

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# فصل دوم:

سیمان پرتلند (Portland Cement)



# تاریخچه تولید سیمان:

## (History of Cement Production)

- در سال ۱۸۲۴ میلادی سیمان توسط شخصی به نام ژوزف آسپدین کشف شده است.
- اولین کارخانه سیمان در آمریکا در سال ۱۸۷۲ میلادی
- اولین کارخانه ی سیمان در ایران در سال ۱۳۱۲ هجری شمسی در شهر ری با ظرفیت ۱۰۰ تن سیمان در سال

# سیمان‌های هیدرولیکی و غیرهیدرولیکی (Hydraulic and non-hydraulic cements)

سیمان هیدرولیکی: سیمان‌های معدنی (غیر آلی) که در تماس با مایع مناسبی (معمولاً آب) قرار بگیرند طی یکسری واکنش‌های شیمیایی خاصیت چسبندگی از خود نشان می‌دهند.

سیمان غیر هیدرولیکی: به سیمان‌های معدنی که در تماس با هوا خاصیت چسبندگی از خود نشان دهند، گفته می‌شود.

### (Cement Materials)

- سنگ آهک، خاک رس و مصالح دیگری نظیر سنگ آهن، بوکسیت و سنگ های سیلیسی هم در تولید سیمان استفاده می شود.
- موادی که از سنگ شکن می آید، ۱۴۰۰ درجه سانتی گراد در کوره های دوار حرارت می بینند. در ۹۰۰ درجه شروع به ذوب شدن می کنند. سپس اکسیدها ایجاد می شوند. این اکسیدها با هم ترکیب می شوند و گلوله هایی به نام کلینکر تولید می کنند. بعد کلینکرها را آسیاب می کنند و برای جلوگیری کردن از گیرش سریع آن، به آن سنگ گچ اضافه می کنند.

• اکسید های موجود در سیمان

• اکسید های اصلی

اکسید	درصد	منابع مصالح خام
اکسید کلسیم Cao	60-67	سنگ آهک
اکسید سیلیسیم SiO <sub>2</sub>	17-25	سیلیس
اکسید آلومینیم Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3-8	رس (آلومینا)
اکسید آهن Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.5-6	سنگ آهن



## • اکسید های فرعی

اکسید	درصد	منابع مصالح خام
MgO اکسید منیزیم	0.1- 4	سنگ آهن
SO3 سولفات	1-3	
K2O اکسید پتاسیم	0.4 - 1.3	
Na2O اکسید سدیم		
Mn2O3-P2O3-TiO2	1%	سایر اکسید ها

# 1. آهک

آهک به عنوان یک کمک ذوب عمل کرده و موجب کاهش نقطه پخت سیمان می‌شود. اگر آهک به مقدار کافی با سیلیس ترکیب شود، سیلیکات کلسیم را تشکیل می‌دهد که استحکام را افزایش می‌دهد؛ اما اگر همین آهک از مقدار کافی بیشتر گردد، مقادیری از آن که با سیلیس واکنش نمی‌دهد، شکفته شده و ضمن افزایش حجم سیمان و ایجاد پوکی در آن، مقاومت ملات سیمان و بتن را می‌کاهد و سیمان را ناسالم می‌کند.

کمتر بودن این مقدار از حد معمول نیز موجب می‌گردد که دمای بالاتری برای پخت سیمان لازم گردد و این هزینه‌ی تولید سیمان را افزایش می‌دهد.



## 2. سیلیس

سیلیس عامل مقاومت و دوام سیمان و در نتیجه بتن است. دوامی که سیلیس ایجاد می کند حاصل ایجاد ترکیبی به نام سیلیکات کلسیم است که بیشتر حجم سیمان را تشکیل می دهد.

## 3. رس

علاوه بر افزایش استحکام سیمان و بتن، رس نقش گدازآوری در ترکیب را دارد و باعث می شود مقدار حرارت لازم جهت پخت سیمان کاهش یابد. این ماده به ترکیب آهک و سیلیس کمک می کند و درصد آهک آزاد را کاهش می دهد. هر چه مقدار این ماده بیشتر باشد سرعت ترکیب اجزاء سیمان با یکدیگر و در نتیجه زمان گیرش سیمان سریع تر خواهد بود.

## 4. اکسید آهن

کمک ذوبی قوی است و ضمن پایین آوردن دمای لازم برای پخت سیمان، ترکیب آهک و سیلیس را آسان تر می کند و در نتیجه هزینه ی تولید سیمان را کاهش می دهد. در صورت افزایش مقدار این ماده در سیمان، سیمان تولید شده کندگیرتر شده و رنگ دوده ای به سیمان می دهد.

## 5. اکسید منیزیم

نقش گدازآوری دارد و هر چه که در سیمان کمتر استفاده شود بهتر است؛ زیرا در سیمان ترکیب نمی شود و پس از ترکیب با آب شکفته شده، مقاومت بتن را کاهش می دهد.

## 6. اکسیدهای فرعی (اکسیدهای قلیایی)

آزمایش‌ها نشان داده‌اند که قلیائیهایی که اکسیدهای  $\text{Na}_2\text{O}$  و  $\text{K}_2\text{O}$  با بعضی از سنگدانه‌ها واکنش نشان می‌دهند و حاصل این واکنش باعث تخریب بتن می‌شود. قلیائیهایی که در مقاومت بتن نیز اثر دارند.

## • معادلات بوگ

C3S	$3\text{CaO} + \text{SiO}_2$	60%
C2S	$2\text{CaO} + \text{SiO}_2$	ترکیبات سیلیکاتی

بیشتر خاصیت چسبندگی را به خود  
اختصاص می دهند.

C3A	$3\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3$	20%
C4AF	$4\text{CaO} + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	ترکیبات آلومیناتی

دوام خوبی در برابر سولفات ها  
ندارند.

## • ترکیبات اصلی

### 1. C3S تری کلسیم سیلیکات

گیرش اولیه سیمان به آن بستگی دارد. هر چقدر مقدارش در سیمان بیشتر باشد مقاومت سیمان و بتن هم بیشتر است. در هنگام هیدراته شدن گرمای نسبتاً زیاد  $120 \text{ cal/gr}$  تولید می کند.

### ۲. C2S دی کلسیم سیلیکات

مقاومت و گیرش نهایی سیمان به این ماده بستگی دارد، چون گرمای کمتری را نسبت به C3S تولید می کند. گرمای نسبتاً کم حدود  $62 \text{ cal/gr}$  تولید می کند.

### 3. C3A تری کلسیم آلومینات

نقش زیادی در مقاومت بتن ندارد. میزان حرارت ایجاد شده در اثر هیدراسیون خیلی بالاست (۲۰۷cal/gr). روی گیرش اولیه تاثیر می گذارد.

در موقع سخت شدن سیمان وقتی در معرض حمله سولفاتها قرار می گیرد، تشکیل سولفات آلومینات کلسیم می دهد که این باعث خرابی بتن می شود.

C3A نقش کاتالیزور در سیمان ایفا می کند و باعث سهولت ترکیب CaO با SiO<sub>2</sub> می شود.

### 4. C4AF تترا کلسیم آلومینو فریت

نسبت به ترکیبات دیگر خیلی کم است و حرارت خیلی کمی تولید می کند.

ترکیب این ماده با سنگ گچ سیمان، سولفوفریت کلسیم ایجاد می کند که باعث هیدراتاسیون سیلیکات ها می شود.



ترکیبات سیمان	نشانه شیمیایی	درصد وزنی	میانگین درصد وزنی
تری کلسیم سیلیکات	$3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ( $\text{C}_3\text{S}$ )	۴۰ الی ۸۰	۶۰
دی کلسیم سیلیکات	$2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ( $\text{C}_2\text{S}$ )	۳۰ الی ۰	۱۸
تری کلسیم آلومینات	$3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ ( $\text{C}_3\text{A}$ )	۴ الی ۱۵	۸
تتراکلسیم آلومینو فریت	$4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ ( $\text{C}_4\text{AF}$ )	۷ الی ۱۵	۱۱
آهک زنده (اکسید کلسیم)	$\text{CaO}$	۰ الی ۳	۱
اکسید منیزیم	$\text{MgO}$	۰.۵ الی ۴	۱

اثر نسبی ترکیبات اصلی بر ویژگی‌های سیمان

C4AF	C3A	C2S	C3S	ویژگی
کند	سریع	کند	متوسط	سرعت واکنش‌های شیمیایی
کم	خیلی زیاد	کم	متوسط	سرعت هیدراسیون
کم	کم	زیاد	زیاد	مراحل نهایی مقاومت
کم	زیاد	کم	زیاد	مراحل اولیه
کم	زیاد	کم	متوسط	خاصیت چسبندگی (سیمانی)

## عوامل تاثیر گذار بر خواص سیمان

- ترکیبات اصلی سیمان
- اکسید های فرعی
- سنگ گچ
- ریزی سیمان
- مواد شیشه ای بی شکل

## اثر سنگ گچ

سیمان دارای گیرش خیلی سریع است. ترکیب آن با سنگ گچ باعث تنظیم زمان گیرش سیمان میگردد.

## اثر ریزی سیمان

باعث افزایش سرعت هیدراسیون و سریع تر شدن گیرش سیمان می شود.

## اثر مواد شیشه ای بی شکل

- باعث می شود اکسید های مضر وارد کلینکر نشوند.

- نقش چسبانندگی ایفای نمی کنند.

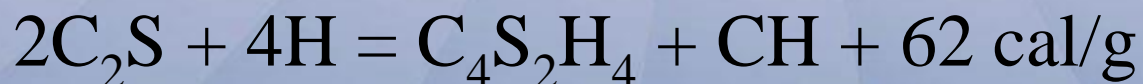
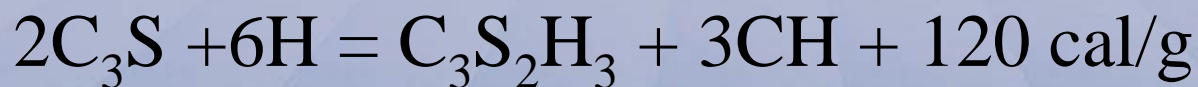
## (Cement hydration)

## هیدراسیون سیمان

✓ به عمل سخت شدن سیمان بر اثر واکنش بین پودر آن و آب، هیدراسیون گویند. این واکنش به محض تماس آب با سطح ذرات سیمان آغاز می شود. گرمازا است و هر چه که سیمان ریزتر باشد، سریع تر انجام خواهد گرفت و ماده چسباننده حاصل از هیدراته شدن سیمان زودتر شکل خواهد گرفت.

✓ میزان درصد آبی که در این واکنش ها مورد استفاده خواهد شد، نسبت به میزان کل آب موجود بسیار کم بوده و بخش بیشتر آب صرف ایجاد کارایی مخلوط می شود.

## هیدراسیون سیمان



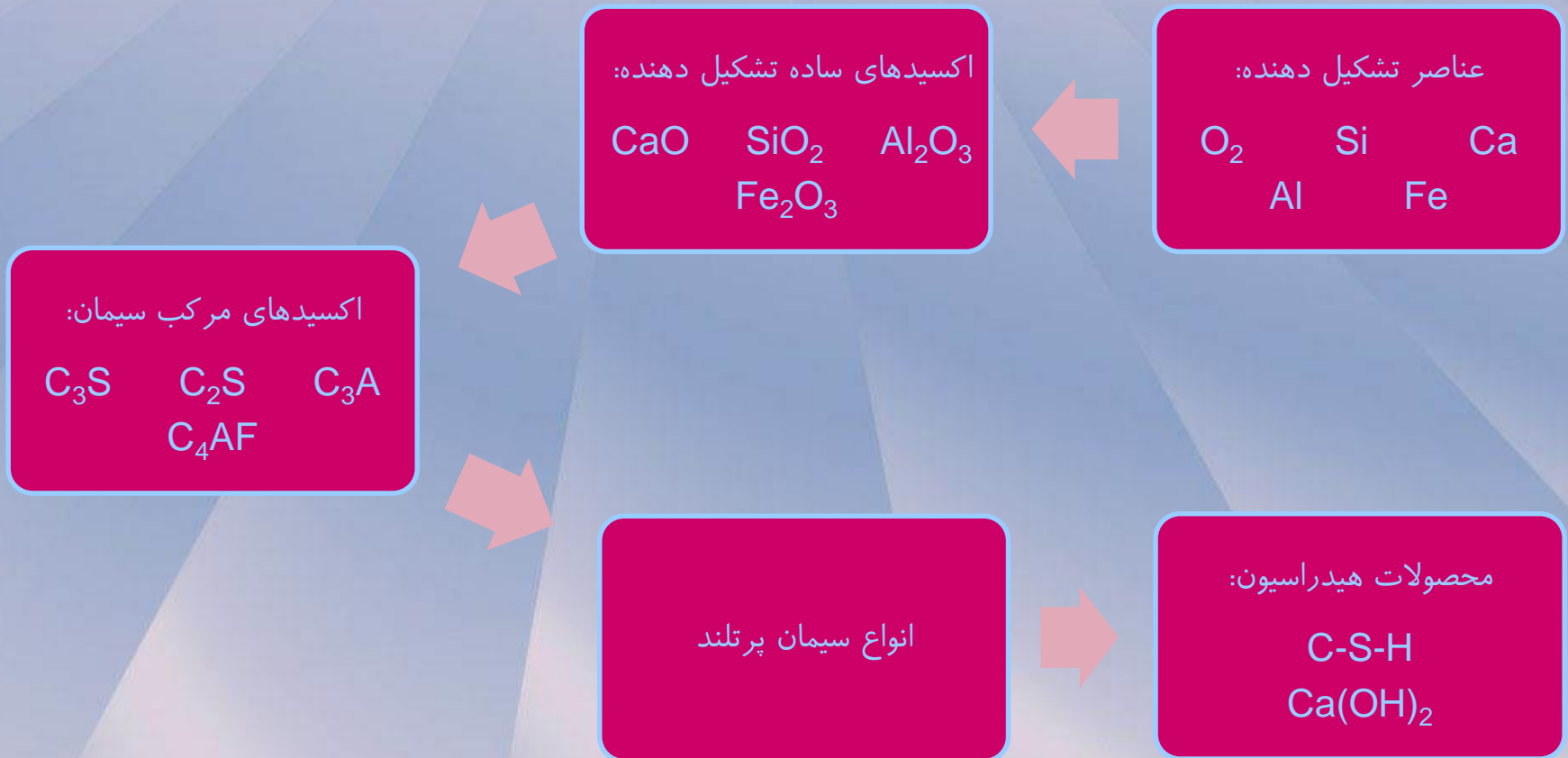
فرمول شیمیایی	اختصار شیمیایی
CaO	C
SiO <sub>2</sub>	S
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	A
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	F
H <sub>2</sub> O	H

هیدراسیون  $C_4AF$  نیز مشابه  $C_3A$  می باشد، اما سرعت و حرارت تولیدی آن کمتر است (حدود ۱۰۰ کالری بر گرم) و به مقدار کمی با گچ ترکیب می شود و سهم اندکی در ایجاد مقاومت سیمان در برابر حمله ی سولفات ها خواهد داشت.





# هیدراسیون سیمان



# روش های تولید سیمان

1. روش تر و نیمه تر

2. روش نیمه خشک

3. روش خشک

## روش تر و نیمه تر



در این روش خاک رس مصرفی در دستگاه دوغاب ساز تبدیل به دوغاب شده و سپس با ترکیب با سنگ آهک آسیاب شده، غلظت بیشتری کسب می کند و پس از یکسری آزمایشات و تنظیمات به کوره فرستاده می شود. در روش نیمه تر مواد خروجی از آسیاب مواد به صورت دوغاب بوده و پیش از ورود به کوره توسط فیلتر فشرده شده و آب آن گرفته می شود.

## روش نیمه خشک

در این روش مواد اولیه به صورت خشک با یکدیگر مخلوط شده و آن گاه در آسیاب پودر می شوند؛ اما پیش از آن که به عنوان خوراک وارد کوره شوند، مقداری آب روی آن می پاشند.



## روش خشک

در این روش، مواد اولیه به صورت خشک وارد آسیاب شده و پس از ایجاد تنظیمات لازم بر روی پودر خروجی از آسیاب، وارد کوره می‌شوند.





# ❖ استخراج مواد اولیه



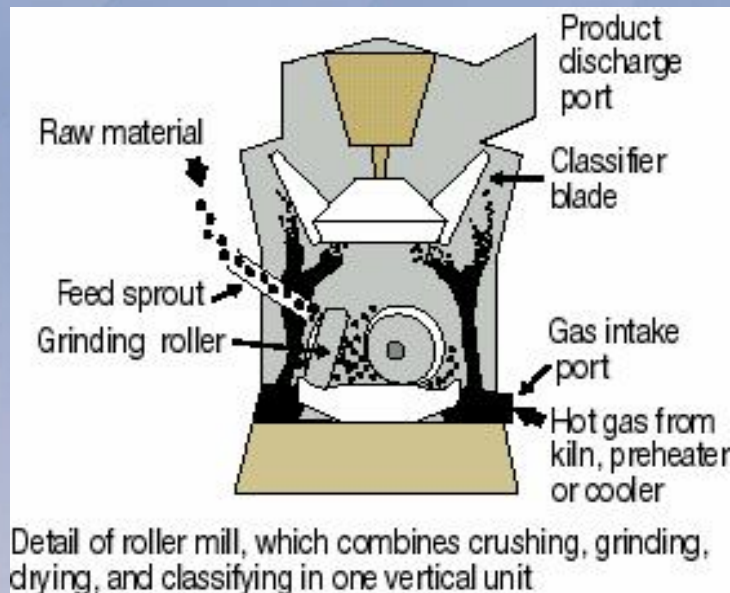




## ❖ خرد کردن مواد اولیه



عمده مواد اولیه مصرفی ، مواد آهکی هستند، که معمولاً در ایران مواد آهکی به صورت سنگ آهک صخره ای ، لایه لایه و نسبتاً سخت هستند. به دلیل سخت بودن مواد اولیه و همچنین مواد اولیه کمکی نظیر سنگ آهن و سنگ سیلیس، وجود دستگاه های سنگ شکن یا خرد کن در کارخانه سیمان از ضروریات است.





خاک رس معمولاً به همراه مقداری کلوخه‌های درشت و خرده سنگ است، که برای خرد کردن، جداگانه و یا از خرد کن مربوط به سنگ آهک استفاده می‌نمایند. برای خرد کردن سنگ آهک از دستگاه‌های با طرح‌های گوناگون استفاده می‌شود که از جمله آنها دستگاه‌های زیر است :

(۱) سنگ شکن متحرک

(۲) سنگ شکن ثابت





# • آسیاب مواد خام گلوله‌ای



# 1. آسیاب غلتکی



## ❖ سیلو های مواد خام





## ❖ تنظيم مواد خام





# ❖ پیش گرم کن

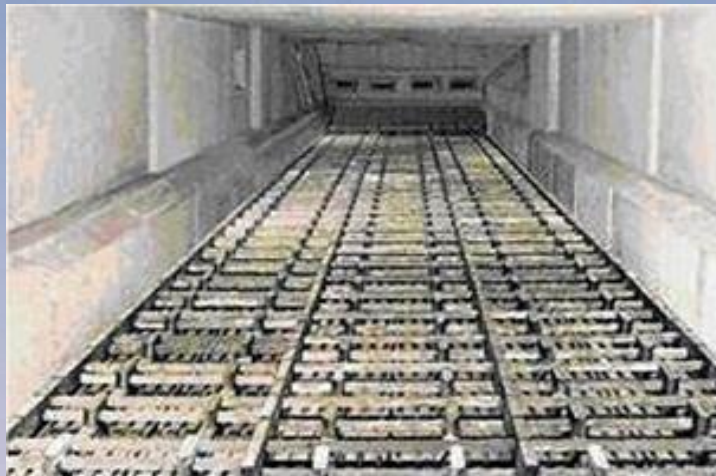
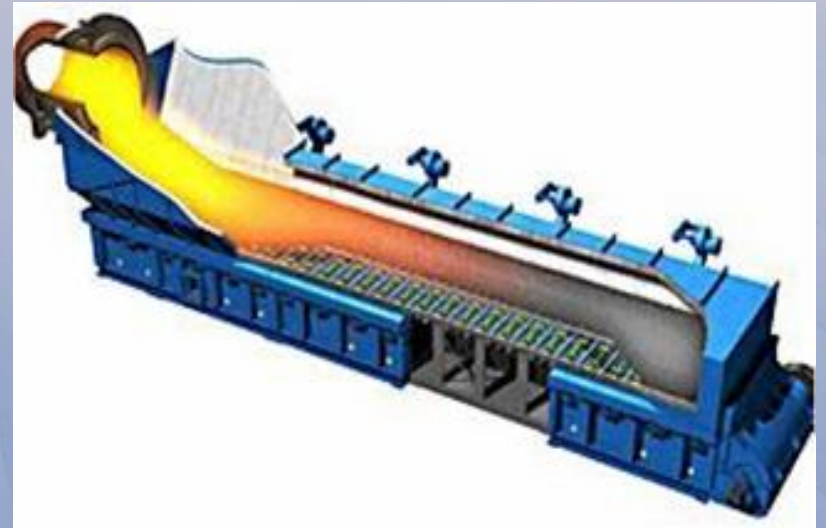
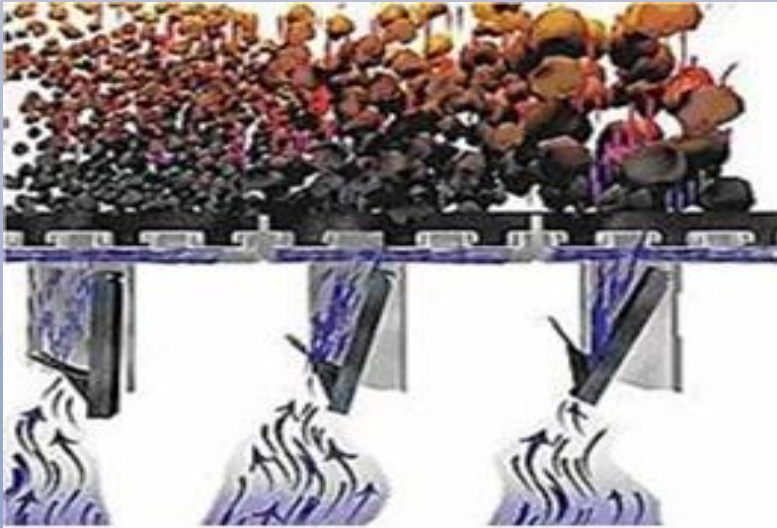




# ❖ کوره دوار



# ❖ خنک کن





# ❖ سیلوی کلینکر



## ❖ بارگیری سیمان

بعد از آسیاب، سیمان را در کیسه های کاغذی مخصوص که از رطوبت تا حدی جلوگیری می کند و در بعضی کشورها در کیسه های پلاستیکی و یا به وسیله تانکرهای بزرگ مخصوص حمل سیمان به محل کار انتقال می دهند.

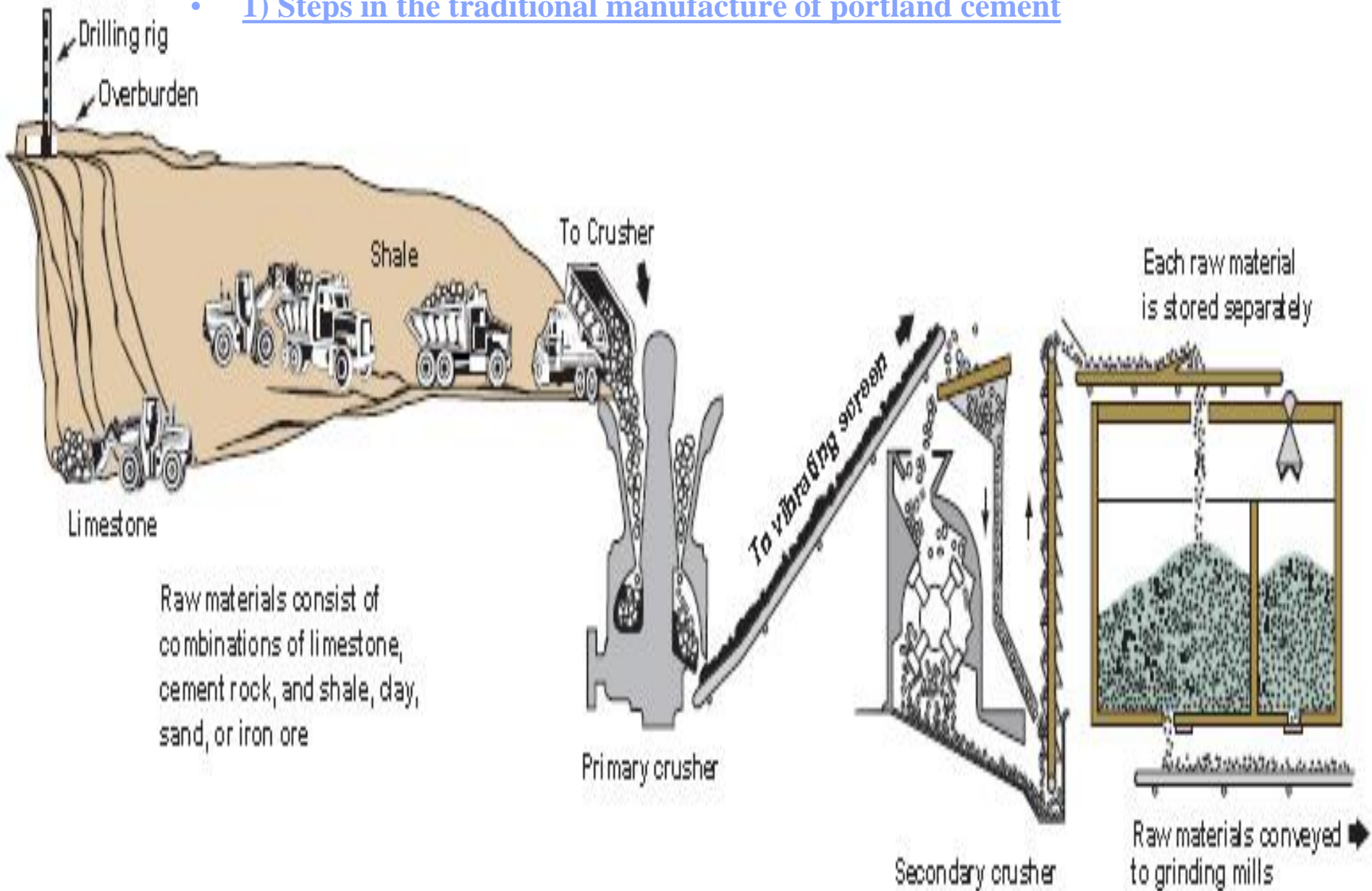




## ❖ نمای کلی خط تولید سیمان



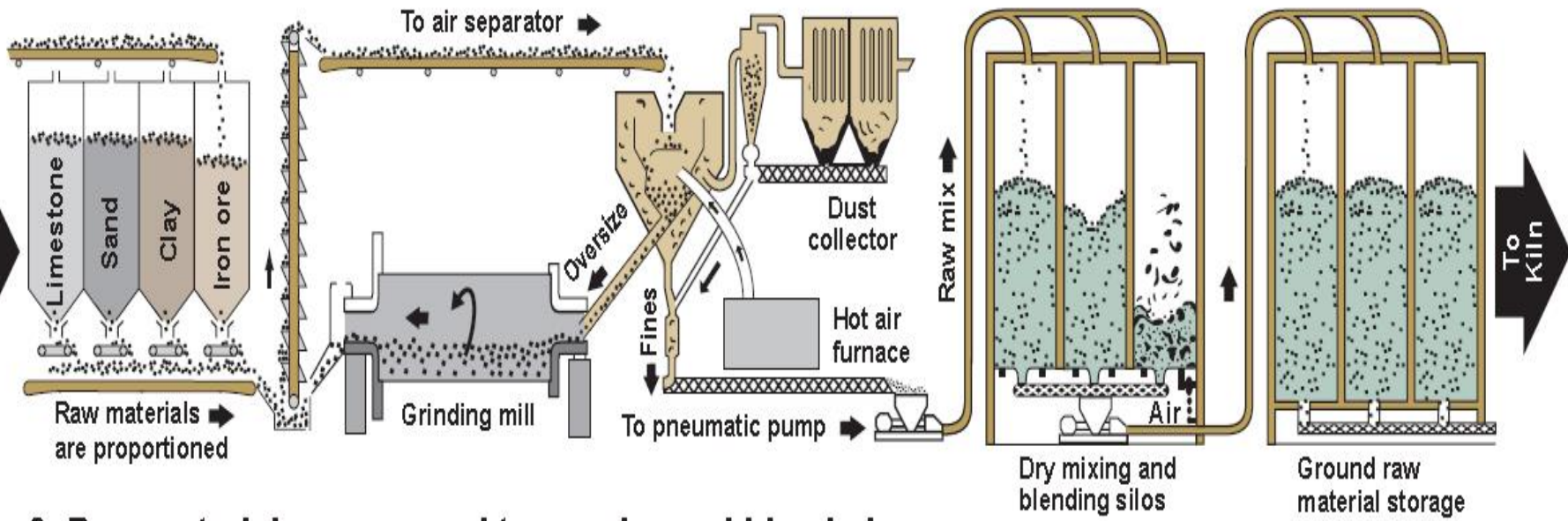
• 1) Steps in the traditional manufacture of portland cement



1. Stone is first reduced to 125 mm size, then to 20 mm, and stored.

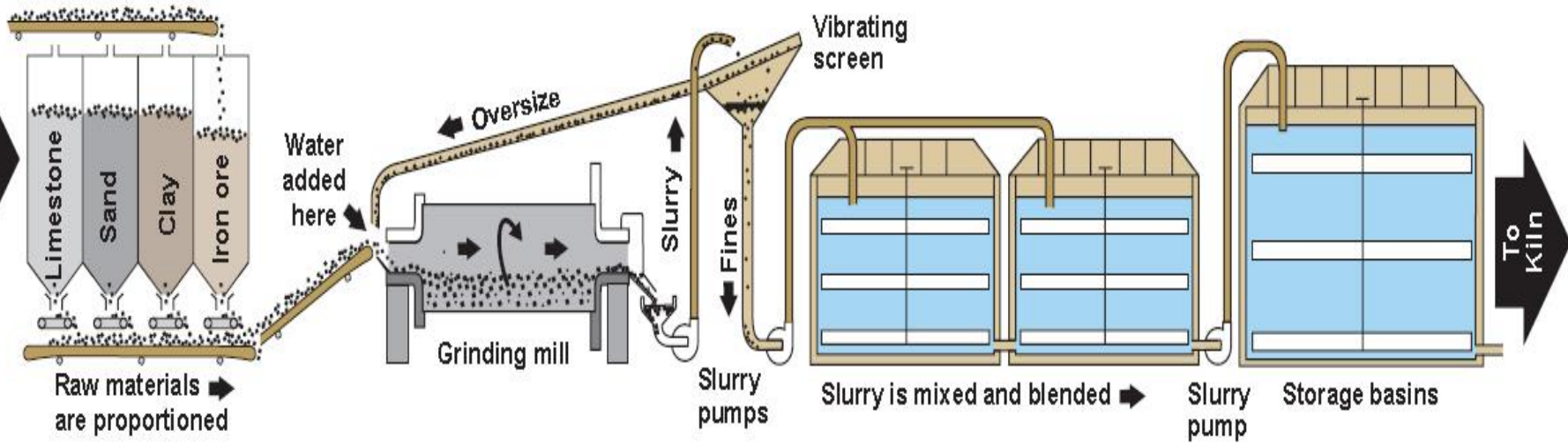


Dry Process

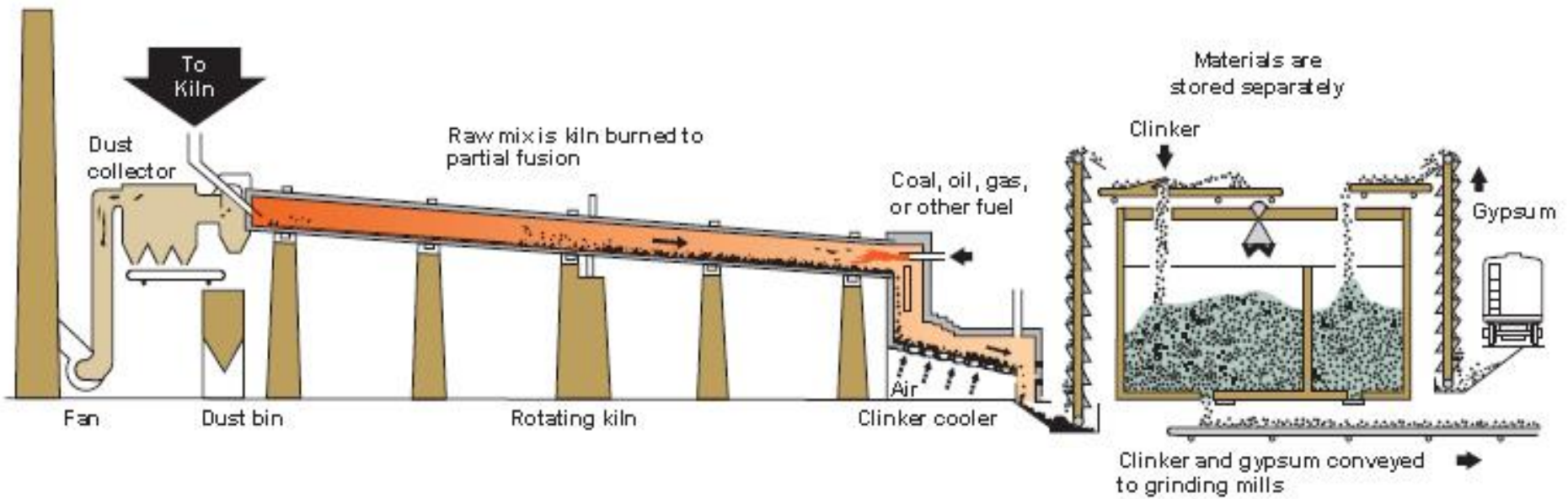


OR 2. Raw materials are ground to powder and blended.

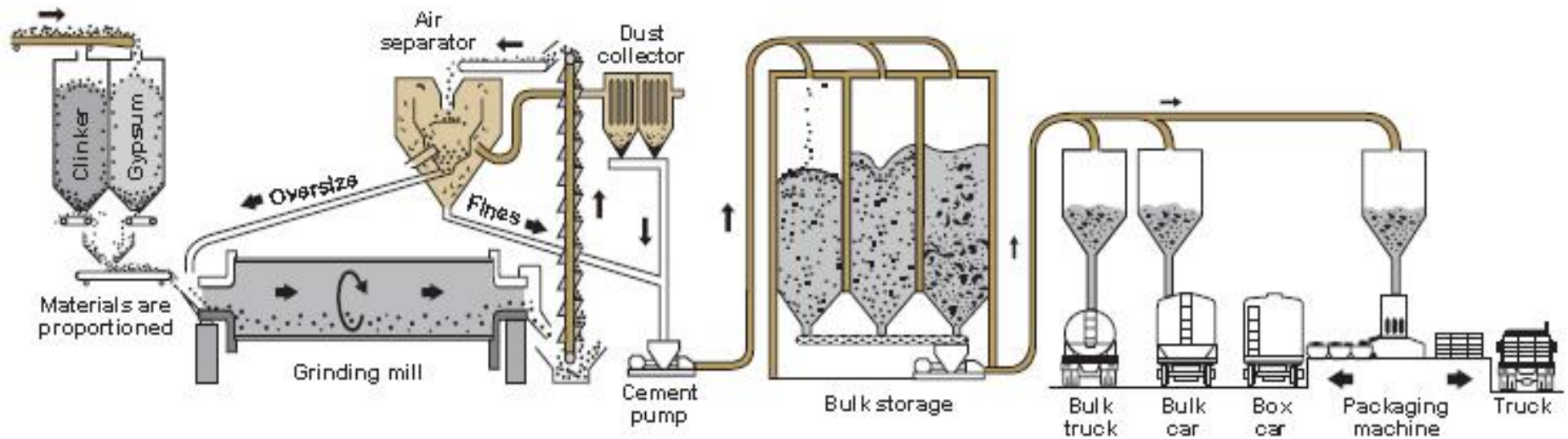
Wet Process



2. Raw materials are ground, mixed with water to form slurry, and blended.



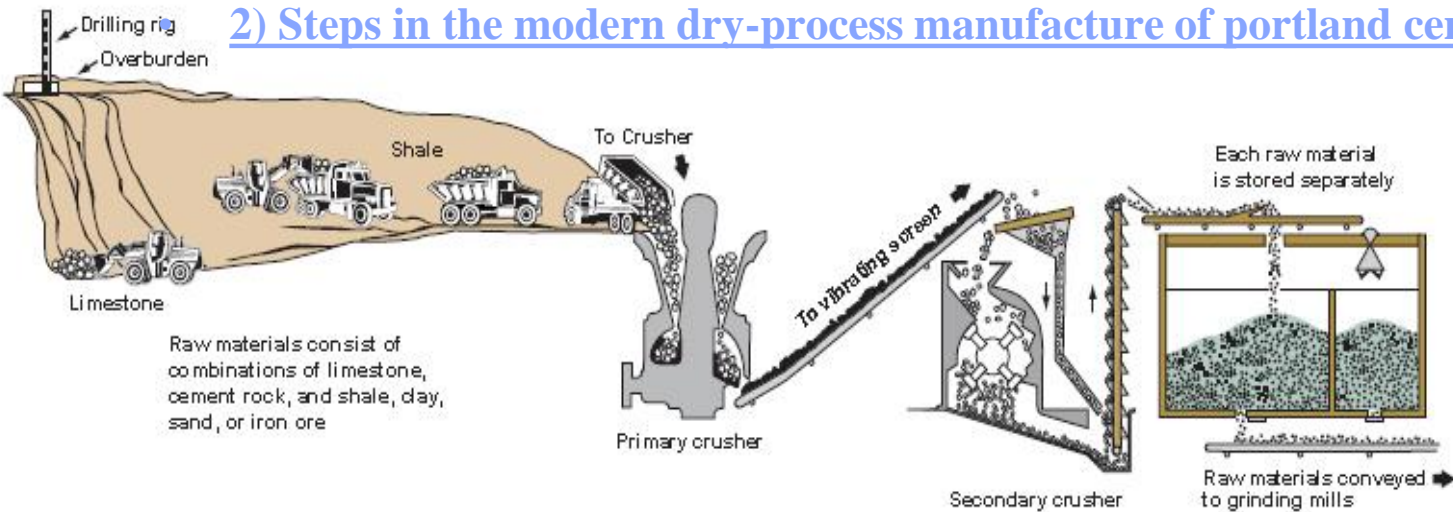
**3. Burning changes raw mix chemically into cement clinker.**



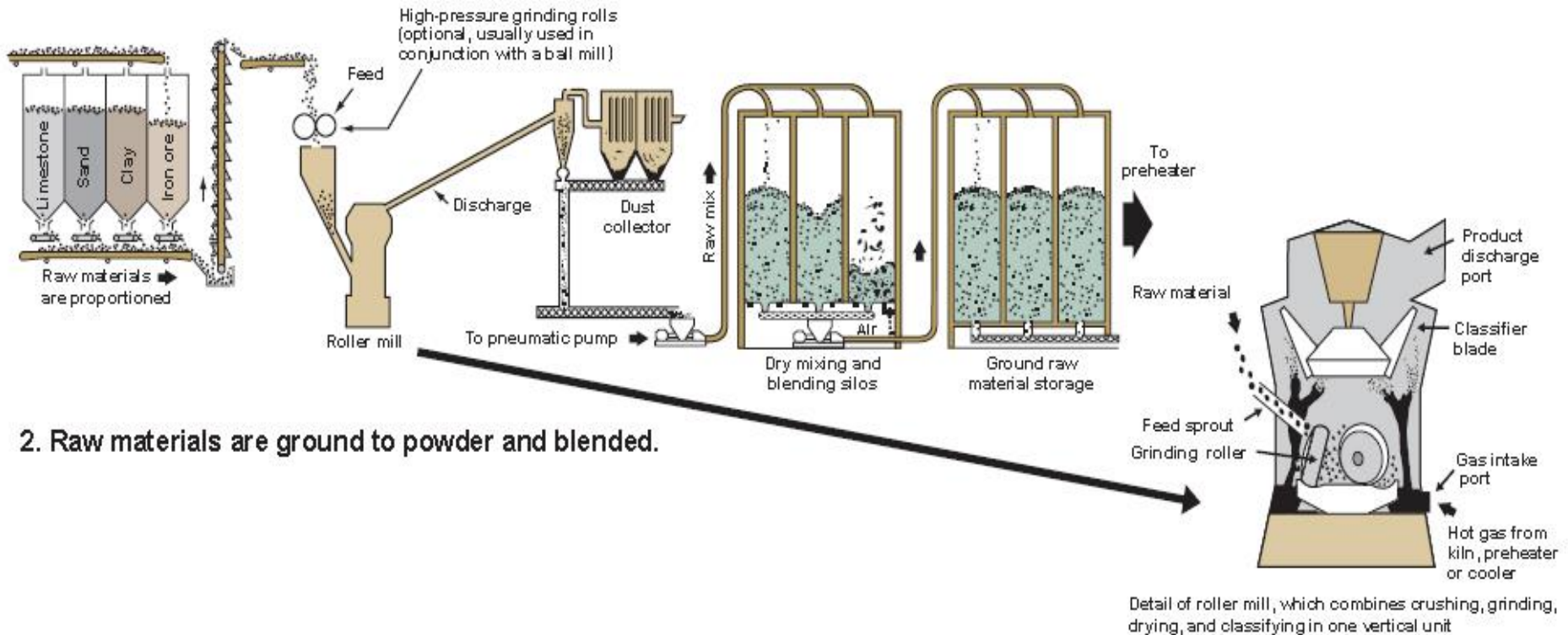
**4. Clinker with gypsum is ground into portland cement and shipped.**



## 2) Steps in the modern dry-process manufacture of portland cement

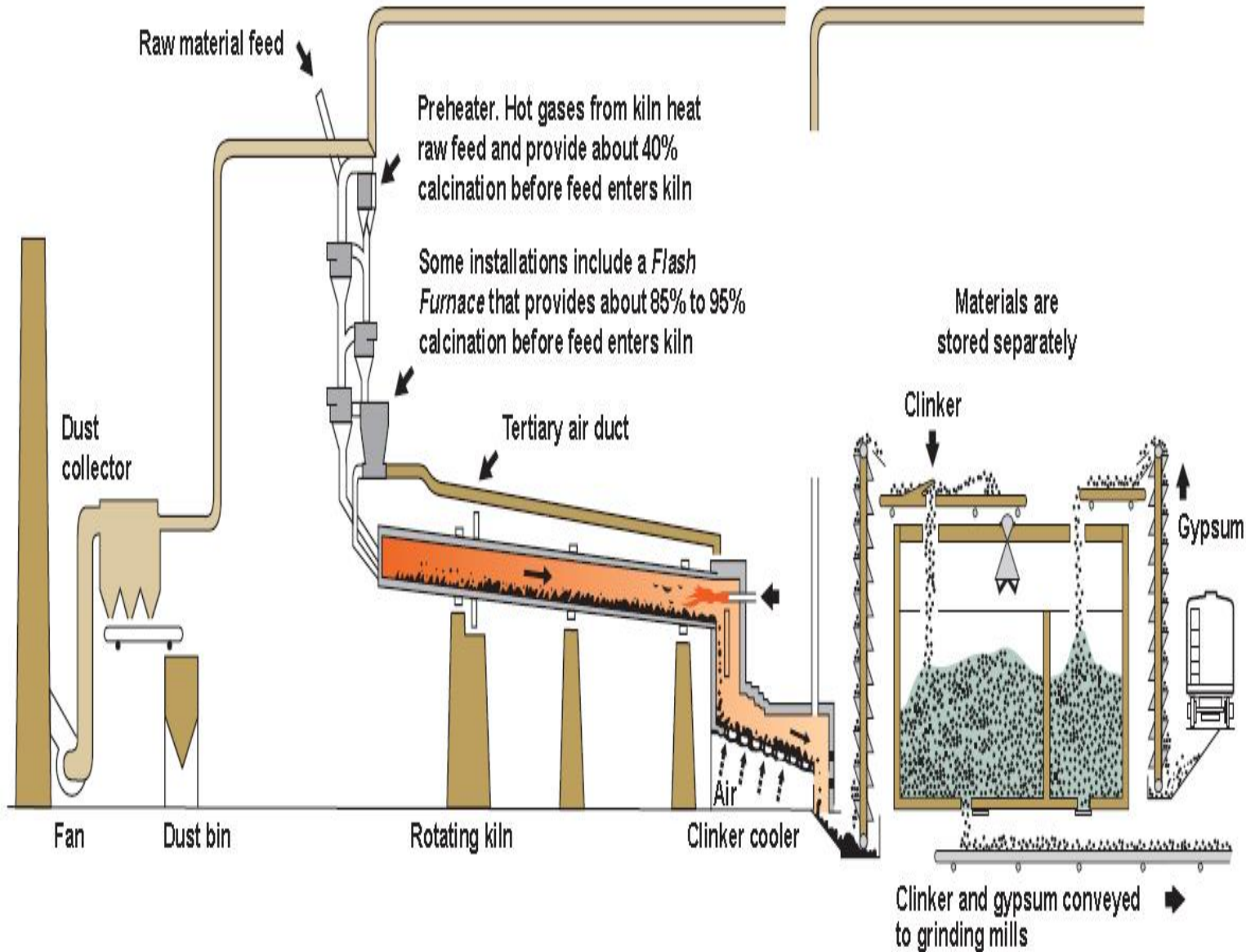


1. Stone is first reduced to 125 mm size, then to 20 mm, and stored.

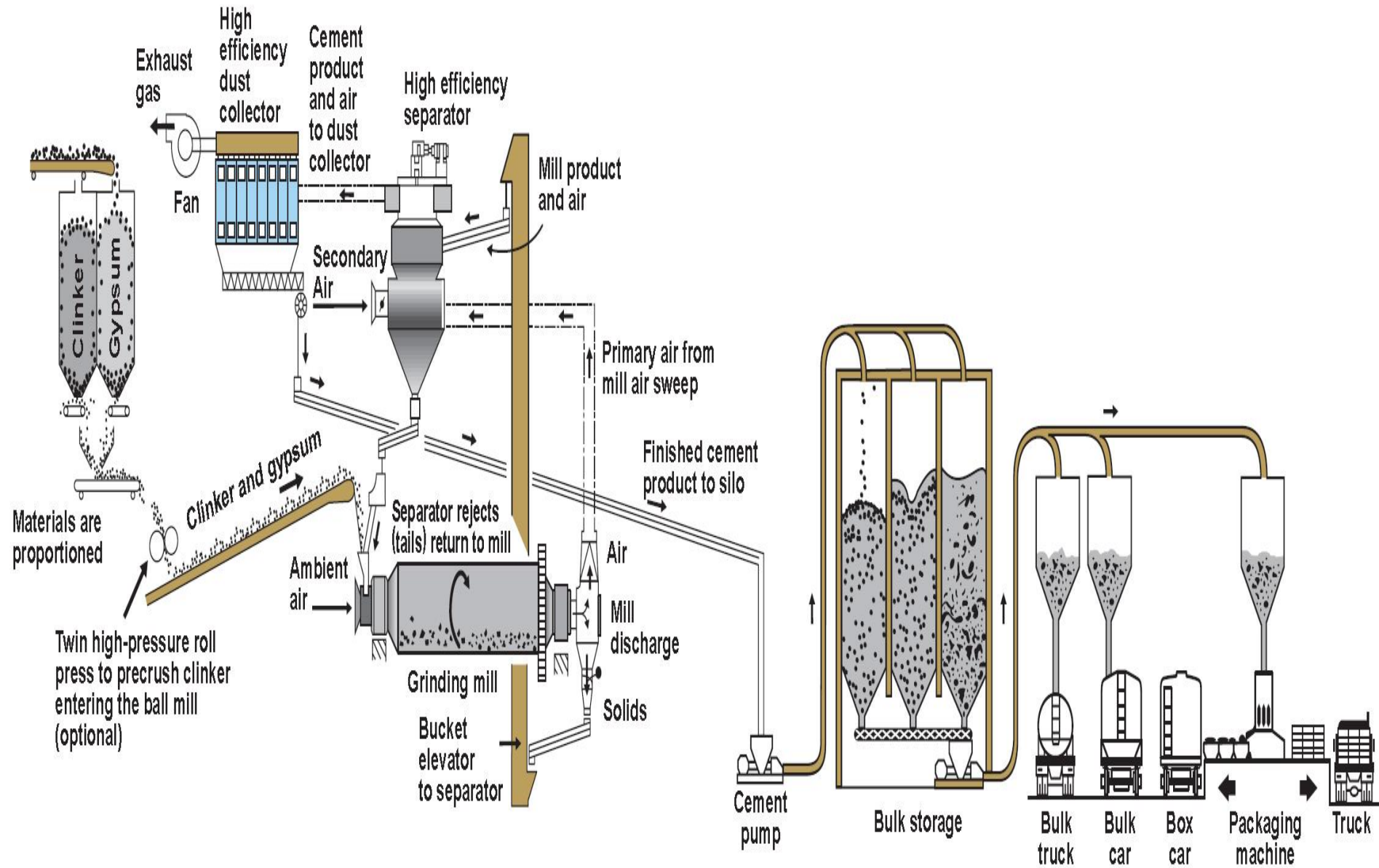


2. Raw materials are ground to powder and blended.

Hot gases from preheater or clinker cooler to raw mill



3. Burning changes raw mix chemically into cement clinker. Note four-stage preheater, flash furnaces, and shorter kiln.



4. Clinker with gypsum is ground into portland cement and shipped.



- [3\) The movie and Animation](#)



***Chemical Compounds  
in Portland Cement***

---

# Delivery of Cement



ing, Blending, & Grinding

- 1 Preheater Tower
- 2 Kiln
- 3 Clinker Cooler & Finish Grinding
- 4 Bagging & Shipping

## Kiln

Raw Material Intense Heat Clinker Animate

**Cement**  
Making *Process*



## • انواع سیمان های پرتلند

□ **سیمان تیپ I (معمولی):** معمول ترین نوع سیمان است. در اکثر کارگاه ها از این سیمان استفاده می شود. ارزان ترین نوع سیمان و پر کاربرد ترین آن است.

□ **سیمان تیپ II (اصلاح شده):** کمی ضد سولفات است.

در ترکیب این نوع سیمان، C3S و C3A کم می شود، ولی C2S افزایش می یابد.

سیمان تیپ II باعث کاهش مقاومت در روز های اولیه می شود. برای اندازه گیری مقاومت بتن، مقاومت فشاری نمونه های استوانه ای ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه اندازه گرفته می شود؛ ولی اگر سیمان تیپ II استفاده شود، مقاومت های ۱۱، ۲۲ و ۴۲ روزه اندازه گرفته می شود.

## □ سیمان تیپ III (زود گیر)

ریزی سیمان بالا برده می شود ( تا  $3250 \text{ Cm}^2/\text{gr}$  ) و  $\text{C3S}$  افزایش داده می شود.

ممکن است از سنگ گچ کمتری برای تنظیم گیرش استفاده شود.

## موارد استفاده از سیمان تیپ III

- (1) زمانی که بخواهیم قالب ها را زود تر باز کنیم.
- (2) در درجه حرارت های پایین (به منظور جلوگیری از یخ زدن)
- (3) در کار های تعمیراتی، برای آنکه سازه سریعاً مورد بهره برداری مجدد قرار گیرد.

## □ سیمان تیپ IV (دیر گیر)

میزان حرارت ایجاد شده به  $60 \text{ cal/gr}$  محدود می شود.  
این نوع سیمان دیر گیر می باشد و مقاومت های ۱۱، ۲۲ و ۴۲ روزه آن اندازه گرفته می شود.

### • موارد استفاده از سیمان تیپ IV

1. در بتن ریزی های حجیم (سد سازی و فونداسیون های حجیم)
  2. مناطق گرمسیر (بالای  $40$  درجه سانتیگراد)
  3. مسافت بین مکان ساخت بتن تا مکان اجرای آن نسبتاً طولانی باشد.
- ❖ زمانی که بتن از محل ساخت به محل اجرا می رسد، باید از زمان گیرش اولیه سیمان کمتر باشد.



## □ سیمان تیپ V (ضد سولفات)

مقدار C3A در این نوع سیمان به کمترین حد خود می رسد.  
این نوع سیمان در مناطقی که میزان سولفات بین ۲ تا ۵ درصد باشد، استفاده می شود. مانند پایه پل ها و اسکله ها.  
مقاومت های ۱۱ ، ۲۲ و ۴۲ روزه آن اندازه گیری می شود.  
ریزی این نوع سیمان حدود  $2500 \text{ cm}^2/\text{gr}$  می باشد.



## درصد اجزاء تشکیل دهنده در انواع مختلف سیمان (ASTM-C150)

C4AF	C3A	C2S	C3S	سیمان
8	12	15	59	I
12	6	29	46	II
8	12	12	60	III
12	5	46	20	IV
12	4	36	43	V

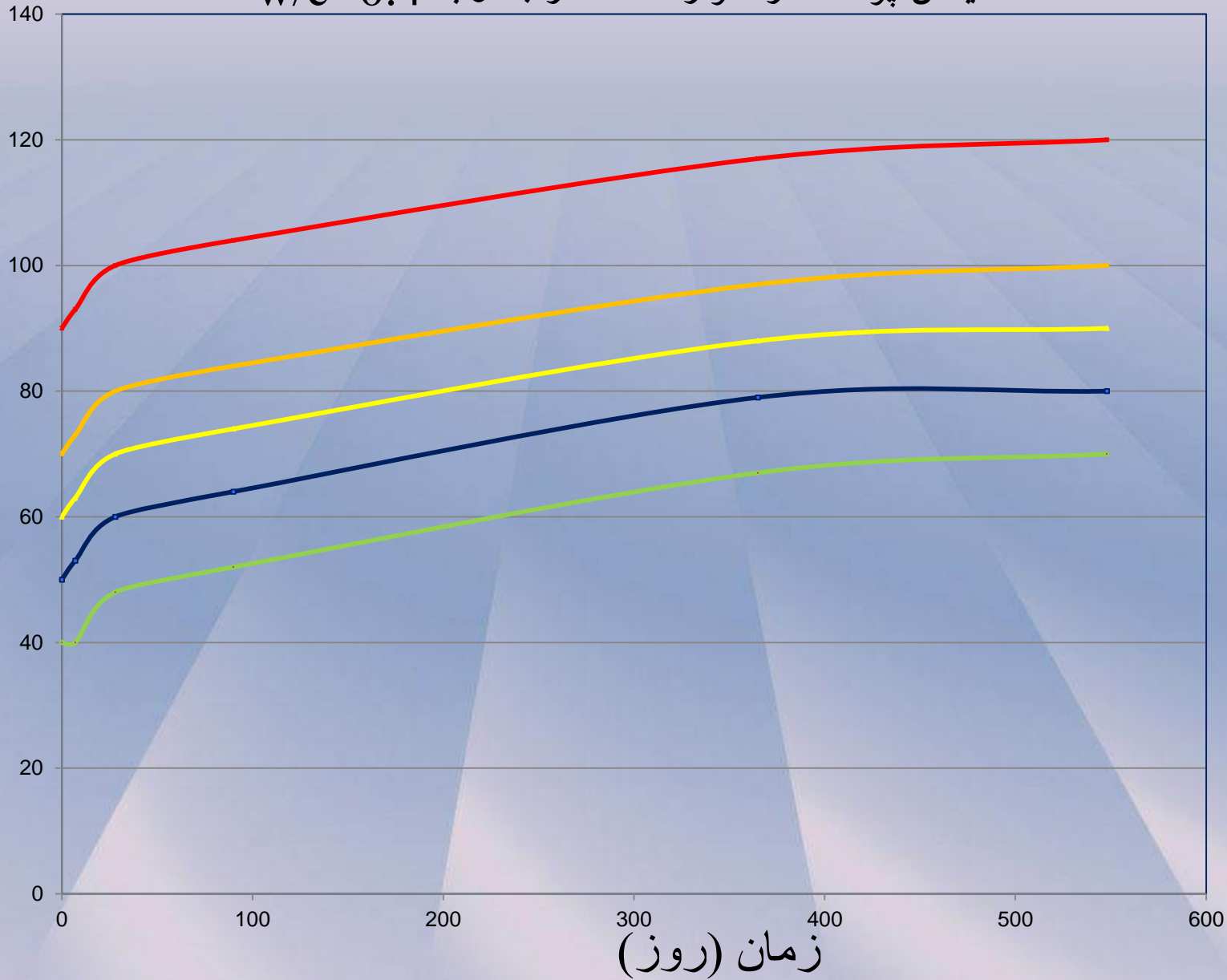
## درصد اجزاء تشکیل دهنده سیمان‌های پرتلند بر اساس استاندارد آشتو

افت حرارتی	MgO	CaO آزاد	Ca SO <sub>4</sub>	ترکیبات اصلی				نام سیمان	نوع سیمان
				C <sub>4</sub> AF	C <sub>3</sub> A	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> S		
2/1	4/2	8/0	9/2	6-10	8-12	20-30	45-55	معمولی	<b>I</b>
1	3	6/0	8/2	6-12	5-7	25-35	40-50	معمولی اصلاح شده	<b>II</b>
9/1	6/2	3/1	9/3	6-15	8-14	15-25	50-65	زودگیر	<b>III</b>
1	7/2	3/0	9/2	12-13	4-5	30-50	30-45	کم حرارت	<b>IV</b>
1	6/1	4/0	7/2	10-20	0-4	25-35	40-50	ضد سولفات	<b>V</b>

سیمان پرتلند در حرارت ۲۱ درجه و با  $w/c=0.4$

مقدار حرارت هیدراتاسیون

Cal/gr



- IV
- V
- II
- I
- III

## • انواع دیگر سیمان

### □ سیمان روباره ی آهن گذاری (سیمان سرباره ای)

سرباره ذوب آهن همراه با کلینکر آسیاب می شود. معمولا بین ۲۵ تا ۶۵٪ سیمان از سرباره استفاده می شود.

مقدار C3A در این نوع سیمان کمتر از تیپ I است. می توان در زمین-های با سولفات کم از آن استفاده کرد؛ همچنین مقاومت کمی دارد، ولی قیمت آن از سیمان تیپ I کمتر است.

این سیمان به شدت دیرگیر است.

رنگ سیمان کدر مایل به سیاه است.

در ساختمان های دریایی و اسکله ها مورد استفاده قرار می گیرد. همچنین در آجر چینی ها و کف سازی ها نیز استفاده می شود.

## درصد اکسیدهای موجود در در سیمان سرباره ای

اکسید	درصد
CaO	50 – 27
SiO <sub>2</sub>	40 – 26
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	28 – 10
MgO	8 – 0.8
S	3.7 – 1.1
MnO	3.5 – 0.6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.6 – 0.4



## □ سیمان پوزولانی

پوزولان به مواد سیلیسی یا سیلیس آلومینیمی گفته می شود. این مواد خود خاصیت سیمانی ندارند، ولی وقتی با  $\text{Ca(OH)}_2$  حاصل از هیدراسیون سیمان ترکیب می شوند، خاصیت سیمانی پیدا می کنند. درصد پوزولان در سیمان بین ۱۵ تا ۴۰ درصد است که همراه با کلینکر آسیاب می شود.

مقاومت اولیه کمی دارد و کمی ضدسولفات است.

در سد سازی، جاده سازی، بتن خود متراکم، بات غلتکی و ... کاربرد دارد.

### ✓ انواع پوزولان

۱- پوزولان طبیعی

۲- پوزولان مصنوعی

## ✓ انواع پوزولان طبیعی

۱- خاکستر آتشفشانی

۲- پوزولان طبیعی

۳- خاکستر پوسته برنج

## ✓ پوزولان مصنوعی

۱- دوده سیلیسی (میکروسیلیس)

## □ سیمان چاه نفت

دردیواره چاه های نفت استفاده می شود.

### ✓ ویژگی سیمان چاه نفت

۱- دیرگیر بودن

۲- نفوذ ناپذیر بودن

۳- مقاومت بالا

۴- مقاومت زیاد در برابر درجه حرارت های بالا

۵- دارای C3A کم و مقاومت نسبی در برابر سولفاتها

این سیمان در کارخانه های دورود و تهران تولید می شود.

## □ سیمان بنایی

در کارهای بنایی برای اتصال آجر، سنگ و بلوک استفاده می شود.  
مقاومت کمی دارد.

۵۰ درصد کلینکر سیمان + ۴۵٪ گرد سنگ آهک و یارس پودر شده  
و ما بقی افزودنی.

## ✓ ویژگی سیمان بنایی

روانی و کارایی بالا  
نگهداری آب در داخل سیمان

## □ سیمان بهداشتی

در بیمارستان، استخر، گاو داری، مرغ داری، سونا و جکوزی استفاده می شود.

در آسیاب، مواد افزودنی ضد قارچ و جلبک اضافه می شود.

## □ سیمان سفید

از رس چینی (رس سفید رنگ) به جای خاک رس استفاده می شود. ترکیبات گداز آور نظیر آهن، منگنز، تیتان، مس و کرم بسیار کم استفاده می شود.

در کارهای معماری چون نمای ساختمان ها و موزائیک های تزئینی استفاده می گردد.



## مواد شیمیایی موجود در در سیمان های رنگی

رنگ	ماده شیمیایی رنگی
قرمز	آهن سه ظرفیتی
زرد، قهوه ای، سیاه	آهن دو ظرفیتی
آبی آسمانی، لاجوردی	اکسید منگنز
رنگ زرد مایل به سبز	اکسید کرم
قهوه ای	اکسید کبالت
سیاه	کربن

## □ سیمان مخصوص غیر پرتلند

به این سیمان ها از آن جا سیمان غیر پرتلند گفته می شود که مواد خام اولیه و فرآیند تولید متفاوتی نسبت به سیمان های پرتلند دارند. سیمان برقی از معروف ترین سیمان های غیر پرتلند می باشد.

## □ سیمان منبسط شونده

در لایه های نازک بتن از سیمان منبسط شونده استفاده می شود، تا کاهش حجم آن بر اثر افت سیمان منبسط شونده جبران شود. در آسیاب کلینکر، سولفات آلومینات اضافه می گردد.

افت سیمان (Shrinkage): کاهش حجم سیمان پس از گیرش آن

گروت (Grout): ترکیبی از سیمان منبسط شونده و ماسه ریزدانه

نحوه اجرای بتن منبسط شونده (گروت) در زیر بیس پلایستون فلزی



## ۲- سیمان پر آلومین (سیمان برقی)

حدود ۴۰ درصد سنگ آهک، ۴۰ درصد بوکسیت و بقیه شامل خاک رس و سنگ آهن در کوره های برقی تولید می شود.

### ✓ خواص این نوع سیمان

- I. به شدت ضد سولفات است.
- II. خیلی زود گیر است.
- III. خاصیت نسوزی دارد (در برابر آتش بسیار مقاوم است).
- IV. ۸۰ درصد مقاومت را در ۲۴ ساعت اولیه کسب می کند.

## ترکیبات سیمان پر آلومین (سیمان برقی)

مواد اضافی نامحلول	MgO	TiO <sub>2</sub>	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	ترکیبات شیمیائی
1	1	1.5 الي 2	5 الي 6	9 الي 10	36 الي 40	37 الي 41	3 الي 8	مقدار



## نام طبقه بندی شده برخی سیمان‌ها بر اساس استانداردهای BS و ASTM

طبقه بندی استاندارد آمریکا		طبقه بندی استاندارد انگلستان	
ASTM	نوع سیمان	BS	نوع سیمان
C150-84	نوع I	12:1978	سیمان پرتلند معمولی
C150-84	نوع III	12:1978	پرتلند زود سخت شونده
C150-84	نوع IV	1370:1979	پرتلند با حرارت زایی کم
C150-84	نوع II	-	سیمان اصلاح شده
C150-84	نوع V	4027:1980	پرتلند ضد سولفات
C595-83a	نوع IS و IS(MS)	146:Part 2:1973	پرتلند روباره‌ی آهنگذاری
-	-	4246:Part 2:1974	آهنگذاری با حرارت زایی کم
C150-84	-	12: 1978	پرتلند سفید
C595-83a	نوع IP	4627:1970	پرتلند پوزولانی
	نوع P	6588: (Draft)	
	نوع I(PM)	3892:Part 1:1982	

## انواع آزمایش‌های سیمان

نام آزمایش‌ها				خواص مورد بررسی	حالت	
ریزی (نرمی) سیمان		دانه بندی سیمان	چگالی توده‌ای	چگالی ذرات	فیزیکی پودر	
مقاومت کششی			مقاومت خمشی	مقاومت فشاری	مکانیکی ملات	
افت سرخ شدن	گرمایابی	انبساط ملات	هوای ملات	زمان گیرش سیمان	غلظت نرمال سیمان	شیمیایی خمیر و ملات

## • چگالی ذرات

$$3 < \rho < 3.25$$

$$\rho c = \frac{mc}{Vc}$$

• روش اندازه گیری چگالی ذرات

• Le flask de chatelier

فلاسک لوشاتولیه

$$\rho c = \frac{64}{Vc}$$

•  $Vc =$  حجم مایع جابه جا شده داخل فلاسک

• مایع درون فلاسک نفت است که مقدار ۶۴ گرم سیمان به آن اضافه می کنند.

## فلاسک شاتولیه





چگالی توده ای

حالت نلرزیده

1.1-1.25 gr/cm<sup>3</sup>

حالت لرزیده

1.25-1.45 gr/cm<sup>3</sup>

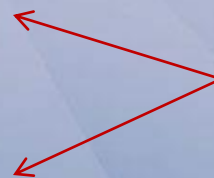
## • عوامل موثر بر روی چگالی توده ای

I. چگالی ذرات

II. روش ریختن

در حالت نلرزیده

در حالت لرزیده



III. دانه بندی: هر چقدر دانه بندی نامنظم باشد، چگالی بیشتر است؛ چون دانه های ریز بین آنها قرار می گیرد.

IV. ریزی سیمان

V. شکل دانه ها (هر چه تیز و گوشه دار باشد چگالی کمتر است)

- موارد استفاده چگالی توده ای

- I. سفارش خرید به صورت بار کامیونی
- II. دستور ساخت بتن در کارگاه های کوچک
- III. برآورد مقدار وزنی سیمان در یک سیلو با حجم مشخص

- دانه بندی پودر سیمان

مطابق با ASTM-C184-76 از دو الک ۷۵ میکرون و ۱۵۰ میکرون استفاده می شود .

## • ریزی سیمان (نرمی سیمان)

- از سطح مخصوص استفاده می شود. برای سیمان های معمولی برابر  $2800 \text{ Cm}^2/\text{gr}$
- اندازه گیری آن به وسیله ی دستگاه بلین است که از فرمول زیر به دست می آید.

$$\text{ریزی سیمان} = k\sqrt{t}$$

ضریب کالیبراسیون دستگاه

زمان



# دستگاه اندازه گیری ریزی سیمان (بلین)



## • تاثیر ریزی سیمان بر روی خواص آن

I. گیرش سریع تر می شود.

II. آب بیشتری را جذب می کند.

III. مقدار گرمای فرقی نمی کند. آهنگ گرمزایی در زمان های اولیه نسبت به زمان نهایی بیشتر می شود.

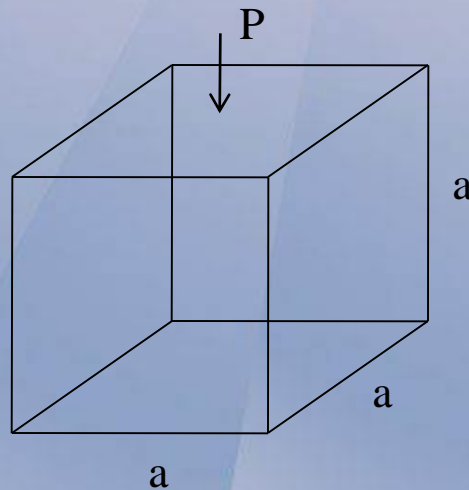
IV. مقاومت اولیه بیشتر و مقاومت نهائی کمتر می شود.

V. مقدار سنگ گچ متناسب با ریزی سیمان تعیین می شود.

## • خواص مکانیکی سیمان در حالت ملات

ملات با نسبت 1 به 2.75 سیمان به ماسه بادی ساخته می شود.

### ۱- مقاومت فشاری



مکعب 4\*4\*4 cm

$$f = \frac{p}{a^2} \quad a=4 \text{ cm}$$

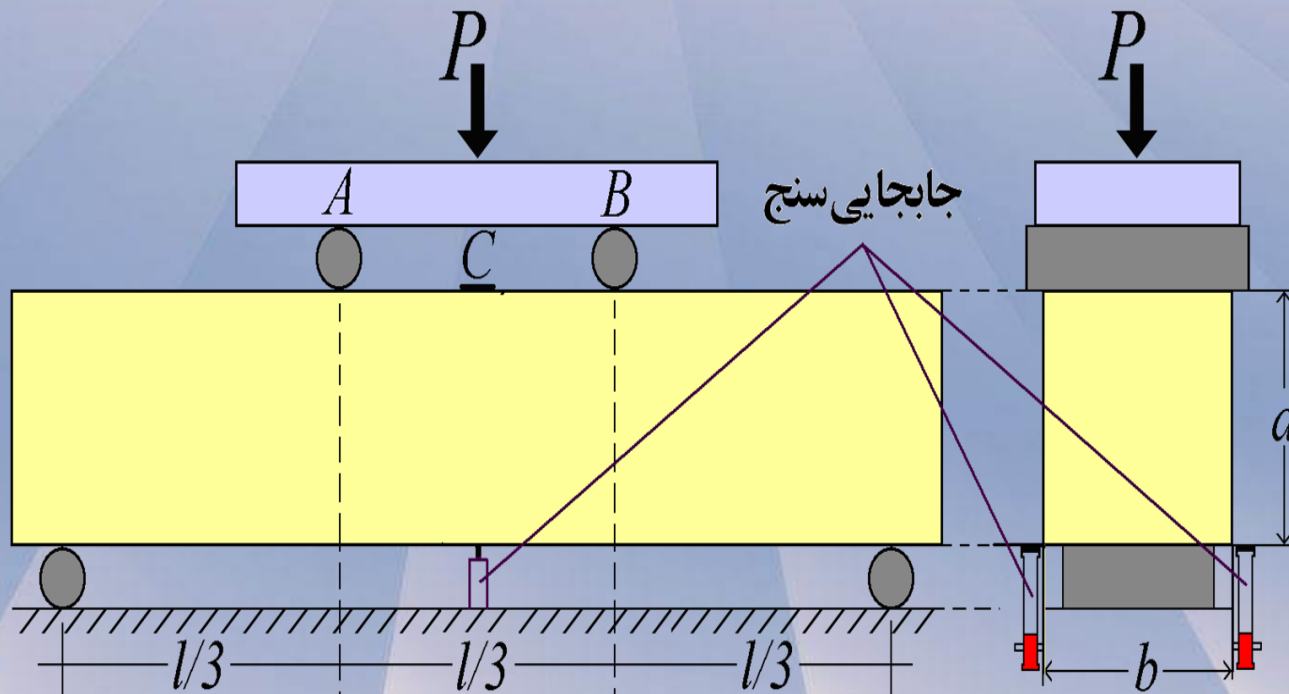
- مقاومت ۷ روزه بتن تقریبا برابر است با ۷۰٪ مقاومت نمونه ۲۸ روزه آن.

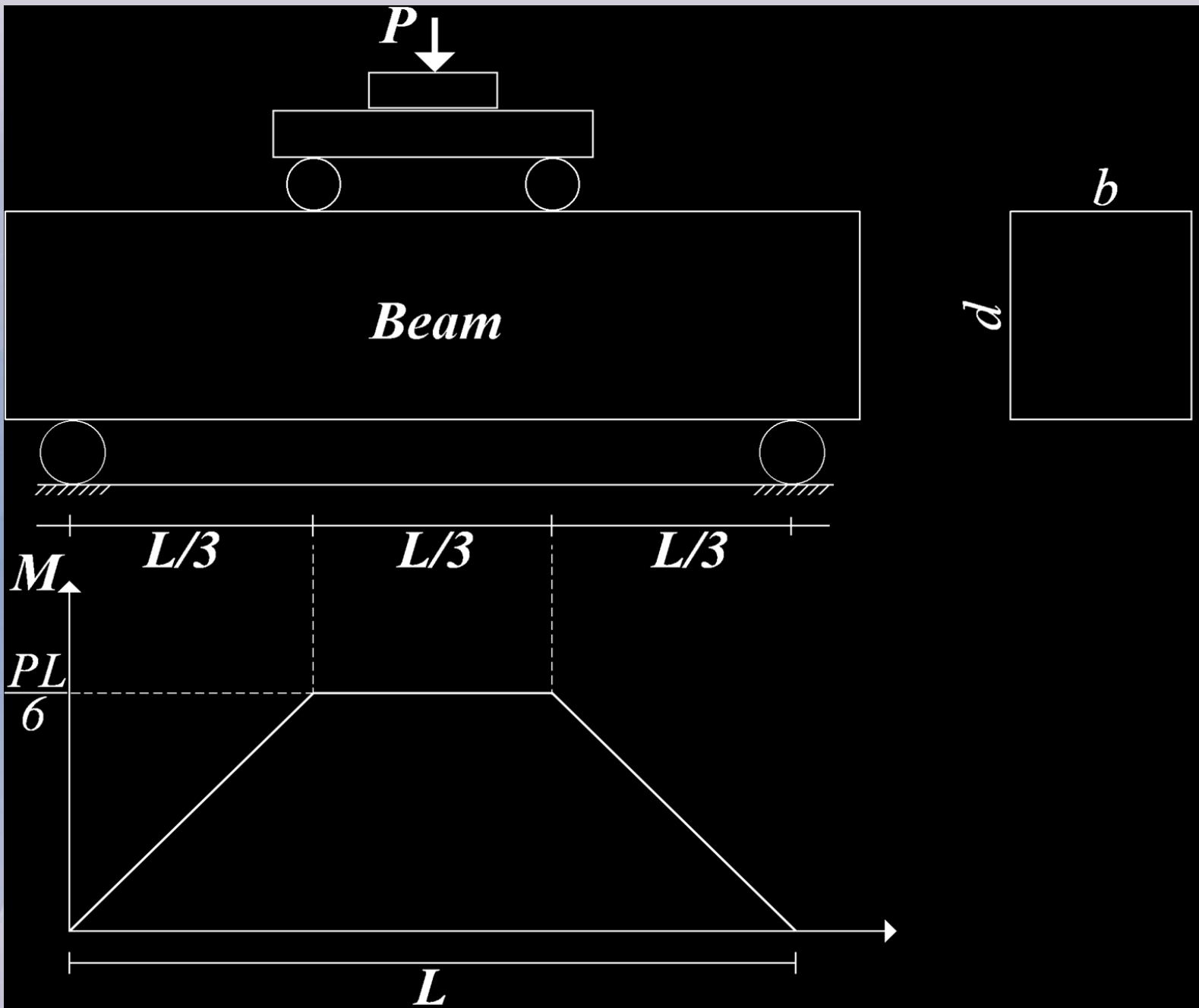




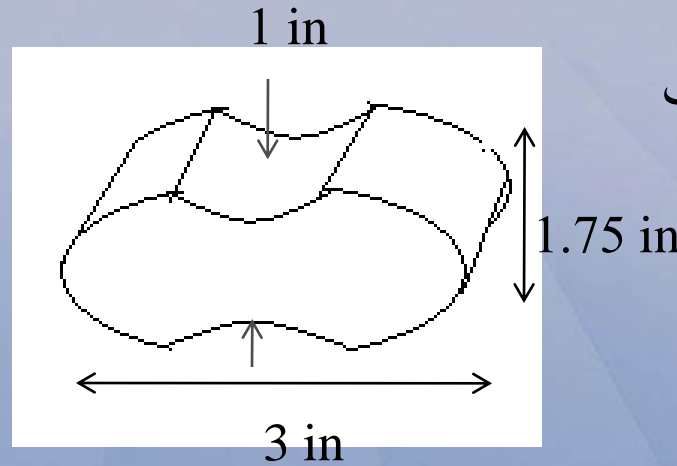
## 2- مقاومت خمشی

بر روی یک مکعب مستطیل  $16 \times 4 \times 4$  cm  
 $b=d=4$  cm ,  $L=12$  cm





### 3- مقاومت کششی



نمونه آزمایشی بریکت

tension

$$ft = \frac{p}{1 * 1}$$

## خمیر نرمال سیمان

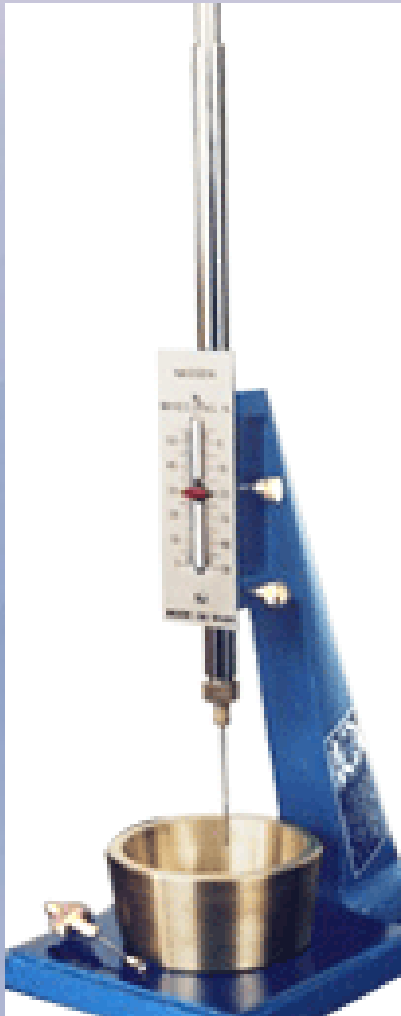
سیمان + مقادیر مختلف آب

از طرف میله به وزن ۳۰۰ گرم و قطر ۱۰ میلیمتر بر روی خمیر قرار می دهند. اگر میله ۲۵ میلیمتر را در طی ۳۰ ثانیه طی کند، آن را خمیر نرمال سیمان می نامند.

## زمان گیرش

**زمان گیرش اولیه:** زمانی است که سوزن و یکات به قطر ۱ میلیمتر، ۲۵ میلیمتر از مخروط ناقص را در عرض ۳۰ ثانیه طی نماید.

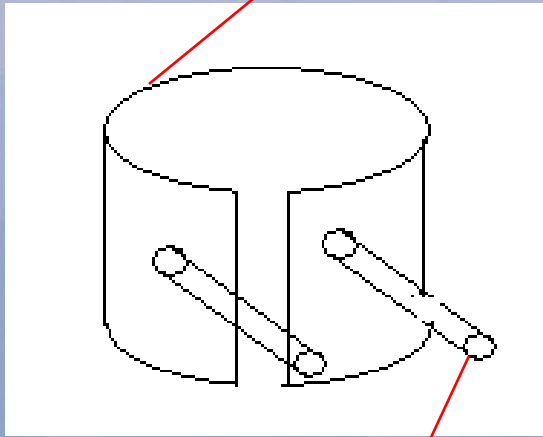
**زمان گیرش نهایی:** زمانی است که سوزن و یکات اصلا وارد خمیر داخل مخروط ناقص نشود.





## آزمایش سلامت سیمان ← آزمایش انبساط سیمان

حلقه برنجی



شاخک

خمیرسیمان را در داخل حلقه ی برنجی می ریزند. بعد از ۲۴ ساعت فاصله بین شاخک ها را اندازه گیری می کنند. سپس آن را در آب جوش به مدت ۳۰ دقیقه می گذارند و پس از یک ساعت سرد شدن، مجددا فاصله بین شاخک ها را اندازه می گیرند. افزایش فاصله بین شاخک ها معرف انبساط خمیر سیمان می باشد.

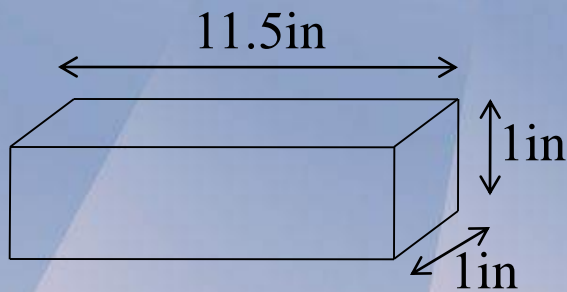
برای بار اول باید کمتر از ۱۰ میلیمتر باشد. اگر جواب ندهد برای بار دوم بعد از ۷ روز باید دوباره آزمایش تکرار شود و این بار فاصله بین شاخک ها باید کمتر از ۵ میلی متر باشد.

## • آزمایش سلامت سیمان

• از آزمایش دیگری نیز بهره برده می شود. بدین گونه که سیمان را داخل منشوری می ریزند و افزایش حجم آن را اندازه می گیرند.

• استاندارد ASTM: افزایش حجم حداکثر برابر  $0.5\%$

• استاندارد ایران: افزایش حجم حداکثر برابر  $0.8\%$



## • آزمایش افت سرخ شدن

- به علت پدیده پیش هیدراته شدن سیمان
- جرم معینی از سیمان تا درجه حرارت ۹۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد حرارت داده می شود. افت وزنی باید کمتر از ۳ درصد وزن اولیه سیمان باشد.

## • گرمایابی

بستگی به ترکیبات سیمان دارد.

ترکیبات سیمان	Cal/gr
C3A	207
C3S	120
C2S	62
C4AF	100

## • انبار کردن سیمان ها

- ✓ موقع انبار کردن باید دقت کرد که کیسه های سیمان در مجاورت رطوبت قرار نگیرد.
- ✓ کیسه ها روی زمین قرارنگیرند. آنها را باید روی پالت های چوبی قرارداد و کنار هم به یکدیگر چسبانند.
- ✓ از نایلون یا روکش های ضد آب برای جلوگیری از مرطوب شدن سیمان استفاده شود.



در نگهداری سیمان باید توجه نمود که  
رطوبتی به سیمان نرسد؛ چرا که سیمان  
هیدراته شده و فاسد می شود.



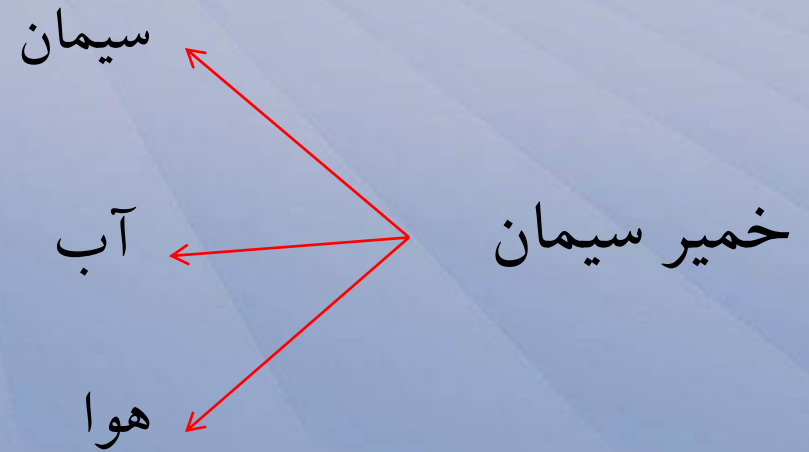
- [3\) The movie and Animation](#)

## *Storage of Cement*

---



# Structure of Cement Paste • ساختار خمیر سیمان

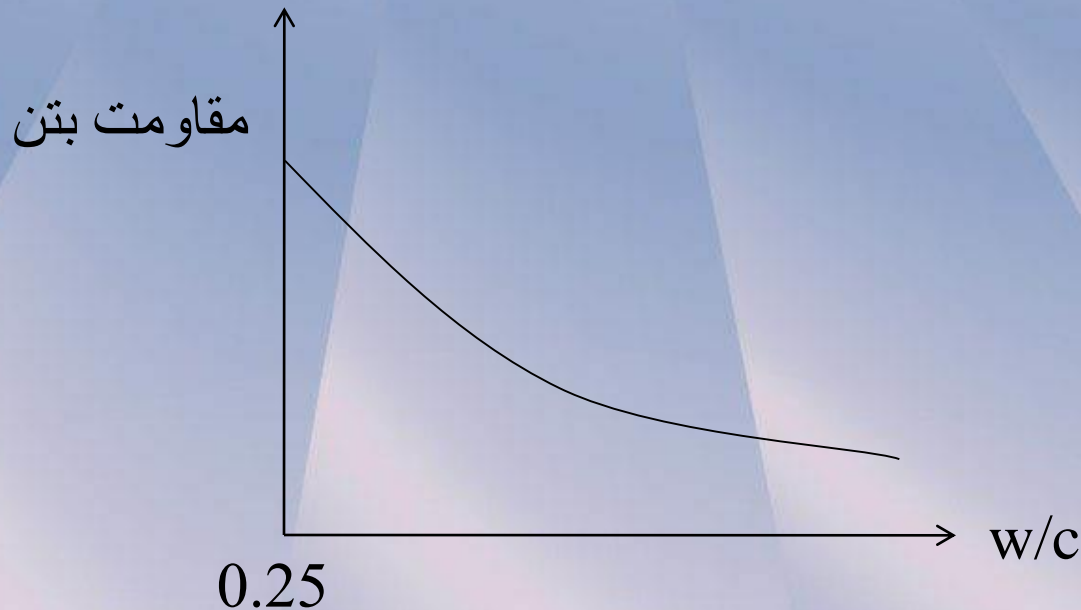


- آب + سیمان ← خمیر Cement Paste
- آب + سیمان + ماسه ← ملات mortar
- آب + سیمان + ماسه + شن ← بتن concrete

- حداقل ۲۵ درصد مقدار سیمان بایستی آب اضافه کرد تا سیمان کاملاً هیدراته شود.

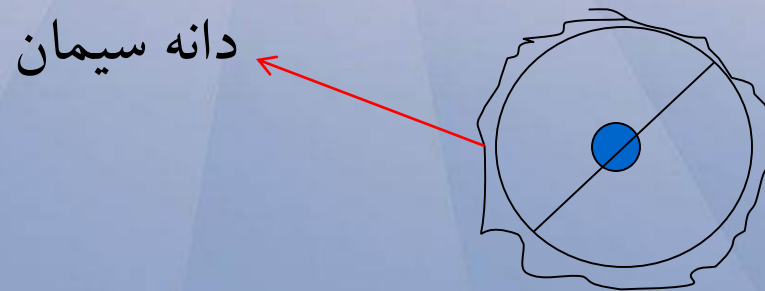
$$\frac{w}{c} = \frac{\text{آب}}{\text{سیمان}} = 0.25$$

- با ۲۵٪ آب، سیمان کاملاً هیدراته شده و مقاومت ماکزیمم را کسب می کند.



## • قطر دانه سیمان

قطر دانه های سیمان معمولاً از 75 میکرون کمتر است.  
(بطور متوسط ۵۰ میکرون)



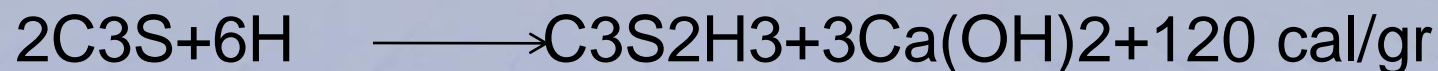
## ■ هیدراسیون

عمل ترکیب آب با سیمان را هیدراسیون گویند.

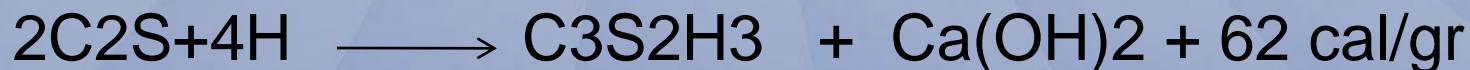


H<sub>2</sub>O

هیدروکسید کلسیم      هیدرات سیلیکات کلسیم



100   24                      75                      49



100   21                      90                      22



100   40



بانتسکر از توجه شما