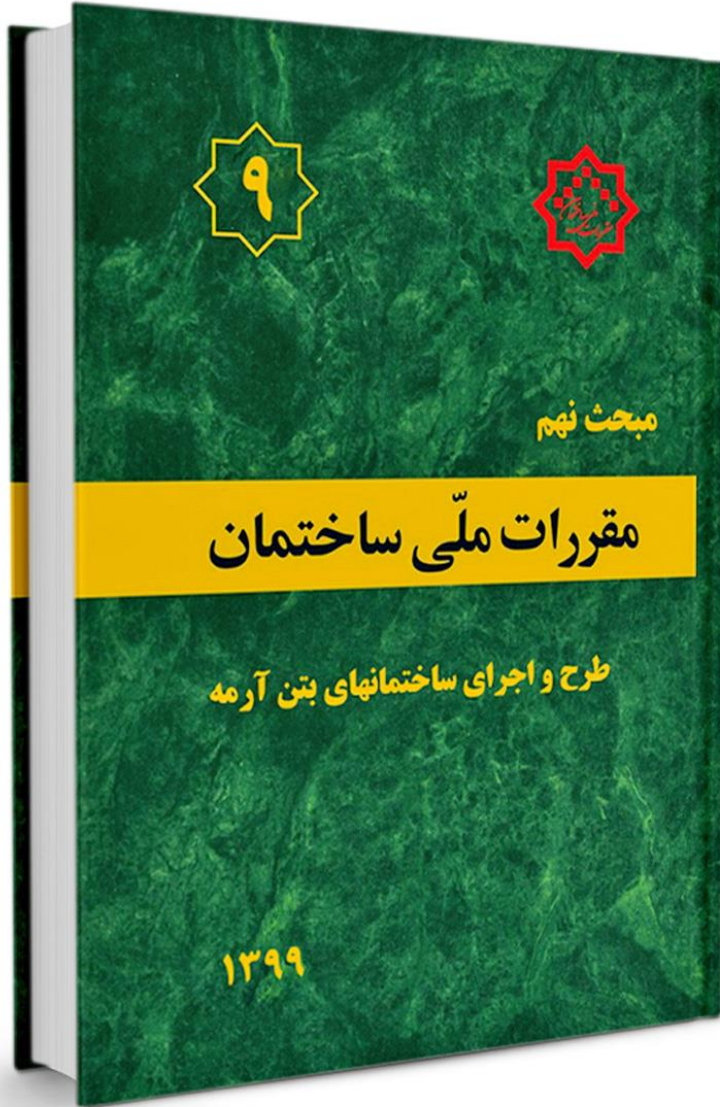


دوره آموزشی



# تکنولوژی بتن

قسمت اول

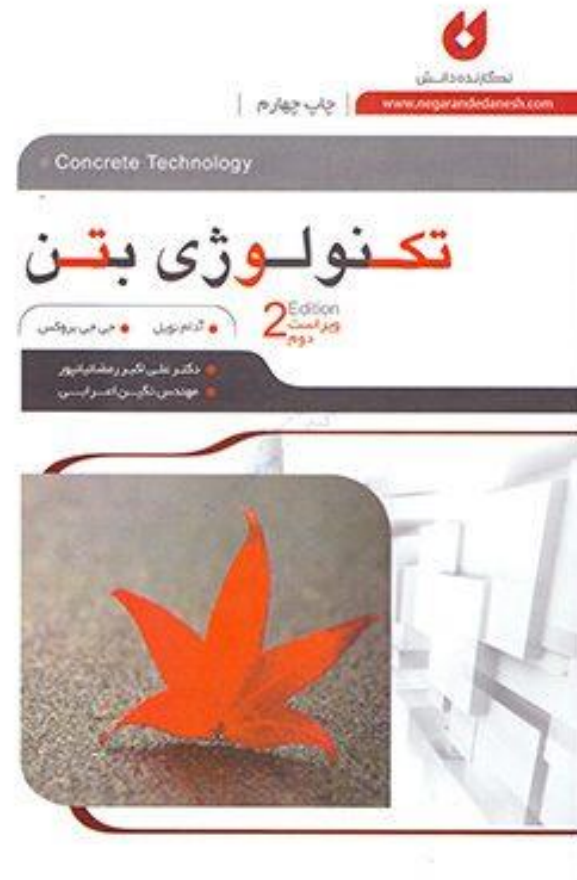
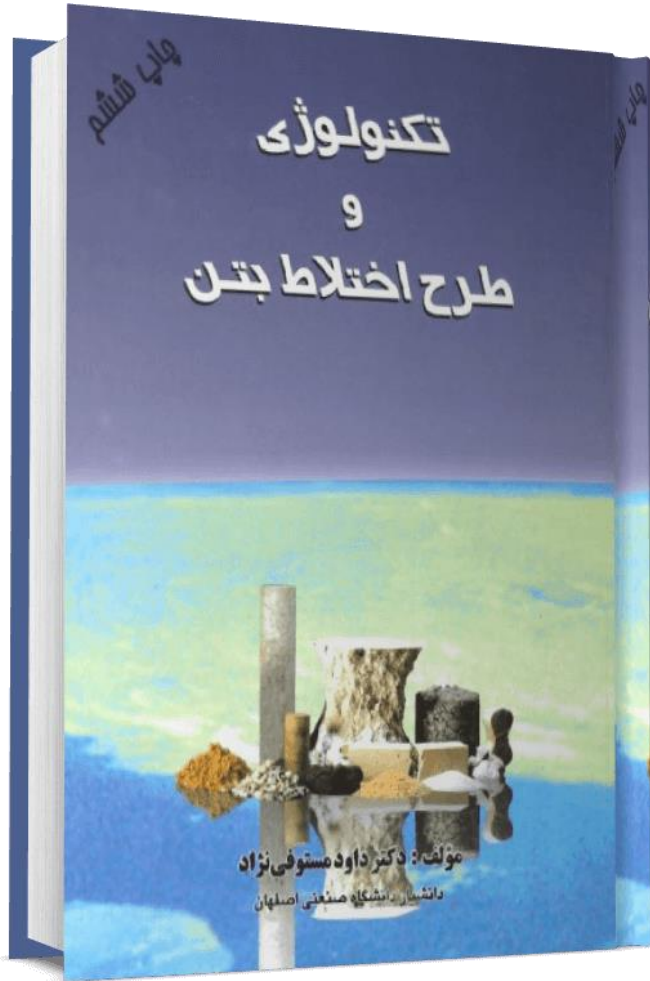
عضو هیات علمی دانشگاه آزاد مشهد

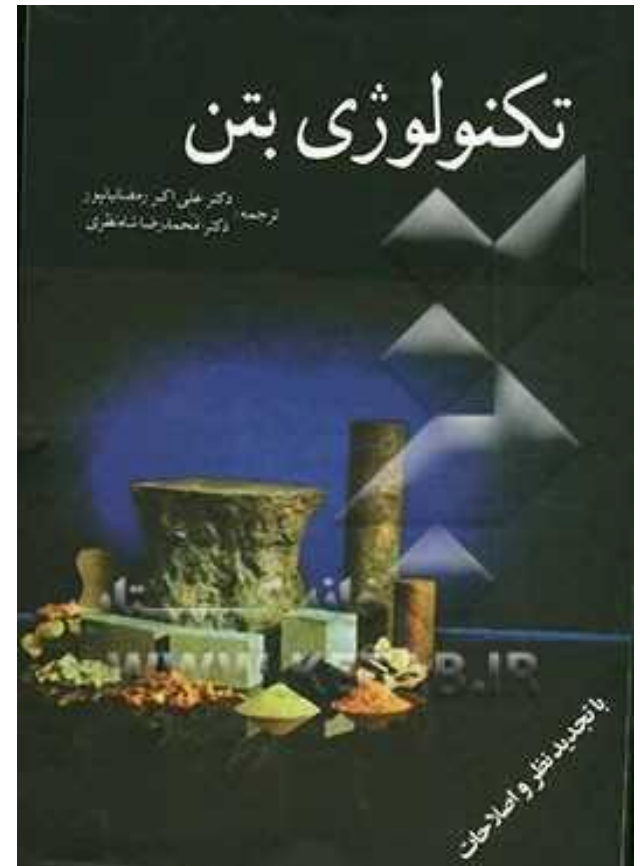
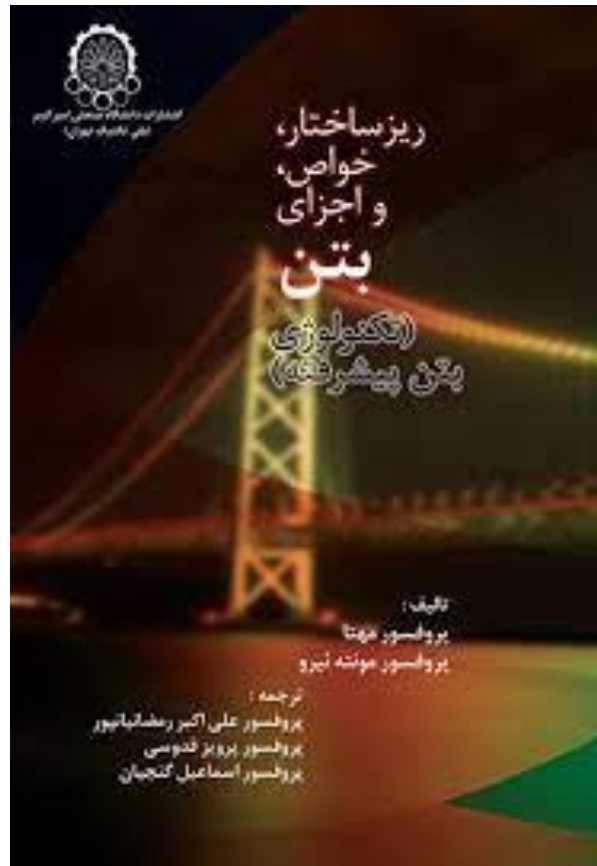
مدرس دوره:

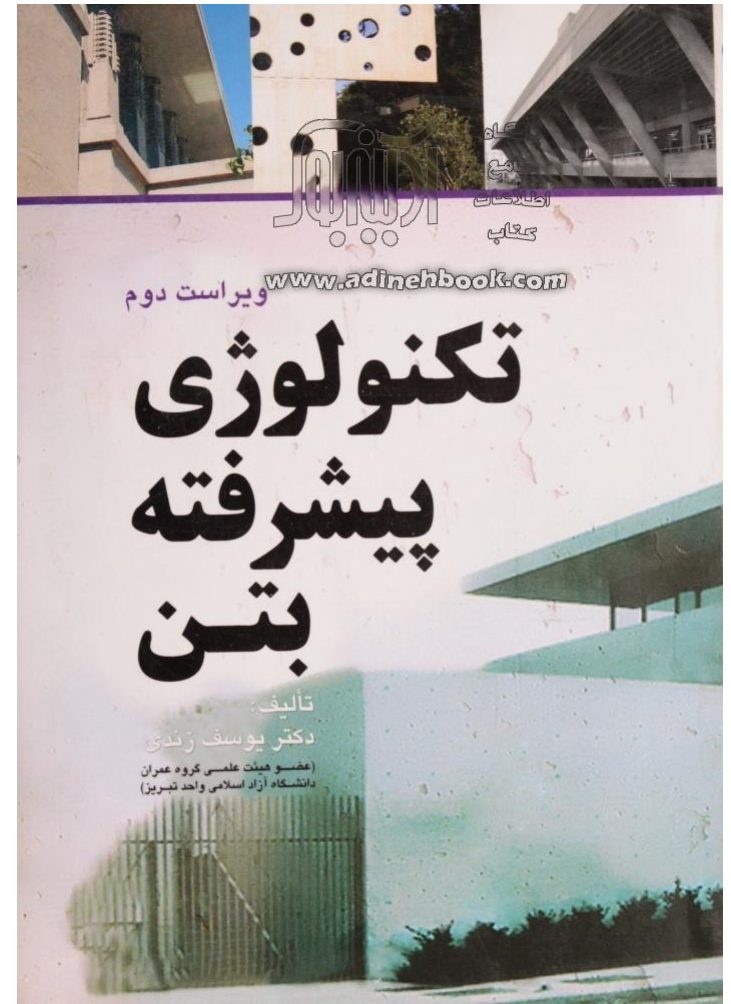
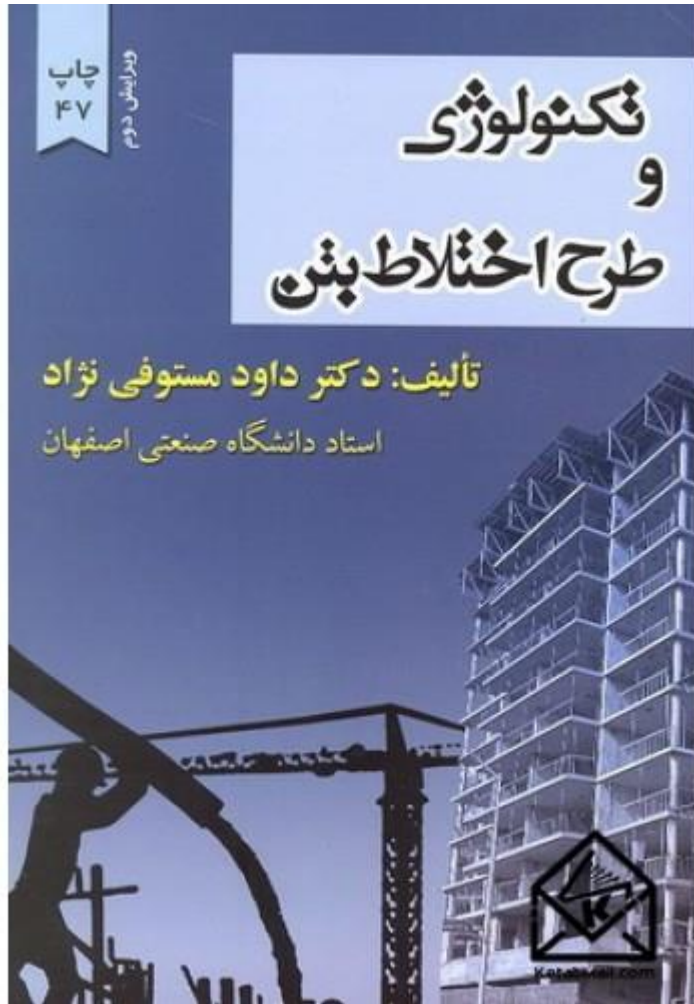
سید ایمان غفوریان

[Iman.ghafoorian2016@gmail.com](mailto:Iman.ghafoorian2016@gmail.com)

# مراجع اصلی







# تعریف، خواص و اهمیت بتن

بتن به عنوان یک ماده ساختمانی



امروزه بتن و فولاد منداول ترین مصالح ساختمانی هستند.

این دو ماده گاه در کنار یکدیگر و گاه جدا و در رقابت با هم در

ساختمان های مشابه به کار می روند.

در عمل نیاز به شناخت بتن در مقایسه با فولاد بیشتر است.

طراح یک سازه فولادی تنها باید یک نوع فولاد مطابق با یکی از استانداردهای مربوطه را

انتخاب کند و پیمانکار نیز تنها باید مطمئن باشد که نوع مناسب فولاد را به کار برده است و

اتصالات فولادی را به درستی اجرا نموده است.

**اما در کارگاه ساخت و ساز بتنی...؟؟؟!!**

# تعریف، خواص و اهمیت بتن

تعریف در مفهوم وسیع:

بتن در مفهوم بسیار وسیع به هر ماده یا محصولی اطلاق می شود که از یک ماده چسبنده با خاصیت سیمانی شدن تشکیل شده باشد.

تعریف مدنظر کلاس حاضر:

سنگی مصنوعی متشکل از سیمان، مصالح سنگی (ریزدانه و درشت دانه)، آب و مواد افزودنی شیمیایی و معدنی



اهمیت:

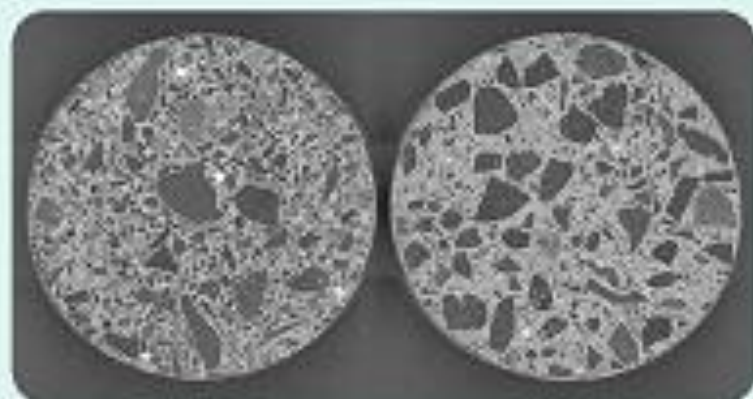
ماده ساختمانی قرن،

پر مصرف ترین ماده ساختمانی،

دومین ماده پرمصرف دنیا (پس از آب)،

در حدود ۱۲ میلیارد تن در سال تولید می شود.

# تعریف، خواص و اهمیت بتن



سوال اساسی:

چه رابطه ای بین اجزای تشکیل دهنده بتن وجود دارد؟

دیدگاه اول:

ماده چسبنده (سیمان هیدراته شده) ماده ساختمانی اصلی است و مصالح سنگی نقش پرکننده ارزان قیمت را دارند.

دیدگاه دوم:

مصالح سنگی درشت، بخش اصلی بتن بوده که توسط ملاتی از سیمان هیدراته شده و مصالح سنگی ریزدانه به یکدیگر متصل شده اند.

دیدگاه سوم:

بتن متشکل از دو فاز: خمیر سیمان هیدراته شده و مصالح سنگی است که خصوصیات آن تحت تاثیر هر دو فاز و همچنین فاز فصل مشترک بین آنهاست.

# تعریف، خواص و اهمیت بتن



بتن بد چه ویژگی هایی دارد؟

- دارای روانی زیاد
- پس از سخت شدن سطحی گرمو دارد.
- غیر همگن و دارای مقاومت پایین

اجزای تشکیل دهنده بتن خوب دقیقاً مشابه با بتن بد است.

بتن خوب چه ویژگی هایی دارد؟

- بتن باید در دو حالت تازه (Fresh) و سخت شده (Hardened) مشخصات مطلوبی داشته باشد.
- در حالت تازه: دارای روانی مناسب، نداشتن جداسدگی، اختلاط مناسب و ...
- در حالت سخت شده: دارای مقاومت فشاری مطلوب، دوام مناسب و ...

بتن دارای مقاومت فشاری مناسب، معمولاً خیلی از خواص مطلوب دیگر را داراست

انرژی گبری ساده، فهم اسان، ارتباط مستقیم با سایر خواص بتن مانند نفوذپذیری، مقاومت کششی و ضربه ای و دوام

# تعریف، خواص و اهمیت بتن

## نقاط قوت بتن :

- ✓ مقاوم در برابر آب (بسته به نوع کاربری می تواند جهت کنترل، ذخیره و انتقال آب به کار رود).
- ✓ سهولت شکل دهی به آن (هر نوع سازه با شکل و اندازه دلخواه را می توان با آن ساخت).
- ✓ مصالح آن در دسترس و نسبتاً ارزان است. (بسته به فاصله حمل مصالح، امکانات و ... قیمت هر ۱ متر مکعب بتن خوب بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ دلار می باشد).
- ✓ سازه های بتنی نیاز چندانی به تعمیر و نگهداری ندارند (معمولاً خورده نمی شوند و با گذشت زمان افزایش مقاومت دارند).
- ✓ مقاوم در برابر آتش سوزی
- ✓ مقاومت بسیار خوبی در برابر بارهای سیکلیک دارند.

# تعریف، خواص و اهمیت بتن



اجزای بتن های امروزی :

✓ سیمان :

- ✓ محصولی بسیار ریز و بودری شکل : با کمک آب و بواسطه انجام واکنش های هیدراسیون، منجر به جسبندگی مصالح سنگی به یکدیگر می شود.
- ✓ سیمان پس از انجام واکنش های هیدراسیون در محیط های آبی پایدار است.

✓ آب :

- ✓ همراه با سیمان، مسئول واکنش های هیدراسیون است.



✓ مصالح سنگی :

- ✓ شن و ماسه و ...

✓ افزودنی ها

- ✓ موادی غیر از سیمان، آب و مصالح سنگی که قبل یا حین اختلاط به بتن اضافه می شوند.
- ✓ به علت مزایایی که برای بتن دارند، استفاده از آنها، امروزه بسیار افزایش یافته است.



# تعریف، خواص و اهمیت بتن

## انواع بتن بر حسب وزن :

- ✓ بتن های سبک (با وزن کمتر از ۱۸۰۰ کیلوگرم در متر مکعب)
- ✓ بتن های معمولی (با وزن حدود ۲۴۰۰ کیلوگرم در متر مکعب)
- ✓ بتن های سنگین (با وزن بیش از ۳۲۰۰ کیلوگرم در متر مکعب)

## انواع بتن بر حسب مقاومت :

- ✓ بتن های کم مقاومت (با مقاومت فشاری کمتر از ۲۰ مگاپاسکال)
- ✓ بتن های با مقاومت معمولی (بین ۲۰ تا ۴۰ مگاپاسکال)
- ✓ بتن های با مقاومت بالا (با مقاومت فشاری بیش از ۴۰ مگاپاسکال)

# تعریف، خواص و اهمیت بتن

در علوم مهندسی از تغییر شکل ها با عبارت کرنش تعبیر می شود.  
✓ کرنش : تغییرات طول واحد طول می باشد.

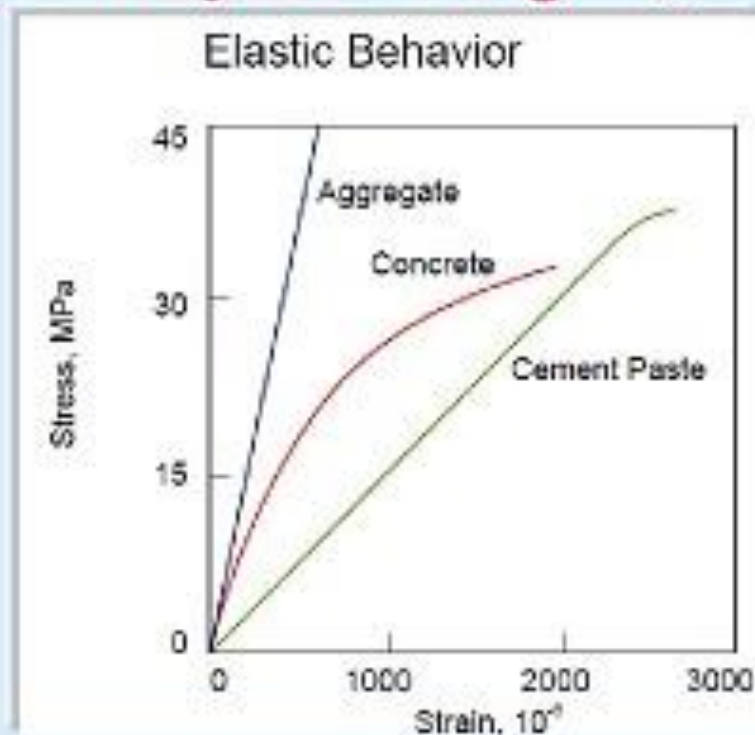
در علوم مهندسی از نیروهای وارده با عبارت تنش تعبیر می شود.  
✓ تنش : نیروی وارد بر واحد سطح می باشد.

بسته به چگونگی اعمال نیرو تنش های متفاوتی وجود دارد (فشاری، کششی و برشی)

رابطه تنش - کرنش در مواد عموماً با تعبیراتی چون **مقاومت، مدول ارتجاعی، شکل پذیری و طاقت** همراه می باشند.

# تعریف، خواص و اهمیت بتن

- ✓ **مقاومت** : میزان تنش لازم برای به شکست رساندن مصالح است.
- ✓ **طاقت و شکل پذیری** : انرژی لازم جهت شکست مصالح که حاصل ضرب نیرو در جابجایی است (سطح زیر منحنی تنش کرنش).
- دو ماده می توانند مقاومت یکسان اما طاقت متفاوت داشته باشند و بالعکس.

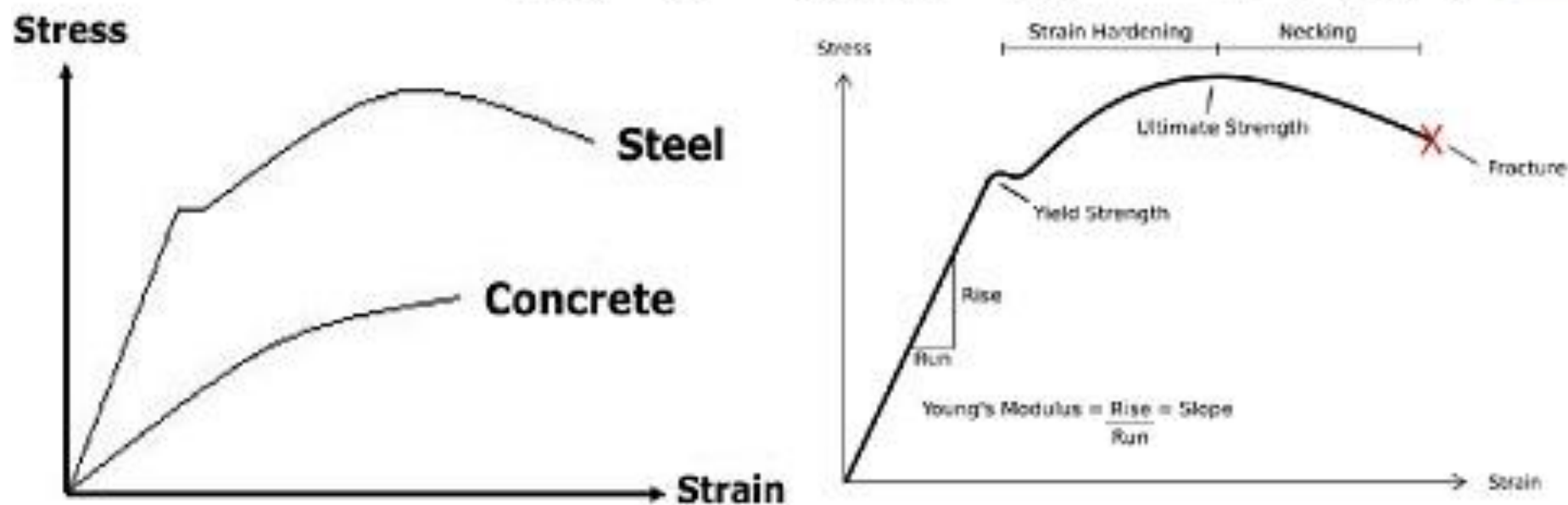


# تعریف، خواص و اهمیت بتن

✓ **مقاومت** : میزان تنش لازم برای به شکست رساندن مصالح است.

شکل پذیری : نسبت کرنش خمیری متناظر با نقطه شکست به کرنش حد الاستیک است.

عموما وقتی مقاومت یک ماده بالا می رود، شکل پذیری و طاقت آن کاهش می یابد.



مقاومت بتن نه تنها تابعی از زمان به علت پیشرفت کند

هیدراسیون سیمان است بلکه تابع دما و رطوبت نیز می باشد.

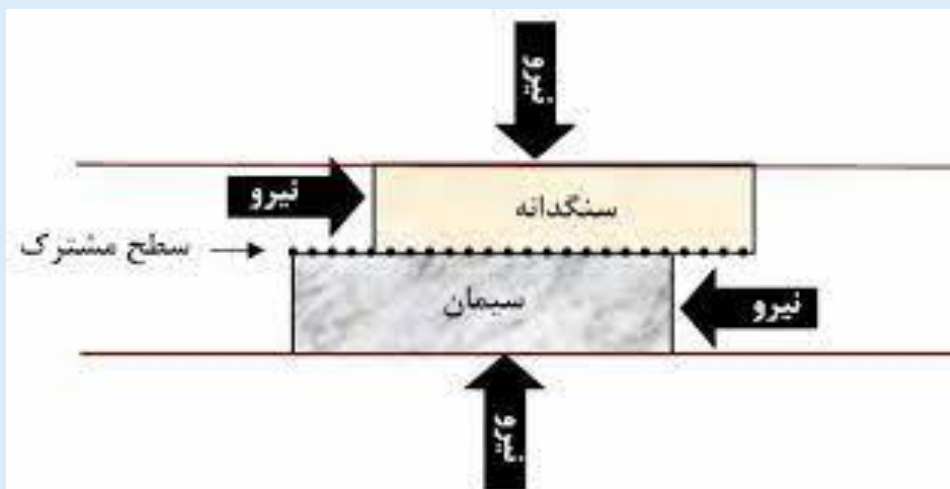
# تعریف، خواص و اهمیت بتن

## نقش فصل مشترک مصالح سنگی و خمیر سیمان

خواص بتن نه تنها تحت تاثیر مواد تشکیل دهنده فازهای آن قرار دارد، بلکه وجود فصل مشترک بین این فازها نیز در خواص بتن موثر است.

وجود فصل مشترک بین مصالح سنگی و خمیر سیمان بر مدول الاستیسیته بتن موثر است.

رابطه تنش-کرنش برای مصالح سنگی تنها و خمیر سیمان خطی است. اما در بتن به صورت منحنی است. علت چیست؟؟



# تعریف، خواص و اهمیت بتن

نقش فصل مشترک مصالح سنگی و خمیر سیمان

خواص بتن نه تنها تحت تاثیر مواد تشکیل دهنده فازهای آن قرار دارد، بلکه وجود فصل مشترک بین این فازها نیز در خواص بتن موثر است.

وجود فصل مشترک بین مصالح سنگی و خمیرسیمان بر مدول الاستیسیته بتن موثر است.

رابطه تنش-گرانش برای مصالح سنگی تنها و خمیر سیمان خطی است. اما در بتن به صورت منحنی است. علت چیست؟؟

**وجود فصل مشترک بین مصالح سنگی و ملات و گسترش ریزترک خوردگی ناشی از بارگذاری**



سوال کلاسی 1: استفاده از مصالح فولادی و بتنی در اجرای ساختمان های کوتاه ( کمتر از ۵ طبقه ) و بلند ( معمولا بیش از ۲۵ طبقه ) چه معایبی و مزایایی نسبت به یکدیگر دارند ؟

# مواد تشکیل دهنده بتن معمولی

۱- سیمان

۲- آب

۳- سنگدانه ها ( ریز دانه و درشت دانه )

۴- مواد افزودنی

# مواد تشکیل دهنده بتن عادی

## ۱- سیمان



# انواع سیمان

- با دانستن میزان نسبی واکنش‌زایی و محصولات هیدراتاسیون ترکیبات جداگانه، طراحی سیمان‌های با مشخصات ویژه مانند مقاومت اولیه زیاد، حرارت هیدراتاسیون کم، مقاومت سولفاتی زیاد و حرارت هیدراتاسیون متوسط یا مقاومت سولفاتی متوسط، امکان‌پذیر می‌باشد.
- از این رو، استاندارد ASTM C 150، تحت عنوان مشخصات استاندارد برای سیمان پرتلند، ۸ نوع سیمان پرتلند به‌صورت زیر را تحت پوشش قرار داده است:

## تعریف

- سیمانی با خواص هیدرولیکی که قابلیت گیرش، سخت شدن، و پایداری در زیر آب را داشته باشد.
- سیمان های هیدرولیکی نه تنها بر اثر واکنش با آب سخت می شوند بلکه با گذشت زمان مقاوم تر می شوند و در محیط های آبی پایدارند.
- سیمان پرتلند معمولا از سیلیکاتهای کلسیم و مقداری سولفات کلسیم (سنگ گچ) تشکیل شده است.

## مواد تشکیل دهنده سیمان

- حدود دو سوم (۶۵٪) مواد خام مورد استفاده در تولید سیمان مواد کلسیم دار هستند که از سنگ آهک به دست می آیند.
- حدود یک سوم (۳۵٪) مواد خام مورد استفاده در تولید سیمان مواد رسی هستند که به همراه برخی ناخالصی ها (مانند سیلیس، آلومینیم، آهن) که از خاک رس به دست می آیند.

## مواد خام

- مصالح کربنات کلسیم‌دار مانند، سنگ آهک فسیلی، مارن و صدف دریایی، منابع صنعتی معمول کلسیم می‌باشند ← آهک و دولومیت ( $CaCO_3$ ,  $MgCO_3$ ) به صورت ناخالصی
- خاک رس و سنگ رس به عنوان منابع سیلیسی ← حاوی آلومین ( $Al_2O_3$ )، اکسید آهن ( $Fe_2O_3$ ) و قلیایی‌ها نیز هست که تأثیری جدی در تشکیل سیلیکات‌های کلسیم به عنوان گدازآور دارند

# مواد خام



## خردایش

- برای تسهیل در تشکیل ترکیبات مطلوب در کلینکر سیمان پرتلند، لازم است که مخلوط مواد خام قبل از حرارت دادن خوب همگن شده باشند.
- بنابراین یک سری عملیات بر روی مصالح استخراج شده، از جمله خرد کردن، آسیاب کردن و مخلوط کردن انجام می شود.
- از تجزیه شیمیایی مصالح انبارشده، و ترکیب شیمیایی ترکیبات مطلوب در محصول نهایی، نسبت‌های جداگانه مصالح مختلف تعیین می‌شوند.

# خردایش



# اختلاط



# پخت

- مواد خام مخلوط شده در داخل کوره تا دمای حدود ۱۵۰۰ درجه حرارت داده می شوند:



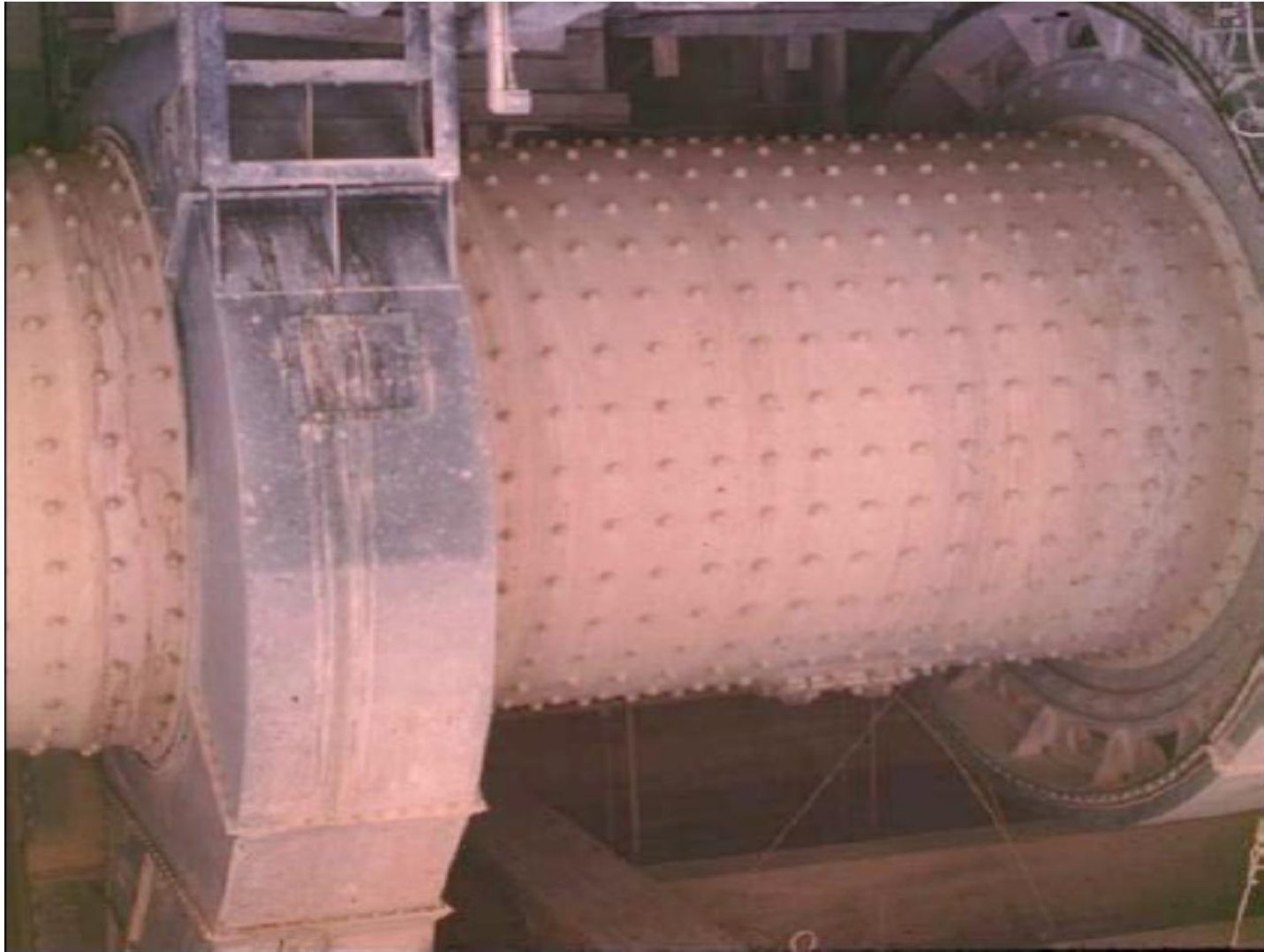
# پخت



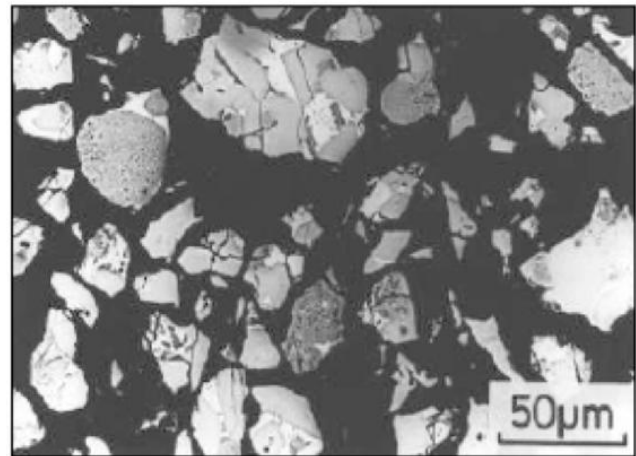
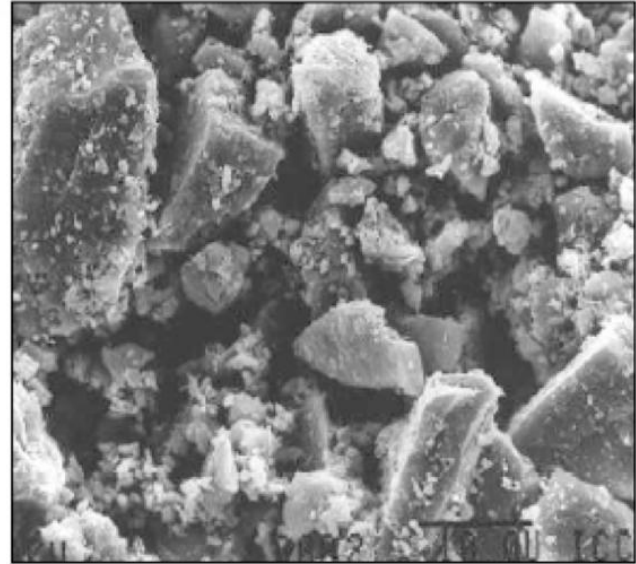
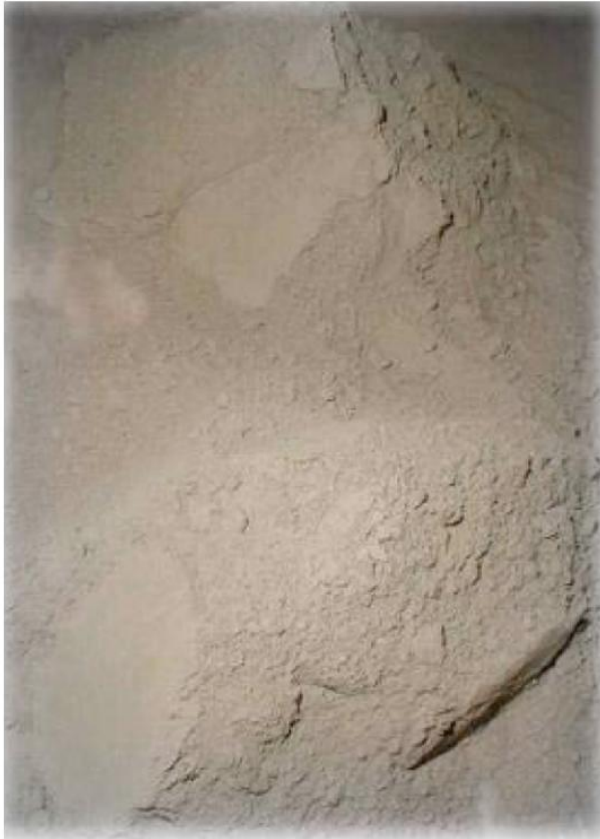
# آسیاب کردن

- عمل نهایی فرآیند تولید سیمان پرتلند، شامل پودر کردن کلینکر به ذرات با قطر اکثراً کمتر از ۷۵ میکرون می‌باشد.
- این عمل در آسیاب گلوله‌ای یا آسیاب نهایی انجام می‌گیرد.
- معمولاً به‌همراه کلینکر تقریباً ۵ درصد گچ یا سولفات کلسیم آسیاب می‌شود تا واکنش‌های گیرش و سخت‌شدگی زودهنگام سیمان کنترل گردند.

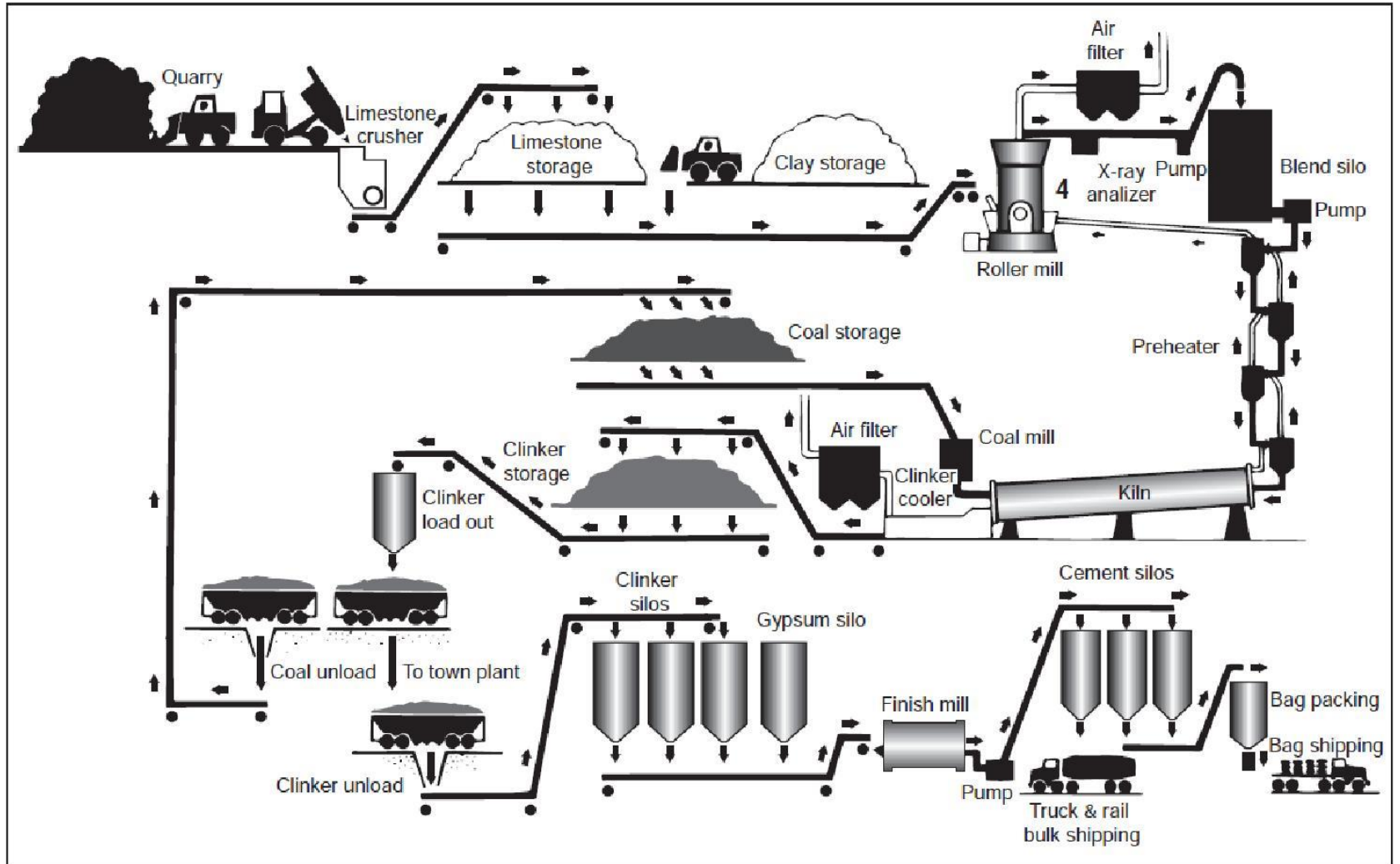
# آسیاب کردن



# دانه های سیمان

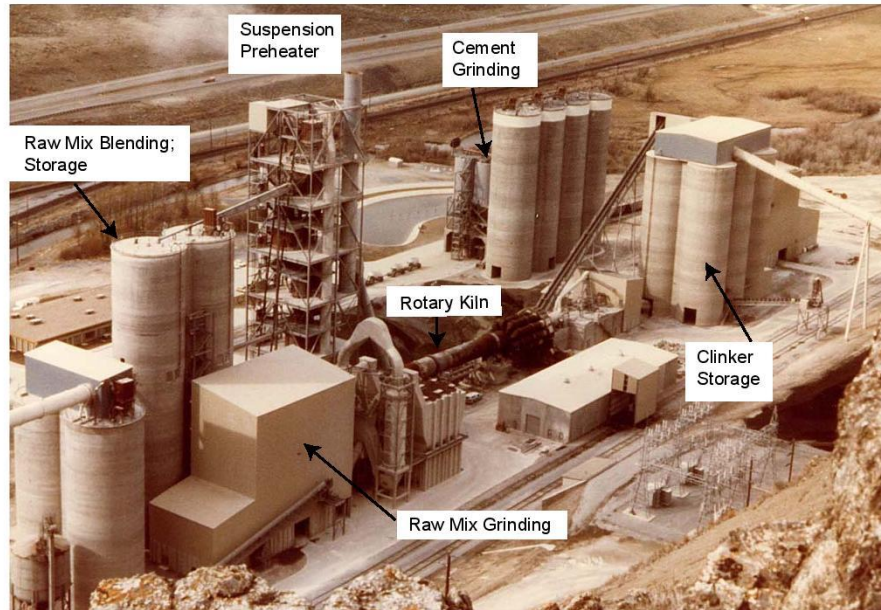


# توليد سيمان



Dry Process for Portland Cement Manufacture

Figure 6-3



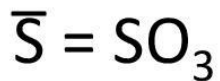
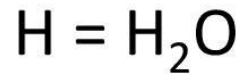
# تأثيرات زیست محیطی

- تولید هر تن سیمان منجر به تولید حدود ۰/۸ تا ۱ تن گاز دی اکسید کربن  $CO_2$  می شود.
- در حدود ۰/۷٪ کل گاز دی اکسید کربن  $CO_2$  تولیدی در دنیا توسط کارخانه های سیمان می باشد.



# نامگذاری

• مواد موجود در سیمان به طریق زیر نامگذاری و تلخیص می شوند:



# ترکیبات موجود در سیمان

• چهار ترکیب اصلی تشکیل دهنده سیمان عبارتند از:



• ترکیبات فرعی سیمان عبارتند از:



# سیمان

- 1- تری کلسیم سیلیکات  $3\text{CaO}, \text{SiO}_2$  : (C3S) آلایت
- 2- دی کلسیم سیلیکات  $2\text{CaO}, \text{SiO}_2$  : (C2S) بلایت
- 3- تری کلسیم آلومینیات  $3\text{CaO}, \text{Al}_2\text{O}_3$  : (C3A) فلایت
- 4- تترا کلسیم آلومینیو فریت  $4\text{CaO}, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3$  : (C4AF) سیلایت

تذکر: ۷۵ درصد مواد اصلی سیمان و مقاومت آن بند ۱ و ۲ فوق است و آیت‌های ( ۱ تا ۴) ۹۰ درصد از مواد تشکیل سیمان است و ۱۰ درصد بقیه سایر ترکیبات است.

- بزرگترین عامل ایجاد گرمای هیدراسیون در بتن C3S, C3A  
- بیشترین اثر در مقاومت بتن را C3S, C2S

# بلیت- C2S

دی کلسیم سیلیکات,  $2\text{CaO SiO}_2$

- در مقاومت اولیه سیمان (۷ روزه) موثر است.
- میل ترکیبی زیادی با آب ندارد-
- اکسیدی است پایدار است-
- در سیمان تیپ ۲و۵ درصد زیادی از مصالح را تشکیل میدهد -
- مقاومت در برابر حملات شیمیایی خصوصا سولفاتها می گردد-
- خزش کمتری نسبت به سیمان های دیگر دارد-
- ترکیب آن باعث کند شدن حرارت وهیدراته سیون می گردد-

# C3S-آلیت

تری کلسیم سیلیکات  $3\text{CaO}, \text{SiO}_2$

- دلیل اصلی افزایش و گیرش مقاومت اولیه سیمان در ۷ روز اولیه است.
- میل ترکیبی زیادی با آب دارد و گرمای زیادی تولید می کند-
- وظیفه اصلی هیدراته کردن سیمان را برعهده دارد-
- اکسیدی است پایدار است-
- در سیمان تیپ ۳ درصد زیادی از مصالح را تشکیل میدهد -

# C3A-فلیت

## تری کلسیم آلومینیات $3\text{CaO}, \text{Al}_2\text{O}_3$

- میل ترکیبی زیادی با آب دارد و گرمای زیادی تولید می کند و مقاومت اولیه زیاد ولی مقاومت نهایی اندک دارد -
- اکسیدی است ناپایدار است -
- در سیمان تیپ ۳ درصد زیادی از مصالح را تشکیل میدهد -
- در آخرین مرحله آسیاب سنگ گچ اضافه می شود تا زمان گیرش را متعادل می کند -

# C4AF-سیلیت

## - تترا کلسیم آلومینیو فریت $4\text{CaO}, \text{Al}_2\text{O}_3, \text{Fe}_2\text{O}_3$

- درجه پخت سیمان را پایین می آورد.
- رنگ تیره سیمان ناشی از این ترکیب است.

# اندازه ذرات سیمان

- 1- تمامی ذرات آن از الک نمره 200 # می گذرد.
- 2- حدود 85 الی 90 درصد ذرات سیمان از 50 میکرون کوچکتر هستند ( ضخامت مو).
- 3- به طور متوسط ذرات سیمان 10 میکرون (یک صدم میلیمتر).
- 4- سطح ویژه سیمان یا سطح مخصوص سیمان 300 الی 400 سانتی متر مربع بر گرم است.

## ریزبودن دانه های سیمان

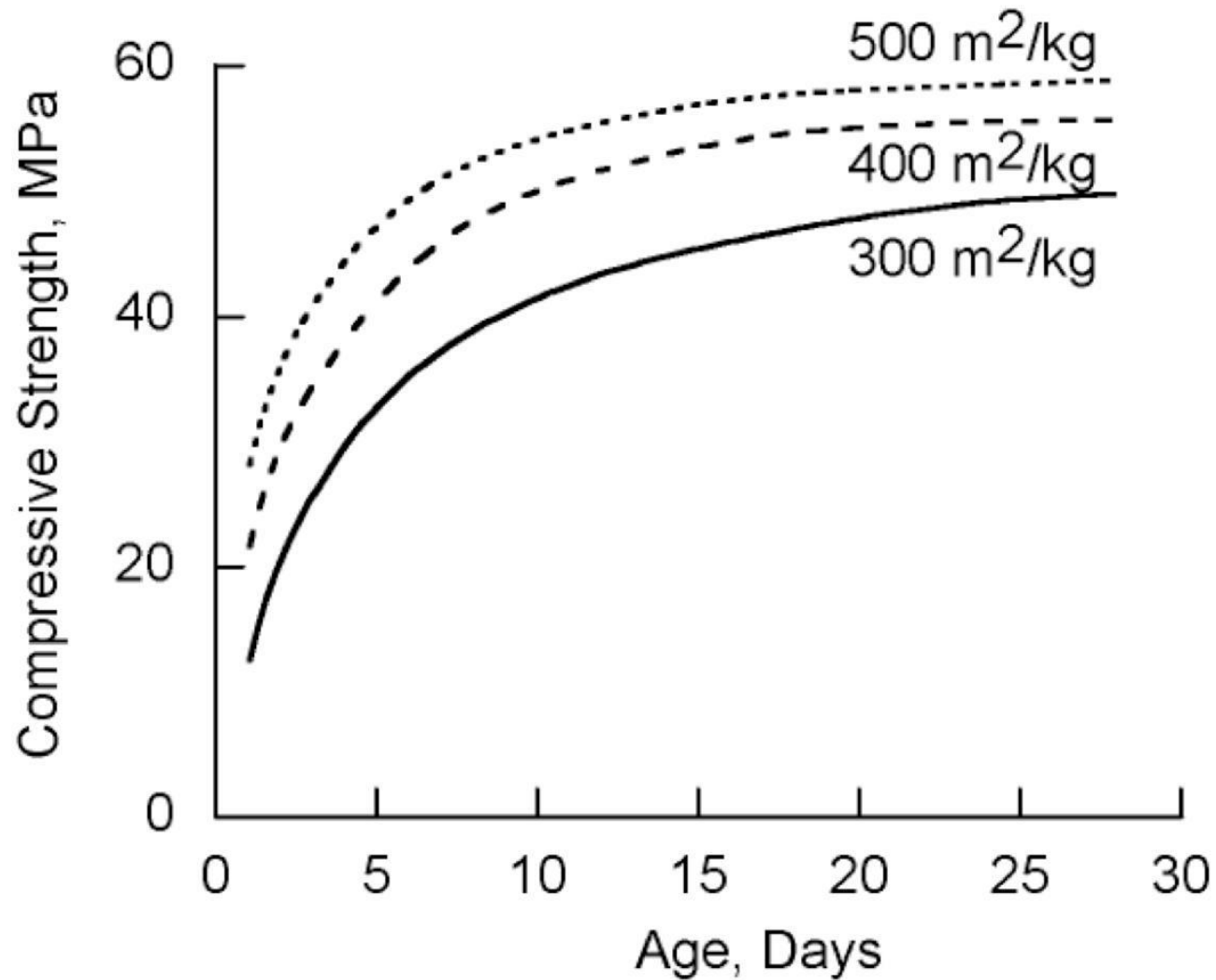
اگر دانه های سیمان ریز باشد:

- 1- سیمان زودتر می گیرد و مقاومت اولیه بیشتری دارد.
- 2- گرمای بیشتر ایجاد می کند.
- 3- سطح ویژه زیاد تری است.
- 4- احتمال ترک بیشتر است.
- 5- مقدار آب انداختگی آن در مقابل سیمان

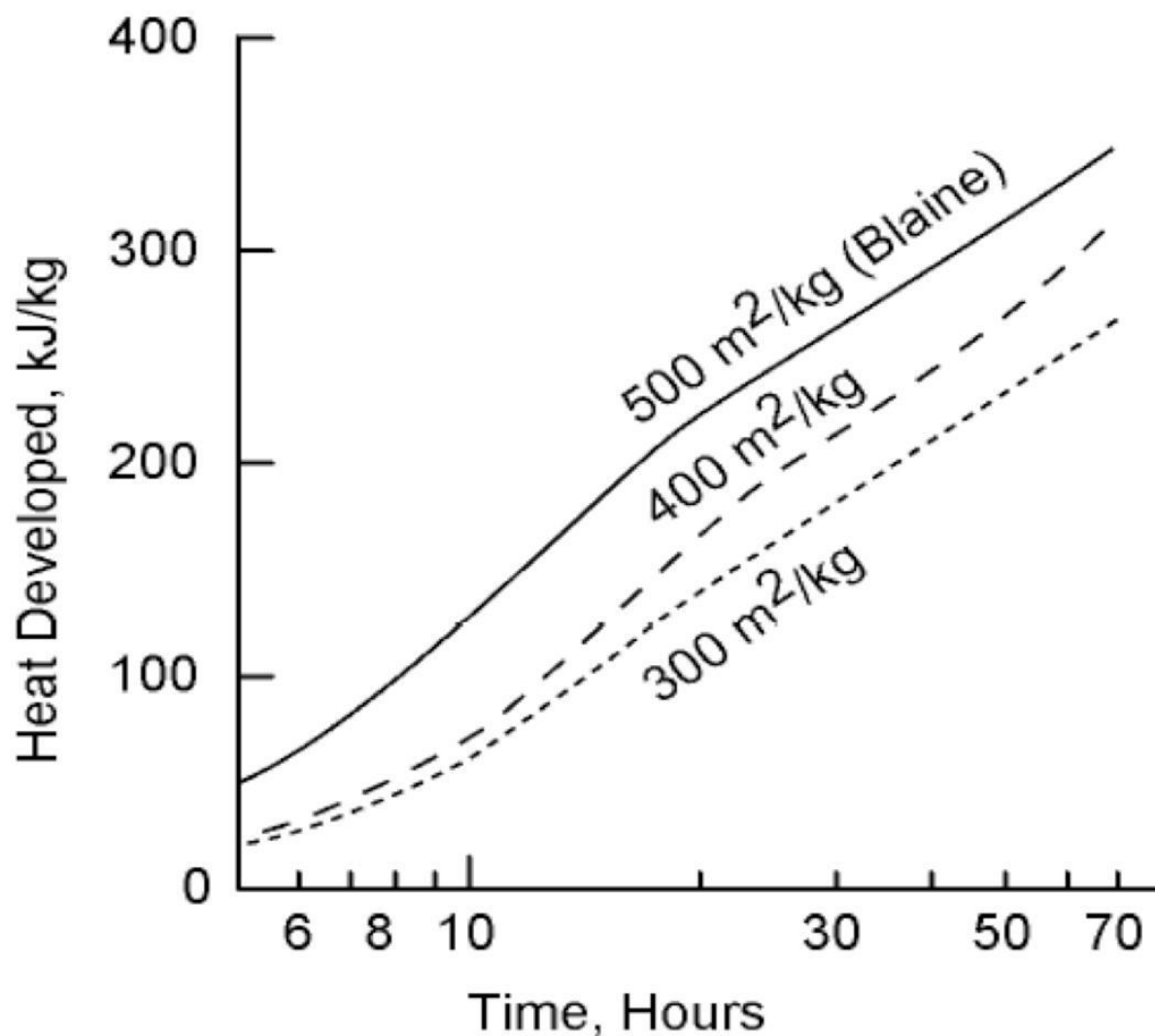
## ریزی (نرمی) سیمان

- سرعت واکنش شیمیایی آب و سیمان، به ریزی سیمان وابسته است
- در مقابل باید هزینه آسیاب دانه‌ها تا ریزی بالا و اثراتی را که سیمان‌های ریز بر میزان کارایی بتن تازه، خواص درازمدت و میزان گچ موردنیاز می‌گذارد، در نظر داشت.
- برای مشخص کردن ریزی سیمان سطح مخصوص دانه‌ها برحسب  $(m^2/kg)$  را ملاک قرار می‌دهند که به عنوان «بلین» سیمان شناخته می‌شود.

# اثر ریزی سیمان بر مقاومت

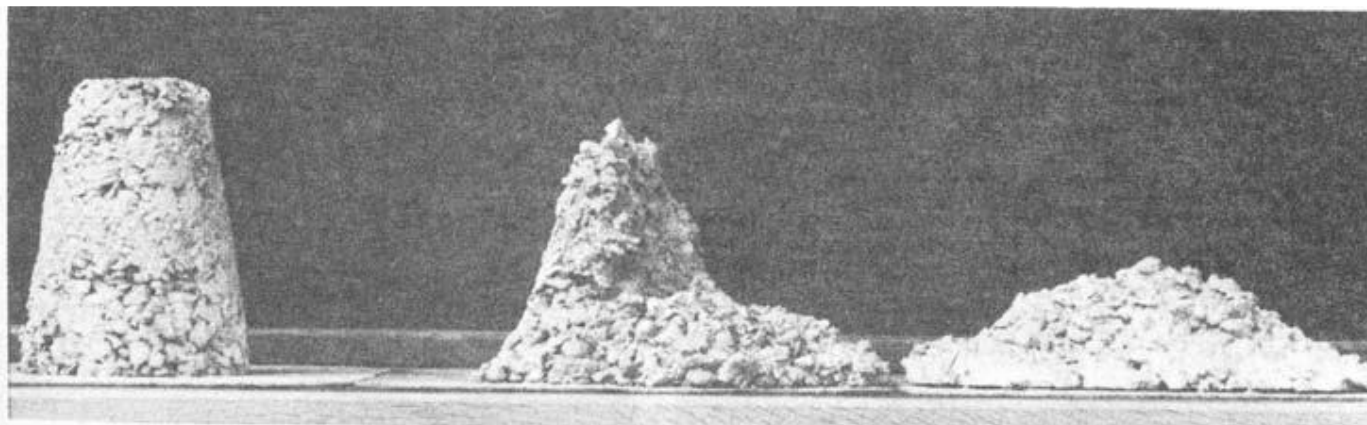


# اثر ریزی سیمان بر تولید حرارت هیدراسیون



# درشت بودن دانه های سیمان

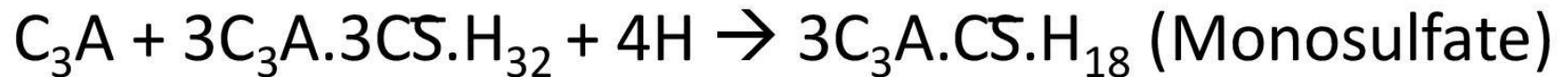
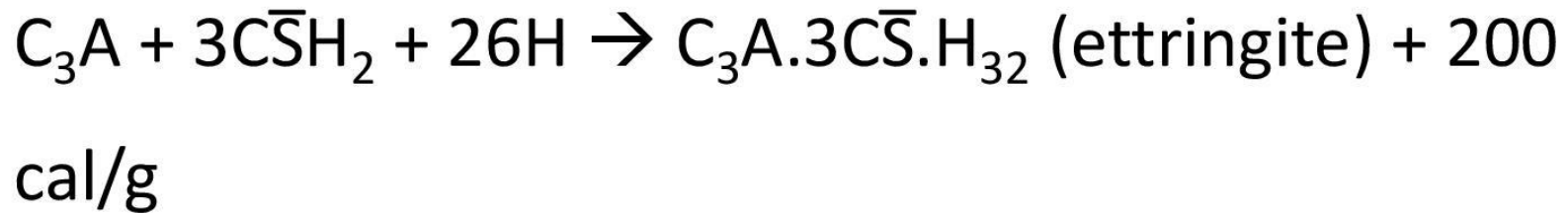
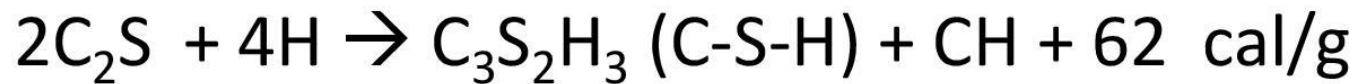
دانه های سیمان درشت باشد:  
سیمان دیرتر می گیرد.



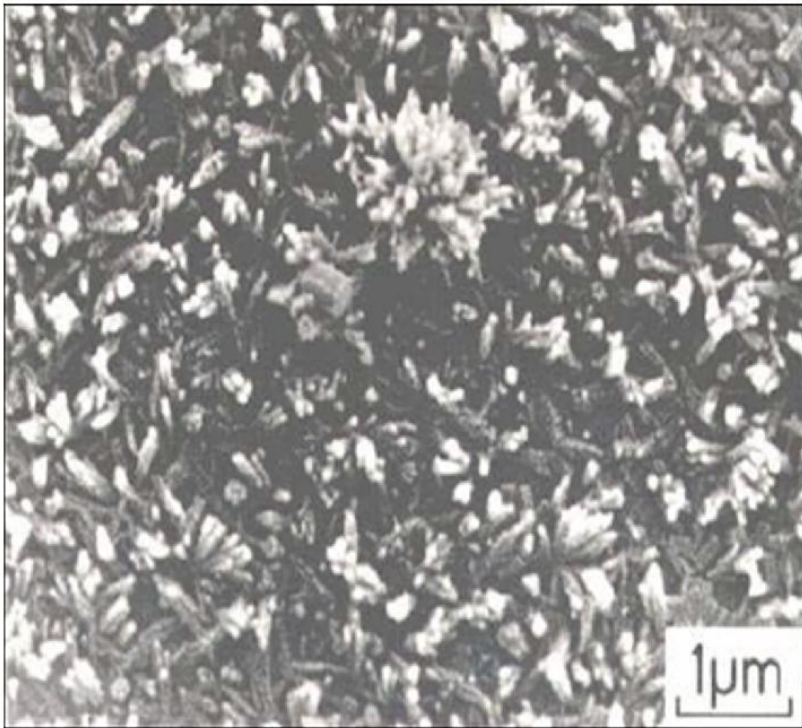
## واکنش‌های هیدراتا(ت)اسیون

- واکنش شیمیایی سیمان با آب، که معمولاً به آن هیدراتاسیون یا هیدراتاسیون (Hydration) گفته می‌شود، محصولاتی را تولید می‌کند که دارای مشخصات گیرش و سخت‌شدگی هستند.
- تغییرات در ماده (نوع مواد حاصل از واکنش)، تغییرات در انرژی (گرمای آزاد شده) و سرعت واکنش (زمان گیرش) مسائل مهم مورد توجه می‌باشند.

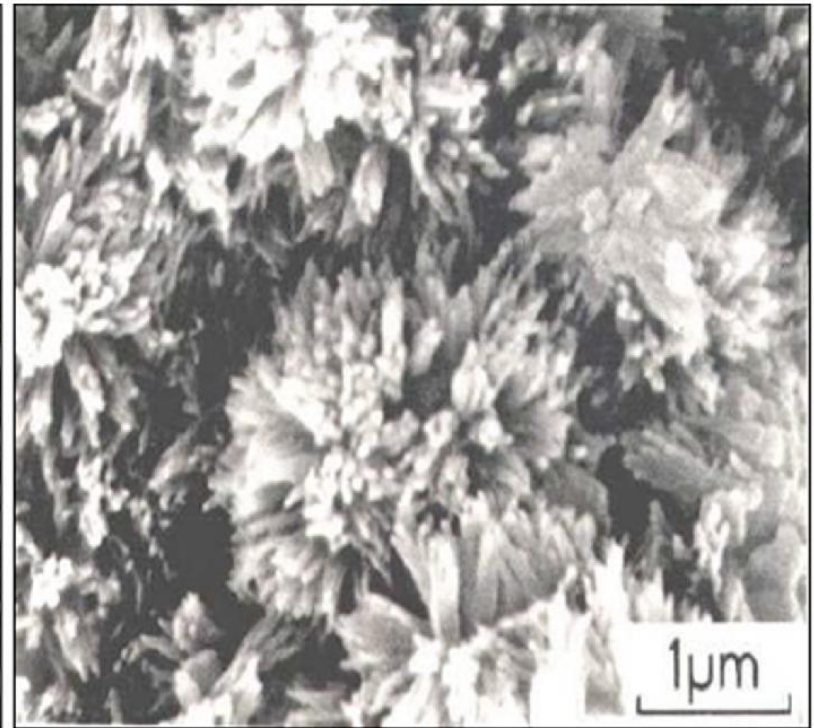
## واکنشهای هیدراتاسیون



# واکنش‌های هیدراتاسیون



3 hours

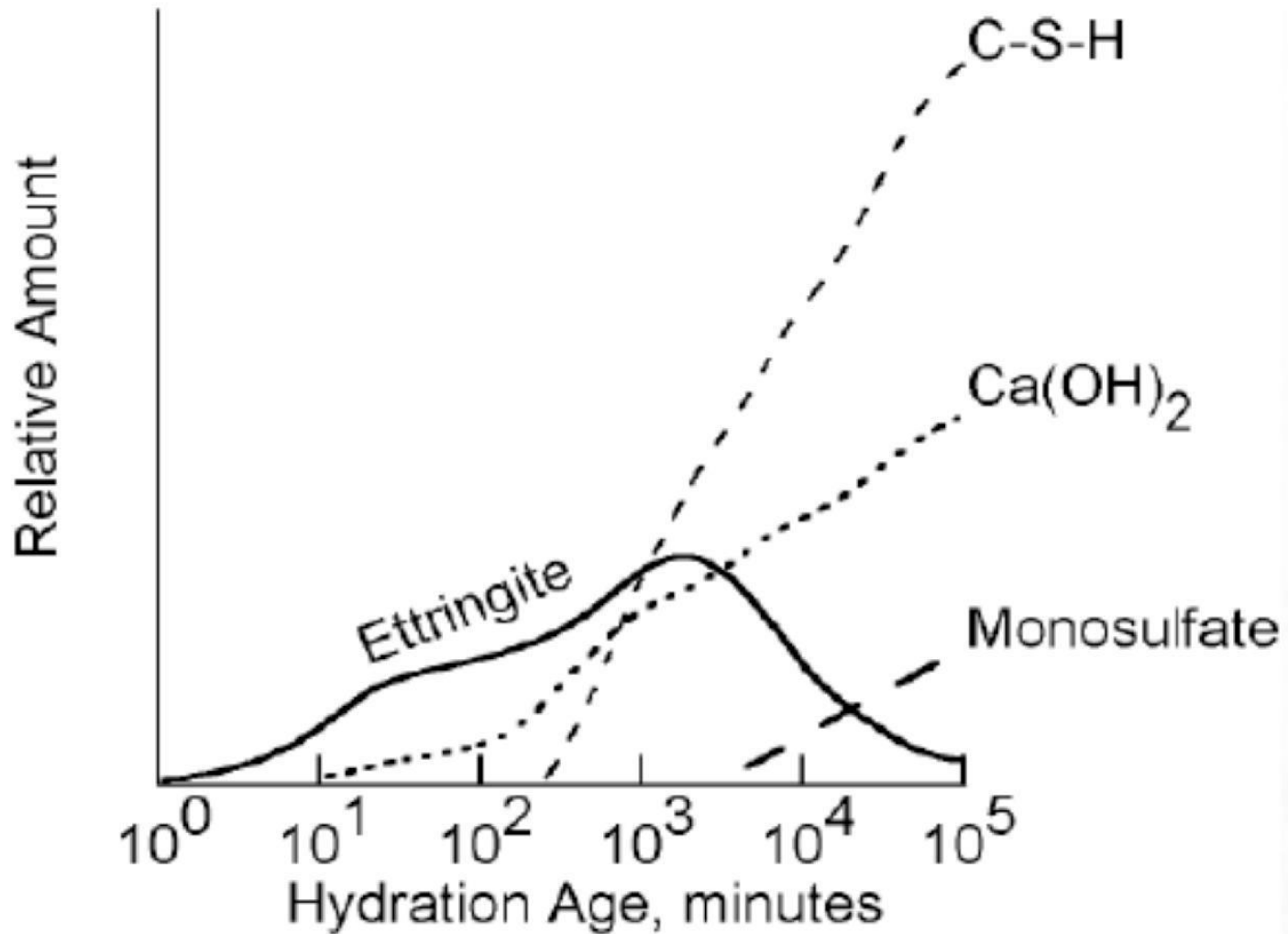


10 hours

# واکنشهای هیدراسیون

- تمام ترکیبات، به یک میزان هیدراته نمی شوند.
- آلومینات‌ها با سرعت خیلی زیادتری نسبت به سیلیکات‌ها هیدراته می شوند.
- درواقع، سفت‌شدگی (از دست دادن روانی) و گیرش (جامد شدن)، به طور عمده‌ای به وسیله آلومینات‌ها تعیین می شوند.
- سیلیکات‌ها که حدود ۷۵٪ سیمان پرتلند معمولی را تشکیل می دهند، نقش اصلی را در تعیین مشخصه‌های سخت‌شدگی (روند توسعه مقاومت) ایفا می کنند.

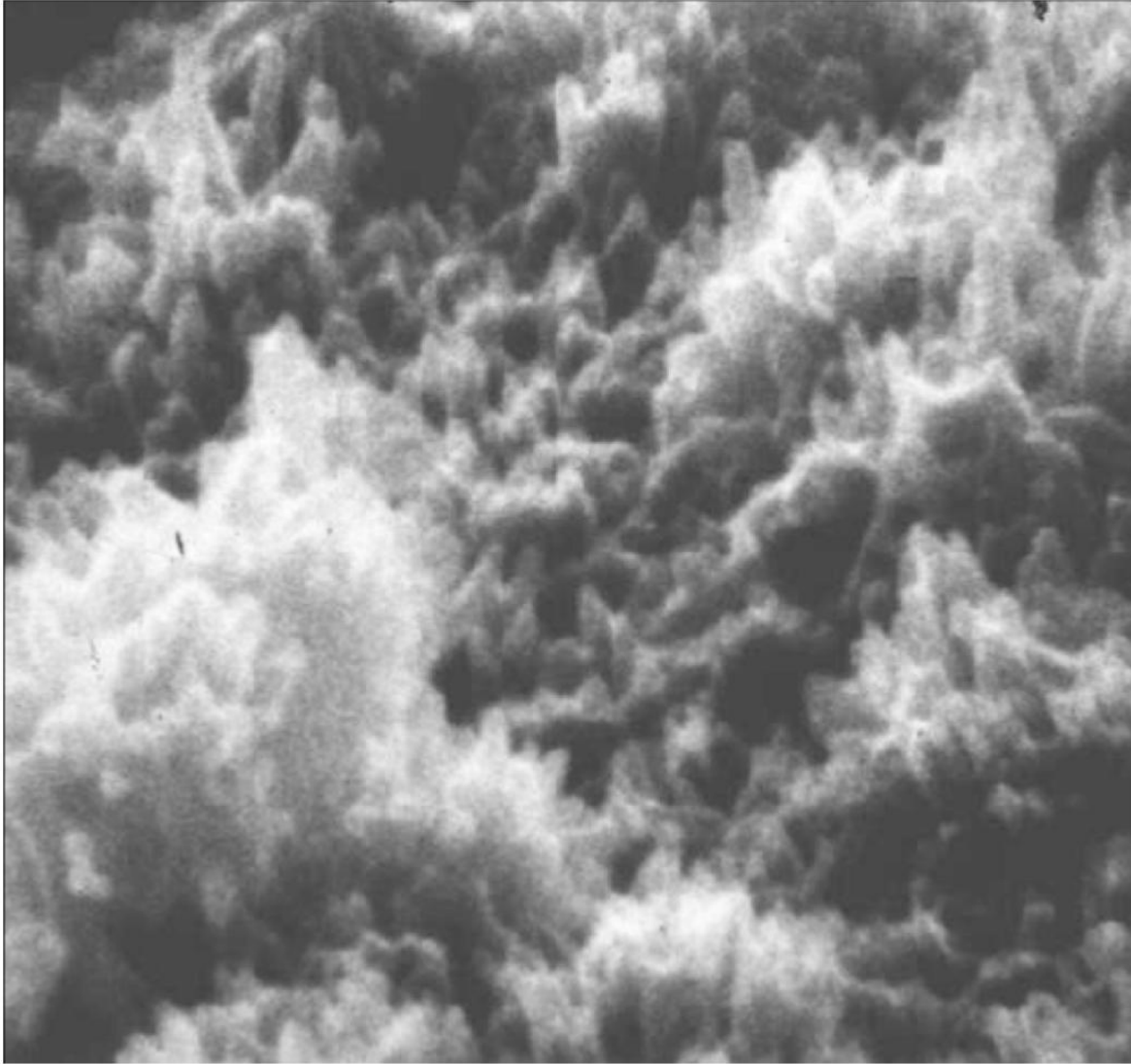
# نرخ تشکیل محصولات هیدراسیون



## محصول اصلی هیدراتاسیون

- ترکیب شیمیایی هیدرات‌های سیلیکات کلسیم با نسبت آب به سیمان، دما و سن هیدراتاسیون تغییر می‌یابد ← **C-S-H**
- سطح مخصوص : ۱۰۰ تا ۷۰۰ متر مربع بر گرم
- نسبت آهک به سیلیس : بین ۱/۵ تا ۲
- نیروی وان در والسی بسیار بالا ← **مقاومت**
- حجم تقریبی : ۵۰ تا ۶۰ درصد

C-S-H



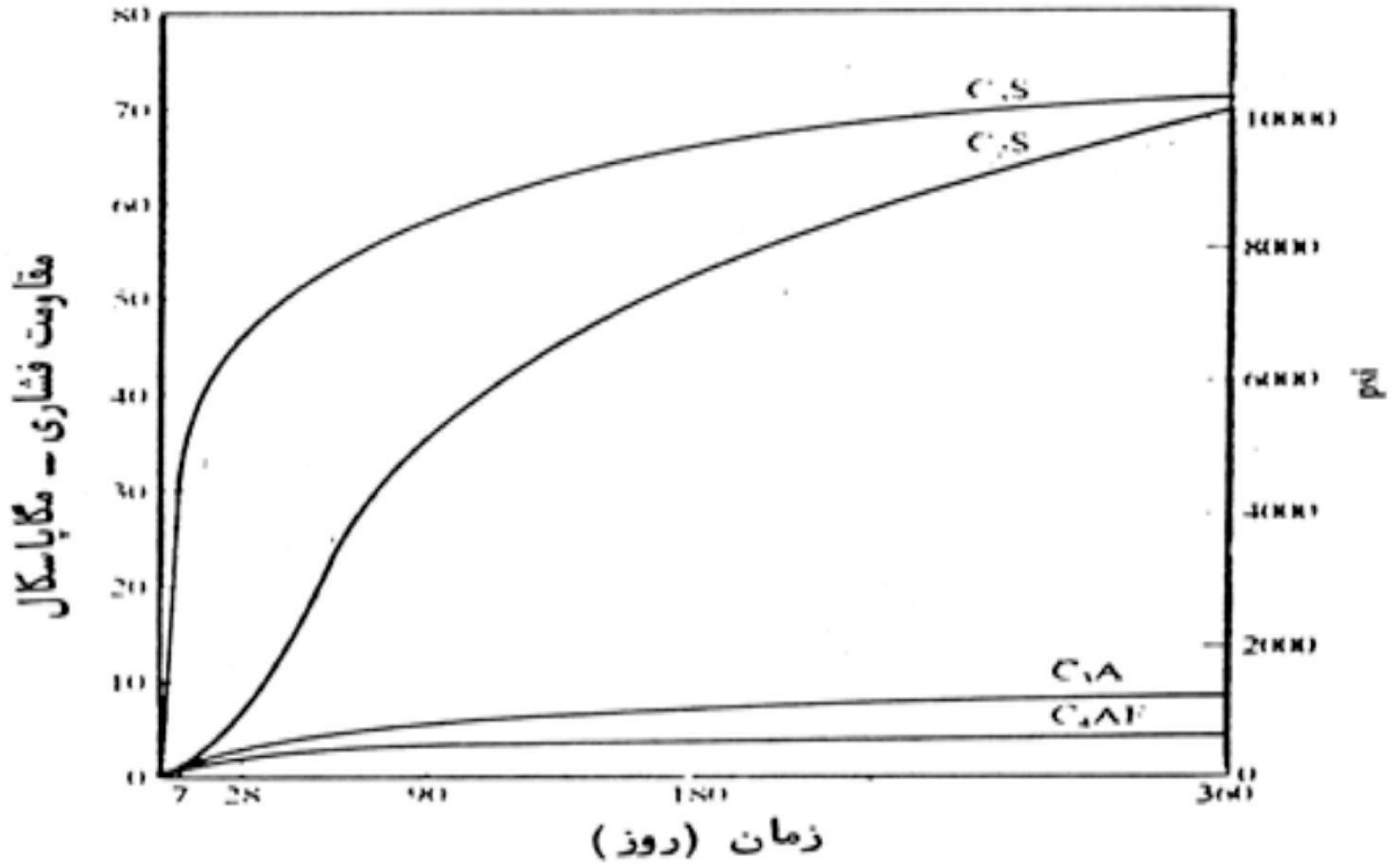
# جنبه های فیزیکی هیدراتاسیون

- سفت شدگی (Stiffening): از دست رفتن روانی خمیر سیمان و مرتبط با پدیده کاهش کارایی (اسلامپ) در بتن است
- گیرش (Setting): جامد شدن خمیر سیمان
  - گیرش اولیه (Initial Set) : زمان شروع جامد شدن (وقتی که خمیر کارایی خود را کاملاً از دست می دهد ← بیشتر از ۴۵ دقیقه
  - گیرش نهایی (Final Set): خمیر کاملاً جامد می شود ← کمتر از ۳۷۵ دقیقه

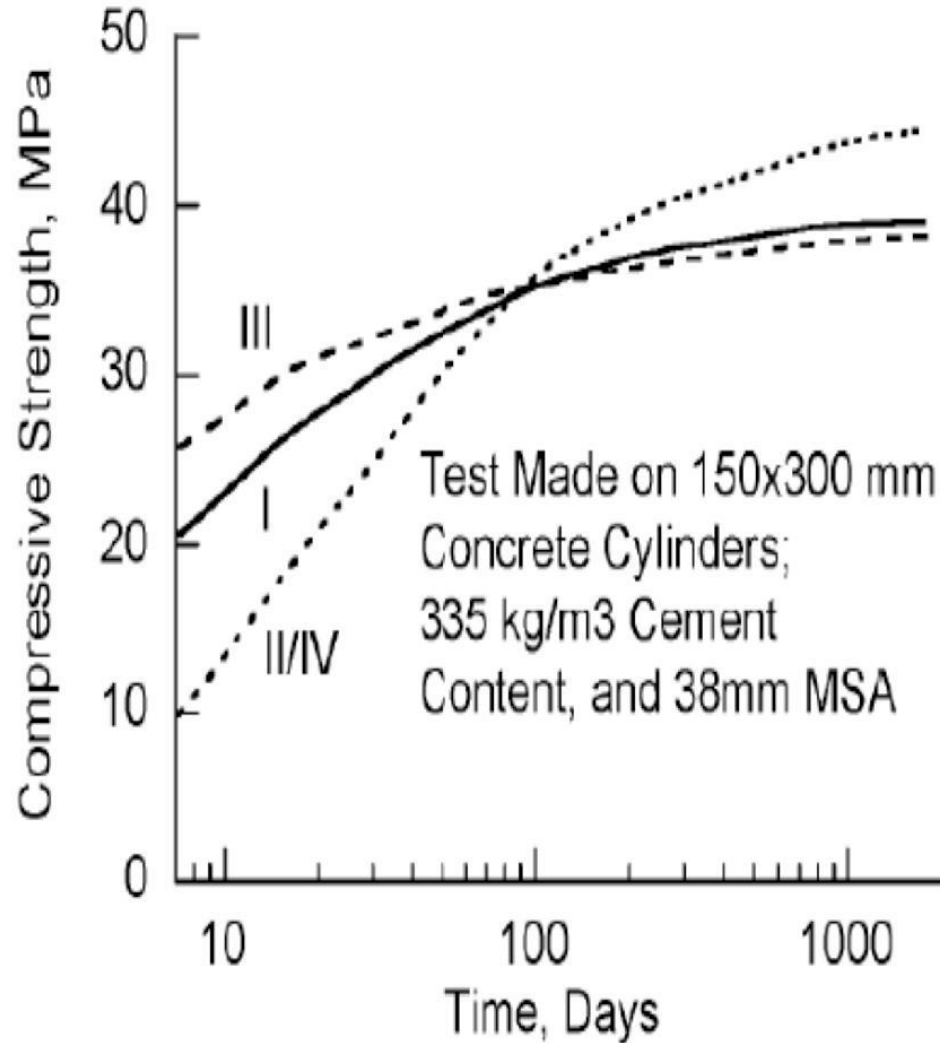
# مقاومت ترکیبات سیمان

- ترکیب  $C_3S$  و  $C_2S$  نقش اصلی در پیدایش مقاومت سیمان را دارند
- $C_3S$  در مقاومت تا چهار هفته و  $C_2S$  در مقاومت بعد از آن تأثیر می‌گذارد
- بعد از یک سال، دو ترکیب به یک میزان روی مقاومت سیمان هیدراته شده تأثیر می‌گذارند
- امکان پیش‌بینی مقاومت سیمان هیدراته شده از روی ترکیبات آن وجود ندارد

# اثر ترکیب سیمان بر مقاومت



# اثر ترکیب سیمان بر مقاومت

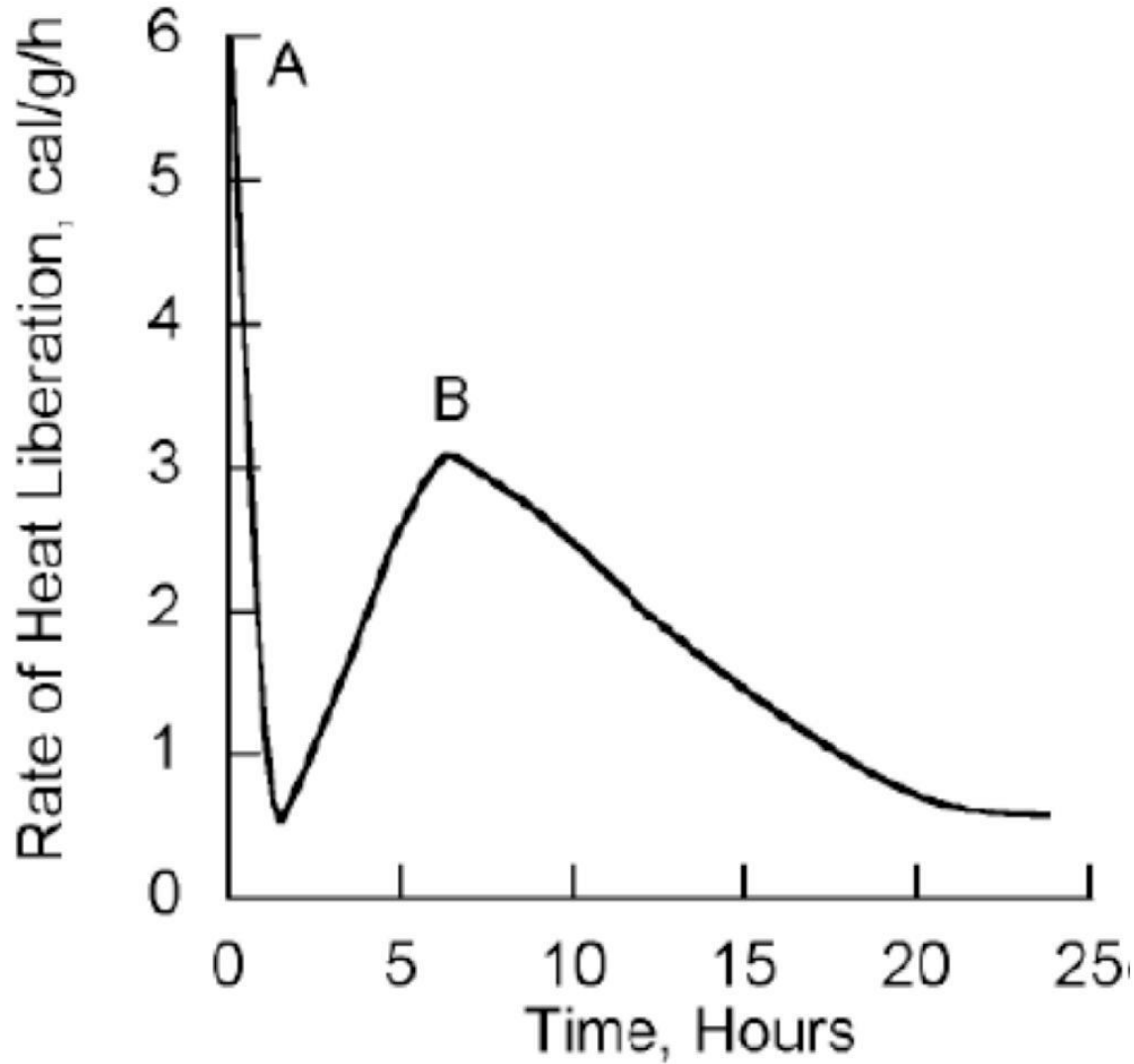


III	II	I	شماره سیمان
			ترکیبات
۵۶	۳۰	۴۹	C <sub>3</sub> S
۱۵	۴۶	۲۵	C <sub>2</sub> S
۱۲	۵	۱۲	C <sub>3</sub> A
۸	۱۳	۸	C <sub>4</sub> AF

## حرارت هیدراتاسیون

- وقتی که سیمان هیدراته می‌شود، ترکیبات سیمان با آب واکنش برقرار می‌سازند تا در وضعیت انرژی پایینی قرار بگیرند و این فرایند با آزاد کردن انرژی به شکل حرارت همراه می‌باشد.
- حرارت هیدراتاسیون بعضی مواقع می‌تواند مضر باشد (در سازه‌های بتنی حجیم) و در مواقع دیگر مفید باشد (مثلاً برای بتن‌ریزی در زمستان، یعنی هنگامی که دمای محیط ممکن است برای تأمین انرژی فعال‌سازی و واکنش‌های هیدراتاسیون خیلی کم باشد)

# حرارت هیدراتاسیون



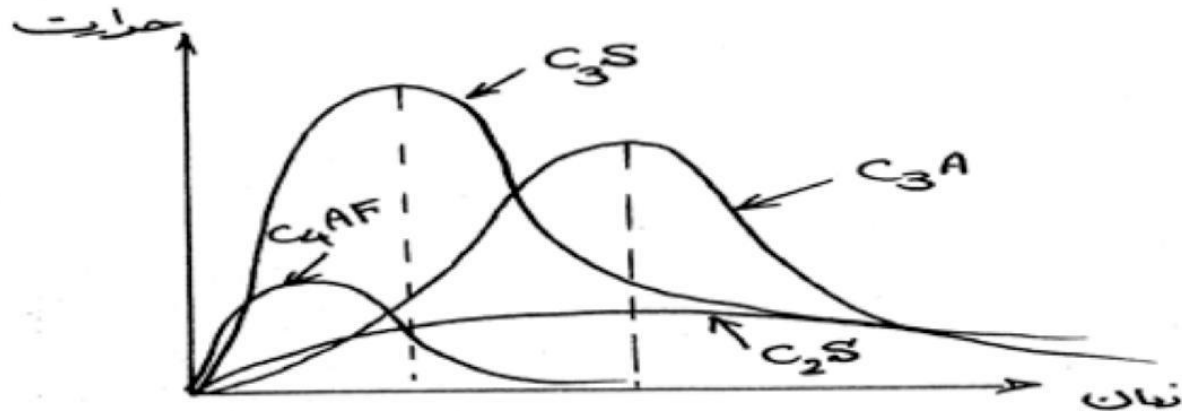
# حرارت هیدراتاسیون

- مرحله اول: یک حرارت‌زایی سریع (نقطه اوج A)، که چندین دقیقه به طول می‌انجامد، نشانگر حرارت محلول آلومینات‌ها و سولفات‌ها است.
- مرحله دوم: دوره غیر فعال: حرارت‌زایی اولیه، وقتی که با حضور سولفات‌ها در محلول از حلالیت آلومینات‌ها کاسته می‌شود، به سرعت متوقف می‌گردد (نقطه نزولی A) ← گیرش اولیه در انتها
- مرحله سوم: دوره بعدی حرارت‌زایی که منجر به ایجاد نقطه اوج دوم پس از گذشت حدود ۴ تا ۸ ساعت می‌شود، نشانگر حرارت ناشی از واکنش سیلیکات‌ها و شکل‌گیری C-S-H می‌شود (نقطه اوج B) ← گیرش نهایی (جامد شدن کامل و شروع سخت‌شدگی)

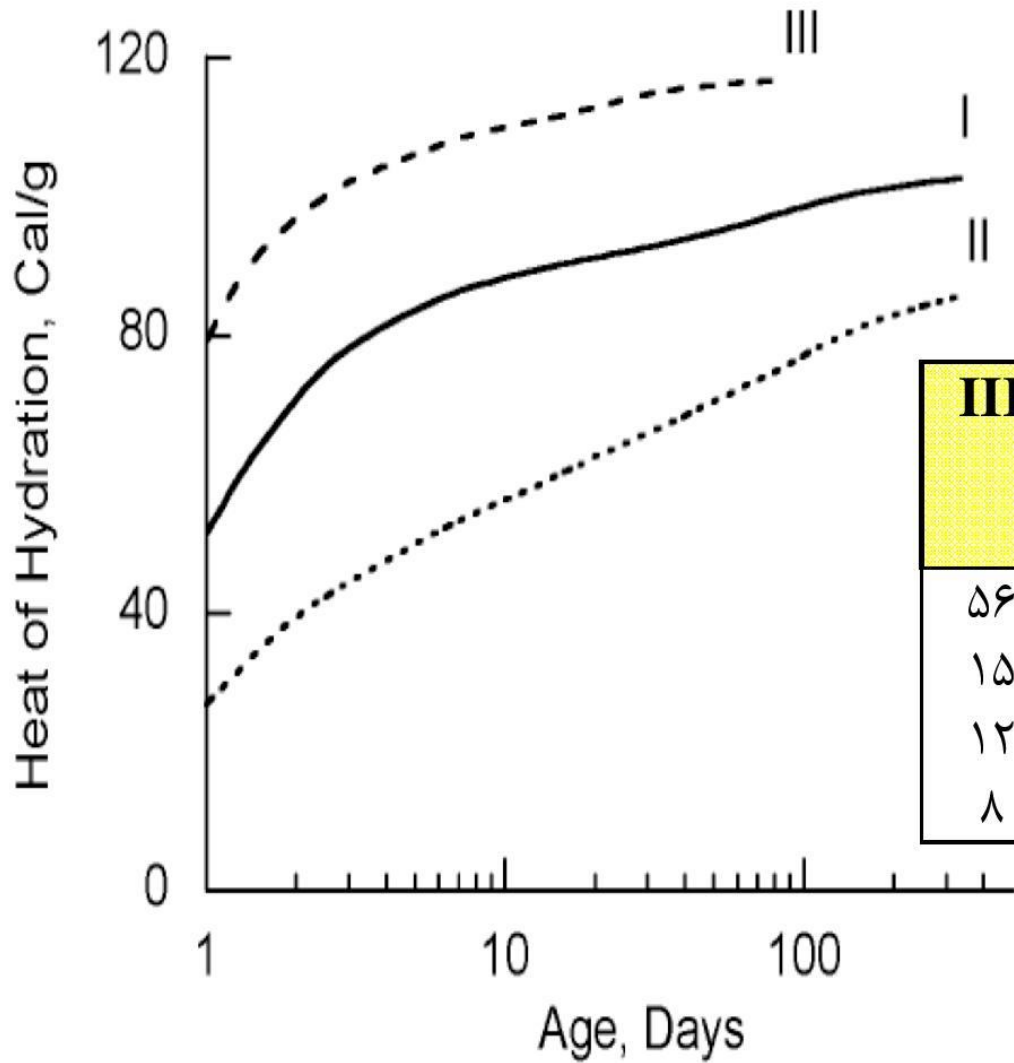
# اثر ترکیب سیمان بر حرارت هیدراتاسیون

جدول (۲-۴) - حرارت هیدراتاسیون ترکیبات مختلف سیمان

حرارت هیدراتاسیون		ترکیب
J/g	Cal/g	
۵۰۲	۱۲۰	C <sub>3</sub> S
۲۶۰	۶۲	C <sub>2</sub> S
۸۶۷	۲۰۷	C <sub>3</sub> A
۴۱۹	۱۰۰	C <sub>4</sub> AF

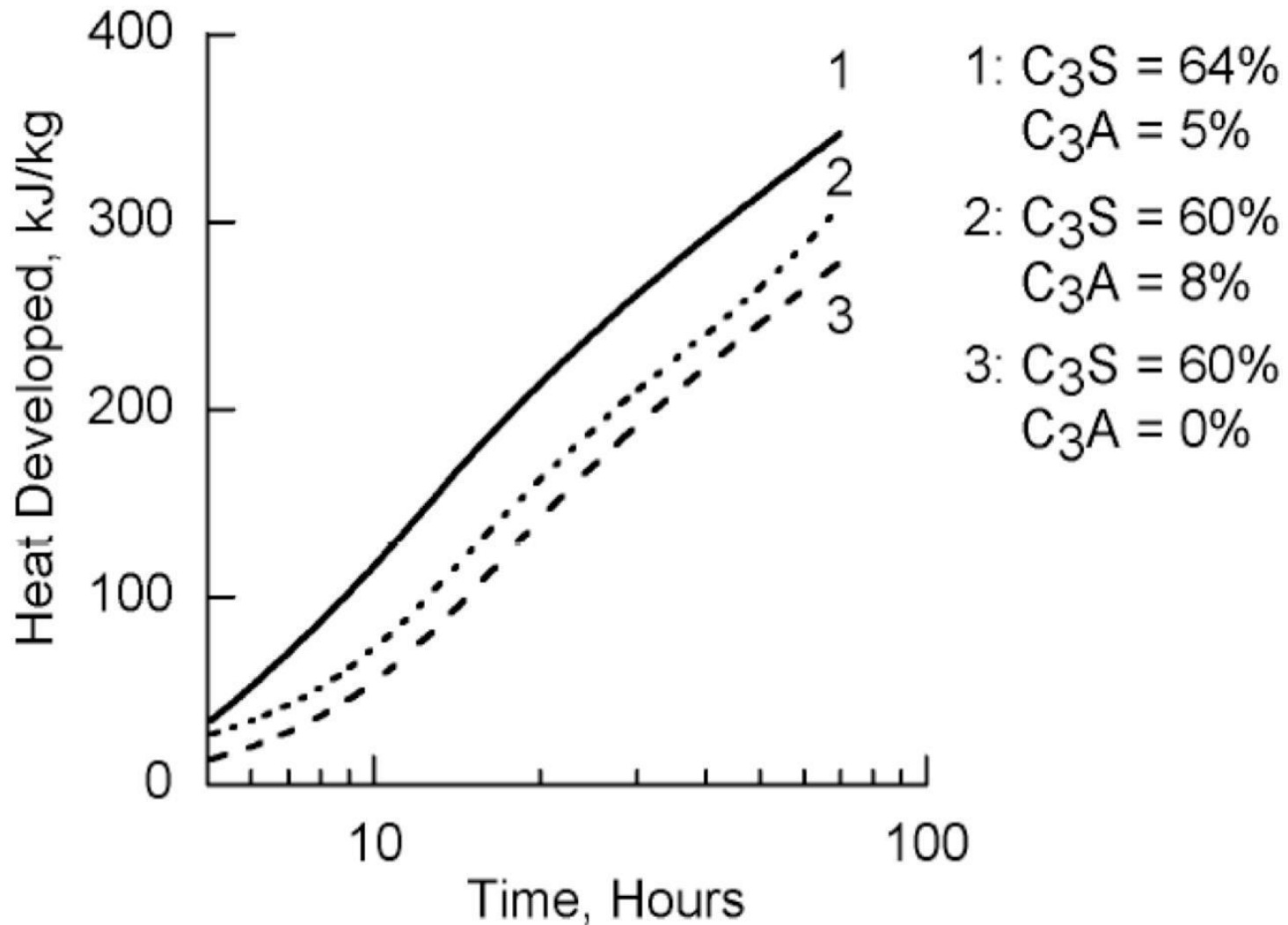


# اثر ترکیب سیمان بر حرارت هیدراسیون

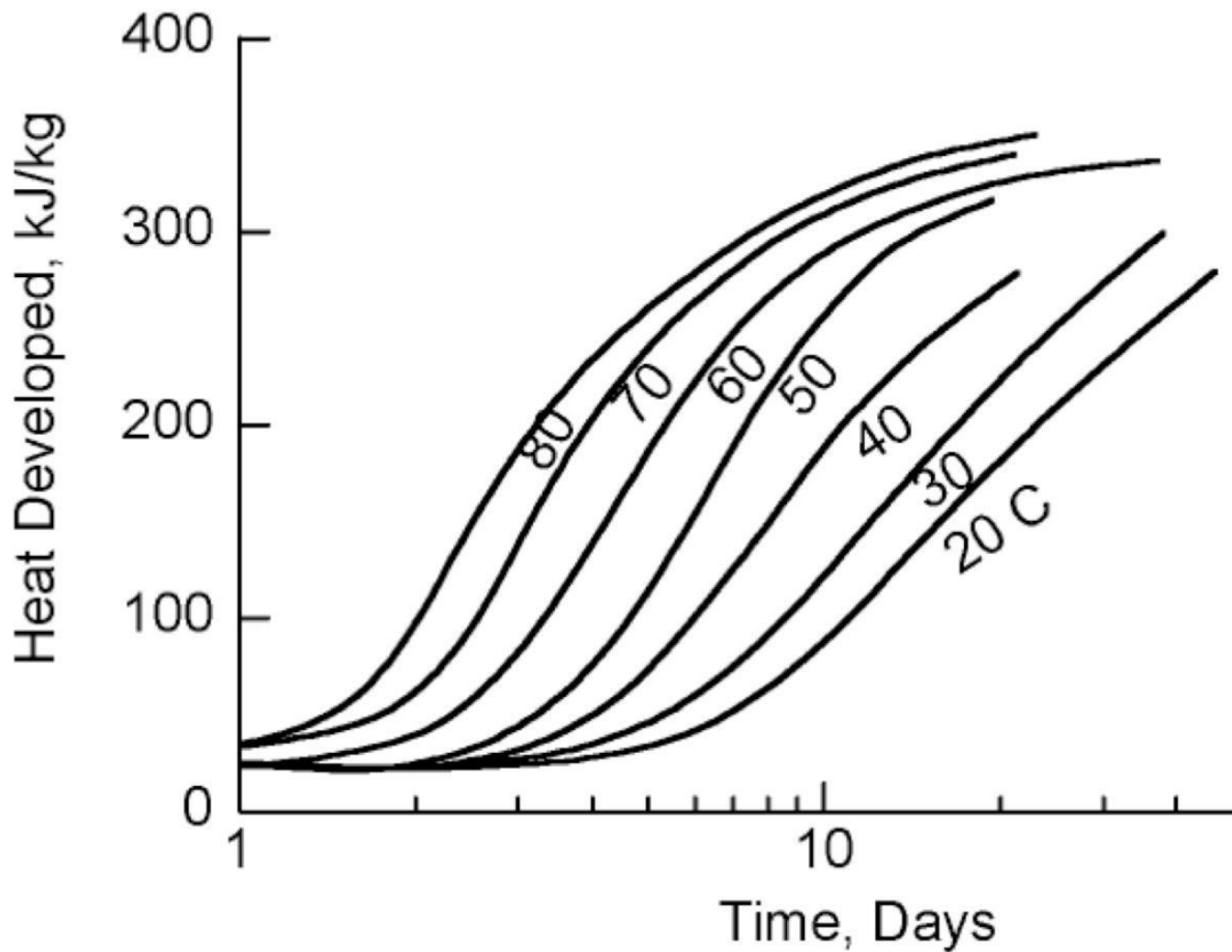


III	II	I	شماره سیمان
			ترکیبات
۵۶	۳۰	۴۹	C <sub>3</sub> S
۱۵	۴۶	۲۵	C <sub>2</sub> S
۱۲	۵	۱۲	C <sub>3</sub> A
۸	۱۳	۸	C <sub>4</sub> AF

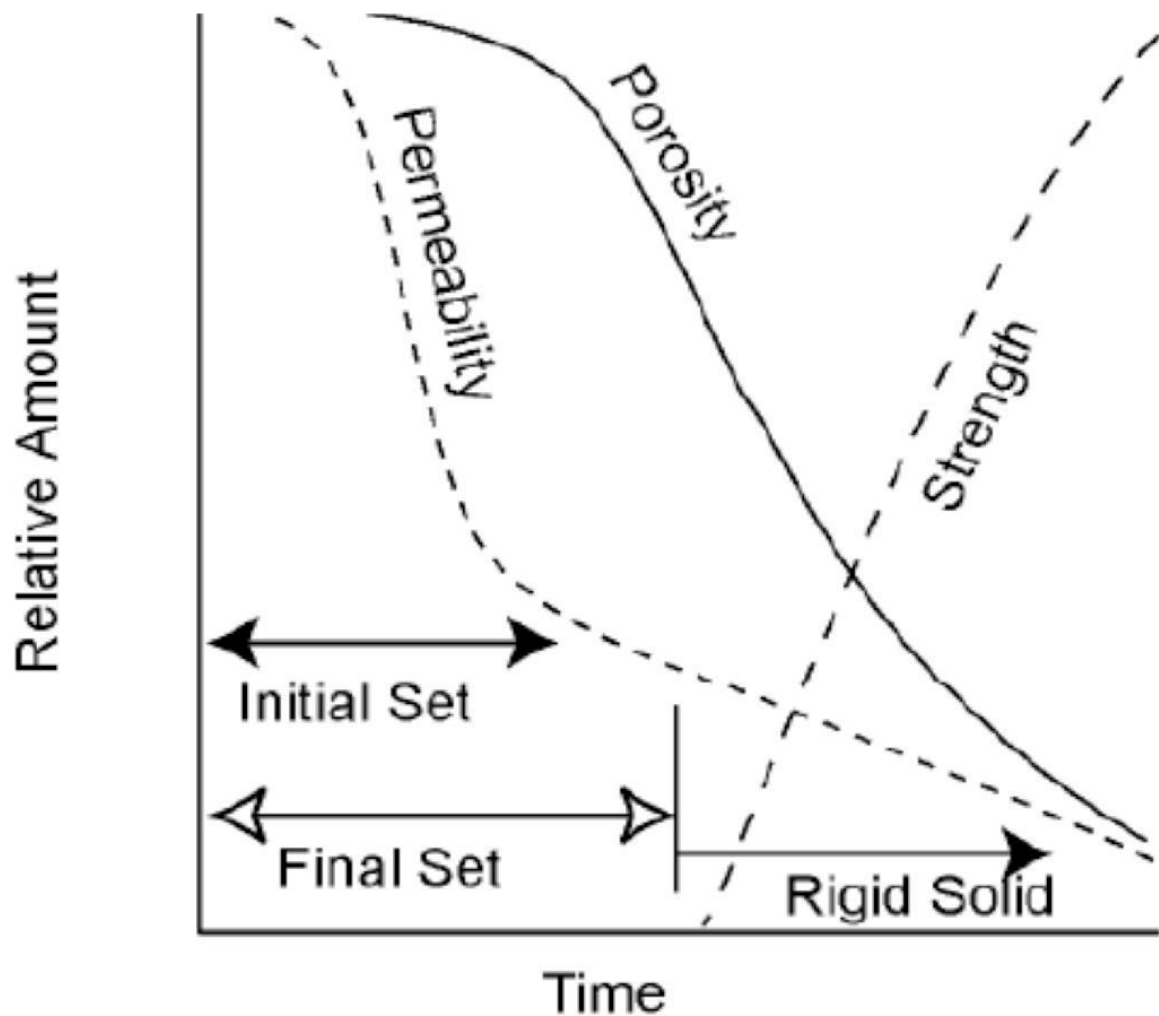
# اثر ترکیب سیمان بر تولید حرارت هیدراسیون



# اثر دمای هوا بر تولید حرارت هیدراسیون



تأثير هیدراتاسیون بر گیرش، تخلخل، نفوذپذیری و مقاومت



# آزمایشهای سیمان

- از آنجاکه کیفیت سیمان در تولید یک بتن خوب بسیار مؤثر می باشد، لازم است که در آزمایشهای سیمان کنترل های دقیقی به عمل آید.
- در کارخانه های سیمان، برای تولید سیمانی مطابق استانداردهای بین المللی، آزمایش های متعددی روی سیمان انجام می گیرد
- آزمایش های اصلی عبارتند از: ریزی (نرمی)، زمان گیرش، سلامت و

## مقاومت سیمان

علاقمندان می توانند جهت مشاهده جزئیات آزمایش ها به استانداردهای ایران، BS، ASTM، و EN مراجعه کنند.

# آزمایش زمان گیرش

- برای تعیین زمان گیرش اولیه، گیرش نهایی و سلامت سیمان لازم است خمیر سیمان با غلظت معینی مطابق استاندارد تهیه شود.
- برای هر نوع سیمان باید مقدار آب لازم جهت ساختن خمیر نرمال با استاندارد، معین شود.
- غلظت خمیر نرمال با استفاده از روش "ویکات" که در آن عمق نفوذ سوزنی به قطر ۱۰ میلیمتر تحت وزن خود در خمیر اندازه‌گیری می‌شود، معین می‌گردد.
- هنگامی که سوزن تا عمق معینی در خمیر نفوذ می‌کند، مقدار آب خمیر که عموماً بین ۲۶-۳۳ درصد وزن سیمان خشک می‌باشد، تعیین می‌گردد.

# آزمایش زمان گیرش

- زمان گیرش اولیه زمانی است که سوزن فوق به فاصله ۵ میلیمتری از کف قالب مخصوص پر از ملات می‌رسد.
- زمان گیرش نهایی، زمانی است که پس از آن سوزن روی سطح خمیر اثر گذاشته، لیکن در سطح خمیر نفوذ نمی‌کند.
- (گیرش اولیه (دقیقه))  $1/2 + 90 =$  گیرش نهایی (دقیقه)

# آزمایش زمان گیرش (سوزن ویکات)



# آزمایش سلامت سیمان

- این نکته مهم است که خمیر سیمان بعد از گرفتن، تغییر حجم عمده‌ای پیدا نکند.
- انبساط خمیر سیمان غالباً ناشی از فعل و انفعالات آهک و منیزیم آزاد و سولفات کلسیم می‌باشد.
- آهک آزاد که در کلینکر موجود است، به آرامی هیدراته و منبسط می‌شود
- اکسید منیزیم در مجاورت آب با کریستالی شدن، حجم بیشتری اشغال می‌کند.
- سولفات کلسیم با تشکیل اترینگایت از گچ اضافی، سیمان را خراب می‌کند.

# آزمایش سلامت سیمان

- جهت تعیین خرابی ناشی از CaO و MgO آزمایش اتوکلاو پیشنهاد شده است.
- در این روش نمونه خمیر سیمان با طول مشخص به مدت ۲۴ ساعت در هوای مرطوب نگهداری و سپس برای مدت یک ساعت تحت فشار بخار آب ۲ Mpa در محفظه مخصوص نگهداری می‌شود، تا دما به  $216^{\circ}\text{C}$  برسد.
- برای مدت ۳ ساعت دما ثابت مانده و سپس اتوکلاو سرد می‌گردد تا فشار به مدت ۱/۵ ساعت افت کرده و آنگاه نمونه در آب  $23^{\circ}$  به مدت ۱۵ دقیقه خنک می‌شود.
- پس از ۱۵ دقیقه دیگر، طول نمونه اندازه‌گیری می‌شود.
- انبساط ایجاد شده از عمل اتوکلاو نباید از 0.8 درصد طول اولیه بیشتر گردد

# آزمایش مقاومت سیمان

- طبق استاندارد ASTM C ۱۰۹ مخلوط ماسه و سیمان با نسبت ۲/۷۵ به یک و با نسبت آب به سیمان ۰/۴۸۵ ساخته می شود
- این ملات در نمونه‌های مکعبی ۵۰ میلیمتری به نحوی که در استاندارد ذکر شده قرار داده می شوند
- پس از ۲۴ ساعت نمونه ها از داخل قالب بیرون آورده شده و تا زمان آزمایش در محلول آهک اشباع شده در  $22^{\circ}\text{C}$  نگهداری می شوند
- مقاومت فشاری نمونه ها در سن مورد نظر تعیین می گردد

# الزامات انواع سیمان

روش آزمایش	نوع V	نوع III	نوع II	نوع I	شرایط مشخص داده شده در ASTM C ۱۵۰
روش ASTM C ۲۰۴	۲۸۰	-	۲۸۰	۲۸۰	نرمی: حداقل (m <sup>2</sup> /kg)
روش ASTM C ۱۵۱	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	سلامتی (ثبات حجمی): حداکثر انبساط اتوکلاو (٪)
روش ASTM C ۱۹۱	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵	زمان گیرش: گیرش اولیه، حداقل (دقیقه)
	۳۷۵	۳۷۵	۳۷۵	۳۷۵	گیرش نهایی، حداکثر (دقیقه)
روش ASTM C ۱۰۹	-	۱۲/۴	-	-	مقاومت فشاری: حداقل (MPa) اروز در هوای مرطوب
	۸/۳	۲۴/۱	۱۰/۳	۱۲/۴	اروز در هوای مرطوب +۲ روز در آب
	۱۵/۲	-	۱۷/۲	۱۹/۳	اروز در هوای مرطوب +۶ روز در آب
	۲۰/۷	-	-	-	اروز در هوای مرطوب +۲۷ روز در آب



# انواع سیمان (ASTM)

- نوع I: برای مصرف در موقعی که به **خواص ویژه‌ای** که برای انواع دیگر سیمان‌ها مشخص شده است، **نیاز نمی‌باشد**. هیچ محدودیتی برای هیچکدام از چهار ترکیب اصلی تحمیل نگشته است.
- نوع IA: سیمان نوع I دارای مواد حباب هوازا، در جایی که هوازایی مطلوب است (مثلاً برای ساخت بتن دارای مقاومت در برابر یخ‌زدگی).

## سیمان پرتلند



# انواع سیمان (ASTM)

- نوع II: برای مصرف عمومی، مخصوصاً در مواقعی که **مقاومت متوسط** در برابر سولفات یا حرارت هیدراتاسیون متوسط مطلوب است.

– مقدار  $C_3A$  سیمان حداکثر ۸ درصد

- حد اختیاری حداکثر ۵۸ درصد برای مجموع  $C_3S$  و  $C_3A$  را دارد (این حد وقتی بکار می‌رود که حرارت هیدراتاسیون متوسط موردنیاز است و داده‌های آزمایش برای حرارت هیدراتاسیون در دسترس نیست).

- نوع IIA: سیمان نوع II دارای مواد هوزا، در جایی که هوزایی مطلوب است

# انواع سیمان (ASTM)

- نوع III: برای مصرف در موقعی که **مقاومت اولیه** مطلوب باشد و یا برای **باز کردن سریع قالبها** و نیز **پیشرفت سریع کار** ساخت استفاده می شود.
  - مقدار  $C_3A$  سیمان حداکثر ۱۵ درصد
  - سطح ویژه زیادتیر آن، تقریباً بلین  $500\text{ m}^2/\text{kg}$  به جای  $330\text{ m}^2/\text{kg}$  تا ۴۰۰ برای سیمان پرتلند نوع I، می باشد.
  - نایستی در بتن ریزی های حجیم و یا در قطعات بزرگ بتنی بکار رود.
  - در بتن ریزی های در هوای سرد می تواند از یخ زدگی سریع جلوگیری نماید.
- نوع IIIA: سیمان نوع III دارای مواد هوازا، در جایی که هوازایی مطلوب است.

# انواع سیمان (ASTM)

- نوع **IV**: برای مصرف در موقعی که **حرارت هیدراتاسیون کم** مطلوب باشد.

–  $C_3S$  و  $C_3A$  به ترتیب به حداکثر ۳۵ و ۷ درصد محدود می شود

– حداقل ۴۰ درصد  $C_2S$  در سیمان

- نوع **V**: برای مصرف در موقعی که **مقاومت زیاد سولفاتی** مطلوب باشد.

– مقدار  $C_3A$  سیمان حداکثر ۵ درصد

# انواع سیمان (ASTM)

محدوده ترکیبات (%)				شرح کلی	نوع سیمان (ASTM)
C <sub>4</sub> AF	C <sub>3</sub> A	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> S		
6-10	8-12	20-30	45-55	مصارف عمومی	I
6-10	5-7	25-35	40-50	مصارف عمومی با مقاومت سولفاتی متوسط و حرارت هیدراتاسیون متوسط	II
6-10	8-14	15-25	50-65	مقاومت اولیه زیاد	III
10-20	0-4	25-35	40-50	مقاومت در برابر سولفات	V

# انواع سیمان (نسخه جدید ASTM)

ASTM 1157: PERFORMANCE-BASED CEMENT STANDARD

- سیمان نوع **GU**: سیمان هیدرولیکی برای مصرف عمومی - حداقل مقاومت فشاری این سیمان ۱۰ مگاپاسکال در ۳ روز و ۱۷ مگاپاسکال در ۷ روز می باشد.  
**General Use**
- سیمان نوع **HE**: مقاومت اولیه زیاد - حداقل مقاومت فشاری ۱۰ مگاپاسکال در ۱ روز و ۱۷ مگاپاسکال در ۳ روز می باشد.  
**High Early Strength**
- سیمان نوع **MS**: مقاومت متوسط در برابر سولفات - حداکثر انبساط ۰/۱٪ در ۶ ماه در ملات‌های قرارگرفته در محلول سولفات (ASTM C 1012)  
**Moderate Sulfate Resistance**

# انواع سیمان (نسخه جدید ASTM)

ASTM 1157: PERFORMANCE-BASED CEMENT STANDARD

- سیمان نوع **HS**: مقاومت زیاد در برابر سولفات- حداکثر انبساط ۰.۰۱۰۵٪

High Sulfate Resistance

در ۶ ماه در ملات‌های قرار گرفته در محلول سولفات استاندارد (ASTM

C 1012)

- سیمان نوع **MH**: حرارت‌زایی متوسط- حداکثر حرارت هیدراتاسیون در

Moderate Heat of Hydration

۷ روز به میزان ۲۹۰ kJ/kg (۷۰ cal/g) می‌باشد.

- سیمان نوع **LH**: حرارت‌زایی کم- حداکثر حرارت هیدراتاسیون در ۷ روز

Low Heat of Hydration

به میزان ۲۵۰ kJ/kg (۶۰ cal/g) می‌باشد.

# انواع دیگر سیمان

- سیمان های آمیخته (**Blended P.C.**) : مخلوط های سیمان های پرتلند با روباره آهن گذاری سریعاً سرد شده و یا مواد پوزولانی مانند خاکستر بادی
- سیمان پرتلند اصلاح شده (**Modified P.C.**): سیمان هایی که بوسیله اصلاح ساختار ترکیبات کلینکر سیمان پرتلند شناخته شده اند
- سیمان های پرآلومین (**Non-Calcium Silicate Cements**): خواص سیمانی  
**Calcium Aluminate Cements**  
آن از وجود سیلیکات کلسیم هیدرولیکی سرچشمه نمی گیرد  
مقاومت اولیه زیاد  
امکان سخت شونگی در برابر حرارت بسیار زیاد  
نوام عالی در برابر حمله سولفاتی
- سیمان های منبسط شونده (نوع **K، M، S و O** در **ASTM**) : برخلاف سیمان پرتلند، در حین مدت زمان هیدراتاسیون اولیه، بعد از گیرش منبسط می شوند برای ساخت روسازی ها و دال های بدون ترک بسیار مفیدند

# انواع دیگر سیمان

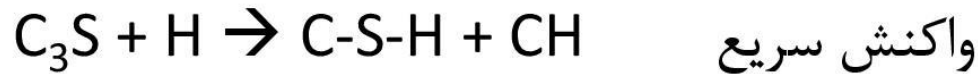
- سیمان های زودگیر و زود سخت شونده : مخلوطهای سیمان پرتلند و گچ نیمه هیدراته ( $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ) یا سیمان پرتلند و سیمان آلومینات کلسیم با زمان گیرش ۱۰ دقیقه، برای تعمیر اضطراری نشتی درزها و بتن پاشی
- سیمان های چاه نفت : سیمانهای دیرگیر و مقاوم در برابر حرارت بالا هستند، با درصد  $\text{C}_3\text{A}$  پایین و همچنین ریزی پایین
- سیمان های سفید یا رنگی : با کاهش مقدار آهن در کلینکر، سیمانهای با رنگ روشن را می توان تولید نمود، که البته می توان مواد رنگی نیز به آنها افزود و سیمان رنگی بدست آورد.

# سیمانهای آمیخته

- علاقه فزاینده‌ای برای مصرف مواد پوزولانی طبیعی و مصنوعی و مواد شبه سیمانی (مثلاً روباره آهن‌گذاری آسیاب شده) به عنوان مواد افزودنی معدنی و یا جایگزین سیمان در بتن، وجود دارد.
- دلایل استفاده روز افزون از سیمان های آمیخته:
  - صرفه جویی در قیمت ها
  - حرکت به سمت توسعه پایدار
  - دارا بودن عملکرد بهتر در برخی موارد

# پوزولان

پوزولان یک ماده سیلیسی یا سیلیسی آلومینی است که به خودی خود دارای کمی یا بدون خاصیت سیمانی شدن می‌باشد ولی به صورت ذرات نرم و در حضور رطوبت به‌طور شیمیایی با هیدروکسید کلسیم در دمای معمولی واکنش برقرار می‌سازد و تشکیل ترکیباتی را می‌دهد که دارای خواص سیمانی می‌باشند.

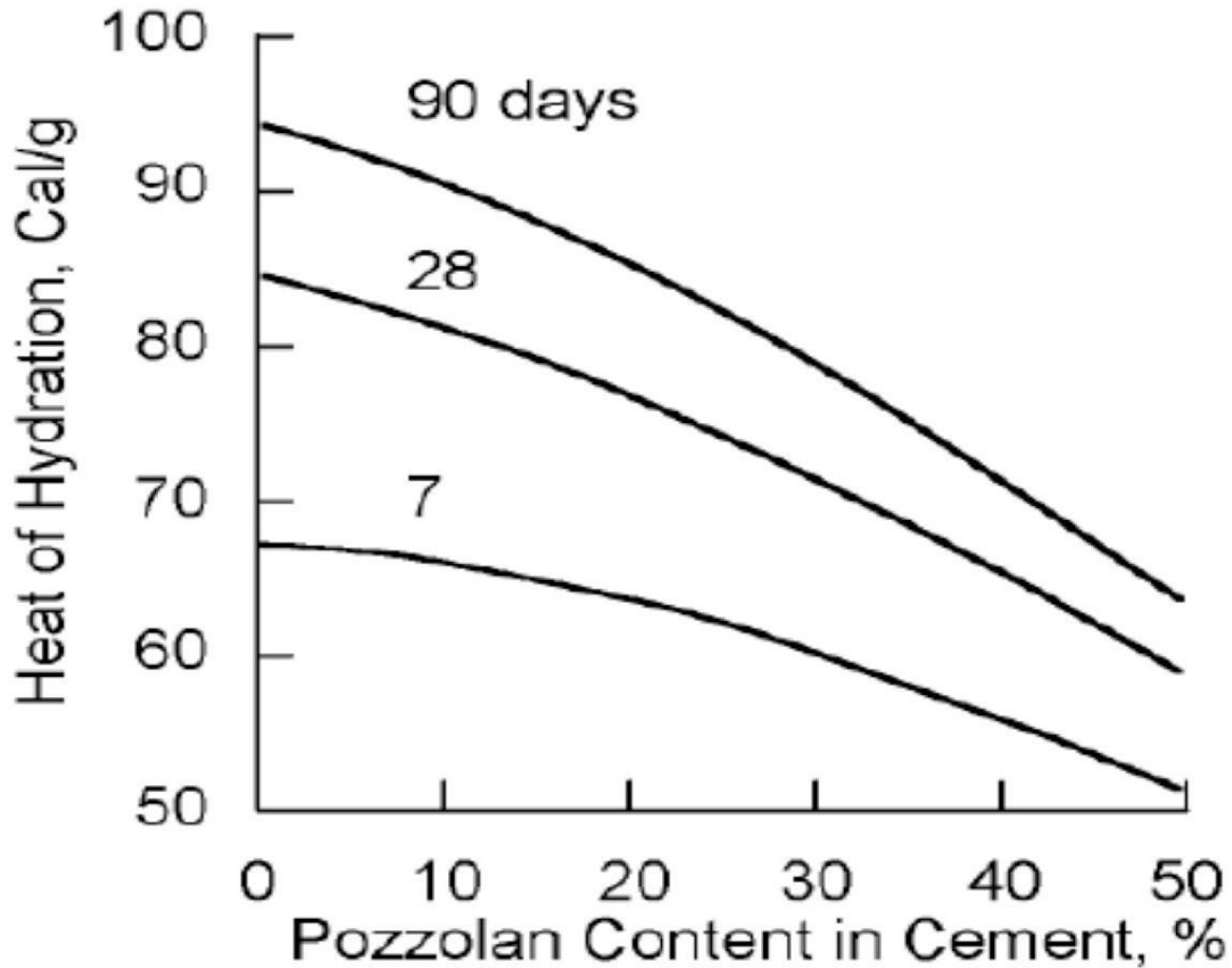


واکنش بین یک پوزولان و هیدروکسید کلسیم، واکنش پوزولانی نامیده می‌شود

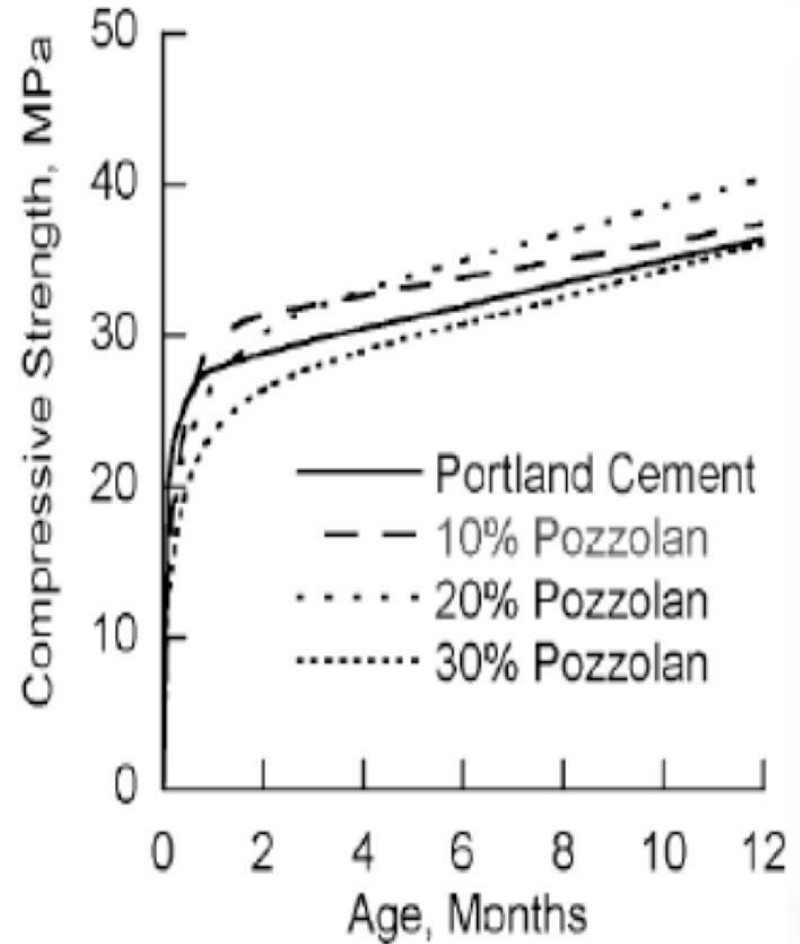
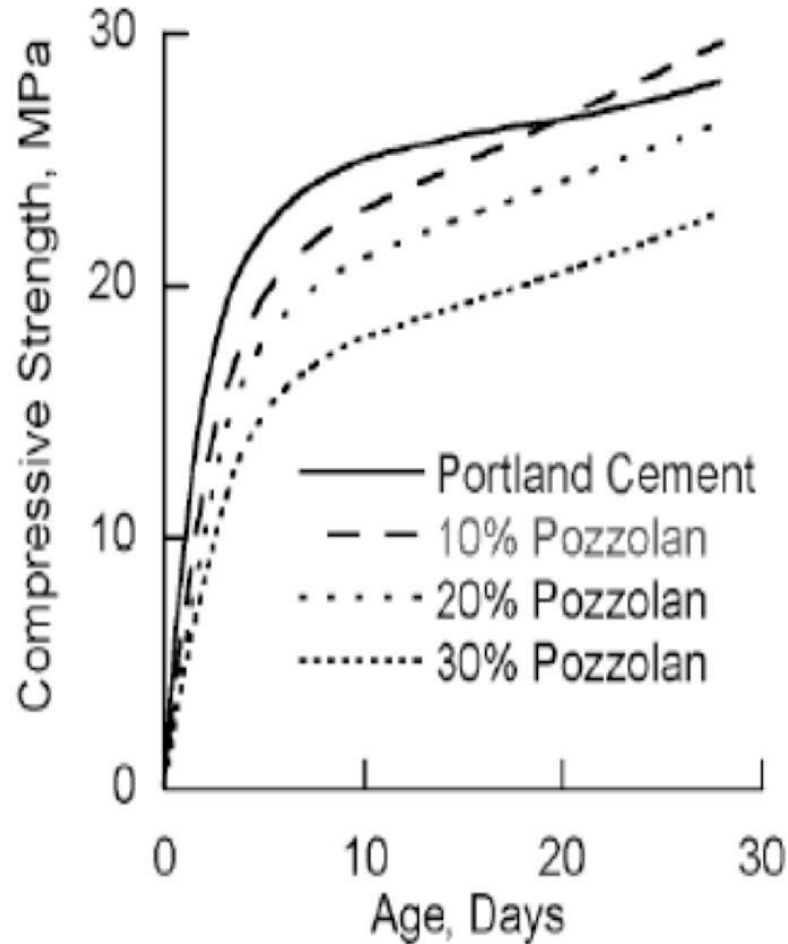
# واکنش پوزولانی

- این واکنش کند است؛ بنابراین سرعت‌های حرارت آزادشده و توسعه مقاومت مطابقاً کند خواهند بود.
- این واکنش به‌جای تولید آهک، آهک مصرف می‌نماید که تأثیر مهمی بر روی دوام خمیر هیدراته در برابر محیط‌های اسیدی دارد.
- مطالعه و بررسی توزیع اندازه منافذ سیمان‌های پوزولانی هیدراته نشان داده‌اند که محصولات واکنش در پر کردن فضاهای بزرگ موین بسیار مؤثرند، در نتیجه، مقاومت و نفوذپذیری سیستم را بهبود می‌دهند.

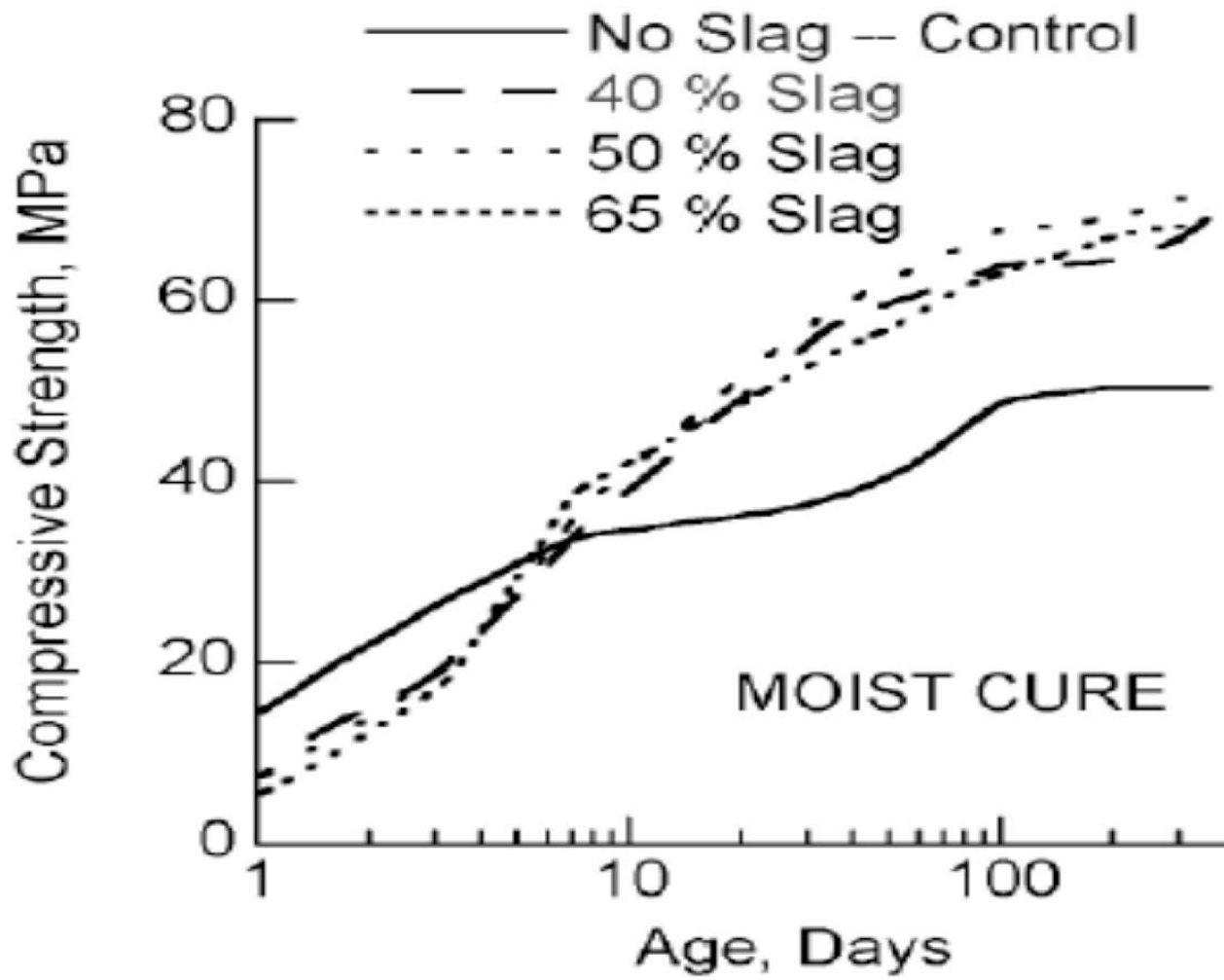
## تأثير پوزولان بر حرارت هیدراتاسیون



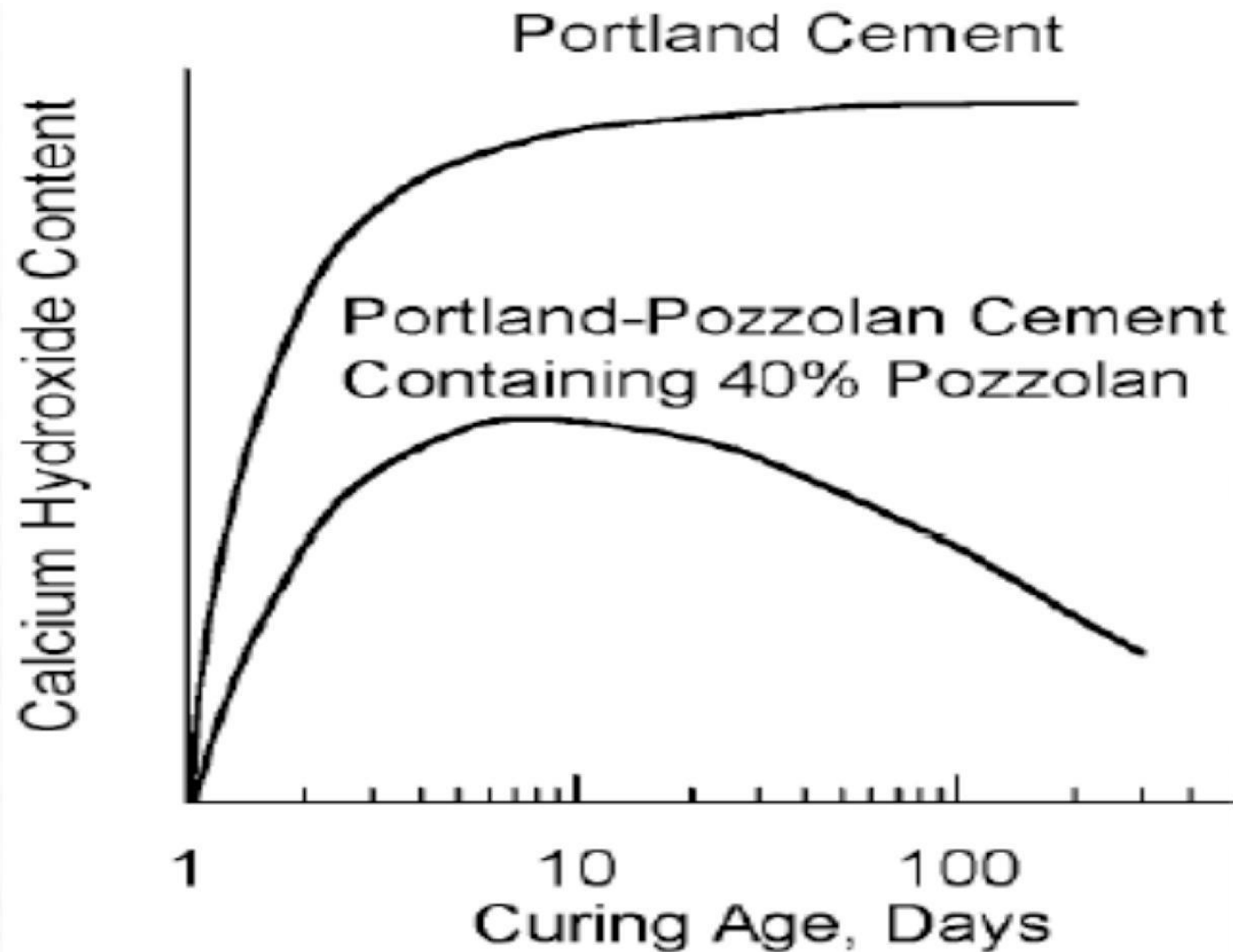
## تأثير پوزولان بر مقاومت



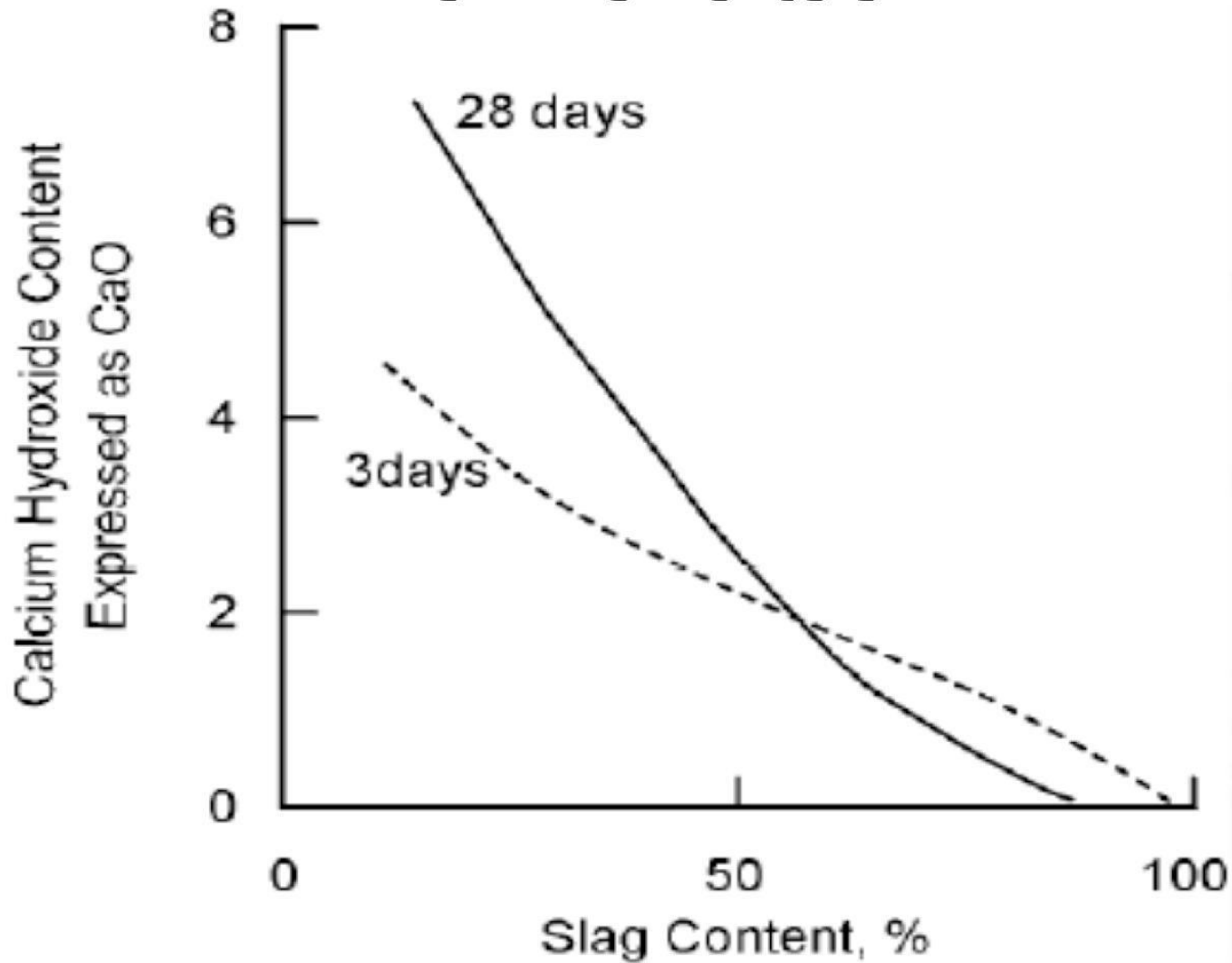
# تأثير پوزولان بر مقاومت



# تأثير پوزولان بر مقدار آهک



## تأثير روباره بر مقدار آهك



# سیمانهای آمیخته

ASTM 595: Six Classes: IP-IS-I(PM)-I(SM)-P-S (A or MS or MH)

کاربردهای اصلی	ترکیب	طبقه‌بندی و نوع سیمان‌های پرتلند آمیخته
<p>۱- حرارت هیدراتاسیون کم</p> <p>۲- دوام عالی، هنگامی که درست طراحی و عمل آوری شده باشد.</p>	<p>مخلوط کامل و یکنواخت</p> <p>روباره آهنگدازی دانه شده</p> <p>با سیمان پرتلند، دارای ۲۵ تا ۷۰ درصد روباره</p>	<p>سیمان پرتلند روباره آهنگدازی</p> <p><b>ASTM Type IS</b></p>
<p>۳- صرفه‌جویی در مصرف انرژی و حفظ منابع، و به‌طور کلی ارزانتر از سیمان پرتلند</p>	<p>مخلوط کامل و یکنواخت</p> <p>پوزولان با سیمان پرتلند، دارای ۱۵ تا ۴۰ درصد پوزولان</p>	<p>سیمان پرتلند پوزولانی</p> <p><b>ASTM Type IP</b></p>

# انواع سیمان (EN)

جدول ۱۰-۲ - سیمان‌های معمول ۲۷ گانه در استاندارد EN 197-1

نوع اصلی	مشخصات عمومی سیمان‌های معمول ۲۷ گانه		ترکیب (برصد وزنی) مواد اصلی									محدوده انحراف		
			کلیتر K	سرباره S	نوع سیمان D <sup>b</sup>	پوزولان		خاکستر باری		شیل حرارت دیده T	سنگ آهک			
						طبیعی P	کنسیده طبیعی Q	سیمانی V	آهکی W		L		LL	
CEM I	سیمان پرتلند	CEM I	۹۵-۱۰۰	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CEM II	سیمان پرتلند روتارهای	CEM II/A-S	۸-۹۲	۶-۲۰	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		CEM II/B-S	۶۵-۷۶	۲۱-۲۵	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	سیمان پرتلند نوده سیمانی	CEM II/A-D	۹-۹۲	-	۶-۱۰	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		CEM II/A-P	۸-۹۲	-	-	۶-۲۰	-	-	-	-	-	-	-	-
		CEM II/B-P	۶۵-۷۶	-	-	۲۱-۲۵	-	-	-	-	-	-	-	-
		CEM II/A-Q	۸-۹۲	-	-	-	۶-۲۰	-	-	-	-	-	-	-
		CEM II/B-Q	۶۵-۷۶	-	-	-	۲۱-۲۵	-	-	-	-	-	-	-
		CEM II/A-V	۸-۹۲	-	-	-	-	۶-۲۰	-	-	-	-	-	-
	سیمان پرتلند خاکستر باری	CEM II/B-V	۶۵-۷۶	-	-	-	-	۲۱-۲۵	-	-	-	-	-	-
		CEM II/A-W	۸-۹۲	-	-	-	-	-	۶-۲۰	-	-	-	-	-
		CEM II/B-W	۶۵-۷۶	-	-	-	-	-	۲۱-۲۵	-	-	-	-	-
		سیمان پرتلند شیل حرارت دیده	CEM II/A-T	۸-۹۲	-	-	-	-	-	۶-۲۰	-	-	-	-
	CEM II/B-T	۶۵-۷۶	-	-	-	-	-	-	۲۱-۲۵	-	-	-	-	
	سیمان پرتلند سنگ آهکی	CEM II/A-L	۸-۹۲	-	-	-	-	-	-	-	۶-۲۰	-	-	-
		CEM II/B-L	۶۵-۷۶	-	-	-	-	-	-	-	۲۱-۲۵	-	-	-
		CEM II/A-LL	۸-۹۲	-	-	-	-	-	-	-	-	۶-۲۰	-	-
CEM II/B-LL		۶۵-۷۶	-	-	-	-	-	-	-	-	۲۱-۲۵	-	-	
سیمان پرتلند مرکب <sup>c</sup>	CEM II/A-M	۸-۹۲	←----- ۶-۲۰ ----->									-		
	CEM II/B-M	۶۵-۷۶	←----- ۲۱-۲۵ ----->									-		
CEM III	سیمان روتارهای	CEM III/A	۲۵-۶۲	۲۶-۶۵	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		CEM III/B	۲۰-۲۳	۶۶-۸۰	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		CEM III/C	۵-۱۹	۸۱-۹۵	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
CEM IV	سیمان پوزولانی <sup>c</sup>	CEM IV/A	۶۵-۸۹	-	←----- ۱۱-۲۵ ----->				-	-	-	-		
		CEM IV/B	۲۵-۶۲	-	←----- ۲۶-۵۵ ----->				-	-	-	-		
CEM V	سیمان مرکب <sup>c</sup>	CEM V/A	۴-۶۲	۱۸-۲۰	←----- ۱۸-۲۰ ----->			-	-	-	-	-		
		CEM V/B	۲-۲۸	۲۱-۵۰	←----- ۲۱-۵۰ ----->			-	-	-	-	-		

سیمان‌های پرتلند را به صورت کیسه‌ای بسته‌بندی و مصرف کرده و یا به صورت فله‌ای مصرف می‌کنند.

### ۱-۳- ضوابط الزامی بسته‌بندی، حمل و نقل، انبار کردن و مصرف سیمان‌های کیسه‌ای

۱) سیمان پرتلند باید در کیسه‌های مناسب، مقاوم و قابل انعطاف بسته‌بندی شود، به‌گونه‌ای که رطوبت و مواد خارجی نتوانند به داخل آن نفوذ کنند و کیسه سیمان در هنگام حمل و نقل پاره نشود.

۲) مشخصات پاکت کاغذی سیمان‌های کیسه‌ای می‌باید مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۴۵۴۳ باشد. استفاده از پاکت‌ها یا کیسه‌های نفوذپذیر در برابر رطوبت مجاز نیست.

۳) بر روی کیسه‌های سیمان باید نوع سیمان پرتلند (یک تا پنج) و تاریخ تولید سیمان درج شود. در سیمان‌های نوع یک، باید مقاومت سیمان نیز قید گردد.

۴) وزن اسمی هر کیسه سیمان پرتلند ۵۰ کیلوگرم می‌باشد.

۵) برای هر محموله وارد شده به کارگاه، مشخصات کارخانه و نوع سیمان و تاریخ تولید باید در برگ تحویل ثبت شده باشد.

۶) سیمان‌های کیسه‌ای باید بر اساس نوع به طور جداگانه در انبار نگهداری شوند، به‌گونه‌ای که امکان اشتباه آنها با هم وجود نداشته باشد.

۷) سیمان‌های کیسه‌ای باید بر روی کف خشک، که دست کم به اندازه ۱۰۰ میلیمتر از سطح اطراف خود بالاتر باشد، قرار گیرند.

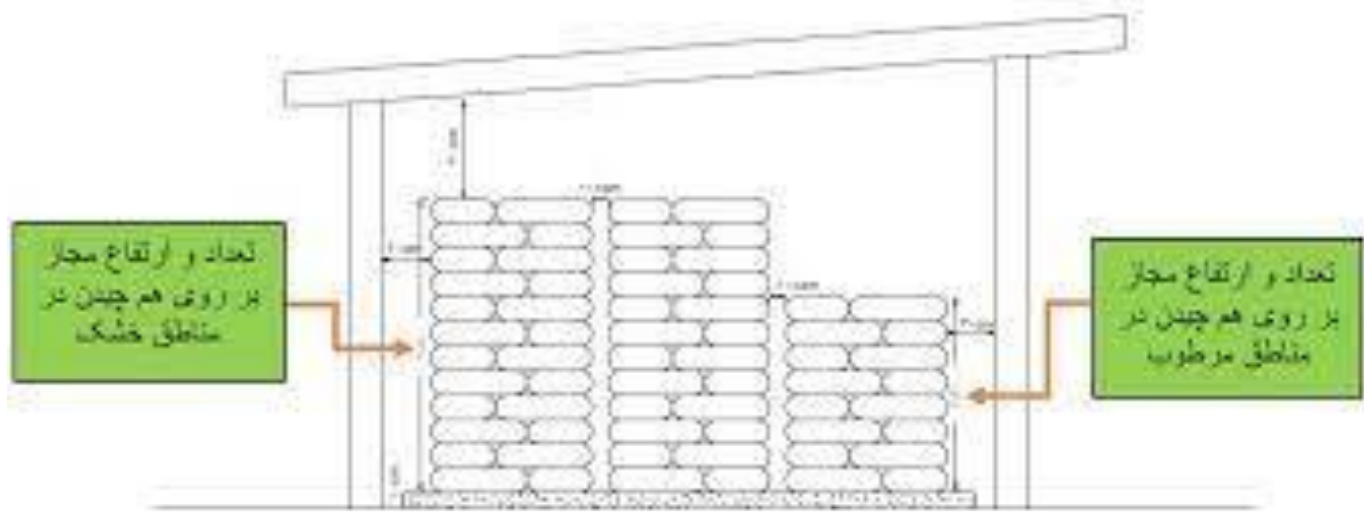
۸) شرایط انبار و ترتیب قرار دادن کیسه‌های سیمان در انبار باید به‌گونه‌ای باشد که کیسه‌ها، به ترتیب ورود به انبار مصرف شوند.

۹) در مناطق خشک، حداکثر تعداد کیسه سیمان که می‌توان بر روی هم انبار کرد ۱۲ پاکت است، مشروط بر اینکه ارتفاع کل آنها از ۱/۸ متر تجاوز نکند. اعداد فوق در مناطق شرجی و با رطوبت نسبی بیش از ۹۰ درصد، به ترتیب ۸ پاکت و ۱/۲ متر می‌باشد.

۱۰) در مناطق خشک، کیسه‌های سیمان باید نزدیک به یکدیگر، با فاصله ۵۰ تا ۸۰ میلیمتر از یکدیگر قرار داده شوند تا عبور جریان هوا از بین کیسه‌ها موجب خشک شدن سیمان بشود. در مناطق شرجی و با رطوبت نسبی بیش از ۹۰ درصد، کیسه‌های سیمان باید به یکدیگر چسبانیده شوند.

۱۱) کیسه‌های سیمان، در همه مناطق، باید حداقل ۳۰۰ میلیمتر از دیوارها و ۶۰۰ میلیمتر از سقف فاصله داشته باشند.





۱۲) در مناطق و در فصل‌هایی که احتمال بارندگی وجود داشته باشد، کیسه‌های سیمان یا باید در انبارهای سرپوشیده نگهداری شود و یا اینکه روی آنها با ورقه‌های پلاستیکی پوشانیده شده و این ورقه‌ها به نحو کاملاً مطمئنی در اطراف پایدار و محکم شود. در این مناطق و در این فصل‌ها، درها، پنجره‌ها و سیستم‌های تهویه باید بسته نگهداشته شوند تا از جریان هوای مرطوب در انبار جلوگیری شود.

۱۳) سیمان‌های کیسه‌ای باید در مناطق با رطوبت نسبی بیش از ۹۰٪، ۴۵ روز پس از تولید، و در سایر مناطق ۹۰ روز پس از تولید مصرف شوند و اگر بنا به دلایل غیرقابل اجتناب این امر میسر نشد، این سیمان‌ها باید قبل از مصرف مورد آزمایش قرار گیرند.

۱۴) سیمانی که به مدت زیاد انبار شود ممکن است به صورت کلوخه‌های فشرده در آید. اینگونه سیمان‌ها را باید با غلتانیدن پاکت‌ها بر روی کف اصلاح کرد تا به صورت پودر درآیند. در صورتی که با یک بار غلتانیدن، کلوخه به پودر تبدیل شود آن را می‌توان مصرف کرد و گرنه قبل از مصرف باید تحت آزمایش‌های مندرج در فصل دهم قرار گیرد و ضوابط این فصل کنترل شود.

مبحث نهم

۱۵) سایر ضوابط نگهداری و مصرف سیمان، مطابق با استاندارد ملی ایران، به شماره ۲۷۶۱ می‌باشد.

#### ۱-۴- ضوابط الزامی انبار کردن و مصرف سیمان‌های فله

- ۱) سیمان‌های فله، باید در سیلوهای استاندارد نگهداری شوند.
- ۲) سیلوهای سیمان و شالوده‌های آنها باید از نظرسازه‌ای محاسبه و طراحی شده باشند.
- ۳) سیلوهای سیمان باید مجهز به ترازنما، برای تعیین موقعیت تراز سیمان در داخل سیلو، و نیز دریچه‌ای در پایین برای میل زدن، در صورت طاق زدن سیمان باشند.
- ۴) برای هر محموله وارد شده به کارگاه، مشخصات کارخانه و نوع سیمان و تاریخ تولید سیمان باید در برگ تحویل ثبت شده باشد.
- ۵) از آنجا که انتقال سیمان از مخزن کامیون به داخل سیلو به کمک هوای فشرده صورت می‌گیرد و در نتیجه سیمان به تدریج متورم می‌شود، نباید بیش از ۸۰ درصد ظرفیت اسمی سیلوها را پر کرد.
- ۶) سیمان‌های فله را باید براساس نوع آنها به طور جداگانه نگهداری کرد، به گونه‌ای که امکان اشتباه آنها با هم وجود نداشته باشد. نوع سیمان موجود در هر سیلو باید به نحو مناسبی مشخص شود.
- ۷) سیمان نگهداری شده در سیلو، باید حداکثر ۹۰ روز پس از تولید مصرف شود، و اگر بنا به دلایل غیر قابل اجتناب این امر امکان‌پذیر نشد، باید قبل از مصرف تحت آزمایش قرار گیرد.

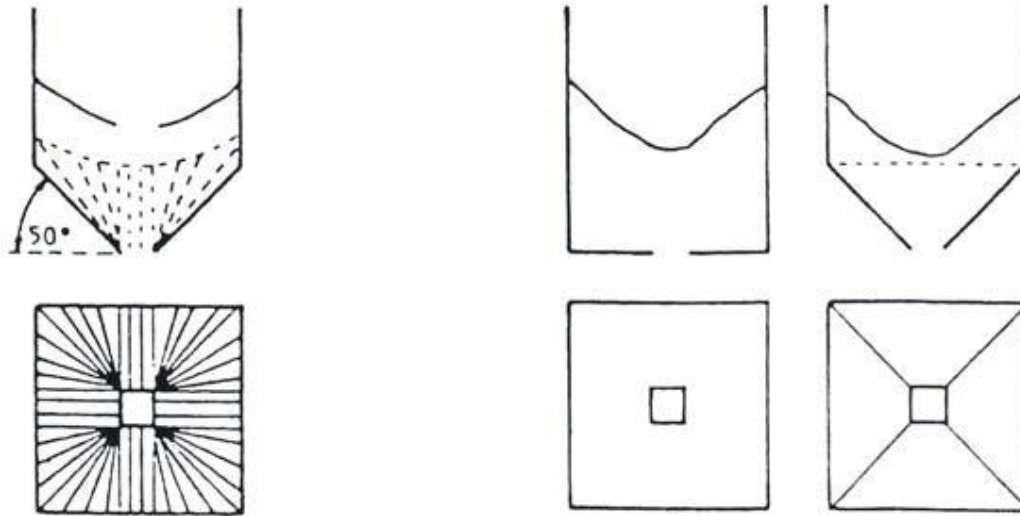
## انبار کردن مصالح در کارگاه

معمولاً سیمان به دو صورت فله ای و پاکتی از طرف کارخانه سازنده به کارگاه تحویل داده میشود.

سیمان فله ای: در این حالت ، سیمان بدون بسته بندی توسط کامیون های مخصوص حمل سیمان که به بونکر موسوم است از کارخانه سیمان به کارگاه منتقل می گردد. برای تخلیه سیمان از بونکر، از یک پمپ باد که بر روی بونکر نصب شده است، استفاده می شود. پس از توقف بونکر در نزدیک سیلو، لوله مخصوص تخلیه به لوله بارگیری سیلو متصل می گردد و سپس سیمان با فشار از طریق لوله بالای سیلو به درون آن می ریزد. سیلو، مخزن فلزی است که مقطع آن دایره است و قسمت پایین مخزن به شکل مخروط است.



برای انبار کردن سیمان فله ای موارد زیر توصیه می شوند:



## ۱-۵- ضوابط پذیرش سیمان‌های پرتلند

### ۱-۵-۱- تواتر نمونه‌برداری و ضوابط پذیرش سیمان‌های پرتلند

نمونه‌برداری از سیمان پرتلند، باید به یکی از روش‌های زیر صورت گیرد:

۱. از هر محموله وارده به کارگاه، ۵ kg نمونه
۲. از محل تسمه نقاله یا لوله انتقال به سیلو، از هر ۴۰ ton سیمان در حال انتقال یا کمتر، ۵ kg نمونه به صورت پیوسته یا ناپیوسته
۳. از محل تخلیه سیمان از سیلو، به ازای هر ۱۰۰ ton، ۵ kg نمونه
۴. از انبار کیسه‌های سیمان، به ازای هر 5 ton سیمان کیسه‌ای یا کمتر، یک کیسه به عنوان نمونه
۵. آزمایش‌های فوق حداکثر ماهی یک بار می‌باید انجام شوند.
۶. سایر ضوابط نمونه‌برداری مطابق با استانداردهای ملی ایران می‌باشد.

مشخصات شیمیایی الزامی سیمان‌های پرتلند

شماره استاندارد ملی ایران برای روش آزمون مربوط	نوع سیمان پرتلند					ویژگی شیمیایی		ردیف
	۵	۴	۳	۲	۱			
۱۶۹۲	-	۳۵	-	-	-	حداکثر مقدار مجاز	$C_pS$ درصد وزنی سیمان	۱
۱۶۹۲	-	۴۰	-	-	-	حداقل مقدار مجاز	$C_pS$ درصد وزنی سیمان	۲
۱۶۹۲	۵	۷	۱۵	۸	-	حداکثر مقدار مجاز	$C_pA$ درصد وزنی سیمان	۳
۱۶۹۲	۲۵	-	-	-	-	حداکثر مقدار مجاز	$(2C_pA + C_pAF)$ یا $(C_pF + C_pAF)$ (درصد وزنی سیمان)	۴
۱۶۹۲	۳/۰۰	۲/۵۰	۳/۰۰	۳/۰۰	۳/۰۰	حداکثر مقدار مجاز	کاهش وزن ناشی از سرخ شدن (درصد وزنی)	۵
۱۶۹۲	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	۰/۷۵	حداکثر مقدار مجاز	میزان باقیمانده نامحلول (درصد وزنی)	۶
۱۶۹۲	-	-	-	۲۰	-	حداقل مقدار مجاز	$SiO_p$ (درصد وزنی سیمان)	۷
۱۶۹۲	-	-	-	۶	-	حداکثر مقدار مجاز	$Al_pO_p$ (درصد وزنی سیمان)	۸
۱۶۹۲	-	۶/۵	-	۶/۰	-	حداکثر مقدار مجاز	$Fe_pO_p$ (درصد وزنی سیمان)	۹
۱۶۹۲	۵	۵	۵	۵	۵	حداکثر مقدار مجاز	MgO (درصد وزن سیمان)	۱۰
۱۶۹۲	۲/۳	۲/۳	۳/۵	۳/۰	۳/۰	حداکثر مقدار مجاز	اگر $C_pA \leq 7.8$ (درصد)	۱۱
	-	-	۴/۵	-	۳/۵		اگر $C_pA > 7.8$ (سیمان)	

مشخصات فیزیکی الزامی سیمان های پرتلند

شماره استاندارد ملی ایران برای روش آزمون مربوطه	نوع سیمان پرتلند					ویژگی فیزیکی	ردیف
	۵	۴	۳	۲	۱		
۳۹۰	۲۸۰۰۰۰	۲۸۰۰۰۰	۳۲۰۰۰۰	۲۸۰۰۰۰	۲۸۰۰۰۰	حدافل مقدار مجاز	۱ سطح مخصوص به دست آمده از آزمایش بلین ( $mm^2 / gr$ )
۳۹۱	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	حداکثر مقدار مجاز	۲ انبساط در آزمایش اتوکلاو (درصد)
۳۹۲	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵	۴۵	حدافل مقدار مجاز	۳ زمان گیرش اولیه به دست آمده از آزمایش با سوزن ویکا (دقیقه)
۳۹۲	۶	۶	۶	۶	۶	حداکثر مقدار مجاز	۴ زمان گیرش نهایی به دست آمده از آزمایش با سوزن ویکا (ساعت)
۳۹۴	-	۶۰	-	۷۰	-	حداکثر مقدار مجاز	۵ گرمای آگیری ۷ روزه (cal/gr)
۳۹۴	-	۷۰	-	-	-	حداکثر مقدار مجاز	۶ حرارت هیدراتاسیون ۲۸ روزه (cal/gr)
۳۹۱	۰/۴	-	-	-	-	حداکثر مقدار مجاز	۷ انبساط سولفات ۱۴ روزه (درصد)

مشخصات مکانیکی الزامی سیمان‌های پرتلند

شماره استاندارد ملی ایران برای روش آزمون مربوطه	نوع سیمان پرتلند							ویژگی مکانیکی		ردیف
	۵	۴	۳	۲	۱					
					۱-۵۲۵	۱-۴۲۵	۱-۳۲۵			
۳۹۳	-	-	۱۲/۵	-	-	-	-	حداقل مجاز	مقاومت فشاری نمونه یک روزه ( $N/mm^2$ )	۱
۳۹۳	-	-	-	-	۲۰/۰	۱۰/۰	-	حداقل مجاز	مقاومت فشاری نمونه دو روزه ( $N/mm^2$ )	۲
۳۹۳	۸/۵	-	۲۴/۰	۱۰/۰	-	-	۱۲/۰	حداقل مجاز	مقاومت فشاری نمونه سه روزه ( $N/mm^2$ )	۳
۳۹۳	۱۵/۰	۷/۰	-	۱۷/۵	-	-	۲۰/۰	حداقل مجاز	مقاومت فشاری نمونه هفت روزه ( $N/mm^2$ )	۴
۳۹۳	۲۷/۰	۱۸/۰	-	۳۱/۵	۵۲/۵	۴۲/۵	۳۲/۵	حداقل مجاز	مقاومت فشاری نمونه بیست و	۵
۳۹۳	-	-	-	-	-	۶۲/۵	۵۲/۵	حداکثر مجاز	هشت روزه ( $N/mm^2$ )	

توضیح: منظور از مقاومت فشاری، میانگین حداقل ۴ آزمون می‌باشد.

# مواد تشکیل دهنده بتن عادی

## ۲- سنگ دانه ( درشت دانه و ریز دانه )



## ۲- سنگدانه یا مصالح سنگی

سنگدانه‌های بزرگتر از ۴/۷۵ میلیمتر (بعد چشمه‌های الک نمره ۴) را سنگدانه درشت یا شن و سنگدانه‌های ریزتر از ۴/۷۵ میلیمتر را سنگدانه ریز یا ماسه می‌نامند. طبق تعریف، «بزرگترین اندازه اسمی سنگدانه» عبارت است از اندازه کوچکترین الکی که حداکثر ۱۰ درصد وزنی سنگدانه روی آن باقی بماند.

### ۲-۱- سنگدانه‌های سبک مصرفی در بتن

به طور کلی سنگدانه‌های سبک مصرفی در بتن، به دو صورت تهیه می‌شوند:

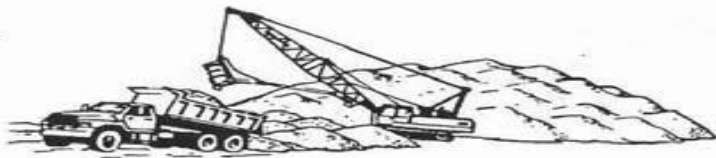
- ۱) سنگدانه‌های حاصل از شیشه‌ای شدن، انبساط، گلوله شدن مواد، و یا موادی نظیر سرباره کوره آهنگدازی، خاک رس، دیاتومه، خاکستر بادی، شیل یا سنگ لوح.
- ۲) سنگدانه‌های حاصل از فرآوری مواد طبیعی نظیر پومیس، اسکوریا و توف. سنگدانه‌های سبک می‌توانند هم در بتن سازه‌ای و هم در بتن غیرسازه‌ای به کار روند.

## ۲-۲- ضوابط حمل و نقل، تحویل و نگهداری سنگدانه‌های مصرفی در بتن

ضوابط بارگیری، حمل و نقل، تخلیه و انبار کردن سنگدانه‌های مصرفی در بتن به قرار زیر است:

- ۱) شرایط باید به گونه‌ای باشد که مواد خارجی و زیان آور در سنگدانه‌ها نفوذ نکنند.
- ۲) شرایط باید به گونه‌ای باشد که دانه‌های ریز و درشت در یک دپو از یکدیگر جدا نشوند.
- ۳) شرایط باید به گونه‌ای باشد که سنگدانه‌ها شکسته نشوند.
- ۴) محل نگهداری سنگدانه‌ها باید دور از پوشش گیاهی و مواد آلوده کننده باشد.
- ۵) شن‌های با حداکثر اندازه بیش از ۳۸ میلیمتر، باید در دو گروه کمتر و بیشتر از ۲۵ میلیمتر نگهداری شوند. شن‌های با حداکثر اندازه ۳۸ میلیمتر یا کمتر باید در دو گروه کمتر و بیشتر از ۱۹ میلیمتر نگهداری شوند. این کار امکان جدا شدن دانه‌ها از یکدیگر را کاهش می‌دهد.
- ۶) دیواره‌های تقسیم دپوی مصالح سنگی باید به گونه‌ای مقاوم و پایدار باشد که در صورت خالی بودن یک قسمت و پر بودن قسمت مجاور، دیواره بر اثر رانش سنگدانه‌ها تخریب یا جابجا نشود.
- ۷) در هنگام بارش و یا یخبندان، باید سنگدانه‌های واقع در فضای آزاد با برزنت یا ورقه‌های پلاستیکی پوشانیده شود.
- ۸) در هنگام گرمای شدید، باید بر روی سنگدانه‌های واقع در فضای آزاد، سایبان درست شود.





**صحيح**

با استفاده از کلا مثل، مصالح در واحدهای کوچک دیو می‌شوند و در نتیجه سنگدانه‌ها بر روی شیب ولبه‌های دیو سقوط نمی‌کنند.



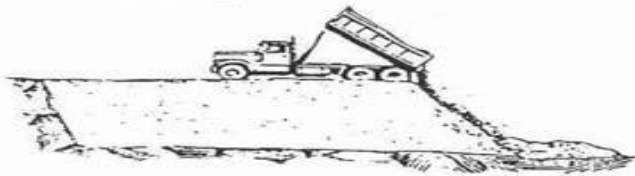
**صحيح**

استفاده از مانع برای جلوگیری از حرکت سنگدانه‌های درشت



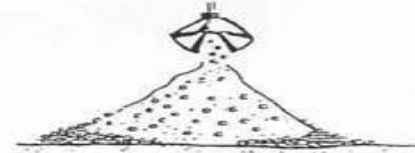
**صحيح**

استفاده، از تسمه نقاله و لوله شوت، تسمه نقاله باید تا حد امکان، ارتفاع کم قرار گیرد تا از جابجانی ذرات ریز بوسیله باد جلوگیری شود.



**غلط**

کامیون بر روی مصالح عبور می‌کند و سبب شکسته و آلوده شدن آنها می‌گردد، سنگدانه‌ها نیز به پائین شیب سقوط می‌کند، که سبب جدا شدگی دانه‌ها می‌شود.



**غلط**

استفاده از کلا مثل با ظرفیت زیاد و دیو کردن مصالح به صورت یک واحد، منجر به جدا شدن دانه‌ها می‌گردد.



**غلط**

روشی که اجازه می‌دهد، سنگدانه‌ها بر روی سراسیمی دیو حرکت کنند.



**جدا شدگی**

**غلط**

سقوط آزاد مصالح باعث جدا شدگی سنگدانه‌ها می‌گردد.



**غلط**

دیو کردن بوسیله تسمه نقاله و تنظیم لایه‌های افقی بوسیله لودر



**غلط**

- ۹) شیب مخروط‌های دیوی شن و ماسه نباید زیاد باشد زیرا شیب زیاد دیوها موجب جدا شدن دانه‌های ریز و درشت از هم می‌شود.
- ۱۰) سنگدانه‌ها تا حد امکان باید به صورت لایه‌هایی با ضخامت یکسان بر روی یکدیگر ریخته شده و انبار شوند. سنگدانه‌ها باید با لودر یا وسایل مناسب دیگر به گونه‌ای برداشته شوند که هر بار قسمت‌هایی از همه لایه‌های افقی برداشته شوند.
- ۱۱) در صورت تخلیه سنگدانه‌ها هنگام باد، باید تدابیری اتخاذ گردد که از جدا شدن ذرات ریز جلوگیری شود.
- ۱۲) محل دیوی شن و ماسه باید به گونه‌ای باشد که همواره امکان تخلیه آب مازاد آنها وجود داشته باشد.
- ۱۳) سنگدانه‌های انبار شده در دپو باید حداقل ۱۲ ساعت در محل باقی مانده و سپس مصرف شود. این امر موجب می‌شود که رطوبت سنگدانه‌ها به حد یکنواخت و پایدار برسد.
- ۱۴) سیلوی ذخیره سنگدانه‌ها حتی المقدور باید با مقطع مربع یا دایره و شیب مخروط یا هرم تحتانی آن کمتر از ۵۰ درجه باشد. مصالح سنگی باید به صورت قائم در داخل سیلو ریخته شود تا از برخورد مواد سنگی با کناره‌های سیلو جلوگیری شده و دانه‌ها از هم جدا نشوند.

در صورتی که سیلوی ذخیره سنگدانه‌ها پر باشد امکان شکسته شدن سنگدانه‌ها و تغییر دانه‌بندی آن کاهش می‌یابد. برای خالی کردن سنگدانه‌ها به داخل سیلو، باید از نردبان ویژه مصالح سنگی استفاده شود.

۱۵) در صورتی که شرایط به گونه‌ای باشد که امکان شکسته شدن سنگدانه‌ها در حین جابجا کردن یا انبار کردن وجود داشته باشد، باید قبل از ساخت بتن با این سنگدانه‌ها، بار دیگر آنها را دانه‌بندی کرد.

۱۶) ضوابط مربوط به جلوگیری از جدا شدن سنگدانه‌ها باید در مورد سنگدانه‌های گرد گوشه، که بیشتر مستعد این امر هستند، جدی‌تر رعایت شود.

۱۷) در هنگام بارش برف و یخبندان، سنگدانه‌ها باید به گونه‌ای انبار شوند که امکان یخ‌زدگی و نیز جمع شدن برف و یخ بین دانه‌ها وجود نداشته باشد.

۱۸) هنگام تحویل هر محموله از سنگدانه‌های وارده به کارگاه، باید مشخصات مذکور در اسناد تحویل سنگدانه‌ها با مشخصات سفارش داده شده و نیز سنگدانه‌های وارده بررسی، مقایسه و انطباق آن کنترل شود.

۱۹) در هنگام تحویل هر محموله از سنگدانه‌های وارده به کارگاه، باید وضعیت ظاهری آن‌ها از نظر اندازه، شکل دانه‌ها و ناخالصی‌های آن با چشم کنترل شود.

## ۲-۳- ضوابط پذیرش سنگدانه‌های مصرفی در بتن

### ۲-۳-۱- تواتر نمونه برداری سنگدانه‌ها

۱. به ازای هر محموله وارده به کارگاه می‌باید تمامی آزمایش‌های مذکور در صفحات بعدی بر روی سنگدانه‌ها انجام گرفته و ضوابط مذکور در بند فوق‌الذکر کنترل شوند.
۲. دانه‌بندی سنگدانه‌های مصرفی در بتن می‌باید هر هفته تعیین شده و با ضوابط مذکور در بند فوق‌الذکر کنترل شوند.
۳. آزمایش تعیین درصد رطوبت جذب شده سنگدانه‌ها می‌باید در هنگام عملیات ساخت بتن، هر روزه در محل تولید بتن انجام شود.
۴. سنگدانه‌های مصرفی در بتن را هنگامی می‌توان قابل قبول تلقی کرد که نتیجه حاصل از یک آزمون و یا میانگین نتایج حاصل از دو آزمون متوالی ضوابط مربوطه را برآورده سازند.

### ۲-۳-۲- ضوابط الزامی سنگدانه‌های مصرفی در بتن

به طور کلی ویژگی سنگدانه‌های مصرفی در بتن و سنگدانه‌های سبک مصرفی باید با استانداردهای ملی ایران مطابقت داشته باشد.

ضوابط الزامی دانه‌بندی سنگدانه‌های ریز مصرفی در بتن

ردیف	اندازه الک (mm)	درصد وزنی رد شده از الک
۱	۹/۵۰	۱۰۰
۲	۴/۷۵	۱۰۰-۸۹
۳	۲/۳۶	۱۰۰-۶۰
۴	۱/۱۸	۹۰-۳۰
۵	۰/۶	۵۴-۱۵
۶	۰/۳	۴۰-۵
۷	۰/۱۵	۱۵-۰

### ضوابط الزامی دانه‌بندی سنگدانه‌های درشت مصرفی در بتن

اعداد داخل جدول درصد وزنی مصالح سنگی رد شده از الک‌ها را نشان می‌دهند									اندازه اسمی الک‌ها یا بعد چشمه مربع (mm)	ردیف
۲/۳۶ mm	۴/۷۵ mm	۹/۵ mm	۱۲/۵ mm	۱۹ mm	۲۵ mm	۳۷/۵ mm	۵۰ mm	۶۳ mm		
-	-	-	۰-۵	-	۰-۱۵	۳۵-۷۰	۹۰-۱۰۰	۱۰۰	۵۰ تا ۲۵	۱
-	۰-۵	-	۱۰-۳۰	-	۳۵-۷۰	-	۹۵-۱۰۰	۱۰۰	۵۰ تا ۴/۷۵	۲
-	-	۰-۵	-	۰-۱۵	۲۰-۵۵	۹۰-۱۰۰	۱۰۰	-	۳۷/۵ تا ۱۹	۳
-	۰-۵	۱۰-۳۰	-	۳۵-۷۰	-	۹۵-۱۰۰	۱۰۰	-	۳۷/۵ تا ۴/۷۵	۴
-	-	۰-۵	۰-۱۰	۲۰-۵۵	۹۰-۱۰۰	۱۰۰	-	-	۲۵ تا ۱۲/۵	۵
-	۰-۵	۰-۱۵	۱۰-۴۰	۴۰-۸۵	۹۰-۱۰۰	۱۰۰	-	-	۲۵ تا ۹/۵	۶
۰-۵	۰-۱۰	-	۲۵-۶۰	-	۹۵-۱۰۰	۱۰۰	-	-	۲۵ تا ۴/۷۵	۷
-	۰-۵	۰-۱۵	۲۰-۵۵	۹۰-۱۰۰	۱۰۰	-	-	-	۱۹ تا ۹/۵	۸
۰-۵	۰-۱۰	۲۰-۵۵	-	۹۰-۱۰۰	۱۰۰	-	-	-	۱۹ تا ۴/۷۵	۹
۰-۵	۰-۱۵	۴۰-۷۰	۹۰-۱۰۰	۱۰۰	-	-	-	-	۱۲/۵ تا ۴/۷۵	۱۰

حداکثر میزان مجاز مواد زیان آور در سنگدانه‌های ریز

ردیف	ماده زیان آور	حداکثر وزنی ماده زیان آور نسبت به کل نمونه	شماره استاندارد ملی ایران برای روش آزمون مربوطه
۱	کلوخ‌های رسی و ذرات سست	۳	-
۲	ذرات ریزتر از ۷۵ میکرون (رد شده از الک نمره ۲۰۰) حاوی رس یا شیل	۳	۴۴۶
		۵	۴۴۶
۳	ذرات ریزتر از ۷۵ میکرون (رد شده از الک نمره ۲۰۰) فاقد رس یا شیل	۵	۴۴۶
		۷	۴۴۶
۴	زغال سنگ و لیگنیت	۰/۵	-
		۱	-
۵	میکا	۱	-
۶	سولفات‌های محلول در آب برحسب $SO_4$	۰/۴	-
۷	کلریدهای محلول در آب برحسب CL در بتن آرمه	۰/۰۴	-

آب: ارزش ماسه ای (SE) سنگدانه های ریز بتن که معیاری از میزان لای و رس مخلوط با ماسه می باشد، نباید کمتر از 75 درصد باشد. ارزش ماسه ای نسبت حجم ماسه به حجم کل خاک می باشد.  
 ASTM: مقدار منول نرمی (FM) ماسه (سنگدانه های ریز بتن) باید بین 2.3 و 3.1 باشد.

حداکثر میزان مجاز مواد زیان آور در سنگدانه‌های درشت

ردیف	ماده زیان آور	حداکثر وزنی ماده زیان آور نسبت به کل نمونه	شماره استاندارد ملی ایران برای روش آزمون مربوطه
۱	کلوخه‌های رسی و ذرات سست	۵	-
۲	ذرات ریزتر از ۷۵ میکرون (رد شده از الک نمبره ۲۰۰) حاوی رس یا شیل	۱	۴۴۶
۳	ذرات ریزتر از ۷۵ میکرون (رد شده از الک نمبره ۲۰۰) فاقد رس یا شیل	۱/۵	۴۴۶
۴	زغال سنگ و لیگنیت	۰/۵	-
	نمای ظاهری بتن اهمیت دارد.	۱	-
۵	سولفات‌های محلول در آب برحسب $SO_4$	۰/۴	-
۶	کلریدهای محلول در آب برحسب $Cl^-$	۰/۰۴	-

برخی از مشخصات الزامی سنگدانه‌های مصرفی در بتن

ردیف	شرح	نوع سنگدانه	حداکثر مقدار مجاز	حداقل مقدار مجاز	شماره استاندارد ملی ایران برای روش آزمون مربوطه
۱	میزان کاهش وزن در آزمایش لس آنجلس (درصد)	شن	۵۰	-	۴۴۸
۲	میزان افت وزنی در آزمایش سلامت با سولفات سدیم (درصد)	شن	۱۲	-	۴۴۹
۳	میزان افت وزنی در آزمایش سلامت با سولفات سدیم (درصد)	ماسه	۱۰	-	۴۴۹
۴	میزان افت وزنی در آزمایش سلامت با سولفات منیزیم (درصد)	شن	۱۸	-	۴۴۹
۵	میزان افت وزنی در آزمایش سلامت با سولفات منیزیم (درصد)	ماسه	۱۲	-	۴۴۹

آب: حداکثر جذب آب سنگدانه های ریز به 3 درصد و درشت به 2.5 درصد محدود می شود. (بویره برای بتن ریزی در هوای گرم)

## چند نکته :

- 1- مصالح گرد گوشه ، مصالح خرد سنگ ( شکسته ) مناسب تر براي بتن سازي و آب كم تري نياز دارد .
- 2- هرچه درصد شكستگي بيشتر باشد ، سطح جانبي مصالح بيشتر ، قفل و بست محكم تر ، مقاومت بتن بيشتر و نسبت آب و سيمان كم تري گردد .

# مواد تشکیل دهنده بتن عادی

۳- آب



### ۳- آب

آب به سه صورت در بتن به کار می‌رود: آب مصرفی برای شستشوی سنگدانه‌ها، آب به عنوان یکی از اجزای تشکیل‌دهنده بتن که در هنگام ساخت آن به کار می‌رود و آب مصرفی برای عمل‌آوری بتن.

#### ۳-۱- ضوابط حمل و نقل، نگهداری و ذخیره کردن آب مصرفی در بتن

آب مصرفی بتن در کارگاه‌ها باید به گونه‌ای حمل و نقل و نگهداری شود که احتمال ورود مواد مضر به داخل آن و نیز رشد خزه‌ها و مواد آلی در آنها وجود نداشته باشد.

#### ۳-۲- ضوابط پذیرش آب مصرفی در بتن

##### ۳-۲-۱- تواتر نمونه‌برداری

در صورت لزوم انجام آزمایش‌های مذکور در آب غیرآشامیدنی، باید این آزمایش‌ها در دوره‌های زمانی زیر انجام و ضوابط مربوطه کنترل شود.

(۱) در ابتدای کار

(۲) پس از هر بار تغییر منبع تأمین آب

### ۳-۲-۲- ضوابط پذیرش آب مصرفی در بتن

۱- آبی را که قابل آشامیدن است مزه یا بوی مشخصی ندارد و تمیز و صاف است، می‌توان بدون انجام آزمایش، در بتن به‌کار برد. تنها استثنا آن است که سوابق قبلی، نشان دهنده نامناسب بودن این آب برای بتن باشد، که در این صورت، این آب را نباید در بتن بکار برد.

### ۳-۲-۳- آب غیرآشامیدنی

آب‌های غیرآشامیدنی را هنگامی می‌توان قابل قبول تلقی کرد که نتایج حاصل از یک نمونه و یا میانگین نتایج حاصل از دو نمونه متوالی ضوابط مربوط را برآورده سازند.

(۱) PH آب مصرفی در بتن نباید کمتر از ۵ یا بیشتر از ۸/۵ باشد.

(۲) مقاومت ۲۷ و ۲۸ روزه نمونه‌های ملات ساخته شده با آب غیرآشامیدنی حداقل معادل ۹۰ درصد مقاومت نظیر نمونه‌های مشابه ساخته شده با آب مقطر باشد.

(۳) زمان گیرش اولیه خمیر سیمان ساخته شده با آب غیرآشامیدنی بیش از یک ساعت ( $\pm$ ) با زمان گیرش نظیر خمیر سیمان ساخته شده با آب مقطر تفاوت نداشته باشد.

(۴) نتیجه انبساط حجم به‌دست آمده از آزمایش سلامت سیمان، در نمونه ساخته شده با آب غیرآشامیدنی از نتیجه به‌دست آمده از نمونه نظیر ساخته شده با آب آشامیدنی بیشتر نباشد.

روش انجام آزمایش مطابق با استاندارد ملی ایران می‌باشد.

حداکثر مقدار مجاز مواد زیان آور در آب مصرفی در بتن

ردیف	نوع ماده زیان آور	شرح مصرف	شماره استاندارد ایران برای روش آزمون مربوط	حداکثر مقدار مجاز (وزنی) (ppm)
۱	ذرات معلق جامد	بتن بیش تنیده در هر شرایط محیطی	-	۱۰۰۰
۲		بتن غیر مسلح و بدون آرماتور	-	۳۰۰۰
۳		بتن آرمه در شرایط محیطی ملایم و متوسط	-	۲۰۰۰
۴		بتن آرمه در شرایط محیطی شدید و بسیار شدید و فوق العاده شدید	-	۱۰۰۰
۵	کل مواد مجاول در آب	بتن بیش تنیده در هر شرایط محیطی	-	۱۰۰۰
۶		بتن غیر مسلح و بدون اقلام فلزی مدفون	-	۳۵۰۰۰
۷		بتن آرمه در شرایط محیطی ملایم و متوسط	-	۲۰۰۰
۸		بتن آرمه در شرایط محیطی شدید و بسیار شدید و فوق العاده شدید	-	۱۰۰۰
۹	کل یون کلرید ( $Cl^-$ )	بتن بیش تنیده در هر شرایط محیطی	-	۵۰۰
۱۰		بتن غیرمسلح و بدون آرماتور و بدون اقلام فلزی مدفون	-	۱۰۰۰۰
۱۱		بتن آرمه در شرایط محیط شدید و بسیار شدید و فوق العاده شدید	-	۵۰۰
۱۲		بتن آرمه در شرایط محیطی ملایم و متوسط	-	۱۰۰۰
۱۳		بتن غیر مسلح و بدون آرماتور ولی دارای مواد آلومینیومی یا فلزات غیر مشابه یا دارای قالب‌های گالوانیزه	-	۱۰۰۰
۱۴	کل یون	بتن بیش تنیده در هر شرایط محیطی	-	۱۰۰۰
۱۵	سولفات	بتن آرمه در هر شرایط محیطی	-	۱۰۰۰
۱۶	( $SO_4^-$ )	بتن غیر مسلح و بدون اقلام فلزی مدفون	-	۳۰۰۰
۱۷	قلیایی معادل	در تمامی انواع بتن‌ها	-	۶۰۰

## چند نکته :

- 1- مقدار آب برای ساختن بتن به : غلظت بتن ، درشتی دانه ها ، زبری سطح دانه ها ، شکل دانه ها و گرما و رطوبت در هنگام ساخت بتن بستگی دارد.
- 2- هرچه بتن رقیق تر ، سنگدانه ریزدانه تر ، هواگرمتر ، سطح دانه ها ناصاف تر ، شکلشان نامنظم تر باشد ، برای ساخت بتن **آب بیشتری لازم** است.
- 3- هرچه بتن غلیظ تر ، دانه های سنگ درشت تر ، هوا سردتر و مرطوب تر ، سطح دانه ها صاف تر و شکلشان کره یی تر باشد برای ساخت بتن **آب کمتری لازم** است.

# مواد تشکیل دهنده بتن عادی

## ۴- افزودنی



Fly ash



GGBS



RHA



Silica Fume



Metakaolin



POFA

## ۴- مواد افزودنی

مواد افزودنی معمولاً به صورت گرد یا مایع هستند و یک یا چند ویژگی بتن تازه یا سخت شده را تغییر می‌دهند و هدف از کاربرد آنها اصلاح برخی از این ویژگی‌ها است، اگرچه در عین حال ممکن است موجب اختلال و بروز عیب در پاره‌ای از ویژگی‌های مطلوب بتن شوند، که این امر نباید خارج از محدوده مجاز استاندارد باشد.

مواد افزودنی اگر فقط بر روی یکی از خواص بتن (تازه یا سخت شده) تأثیر بگذارند مواد افزودنی تک منظوره و در غیر این صورت مواد افزودنی چند منظوره نامیده می‌شوند. مواد افزودنی چند منظوره دارای یک عملکرد اصلی و یک یا چند عملکرد جنبی هستند که بسته به مورد مصرف ممکن است عملکرد اصلی آنها تغییر کند.

مواد افزودنی مورد نظر در این بند، مواد افزودنی شیمیایی هستند که به صورت صنعتی و شیمیایی تولید می‌شوند.

مواد افزودنی را یا می‌باید با کمی از آب اختلاط بتن مخلوط کرده و همراه با سایر اجزای بتن به داخل مخلوط‌کن ریخت، و یا اینکه آن را به صورت تدریجی به مخلوط‌کن در حال کار وارد کرد. سازگاری افزودنی‌ها با یکدیگر و نیز با سیمان می‌باید بررسی گردد.

#### ۴-۱- میزان مصرف

حداکثر میزان مصرف مواد افزودنی ۵ درصد وزنی سیمان است. استفاده از کلرید کلسیم فقط در بتن بدون فولاد مجاز است و حداکثر مقدار مصرف آن ۲ درصد وزنی سیمان است. در هر حال مواد افزودنی نباید بیشتر از مقداری که تولیدکننده مشخص کرده است، مصرف شوند.

#### ۴-۲- انواع مواد افزودنی تک منظوره

- ۱) ماده افزودنی کندگیرکننده
- ۲) ماده افزودنی تندگیرکننده
- ۳) ماده افزودنی زود سخت‌کننده یا تسریع‌کننده زمان سخت‌شدگی
- ۴) ماده افزودنی حباب‌هواساز
- ۵) ماده افزودنی نگهدارنده آب
- ۶) ماده افزودنی کاهنده جذب آب

#### ۳-۴- انواع مواد افزودنی چند منظوره

- ۱) ماده افزودنی کاهنده آب / روان کننده
- ۲) ماده افزودنی کاهنده آب قوی / روان کننده قوی، یا فوق کاهنده آب / فوق روان کننده
- ۳) ماده کندگیر کننده / کاهنده آب / روان کننده
- ۴) ماده افزودنی تندگیر کننده / کاهنده آب / روان کننده
- ۵) ماده افزودنی کندگیر کننده / کاهنده آب قوی / روان کننده قوی، یا کندگیر کننده / فوق کاهنده آب / فوق روان کننده

#### ۴-۴- مواد جایگزین سیمان یا مکمل سیمان

این مواد به منظور تأمین یک یا چند خاصیت زیر، بسته به مورد، به کار می‌روند:

- ۱- کاهش مصرف سیمان
- ۲- کاهش سرعت و میزان حرارت هیدراسیون
- ۳- افزایش مقاومت بتن
- ۴- افزایش پایایی بتن از طریق کاهش نفوذپذیری آن

# 4-4-1-پوزولان ها

- پوزولان ها عبارتند از مواد سیلیسی یا سیلیسی و آلومینی که خود به تنهایی فاقد ارزش چسبانندگی اند یا ارزش چسبانندگی آنها کم است، اما به صورت ذرات بسیار ریز، در دمای متعارف و در مجاورت رطوبت با هیدروکسید کلسیم واکنش می دهند و ترکیباتی را تولید می کنند که ساختار آنها تا حدودی مشابه ترکیباتی است که بر اثر آبگیری سیمان پرتلند تولید می شود.
- **هدف:** مواد پوزولانی به منظور، کاهش آهنگ حرارت آبگیری سیمان، افزایش مقاوت سیمان در برابر سولفات ها و کاستن یا از بین بردن قابلیت انبساط ناشی از واکنش قلیایی سنگدانه ها
- پوزولان ها بر دو نوعند: پوزولان های طبیعی، و پوزولان های مصنوعی یا صنعتی.
- پوزولان های طبیعی در انواع خام یا تکلیس شده وجود دارند و بطور عمده شامل خاکسترهای آتشفشانی غیر بلورین باشند.
- پوزولان های مصنوعی یا صنعتی بطور عمده شامل دوده سیلیسی، خاکستر بادی، و خاکستر پوسته برنج می باشند.
- دوده سیلیسی یا میکروسیلیس محصول فرعی کوره های قوس الکتریکی صنایع فروآلیاژ و فروسیلیس بوده و ماده ای است با فعالیت پوزولانی بسیار شدید که بیش از 85 درصد سیلیس بلوری نشده دارد.
- خاکستر بادی محصول فرعی سوخت زغال سنگ است که شامل سیلیس، آلومین و اکسیدهای آهن و کلسیم است.
- خاکستر بادی در انواع F و C وجود دارد. نوع C خاکستر بادی به دلیل دارا بودن بیش از 10 درصد اکسید کلسیم خاصیت سیمانی شدن نیز دارد.
- خاکستر پوسته برنج از سوختن پوسته برنج به دست می آید و دارای میزان زیادی سیلیس غیر کریستالی است

## 4-4-2- مواد شبه سیمانی

- مواد شبه سیمانی دارای خاصیت پنهان هیدرولیکی هستند و در صورتی که به گونه‌ای مناسب فعال شوند خواص سیمانی پیدا می‌کنند.
- این مواد فقط در محیط قلیایی با آب واکنشی مشابه سیمان پرتلند نشان می‌دهند.
- 
- متداول ترین ماده شبه سیمانی روباره و سرباره کوره آهن‌گدازی است.

#### ۴-۵- ضوابط پذیرش مواد افزودنی مصرفی در بتن

مواد افزودنی مصرفی در بتن را هنگامی می توان قابل قبول تلقی کرد که تحت آزمون‌های مذکور در جدول ۹-۱۰-۱۹ قرار گرفته و ضوابط الزامی مربوطه را برآورده سازند.

جزئیات برخی از این آزمون‌ها و الزامات مربوطه، در استانداردهای ملی ایران درج شده است. در صورت عدم تدوین تمام یا بخشی از استانداردهای مورد نیاز، باید از یکی از استانداردهای معتبر بین‌المللی استفاده کرد.

ASTM

#### ۴-۶- ضوابط پذیرش پوزولان‌ها و مواد شبه سیمانی

مشخصات پوزولان‌ها و مواد شبه سیمانی می‌باید با استانداردهای ملی مربوطه، تطابق داشته باشد. در صورت نبود برخی از این ضوابط، می‌باید این مواد با یکی از استانداردهای معتبر بین‌المللی مطابقت داشته باشند.

مواد جایگزین سیمان، شامل پوزولان‌ها و مواد شبه‌سیمانی، می‌باید مطابق استانداردهای ملی ایران باشند.

آزمون‌های الزامی مواد افزودنی بتن

ردیف	نوع	موارد الزامی که باید کنترل شوند
۱	همه مواد افزودنی	یکنواختی - رنگ - ترکیبات موثر-pH- چگالی نسبی (فقط برای افزودنی مایع) مقدار مواد خشک - تاثیر بر روی گیرش-کل کلرین (کلر) - کلرید محلول در آب - قلیانیت معادل - رفتار از نظر خوردگی فولاد
۲	کندگیرکننده	زمان گیرش - مقاومت فشاری - مقدار هوای بتن تازه
۳	تندگیرکننده	زمان گیرش اولیه - مقاومت فشاری - مقدار هوای بتن تازه
۴	زودسخت‌کننده	مقاومت فشاری - مقداری هوای بتن تازه
۵	حباب‌هواساز	مقدار هوای بتن تازه - مشخصات حباب‌های هوا در بتن سخت شده - مقاومت فشاری
۶	نگهدارنده آب	آب انداختگی - مقاومت فشاری - مقدار هوای بتن تازه
۷	کاهنده جذب آب	جذب مویینه - مقاومت فشاری - مقدار هوای بتن تازه
۸	کاهنده آب / روان کننده (با هدف کاهندگی آب)	میزان کاهش آب - مقاومت فشاری - مقدار هوای بتن
۹	فوق کاهنده آب - فوق روان کننده (با هدف کاهندگی آب)	میزان کاهش آب - مقاومت فشاری - مقدار هوای بتن
۱۰	فوق کاهنده آب - فوق روان کننده (با هدف افزایش روانی)	افزایش روانی - حفظ و تداوم روانی - مقاومت فشاری - مقدار هوای بتن تازه
۱۱	کندگیرکننده - کاهنده آب - روان کننده	مقاومت فشاری - زمان گیرش - میزان کاهش آب - مقدار هوای بتن تازه
۱۲	تندگیرکننده - کاهنده آب - روان کننده	مقاومت فشاری - زمان گیرش اولیه - میزان کاهش آب - مقدار هوای بتن تازه
۱۳	کندگیرکننده - فوق کاهنده آب - فوق روان کننده (با هدف افزایش آب و کندگیری)	مقاومت فشاری - زمان گیرش اولیه - میزان کاهش آب - مقدار هوای بتن تازه
۱۴	کندگیرکننده - فوق کاهنده آب - فوق روان کننده (با هدف افزایش آب و کندگیری)	حفظ و تداوم روانی - مقاومت فشاری - مقدار هوای بتن تازه

پایان