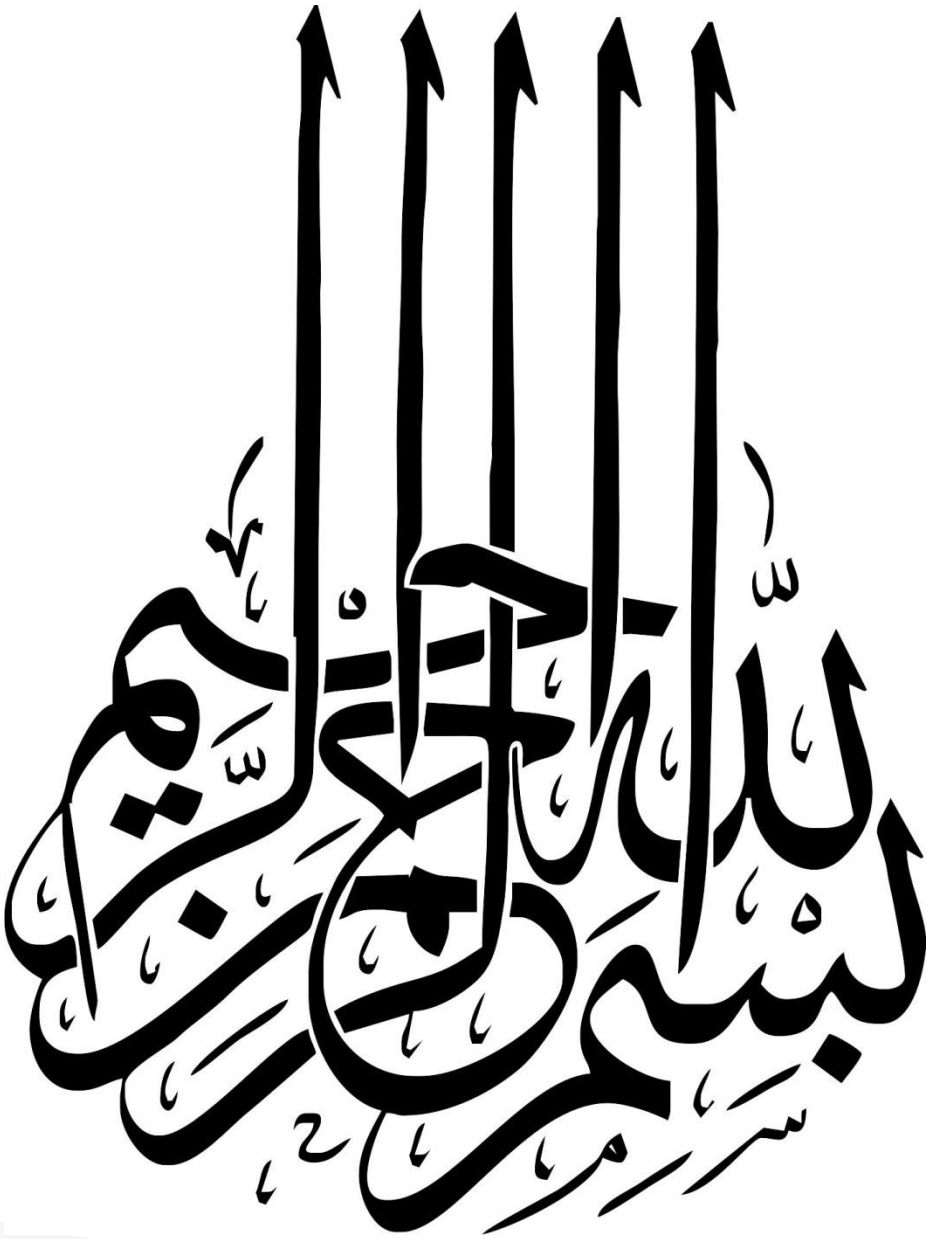

بسم الله الرحمن الرحيم

تکنولوژی بتن

علیرضا بهشام نیا

فهرست مطالب:

۱ مقدمه و مبانی

۲ اجزای تشکیل دهنده بتن

۳ بتن و خواص آن

۴ مواد مضاف در بتن

۵ روش های مراقبت از بتن

۶ نکات تکمیلی

۷ طرح اختلاط

۱ مقدمه و مبانی

تعریف بتن

بتن از دو بخش عمده تشکیل شده است: **سنگدانه و خمیر.**

سنگدانه متشکل از ماسه و شن بصورت شکسته و یا طبیعی می باشد.

خمیر شامل مواد سیمانی، آب، و هوا است.

دلایل

- قیمت به نسبت پایین در مقایسه با سایر مصالح ساختمانی مانند فولاد
- انعطاف پذیری در ایجاد هندسه مورد نظر (گنبد)
- دوام مناسب در شرایط محیطی مهاجم:

(خورنده، آتش همراه با محدودیت آرماتور)

در دسترس بودن مصالح اولیه ساخت بتن در اکثر مناطق

عدم اجرای تمامی سازه ها با بتن؟؟؟

۱ مقدمه و مبانی

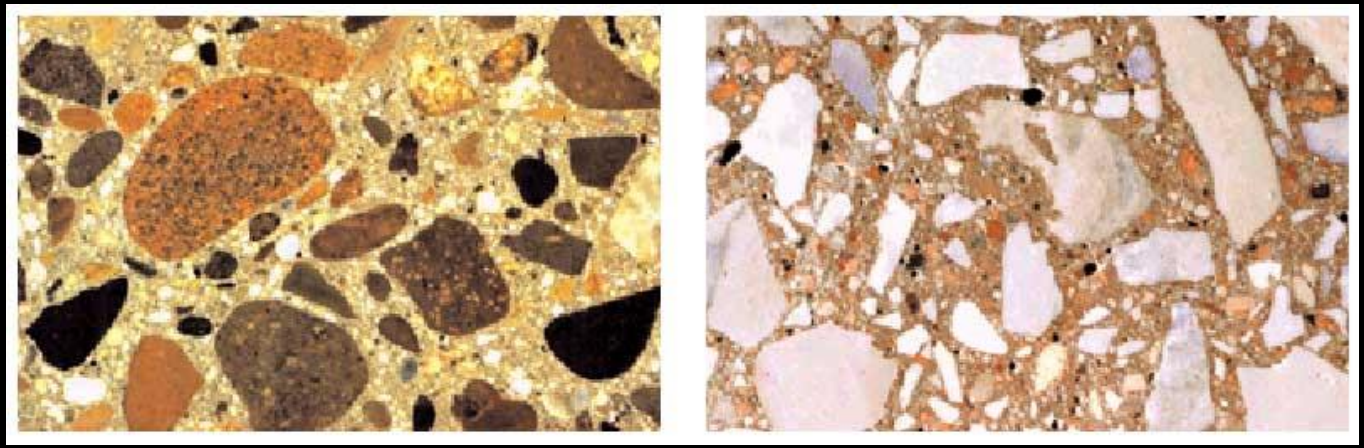
- ابعاد قابل ملاحظه اعضای بتن مسلح به دلیل مقاومت به نسبت پایین آن
- سرعت پایین در اجرا
- اجرای مرحله ای برخلاف سازه های فولادی

بهبود

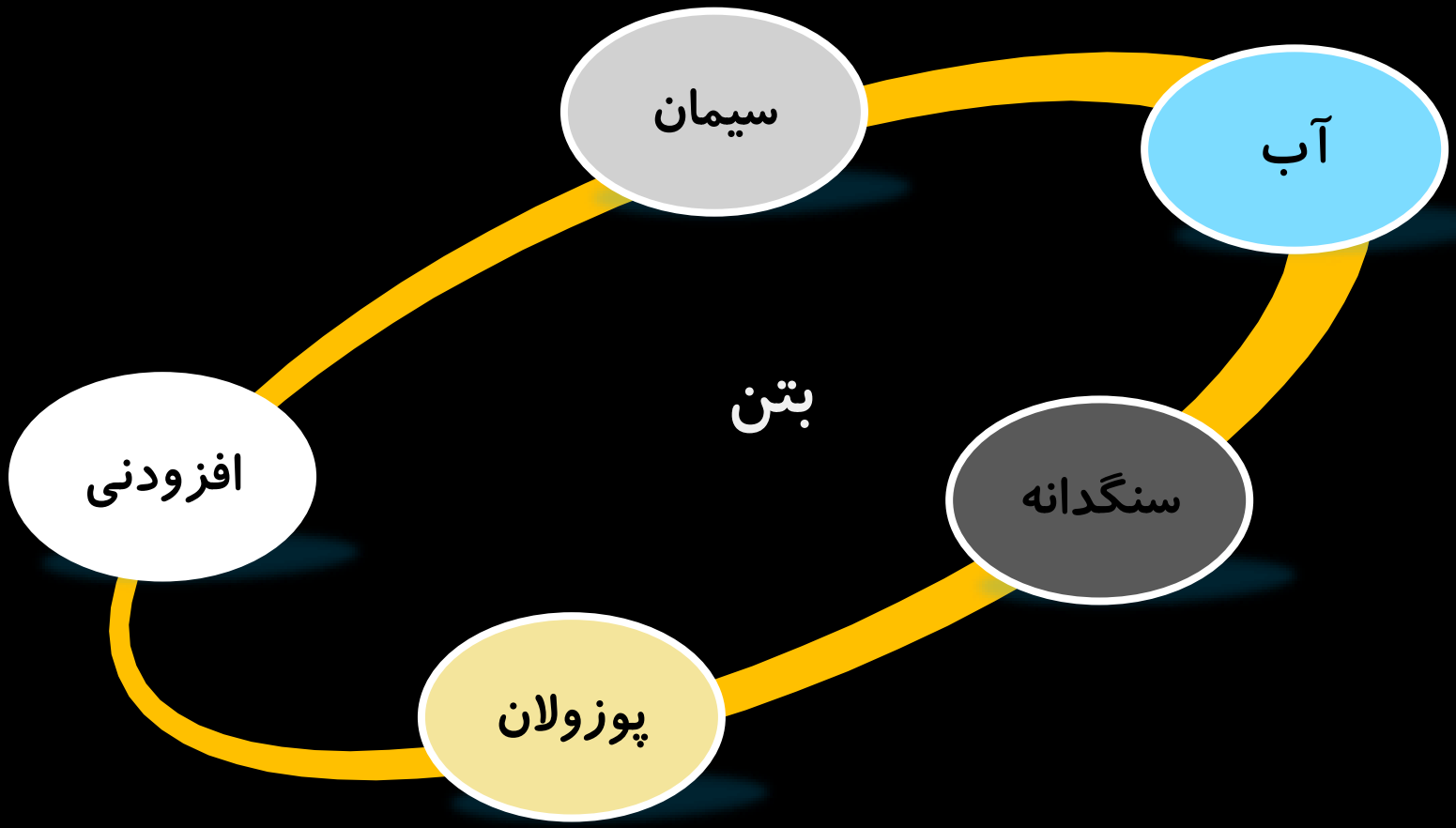
استفاده از آرماتورهای طولی و عرضی
استفاده از افزودنی های شیمیایی
استفاده از فیبرهای فولادی و پلیمری (افزایش مقاومت کششی و کنترل عرض ترک)
استفاده از FRP و ... (با توجه به قیمت بالا بیش تر در امر مقاوم سازی، مناسب در مقاوم سازی خمشی، برشی، پیچشی، فشاری)

استاد قالیبافیان : بتن آمیخته ای از مصالح و دانش است.

۱ مقدمه و مبانی



۲ اجزای تشکیل دهنده بتن



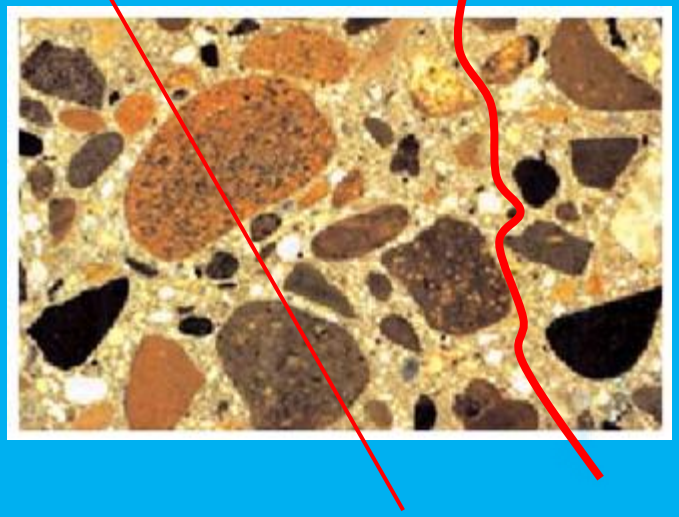
۲ اجزای تشکیل دهنده بتن

سیمان: حدود ۷ الی ۱۵ درصد حجم بتن

هر ماده ای چسبنده ای در بتن سیمان اطلاق می شود (سیمان هیدرولیکی).

نقش سیمان در بتن چسباندن دانه های سنگی به یکدیگر است و نقشی در باربری بتن ایفا نمی کند.

بتن خوب بتنی است که گسترش ترک در آن از میان مصالح سنگی صورت پذیرد و نه از میان سیمان!



۲ اجزای تشکیل دهنده بتن

آب: حدود ۱۴ الی ۲۱ درصد حجم بتن
دانه های سنگی: حدود ۶۰ الی ۷۵ درصد حجم بتن
هوا: بتن معمولی ۰/۵ الی ۳ درصد و در بتن هوادار ۴ الی ۸ درصد حجم بتن

مواد اولیه سیمان			
اکسید کلسیم (آهک)	CaO	حدود ۶۳ درصد	
دی اکسید سلیسیم (سلیس)	SiO_2	حدود ۲۰ درصد	خاک رس
اکسید آلومینیوم (آلومین)	Al_2O_3	حدود ۶ درصد	
اکسید آهن	Fe_2O_3	حدود ۳ درصد	
اکسید منیزیم	MgO	حدود ۱/۵ درصد	

مراحل تولید سیمان

۱- مواد اولیه سیمان پرتلند

مواد اولیه سیمان پرتلند اساسا شامل مواد آهکی و رسی می باشند. بدین معنی که در تهیه سیمان پرتلند از مواد خامی استفاده می شود که حاوی کربنات کلسیم و ترکیبات آلومین وسیلیکات ها باشند.

۲-استخراج مواد اولیه

معادن مواد اولیه سیمان، خصوصا سنگ آهک، خاک رس، سنگ گچ و امثال آنها به صورت معدن رو باز می باشد. در استخراج موادی نظیر سنگ آهک، سنگ آهن و سنگ گچ نیز به چال زنی و انجام انفجار می باشد.

۳-خرد کردن مود اولیه

الف) سنگ شکن های متحرک

ب) سنگ شکن های ثابت

۴- مخلوط کردن اولیه و ذخیره سازی

قبل از اینکه مواد خرد شده در سنگ شکن، راهی آسیاب مواد جهت پودر شدن شوند، بداخل سالنی ریخته می شوند تا بدینوسیله هم با یکدیگر مخلوط شوند و هم اینکه، این سالن نقش انبار و ذخیره سازی را دارا است.

۵- خشک کردن مواد اولیه

در برخی کارخانجات سیمان، بدلیل موقعیت خاص جغرافیایی و باران خیز بودن منطقه برخی از مواد اولیه، دارای رطوبتی هستند که استفاده مستقیم از آنها امکان پذیر نمی باشد.

۶- پودر کردن مخلوط مواد خام

در روش خشک تولید سیمان، ضرورت دارد که مواد خام قبل از ورود به کوره به صورت پودر در آیند.

الف) آسیاب مواد خام گلوله ای

ب) آسیابهای غلطکی

۷- تنظیم مواد خام

۸- سیلوهای مواد خام

عمل عمده ای که در یکنواخت کار کردن کوره و بالا بردن کیفیت کلینکر و در نهایت سیمان موثر است، یک نواختی ترکیب خوراک کوره، خوب مخلوط شدن و همگن بودن آن می باشد.

۹- پیش گرم کن

۱۰- کوره دوار

قسمت اصلی عمل پختن در کوره صورت می گیرد. کوره سیمان، یک استوانه فلزی است که طول و قطر آن، متناسب با ظرفیت کارخانه می باشد.

۱۱- خنک کن (کولر)

کلینکر خروجی از کوره دارای درجه حرارتی حدود ۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰ درجه می باشد. بازیابی این مقدار حرارت و همچنین مشکل بودن جابجا کردن کلینکر داغ، ضرورت سرد کردن آنرا ایجاب می نماید.
خاصیت اساسی دیگر سرد کردن کلینکر، تکمیل و تشکیل کریستالهای کلینکر و بالا رفتن کیفیت آن می باشد.

۱۲- سیلو (انبار) کلینکر

کلینکر خروجی از خنک کن قبل از ورود به آسیاب سیمان، در سیلو، یا انبار، یا سالن ذخیره می گردد.

۱۳- آسیاب سیمان

۱۴- سیلوهای سیمان

۱۵- بارگیر خانه

سیمان

روش‌های ساخت سیمان

روش تر

در روش تر خاک رس مصرفی در دستگاه دوغاب ساز، تبدیل به دوغاب می گردد. سپس دوغاب خاک رس به همراه سنگ آهک در آسیاب مواد خام مخلوط و نرم گشته و تبدیل به دوغاب با غلظت بیشتری می شود. پس از تنظیمات لازم توسط آزمایشگاه، بعنوان خوراک کوره مورد مصرف قرار می گیرد.

ترکیب بهتر و ساده تر – مصرف آب

روش خشک

در روش خشک مواد اولیه خشک وارد آسیاب می شود. پودر خروجی از آسیاب مواد، پس از تنظیم، به عنوان خوراک کوره مصرف می گردد.

سیمان (انواع سیمان پرتلند)

۱- سیمان تیپ یک (I):
سیمان معمولی
شرایط آب و هوایی عادی
حساس در برابر شرایط سولفات

۲- سیمان تیپ دو (II):
سیمان متوسط – تا حدی کندگیر و نیز تا حدی مقاوم در برابر حمله سولفات ها
تا حدی از فاز آلیت کاسته و بر فاز بلیت افزوده شده است.

۳- سیمان تیپ سه (III):
همان سیمان تیپ یک ولی با دانه های ریزتر که موجب افزایش سرعت انجام واکنش ها، افزایش حرارت هیدراتاسیون، و گیرش سریع تر می شود.
شرایط آب و هوایی سرد
در تعمیرات و اجراهای فوری که زمان نقش مهمی ایفا می کند.
در جاهایی که به علت محدودیت امکانات قالب، بخواهند قالب ها را زودتر باز کنند.

سیمان (انواع سیمان پرتلند)

۴- سیمان تیپ چهار (IV):
سیمان کندگیر (فاز آلیت کم، فاز بلیت زیاد)
در آب و هوای گرم
در آب و هوای گرم مانع از اتصال سرد می شود. **(استفاده از چسب بتن)**
در بتن ریزی های حجیم به منظور کاهش تنش های حرارتی.**(استفاده از لوله های آب سرد)**

۵- سیمان تیپ پنج (V):
تا حدی کندگیر (فاز آلیت به نسبت کم، فاز بلیت به نسبت زیاد)
سیمان ضد سولفات

۶- سیمان تیپ (I - A): سیمان تیپ یک + هوازا
۷- سیمان تیپ (II - A): سیمان تیپ دو + هوازا
۸- سیمان تیپ (III - A): سیمان تیپ سه + هوازا

۲ سیمان (انواع سیمان)

۱- سیمان سفید

سولفات آهن ($FeSo_4$) و سولفات منیزیم ($MgSo_4$) سبب رنگ تیره سیمان می شود، بنابراین به منظور تولید سیمان با رنگ سفید ترکیبات مذکور از سیمان حذف شده (با انتخاب خاک رس مناسب) و همچنین در تولید آن از مواد سوختی مناسب و بدون دوده استفاده می گردد.

هزینه تولید بالا

خواص سیمان پرتلند نوع یک

۲- سیمان های رنگی

با اضافه کردن ۲ الی ۱۵ درصد پودر سنگ های رنگی به سیمان های پرتلند یا سفید، بسته به رنگ پودرها گستره ای از سیمان های رنگی به دست می آید.

سیمان (انواع سیمان)

۳- سیمان پرتلند سرباره ای

سیمان پرتلند معمولی را با ۲۵ الی ۶۵ درصد پودر سرباره کوره ذوب آهن مخلوط می کنند.

مقاومت کمتر - قیمت پایین تر

کمی ضدسولفات و تا حدی کندگیر

در مواردی که مقاوت های بالا نیاز نباشد مانند آجر چینی و بتن ریزی کف ها

۴- سیمان پوزولانی

با مخلوط کردن ۱۵ الی ۴۰ درصد پوزولان با کلینکر سیمان پرتلند معمولی به دست می آید.

جنس پوزولان سیلیکات است.

کمی ضدسولفات و تا حدی کندگیر

مقاومت کمتر - قیمت پایین تر

در مواردی که مقاوت های بالا نیاز نباشد مانند آجر چینی و بتن ریزی کف ها

۲ سیمان (انواع سیمان)

۵- سیمان بنایی

مخلوط سیمان و مواد پرکننده خاک رس و آهک است که در محل اجرا با نظر مهندس مجری تولید می شود.

۶- سیمان چاه نفت

با اضافه کردن مواد شیمیایی مخصوص به کلینکر تولید می شود. این نوع سیمان در برابر درجه حرارت های بالا مقاومت خوبی از خود نشان می دهد.

۷- سیمان انبساطی (سیمان ضدافت)

با اضافه کردن مواد شیمیایی مخصوص مانند سولفو آلومینات به کلینکر تولید می شود.

این انبساط با کاهش حجم ناشی از افت بتن خنثی می شود. **رواداری (رگلاژ) صفحات زیرستون**

۸- سیمان آلومینیوم

بسیار زودگیر است.

مقاوم در برابر حمله سولفات ها

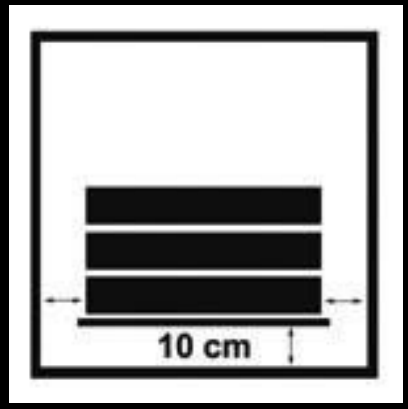
بسیار گران قیمت و برای کارها خاص

۲ انبار کردن سیمان

در محلی کاملاً خشک و بدون هر گونه رطوبت نگهداری شود.

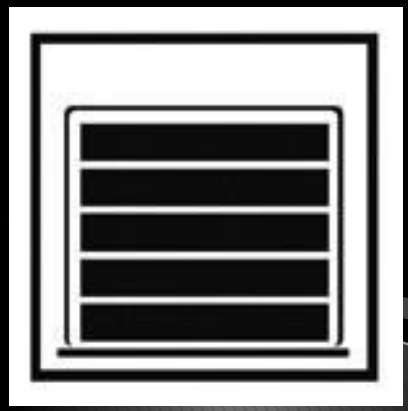
سیمان به دو صورت فله ای و پاکتی عرضه می شود.
در انبار کردن سیمان به صورت فله ای باید شرایطی فراهم شود که کف انبار کاملاٌ خشک باشد،
۱- می توان در کف مقداری شن خشک پهن کرد تا از نفوذ رطوبت به طرف بالا جلوگیری شود.
۲- از سیلوی سیمان استفاده کرد.

۲ انبار کردن سیمان



محل نگهداری از سطح و دیوارها ۱۰ سانتیمتر فاصله داشته باشد.

بیش از ۸ تا ۱۰ بسته بر روی هم قرار داده نشود.



بسته‌ها با روکش برزنتی یا پلاستیکی (نایلونی) پوشانیده شوند.

۲ حمله سولفات

حمله سولفات ها واکنش هایی همراه با ازدیاد حجم است:
(تا ۲۲۰ درصد افزایش حجم)

تنش فشاری

راهکارها:

استفاده از س

استفاده از پو

پوزولان ها ح

سولفات ها ر

راه پوزولان):

ز حمله

ری نمایند.

ایجاد محیط مناسب جهت انجام واکنش های مورد نظر

استفاده از آب نامناسب:

۱- زمان گیرش بتن به تاخیر می افتد.

۲- سبب افت مقاومت بتن می شود.

۳- موجب خوردگی و زوال آرماتورها می شود.

آب مناسب جهت ساخت بتن

آب خوردن

ویژگی های کلی آب مناسب جهت ساخت بتن:

۱- اسیدی و بازی نباشد.

۲- درصد کربنات هایش کمتر از ۰/۱ درصد باشد.

۳- درصد ذرات معلق در آن کمتر از ۰/۱ درصد باشد.

۴- درصد کلرورهایش کمتر از ۰/۰۵ درصد باشد.

۵- درصد سولفاتهایش کمتر از ۰/۱ درصد باشد.

۲ خرابی های سازه های بتنی

بندر شهید رجایی

۲ خرابی های سازه های بتنی

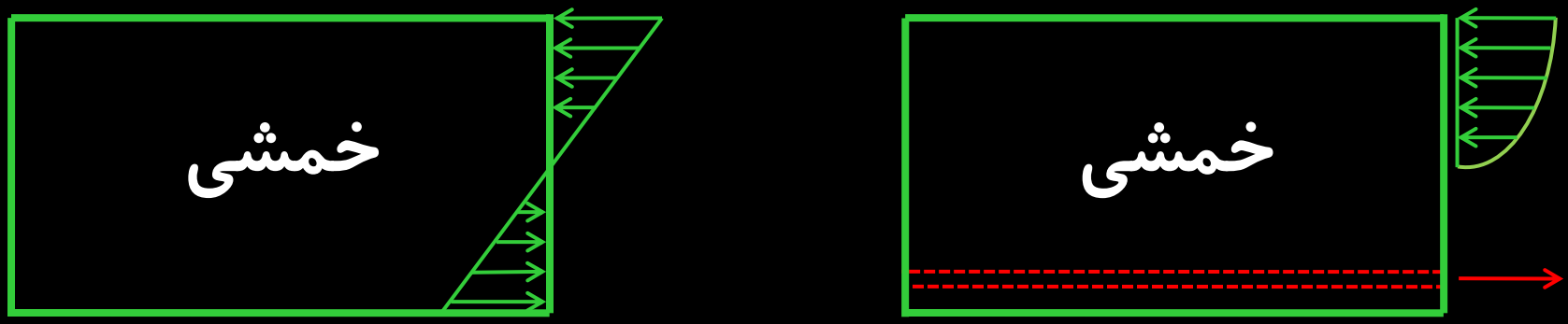
۲ خرابی های سازه های بتنی

۲ خرابی های سازه های بتنی

۲ خرابی های سازه های بتنی

خرابی های سازه های بتنی

دلایل کاربرد فولاد به عنوان المان تقویت کننده بتن:

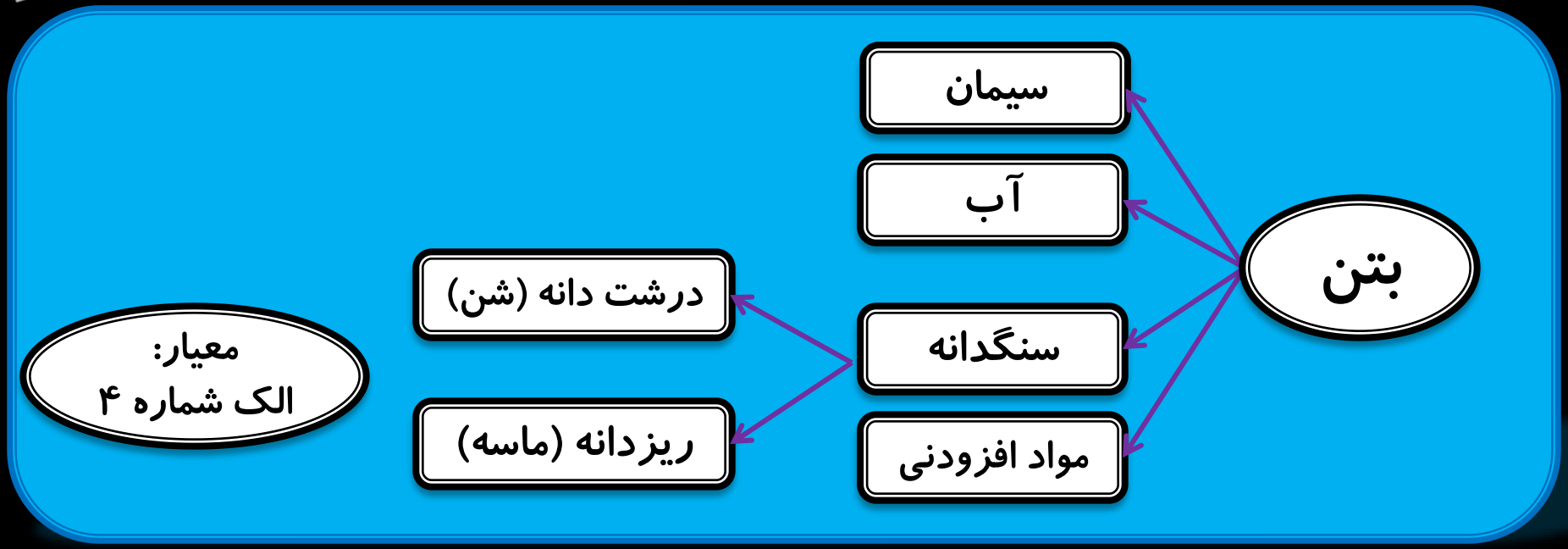


ضریب انبساط حرارتی نزدیک فولاد و بتن به یکدیگر

چسبندگی مناسب بین بتن و فولاد

قیمت مناسب فولاد نسبت به سایر مواد مناسب با مقاومت بالا

۲ دانه های سنگی



- مصالح سنگی حدود ۲/۳ الی ۳/۴ حجم بتن را اشغال می کنند.
- ۶۰ الی ۷۰ درصد مصالح سنگی را مصالح درشت دانه (شن) و مابقی (۳۰ الی ۴۰ درصد) آن را ماسه تشکیل می دهد.

۲ مشخصات شن و ماسه

- دانه ها باید به طور کامل عاری از گل و لای و دیگر ناخالصی های شیمیایی باشند.
  - میزان گل و لای مجاز: شن ۱ درصد / ماسه: ۳ درصد

- دانه ها باید در مقابل سایش مقاوم باشند.
  - به ویژه در محل های پر رفت و آمد - آزمایش لس آنجلس

- دانه ها باید در مقابل اعمال تنش مقاوم باشند.
  - قسمت باربر بتن همان سنگدانه ها هستند. بارهای وارد بر اعضای بتنی باید به طور کامل توسط سنگدانه ها تحمل شوند.
  - دانه های سیلیسی: سختی بالا
  - دانه های آهکی: سختی متوسط
  - دانه های گچی: سختی پایین

۲ مشخصات شن و ماسه

- دانه ها باید در مقابل یخبندان مقاوم باشند.
  - تخلخل (حجم منافذ توده سنگدانه به حجم کل توده): رابطه عکس
  - نفوذپذیری دانه ها: رابطه عکس
  - مقاومت کششی دانه ها: رابطه مستقیم

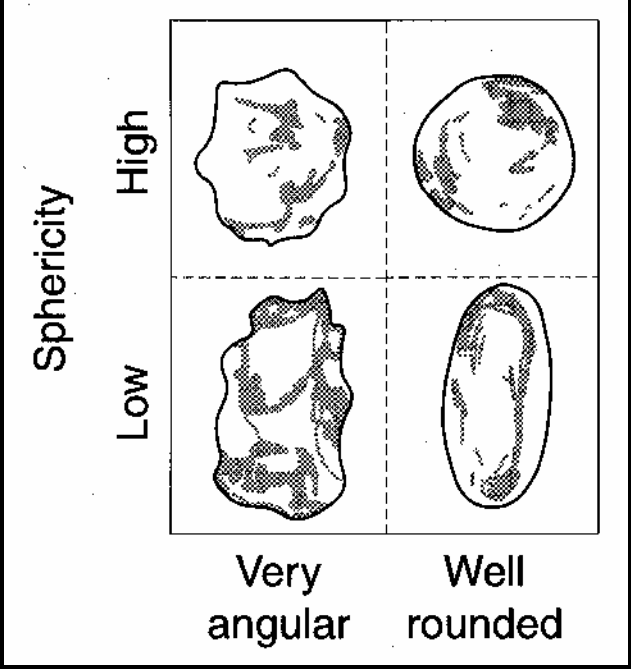
- دانه ها باید در مقابل هوازدگی مقاوم باشند.

دانشمند اتریشی به نام فردریش موهس (۱۷۷۳-۱۸۳۹) مقیاسی برای درجه سختی کانی‌ها وضع کرد. مقیاس او از درجه یک برای تالک به عنوان نرم‌ترین کانی تا درجه ۱۰ برای الماس به عنوان سخت‌ترین کانی است. اگر در اثر کشیدن این اجسام بر سطح کانی، در آن خراش ایجاد شود، یعنی سختی آن‌ها از کانی بیشتر است و برعکس.

۲ شکل و بافت سطحی و ظاهری دانه ها

تقسیم بندی سنگدانه از نظر شکل ظاهری

- گرد: در اثر فرسایش گرد و سطح آن ها صاف شده است.
- دانه های نامنظم: به طور معمول دارای سطح صاف و صیقلی هستند، ولی به طور کامل گرد نیستند.
- دانه های گوشه دار: دارای سطح صاف نیستند و تیز گوشه هستند.

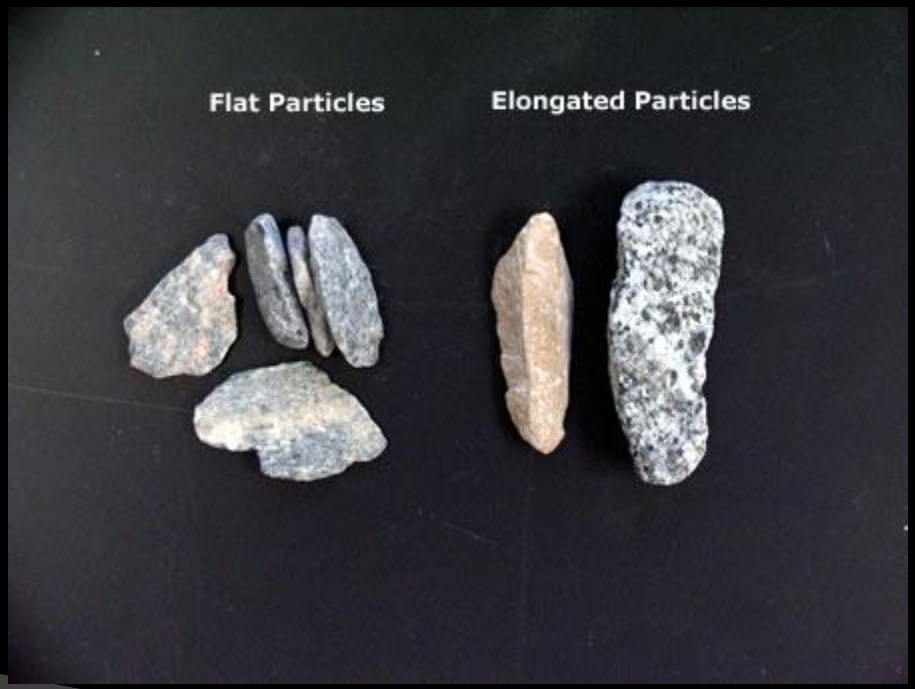


۲ شکل و بافت سطحی و ظاهری دانه ها

ادامه: تقسیم بندی سنگدانه از نظر شکل ظاهری

- پولکی: ضخامت آن ها نسبت به دو بعد دیگر به طور قابل توجهی کم تر است.
- سوزنی شکل: طول آن ها نسبت به دو بعد دیگر به میزان قابل توجهی بیش تر است.

- کاربرد این نوع سنگدانه ها مجاز نیست.
- کاهش کارایی و مقاومت بتن



۲ دانه بندی

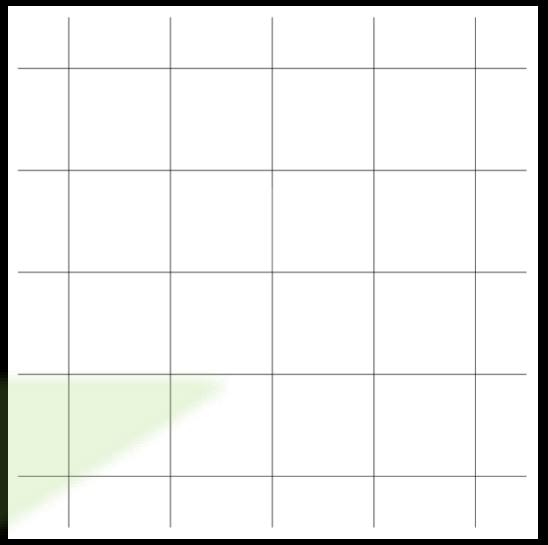
دانه بندی یعنی نحوه توزیع دانه ها از نظر ابعاد

شاخص: منحنی دانه بندی

منحنی دانه بندی عبارت است از یک منحنی که نحوه توزیع دانه ها از نظر ابعاد را مشخص می کند.

نامگذاری الک ها

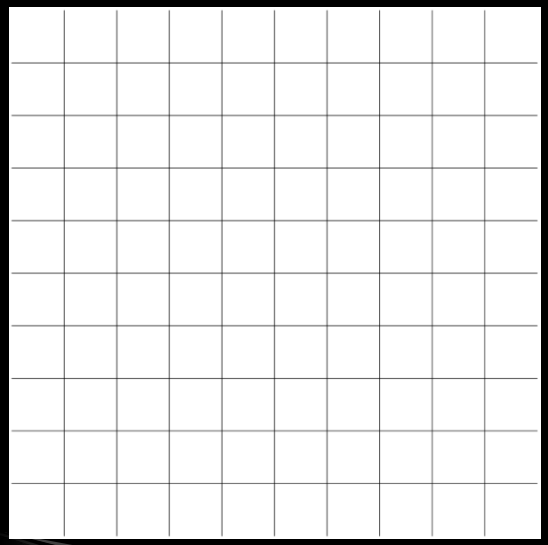
الک درشت
بزرگ تر از الک شماره ۴



بعد هر حفره به اینچ

بعد هر چشمه
الک شماره ۴:
۴,۷۶ میلی متر
(۵ میلی متر)

الک ریز
الک شماره ۴ و ریزتر



تعداد حفره در هر اینچ

سنگدانه

درشت دانه (شن)

تعداد الک: ۳

الک ۳/۸ اینچ

الک ۳/۴ اینچ

الک ۱/۲ و ۱ اینچ

مرز

الک شماره ۴

تعداد الک ها: ۹

ریزدانه (ماسه)

تعداد الک: ۵

الک نمره ۸

الک نمره ۱۶

الک نمره ۳۰

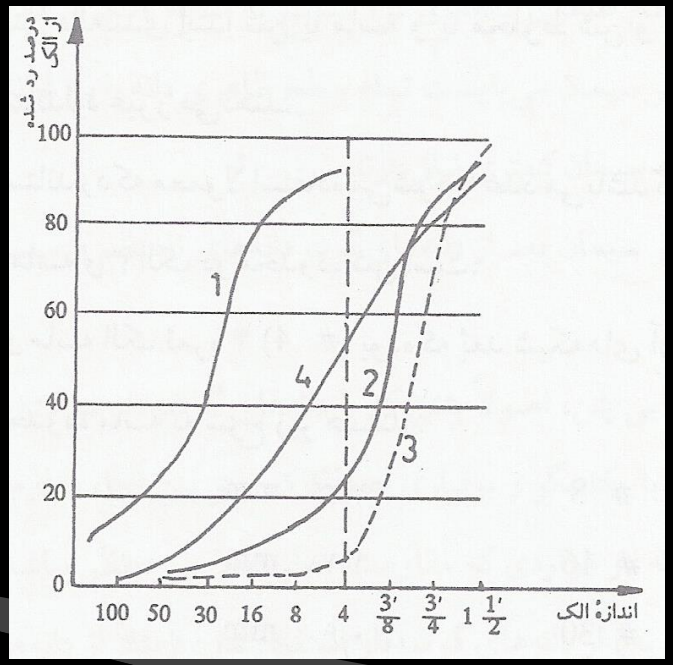
الک نمره ۵۰

الک نمره ۱۰۰

دستگاه لرزاننده – الک ها و سینی زیرین

رسم منحنی دانه بندی

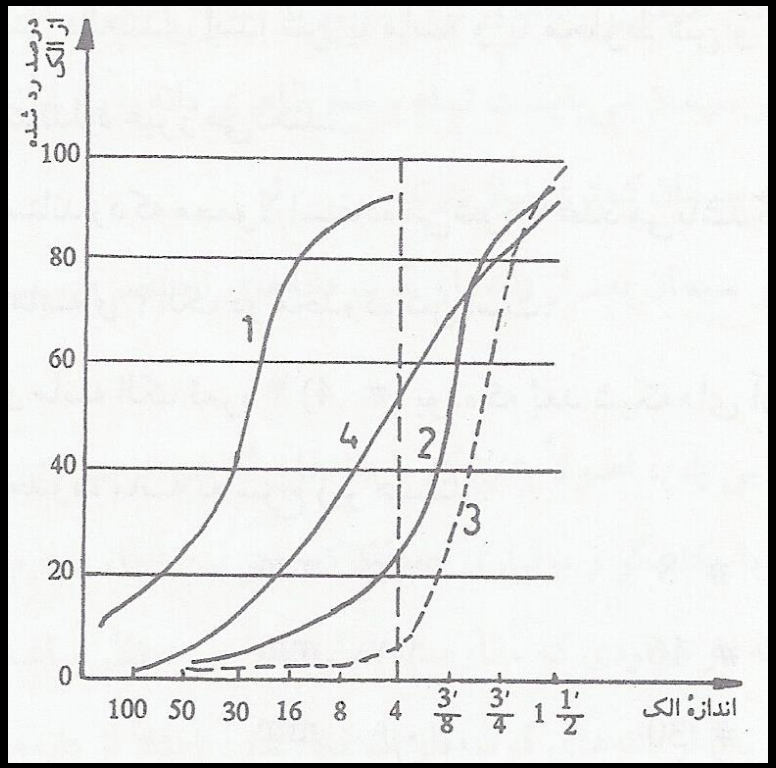
- وزن کردن سنگدانه ها
- ریختن سنگدانه ها بر روی بالاترین الک (الک ۱ و ۱/۲ اینچ)
- روشن کردن لرزاننده
- وزن کردن سنگدانه های باقی مانده بر روی هر الک
- محاسبه درصد مانده بر روی هر الک (وزن مانده روی هر الک تقسیم بر وزن کل)
- محاسبه درصد عبوری از هر الک (۱۰۰ منهای درصد مانده)



جدول دانه بندی سنگدانه (ماسه)

اندازه الک		وزن مانده روی هر الک	درصد جزیی مانده هر الک	درصد عبوری از هر الک
9.5 mm	(3/8 in.)	0 gr	0%	100%
4.75 mm	(No. 4)	20 gr	2%	98%
2.36 mm	(No. 8)	45 gr	4.5%	95.5%
1.18 mm	(No. 16)	85 gr	8.5%	91.5%
600 µm	(No. 30)	120 gr	12%	88%
300 µm	(No. 50)	185 gr	18.5%	81.5%
150 µm	(No. 100)	230 gr	23%	77%
	Pan	315 gr	31.5%	68.5%
Total		1000 gr	100%	

تفسیر منحنی های دانه بندی



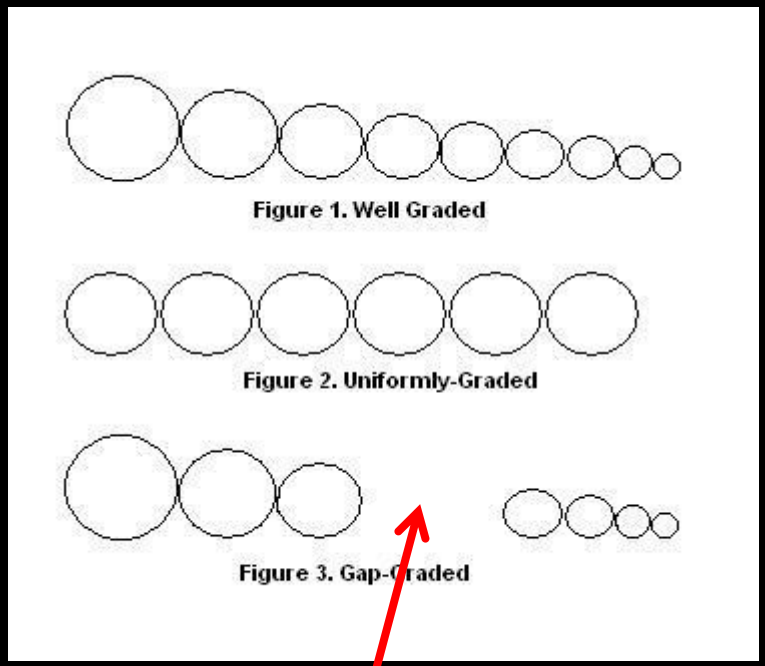
- منحنی شماره ۱: قرارگیری اکثر سنگدانه ها در محدوده ماسه پیوسته
- منحنی شماره ۲: عدم وجود سنگدانه پیوسته اما در محدوده شن و ماسه گسسته
- منحنی شماره ۳: دارای شن و ماسه، اکثر دانه ها در محدوده ۳/۴ و ۳/۸ قرار دارند.
- منحنی شماره ۴: در محدوده شن و ماسه پیوسته

خطوط عمودی: قرارگیری اکثر سنگدانه ها در آن محدوده

خطوط افقی: عدم وجود سنگدانه در آن محدوده

۲ دانه بندی

دانه بندی پیوسته مناسب جهت ساخت بتن است.

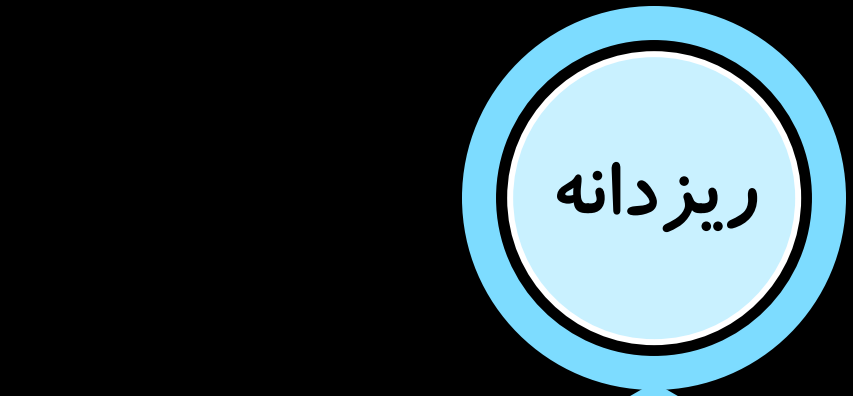


ایجاد خط افقی در منحنی دانه بندی

دانه بندی مطلوب

۲ تاثیر ریزدانه ها بر بتن

دانه ها ی عبوری از الک نمره ۵۰ (ریزتر از ۰,۳ میلی متر) یا
الک نمره ۱۰۰ (ریزتر از ۰,۱۵ میلی متر)



روان تر شدن و
کاهش آب مورد نیاز

افزایش سطح ظاهری سنگدانه ها و
افزایش مصرف سیمان

اعمال محدودیت
(به کتاب مراجعه گردد)

۲ مدول نرمی سنگدانه

مدول نرمی عبارت است از مجموع درصدهای تجمعی باقیمانده روی الک های استاندارد تقسیم بر صد.

۰<مدول نرمی<۹

درشت دانه

ریزدانه

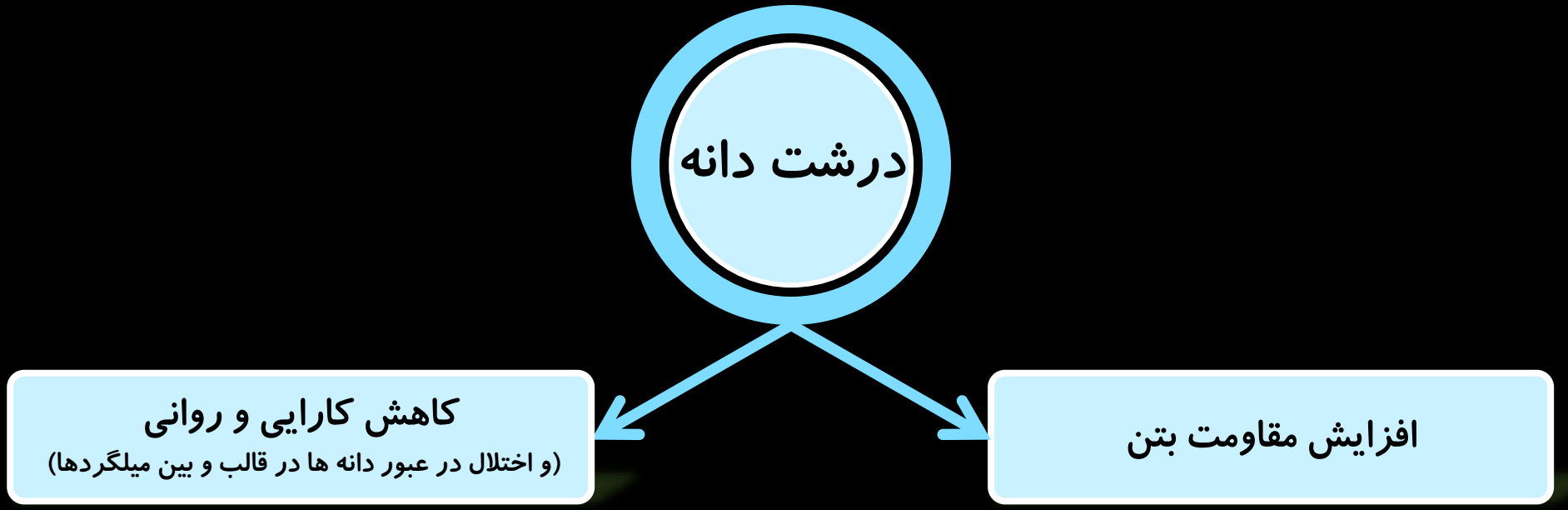
دانه بندی و مدول نرمی ماسه

اندازه الک		درصد جزیی مانده هر الک	درصد تجمعی مانده روی هر الک
9.5 mm	(3/8 in.)	0	0
4.75 mm	(No. 4)	2	2
2.36 mm	(No. 8)	13	15
1.18 mm	(No. 16)	20	35
600 µm	(No. 30)	20	55
300 µm	(No. 50)	24	79
150 µm	(No. 100)	18	97
	Pan	3	—
Total		100	283

مدول نرمی $283 \div 100 = 2.83$

۲ تاثیر درشت دانه ها بر بتن

هر چه مصالح دانه ای درشت تر باشند به شرط ثابت بودن نسبت آب به سیمان مقاومت فشاری افزایش می یابد.



حداکثر بعد دانه های شنی به مقادیر زیر محدود می گردد:

۱- ۱/۵ حداقل بعد قالب

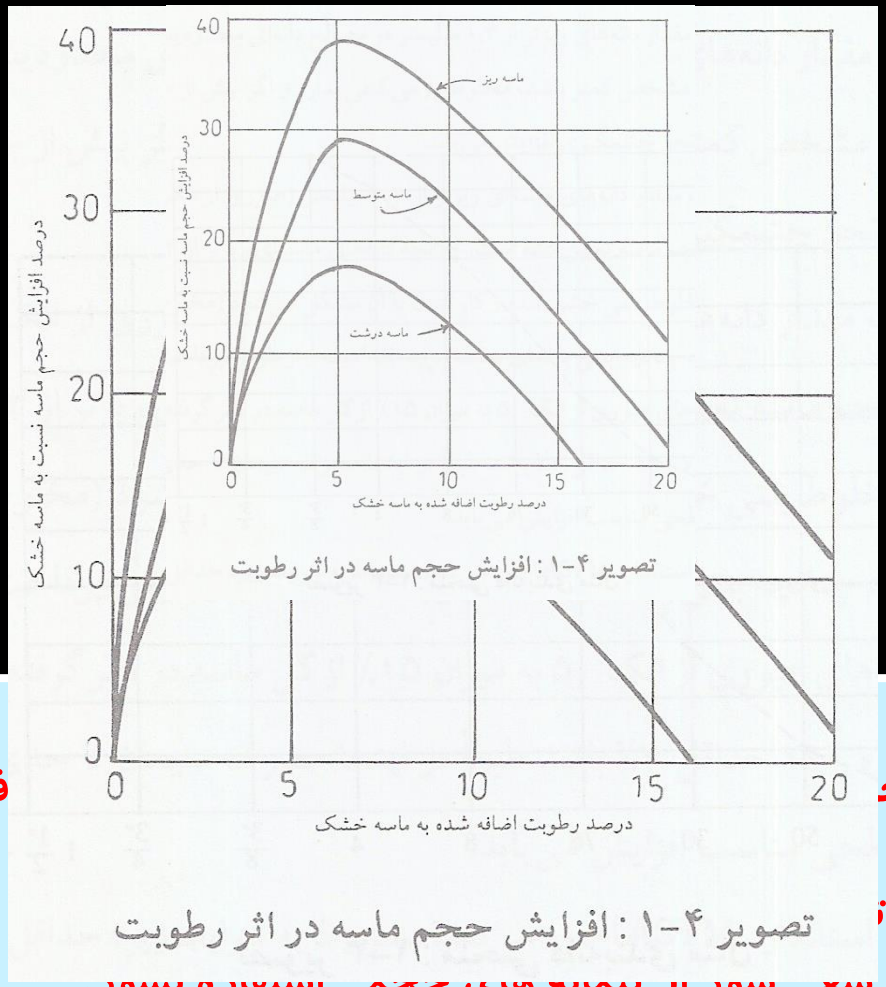
۲- ۳/۴ فاصله آزاد بین میلگردها

۳- ۱/۳ ضخامت دال های روی خاک و ۱/۲ ضخامت دال های سقفی

انبساط حجمی ریزدانه ها بر اثر رطوبت

۲

به دلیل خاصیت کشش سطحی آب بین ریزدانه ها حجم ماسه نسبت به حجم اولیه آن افزایش می یابد.



تصویر ۴-۱ : افزایش حجم ماسه در اثر رطوبت

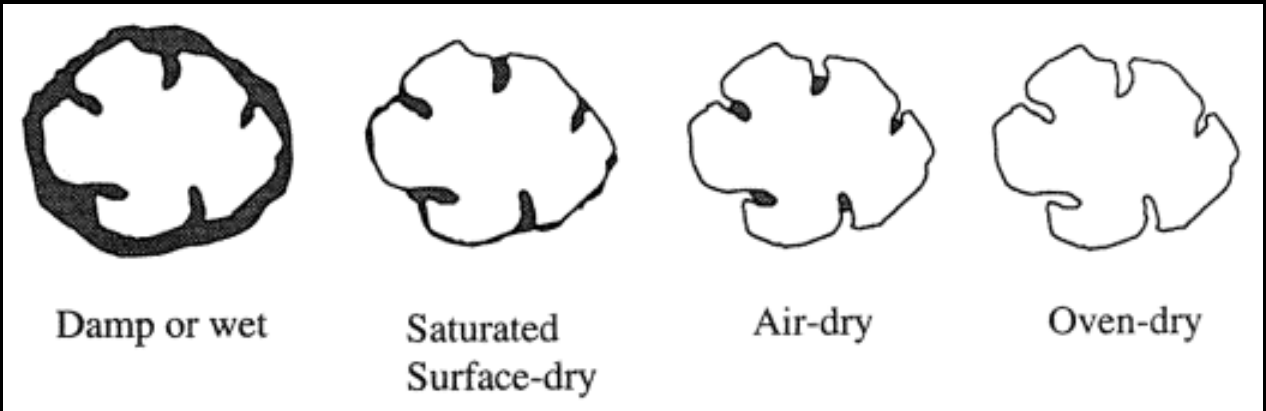
تصویر ۴-۱ : افزایش حجم ماسه در اثر رطوبت

۱- بیش ترین افزایش ح فزایش بیش تر رطوبت
افزایش حجم کاهش می
۲- هر چه ماسه ریزدانه ت

نکته: در مراحل تهیه بتن سعی شود از پیمانه های حجمی استفاده نشود.

۲ رطوبت سطحی سنگدانه

۱- دانه های کاملا خشک (Over-Dry)
۲- دانه های خشک (Air-Dry)
۳- دانه های اشباع با سطح خشک (Saturated Surface-Dry)
۴- دانه های مرطوب (Damp or Wet)

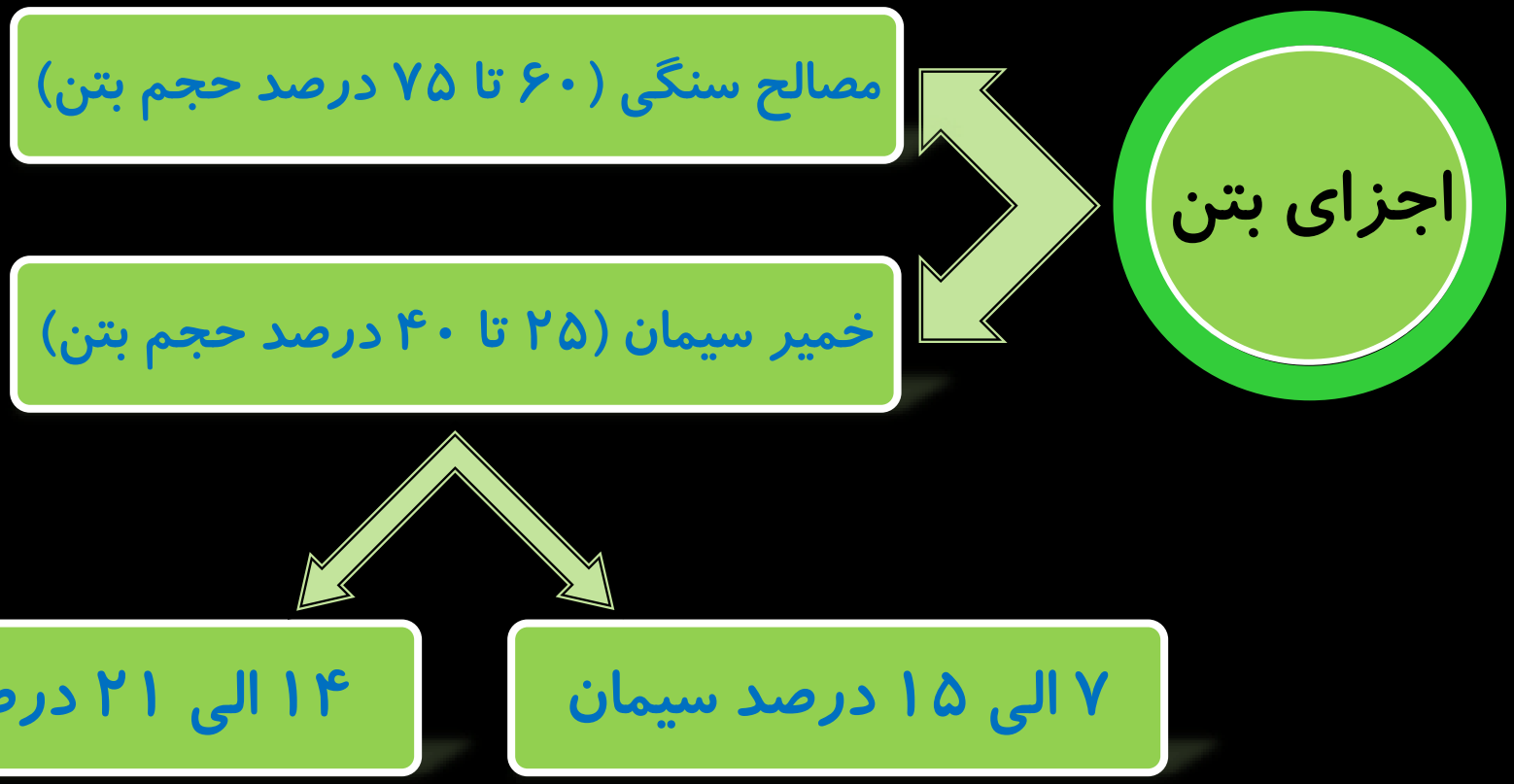


نکات:

۱- در طرح اختلاط فرض بر این است که دانه ها در حالت اشباع با سطح خشک هستند، لذا نه آب بتن جذب دانه ها می شود و نه دانه ها آبی به آب بتن اضافه می کنند.

۲- به طور معمول ریزدانه ها تا حدود ۰,۷ درصد و دانه های شنی تا حدود ۰,۵ درصد آب جذب می کنند تا از حالت کاملا خشک به حالت اشباع با سطح خشک درآیند.

۳ بتن و خواص آن



میزان آب در بتن به طور معمول با نسبت وزنی آب به سیمان (W/C) بیان می شود.

W: وزن آب و C: وزن سیمان.

آب مورد نیاز واکنش های هیدراتاسیون: حدود ۲۵ درصد وزنی سیمان (آزمایش غلظت نرمال). هر چند در عمل ساخت بتنی با این مقدار آب (W/C = 0.25) امکان پذیر نیست.

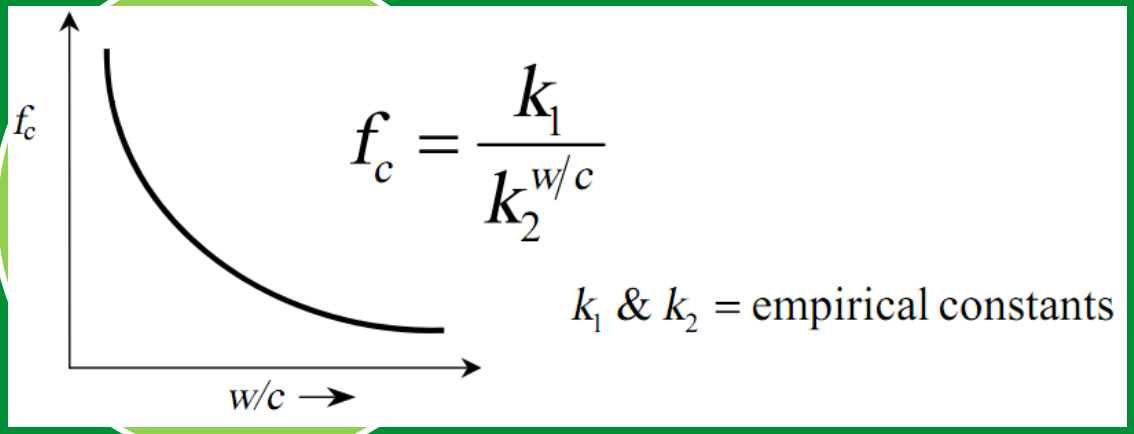
محاسن (W/C) کم:

۱- افزایش مقاومت فشاری و کششی بتن
۲- افزایش خاصیت آب بندی (کاهش نفوذپذیری) و کاهش جذب آب
۳- پیوستگی بهتر بین لایه های متوالی در بتن ریزی
۴- افزایش چسبندگی بین میلگرد و بتن
۵- افزایش مقاومت در مقابل شرایط یخبندان
۶- کاهش میزان افت
۷- کاهش میزان خزش
۸- کاهش امکان آب انداختن
۹- کاهش امکان جداشدن دانه ها

وجود حفره های توخالی بعد از خشک شدن بتن

محاسن (W/C) زیاد:

افزایش روانی و کارایی

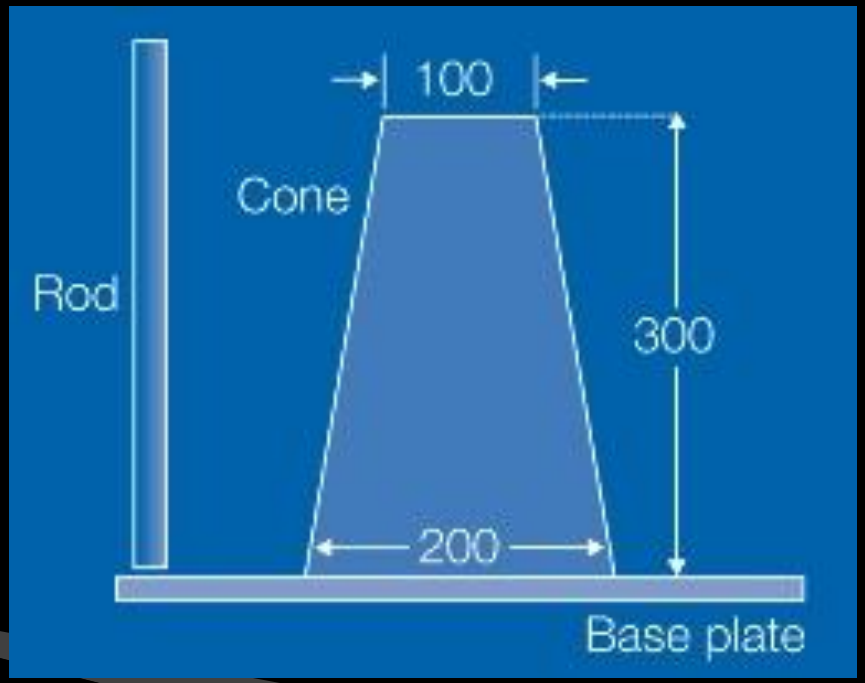


۳ بتن تازه و کارایی آن

بتن تازه بتنی است که تازه ساخته شده و دارای خاصیت روانی است.

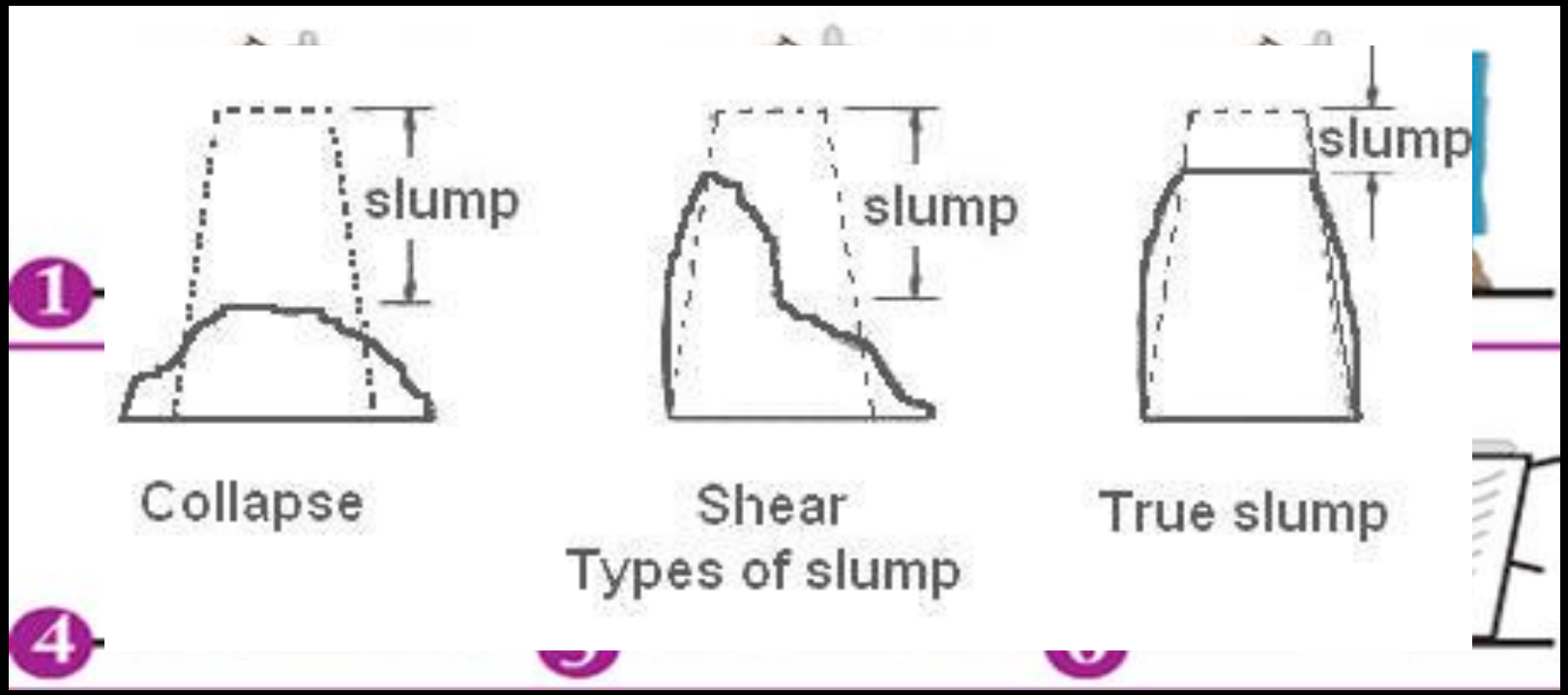
کارایی: عبارت است از درجه سهولت ریختن و کارکردن با بتن.
هر چه ریختن و کارکردن با بتن راحت تر باشد بتن از کارایی بیش تری برخوردار است.

آزمایش اسلامپ: تعیین درجه کارایی بتن



۳ بتن تازه و کارایی آن

مراحل انجام آزمایش اسلامپ



به میزان افت بر حسب سانتی متر کارایی بتن می گویند.

۰<کارایی<۳۰

۱- برای کارهای بتن آرمه در محدود ۵ تا ۱۰ سانتی متر

۲- کارهای عادی بتن (بدون آرماتور یا با آرماتور کم) ۲ تا ۵ سانتی متر

۳- در موارد خاص (تراکم زیاد آرماتور - بتن ریزی با پمپ) ۱۰ تا ۱۲ سانتی متر

دو مشکل اصلی بتن تازه

۱- آب انداختن

۲- جداشدن دانه ها

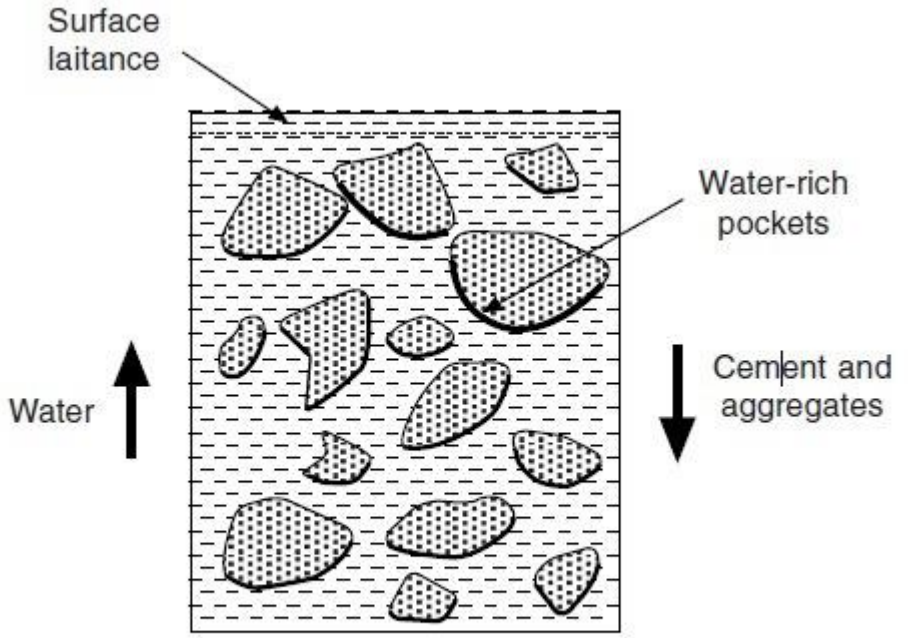


Figure 1.28 Segregation and bleed in freshly placed concrete.

۳ آب انداختن

پس از بتن ریزی، یک لایه نازک آب آغشته به سیمان، روی سطح بتن ظاهر می شود.

اسلامپ بیش از حد

ویبره بیش از حد

دانه بندی نامناسب
(دانه بندی درشت و چسبندگی کم)

۳ جداشدن دانه ها

دانه های درشت بتن نشست کرده و به سمت پایین حرکت می کنند و دانه های ریزتر به سمت بالا حرکت می کنند. در نتیجه توزیع دانه بندی به هم می خورد.

- اسلامپ بیش از حد
- ویبره بیش از حد
- ریختن بتن از ارتفاع

۳ تراکم بتن

به حرکت درآوردن ذرات بتن، کم کردن اصطکاک بین آن ها و خارج کردن ذرات هوا.

ارتعاش

- بتن متراکم تر
  مقاومت بیش تر
  مقاوم در برابر عوامل محیطی
- افزایش سطح تماس بین بتن و میلگرد
  سطح ظاهری صاف و بدون خلل و فرج

۳ انوع ویبره

- ویبره دستی
- ویبره لرزاننده قالب
- ویبره میزی

۳ مراقبت از بتن (عمل آوری)

رطوبت کافی

حداقل رطوبت مورد نیاز ٪۸۰ می باشد.

درجه حرارت مناسب

دمای بهینه ۱۳ درجه سانتی گراد است.
دمای ۴ درجه سانتی گراد و پایین تر گیرش بتن و سرعت واکنش ها را با مشکل روبرو می کند. همچنین دمای زیر صفر سبب یخ زدن آب بتن می شود.

راه های مقابله با گرمای هوا:

استفاده از سیمان های با گرمای هیدراتاسیون پایین (تیپ ۴)

استفاده از آب سرد و یا حتی مخلوط آب و یخ به جای آب

راه های مقابله با سرمای هوا:

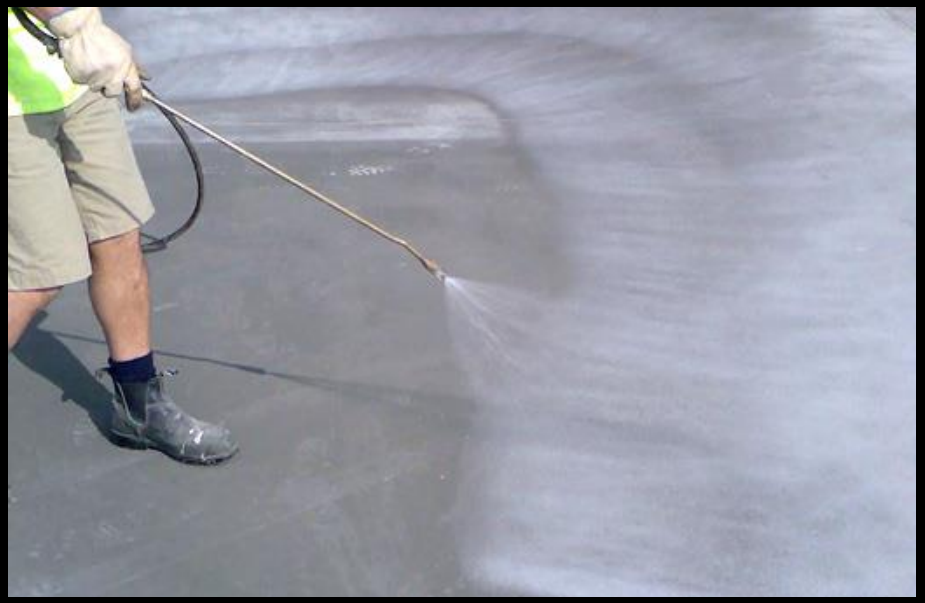
استفاده از سیمان های با گرمای هیدراتاسیون بالا (تیپ ۳)

استفاده از وسایل گرمازا در محل بتن ریزی

استفاده از آب گرم

حداقل زمان مراقبت:
۷ روز

۳ مراقبت از بتن (عمل آوری)



۳ مراقبت از بتن (عمل آوری)

نقص در عمل آوری بتن:

۱- افت مقاومت فشاری و خمشی بتن

۲- ایجاد زمینه پودرشدگی سطحی بتن

(قسمت های سطحی بتن به راحتی رطوبت لازم جهت انجام واکنش ها را از دست می دهند.)

۳- افزایش میزان افت بتن (کاهش حجم بتن در هنگام خشک شدن) و ایجاد ترک های سطحی

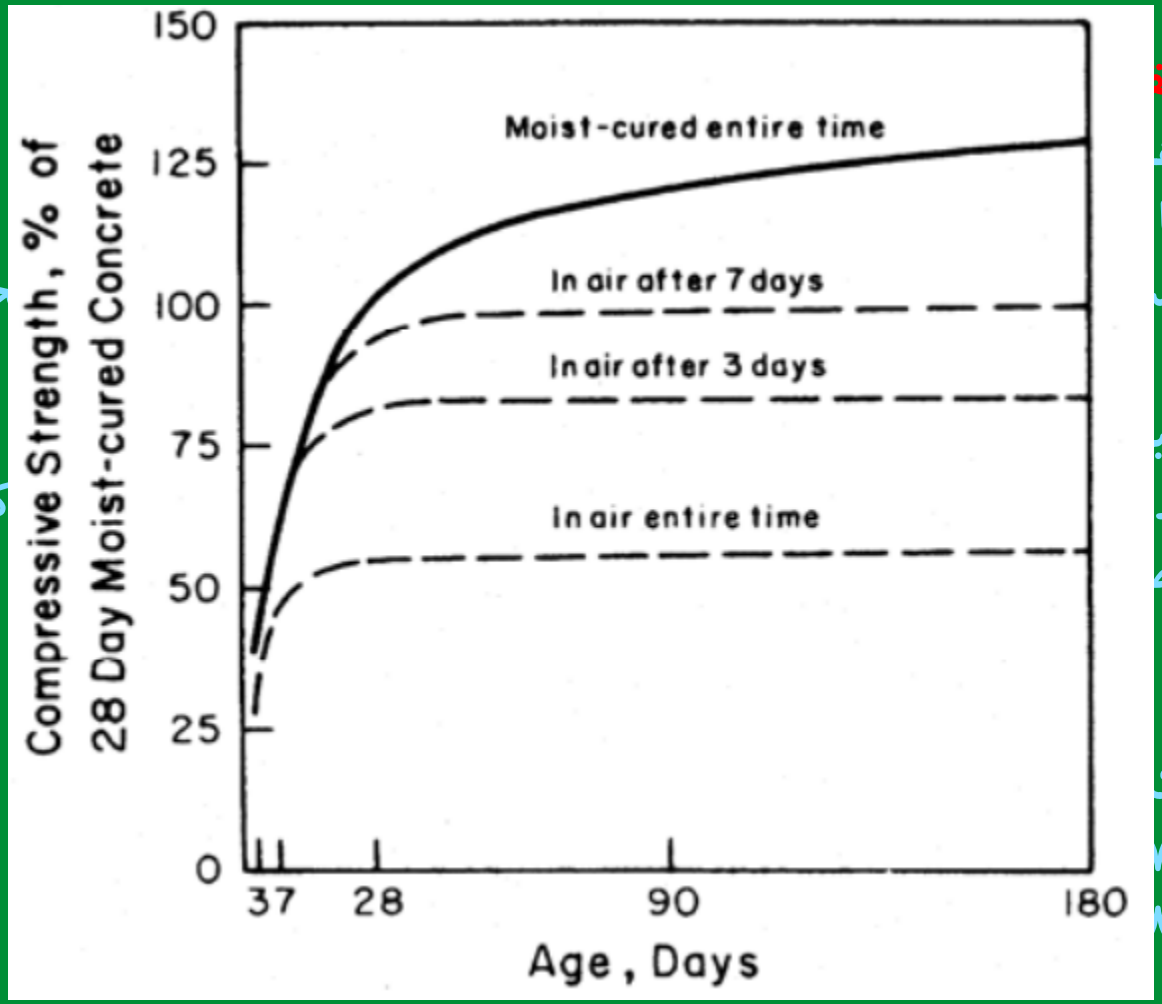
۴- افزایش میزان خزش در بتن

خشک شدن بتن:

قسمت های سطحی بتن در ساعت های اولیه رطوبت خود را از دست می دهند. در عین حال، قسمت های عمقی رطوبت خود را حفظ می کنند.

بنابراین، عمل آوری لایه های سطحی (به خصوص تا عمق ۱ سانتی متر) از اهمیت زیادی برخوردارند.

۳ مقاومت بتن



عوامل موثر در مق

۱- کیفیت دانه ه

۲- میزان دانه ها

افزایش دانه ها س

۳- مقدار سیمان

افزایش مقدار سی

مقدار سیمان باید

سبب افزایش فاص

۴- نسبت آب به

۵- عمر بتن

با گذر زمان و تک

مقاومت فشاری ۷

مقاومت فشاری ۸

حاظ شود).

کند. سیمان مازاد

۳ چند نکته

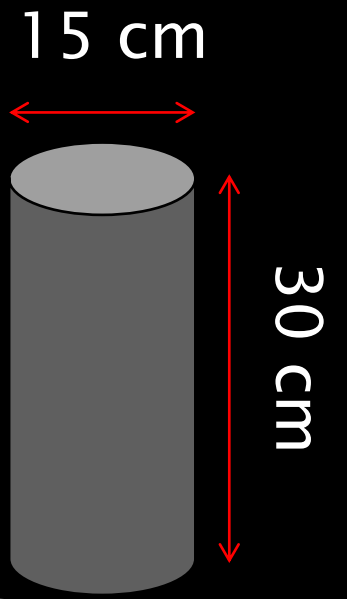
دلیل استفاده کردن آیین نامه ها از مقاومت فشاری ۲۸ روزه:
افزایش مقاومت بعد از روز ۲۸ ام در شرایط عادی ناچیز است.
بعد از این مدت امکان بارگذاری سازه ها وجود دارد.
به دلیل اثر مخرب عوامل محیطی از جمله باران (به خصوص باران های اسیدی) در جهت محافظه کارانه از این افزایش مقاومت صرف نظر می شود.

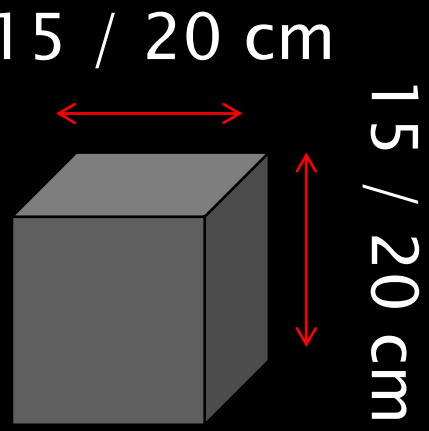
مقاومت فشاری بتن

۳ مقاومت فشاری بتن

در استانداردهای آمریکایی و ایران مقاومت فشاری بتن با f'_c مشخص می شود که در واقع مقاومت ۲۸ روزه ی نمونه استوانه ای به ارتفاع ۳۰ و قطر قاعده ۱۵ سانتی متر می باشد.

در کشور های اروپایی این نمونه با ابعاد ۲۰x۲۰ و ۱۵x۱۵ سانتی متر ساخته می شود که مقاومت فشاری به دست آمده از این نمونه ها را با f_{cu} نشان می دهند.





۳ مقاومت فشاری بتن

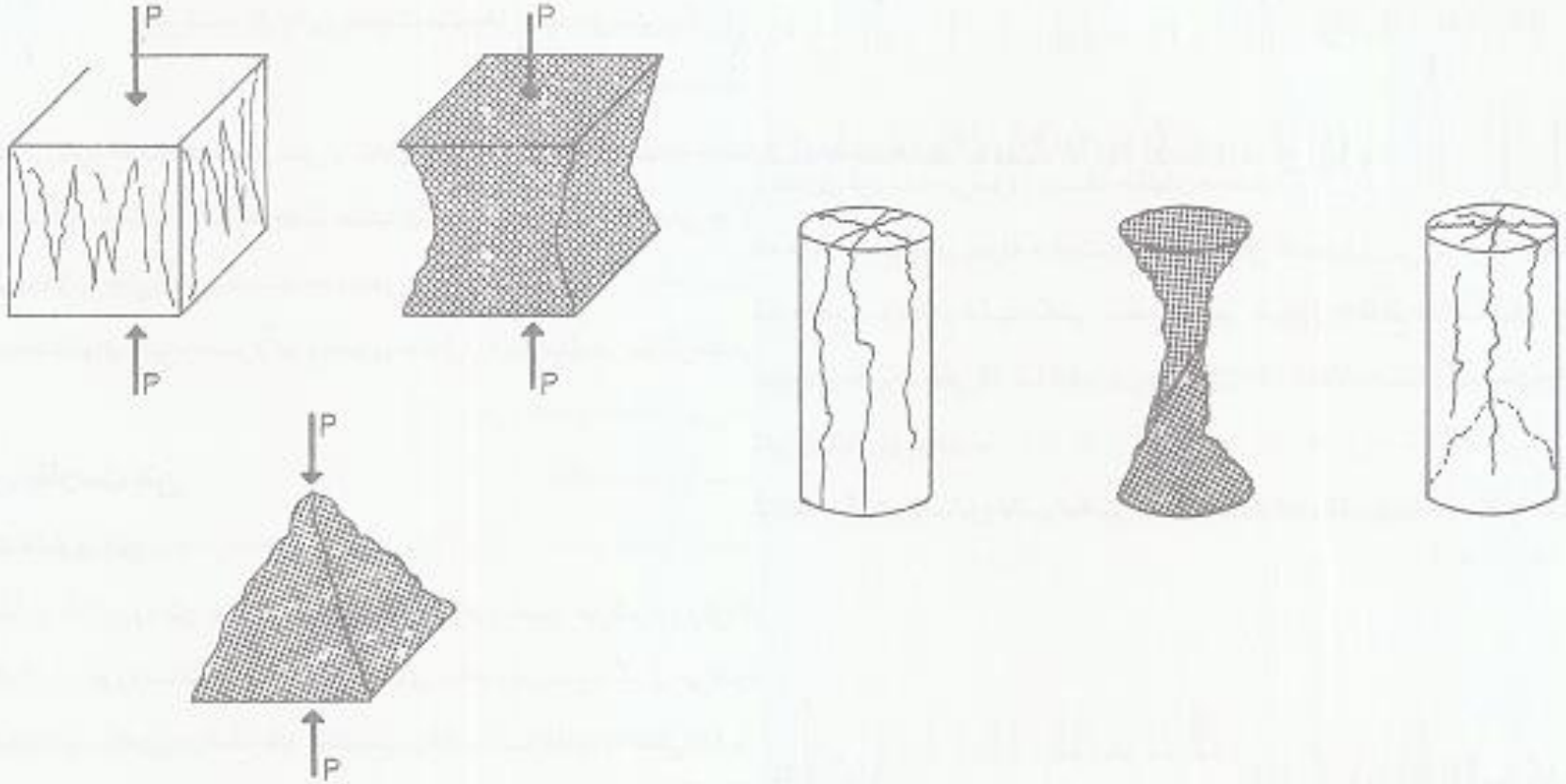
بر اساس تئوری احتمال با افزایش ابعاد نمونه احتمال وجود ترک در بتن بالا می رود؛ لذا هر چه ابعاد نمونه افزایش یابد مقاومت فشاری بتن کاهش می یابد.

عامل شکل و اندازه در مقاومت نمونه های بتنی موثر بوده بدین صورت که نمونه های مکعبی مقاومت بیشتری از نمونه های استوانه ای دارند.

مقامت فشاری نمونه استوانه ای = ۸۰ درصد مقاومت فشاری نمونه مکعبی

$$f'_c = 0.8 * f_{cu}$$

۳ شکست نمونه های بتنی



حالات ممکن گسیختگی در نمونه‌های آزمایشی

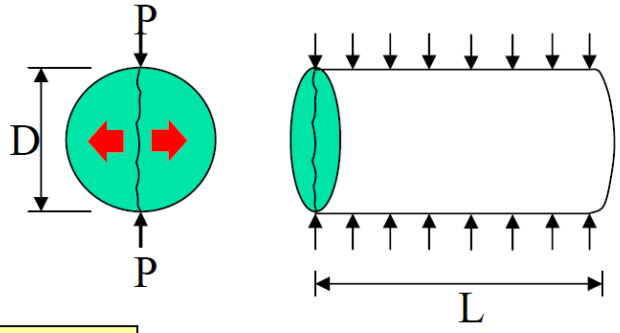
۳ مقاومت کششی بتن

مقاومت کششی به دو طریق اندازه گیری و محاسبه می شود.

- آزمایش مقاومت کششی برزیلی
- آزمایش خمش

مقاومت کششی بتن را مدول گسیختگی یا ضریب گسیختگی می نامند.
مدول گسیختگی در حدود ۱۰ الی ۱۵ درصد مقاومت فشاری است.
در محاسبات بتن مسلح از ظرفیت کششی بتن صرف نظر می شود. در عین حال در بعضی محاسبات مانند خیز یا ترک خوردگی، مدول گسیختگی درنظر گرفته می شود.

آزمایش مقاومت کششی برزیلی



$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi LD}$$

$$f_{ct} = 0.55\sqrt{f'_c} \qquad f_{ct}, f'_c : \text{MPa}$$

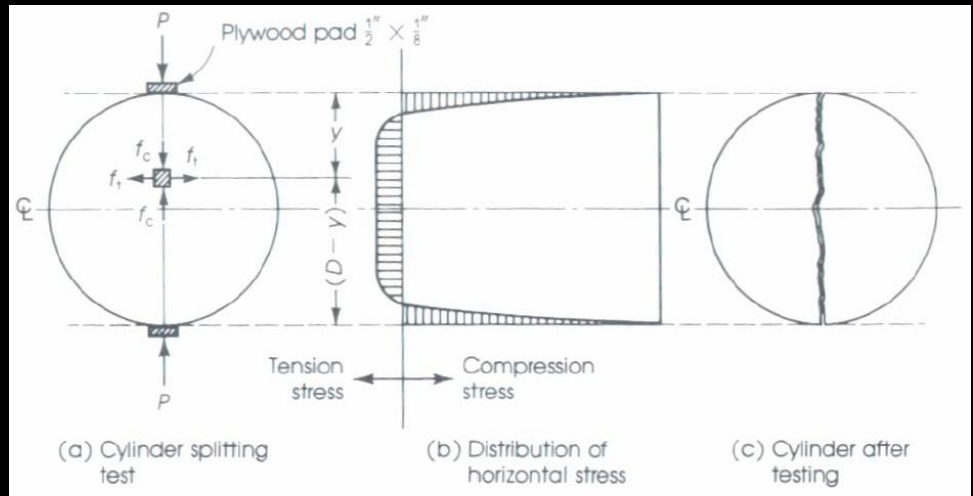
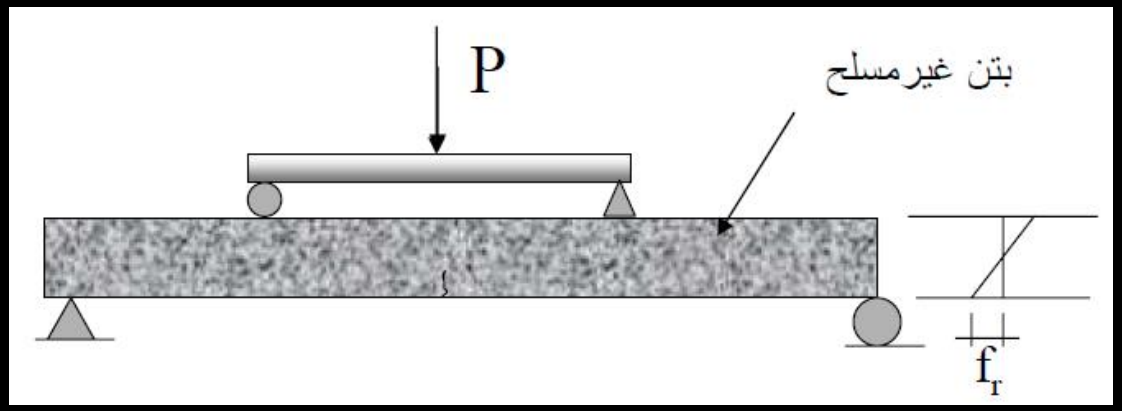


FIGURE 2.6. Cylinder splitting test:[7] (a) configuration of test, (b) distribution of horizontal stress, and (c) cylinder after testing.

۳ مقاومت کششی بتن

آزمایش خمش



$$f_r = \frac{Mc}{I} = \text{Modulus of rupture}$$

$$f_r = 0.63\sqrt{f'_c} \qquad f_r, f'_c : \text{MPa}$$

۳ وزن مخصوص بتن، W_c

- **وزن مخصوص حقیقی**

نسبت وزن بتن تقسیم بر حجم حقیقی بتن (کسر حجم خلل و فرج از حجم ظاهری).

- **وزن مخصوص ظاهری**

نسبت وزن بتن تقسیم بر حجم ظاهری بتن.
در محاسبات و آیین نامه از وزن مخصوص ظاهری استفاده می شود.

تقسیم بندی بتن از نظر وزن مخصوص:

- **بتن معمولی**

وزن مخصوص بین ۲۲۰۰ تا ۲۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب

- **بتن سبک**

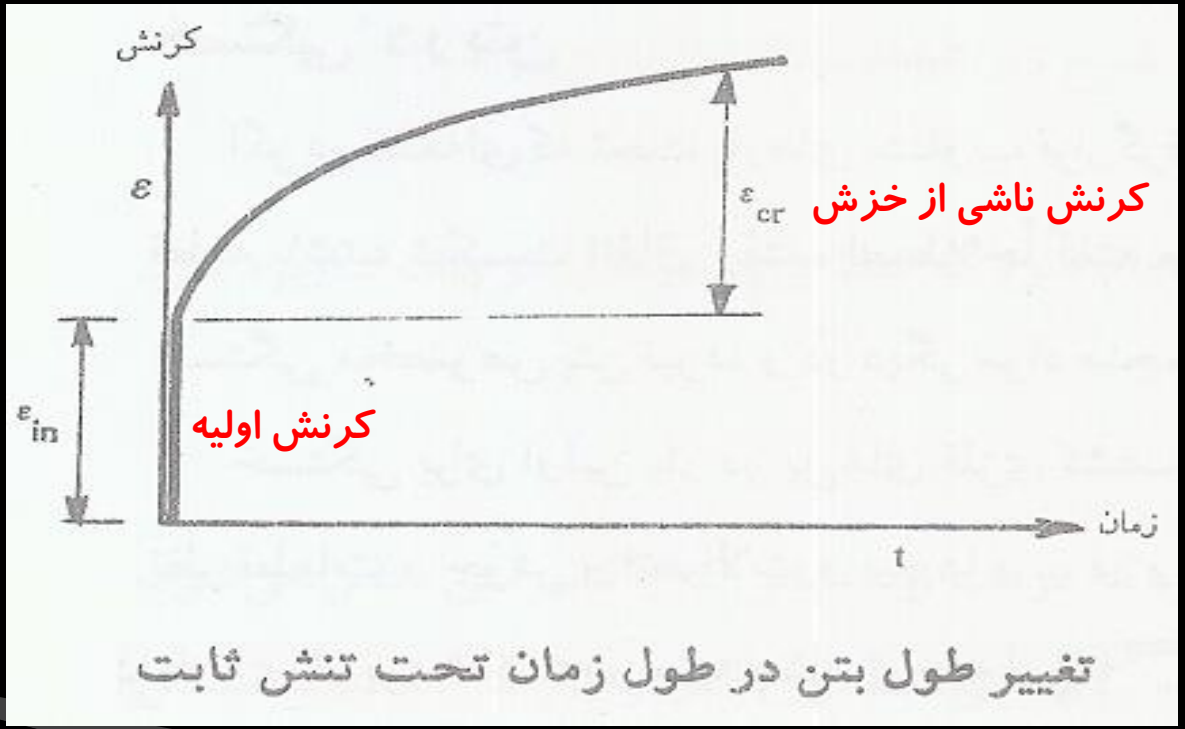
وزن مخصوص بین ۸۰۰ تا ۱۲۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب
سنگدانه های سبک و متخلخل مانند پومیس یا پوکه
مواد هواساز مانند ژل آلومینیوم

- **بتن سنگین**

در ساخت آن به جای سنگدانه از خرده های فولاد و چدن و ... استفاده می شود.
با توجه به چگالی زیاد آن در سازه های مقاوم در برابر اشعه های مضر (ایکس و گاما) استفاده می شود.
وزن مخصوص بین ۳۵۰۰ تا ۶۰۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب

خزش: تغییرشکل اجسام تحت بارگذاری ثابت (در حالت الاستیک) در طول زمان

- کرنش ناشی از خزش می تواند ۲ تا ۳ برابر کرنش اولیه باشد.
- عدم درنظرگیری تنش ناشی از خزش می تواند سبب خرابی سازه شود.



تغییر طول بتن در طول زمان تحت تنش ثابت

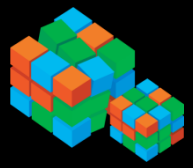
۳ خزش

عوامل موثر بر خزش:

- مقاومت فشاری بتن: رابطه عکس
- تنش وارد بر بتن: رابطه مستقیم
- رطوبت محیط: رابطه عکس
- عمر بتن: رابطه عکس

راه های مقابله با خزش:

- بهبود کیفیت ساخت بتن، عمل آوری مناسب و افزایش مقاومت فشاری بتن
- استفاده از آرماتور جهت مقابله با اضافه تنش ناشی از خزش



۳ خستگی

شکست عضو ناشی از بارگذاری های متناوب (بارهای کمتر از مقاومت عضو).

در طراحی سازه های در معرض بارهای متناوب مانند پل ها ملاحظات طراحی لحاظ شود.