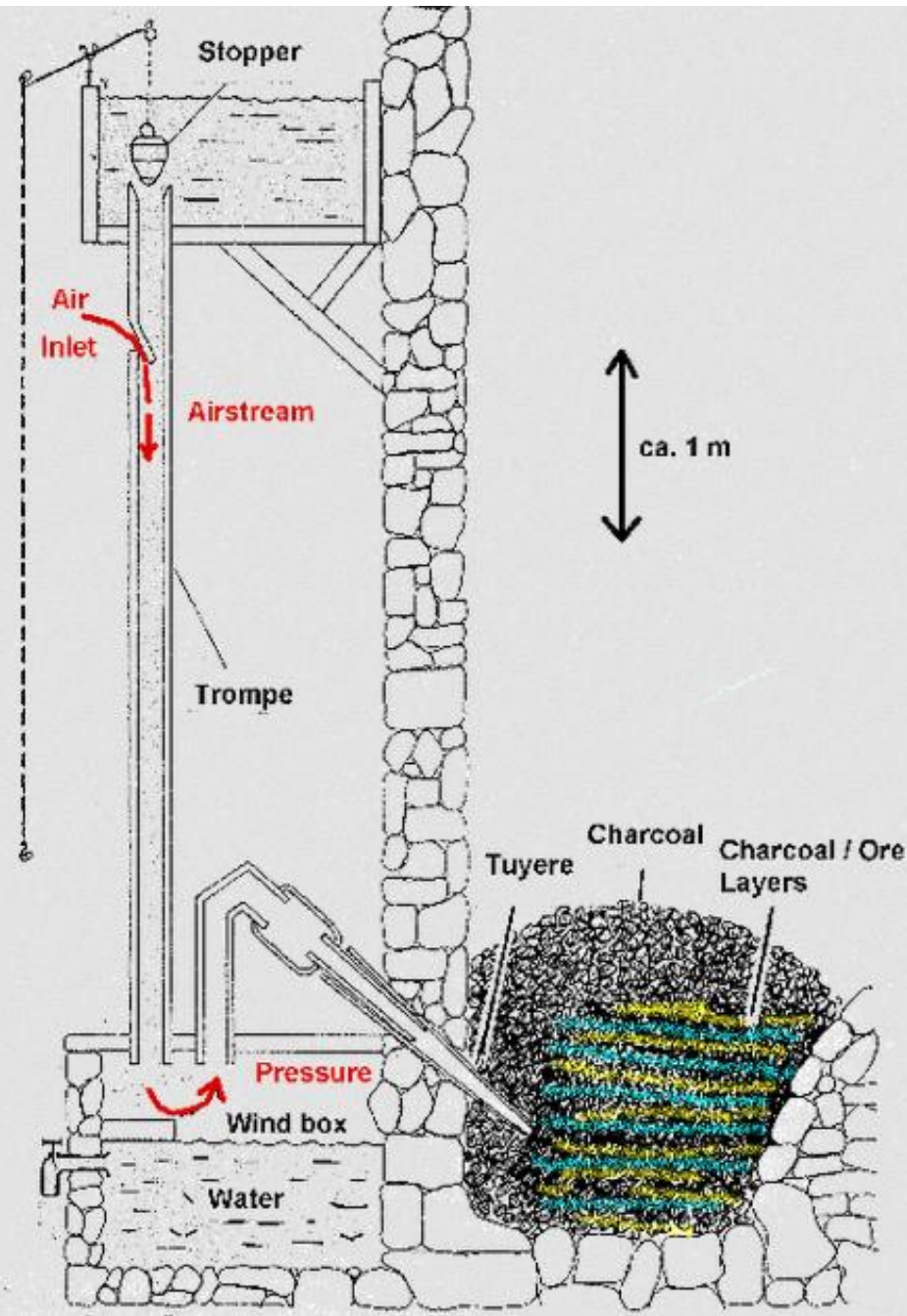
- تمدن قدیم: استحصال آهن در چاله خاکه آهن، چوب و سایر مواد سوختی: آهن کار شده



- قرن سیزدهم: کوره کاتالان catalan forge

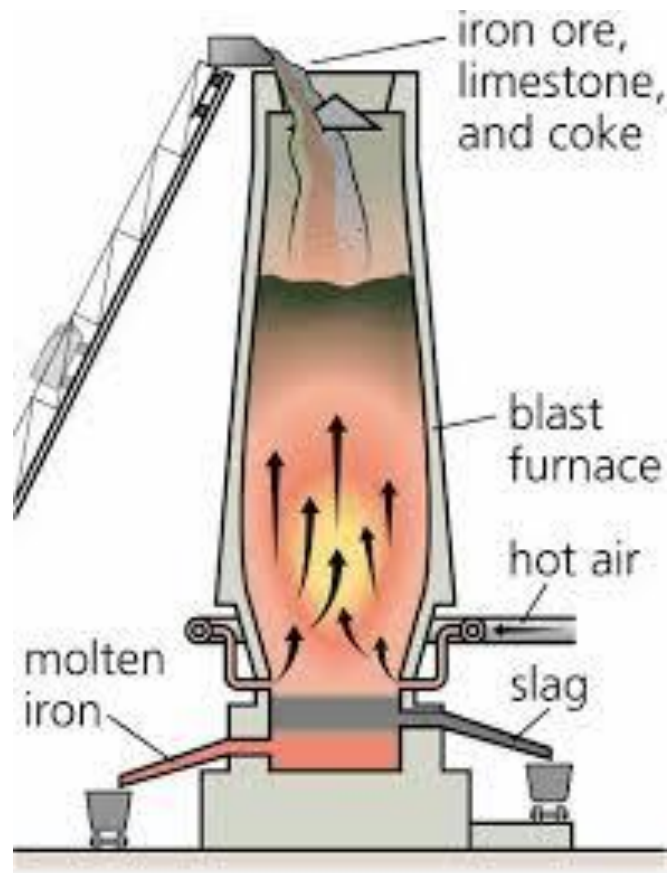
- ارتفاع ۱,۲ متر، دمش هوا

- قرن شانزدهم: استفاده از ترومپ trompe (دمش هوا) در ایتالیا





- کوره آلمانی Stuckofen:
- محصول مذاب
- ارتفاع: ۳-۵ متر
- نرخ دمش بالا و زغال بیشتر
- تولید: ۵۰ تن آهن در سال



امروزه:

• کوره بلند

تولید روزانه: ۱۵۰۰۰ تن

• روشهای احیای مستقیم

کانی های آهن:

نام	ترکیب	نوع	% آهن	چگالی	رنگ
Magnetite	Fe ₃ O ₄	اکسیدی	۷۲/۴	۵/۱۶	سیاه
Hematite	Fe ₂ O ₃	اکسیدی	۷۰	۵/۲۶	قرمز تیره
Limonite	2Fe ₂ O ₃ ,3H ₂ O	هیدراته	۵۹/۹	۳/۸	زرد تیره
Goethite	Fe ₂ O ₃ ,H ₂ O	هیدراته	۶۲/۹	۴/۲	زرد تیره
Lepidocrocite	FeO(OH)	هیدراته	۶۲/۹	۴/۲	زرد تیره
Siderite	FeCO ₃	کربناتی	۴۸/۳	۳/۸۵	قهوه ای
Ilmenite	FeTiO ₃	مخلوط	۳۶/۸	۴/۵	سیاه
Chamosite	3FeO,Al ₂ O ₃ ,2SiO ₂ ,3H ₂ O	مخلوط	۳۴/۱		خاکستری
Pyrite	FeS ₂	سولفیدی	۴۶/۷	۴/۸	زرد
Marcasite	FeS	سولفیدی	۶۳/۶	۴/۹	زرد روشن

فهرست مطالب

- آماده سازی خاکه آهن
- معرفی کوره بلند
- عملکرد کوره بلند
- روشهای احیای مستقیم

آماده سازی خاکه آهن

- تغلیظ و پرعیارسازی

- کلوخه سازی

- گندله سازی

تغلیظ و پرعیار سازی

• خردایش و آسیا کردن

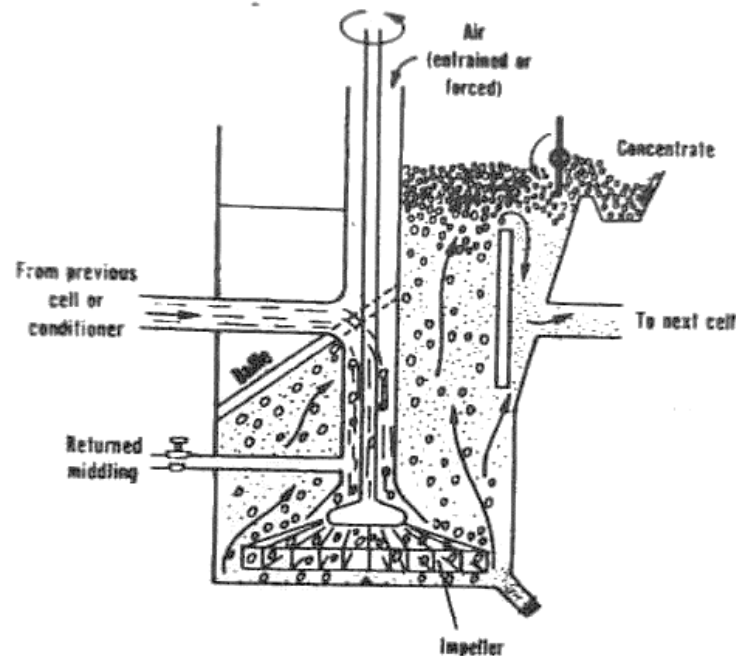
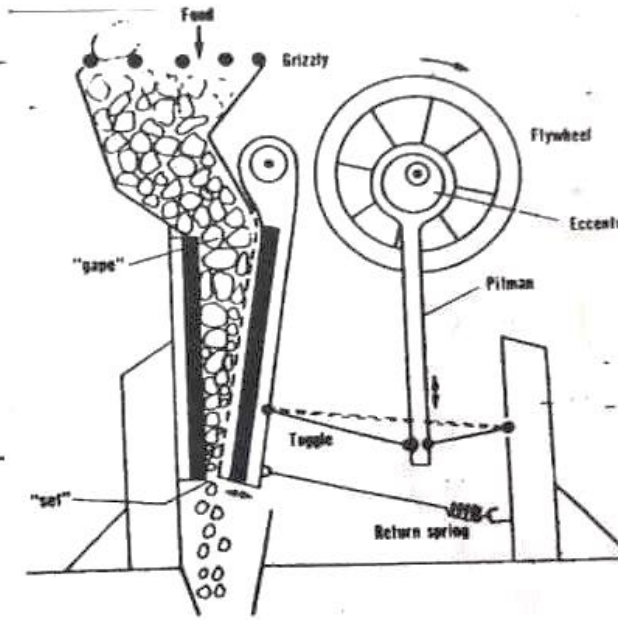
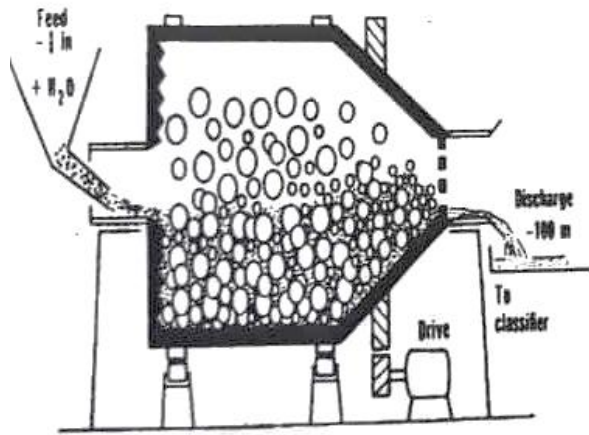
• دانه بندی

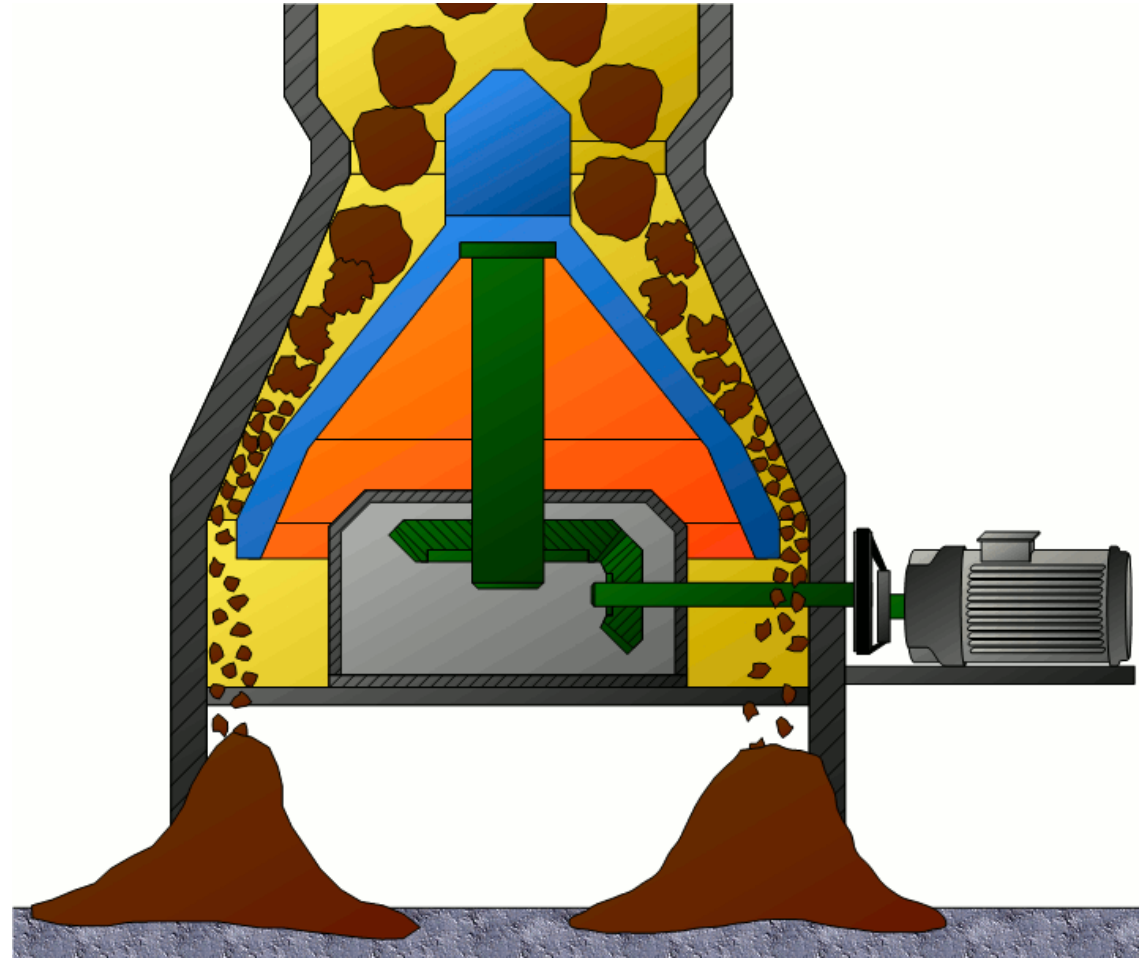
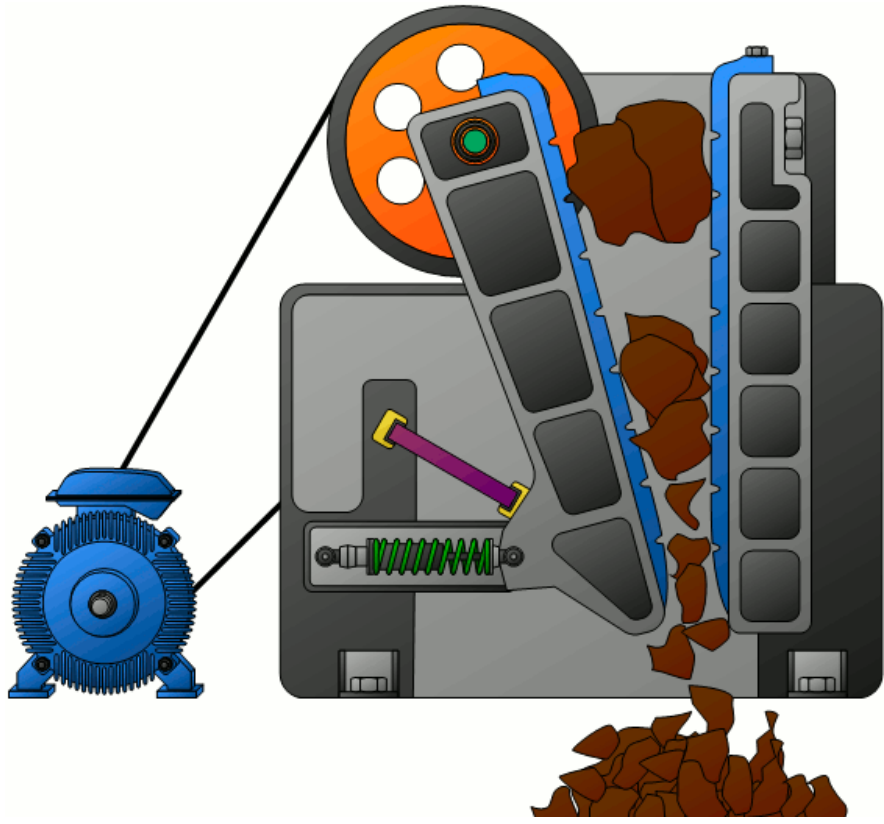
• پرعیار سازی

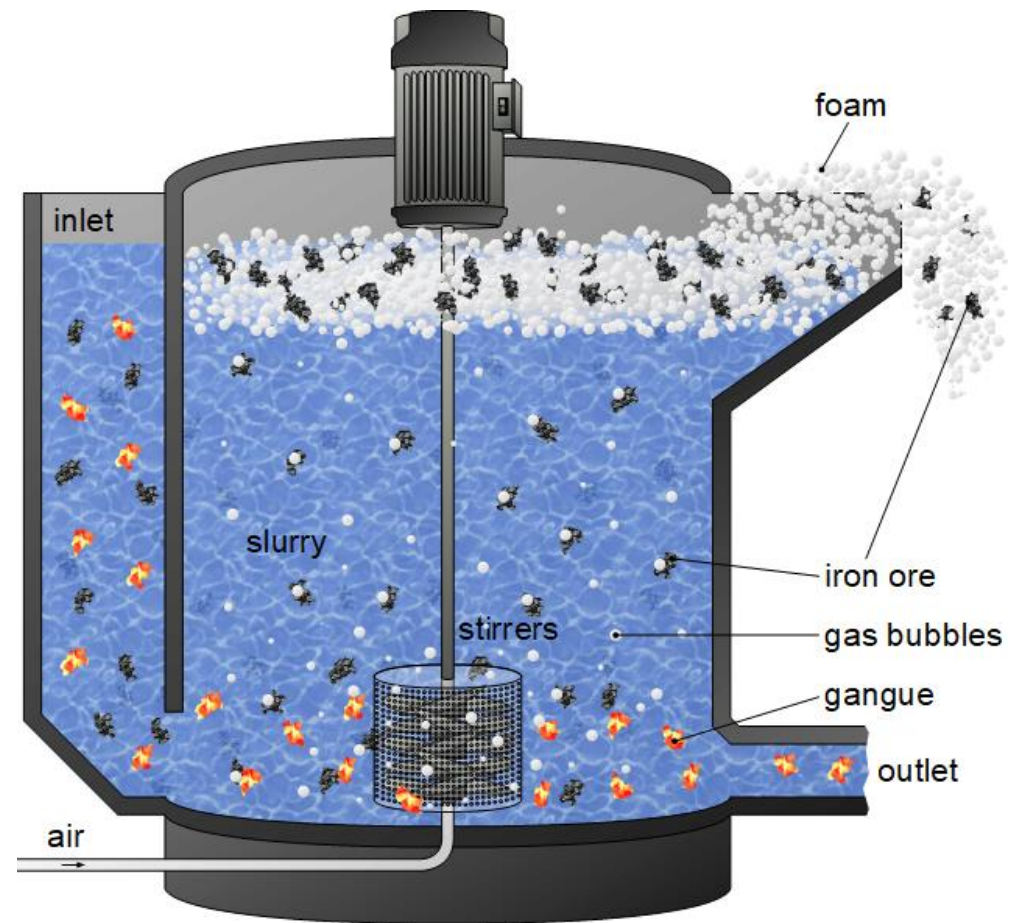
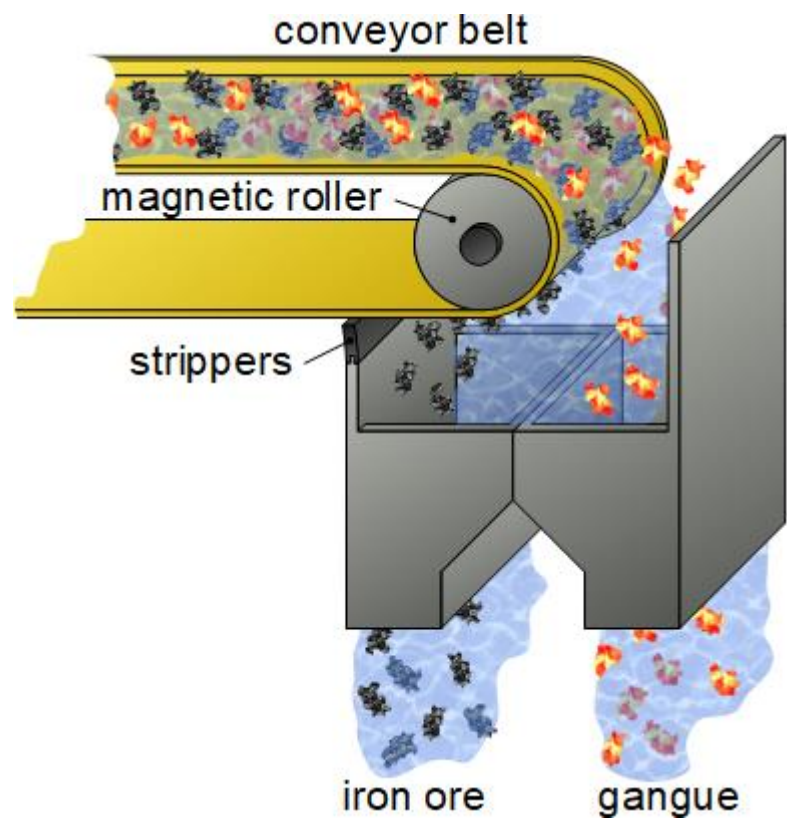
❖ روش مغناطیسی

❖ روش وزنی

❖ روش فلوتاسیون







- شستشو
- تشویه و تکلیس
- مخلوط کردن
- آگلومراسیون (درهمجوشی)

آگلومراسیون (Agglomeration)

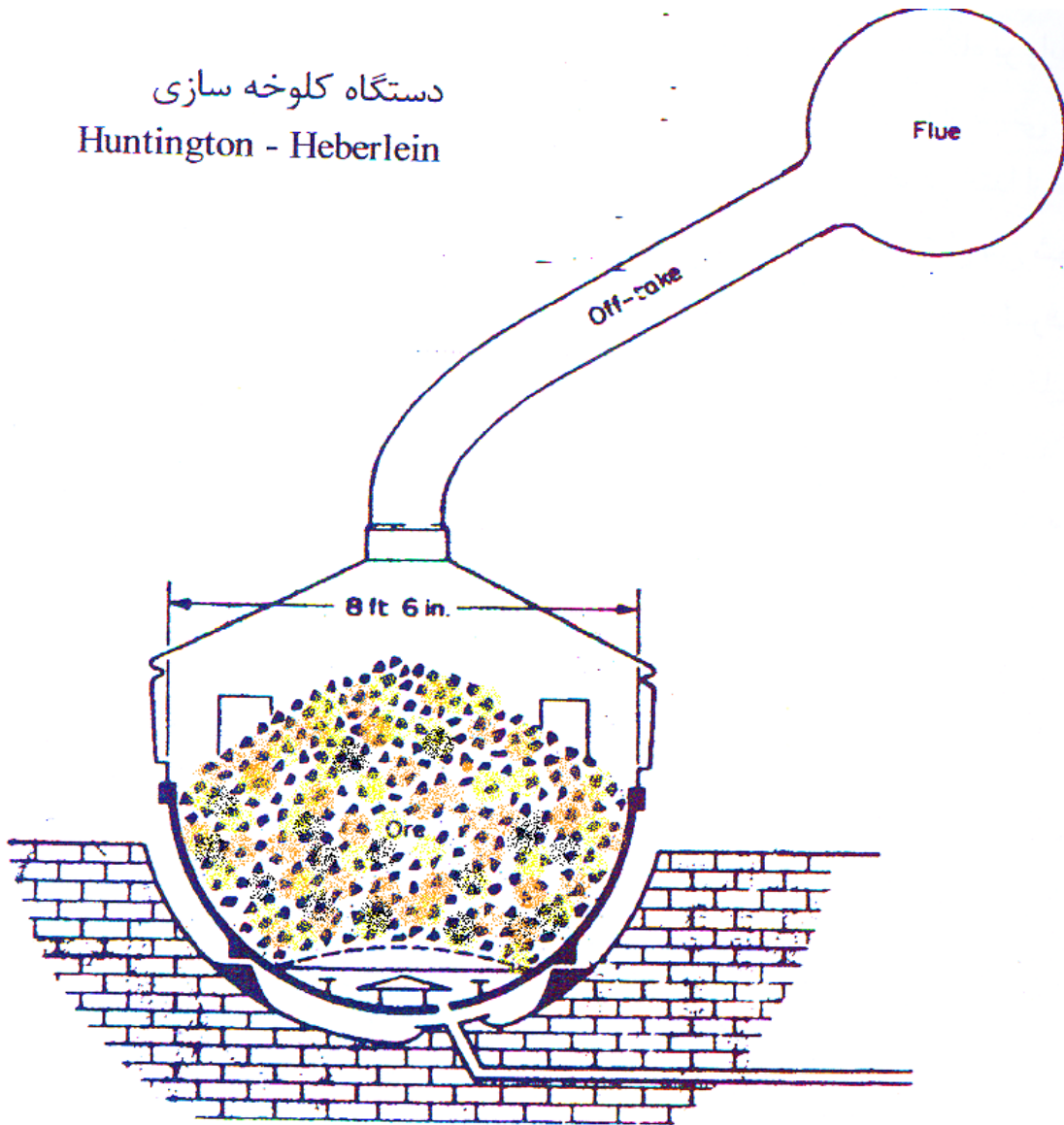
- سهولت عبور گازهای داغ احیایی از میان کنسانتره در کوره‌های عمودی تولید آهن (کوره بلند و یا کوره میدرکس)

روشها:

- خشت سازی Briquetting
- گرده سازی (ندول سازی - رشته سازی) Nebulizing
- اکستروژن در خلا Vacuum extrusion
- کلوخه سازی Sintering
- گندله سازی Pelletizing

کلوخه سازی

دستگاه کلوخه سازی
Huntington - Heberlein



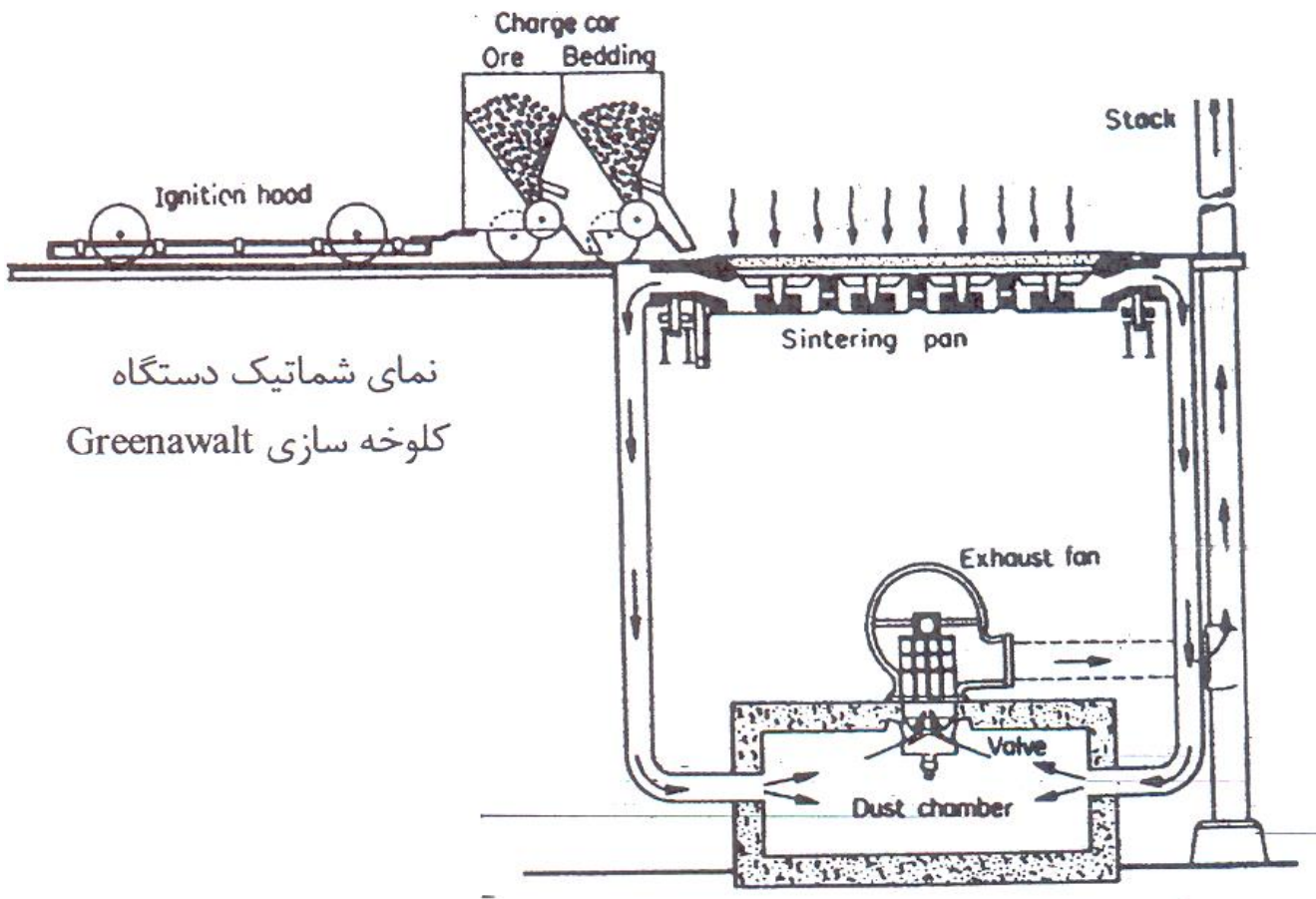
- عبارتست از **حرارت دادن** مخلوطی از پودرهای مختلف به منظور بدست آوردن **کلوخه** هایی با استحکام بالا جهت استفاده در **کوره بلند**

- مخلوط:

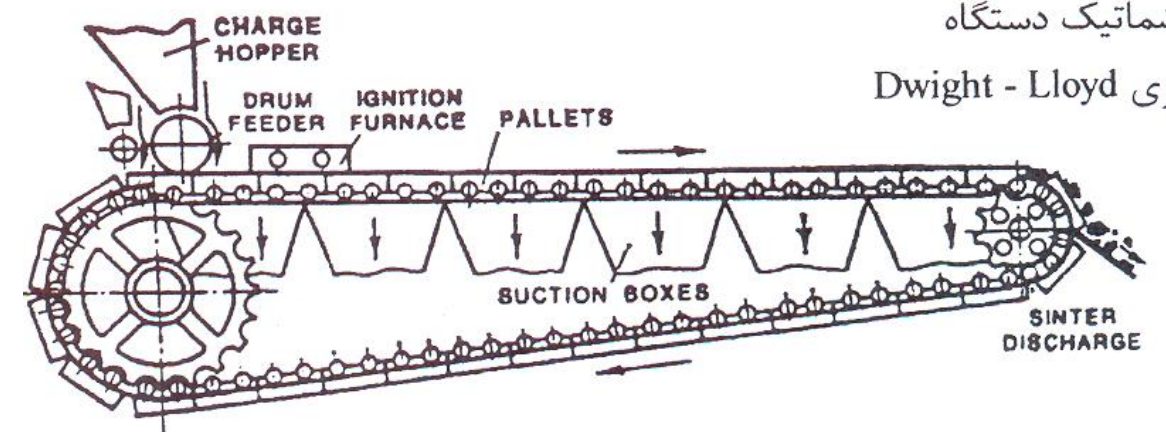
- خاکه های ریز و مرطوب آهن
- برخی مواد مورد نیاز مثل کربناتها
- سوخت جامد (پودر کک)

- حداکثر دمای حین اشتعال: 1200°C - 1500°C

- پیشگرم شدن - اشتعال - خنک شدن



نمای شماتیک دستگاه
کلوخه سازی Greenawalt



نمای شماتیک دستگاه
کلوخه سازی Dwight - Lloyd

استحکام کلوخه

پارامترهای مؤثر:

- دما
- زمان
- نفوذپذیری بستر
- ضخامت بستر
- دبی هوا
- مقدار و نوع کربناتها
- مقدار رطوبت در بار

گندله سازی

- در سال ۱۹۱۳ اختراع و از دهه ۱۹۵۰ صنعتی شد.

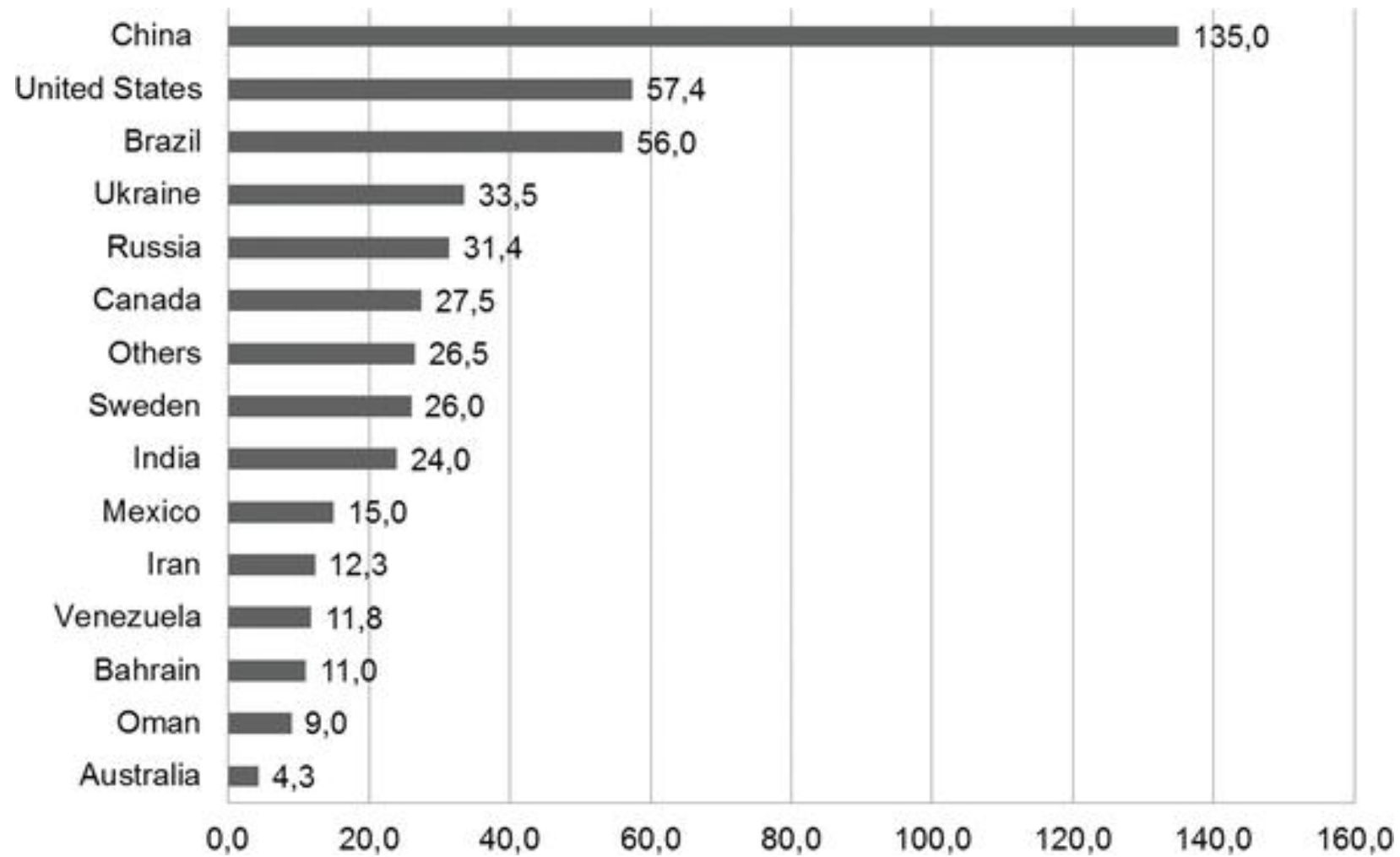
- شامل دو مرحله مجزا است:

- تولید گندله خام
- پخت گندله

- دو خصوصیت مهم گندله:

- شکل کروی آن و یکنواختی اندازه
- ترکیب شیمیایی تقریباً یکنواخت گندله





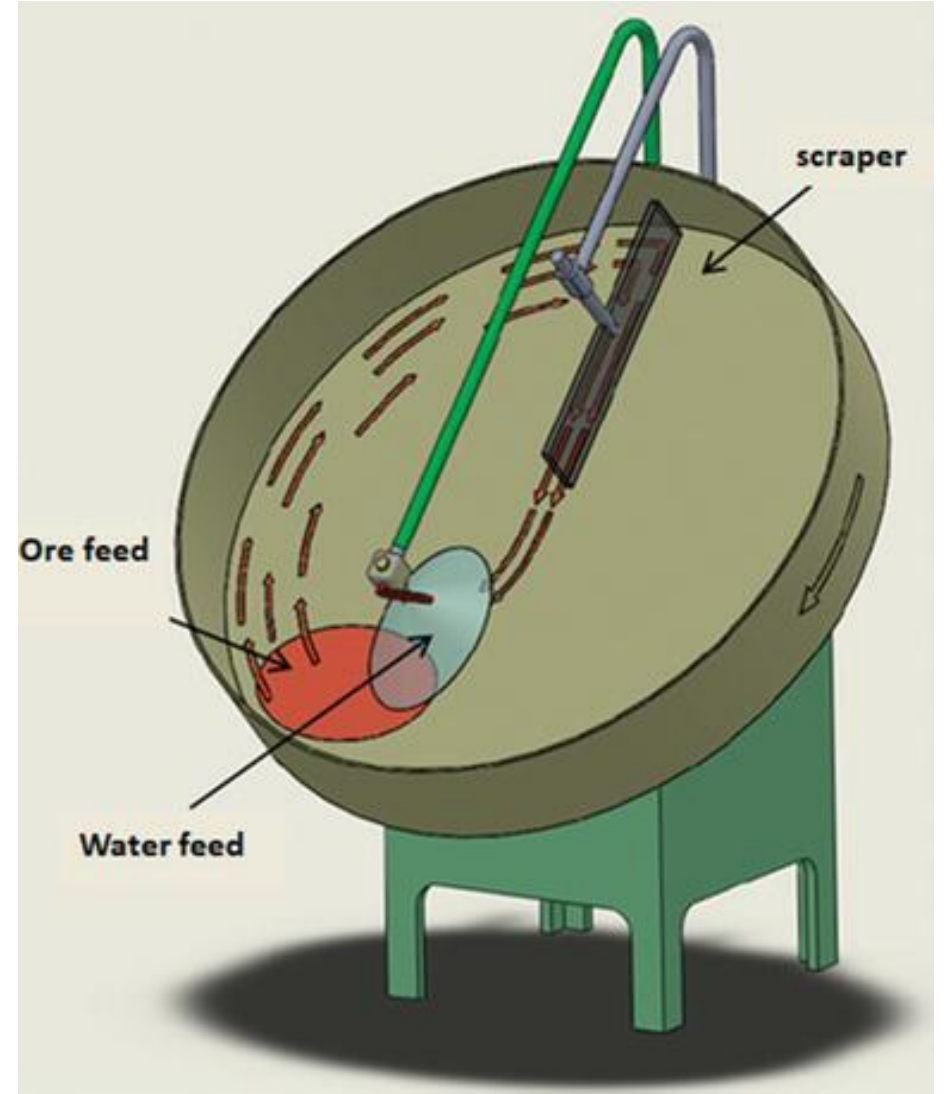
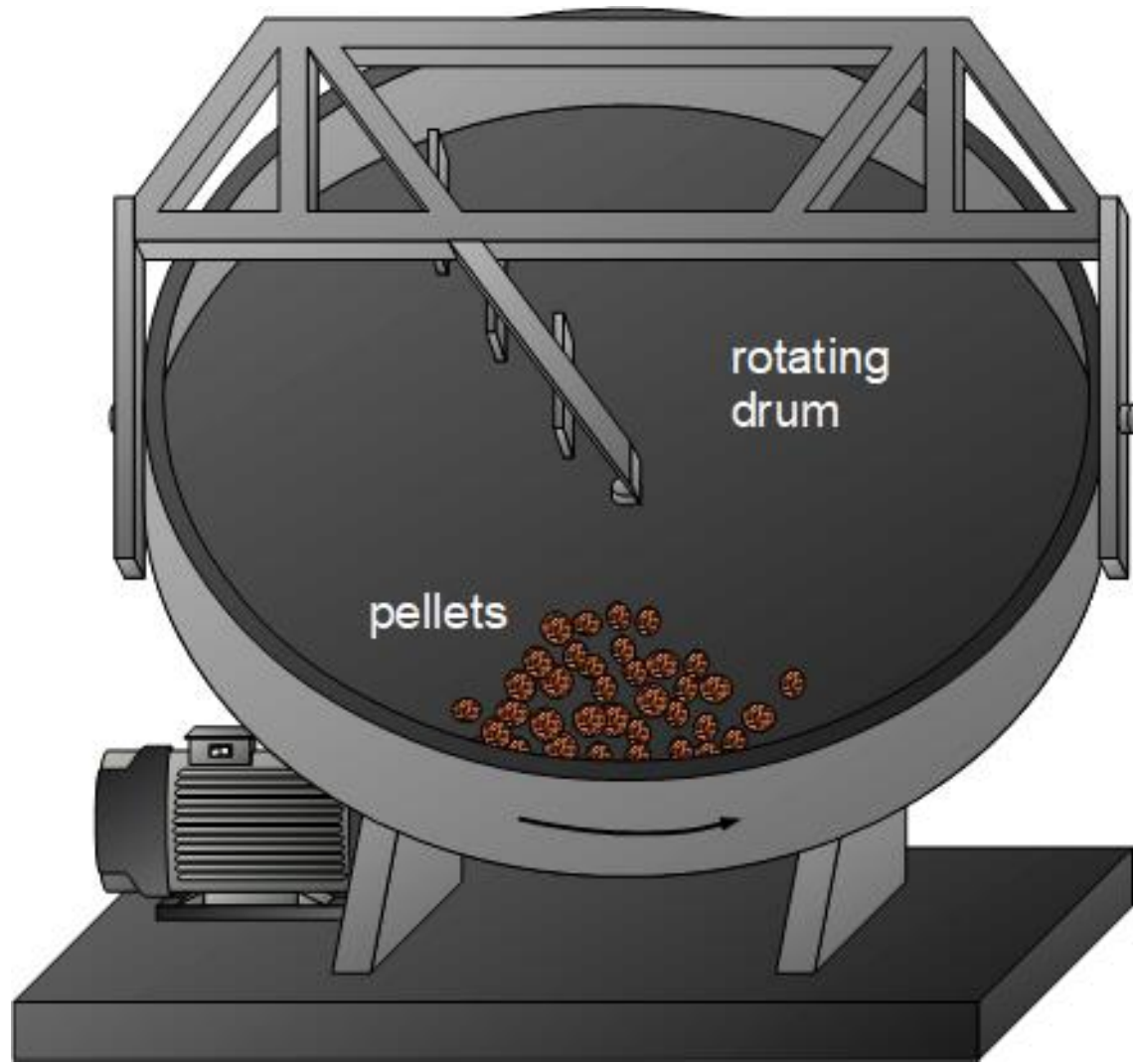
World installed pelletizing capacity (millions of tons/year).

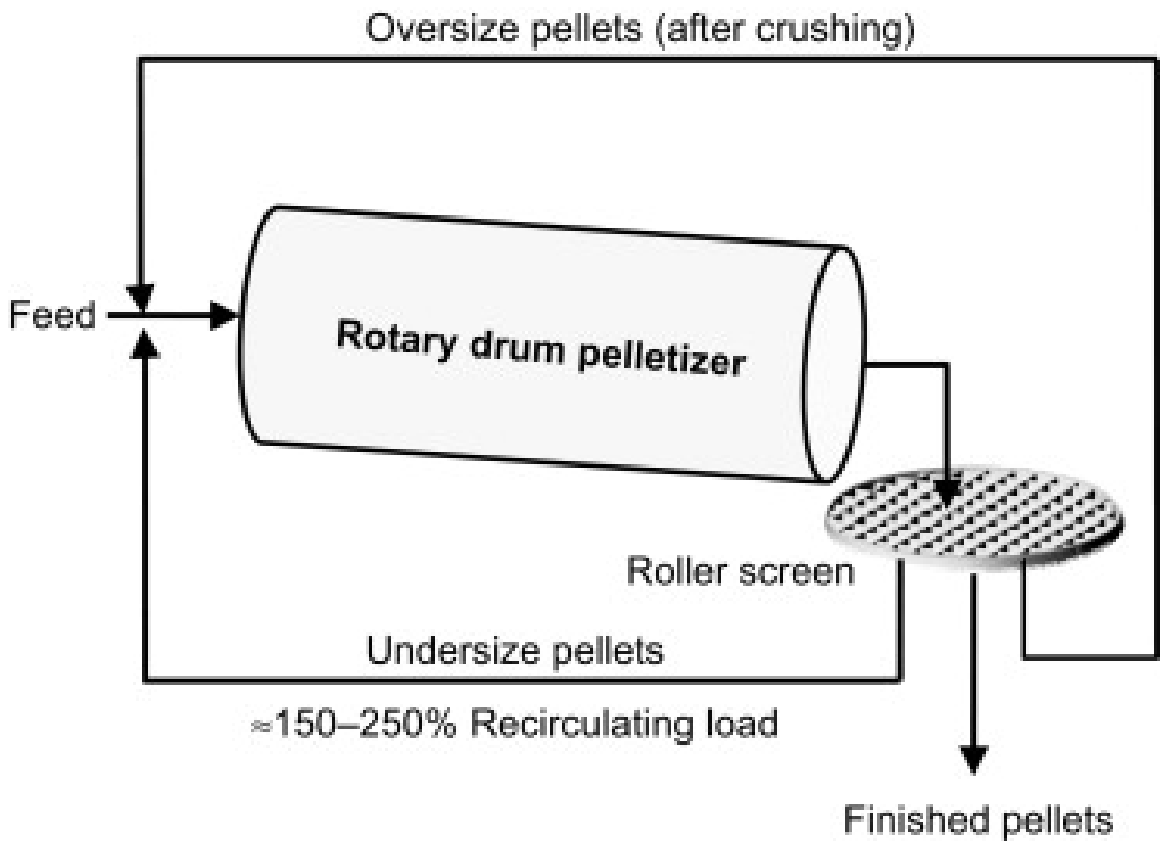
تولید گندله خام

- پودر کنسانتره + چسب + رطوبت
- چسب: بنتونیت، آهک، کربناتهای سدیم و پتاسیم، نشاسته و ...
- رطوبت: اسپری آب

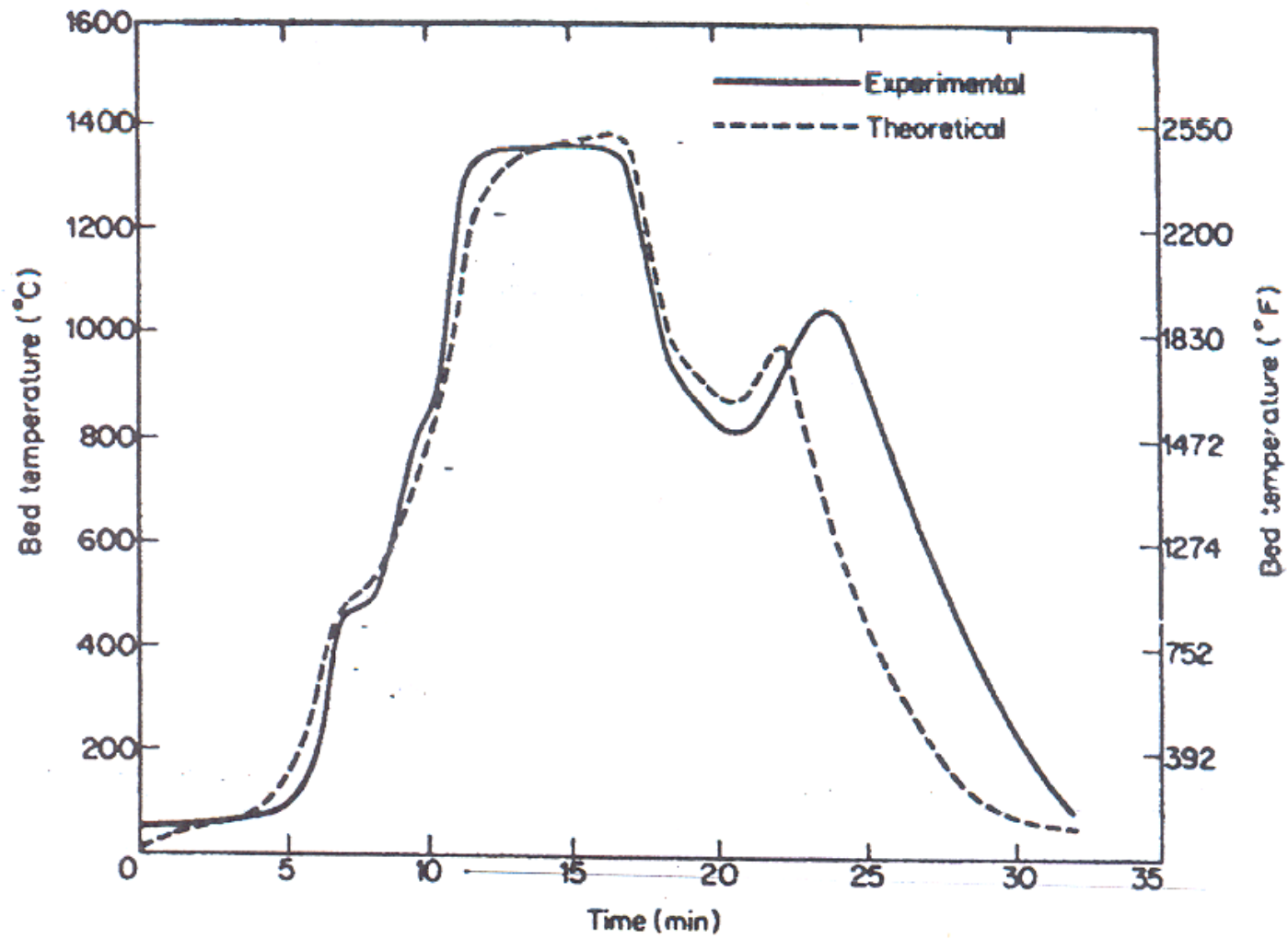
• دستگاهها:

- بشقابک گندله ساز
- بشکه گندله ساز





پخت گندله



- خشک کردن
- پیشگرم کردن
- پخت

خواص گندله

۱. خواص فیزیکی

- مقاومت به سایش و خردایش
- استحکام فشاری: متوسط حدود 250 kg و حداقل 135 kg
- اندازه گندله: $9,5$ تا 16 mm ، حداکثر 5% زیر 5 mm
- تخلخل

۲. خواص شیمیایی

- ترکیب شیمیایی: متوسط عیار آهن ۰.۶۵٪، حداکثر سیلیکا ۰.۵٪، حداکثر گوگرد ۰.۰۰۶، ۰.۰٪
- قابلیت احیا