وزارت علوم تحقیقات و فناوری
دانشگاه فنی و حرفه ای
دانشکده دارالفنون پسران بجنورد

طبقه بندی عوامل موثر بر دوام بتن

بیژن اجتماعی
کارشناس ارشد مهندسی عمران و مدرس دانشگاه

درس: خرابی و دوام بتن
پاییز۹۶

۱- مقدمه

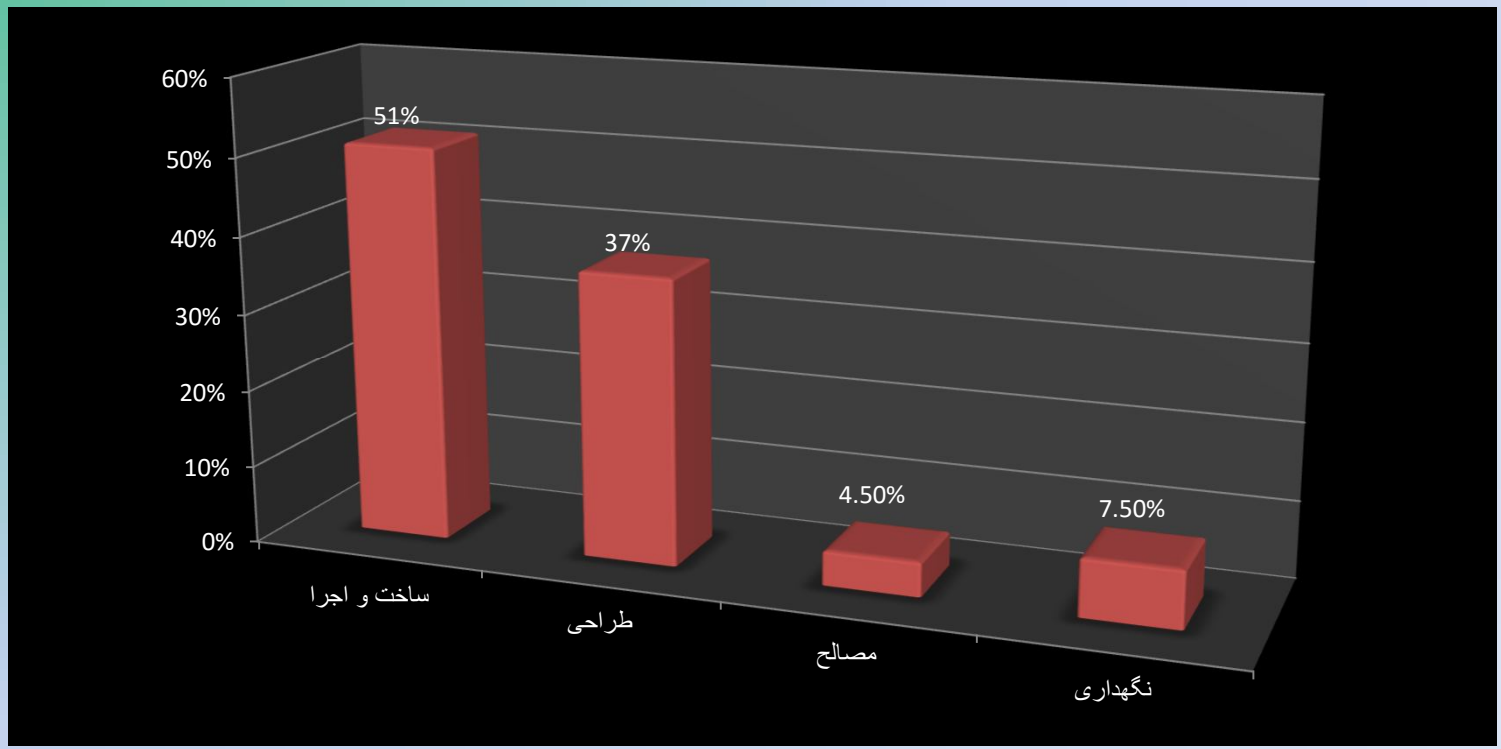
در دو دهه اخیر خرابی های وسیعی در سازه های بتنی در اثر مسائل دوام شیوع پیدا کرده است. برآورد خسارات اقتصادی در اثر چنین خرابی هایی به چندین میلیارد دلار رسیده است.

ارزیابی های متعدد حاکی از آن است که روند رو به افزایشی در تعمیر و نوسازی ساختمانهای بتنی ایجاد شده است، بطوریکه تعمیر و نگهداری در طول ۱۰ سال گذشته از ۲۵ تا ۵۰ درصد فعالیتهای ساختمانی را به خود اختصاص داده است.

تلاشهای زیادی برای شناسایی علل خرابی های بتن و دسته بندی این خرابی ها به عمل آمده است. اطلاعات اقتباس شده از اسناد بیمه نشان می دهد که صدمات در طی ساخت و طراحی ضعیف، مقادیر بالایی از هزینه های تعمیر را به خود اختصاص داده است.

طبقه بندی عوامل موثر بر دوام بتن :

عوامل متعددی در دوام بتن موثرند که مهمترین انها عبارتند از :



۱- عملیات ساخت واجرا :

- ارتعاش در مرحله گیرش و در نتیجه ترک خوردن بتن (ارتعاش آرماتور)
- افزودن مجدد آب روی سطح کار که منجربه ضعف سطح بتن میشود
- نسبت بالای آب به سیمان
- آب اندازی بتن و پرداخت بتن ، خشک شدن سریع ، واکنش دی اکسید کربن با بتن تازه که سبب ایجاد سطحی ضعیف و مستعد فرسودگی خواهد شد
- قالب برداری و برداشتن شمع ها پیش از رسیدن به مقاومت کافی و در نتیجه بروز ترک های دائمی

۲- طراحی :

- عدم توجه به تغییر شکل های اجزای سازه ای
- عدم پیش بینی زهکشی و شیب دهی مناسب که منجربه نفوذ آب و پدیده تخریب میشود
- طراحی نامناسب درز های ساختمانی که منجربه ترک در اجزاء سازه ای میشود

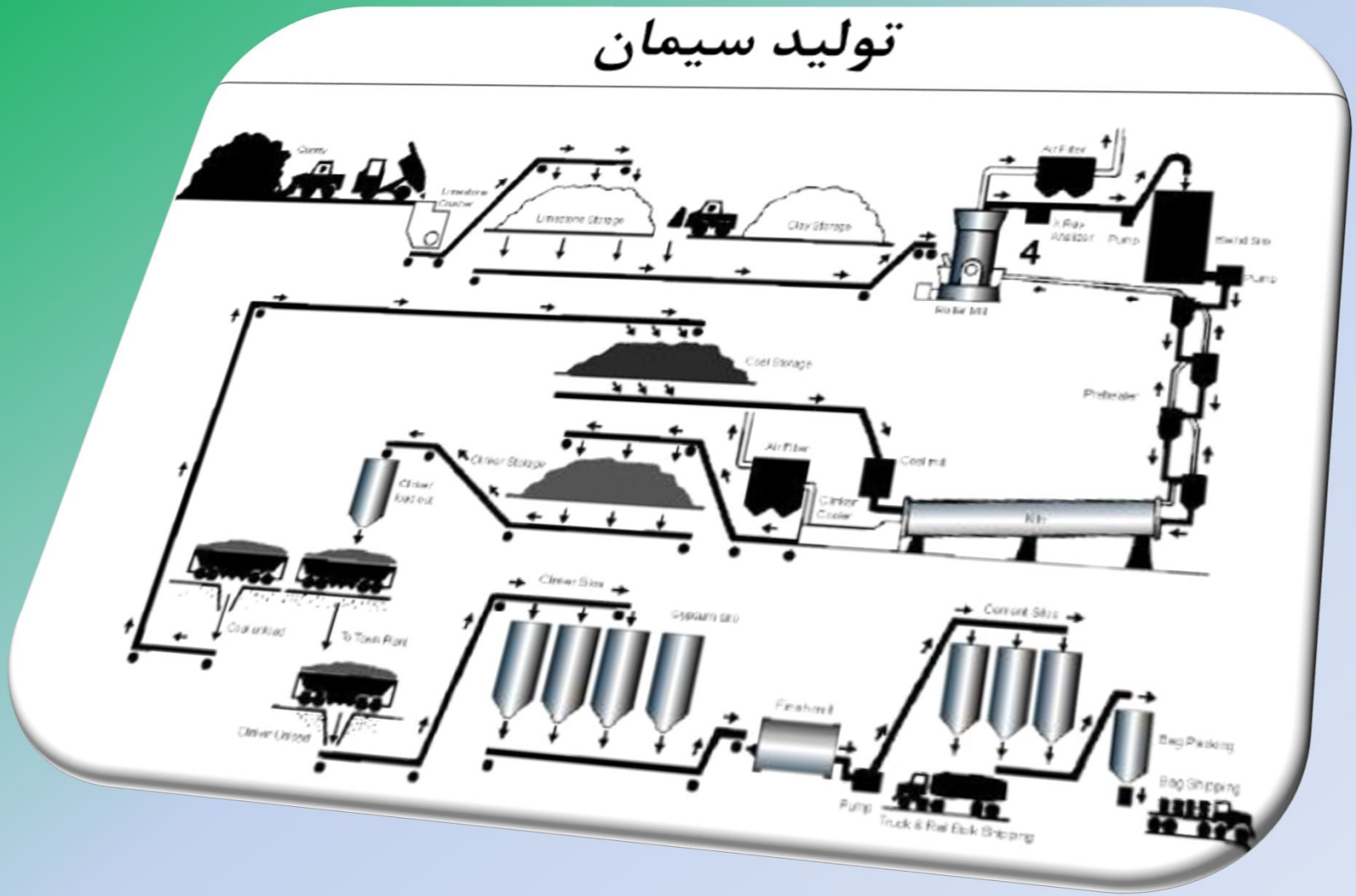
۳- مشخصات مصالح

- سیمان نامناسب با شرایط محیطی
- سنگدانه ها (کیفیت فیزیکی ، مکانیکی و شیمیایی) و واکنش پذیری
- افزودنیها و آب

سیمان

- چسباننده هیدرولیکی (وقتی با آب تماس پیدا می کند سخت می شود)
- خمیر سیمان (ترکیب سیمان و آب) با واکنش هیدراسیون سخت می شود و خود را می گیرد (هم در هوا و هم در زیر آب)
- مواد اصلی سیمان شامل سنگ آهک، رس، اکسید آهن و آلومین با یک مشخصات ویژه ای مخلوط شده و تا دمای ۱۴۵۰ درجه سانتیگراد حرارت داده می شود و کلینکر تولید می شود.
- کلینکر بعد از سرد شدن با نرمی مشخص آسیاب شده تا سیمان بوجود آید

تولید سیمان


Quarry
Limestone Crusher
Limestone Storage
Clay Storage
Air Filter
Air Flow Indicator
Pump
Weigh Skip
Pump
4
Roller Mill
Coal Storage
Preheater
Clinker Storage
Air Filter
Coal Mill
Clinker Crusher
Kiln
Clinker Silos
Clinker Unload
To Town Plant
Clinker Unload
Gypsum Silo
Finish Mill
Cement Silos
Bag Packing
Bag Shipping
Pump
Truck & Rail Bulk Shipping

مواد خام

- مصالح کربنات کلسیم‌دار مانند، سنگ آهک فسیلی، مارن و صدف دریایی، منابع صنعتی معمول کلسیم می‌باشند ← آهک و دولومیت $(CaCO_3 , MgCO_3)$ به‌صورت 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 به‌عنوان گدازآور دارند

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، ازجمله 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.

مواد خام

خردایش

اختلاط

پخت

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

Limestone : $CaO + CO_2$

Clay : $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$

Clay + Limestone → $3CaO.SiO_2$

$2CaO.SiO_2$

$3CaO.Al_2O_3$

$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$

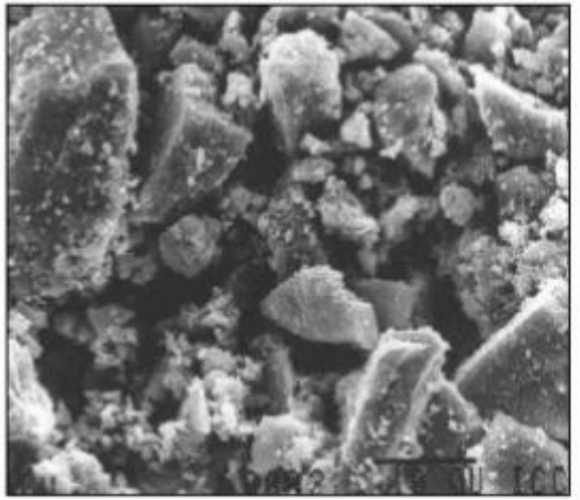
پخت

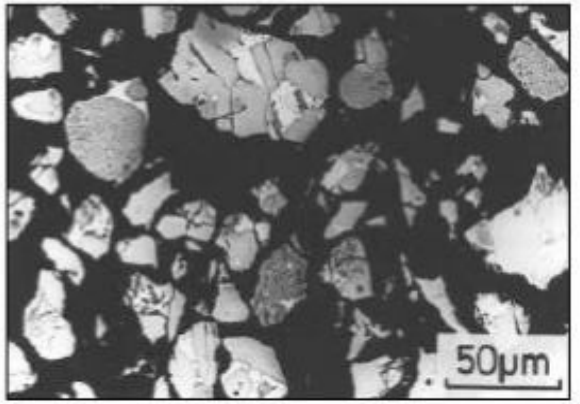
آسیاب کردن

- 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 ۵درصد گچ یا سولفات کلسیم آسیاب می‌شود تا واکنش‌های گیرش و سخت‌شدگی زودهنگام سیمان کنترل گردند.

آسیاب کردن

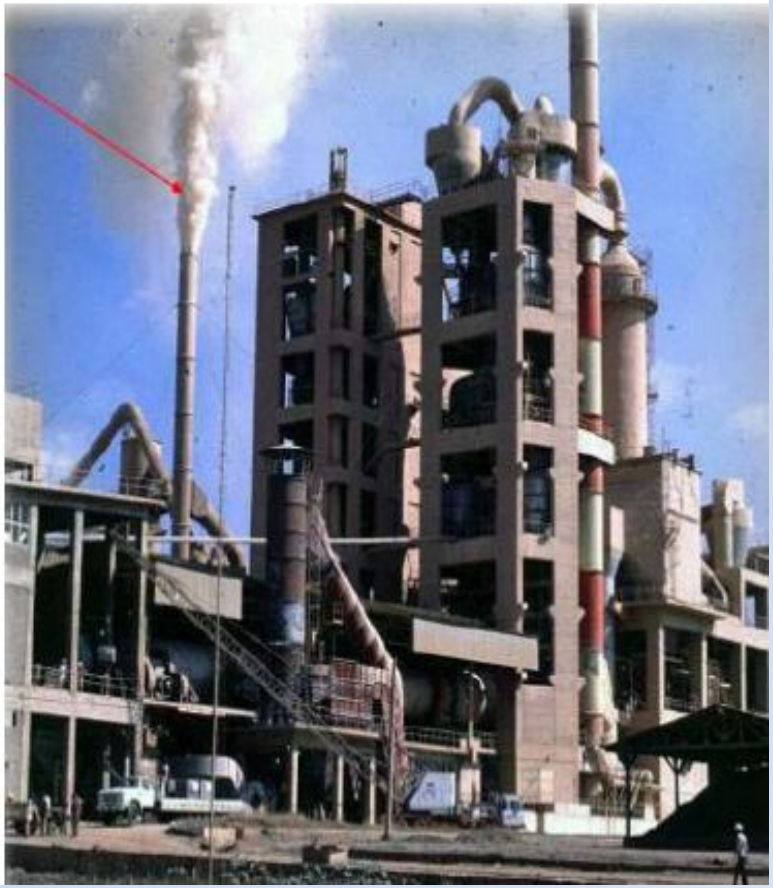
دانه های سیمان





تاثیرات 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 ۷٪ کل گاز دی اکسید کربن CO_2 تولیدی در دنیا توسط کارخانه های سیمان می باشد.



ترکیبات اصلی سیمان

جدول ۱-۲: حدود ترکیبات معمولی سیمان

اکسید	مقدار (درصد)
CaO	۶۰-۶۷
SiO_2	۱۷-۲۵
Al_2O_3	۳-۸
Fe_2O_3	۰/۵-۶
MgO	۰/۵-۴/۰
قلیایی‌ها (به‌صورت Na_2O)	۰/۳-۱/۲
SO_3	۲/۰-۳/۵

اکسیدهای اصلی و ترکیبات اصلی در نمونه‌ای از سیمان پرتلند تولید شده در دهه ۱۹۶۰[۱-۵]

اکسید اصلی (درصد)			بنابراین، ترکیب اصلی محاسبه‌شده (با استفاده از روابط صفحه ۹) (درصد)
CaO	۶۳	C_3A	۱۰/۸
SiO_2	۲۰	C_3S	۵۴/۱
Al_2O_3	۶	C_2S	۱۶/۶
Fe_2O_3	۳	C_4AF	۹/۱
MgO	۱/۵	اکسیدهای فرعی	-
SO_3	۲		
K_2O و Na_2O	۱		
متفرقه	۱		
افت وزنی سرخ‌شدن	۲		
باقی‌مانده نامحلول	۰/۵		

ترکیب شیمیایی سیمان پرتلند

- چهار ترکیب عمده و اصلی تشکیل دهنده سیمان

جدول ۱-۱: ترکیبات اصلی سیمان پرتلند

نام ترکیب	ترکیب اکسیدی	علامت اختصاری
سه کلسیم سیلیکات	$3CaO.SiO_2$	C_3S
دو کلسیم سیلیکات	$2CaO.SiO_2$	C_2S
سه کلسیم آلومینات	$4CaO.Al_2O_3$	C_3A
ترا کلسیم آلومینات فریت	$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	C4AF

- علائم اختصاری ترکیبات سیمان

CaO = C

SiO2 = S

Al2O3 = A

Fe2O3 = F

H2O = H

ترکیبات موجود در سیمان

- چهار ترکیب اصلی تشکیل دهنده سیمان عبارتند از:

C_3S = $3CaO.SiO_2$

C_2S = $2CaO.SiO_2$

C_3A = $3CaO.Al_2O_3$

C_4AF = $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$

- ترکیبات فرعی سیمان عبارتند از:

$C\overline{S}H_2 = CaSO_4.2H_2O$

$C_4A_3\overline{S} = 4CaO.3Al_2O_3.SO_3$

نگاهی به مراحل آب گیری سیمان

عناصر اصلی تشکیل دهنده کلینکر سیمان با مقادیر تقریبی شامل:

Alite or C_3S ($3CaO.SiO_2$), (Tre-calcium silicate)	50% to 65%
Belite or C_2S ($2CaO.SiO_2$), (Di-calcium silicate)	16% to 25%
Aluminate or C_3A ($3CaO.Al_2O_3$), (Tre-calcium aluminate)	7% to 12%
Ferrite or C_4AF ($4CaO.Al_2O_3,Fe_2O_3$), (Tetra-calcium alumina ferrite)	5% to 10%
Total Calcium Silicate	65% to 80%

جهت کنترل زمان گیرش مقداری گچ در مراحل آسیاب به سیمان اضافه می شود.

به محض اختلاط آب با سیمان، ابتدا برخی از سولفات ها و گچ با آب واکنش می دهند و با آزاد سازی یون کلسیم، آب خالص را به محلولی یونیزه تبدیل می کنند.

- اولین ماده از مواد چهار گانه که با آب واکنش می دهد تری کلسیم-آلومینات است که تشکیل ژل آلومیناتی می دهد و به شدت حرارت زا است، ولی حرارت زایی آن چندان پایدار نیست و فقط چند دقیقه ادامه دارد (فاز اول آب گیری).
- این ژل در ترکیب با سولفات ها تشکیل کریستال های میله ای شکل بنام اترینگایت می دهد(فاز دوم آب گیری).

$C_3A.CaSO_4.32H_2O$ $Ca_3Al(OH)_6.12H_2O$

نگاهی به مراحل آب گیری سیمان

- اصلی ترین بخش از آب گیری سیمان واکنش عناصر سیلیکاتی-کلسیمی سیمان یعنی تری کلسیم-سیلیکات (آلیت) و دی کلسیم سیلیکات (بلیت) است. حرارت زایی این بخش بسیار گسترده و بین 10 تا 20 ساعت پس از اختلاط طول می کشد.

چنانچه اشاره شد این عناصر بین 65 تا 80 درصد ترکیبات سیمان را تشکیل می دهند و پس از آب گیری تبدیل به کریستال های هیدرات سیلیکات کلسیم و آب آهک می شوند (فاز سوم):

$$\text{Cement Hydration} \qquad 3CaO.2SiO_2.4H_2O \qquad C_3S_2H_8 + Ca(OH)_2$$

or

$$\text{Cement Hydration} \longrightarrow C\text{-}S\text{-}H + CaOH + \ldots\ldots\ldots$$

کریستال های هیدرات سیلیکات کلسیم تامین کننده مقاومت بتن هستند. در حالی که هیدروکسید کلسیم (آب آهک) فاقد مقاومت است.

- بخش فریت نیز به محض اختلاط سیمان با آب شروع به واکنش می کند ولی فعالیت آن بسیار آرام و بطی است (فاز چهارم).

واکنشهای هیدراتاسیون

$2C_3S + 6H \rightarrow C_3S_2H_3$ (C-S-H) + 3CH + 120 cal/g

$2C_2S + 4H \rightarrow C_3S_2H_3$ (C-S-H) + CH + 62 cal/g

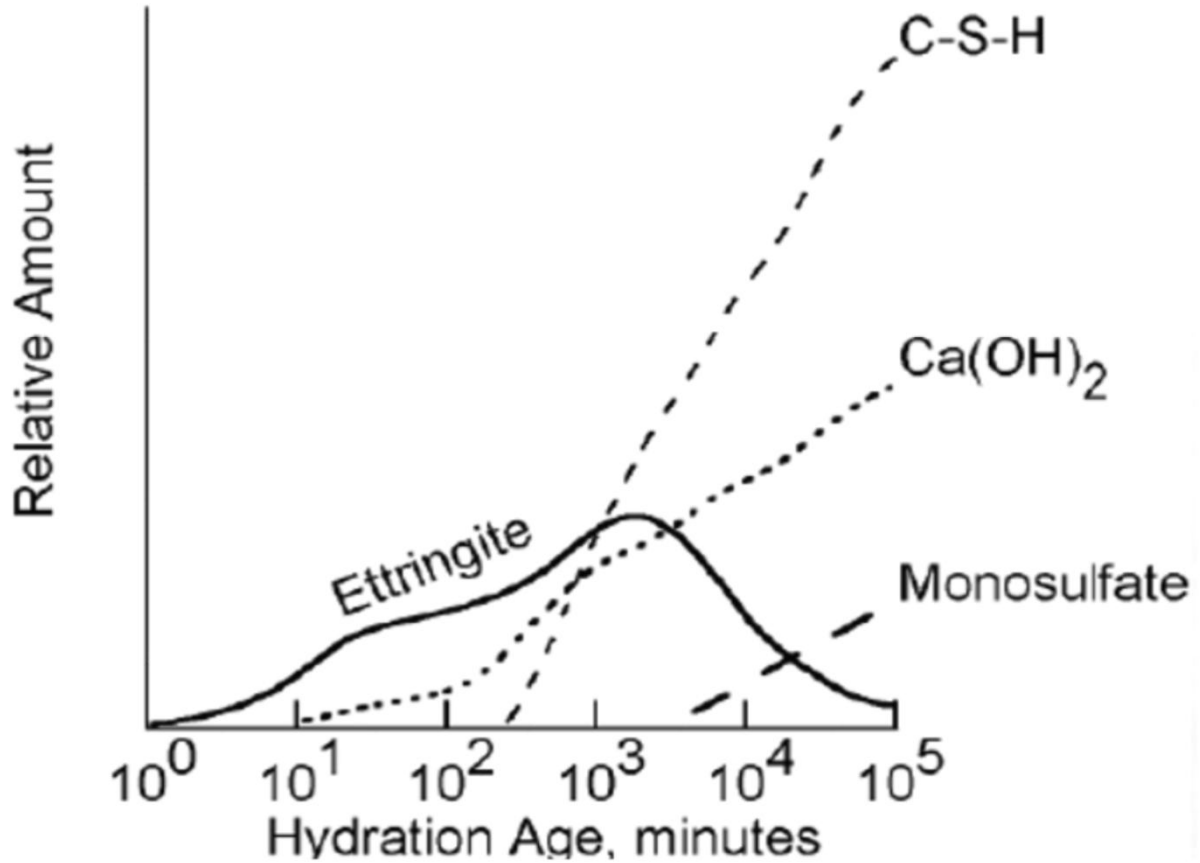
$C_3A + 3C\bar{S}H_2 + 26H \rightarrow C_3A.3C\bar{S}.H_{32}$ (ettringite) + 200 cal/g

$C_3A + 3C_3A.3C\bar{S}.H_{32} + 4H \rightarrow 3C_3A.C\bar{S}.H_{18}$ (Monosulfate)

واکنشهای هیدراسیون

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

نرخ تشکیل محصولات هیدراسیون



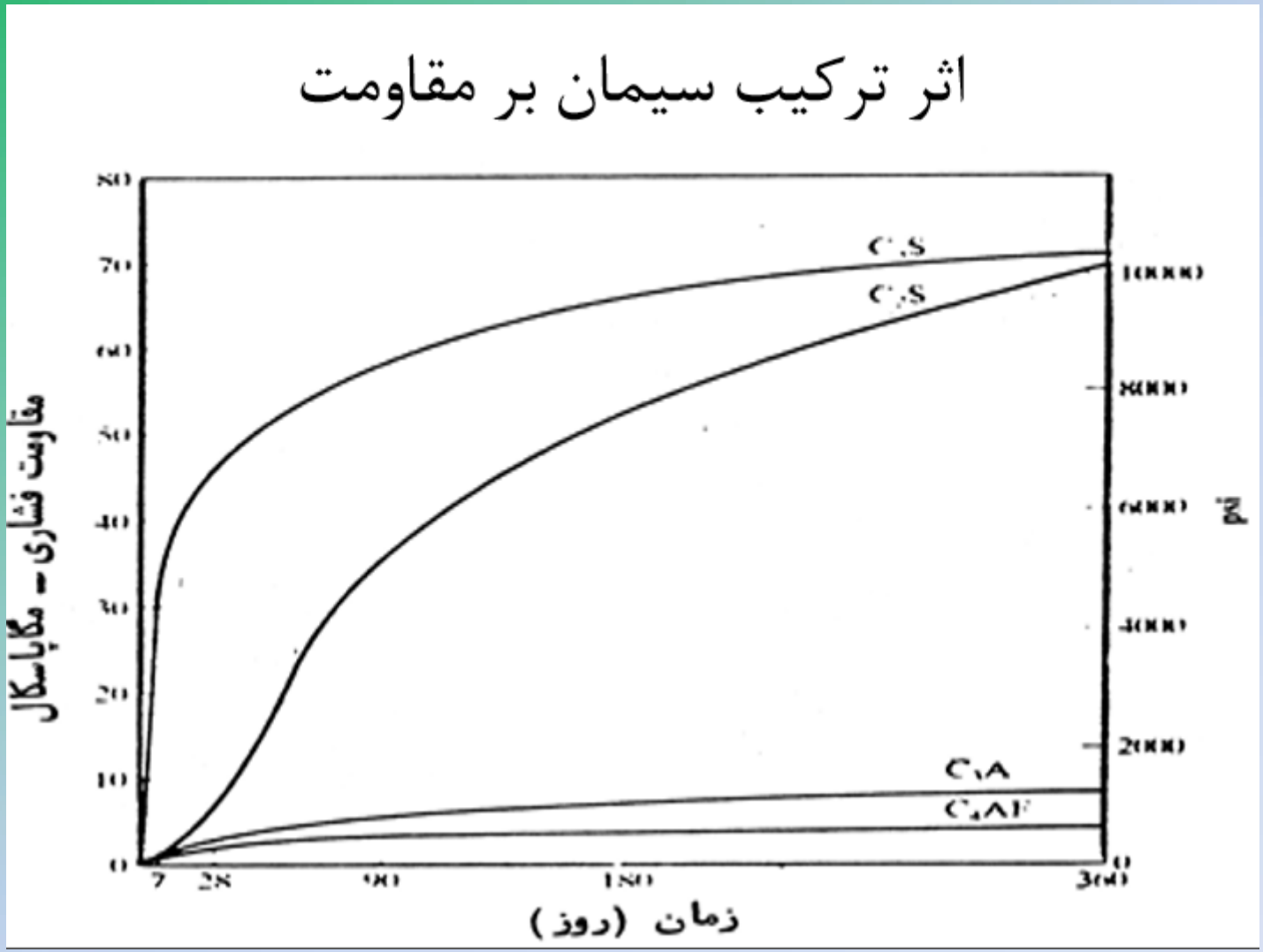
جنبه های فیزیکی هیدراتاسیون

- **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 کاملا از دست می دهد ← بیشتر از ۴۵ دقیقه
  - **گیرش نهایی** (Final Set): خمیر کاملا جامد می شود ← کمتر از ۳۷۵ دقیقه

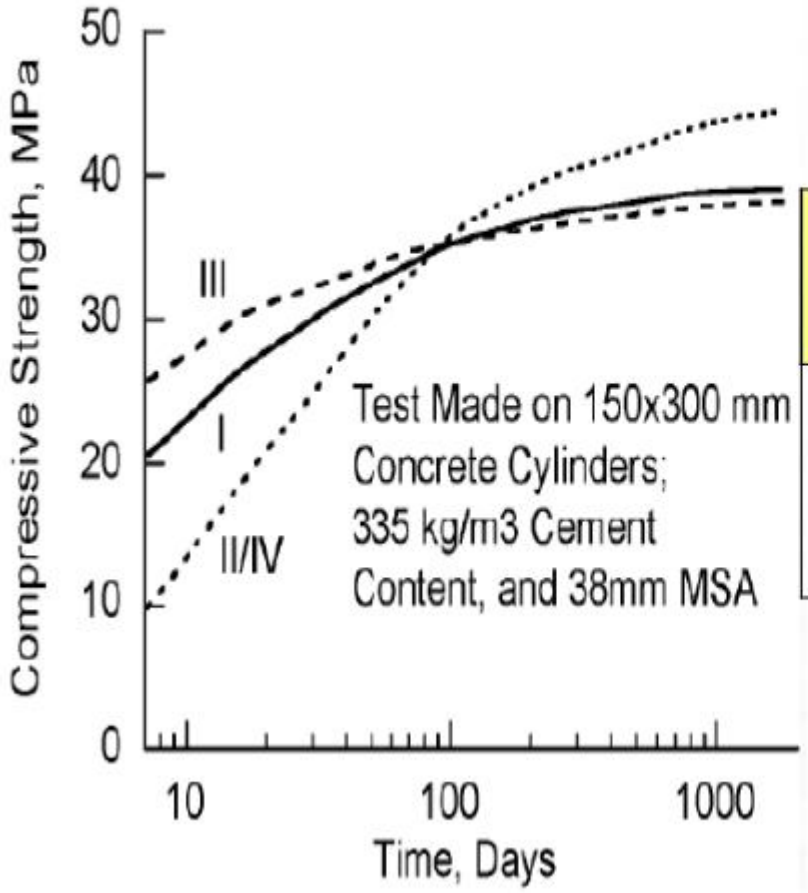
مقاومت ترکیبات سیمان

- 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 یک‌سال، دو ترکیب به یک میزان روی مقاومت سیمان هیدراته‌شده تأثیر می‌گذارند
- امکان پیش‌بینی مقاومت سیمان هیدراته شده از روی ترکیبات آن وجود ندارد

اثر ترکیب سیمان بر مقاومت

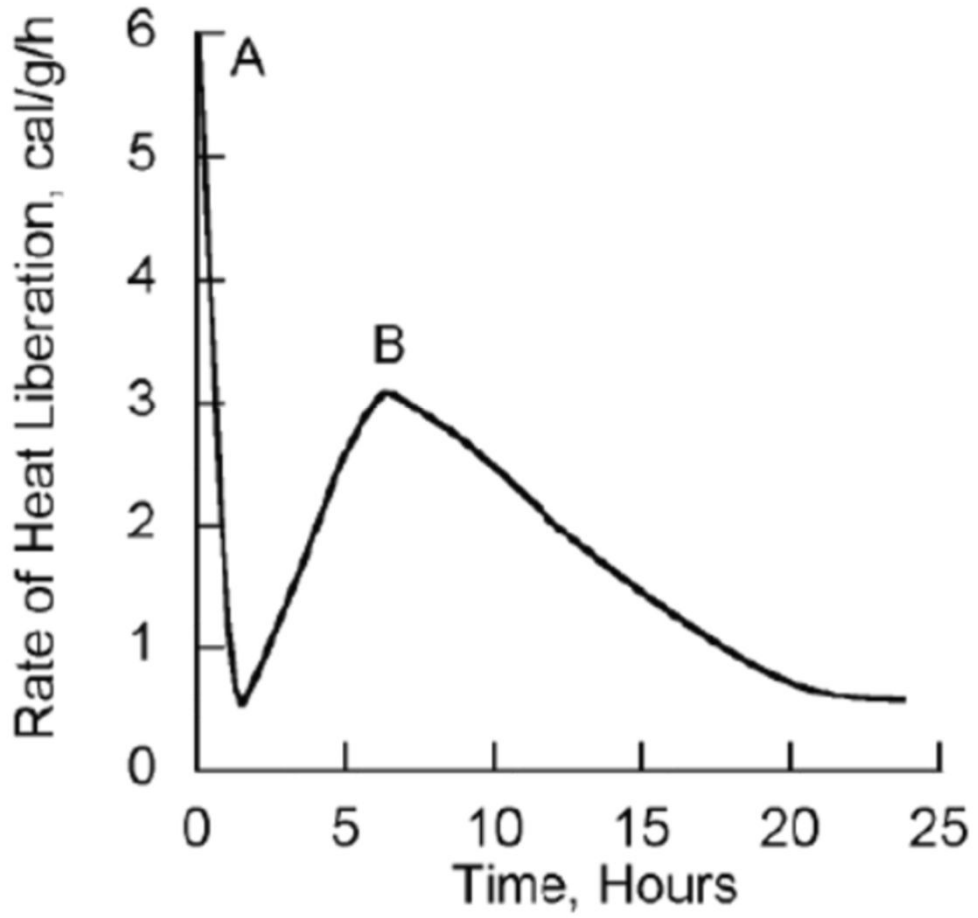


اثر ترکیب سیمان بر مقاومت



شماره سیمان	I	II	III
ترکیبات			
C_3S	۴۹	۳۰	۵۶
C_2S	۲۵	۴۶	۱۵
C_3A	۱۲	۵	۱۲
C_4AF	۸	۱۳	۸

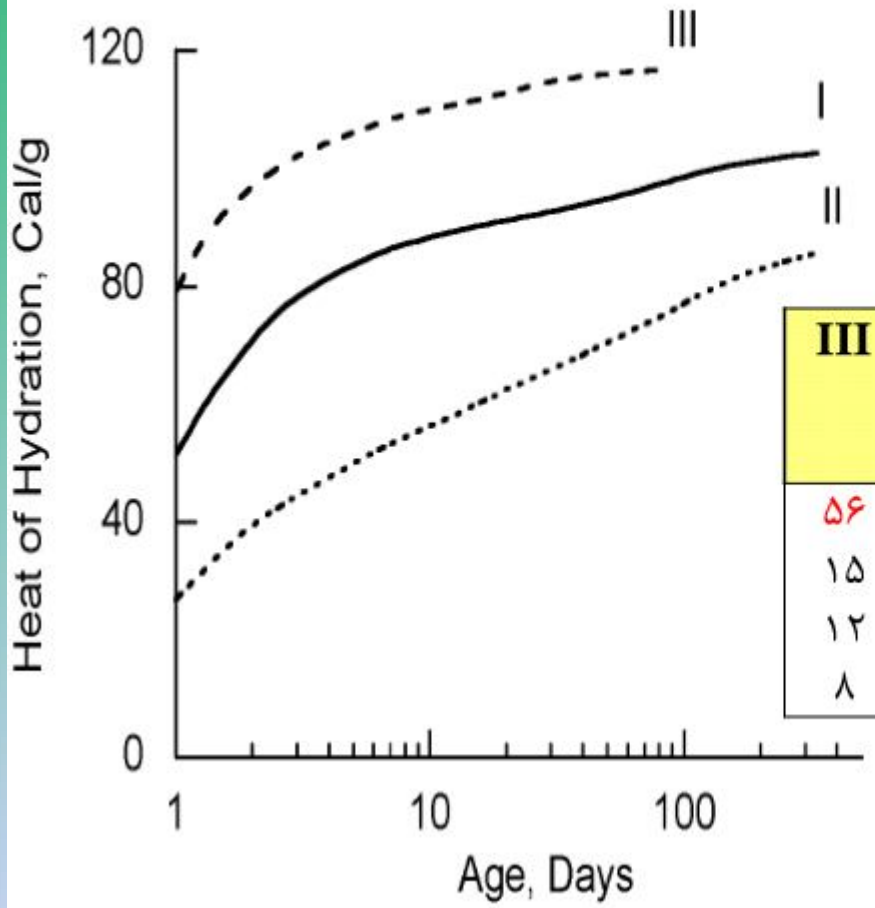
حرارت هیدراتاسیون



حرارت هیدراتاسیون

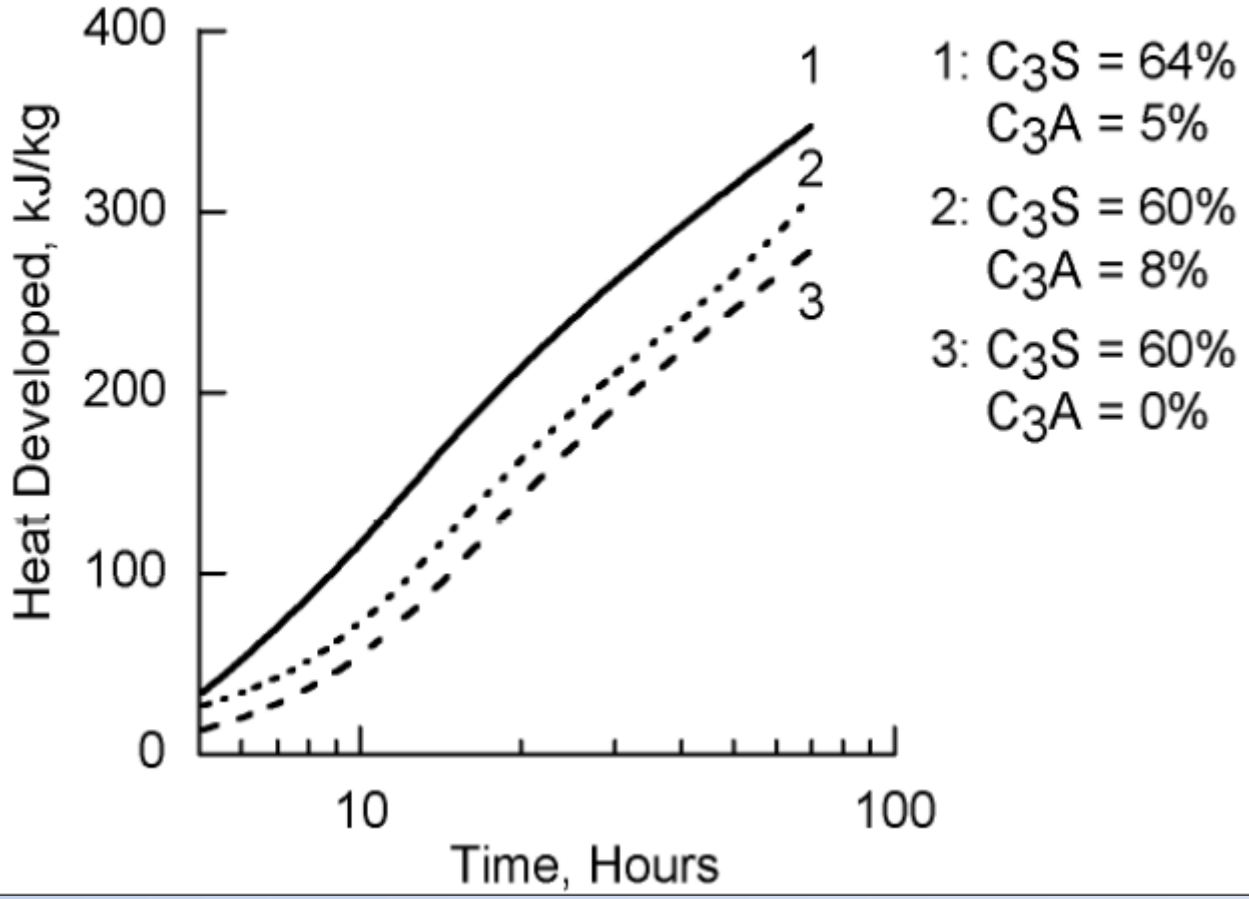
- **مرحله اول**: یک **حرارت‌زایی سریع** (نقطه اوج A)، که چندین دقیقه به‌طول می‌انجامد، نشانگر حرارت محلول آلومینات‌ها و سولفاتها است.
- **مرحله دوم**: **دوره غیر فعال**: حرارت‌زایی اولیه، وقتی که با حضور سولفات‌ها در محلول از حلالیت آلومینات‌ها کاسته می‌شود، به‌سرعت متوقف می‌گردد (نقطه نزولی A)← گیرش اولیه در انتها
- **مرحله سوم**: **دورهٔ 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 هیدراسیون

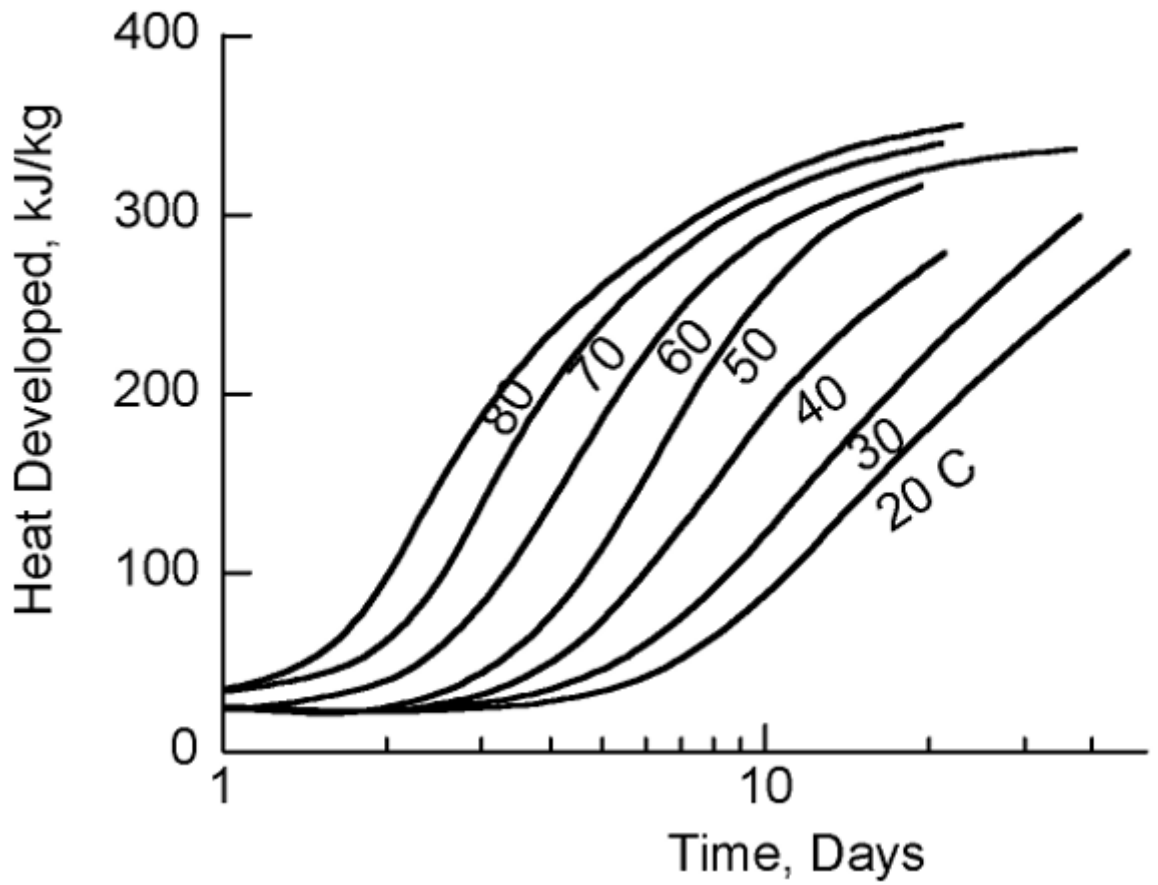


شماره سیمان / ترکیبات	I	II	III
C_3S	۴۹	۳۰	۵۶
C_2S	۲۵	۴۶	۱۵
C_3A	۱۲	۵	۱۲
C_4AF	۸	۱۳	۸

اثر ترکیب سیمان بر تولید حرارت هیدراسیون



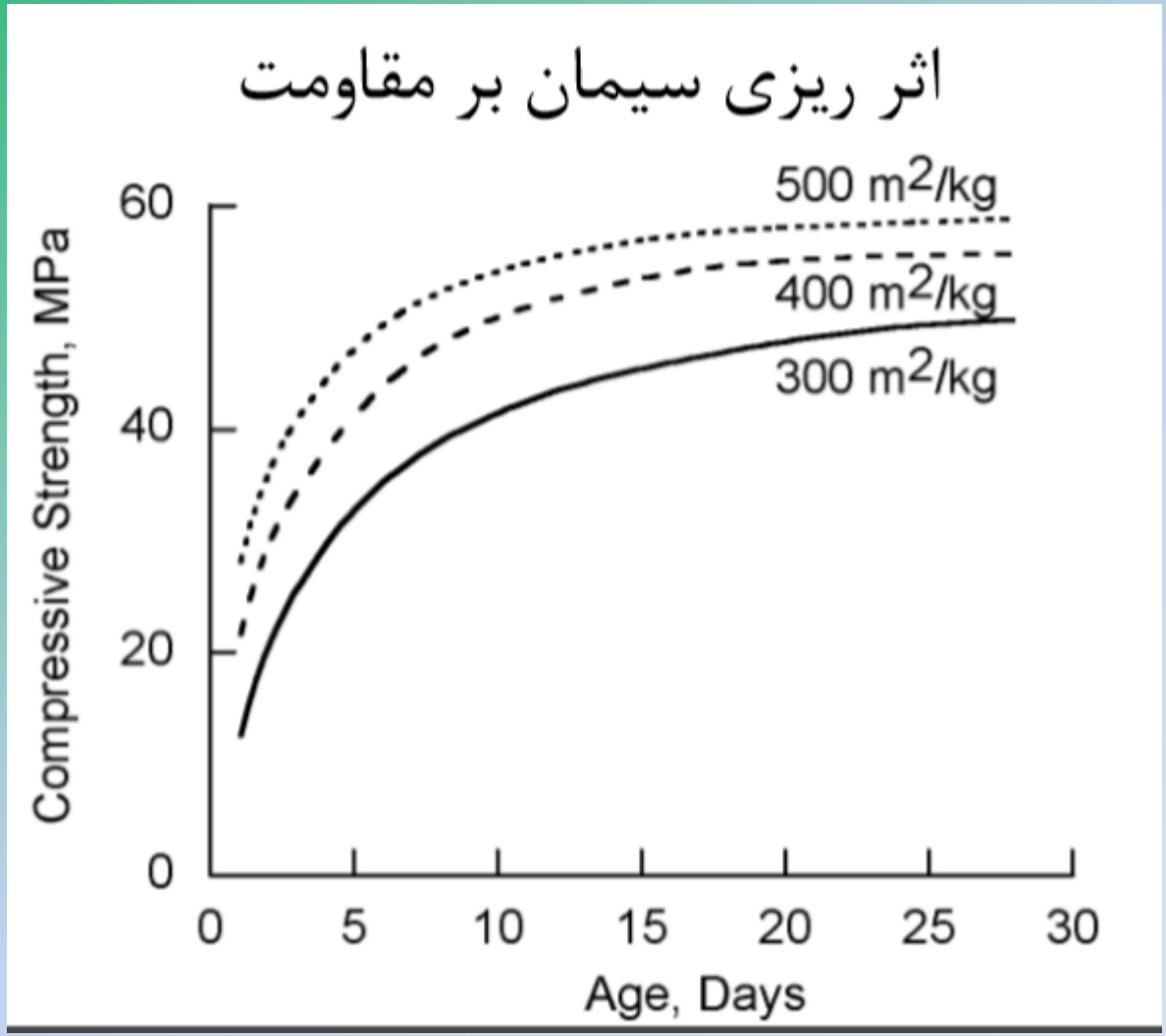
اثر دمای هوا بر تولید حرارت هیدراسیون



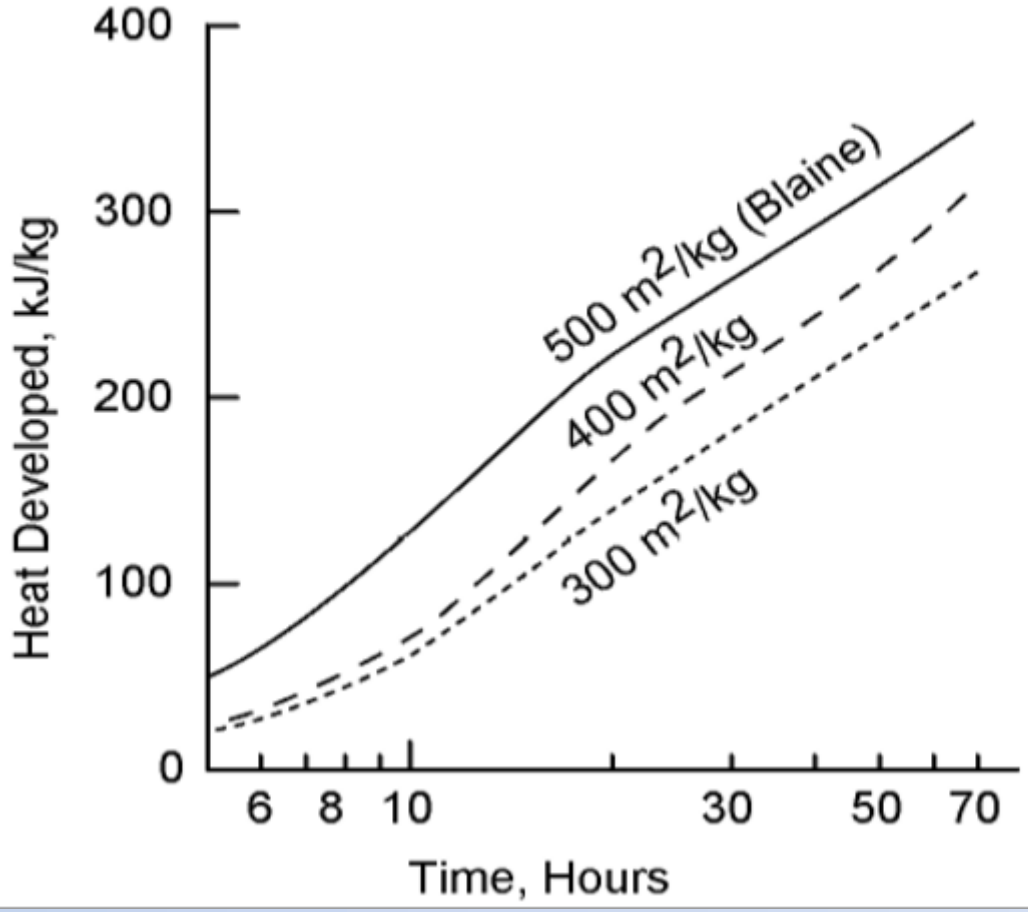
ریزی (نرمی) سیمان

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

اثر ریزی سیمان بر مقاومت



اثر ریزی سیمان بر تولید حرارت هیدراسیون



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).

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 ۵۸درصد 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 هوازا، در جایی که هوازایی مطلوب است

انواع سیمان (ASTM)

- **نوع III**: برای مصرف در موقعی‌که مقاومت اولیه مطلوب باشد و یا برای باز کردن سریع قالب‌ها و نیز پیشرفت سریع کار ساخت استفاده می‌شود.
  - مقدار C_3A سیمان حداکثر ۱۵درصد
  - سطح ویژه زیادتر آن، تقریباً بلین $۵۰۰m^2/kg$ به‌جای $۳۳۰m^2/kg$ تا ۴۰۰ برای سیمان پرتلند نوع I، می‌باشد.
  - نبایستی در بتن‌ریزی‌های حجیم و یا در قطعات بزرگ بتنی بکار رود.
  - در بتن‌ریزی‌های در هوای سرد می‌تواند از یخزدگی 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 به‌ترتیب به حداکثر ۳۵ و ۷درصد محدود می‌شود
  - حداقل ۴۰درصد C_2S در سیمان
- **نوع V**: برای مصرف در موقعی‌که مقاومت زیاد سولفاتی مطلوب باشد.
  - مقدار C_3A سیمان حداکثر ۵درصد

انواع سیمان (ASTM)

نوع سیمان (ASTM)	شرح کلی	محدوده ترکیبات (٪)			
		C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF
I	مصارف عمومی	45-55	20-30	8-12	6-10
II	مصارف عمومی با مقاومت سولفاتی متوسط و حرارت هیدراتاسیون متوسط	40-50	25-35	5-7	6-10
III	مقاومت اولیه زیاد	50-65	15-25	8-14	6-10
V	مقاومت دربرابر سولفات	40-50	25-35	0-4	10-20

نگاهی به مراحل آب گیری سیمان

$$\text{Cement Hydration} \longrightarrow \text{C-S-H} + \text{CaOH} + \ldots\ldots\ldots\ldots$$

نکته قابل توجه عدم توازن نسبت های دو عنصر اصلی یعنی سیلیس و کلسیم است.

به عنوان مثال مقدار کلسیم در الیت سه برابر سیلیس است، در حالی که همین نسبت در هیدرات سیلیکات کلسیم دو به یک است و در مجموع نسبت سیلیس به کلسیم حدود 45 تا 50 در صد است.

اگر چه در تشکیل هیدرات سیلیکات کلسیم، این دو عنصر بطور مساوی در ترکیب مشارکت ندارند ولی همواره هیدروکسید کلسیم اضافی وجود دارد که سیلیس کافی برای ترکیب و تشکیل هیدرات سیلیکات کلسیم در ترکیب اولیه کلینکر نیست و با افزودن موادی که محتوی سیلیس قابل ترکیب با آب آهک موجود می توان کریستال های مقاومت ساز را افزایش داد. سه راه متداول برای اضافه کردن سیلیس به شرح زیر است:

- اضافه کردن پوزولان به سیمان در مراحل آسیاب کردن کلینکر.
- افزودن پوزولان به مخلوط بتن.
- اعمال سیلیس مایع یا سیلیس کلوئیدی روی بتن سخت شده جهت نفوذ در کاپیلارها.

سیمانهای آمیخته

- علاقه فزاینده‌ای برای مصرف مواد پوزولانی طبیعی و مصنوعی و مواد شبه سیمانی (مثلاً روباره آهنگدازی 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
  - دارابودن عملکرد بهتر در برخی موارد

سیمان های آمیخته

تعریف:
جزء اصلیش کلینکر سیمان پرتلند است و همچنین دارای مقادیری از پوزولان های طبیعی، مصنوعی یا مواد افزودنی ویژه جایگزین سیمان پرتلند است

انواع سیمان های آمیخته

الف- سیمان پرتلند پوزولانی
ب- سیمان پرتلند سرباره ای
ج- سیمان پرتلند آهکی
د- سیمان بنایی
ه- سیمان پرتلند مرکب الف – ۳۲/۵

سیمان پرتلند پوزولانی

تعریف:
چسباننده هیدرولیکی متشکل از مخلوط سیمان پرتلند و پوزولان

انواع:

الف- سیمان پرتلند پوزولانی (پ. پ)
میزان پوزولان حداقل ۵ و حداکثر ۱۵ درصد وزنی سیمان

ب- سیمان پرتلند پوزولانی ویژه (پ.پ.و) با حرارت زایی کم
میزان پوزولان بیش از ۱۵ تا ۴۰ درصد وزنی سیمان
کاربرد:

- بتن تحت تهاجم شیمیایی
- ساخت بتن حجیم
- مقاومت فشاری اولیه کم

سیمان پرتلند سرباره ای

تعریف:
چسباننده هیدرولیکی متشکل از مخلوط کلینکر سیمان پرتلند و سرباره فعال و سنگ گچ

انواع:

الف- سیمان پرتلند سرباره ای (پ. س)
میزان سرباره حداکثر ۲۵ درصد وزنی سیمان

ب- سیمان پرتلند سرباره ای ضد سولفات (پ. س-۵)
میزان سرباره ۲۵ تا ۷۰ درصد وزنی سیمان

ج- سیمان سرباره ای (س)
میزان سرباره بیش از ۷۰ درصد وزنی سیمان

سیمان پرتلند آهکی

تعریف:
چسباننده هیدرولیکی متشکل از مخلوط حداقل ۸۰ درصد کلینکر سیمان پرتلند، ۶ الی ۲۰ درصد سنگ آهک ویژه و سنگ گچ به همراه حداکثر ۱ درصد مواد افزودنی

سیمان بنایی:

تعریف:
چسباننده هیدرولیکی که فقط در تهیه ملات های بنایی بکار می رود و نه بتن.
متشکل از مخلوط کلینکر سیمان پرتلند و سنگ آهک طبیعی، یا از مخلوط سیمان پرتلند و پودر نرم شده سنگ آهک، و یا پوزولان های طبیعی و مصنوعی و یا سرباره آهن گدازی

ه- سیمان پرتلند مرکب الف – ۳۲/۵ :

تعریف:
چسباننده هیدرولیکی از آسیاب و مخلوط کلینکر سیمان پرتلند با حداقل دو نوع از مواد افزودنی (سنگ آهک ویژه، پوزولان طبیعی مرغوب، سرباره کوره آهنگدازی، خاکستر بادی، رس یا شیل پخته شده، دوده سیلیسی) و سنگ گچ
در تهیه ملات و بتن بکار رفته- مانند سیمان پرتلند ۱-۳۲۵ است

برخی از الزامات ترکیبات شیمیایی انواع سیمان

- کنترل میزان SiO_2-SO_3-MgO-Fe_2O_3-Al_2O_3
- تعیین حداکثر کاهش وزن ناشی از سرخ شدن
- تعیین حداکثر میزان باقیمانده نا محلول
- کنترل میزان C_3S-C_2S-C_3A
- کنترل میزان قلیایی به حداکثر ۰/۶ درصد وزنی در شرایط وجود خطر واکنش قلیایی سیلیکاتی
- تعیین آهک آزاد

برخی از الزامات فیزیکی مکانیکی انواع سیمان

- حداقل سطح ویژه به روش بلین
- حداکثر انبساط آزمایش اتوکلاو
- مقاومت فشاری و خمشی ملات استاندارد در سنین ۱، ۳، ۷ و ۲۸ روزه
- زمان گیرش به روش ویکات
- تعیین غلظت نرمال
- تعیین سلامت
- تعیین جرم مخصوص
- تعیین حرارت هیدراتاسیون

مواد قابل اختلاط با بتن

- این مواد را می توان به سه طریق ذکر شده استفاده نمود.
- مواد افزودنی به بتن می توانند تا 30 درصد وزن سیمان تعیین و جایگزین سیمان شوند (اگر چه در طرح هایی تا 70درصد نیز تعریف و مصرف می شوند).
- آمیزه های بتن هم به شکل طبیعی(مانند زئولیت) استخراج می شوندو پس از تخلیص ومیکرونیزه شدن به مصرف می رسند، و هم به صورت مصنوعی (مانند میکروسیلیس) که بیشتر محصول جنبی صنایع هستند تهیه ودر طرحهای بتنی مورد استفاده قرار می گیرند.

پوزولان ها (مواد پوزولانی)

نتیجه:

در شرایط معمولی در بتن های فاقد پوزولان، کمتر از 75 درصد مواد سیمان تبدیل به هیدرات سیلیکات ـ کلسیم پایدار می شوند.

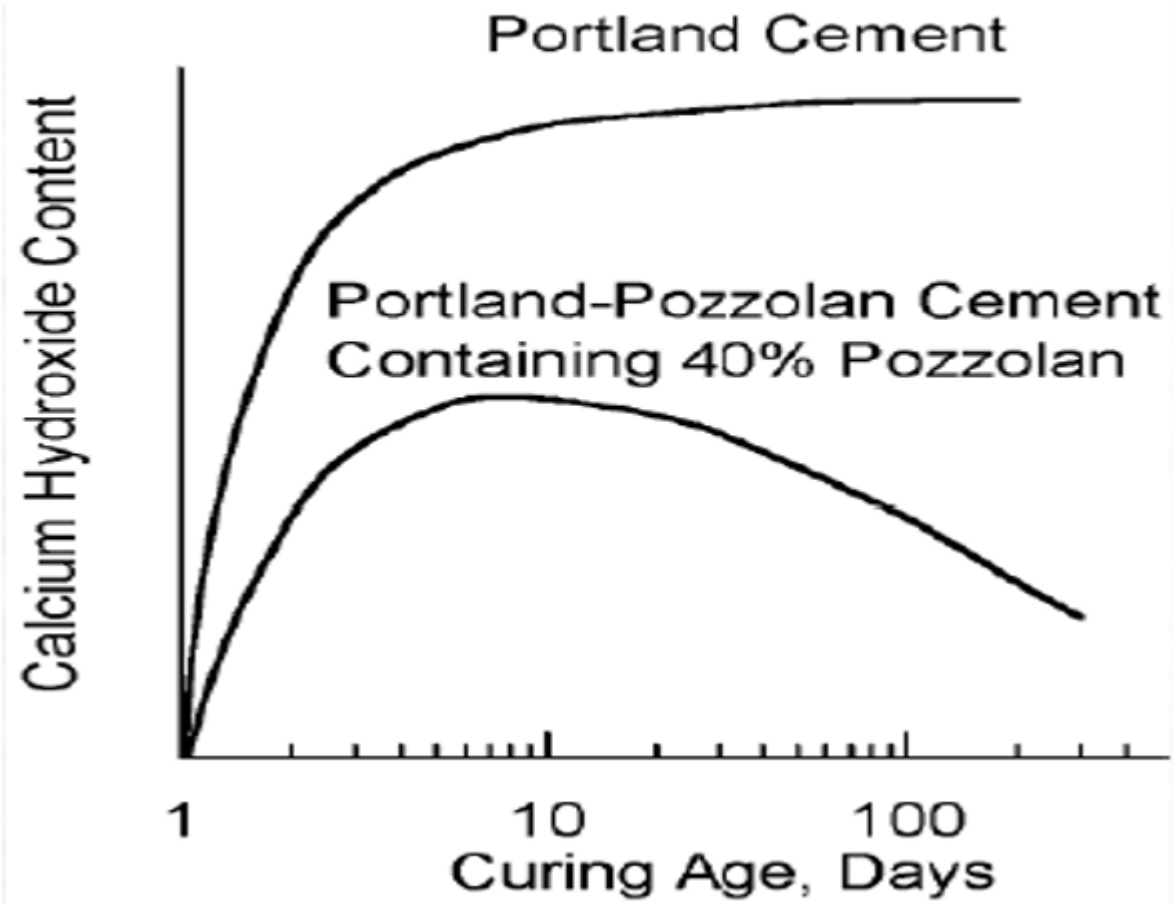
همواره مقداری هیدروکسید کلسیم آزاد در بتن باقی می ماند.

پوزولان يك ماده سيليسي يا سيليسي-آلومیناتي است كه به تنهايي خاصيت چسبانندگي جزئي داشته يا اصلا ندارد.

اما پودر نرم و همگن شده آن در حضور رطوبت و درجه حرارت معمولي با هیدروکسید کلسیم آزاد وارد واكنش شيميايي شده و تركيبات مشابه ای با سیلیکات-کلسیم هیدراته به وجود می آورد.

سیلیکات-کلسیم ایجاد شده توسط پوزولان ها کاملا پایدار و مقاوم هستند.

تاثیر پوزولان بر مقدار آهک



پوزولان ها (مواد پوزولانی)

- مواد افزودني معدني نظير پوزولان‌هاي طبيعي شامل زئوليت، تراس، توف، متاكائولن و يا پوزولان‌هاي مصنوعي خاكستر بادي، دوده سيليس و نظاير آن جايگزين بخشي از سيمان مي‌شود و با استفاده از آن مي‌توان مقدار سيمان مصرفي را به طور معمول از 5 تا 30 درصد كاهش داد.

- اين جايگزيني مي‌تواند به دلايل گوناگون مانند مقاومت، دوام، كاهش حرارت هيدراته شدن و نيز از نظر اقتصادي قابل توجيه باشد.
- با توجه به ترکیبات این مواد که بیشتر سیلیس نرم می باشد، واکنش زیر با آب و آهک موجود در بتن تازه انجام می شود:

آمیزه سیلیسی + آب آهک ⟵ واکنش شیمیایی ⟵ سیلیکات های کلسیم پایدار +.....

تاریخچه مصرف پوزولان

کهن ترین نمونه از چسباننده هاي هيدروليكي كه به 4000 الي 5000 سال قبل از ميلاد بر مي گردد، مخلوطي از آهك و پوزولان طبيعي (يك نوع خاك دياتومه اي) در نواحي خليج فارس به كار رفته است. مواردي ديگر بعد از آن در نواحي مديترانه گزارش شده است.

تاریخچه مصرف پوزولان

رومی ها بیش از 2000 سال پیش از نوعي خاك آتشفشاني در منطقه پوزولی نزدیک ناپل ایتالیا به صورت ملات هاي هيدروليكی براي كارهاي ساختماني و ايجاد تأسيسات در مستعمرات و اقامتگاه هاي امپراطوريشان استفاده می کردند که بعد ها آن را پوزولان نامیدند.

میکروسیلیس

- محصول فرعی حاصل از کوره های قوس الکتریکی در جریان تولید آلیاژهای فروسیلیس است.

- بیش از 90 درصد سیلیس با حالت غیر کریستالی به دست می آید.

- به شکل ذرات بی نهایت ریز با قطر متوسط 0/1 میکرون.

- شدیدا پوزولانی

میکروسیلیس

شکل های قابل ارایه میکروسیلیس:

- پودر میکرونیزه
- مخلوط با آب به صورت ژل یا دوغاب
- فشرده شده با رطوبت
- آمیخته با سیمان
- گلوله ای

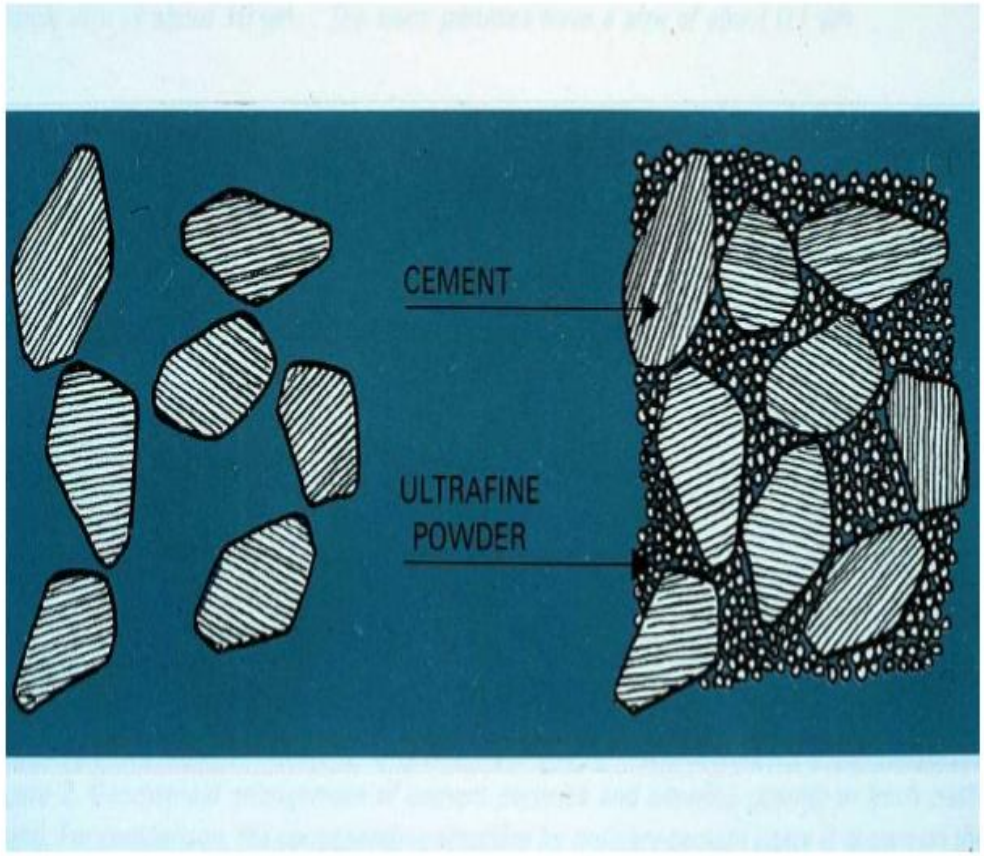
یاد آوری: سنگ سیلیس هر قدرهم نرم کوبیده شود جایگزین میکرو سیلیس نمی شود.

میکروسیلیس

اثرات میکروسیلیس بر روی خواص فیزیکی بتن:

-وجود ذرات ریز در بتن، خواص آن را بهبود می بخشد. به این اثر "فشرده سازی ذرات" یا "پر کردن میکرو" گویند.

- این فشردگی پایداری بتن را در برابر عوامل مهاجم محیطی بهبود می بخشد و دوام آن را افزایش می دهد.



میکروسیلیس

مشخصات فیزیکی

اندازه ذرات	**≤ 1µm**
وزن مخصوص پودری	130 تا 430 کیلو گرم درمترمکعب
= = ژل	1320 تا 1440 = = = =
= = فشرده	480 تا 720 = = = =
چگالی ویژه	2/2
سطح مخصوص	13000 تا 31000 مترمربع/هرکیلو

مشخصات شیمیایی

ساختار شیمیایی	**بدون شکل بلوری**
دی اکسید سیلیس	≥ 85%
المان های موثر	بسته به نوع میکروسیلیس

استانداردها

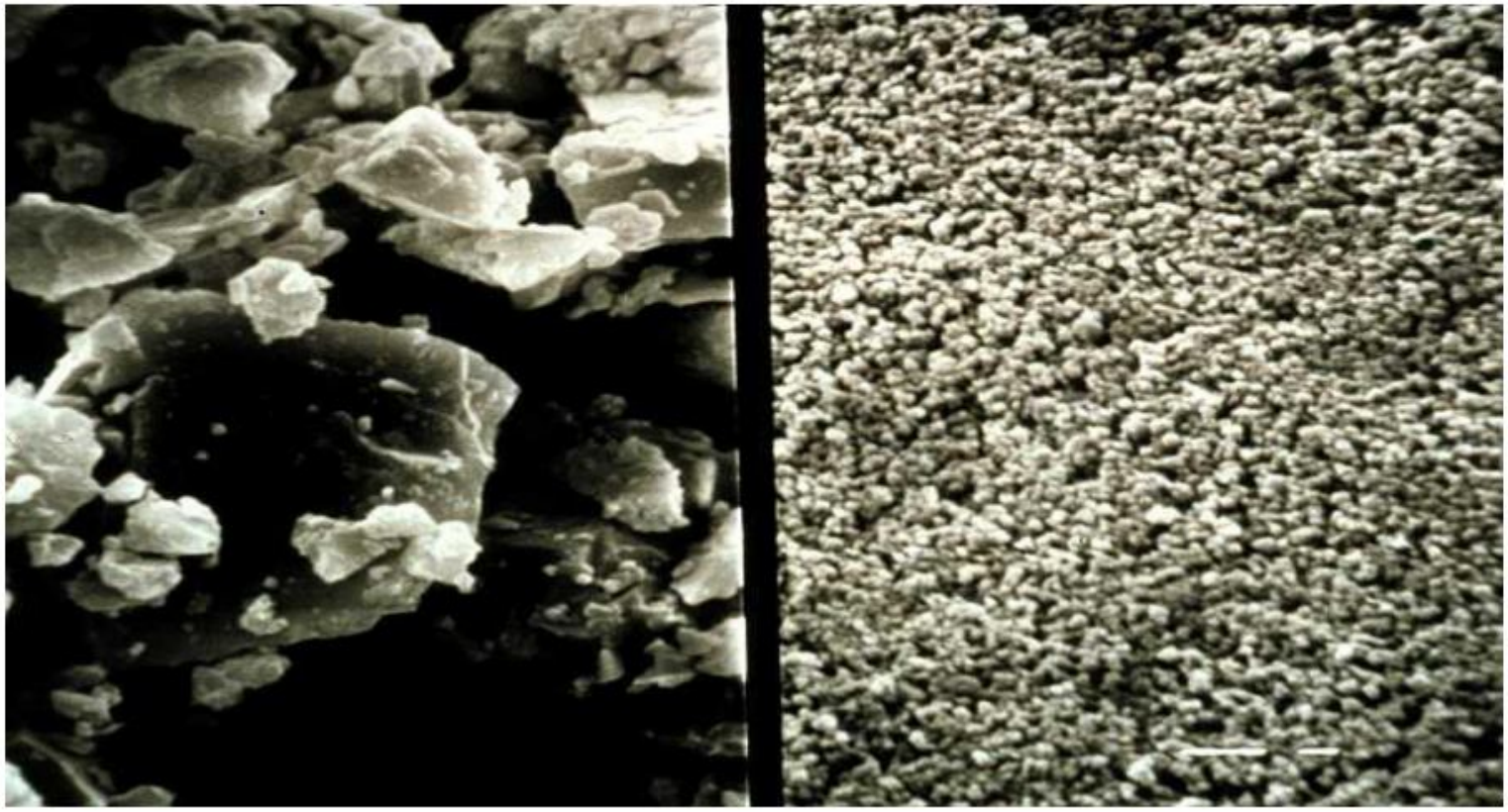
BS EN 13263

ASTM C1240-97

میکروسیلیس

مقایسه ذرات سیمان با میکروسیلیس

میکروسیلیس سیمان



متاکائولن

رس کائولن تخلیص شده

$$Al_2Si_2O_5(OH)_4 \xrightarrow{\text{حرارت}} Al_2O_3 2.SiO_2 + 2H_2O$$

يك سيليكات آلومينيوم سفيد رنگ و آمورف (بدون حالت بلوري شكل)

$Al_2O_3\ 2.SiO_2$

كائولن در يک پروسه حرارتي آب از دست داده يا اصطلاحا كلسينه می شود

متاکائولن

مشخصات شیمیایی یک نوع متاکائولن در مقایسه با کائولن و سیمان

متاکائولن	کائولن	سیمان پرتلند نوع I	
48	42	21/16	SiO_2
41	35	5/09	Al_2O_3
1/3	1/3	3/01	Fe_2O_3
3/1	3/1	66/22	CaO
1/8	1/8	1/27	MgO
0/2 + 0/16	0/17 + 0/1	0/25 + 0/04	K_2O+Na_2O
0/2	0/1	2/42	SO_3

متاکائولن

اثرات پوزولانی متاکائولن در بتن:

مرحله اول: واکنش هیدراتاسیون سیمان پرتلند

$$C_3S/C_2S\ (clinker) + H_2O \longrightarrow Calcium\ Silicate\ Hydrates\ (C\text{-}S\text{-}H) + Ca(OH)_2$$

مرحله دوم: واکنش پوزولانی

$$Ca(OH)_2 + MK + H \longrightarrow C\text{-}S\text{-}H + crystalline\ products\ (C_2ASH_8, C_4AH_{13}, C_3AH_6)$$

واکنش زایی شدید پوزولان به دلیل داشتن سطح مخصوص زیاد (اثر پرکنندگی فیزیکی) است

متاکائولن

طرح اختلاط نمونه های آزمایشی

کد طرح	C	MK5	MK10	MK15
سیمان	۴۰۰	۳۸۰	۳۶۰	۳۴۰
متاکائولن	۰	۲۰	۴۰	۶۰
درصد جایگزینی متاکائولن	**۰**	**۵**	**۱۰**	**۱۵**
شن بادامی	۲۹۵	۲۹۵	۲۹۵	۲۹۵
شن نخودی	۴۴۲	۴۴۲	۴۴۲	۴۴۲
ماسه	۹۹۶	۹۹۶	۹۹۶	۹۹۶
فیلر	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱	۱۱۱
آب	۱۵۲	۱۵۲	۱۵۲	۱۵۲
فوق روان ساز	۳/۲	۳/۲	۴	۴/۸
درصد فوق روان ساز نسبت به مصالح سیمانی	۰/۸	۰/۸	۱	۱/۲
(W/C)	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۳۸	۰/۳۸

روباره (سرباره)

- یک پوزولان صنعتی.
- محصول فرعی حاصل از تولید آهن در کارخانه ذوب آهن و فولاد.
- شکل اولیه متخلخل و پوفکی.
- ساختار اصلی شیشه ای و دانه ای.
- قطر متوسط ذرات 45 میکرون.
- دانه بندی ریز و تیز گوشه. ً

روباره (سرباره)

ترکیبات:

تنوع کانی های موجود در تولیدآهن باعث تغییر در ترکیبات روباره می شود و دامنه فراوانی عناصرشیمیایی آن متغیراست.

- مقدار اکسید سیلیس بین 15 تا 55 درصد.
- مقدار اکسید کلسیم بین 30 تا 50 درصد.
- ترکیبات آهن بین 10 تا 40 درصد.
- سایر عناصر هم بین 2 تا 15 درصد.

ویژگی های فیزیکی:

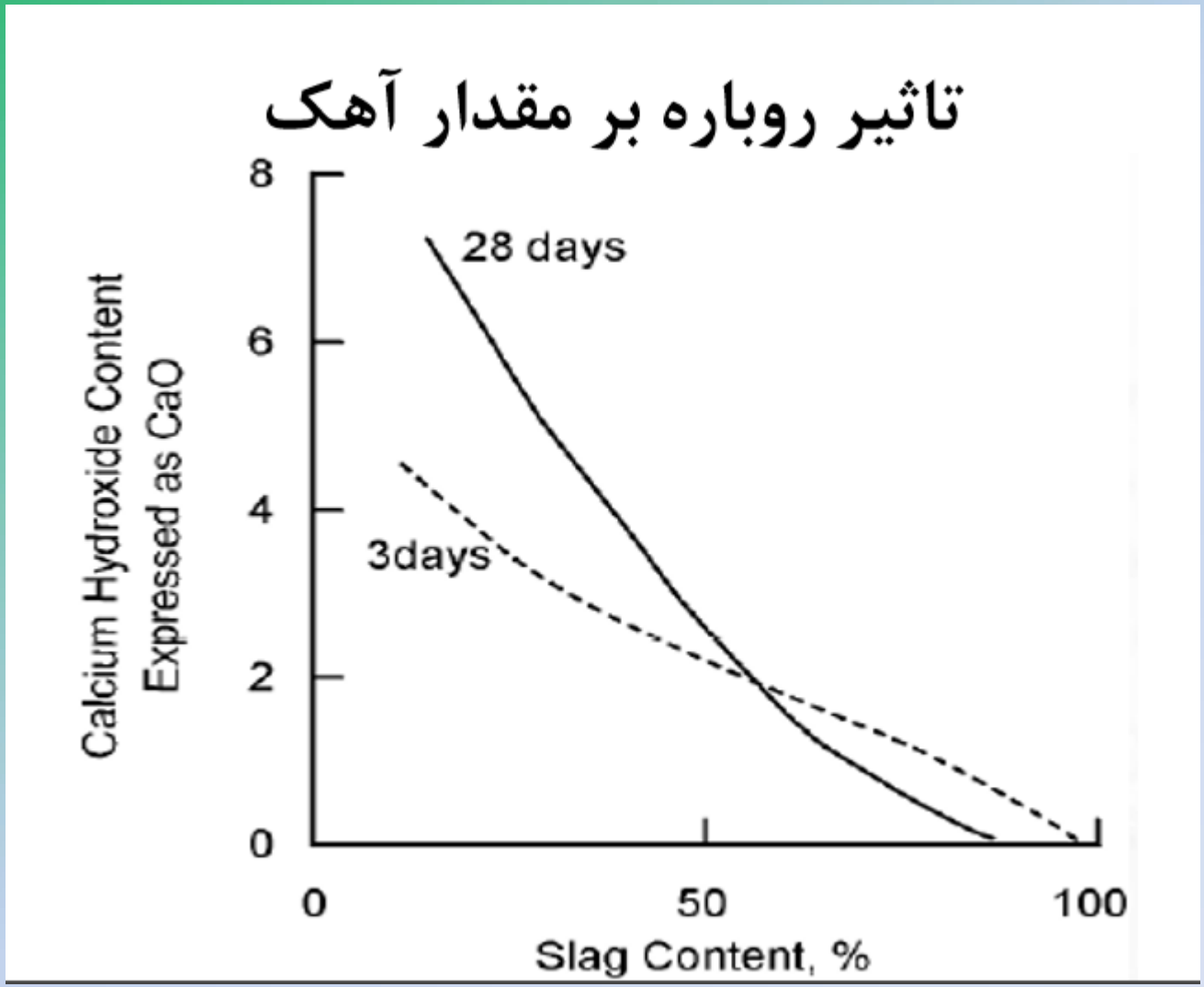
- وزن مخصوص: 3/2 تا 3/6
- وزن توده: 1600 تا 1920 کیلوگرم در مترمکعب

روباره (سرباره)

موارد استفاده:

- روباره پس از خردایش جایگزین بسیار مناسبی برای سیمان است.
-پوزولانی مناسب برای تولید سیمان روباره ای است.
- قابلیت جایگزینی با سیمان بین 20 تا 60 درصد دارد.
- درتولیدموادتعمیری به کارمی رود.
- محافظ بسیارخوبی برای میلگرداست.
- مقدار CSH رادربتن افزایش می دهد وباعث ازدیاد مقاومت و دوام می شود.

تاثیر روباره بر مقدار آهک



خاکسترباد‌ی

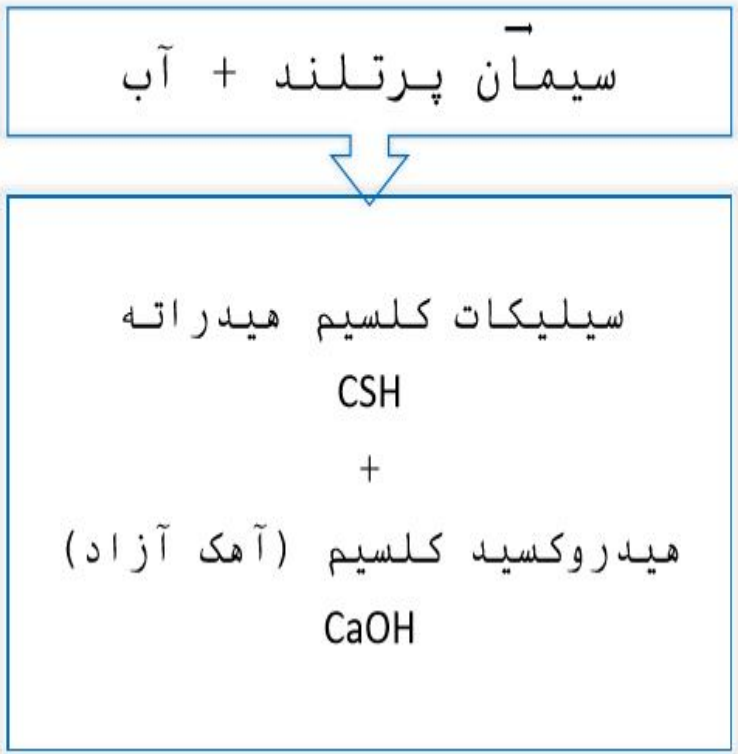
خاکستر بادی

- محصول فرعی نیروگاه های زغال سنگ
- دارای خصوصیات پوزولانی

%55/1	SiO2
%34/9	Al2O3
%3/7	Fe2O3
%3/6	CaO
%1/2	MgO
%0/44	Na2O
%0/73	K2O

خاکسترباد‌ی

عملکردخاکسترباد‌ی بعنوان یک پوزولان
موثردربتن:



خاکسترباد‌ی

تاثیرخاکسترباد‌ی بر دوام:

آب اضافی اختلاط پس از تبخیرباعث پیدایش تخلخل در بتن سخت شده می شود.

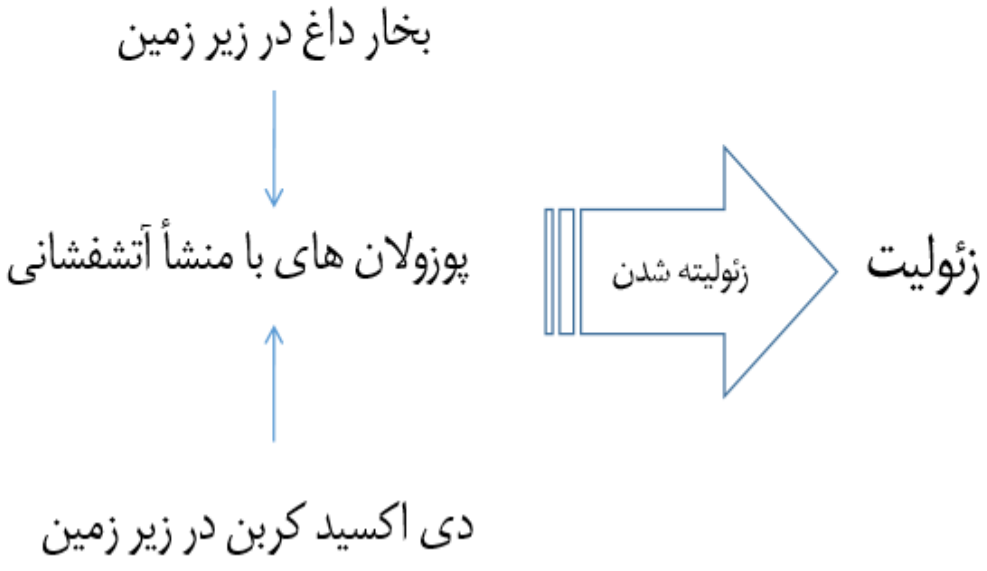
خمیرتولید شده از واکنش پوزولانی خاکستر باد‌ی منتج به تولید هیدرات سیلیکات کلسیم و باعث پر شدن خلل و فرج های ریز بتن می شود ودر نتیجه نفوذپذیری بتن کاهش می یابد.

به این ترتیب دوام بتن افزایش می یابد.

زئولیت

پوزولان طبیعی

ساختار سه بعدی داخلی زئولیت



زئولیت

ترکیب شیمیایی زئولیت بیشتر سیلیکاتی-آلومیناتی است.

- درصد اکسیدسیلیس بین 45 تا 65
- درصد اکسسیدآلومینیم بین 8 تا 12

تنوع رنگی آن زیاد است.

دامنه مصرف آن گسترده است.

ولی:

جذب آب آن زیاد است و حتما باید از فوق روان کننده در طرح اختلاط بتن حاوی زئولیت استفاده کرد.

سنگدانه

- سنگدانه ها که حدود ۷۵ درصد حجم بتن را تشکیل داده، کاملا خنثی و پرکننده نمی باشند و خواص فیزیکی، گرمایی و شیمیایی آنها بر عملکرد بتن تاثیرگذارند.
- بسیاری از خواص سنگدانه ها به خواص سنگ مادر بستگی دارد از قبیل ترکیبات شیمیایی و معدنی، مشخصه سنگ شناسی و کانی شناسی، چگالی، سختی، مقاومت، ثبات فیزیکی و شیمیایی، بافت منافذ و رنگ
- خواص مستقل سنگدانه از سنگ مادر: شکل ذرات و اندازه آنها، بافت سطحی و جذب آب

خواص کوتاه مدت سنگدانه ها

- اندازه
- شکل
- ناخالصی ها
- مقاومت
- درصد رطوبت و جذب آب
- سلامت
- در صد سولفات و کلراید

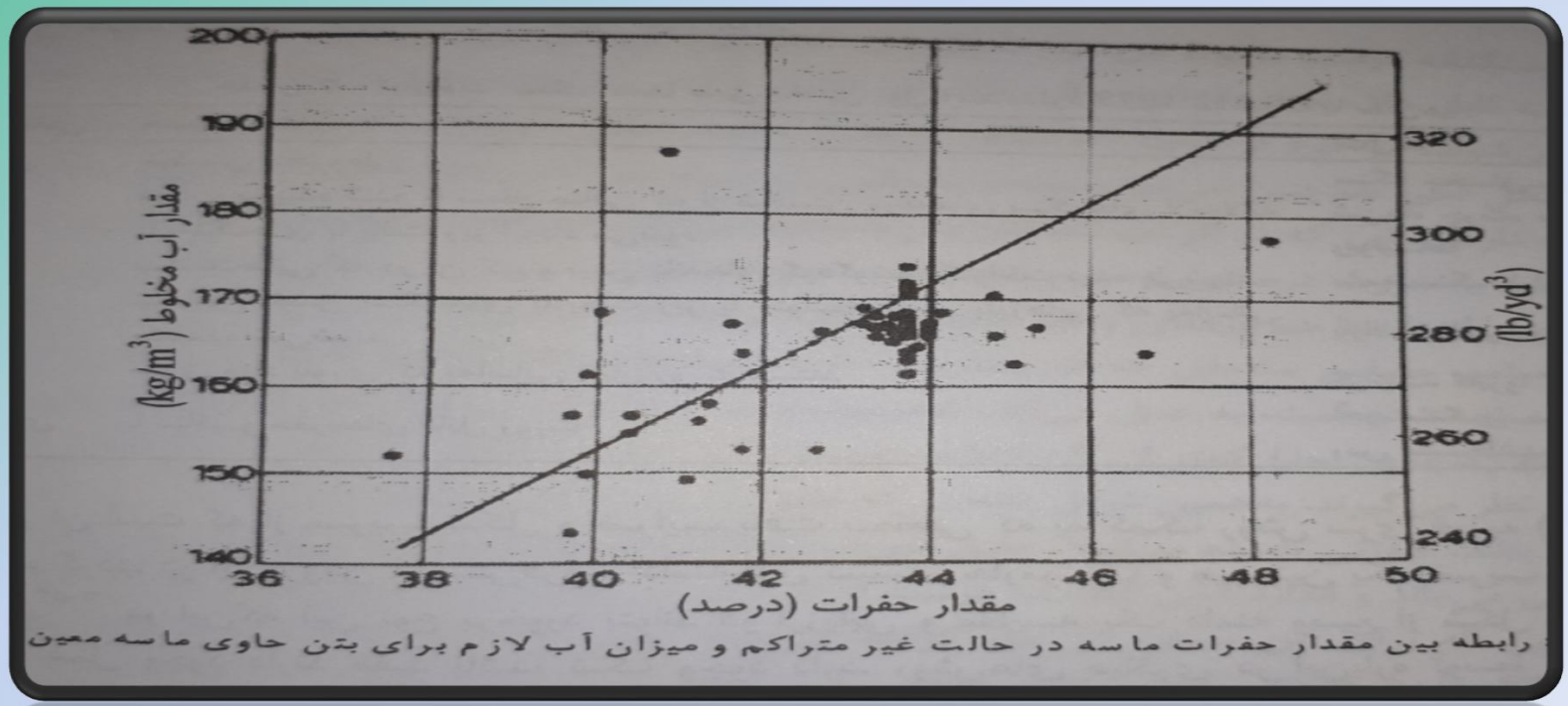
جدول ۳-۹: چگالی ظاهری گروه‌های مختلف سنگدانه‌ها[۳-۷]

گروه سنگ	چگالی متوسط	بازه چگالی
بازالت	۲/۸۰	۲/۶-۳/۰
سنگ چخماق	۲/۵۴	۲/۴-۲/۶
گرانیت	۲/۶۹	۲/۶-۳/۰
سنگ گریت	۲/۶۹	۲/۶-۲/۹
هورنفلس	۲/۸۲	۲/۷-۳/۰
سنگ آهک	۲/۶۶	۲/۵-۲/۸
پرفیری	۲/۷۳	۲/۶-۲/۹
کوارتزیت	۲/۶۲	۲/۶-۲/۷

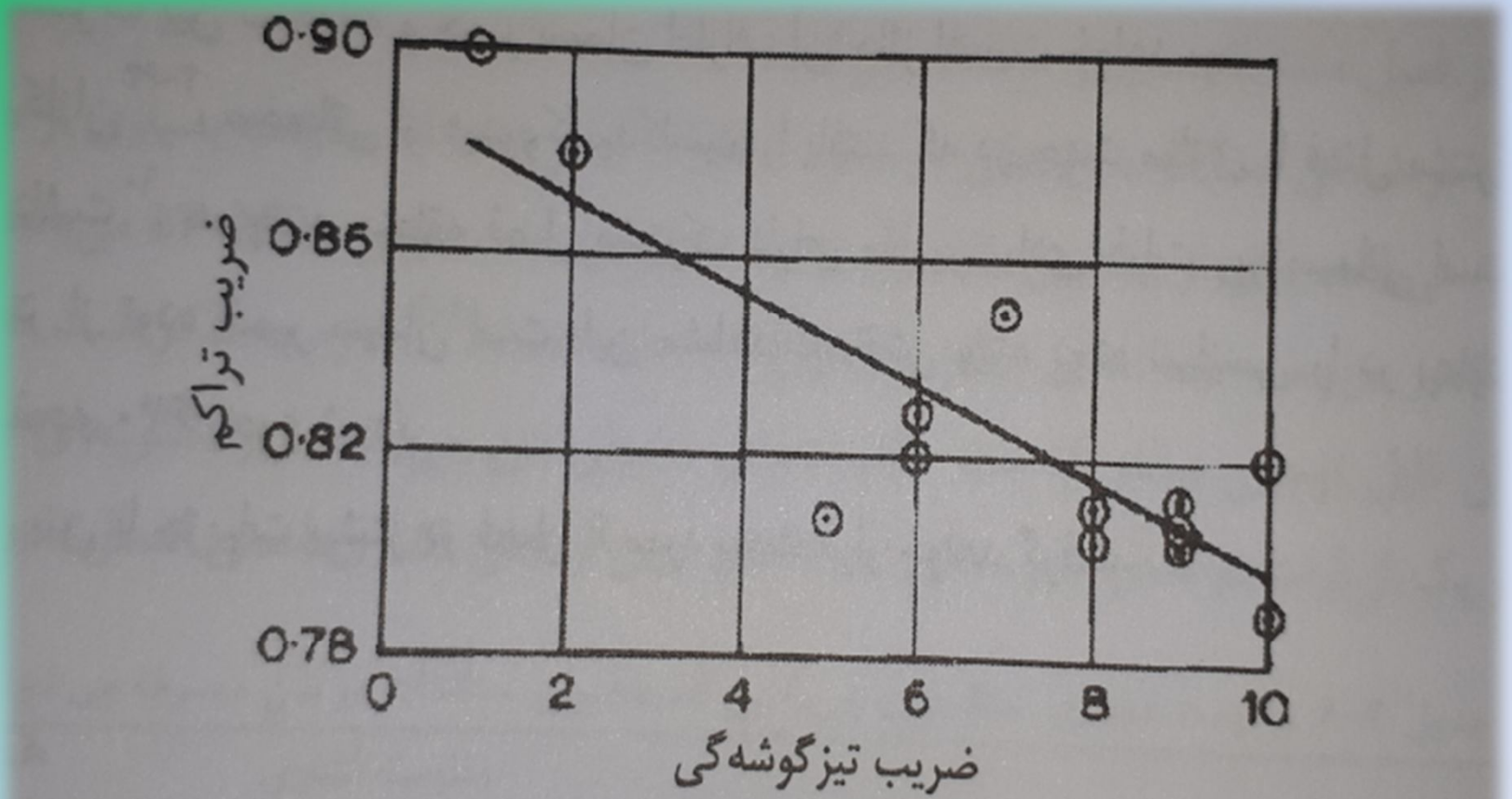
جدول ۳-۵: اهمیت نسبی خواص سنگدانه‌ها که بر مقاومت بتن اثر می‌گذارند

خاصیت بتن	اثر نسبی خواص سنگدانه‌ها (درصد)		
	شکل	بافت سطحی	مدول ارتجاعی
مقاومت خمشی	۳۱	۲۶	۴۳
مقاومت فشاری	۲۲	۴۴	۳۴

توجه: این مقادیر نسبت واریانس هر خاصیت به کل واریانس را با محسوب نمودن سه مشخصه سنگدانه‌ها در آزمایش‌های به‌عمل آمده بر روی سه مخلوط ساخته‌شده با ۱۳ نوع سنگدانه، نشان می‌دهد.



رابطه بین مقدار حفرات ماسه در حالت غیر متراکم و میزان آب لازم برای بتن حاوی ماسه معین



شکل ۳-۴: رابطه بین ضریب تیزگوشه‌گی سنگدانه و ضریب تراکم بتن حاوی سنگدانه معیز

مواد زیان آور در سنگدانه ها

- **نا خالصی های آلی**: سنگدانه های بایستی فاقد مواد عالی که در هیدراته شدن دخالت می کنند باشند.
- مواد آلی: خاک نباتی-ذرات گیاهان پوسیده

خاک رس در سنگدانه ها

- رس و لای مانع ایجاد پیوستگی بین دانه ها و خمیر سیمان می شود.
- گرد سنگ شکن با اندازه ذرات ۲ الی ۶۰ میکرون در صورتیکه ثبات شیمیایی داشته باشند و فاقد اثر زیان بار باشد، استفاده از آنها منعی ندارد.
- درصد عبوری از الک ۲۰۰

با در نظر گرفتن مراتب فوق لازم است که مقادیر رس، لای و گرد در سنگدانه‌ها کنترل شود. از آن‌جا که هیچ آزمایش جداگانه‌ای جهت تعیین میزان رس وجود ندارد، این آزمایش در استاندارد بریتانیا تجویز نشده است، اما استاندارد BS 882:1992 محدودیتی را برای حداکثر مقدار مواد گذشته از الک ۷۵μm (شماره ۲۰۰) قایل شده است:

- در سنگدانه درشت: ۲ درصد، وقتی‌که کل سنگدانه‌ها شکسته باشند، این مقدار به ۴ درصد افزایش می‌یابد.
- در سنگدانه ریز: ۴ درصد، وقتی‌که کل سنگدانه‌های آن شکسته باشند، به ۱۶ درصد افزایش می‌یابد.
- در سنگدانه‌های درهم (مخلوط طبیعی ریز و درشت): ۱۱ درصد.
- برای دال‌های کف با عملکرد قوی: ۹ درصد.

الزامات متناظر در استاندارد ASTM C33-93 برای سنگدانه‌های ریز، وقتی‌که بتن در معرض سایشی قرار می‌گیرد ۳ درصد و برای سایر بتن‌ها ۵ درصد است. برای سنگدانه‌های درشت این حد یک درصد است[۲۸]، اما استثناهای مختلفی در نظر گرفته شده‌اند.

---

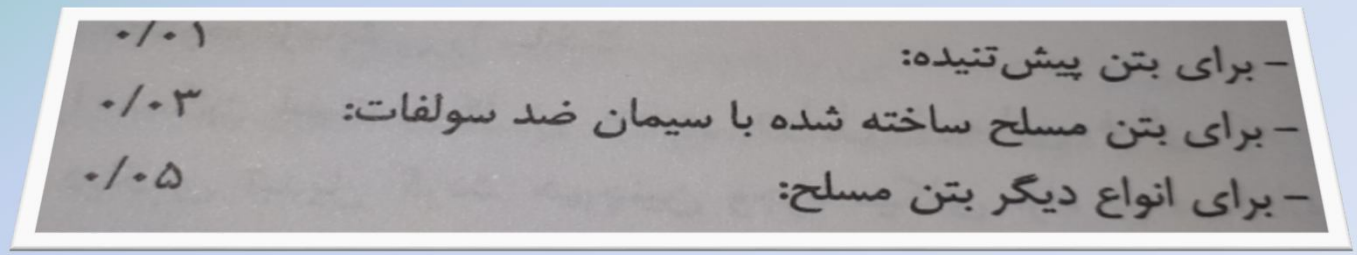
[۲۸] در صورتی‌که سنگدانه ریز شکسته شده باشد به این مقادیر ۲ درصد افزوده می‌شود. برای شن شکسته ۰/۵ درصد به مقدار آن می‌افزاییم (مترجم).

آلودگی با نمک

- **منابع و معادن:** ماسه بدست آمده از ساحل دریا یا استخراج شده از دریا یا مصب رودخانه و ماسه کویری

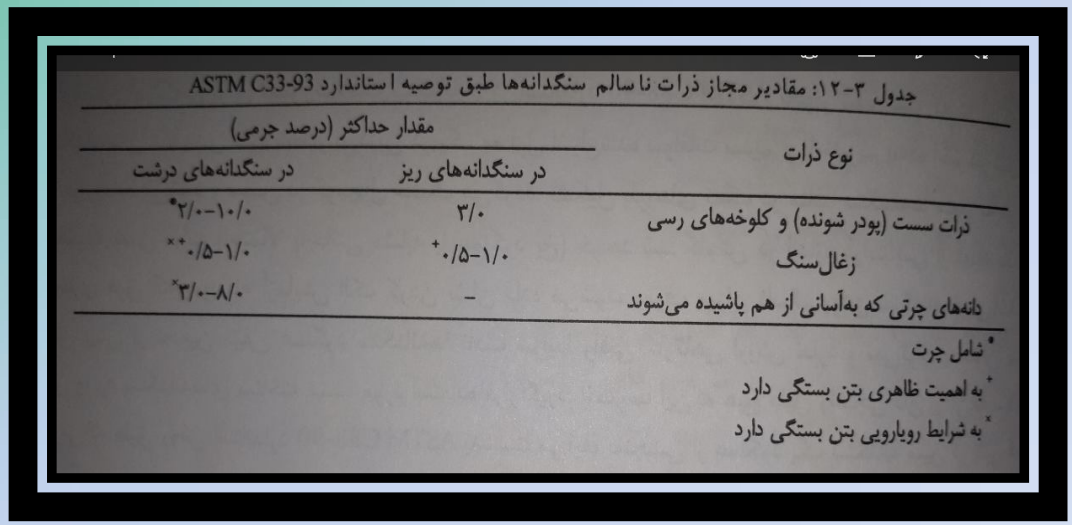
❖ **برخی مضرات**

- خطر خوردگی ناشی از کلریدها در میلگردها
- جذب رطوبت توسط نمک موجود در سنگدانه ها و سفیدک زدن



ذرات ناسالم

- شیل (شیست رسی)
- دانه های کم چگالی
- ذرات سست (نرم): کلوخه های رسی، چوب و زغال (کمتر از ۲ تا ۵ درصد از جرم سنگدانه ها باشند)
- میکا
- گچ و سایر سولفات ها
- چرت
- پیریت های آهن و مارکازیت



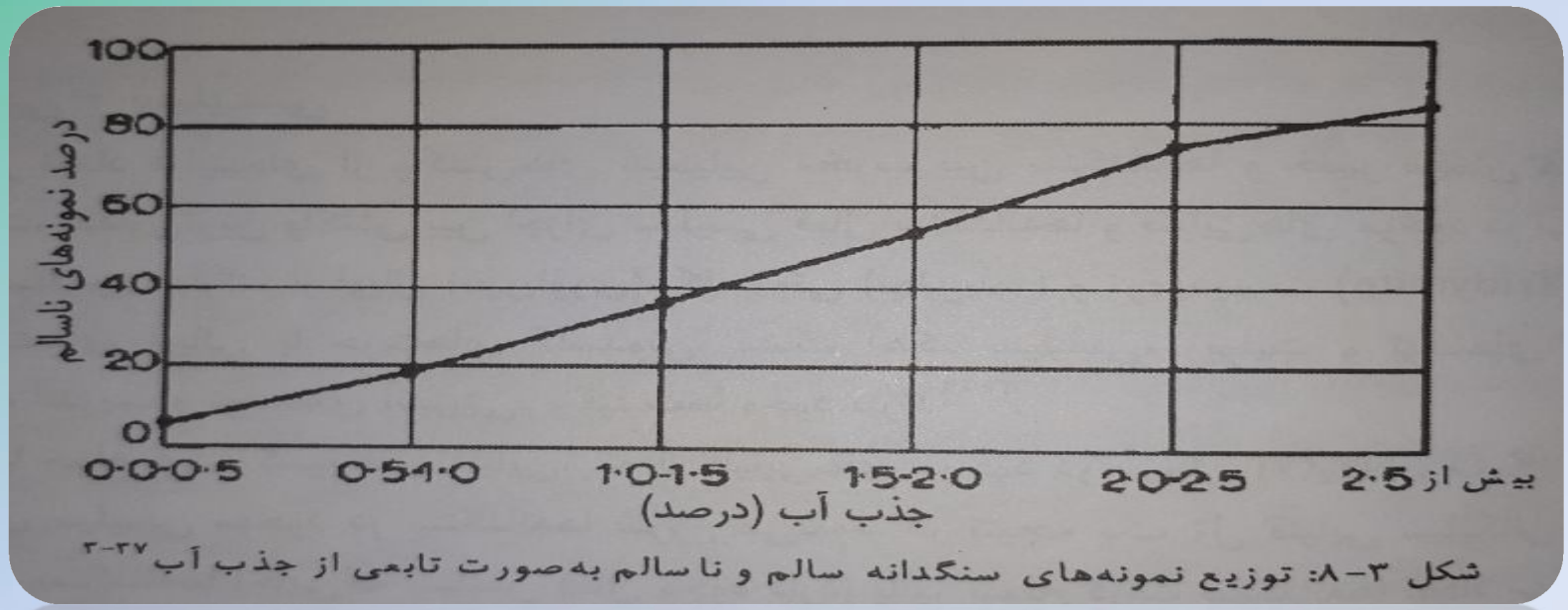
جدول ۳-۱۲: مقادیر مجاز ذرات ناسالم سنگدانه‌ها طبق توصیه استاندارد ASTM C33-93

نوع ذرات	مقدار حداکثر (درصد جرمی)	
	در سنگدانه‌های ریز	در سنگدانه‌های درشت
ذرات سست (پودر شونده) و کلوخه‌های رسی	۳/۰	۱۰/۰–۲/۰*
زغال‌سنگ	۱/۰–۰/۵+	۱/۰–۰/۵+×
دانه‌های چرتی که به‌آسانی از هم پاشیده می‌شوند	–	۸/۰–۳/۰×

* شامل چرت
+ به اهمیت ظاهری بتن بستگی دارد
× به شرایط رویارویی بتن بستگی دارد

سلامت سنگدانه

- قابلیت تحمل تغییرات حجمی زیاد سنگدانه ناشی از تغییرات شرایط فیزیکی مانند یخ زدن و آب شدن، تغییرات گرمایی در دماهای بالای نقطه انجماد و تر و خشک شدن پی در پی



شکل ۳-۸: توزیع نمونه‌های سنگدانه سالم و ناسالم به‌صورت تابعی از جذب آب [۳۷-۳]

مقاومت و دوام سنگدانه ها

- ارزش ضربه ای
- ارزش خرد شدن
- مغزه گیری
- سایش لس آنجلس

جدول ۳-۶: مقاومت فشاری سنگ‌های آمریکایی که به‌عنوان سنگدانه در بتن مصرف می شوند [۳-۶]

نوع سنگ	تعداد نمونه‌ها*	مقاومت فشاری		
		میانگین+ (MPa)	پس از حذف مقادیر کرانه‌ای×	
			حداکثر (MPa)	حداقل (MPa)
گرانیت	۲۷۸	۱۸۱	۲۵۷	۱۱۴
فلسیت	۱۲	۳۲۴	۵۲۶	۱۲۰
زینه‌سنگ (Trap)	۵۹	۲۸۳	۳۷۷	۲۰۱
سنگ‌آهک	۲۴۱	۱۵۹	۲۴۱	۹۳
ماسه‌سنگ	۷۹	۱۳۱	۲۴۰	۴۴
مرمر	۳۴	۱۱۷	۲۴۴	۵۱
کوارتزیت	۲۶	۲۵۲	۴۲۳	۱۲۴
گنایس	۳۶	۱۴۷	۲۳۵	۹۴
شیست	۳۱	۱۷۰	۲۹۷	۹۱

* برای اغلب نمونه‌ها مقاومت فشاری، مقدار متوسط برای ۳ تا ۱۵ آزمونه می‌باشد.

+ میانگین همه نمونه‌ها

× ۱۰ درصد کلیه نمونه‌های آزمایش‌شده از بیشترین و یا کمترین مقادیر، به‌عنوان نمونه غیرعادی حذف گردیده‌اند.

جدول ۳-۷: میانگین نتایج آزمایش برای گروه‌های مختلف سنگ‌های بریتانیا*

نوع سنگ	مقاومت خرد شدن (MPa)	عدد خرد شدن سنگدانه	مقدار سایش	عدد ضربه‌ای	عدد فرسایش اصطکاکی+		چگالی ذرات
					خشک	تر	
بازالت	۲۰۰	۱۲	۱۷/۶	۱۶	۳/۳	۵/۵	۲/۸۵
سنگ چخماق	۲۰۵	۱۷	۱۹/۲	۱۷	۳/۱	۲/۵	۲/۵۵
گابرو	۱۹۵	-	۱۸/۷	۱۹	۲/۵	۳/۲	۲/۹۵
گرانیت	۱۸۵	۲۰	۱۸/۷	۱۳	۲/۹	۳/۲	۲/۶۹
سنگ گریت	۲۲۰	۱۲	۱۸/۱	۱۵	۳/۰	۵/۳	۲/۶۷
هورنفلس	۳۴۰	۱۱	۱۸/۸	۱۷	۲/۷	۳/۸	۲/۸۸
سنگ آهک	۱۶۵	۲۴	۱۶/۵	۹	۴/۳	۷/۸	۲/۶۹
پرفیری	۲۳۰	۱۲	۱۹/۰	۲۰	۲/۶	۲/۶	۲/۶۶
کوارتزیت	۳۳۰	۱۶	۱۸/۹	۱۶	۲/۵	۳/۰	۲/۶۲
شیست	۲۴۵	-	۱۸/۷	۱۳	۳/۷	۴/۳	۲/۷۶

* با اجازه پروفسور J. F. Kirkaldy

+ مقدار کمتر معرف کیفیت بهتر است.

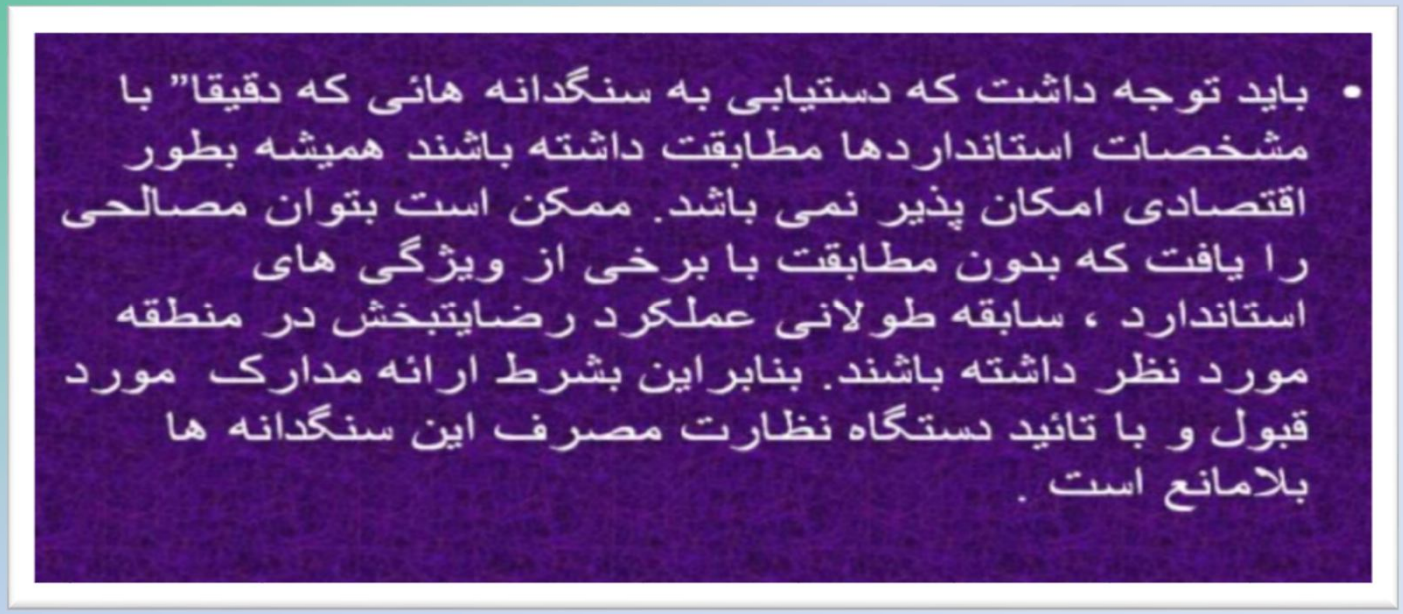
تواتر آزمایش سنگدانه‌های درشت

- دانه بندی (یکبار در روز) ✓
- تمیزی دانه ها (یک بار در روز) ✓
- شکل دانه ها (درصورت لزوم) ✓
- درصد دانه‌های شکسته (درصورت لزوم) ✓

تواتر آزمایش سنگدانه‌های ریز

- ✓ دانه بندی (دو بار در روز)
- ✓ تمیزی دانه‌ها (یک بار در روز)
- ✓ ارزش ماسه‌ای (یک بار در روز)
- ✓ درصد مواد آلی (در صورت لزوم)

- شناخت مواد تشکیل دهنده سنگدانه ها به تنهایی نمی تواند ملاک پیش بینی رفتار آنها در زمان بهره برداری باشد. سابقه عملکرد سنگدانه ها در محیط واقعی مورد نظر بسیار با ارزش است.



خواص دراز مدت سنگدانه ها

- واکنش قلیایی سیلیسی
- واکنش قلیایی کربناتی

دلایل عمده از هم پاشیدن سازه های بتن مسلح

- واکنش های قلیایی سیلیسی

مکانیزم واکنش قلیایی سیلیسی دربتن

یون قلیائی ها (سدیم وپتاسیم) از سیمان پرتلند یا هرمنبع دیگردرآب موجود درمنافذ داخلی بتن حل می شوند وباعث افزایش غلظت هیدراکسید شده و منجر به حل شدن سیلیس آمورف موجود در بعضی از سنگدانه ها می گردند. با ترکیب با قلیایی ها، این واکنش ژل سیلیسی قلیایی رابوجود می آورد که می تواند رطوبت جذب نموده ومنبسط شود. هنگامی که تنش داخلی ایجاد شده به بیش از مقاومت کششی بتن برسد ترک خوردگی ایجاد می شود. این ترکها خود می توانند محل نفوذ عوامل مخرب دیگر بداخل بتن شوند وخسارت تشدید می گردد.

از هم پاشیدن بتن در پایه پل بتنی در اثر واکنش قلیایی - سیلیسی

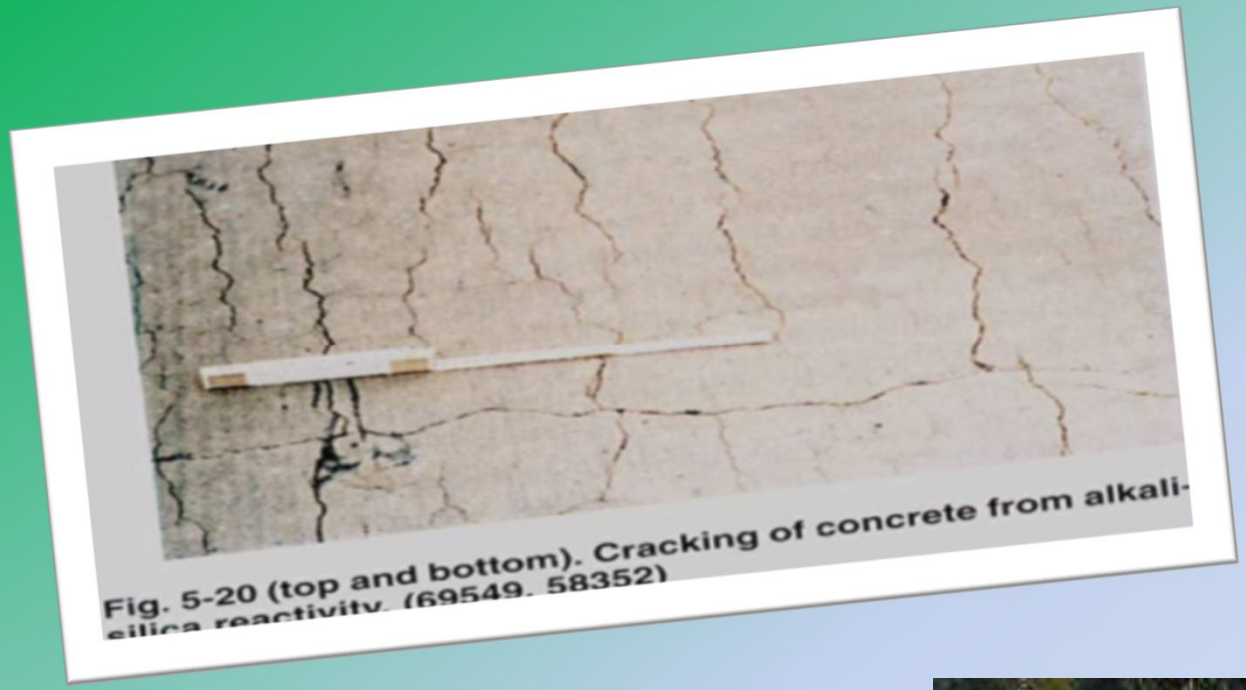


Fig. 5-20 (top and bottom). Cracking of concrete from alkali-
silica reactivity. (69549, 58352)

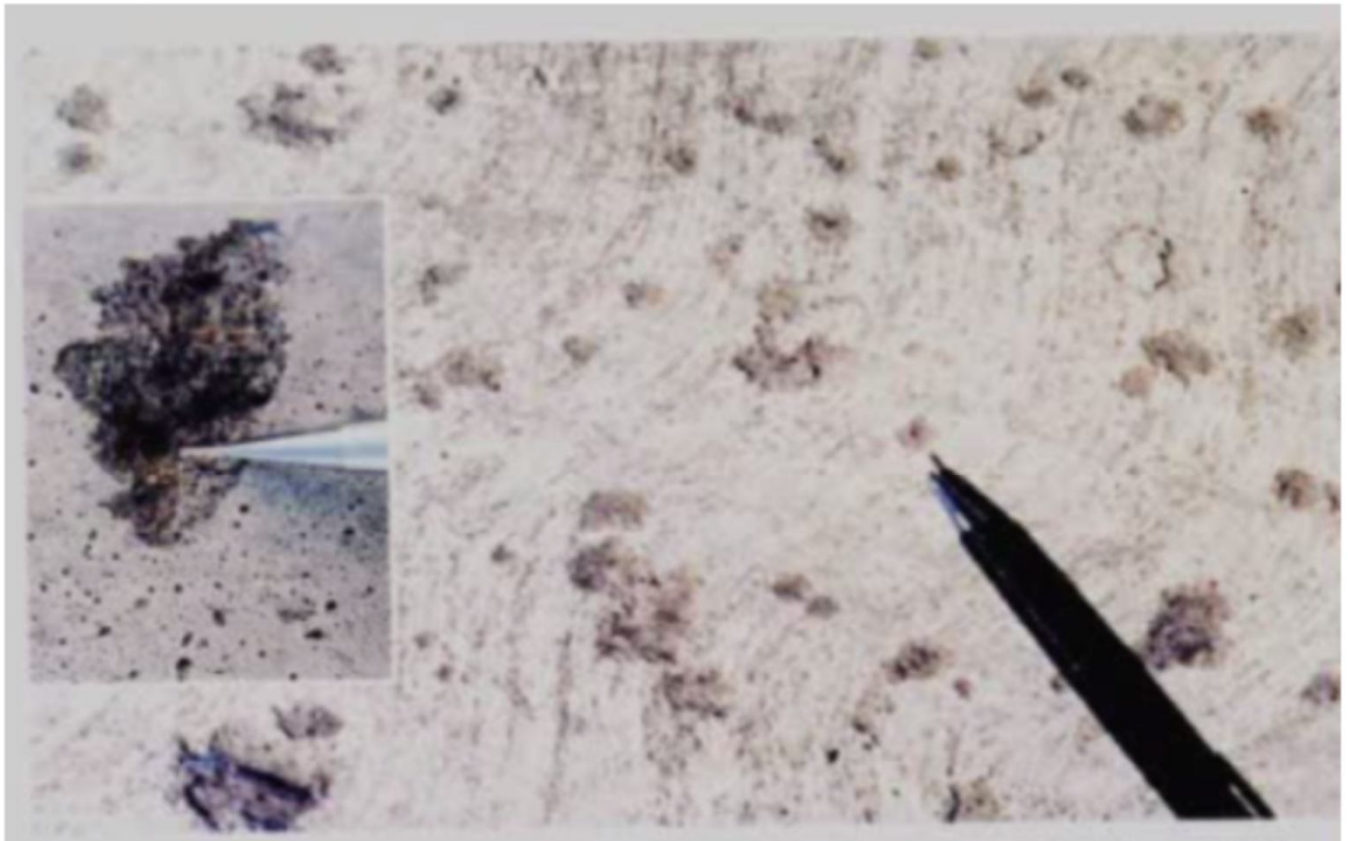


Fig. 5-21. Popouts caused by ASR of sand-sized particles. Inset shows closeup of a popout. (51117, 51118)

Table 5-7. Some Potentially Harmful Reactive Minerals, Rock, and Synthetic Materials

Alkali-silica reactive substances*		Alkali-carbonate reactive substances**
Andesites	Opal	Calcitic dolomites
Argillites	Opaline shales	Dolomitic limestones
Certain siliceous limestones and dolomites	Phylites	Fine-grained dolomites
Chalcedonic cherts	Quartzites	
Chalcedony	Quartzoses	
Cristobalite	Cherts	
Dacites	Rhyolites	
Glassy or cryptocrystalline volcanics	Schists	
Granite gneiss	Siliceous shales	
Graywackes	Strained quartz and certain other forms of quartz	
Metagraywackes	Synthetic and natural silicious glass	
	Tridymite	

جلوگیری از خسارت ناشی از واکنش قلیایی سیلیسی دربتن

- عدم استفاده از سنگدانه های واکنش زا
- استفاده از سیمان با قلیایی کم
- کاهش نفوذپذیری بتن
- استفاده از مواد افزودنی بازدارنده واکنش زائی براساس املاح لیتیوم
- استفاده از مواد پوزولانی مصنوعی یا طبیعی

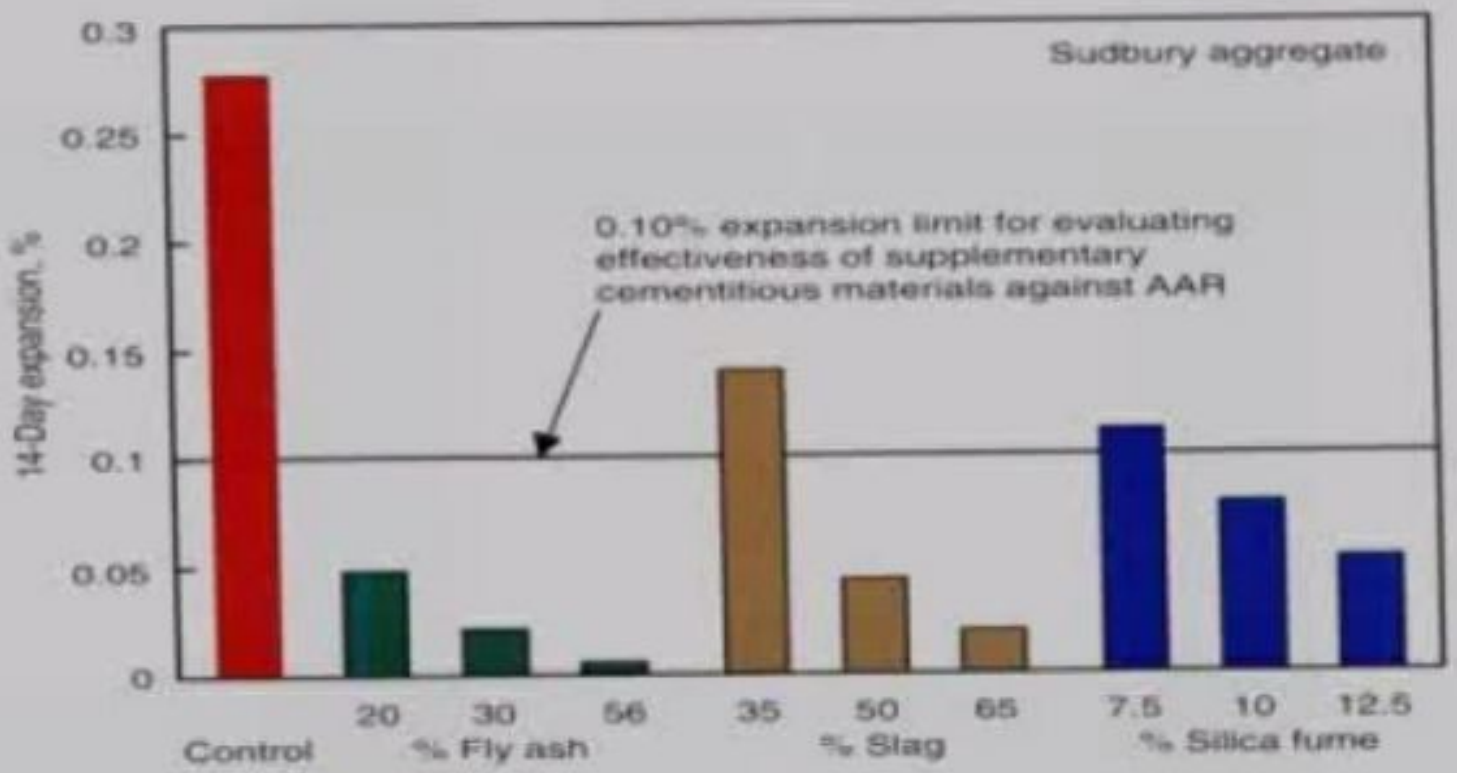


Fig. 5-23. Influence of different amounts of fly ash, slag, and silica fume by mass of cementing material on mortar bar expansion (ASTM 1260) after 14 days when using reactive aggregate (Fournier 1997).

آزمایشهای موجود واکنش قلیایی سیلیسی

ASTM C295پتروگرافی طبق استاندارد

ASTM C289آزمایش سریع شیمیایی طبق استاندارد

(برای سنگدانه های با واکنش زایی شدید)

ASTMC227آزمایش ملات منشوری طبق استاندارد

(برای سنگدانه های با واکنش زائی متوسط)

ASTM C1260 آزمایش سریع ملات منشوری

ASTM C1263آزمایش ملات بتنی

کنترل واکنشهای قلیائی سیلیسی (ASR) در بتن های جدید

بهترین روش برای اجتناب از واکنش های ASR در بتن اقدامات مناسب قبل از بتن ریزی است.

- جنانچه سابقه عملکرد سنگدانه در بتن در محل مورد نظر موجود باشد و نشانه ای از ASR در این بتن ها وجود نداشته باشد نیاز به اقدامات یا الزامات خاصی نخواهد بود.
- نتایج آزمایشهای ویژه ASR و الزامات تعیین شده ممکنست نیازمند اصلاحاتی باشد تا ASR کنترل گردد. تفسیر نتایج آزمایشها و اصلاحات مربوطه باید با دقت ویژه صورت گیرد تا حق انتخاب تولید کننده بتن را محدود ننماید و بار اقتصادی زیاد ایجا ننماید.

توصیه برای کاهش واکنشهای قلیایی- سیلیسی سنگدانه ها

۱- حداقل شش ماه قبل از شروع عملیات اجرائی پروژه مصالح ساخت بتن مورد ارزیابی وتائید قرار گیرند.
۲- از سنگدانه های واکنش زا مانند اوپال ، کلسدونی ، بعضی از چرتها ، بعضی از دولومیتها استفاده نشود
۳- از سیمان با قلیائی کم استفاده شود
$(Na_2O+0.658K_2O<0.6$
۴- حتی الامکان سازه خشک نگاهداری شود.
۵- از میکروسیلیس یا خاکستربادی درساخت بتن استفاده شود.

واکنش قلیائی کربناتی (ACR)

برخی از سنگدانه های کربناتی مانند دولومیت آهکی ، سنگ آهک دولومیتی و دولومیت های با بافت ریز با قلیائی های موجود در بتن واکنش نشان داده و باعث انبساط های مخرب می شوند. سنگدانه‌های واکنش زا معمولاً حاوی کریستال های بزرگ دولومیت که در داخل سنگدانه بخش شده و با ریزدانه هائی از جنس کلسیت وخاک رس احاطه شده اند. کلسیت نوعی از کانی کربنات کلسیم است. دولومیت نامی برای سنگ کربنات کلسیم – منیزیم است.

ملاحظات اقتصادی

- بطورکلی سهم هزینه سنگدانه ها در قیمت کل بتن نسبتا" کم است مگر آنکه سنگدانه های ویژه ای مشخص شده باشند.

- هزینه سنگدانه ها معمولا" توسط عوامل زیرکنترل می شود.
- در دسترس بودن
- هزینه های فرآوری
- فاصله حمل به کارگاه

- پارامترهای زیر برمقاومت بتن و هزینه های جابه جائی ،درجا ریختن وپرداخت سطح بتن تاثیرمی گذارند.
- تمیز بودن سنگدانه ها
- دوام سنگدانه ها
- شکل ودانه بندی سنگدانه ها
- جذب آب سنگدانه ها
- نیاز به سیمان سنگدانه ها

- درک کامل تاثیر این عوامل وارتباط بین آنها در هنگام طرح مخلوط بتن تاثیرعمده ای برقیمت نهائی بتن درکارگاه خواهد داشت

نتیجه گیری

- سنگدانه ها که ¾ حجم بتن راتشکیل می دهند نقش عمده ای درخواص کوتاه مدت ودراز مدت بتن دارند.
- به نتایج آزمایشهای کوتاه مدت که نمی توانند عملکرد درازمدت بتن را مشخص نمایند نباید اکتفا نمود.
- واکنش های قلیایی سیلیسی وقلیایی کربناتی می توانند عمربتن را کاهش دهند.
- درتفسیر نتایج آزمایشهای واکنش زائی دقت لازم است تا مفید واقع گردند.
- بکارگرفتن توصیه های ارائه شده می تواند خطر واکنش قلیایی سنگدانه ها را کاهش دهد.

شرایط آب مصرفی در بتن

۱- آب آشامیدنی بدون مزه و بو- تمیز و صاف باشد

۲- حداکثر مقدار مجاز مواد زیان آور در آب مصرفی در بتن بیشتر از استاندارد نباشد.
مواد زیان آور شامل:

- ذرات معلق جامد
- مواد محلول در آب
- یون کلراید
- یون سولفات
- میزان قلیایی (اکسید پتاسیم و اکسید سدیم)

۳- pH آب مصرفی در بتن کمتر از ۵ و یا بیشتر از ۸/۵ نباشد.

۴- کنترل مقاومت ۷ و ۲۸ روزه آزمونه های ملات ساخته شده با آب غیر آشامیدنی

۵- کنترل زمان گیرش اولیه خمیر سیمان ساخته شده با آب غیر آشامیدنی

۶- کنترل نتیجه انبساط حجم آزمایش سلامت سیمان

۷- کنترل میزان چربی معدنی آب مصرفی: کمتر از ۲/۵ درصد وزن سیمان مصرفی

با تشکر از توجه و همراهی شما