

سیمان پرتلند

مضامین پور
دکتر پرتلند
تکنولوژی بتن پیشرفته
سیمان پرتلند
جزوه سیمان

Portland Cement



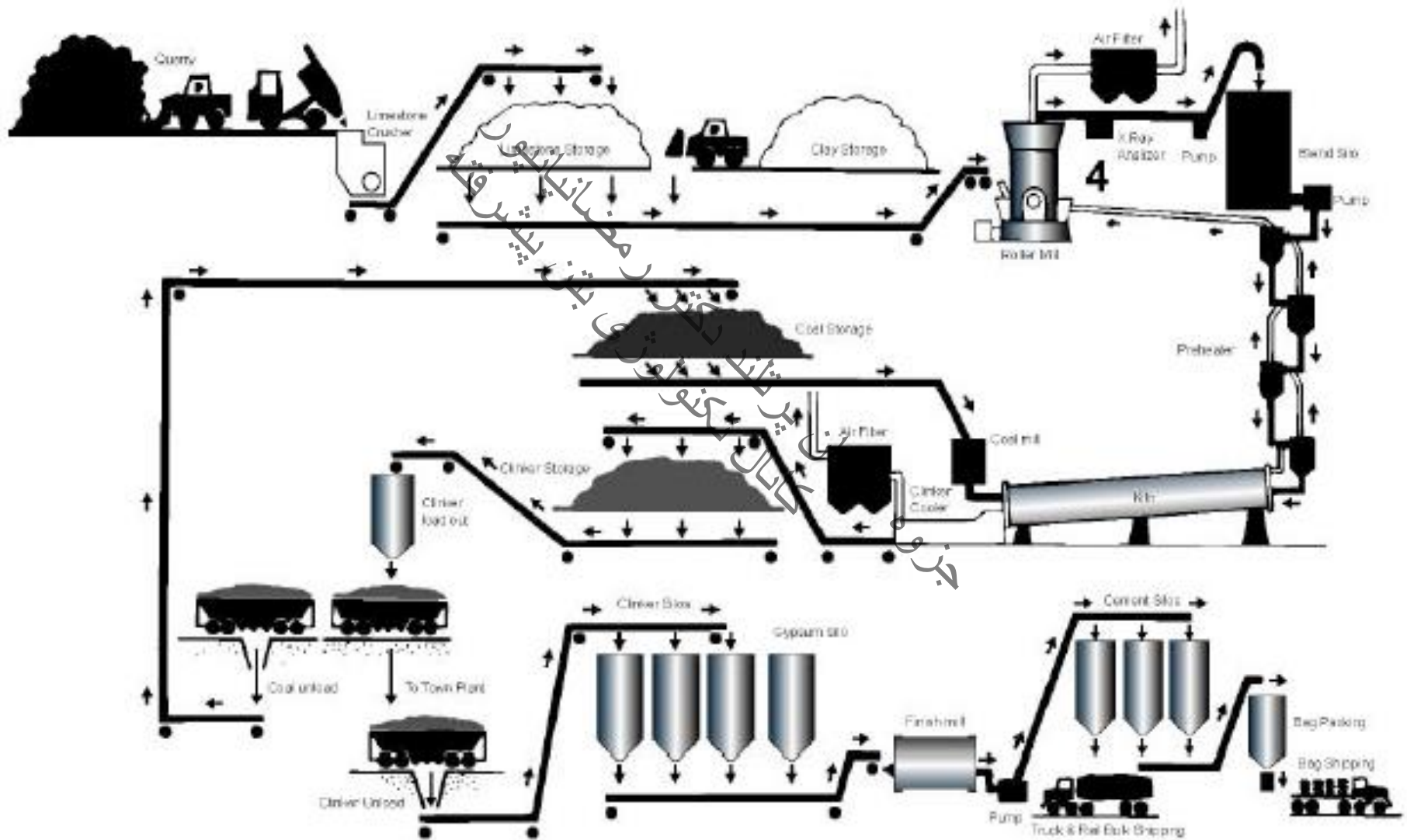
تعریف

- 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 پایداری دارند.**
- **سیمان پرتلند** معمولاً از **سیلیکات های 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.

تولید سیمان



مواد خام

- مصالح کربنات کلسیم دار مانند، سنگ آهک فسیلی، مارن و صدف دریایی، منابع صنعتی معمول کلسیم می باشند ← 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 قلیایی ها نیز هست که تأثیری جدی در تشکیل سیلیکات های کلسیم به عنوان گدازآور دارند

مواد خام



جزوہ سیمن پرتلند دکنڈر رمضانیاپور
کانال تکنولوژی بتن پیشرفه

خردایش

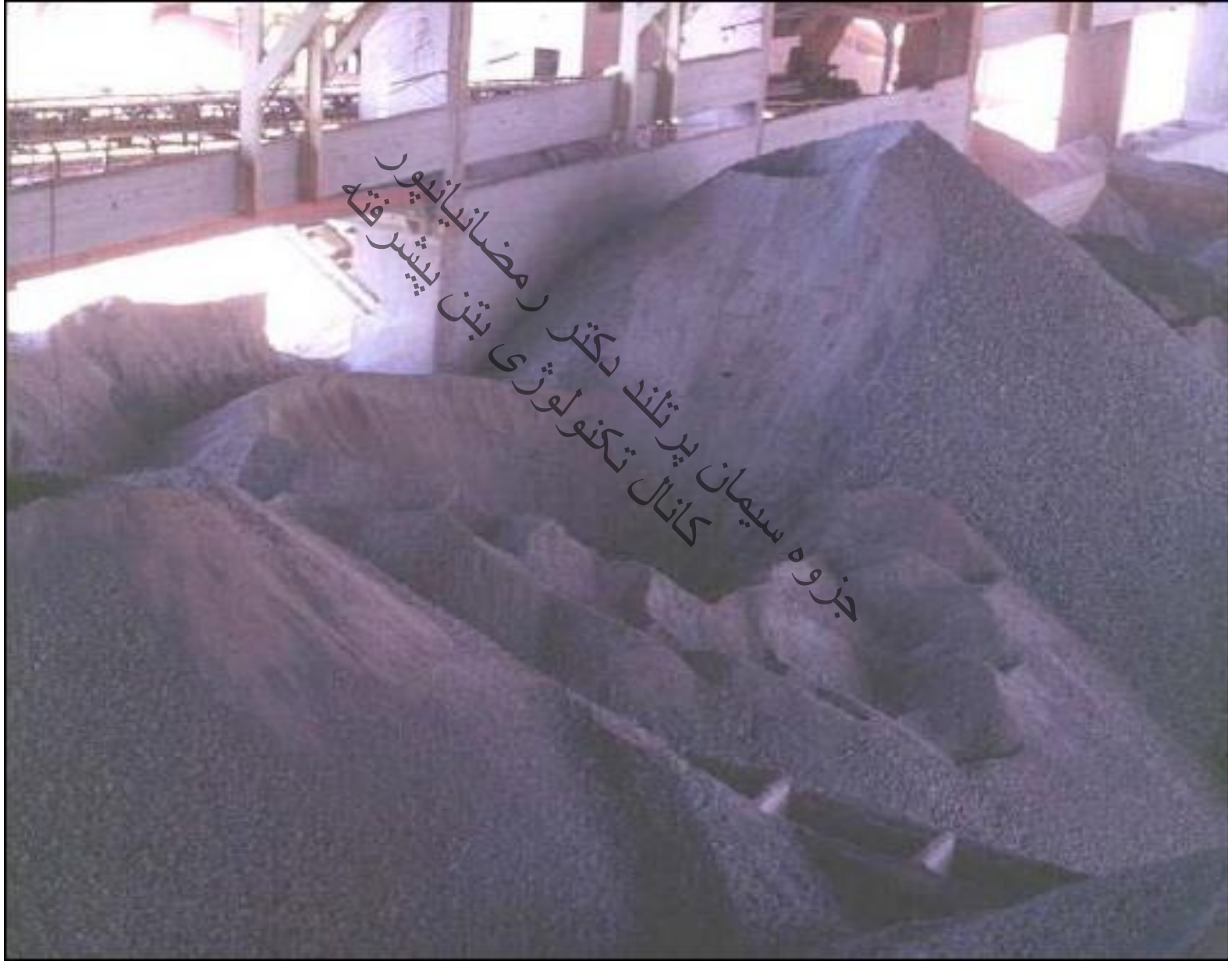
- برای تسهیل در تشکیل ترکیبات مطلوب در کلینکر سیمان پرتلند، لازم است که مخلوط مواد خام قبل از حرارت دادن خوب همگن شده باشند.
- بنابراین یک سری عملیات بر روی مصالح استخراج شده، از جمله خرد کردن، آسیاب کردن و مخلوط کردن انجام می شود.
- از تجزیه شیمیایی مصالح انبارشده، و ترکیب شیمیایی ترکیبات مطلوب در محصول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

خردایش

جزیره سیمان پرتلند دکتر رمضانپور
کانال تکنولوژی بتن پیشرفته



اختلاط



جزوہ سیمان پرتلند دکنٹر رمضانیاپور
کانال تکنولوژی بتن پیشرفته

پخت

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

Limestone : $\text{CaO} + \text{CO}_2$

Clay : $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$

Clay + Limestone $\rightarrow$ $3\text{CaO}.\text{SiO}_2$

$2\text{CaO}.\text{SiO}_2$

$3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$

$4\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3.\text{Fe}_2\text{O}_3$

پخت

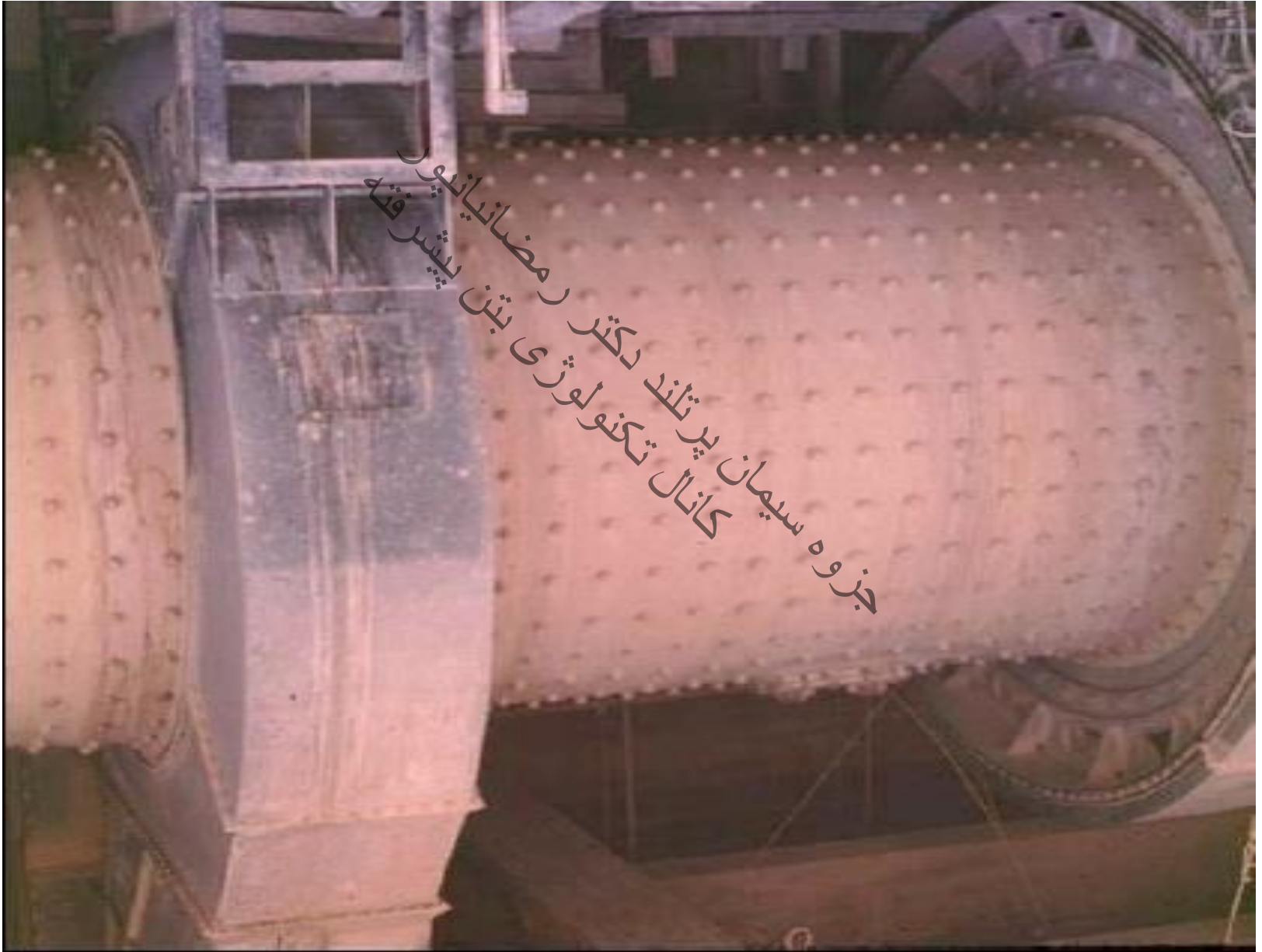


جزوه سیمان پرتلند دکتر رمضانپور
کانال تکنولوژی بتن پیشرفته

آسیاب کردن

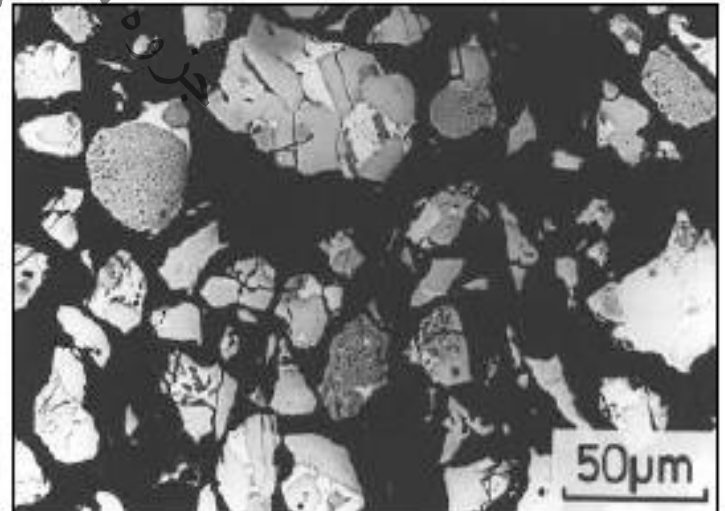
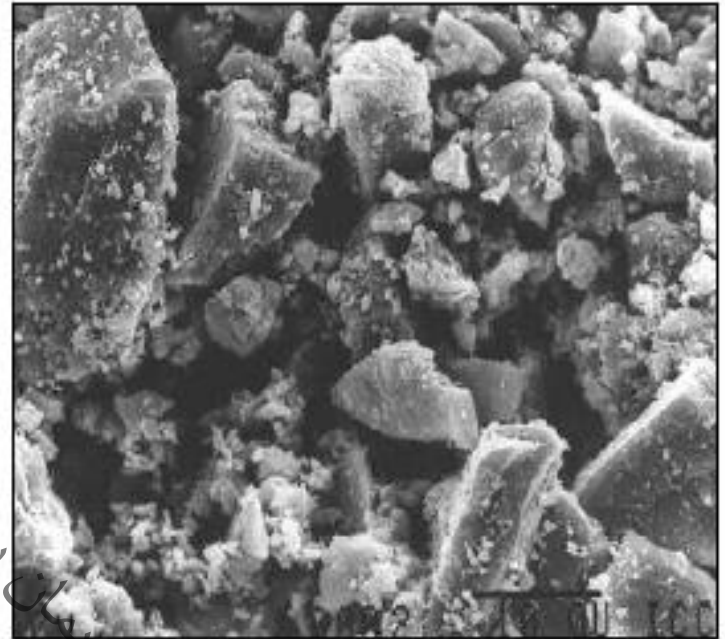
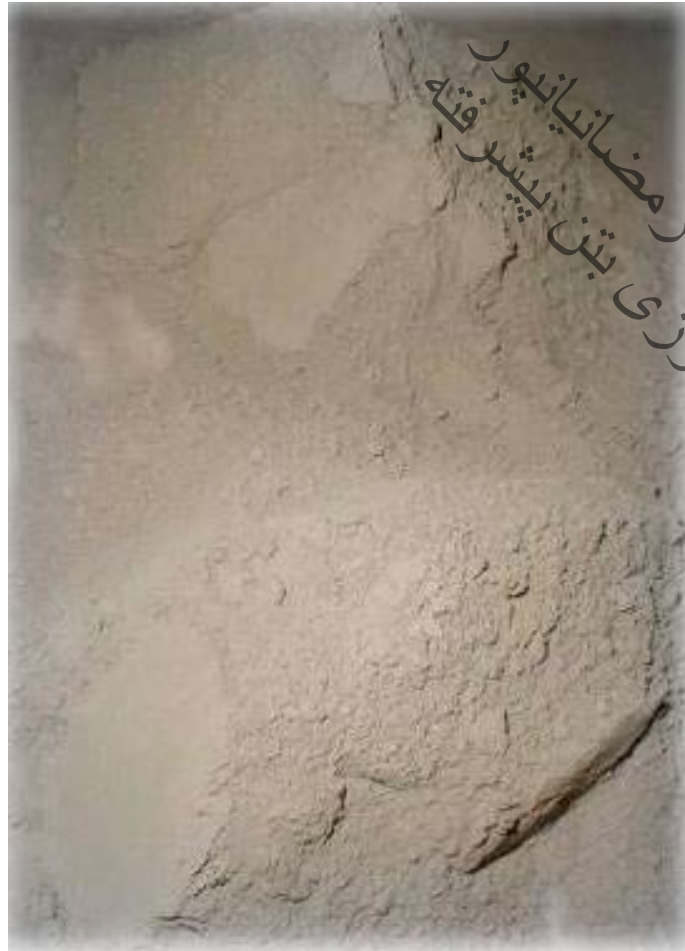
- عمل نهایی فرآیند تولید سیمان پرتلند، شامل پودر کردن کلینکر به ذرات با قطر اکثراً کمتر از ۷۵ میکرون می باشد.
- این عمل در آسیاب گلوله‌ای یا آسیاب نهایی انجام می گیرد.
- معمولاً به همراه کلینکر تقریباً ۵ درصد گچ یا سولفات کلسیم آسیاب می شود تا واکنش‌های بگیرش و سخت‌شدگی زودهنگام سیمان کنترل گردند.

آسیاب کردن



جزوه سیمان پرتلند دکتر رمضانپور
کانال تکنولوژی بتن پیشرفته

دانه های سیمان



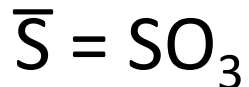
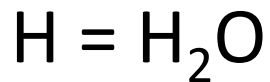
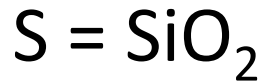
تأثیرات زیست محیطی

- 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.



نامگذاری

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



جزوه سیمان پرتلند دکتر رمضانپور
کانال تکنولوژی بتن پیشرفته

ترکیبات موجود در سیمان

- چهار ترکیب اصلی تشکیل دهنده سیمان عبارتند از:



- ترکیبات فرعی سیمان عبارتند از:



مکانال سیمان پرتلند دکتر رمضانپور
بخش راهبردی بتن پیشرفته

تخمین ترکیبات موجود در سیمان

- مقدار ترکیبات سیمان پرتلند را از روی نتایج تجزیه اکسیدها، با استفاده از معادلاتی که در ابتدا توسط بوگ (R. H. Bogue) تهیه شده است، محاسبه می کنند.
- این معادلات برای سیمان‌های پرتلند دارای نسبت A/F به میزان 0.64 یا بیشتر کاربرد دارند.
- در معادلات بوگ فرض می شود که واکنش‌های شیمیایی تشکیل ترکیبات کلینکر کاملاً تکمیل شده‌اند و وجود ناخالصی‌هایی مانند MgO و قلیایی‌ها نادیده گرفته می شوند.

معادلات بوگ

$$\%C_3S = 4.071 C - 7.6 S - 6.718 A - 1.43 F - 2.85 \bar{S}$$

$$\%C_2S = 2.867 S - 0.7544 \%C_3S$$

$$\%C_3A = 2.65 A - 1.692 F$$

$$\%C_4AF = 3.043 F$$

جزوه سیمنان پرتلند دکتر محمد شاکر نیلوفر
کمال تکنولوژی بتن

معادلات بوگ – مثال

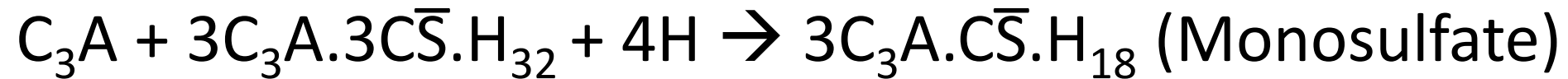
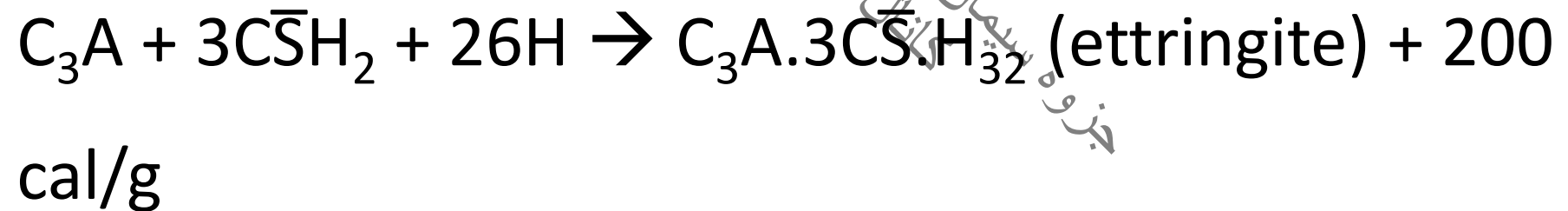
اکسید	سیمان شماره 1	سیمان شماره 2	سیمان شماره 3	سیمان شماره 4	سیمان شماره 5
S	21/1	21/1	21/1	20/1	21/1
A	6/2	5/2	4/2	7/2	7/2
F	2/9	3/9	4/9	2/9	2/9
C	65/0	65/0	65/0	65/0	64/0
$\bar{S}$	2/0	2/0	2/0	2/0	2/0
باقی	2/8	2/8	2/8	2/8	2/8

ترکیب اجزای سیمان	سیمان شماره 1	سیمان شماره 2	سیمان شماره 3	سیمان شماره 4	سیمان شماره 5
C_3S	53/7	58/0	62/3	53/6	42/0
C_2S	19/9	16/2	12/5	17/2	28/8
C_3A	11/4	7/1	2/8	14/0	14/0
C_4AF	8/8	11/9	14/9	8/8	8/8

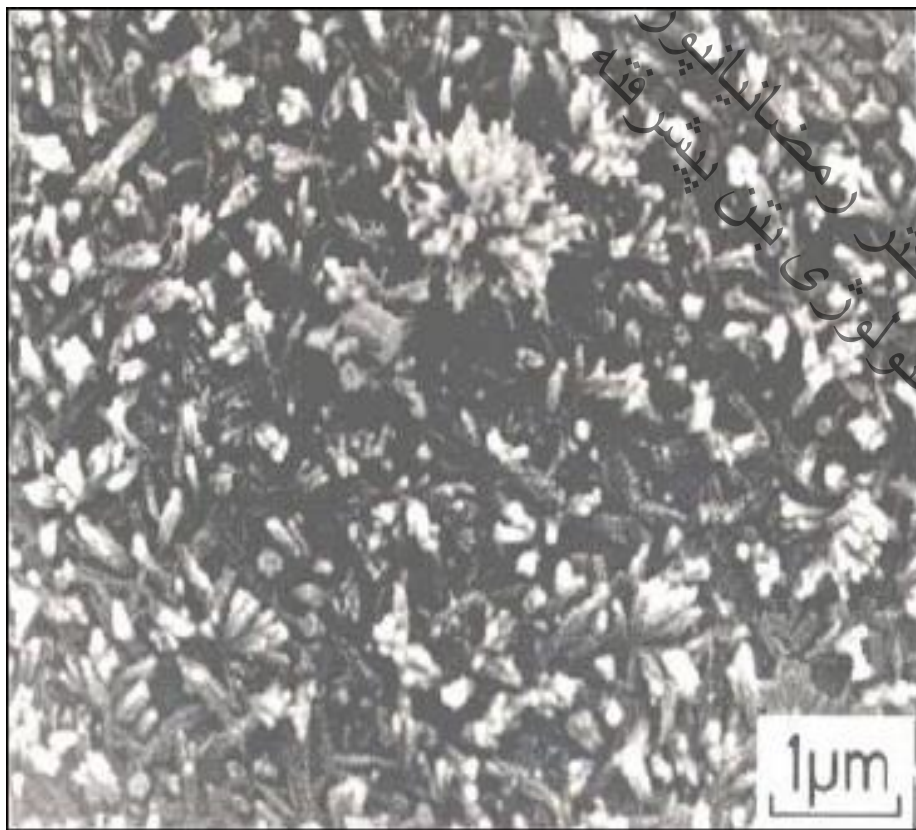
واکنشهای هیدراتاسیون

- 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

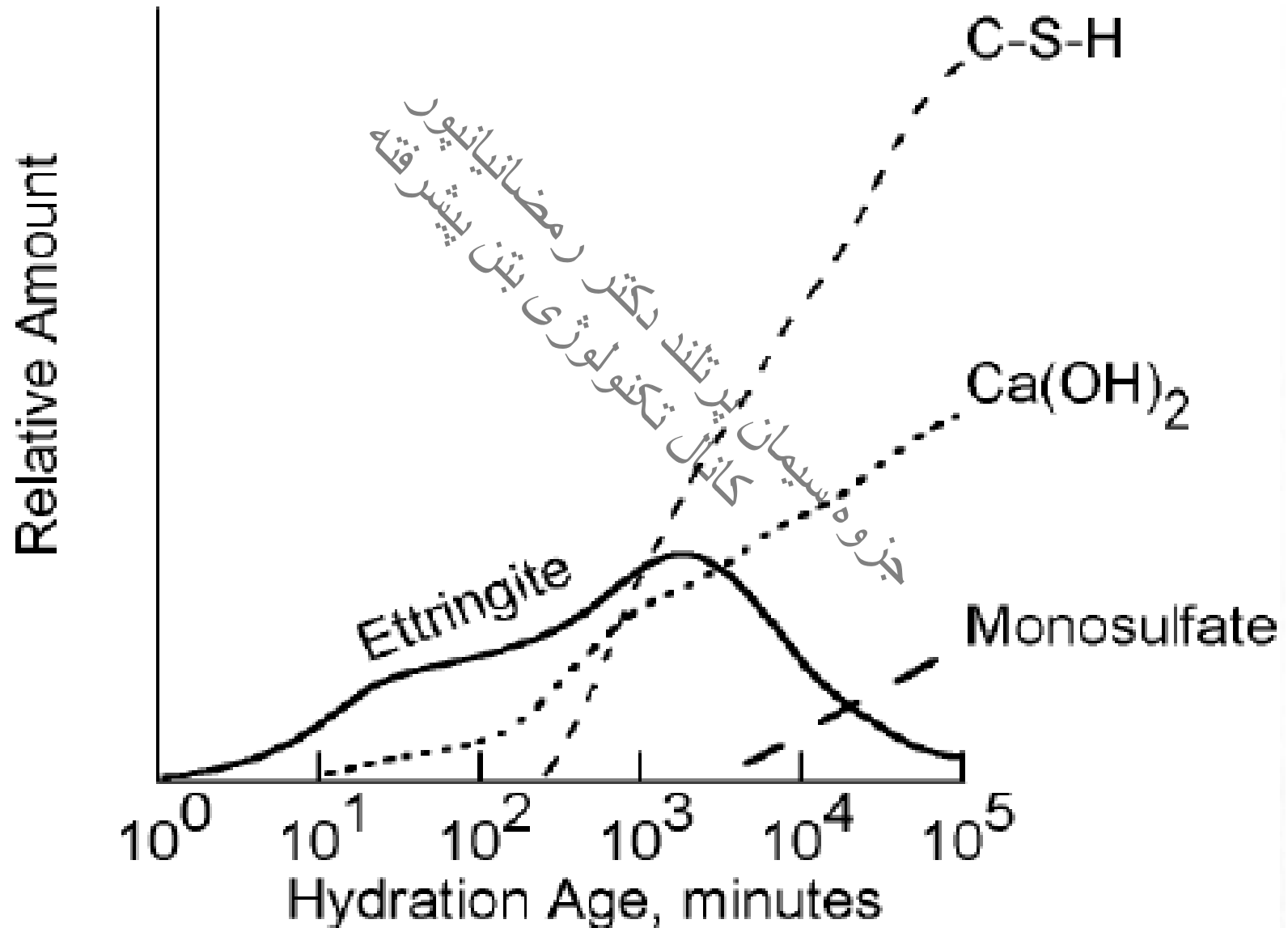


10 hours

واکنشهای هیدراسیون

- تمام ترکیبات، به یک میزان هیدراته نمی شوند.
- آلومینات ها با سرعت خیلی زیادتری نسبت به سیلیکات ها هیدراته می شوند.
- درواقع، سفت شدگی (از دست دادن روانی) و گیرش (جامد شدن)، به طور عمده ای به وسیله آلومینات ها تعیین می شوند.
- سیلیکات ها که حدود ۷۵٪ سیمان پرتلند معمولی را تشکیل می دهند، نقش اصلی را در تعیین مشخصه های سخت شدگی (روند توسعه مقاومت) ایفا می کنند.

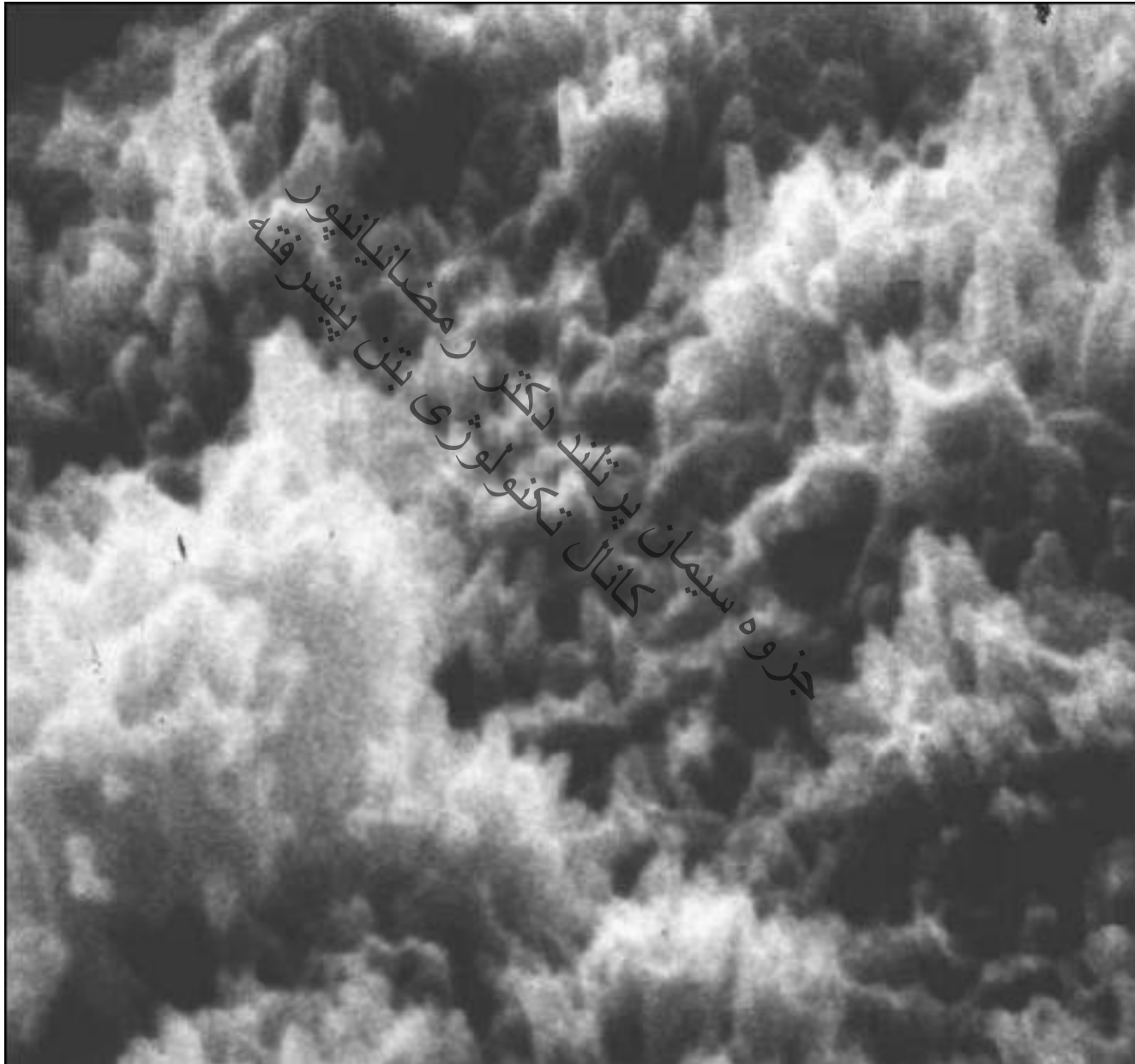
نرخ تشکیل محصولات هیدراسیون



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



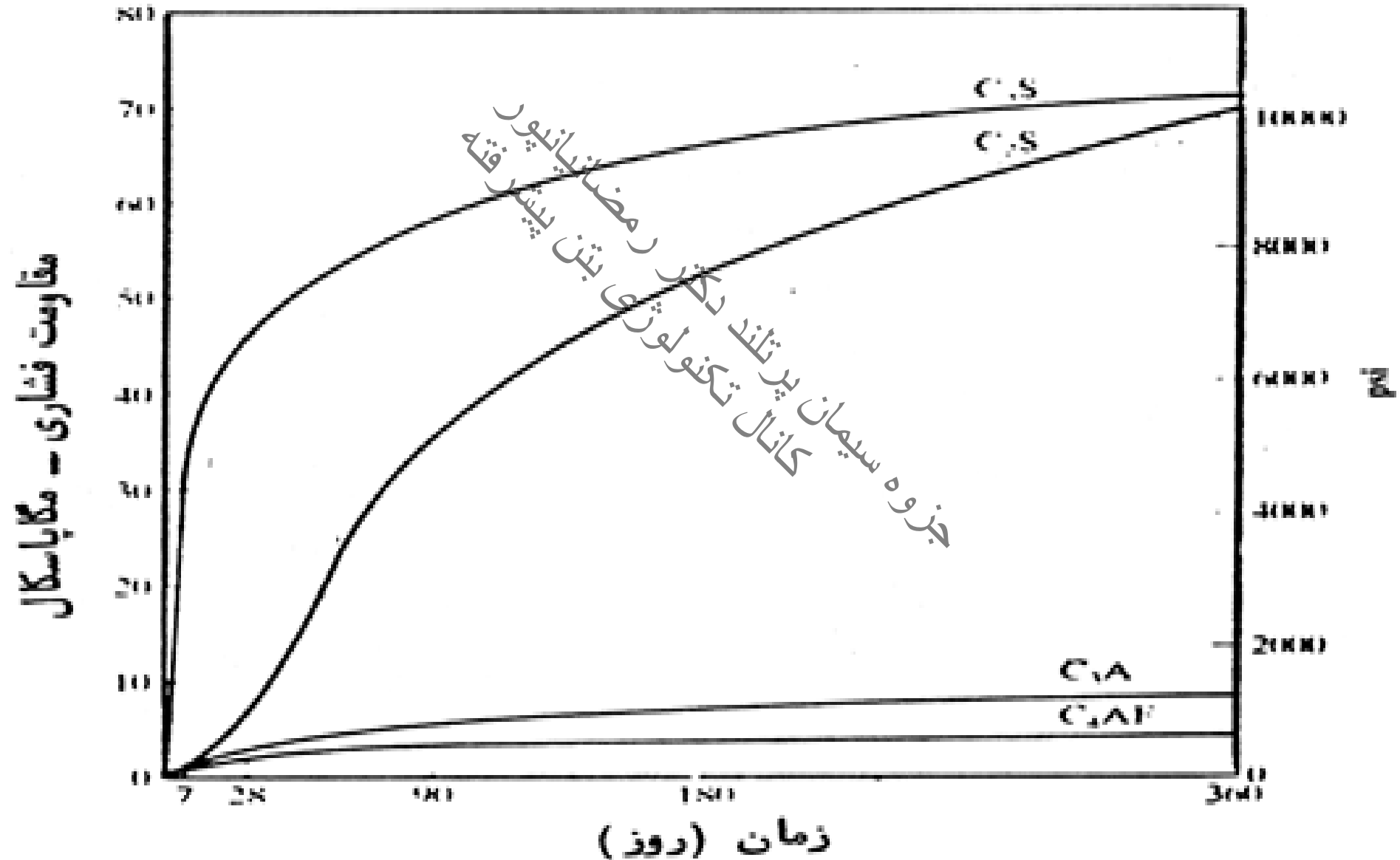
جنبه های فیزیکی هیدراتاسیون

- **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

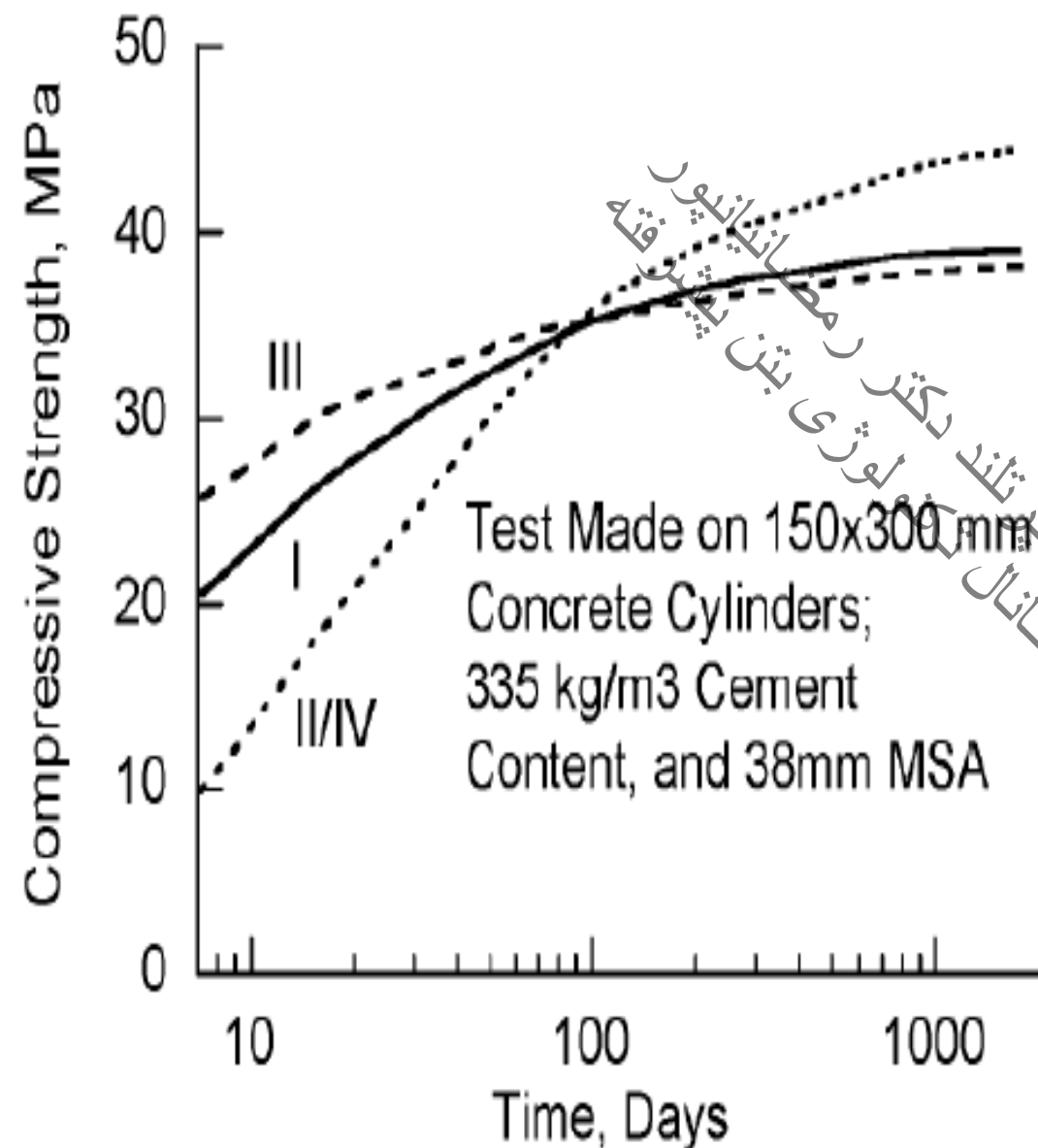
مقاومت ترکیبات سیمان

- 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

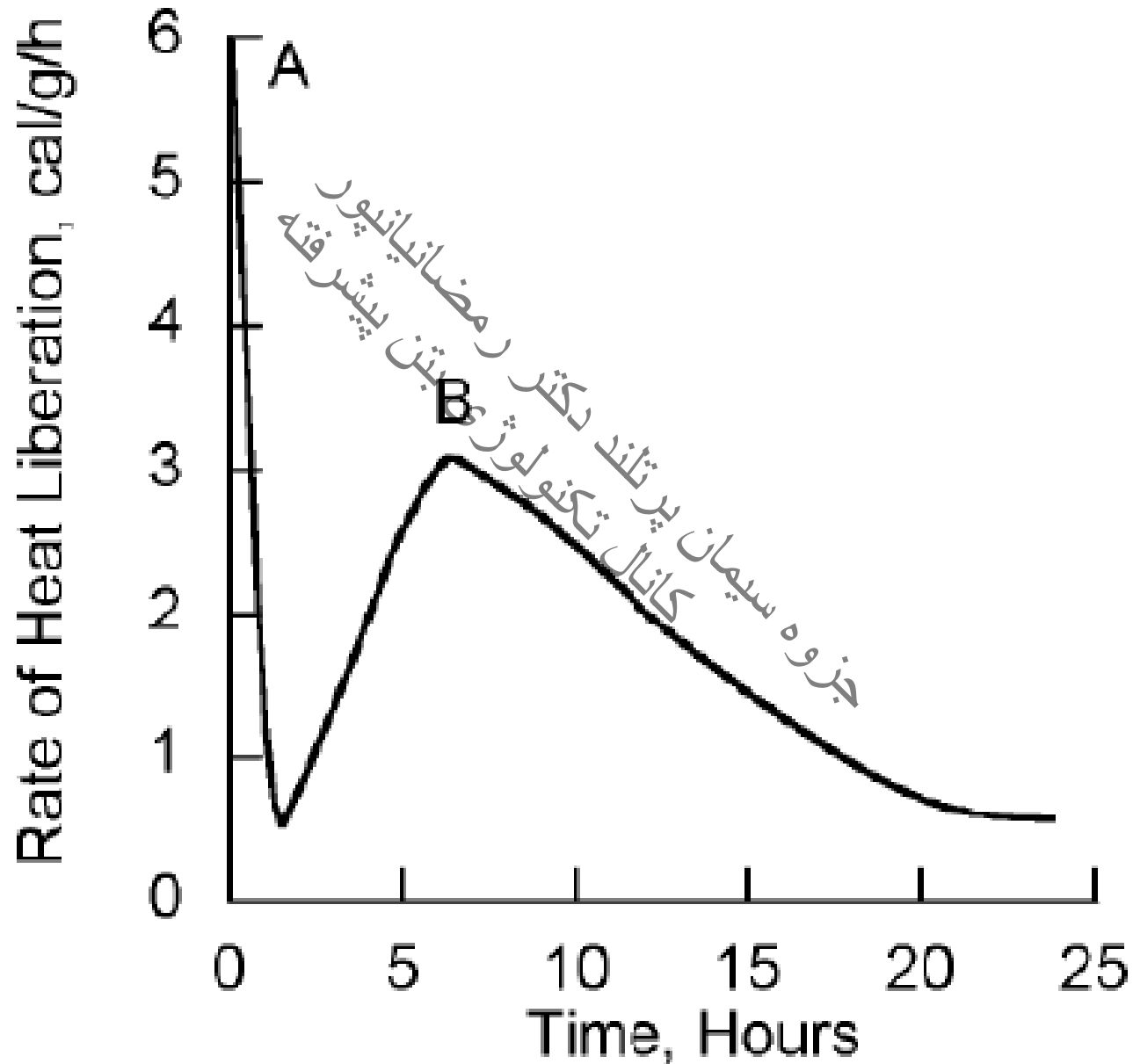


III	II	I	شماره سیمان
			ترکیبات
۵۶	۳۰	۴۹	C_3S
۱۵	۴۶	۲۵	C_2S
۱۲	۵	۱۲	C_3A
۸	۱۳	۸	C_4AF

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



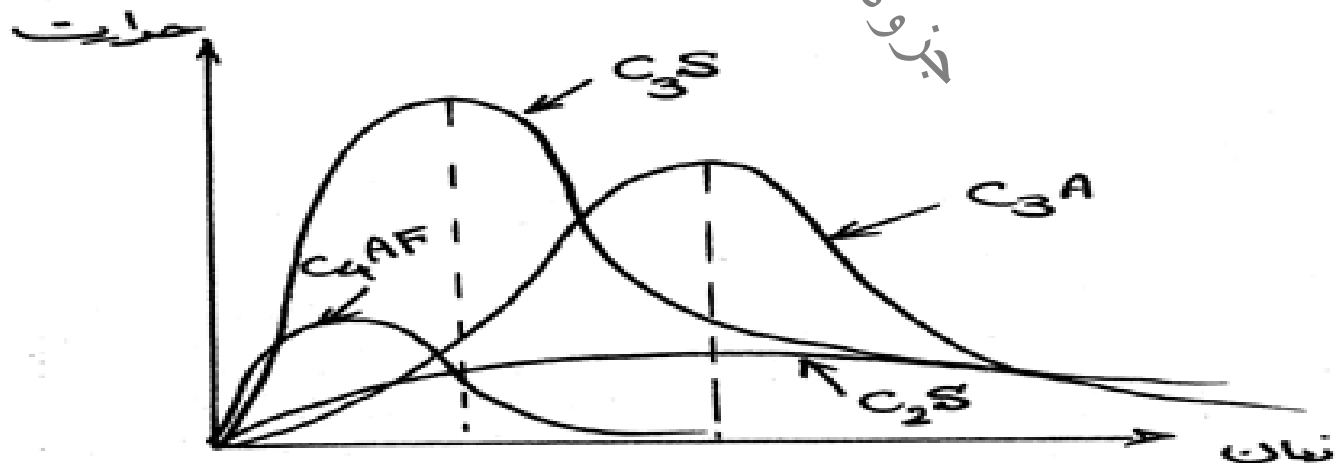
حرارت هیدراتاسیون

- 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)

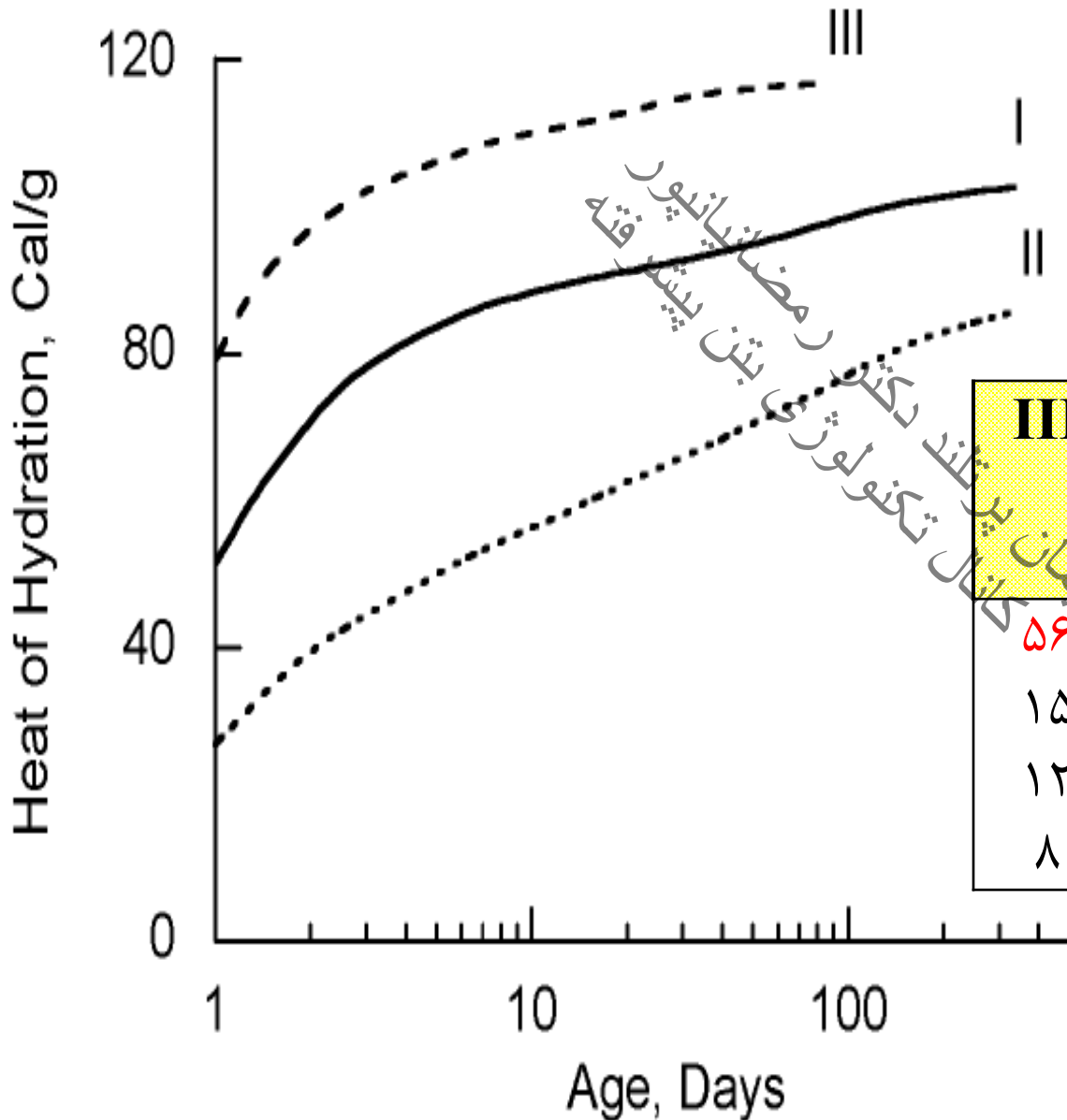
اثر ترکیب سیمان بر حرارت هیدراتاسیون

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

حرارت هیدراتاسیون		ترکیب
J/g	Cal/g	
۵۰۲	۱۲۰	C_3S
۲۶۰	۶۲	C_2S
۸۶۷	۲۰۷	C_3A
۴۱۹	۱۰۰	C_4AF

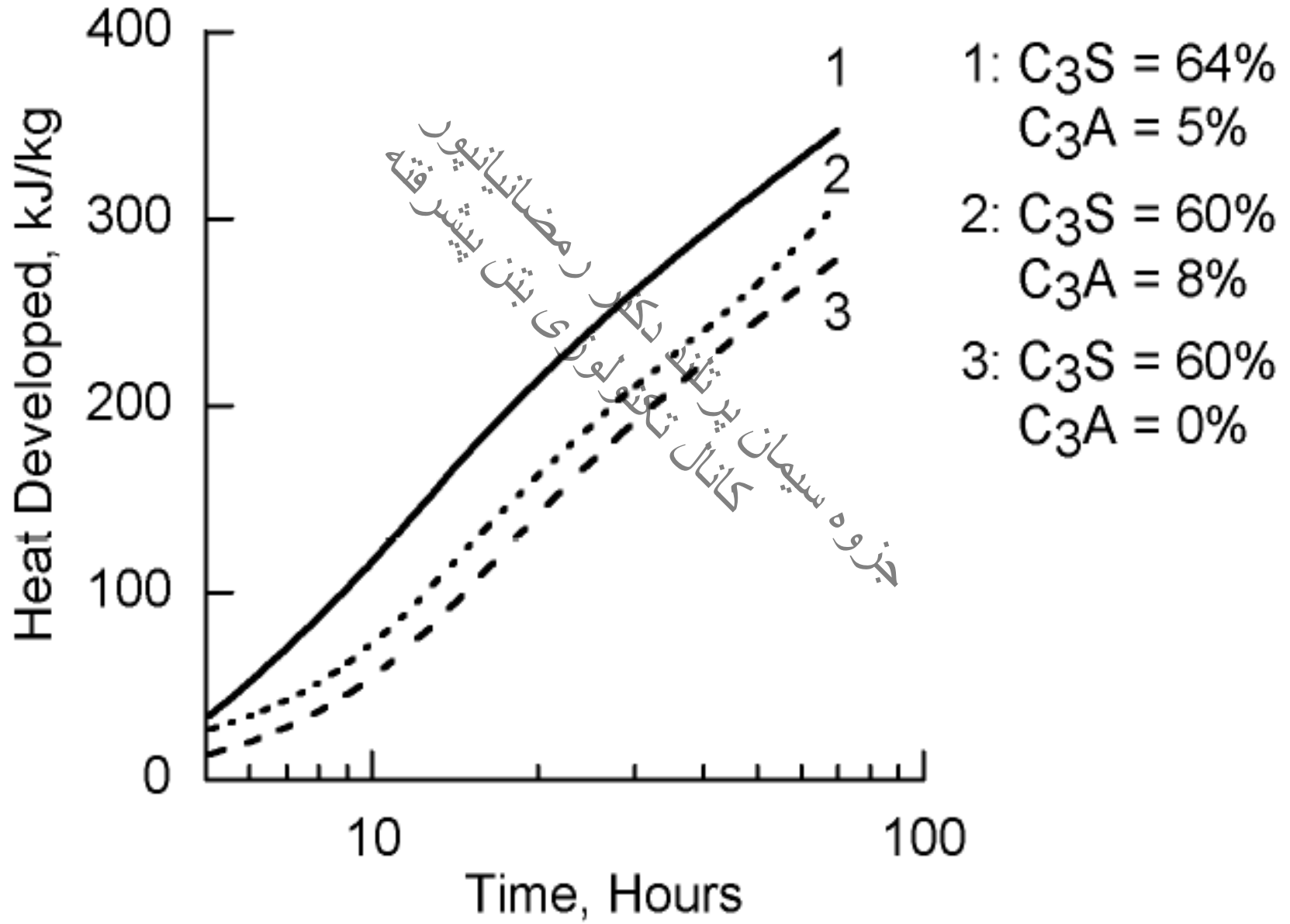


اثر ترکیب سیمان بر حرارت هیدراسیون

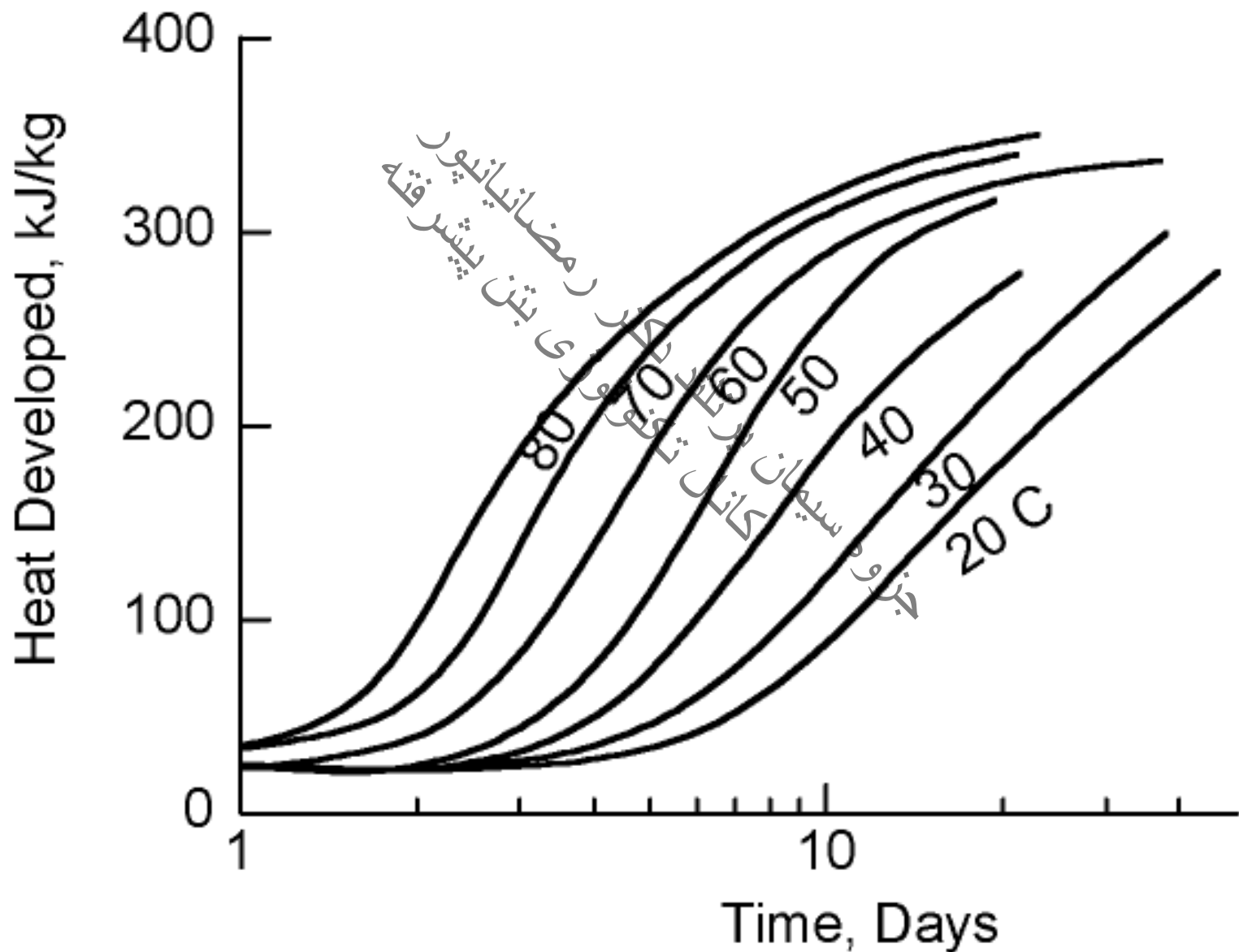


شماره سیمان	I	II	III
	ترکیبات	ترکیبات	ترکیبات
C_3S	۴۹	۳۰	۵۶
C_2S	۲۵	۴۶	۱۵
C_3A	۱۲	۵	۱۲
C_4AF	۸	۱۳	۸

اثر ترکیب سیمان بر تولید حرارت هیدراسیون



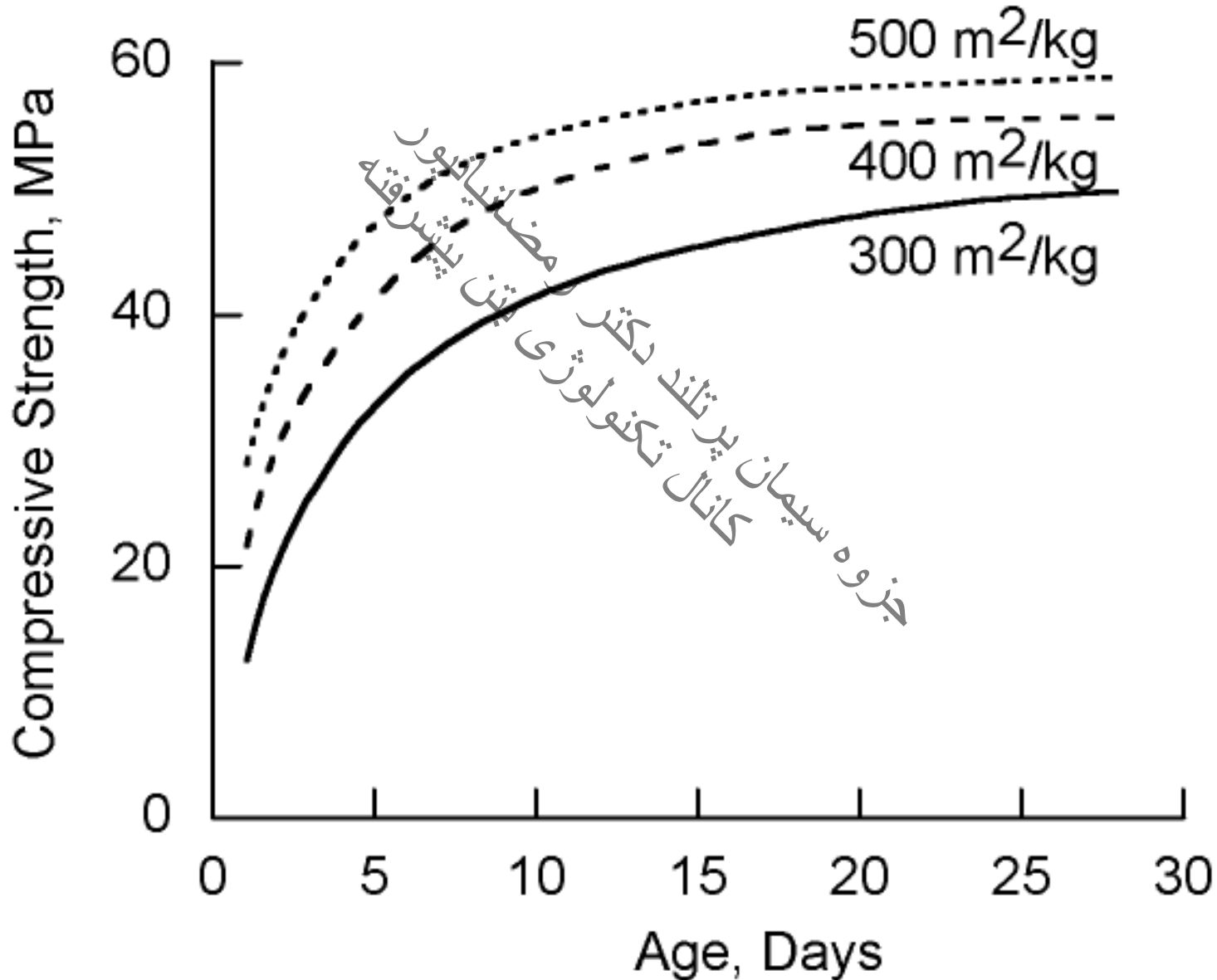
اثر دمای هوا بر تولید حرارت هیدراسیون



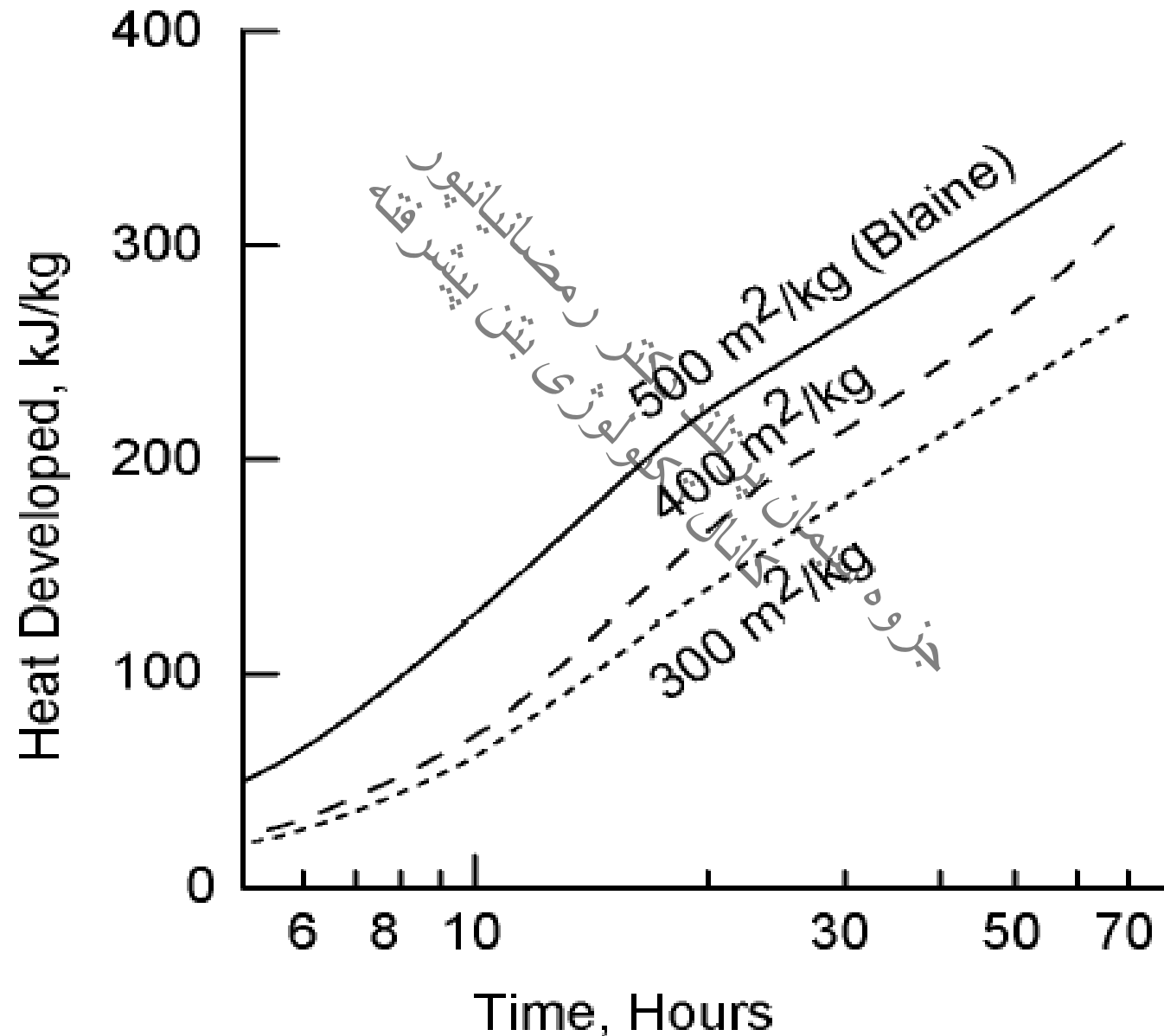
ریزی (نرمی) سیمان

- سرعت واکنش شیمیایی آب و سیمان، به ریزی سیمان وابسته است
- در مقابل باید 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.

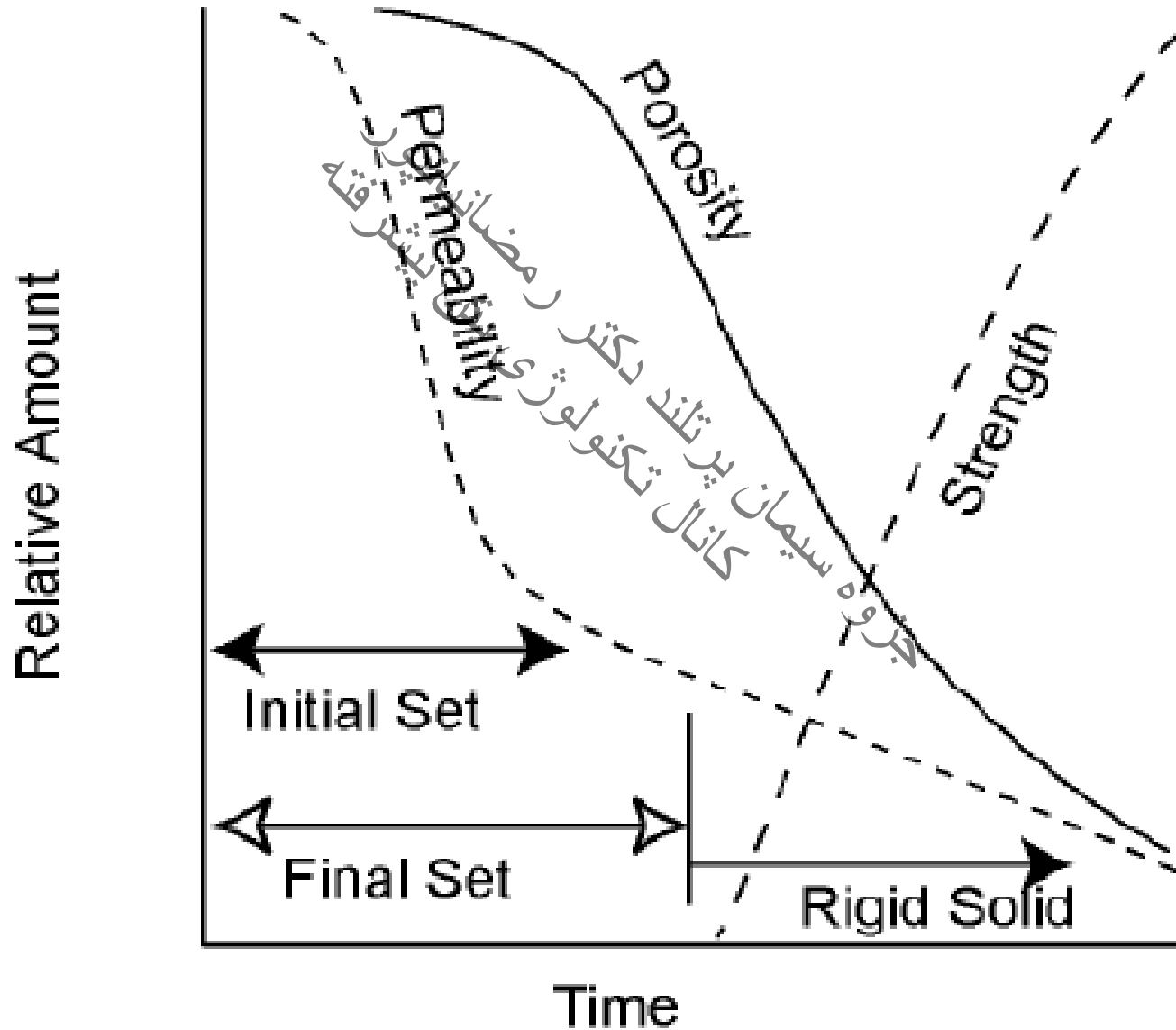
اثر ریزی سیمان بر مقاومت



اثر ریزی سیمان بر تولید حرارت هیدراسیون



تأثير هيدراتاسيون بر گيرش، تخلخل، نفوذپذیری و مقاومت



آزمایشهای سیمان

- از آنجا که کیفیت سیمان در تولید یک بتن خوب بسیار مؤثر می باشد، لازم است که در آزمایش های 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

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 اندازه گیری می شود، معین می گردد.
- هنگامی که سوزن تا عمق معینی در خمیر نفوذ می کند، مقدار آب خمیر که عموماً بین ۲۶-۳۳ درصد وزن سیمان خشک می باشد، تعیین می گردد.

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 2 Mpa در محفظه مخصوص نگهداری می شود، تا دما به 216°C برسد.
- برای مدت ۳ ساعت دما ثابت مانده و سپس اتوکلاو سرد می گردد تا فشار به مدت $1/5$ ساعت افت کرده و آنگاه نمونه در آب 23° به مدت ۱۵ دقیقه خنک می شود.
- پس از ۱۵ دقیقه دیگر، طول نمونه اندازه گیری می شود.
- انبساط ایجاد شده از عمل اتوکلاو نباید از $8/0$ 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°C نگهداری می شوند
- مقاومت فشاری نمونه ها در سن مورد نظر تعیین می گردد

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:

انواع سیمان (ASTM)

- **نوع ۱:** 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 ۱A:** سیمان نوع ۱ 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 ۵۸ درصد برای مجموع C_3S و C_3A را دارد (این حد وقتی بکار

می‌رود که حرارت هیدراتاسیون متوسط مورد نیاز 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 موقعی که **مقاومت اولیه** مطلوب باشد و یا برای **باز کردن سریع قالب‌ها** و نیز **پیشرفت سریع کار** ساخت استفاده می‌شود.
 - مقدار C_3A سیمان حداکثر ۱۵ درصد
 - سطح ویژه زیاده‌تر آن، تقریباً بلین $500 \text{ m}^2/\text{kg}$ به جای $330 \text{ m}^2/\text{kg}$ 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_3A و C_3S به ترتیب به حداکثر ۳۵ و ۷۰ 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 ₄ AF	C ₃ A	C ₂ S	C ₃ 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

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 ² /kg)
روش ASTM C ۱۵۱	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	سلامتی (ثبات حجمی): حداکثر انبساط اتوکلاو (%)
روش ASTM C ۱۹۱	۴۵ ۳۷۵	۴۵ ۳۷۵	۴۵ ۳۷۵	۴۵ ۳۷۵	زمان گیرش: گیرش اولیه، حداقل (دقیقه) گیرش نهایی، حداکثر (دقیقه)
روش ASTM C ۱۰۹	-	۱۲/۴	-	-	مقاومت فشاری: حداقل (MPa) ۱ روز در هوای مرطوب
	۸/۳	۲۴/۱	۱۰/۳	۱۲/۴	۱ روز در هوای مرطوب +۲ روز در آب
	۱۵/۲	-	۱۷/۲	۱۹/۳	۱ روز در هوای مرطوب +۶ روز در آب
	۲۰/۷	-	-	-	۱ روز در هوای مرطوب +۲۷ روز در آب

انواع سیمان (نسخه جدید ASTM)

- **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.
- **سیمان نوع HE:** مقاومت اولیه زیاد - حداقل مقاومت فشاری ۱۰ مگاپاسکال در ۱ روز و ۱۷ مگاپاسکال در ۳ روز می باشد.
- **سیمان نوع MS:** مقاومت متوسط در برابر سولفات - حداکثر انبساط ۰/۱٪ در ۶ ماه در ملات‌های قرار گرفته در محلول سولفات (ASTM C 1012)

انواع سیمان (نسخه جدید ASTM)

- **سیمان نوع HS:** مقاومت زیاد در برابر سولفات- حداکثر انبساط 0.05%
در ۶ ماه در ملات‌های قرار گرفته در محلول سولفات استاندارد (ASTM C 1012)
- **سیمان نوع MH:** حرارت‌زایی متوسط- حداکثر حرارت هیدراتاسیون در ۷ روز به میزان 290 kJ/kg (70 cal/g) می‌باشد.
- **سیمان نوع LH:** حرارت‌زایی کم- حداکثر حرارت هیدراتاسیون در ۷ روز به میزان 250 kJ/kg (60 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 آن از وجود سیلیکات کلسیم هیدرولیکی سرچشمه نمی گیرد
- **سیمان های منبسط شونده (نوع K، M، S و O در ASTM)** : برخلاف سیمان پرتلند، درحین 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 :** مخلوط های 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 C_3A 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 سیمان‌های 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 می باشد ولی به صورت ذرات نرم و در حضور رطوبت به طور شیمیایی با هیدروکسید کلسیم در پدماي معمولی واکنش برقرار می سازد و تشکیل ترکیباتی را می دهد که دارای خواص سیمانی می باشند.



واکنش سریع



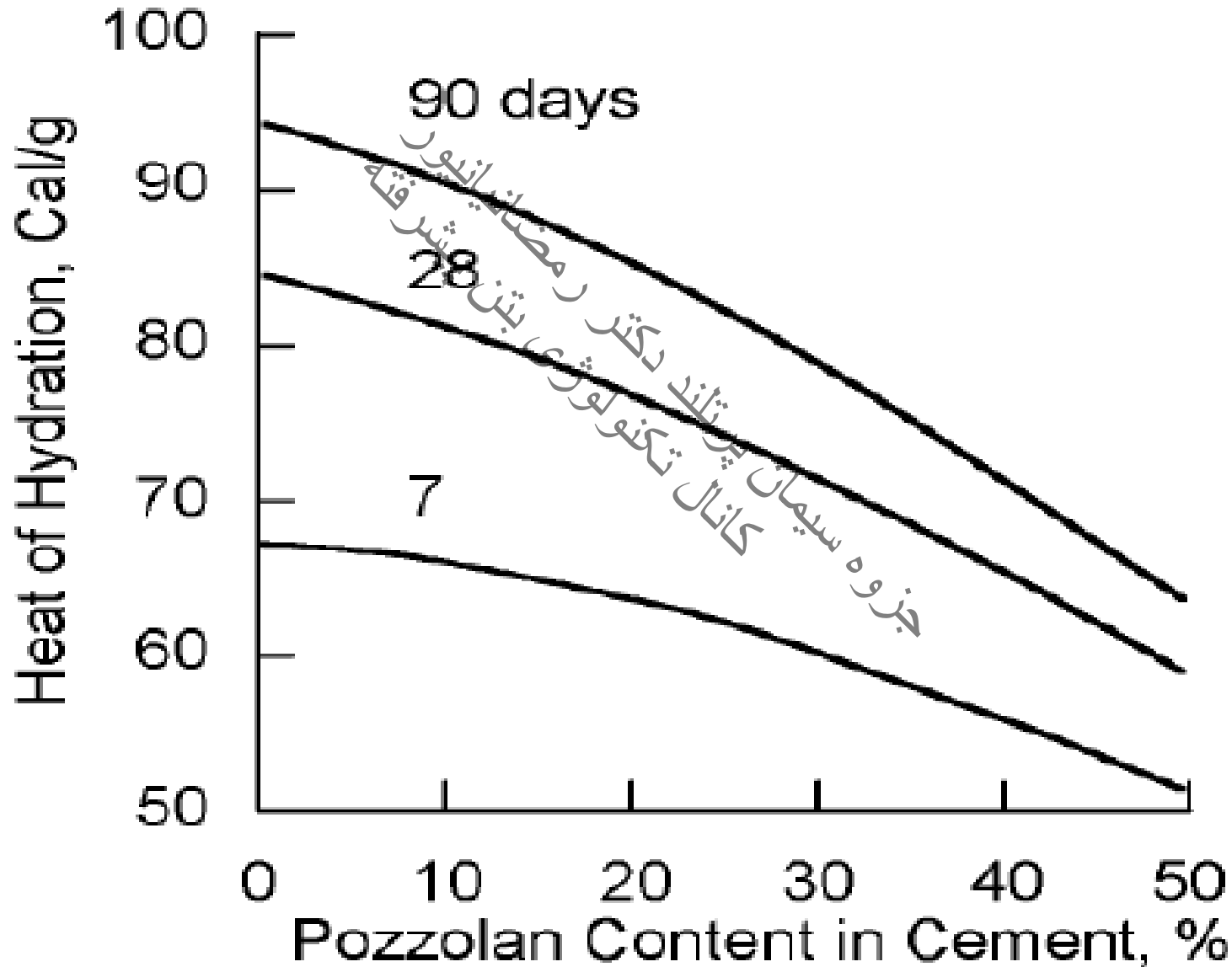
واکنش کند

واکنش بین یک پوزولان و هیدروکسید کلسیم، واکنش پوزولانی نامیده می شود

واکنش پوزولانی

- این واکنش کند است؛ بنابراین سرعت‌های حرارت آزاد شده 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 فضاهاى بزرگ موين بسیار مؤثرند، در نتیجه، مقاومت و نفوذپذیری سیستم را بهبود می‌دهند.

تأثير پوزولان بر حرارت هیدراتاسیون

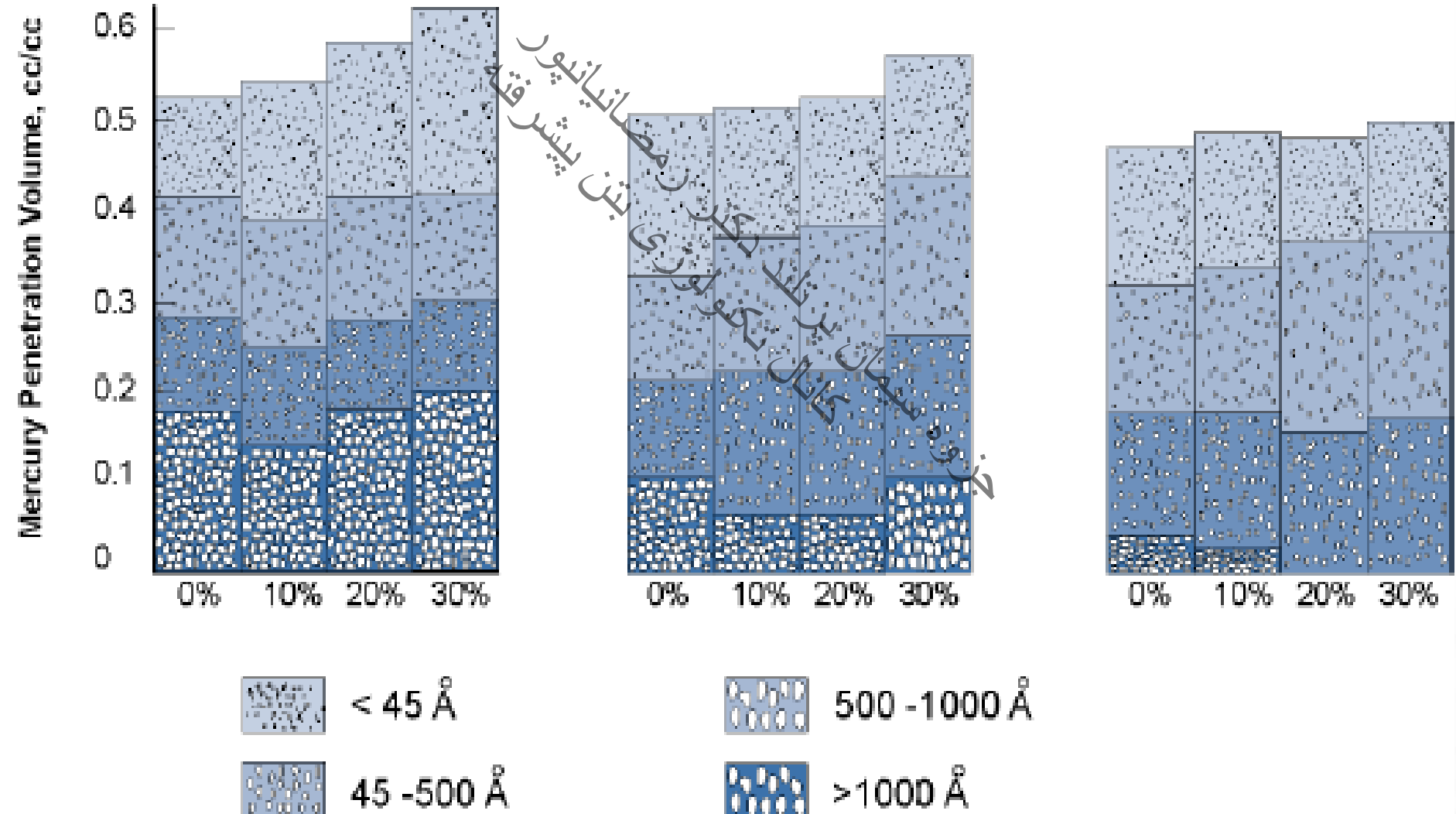


تأثير پوزولان بر منافذ مومینه

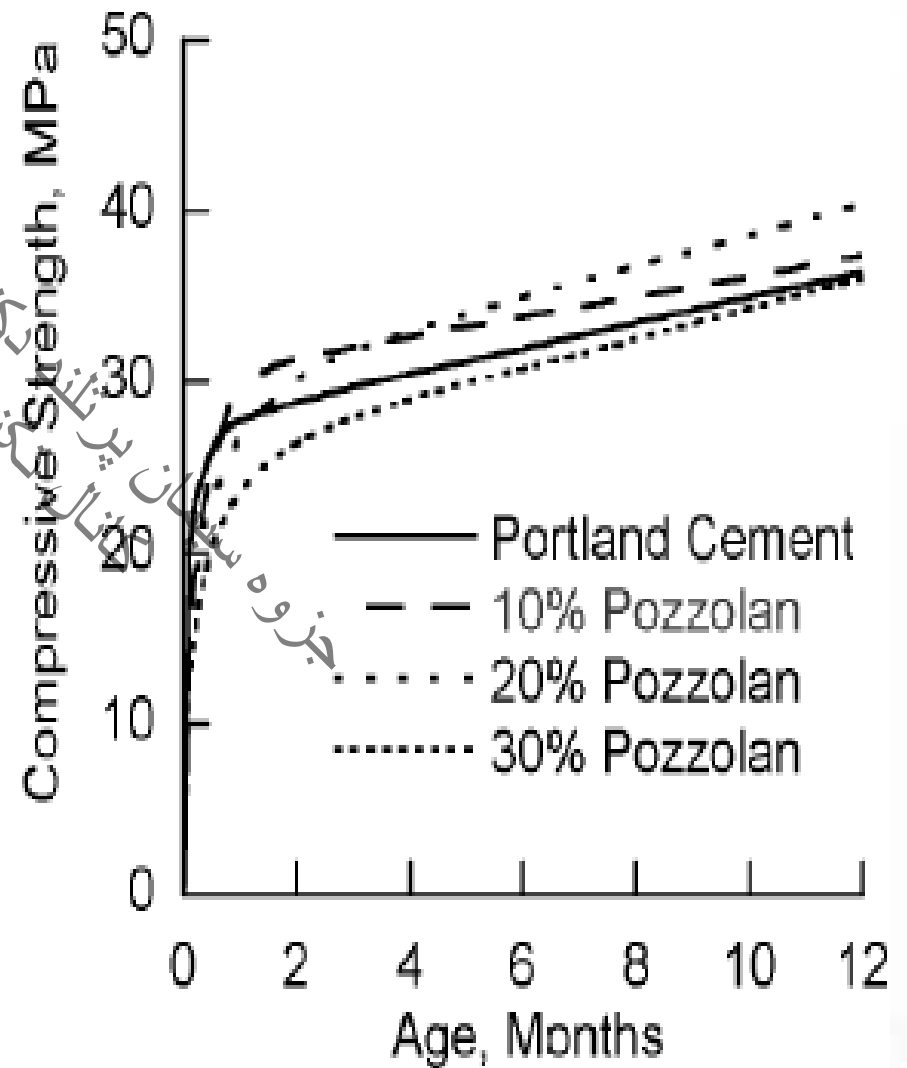
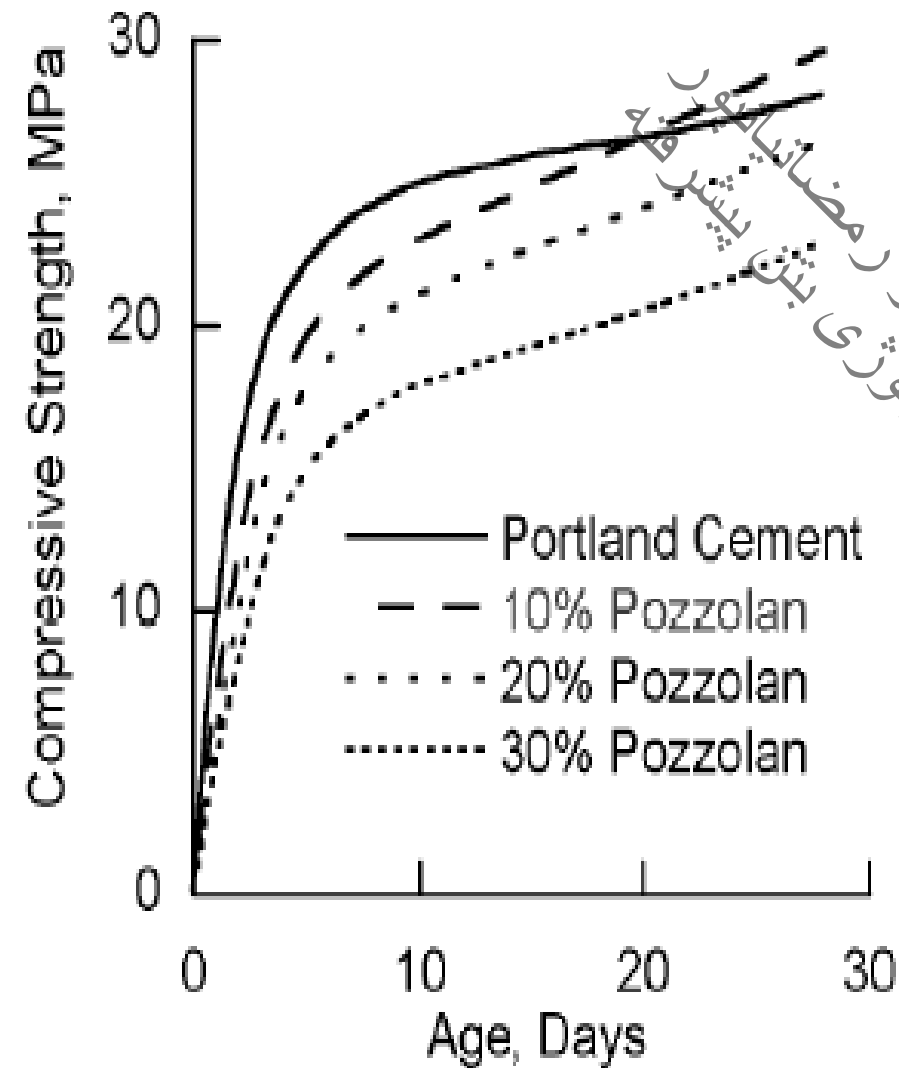
28 days

90 days

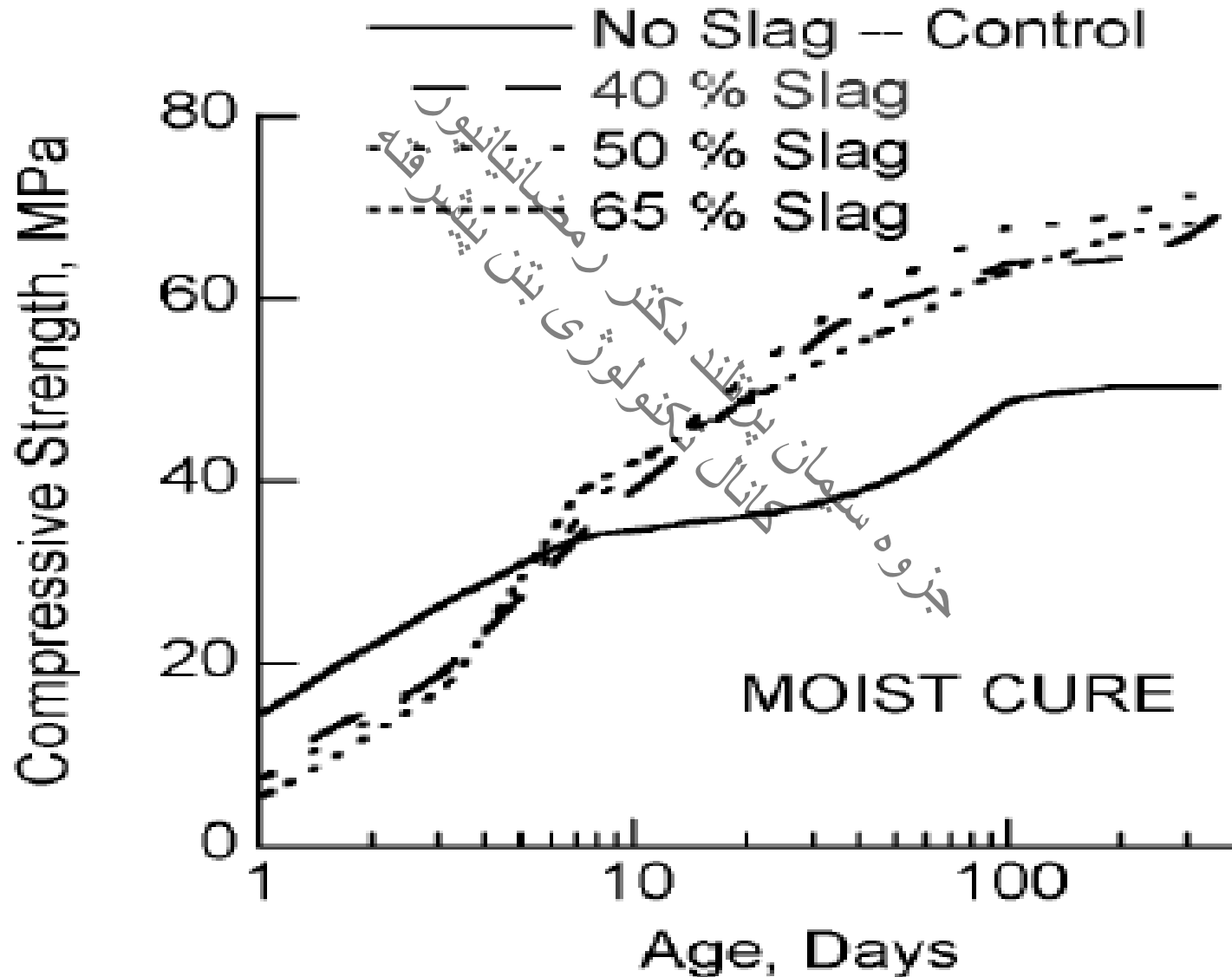
1 year



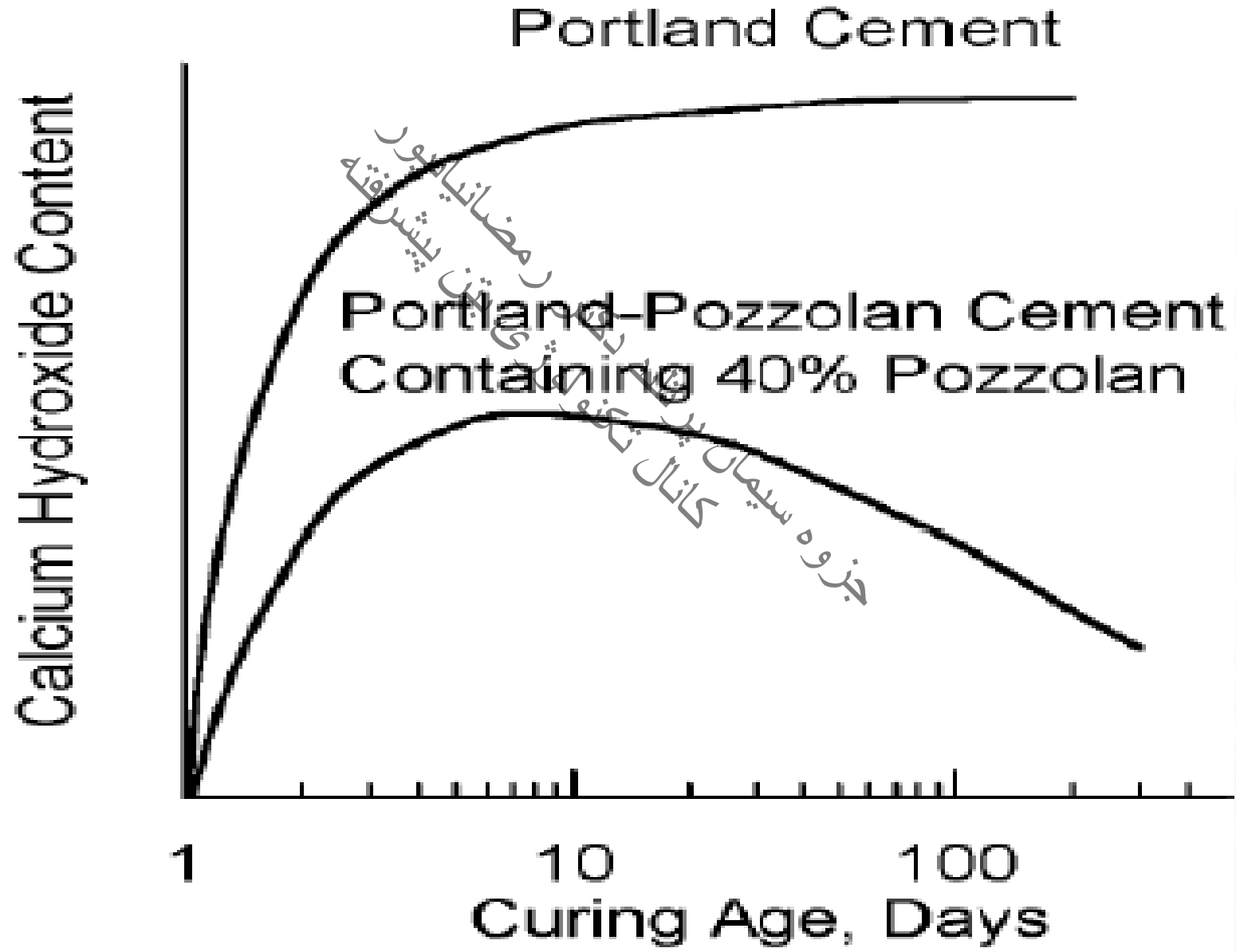
تأثير پوزولان بر مقاومت



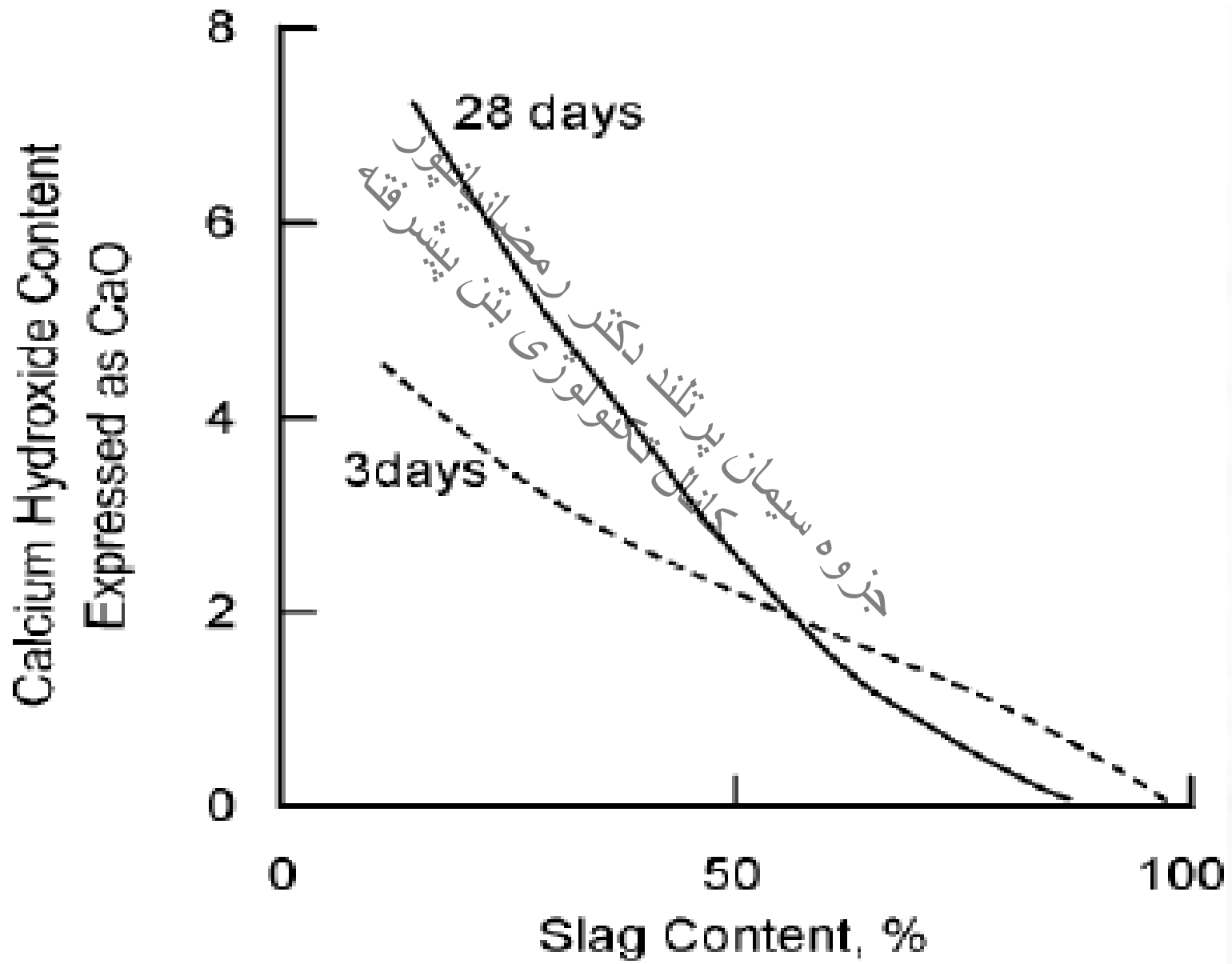
تأثير پوزولان بر مقاومت



تأثير پوزولان بر مقدار آهک



تأثير روباره بر مقدار آهک



سیمانهای آمیخته

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

جدول ۲-۱- سیمان‌های معمول ۲۷ گانه در استاندارد EN 197-1

انواع اصلی	محصولات بتن سیمان های معمولی		ترکیب (درصد وزنی) مواد اصلی									مواد افزاینده فراموش		
			کلیتر K	سیمان S	لوله سیمانی D ^b	پوزولان		خاکستر بادی		شیل حرارت دیده T	سنگ آهک			
						طبیعی P	کلیته طبیعی Q	سیمانی V	لذکی W		L		LL	
CEM I	سیمان پرتلند	CEM I	۵۵-۶۵	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CEM II	سیمان پرتلند روبراهی	CEM II/A-S	۶۵-۷۵	۲-۲۰	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		CEM II/B-S	۶۵-۷۶	۲-۲۵	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	سیمان پرتلند دوده سیمانی	CEM II/A-D	۶۵-۷۶	-	۲-۱۰	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		CEM II/A-P	۶۵-۷۶	-	۲-۲۰	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		CEM II/B-P	۶۵-۷۶	-	۲۱-۲۵	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		CEM II/A-Q	۶۵-۷۶	-	-	۲-۲۰	-	-	-	-	-	-	-	-
	سیمان پرتلند پوزولانی	CEM II/B-Q	۶۵-۷۶	-	-	۲۱-۲۵	-	-	-	-	-	-	-	-
		CEM II/A-V	۶۵-۷۶	-	-	-	۲-۲۰	-	-	-	-	-	-	-
		CEM II/B-V	۶۵-۷۶	-	-	-	۲۱-۲۵	-	-	-	-	-	-	-
		CEM II/A-W	۶۵-۷۶	-	-	-	-	۲-۲۰	-	-	-	-	-	-
	سیمان پرتلند خاکستر بادی	CEM II/B-W	۶۵-۷۶	-	-	-	-	۲۱-۲۵	-	-	-	-	-	-
		سیمان پرتلند شیل حرارت دیده	CEM II/A-T	۶۵-۷۶	-	-	-	-	-	۲-۲۰	-	-	-	-
	سیمان پرتلند سنگ آهکی	CEM II/B-T	۶۵-۷۶	-	-	-	-	-	-	۲۱-۲۵	-	-	-	-
		CEM II/A-L	۶۵-۷۶	-	-	-	-	-	-	-	۲-۲۰	-	-	-
		CEM II/B-L	۶۵-۷۶	-	-	-	-	-	-	-	-	۲۱-۲۵	-	-
		CEM II/A-LL	۶۵-۷۶	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۲-۲۰	-
سیمان پرتلند مرکب	CEM II/B-LL	۶۵-۷۶	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۲۱-۲۵	
	CEM II/A-M	۶۵-۷۶	۱۱-۱۵	۲-۲۰									-	
		CEM II/B-M	۶۵-۷۶	۲۱-۲۵									-	
CEM III	سیمان روبراهی	CEM III/A	۲۵-۳۴	۲۶-۳۵	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		CEM III/B	۲۰-۲۴	۲۶-۳۰	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		CEM III/C	۵-۱۶	۱۱-۱۵	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
CEM IV	سیمان پوزولانی	CEM IV/A	۶۵-۷۶	-	۲۱-۲۵				-	-	-	-	-	
		CEM IV/B	۲۵-۳۴	-	۲۶-۳۵				-	-	-	-	-	
CEM V	سیمان مرکب	CEM V/A	۲۰-۲۴	۱۶-۲۰	-	۱۶-۲۰		-	-	-	-	-	-	
		CEM V/B	۲۰-۲۸	۲۱-۲۵	-	۲۱-۲۵		-	-	-	-	-	-	