به نام خدا

سازه های بتنی

سرفصل:

- مقدمه ای بر بتن و خواص آن
- تکنولوژی بتن
- انواع سیستم های سازه ای بتنی
- آیین نامه طراحی و روش های طراحی سازه های بتنی
- ترکیبات بارگذاری
- طراحی تیرها
- طراحی ستونها
- طراحی دالها و سقف تیرچه بلوک
- طراحی دیوارهای برشی
- طراحی پی

ارزیابی:

- میان ترم ۶ نمره
- پایان ترم ۱۲ نمره
- تکالیف ۲ نمره
- حضور در کلاس

مراجع:

- طراحی ساختمانهای بتنی دکتر گلابچی
- مبحث نهم مقررات ملی ساختمان
- تکنولوژی بتن دکتر مستوفی نژاد

مقدمه

تعریف بتن:

بتن(Concrete) به طور کلی محصولی است که از اختلاط آب، سیمان هیدرولیکی و سنگدانه های مختلف به وجود آمده و دارای ویژگیهای خاص است.

کاربرد بتن:
ساخت و سازهای فراوان سازه های بتنی چون ساختمان ها ، سازه ها، سدها ، پلها، تونلها و راهها و ...

بتن آرمه= بتن +میلگرد

مزایای کلی بتن:

۱- بتن مقاومت فشاری قابل قبولی در مقایسه با بسیاری از مصالح ساختمانی دیگر دارد. تنها ضعف آن کمی مقاومت در برابر کشش می باشد.

۲- مصالح تشکیل دهنده بتن (به جز سیمان که البته آن هم در عصر حاضر به فراوانی یافت شده و در همه جا تولید می شود) به عنوان مصالح محلی و ارزان قیمت محسوب می شوند .

۳- بتن را می توان به سهولت به هر شکل دلخواه درآورد.

۴- بتن مقاومت بسیار خوبی در مقابل آتش دارد. یک ساختمان بتنی می تواند ساعت ها در مقابل آتش سوزی مهیب مقاومت کند؛ بدون آن که فرو ریزد.

۵- بتن مقاومت خوبی در مقابل رطوبت و آب دارد. اگر آب در تماس با بتن، حاوی بعضی از یون ها از قبیل یون سولفات و یا یون کلرور نباشد، برای بتن و حتی میلگرد های موجود در بتن، مشکلی ایجاد نمی کند.

۶- نیاز تدریجی به سرمایه جهت ساخت که باعث شده است در بین عامه سازندگان ساختمان بازخورد قابل قبولی داشته باشد.

معایب بتن:

۱- مقاومت کششی بتن بسیار پایین بوده و در حدود یک دهم مقاومت فشاری آن است. در ناحیه کششی ترک هایی ایجاد می شود که لازم است با تمهیدات خاص، عرض این ترک ها را محدود نمود. چنین ترک هایی ممکن است در موارد خاص، زمینه نفوذ آب یا رطوبت یا یون های زیان آور را فراهم کنند.

۲- مقاومت پایین تر به ازای واحد وزن بتن در مقایسه با فولاد، منجر به سنگین تر شدن سازه های بتنی در مقایسه با سازه های فولادی می شود. مقاومت فشاری بتن معمولی حدود ۵ تا ۱۰ درصد مقاومت فولاد است.

۳- بتن تغییرات حجمی وابسته به زمان دارد. این تغییرات حجمی که عمدتاً با پدیده های افت و خزش مرتبط می باشد، با گذشت زمان ترک خوردگی هایی را ایجاد می کند و تغییر شکل و خیز اجزا را افزایش می دهد.

۴- سرعت اجرای سازه های بتنی به مراتب کمتر از سازه های فولادی است.

۵- نیاز به ماشین آلات بتن ساز و حمل بتن و وسایل دیگر مانند ویبره و ... اگر در هنگام بتن ریزی هر یک از وسایل ساخت ، حمل و ریختن بتن خراب شود علاوه بر تعطیل شدن امکان خراب شدن بتن ساخته شده را نیز در پی دارند.

۶- نیاز به مراقبت بتن : بتن بعد از ساختن باید سریع استفاده شده و اجرا گردد و اگر تا ۲ ساعت بعد از ساخت این امر میسر نشود ، فاسد و غیر قابل استفاده می‌شود. همچنین بتن تا ۷ روز پس از ریخته شدن نیاز به مراقبت جدی از حیث عمل آوری داشته و تا ۲۸ روز که مقاومت اصلی خود را بدست آورد باید تحت مراقبت پیوسته باشد.

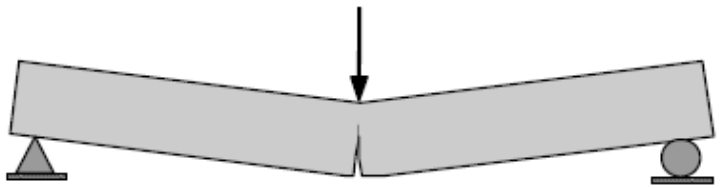
۷- شرایط آب و هوائی مانند سردی و گرمی هوا در سرعت اجرا و کیفیت آن تأثیر می گذارد.

۸- وزن ساختمان‌های بتنی به مراتب بیشتر از وزن ساختمان‌های فولادی می‌باشد.

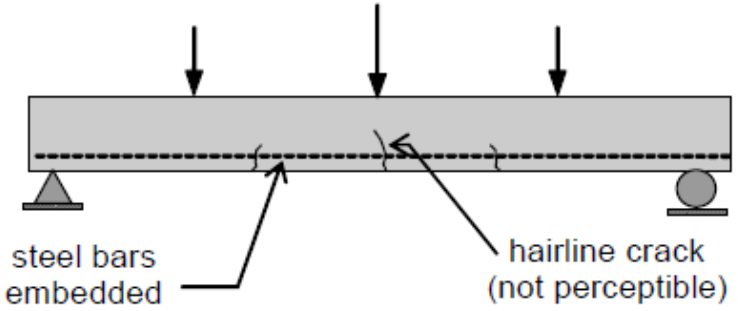
۹- ساختمان های بتنی فضای بیشتری اشغال می کنند که این امر در معماری ساختمان باعث از بین رفتن فضای مفید می شود.

۱۰- چون کنترل کیفیت بتن در کارگاه انجام میشود ، به مراتب کیفیتش نسبت به فولاد که در کارخانه تهیه می شود پایینتر است.

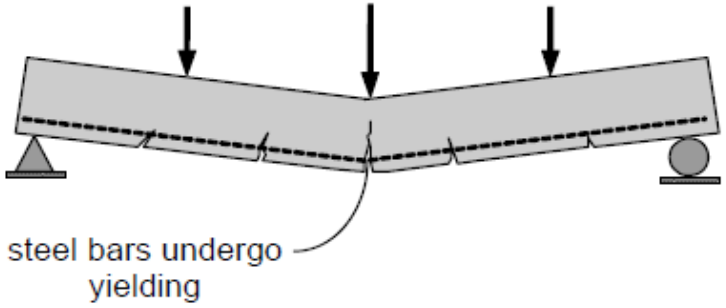
استفاده از میلگرد جهت رفع ضعف مقاومت کششی بتن



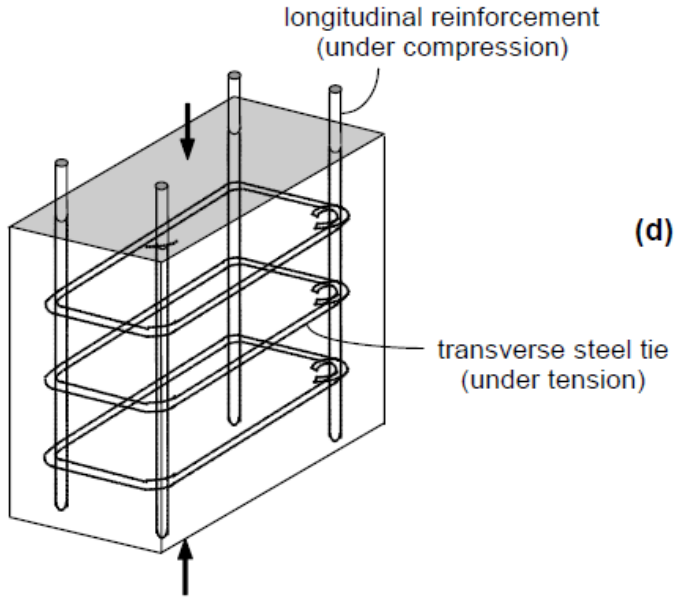
(a) **Plain concrete** beam cracks and fails in flexural tension under a small load



(b) **Reinforced concrete** beam supports loads with acceptably low deformations



(c) Ductile mode of failure under heavy loads



(d) Reinforced concrete column

Fig. 1.6 Contribution of steel bars in reinforced concrete

محاسن وجود بتن و فولاد (آرماتور) به عنوان مقطع مرکب در کنار هم:

۱- فولاد و بتن چسبندگی خوبی با هم دارند.

۲- ضریب انبساط حرارتی آنها تقریبا با هم یکسان است، لذا در صورت تغییر دمای محیط با هم افزایش یا کاهش طول می یابند

۳- بتن محافظ خوبی در مقابل اتش بوده و مانع از ذوب شدن فولاد در دماهای بالای آتش سوزی می شود.

۴- بتن از خوردگی فولاد در اثر رطوبت محافظت می کند

۵- بتن در مقابل نیروی فشاری مقاوم است و مانع از کمانش فولاد می شود.

۶- فولاد ضعف بتن در مقابل کشش را جبران کرده و مانع از گسترش ترک در بتن می شود

انواع آرماتور:

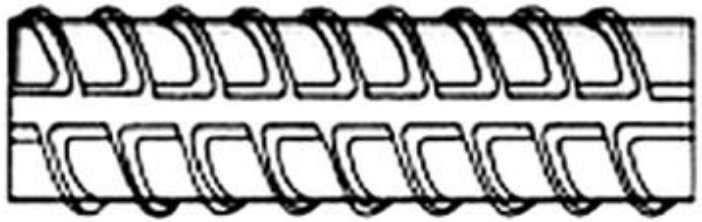
آرماتور AI از نوع صاف بوده و مقاومت تسلیم و مقاومت کششی (تنش گسیختگی) آن به ترتیب ۲۴۰۰ و ۳۶۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع می‌باشد.

آرماتور AII از نوع آجدار با مقاومت تسلیم ۳۴۰۰ و مقاومت کششی ۵۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع است.

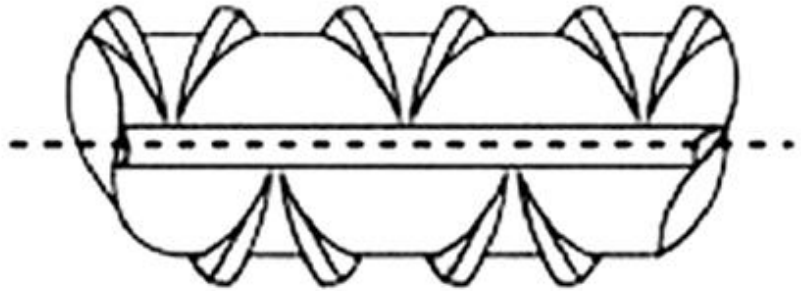
آرماتور AIII نیز از نوع آجدار با مقاومت تسلیم ۴۰۰۰ و مقاومت کششی ۶۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع است.

آرماتور AIV با مقاومت تسلیم ۵۰۰۰ و مقاومت کششی ۶۵۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مکعب

آج ۴۰۰
(آج یکنواخت)



آج ۳۴۰
(آج یکنواخت)



آج ۵۰۰
(آج مرکب)

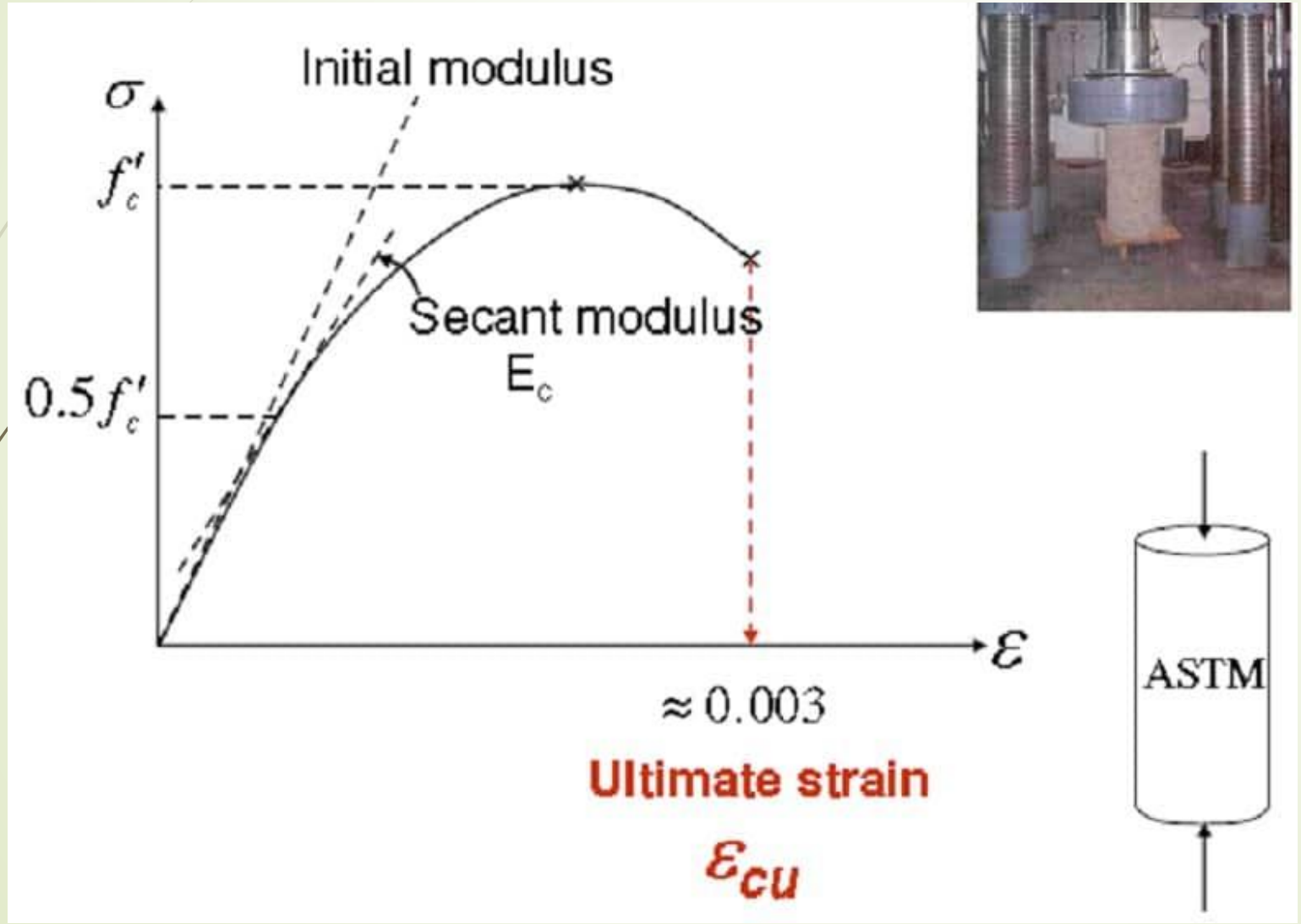
آج ۴۰۰
(آج دوکی)

آج ۳۴۰
(آج دوکی)

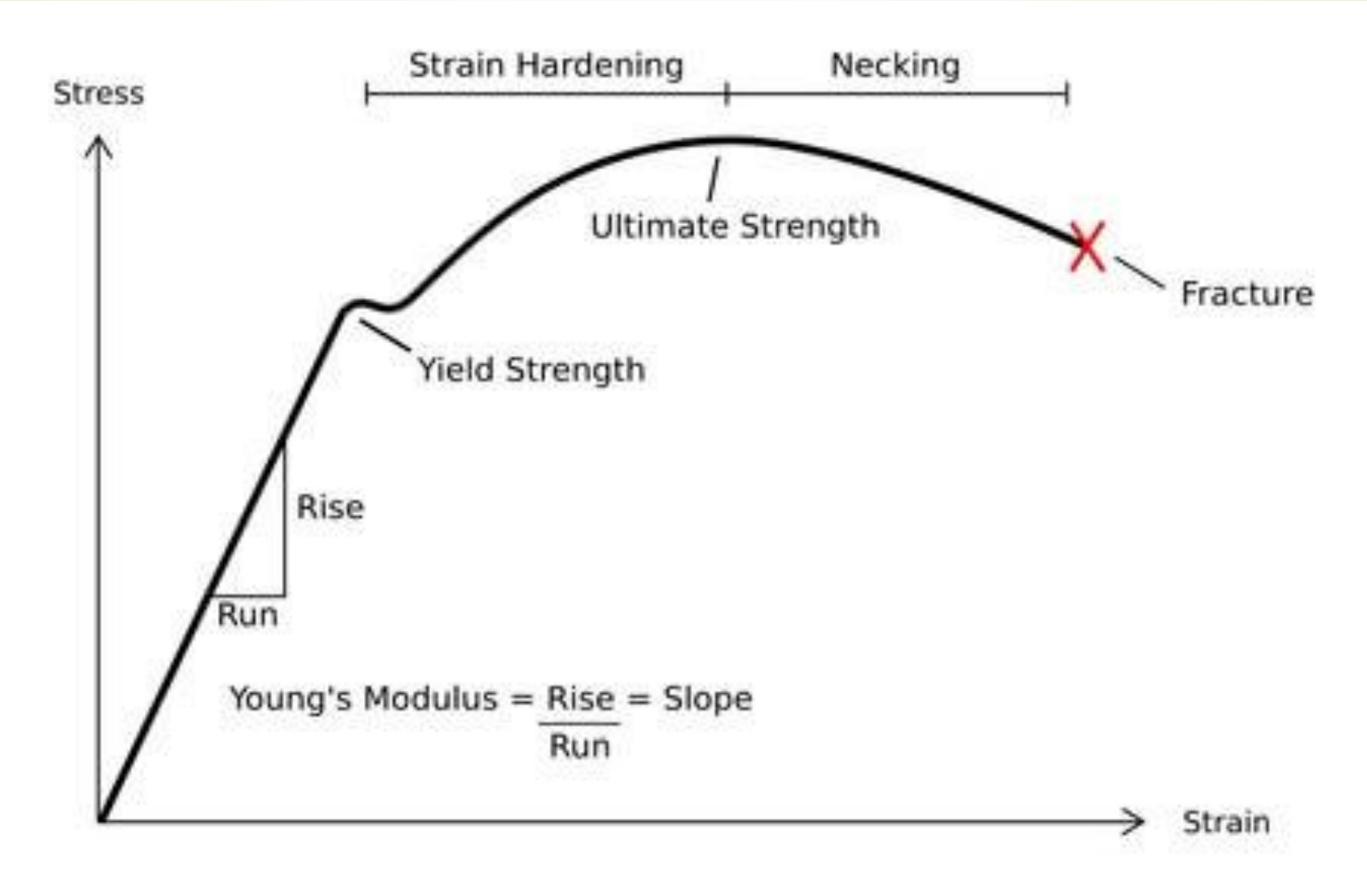
جدول ۹-۴-۲ ویژگیهای کششی آرماتورها

رده	علامت مشخصه در ایران	طبقه‌بندی از نظر شکل رویه	رده از نظر شکل پذیری	مقاومت کششی حداقل MPa	تنش حد تسلیم MPa		ازدیاد طول نسبی [۱]	
					حداقل	حداکثر	حداقل A_5	حداقل A_{10}
S240	س ۲۴۰	ساده	نرم	۳۶۰	۲۴۰	-	۲۵	۱۸
S340	آج ۳۴۰	آجدار مارپیچ	نیم سخت	۵۰۰	۳۴۰	-	۱۸	۱۵
S350	آج ۳۵۰	آجدار مارپیچ	نیم سخت	۵۰۰	۳۵۰	۴۵۵	۱۷ [۲]	-
S400	آج ۴۰۰	آجدار جناغی	نیم سخت	۶۰۰	۴۰۰	-	۱۶	۱۲
S420	آج ۴۲۰	آجدار جناغی	نیم سخت	۶۰۰	۴۲۰	۵۴۵	۱۶ [۲]	-
S500	آج ۵۰۰	آجدار مرکب	سخت	۶۵۰	۵۰۰	-	۱۰	۸
S500C	آج ۵۰۰ سرد	آجدار	سخت	۵۵۰	۵۰۰	-	۱۲	-
S520	آج ۵۲۰	آجدار مرکب	سخت	۶۹۰	۵۲۰	۶۷۵	۱۳	-

منحنی تنش کرنش بتن



منحنی تنش کرنش فولاد



اجزای تشکیل دهنده بتن:

۱- سیمان (cement):

۷ تا ۱۵ درصد از حجم بتن را تشکیل می دهد. سیمان و آب یک خمیر را شکل می دهند که سنگ دانه ها و ماسه را در مخلوط می پوشانند. این خمیر باعث چسبیدن سنگ دانه ها و ماسه به یکدیگر می شوند.

۲- آب (water):

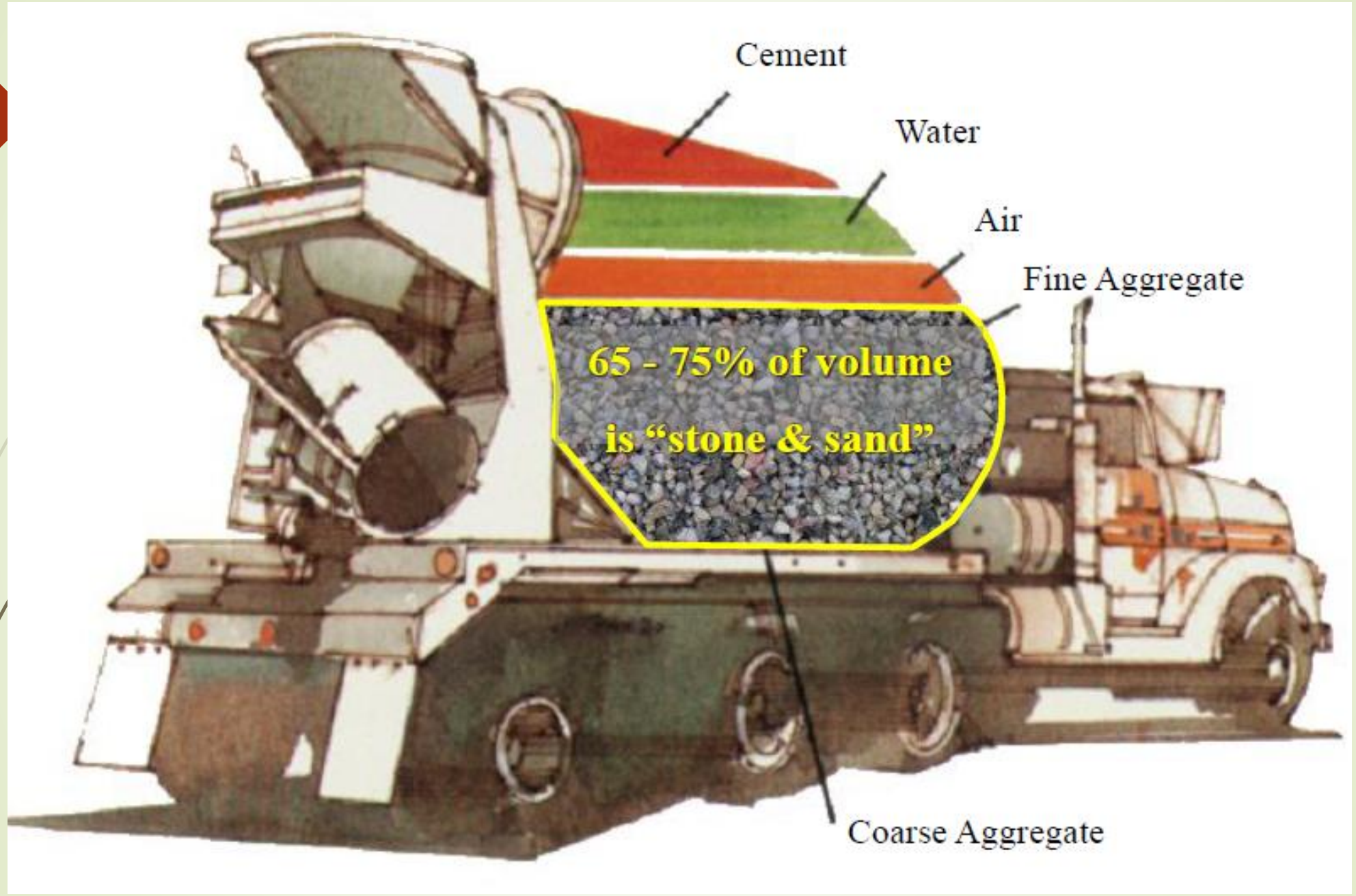
حدود ۴ تا ۲۱ درصد از حجم بتن را تشکیل می دهد. آب برای واکنش شیمیایی با سیمان (هیدراتاسیون) و همچنین ارائه کارایی بهتر بتن مورد نیاز است. میزان آب در مخلوط در مقایسه با مقدار سیمان، نسبت آب به سیمان (w/c) نامیده می شود.

۳- سنگ دانه ها (شن و ماسه) (aggregates)

سنگدانه‌ها در بتن تقریباً ۶۰ تا ۷۵ درصد حجم آنرا تشکیل می‌دهند. از اینرو کیفیت آنها از اهمیت خاصی برخوردار است. در حقیقت خواص فیزیکی، حرارتی و پاره‌ای از اوقات خواص شیمیایی آنها در عملکرد بتن تاثیر زیادی می گذارد.

۴- مواد مضاف (admixtures) :

مواد شیمیایی که به میزان جزئی و به صورت درصدی از وزن سیمان به مخلوط اضافه می شود تا خواص مطلوب موردنظر را در بتن ایجاد کند.


Cement
Water
Air
Fine Aggregate
65 - 75% of volume
is "stone & sand"
Coarse Aggregate

سیمان:

فرآورده ای شیمیایی است که دارای خاصیت چسبندگی است و بر اثر تماس با آب سخت شده و نقش چسب بین دانه های سنگی را دارد و شامل سه ترکیب اصلی آهک، خاک رس و گچ است.

اولین بار توسط ژوزف اسپین معمار بریتانیایی ابداع شد. اسپین در سال ۱۸۲۴ طرح اولیه خود را اصلاح نموده و محصول خاک رس و آهک هیدرولیک را تحت عنوان سیمان پرتلند ثبت کرد.

به علت تشابه رنگ سیمان سخت شده با رنگ سنگ های آهکی جزیره پرتلند در انگلستان، نام پرتلند برای آن انتخاب شده است.

مواد اولیه سیمان:

مواد اولیه سیمان عمدتا سنگ آهک و خاک رس (یا هر ماده دارای اکسیدهای سیلیس، آلومینیوم و آهن) است که شامل ترکیبات زیر می باشد:

آهک	CaO	حدود ۶۳ درصد
سیلیس	SIO_2	حدود ۲۰ درصد
آلومین	AL_2O_3	حدود ۶ درصد
اکسید آهن	Fe_2O_3	حدود ۳ درصد
اکسید منیزیم	MgO	حدود ۱/۵ درصد

عامل اصلی چسبندگی سیمان: آهک و سیلیس

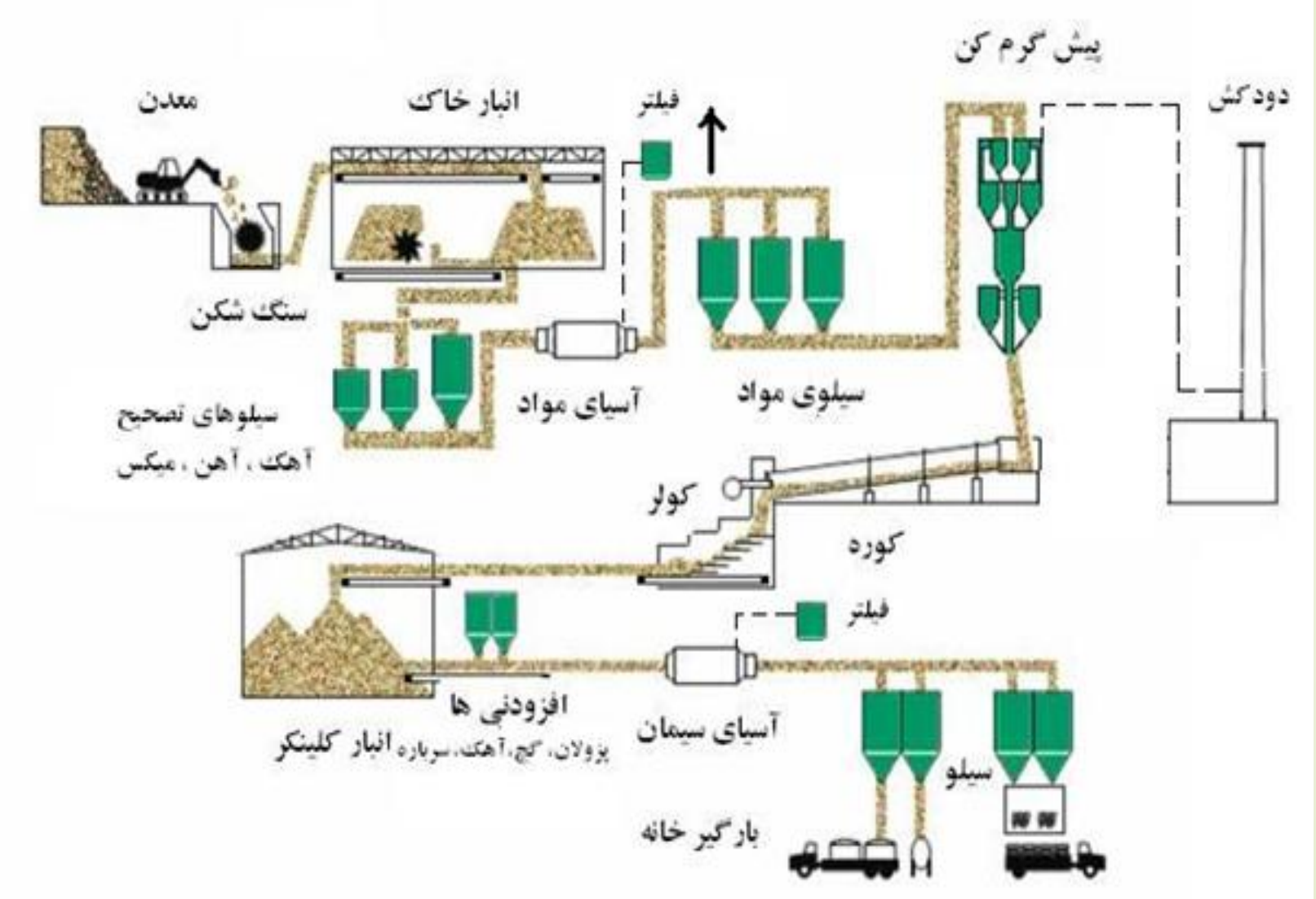
سایر مواد در روند پخت سیمان و تشکیل کلینکر اثر دارند.

طرز تهیه سیمان پرتلند (روش خشک و روش تر):

- آسیاب نمودن مواد خام با نسبتهای مخلوط مشخص
- حرارت دادن در کوره های دوار بزرگ با دمای 1400تا 1650 درجه سانتی گراد
- تشکیل کلینکر در اثر ذوب مصالح به قطر 2 تا 25 میلیمتری
- سرد کردن و آسیاب نمودن کلینکر
- افزودن گچ به مقدار 1% تا 2% برای تنظیم زمان گیرش و برای جلوگیری از گیرش کاذب یا سریع

نکته:

در روش تر مواد اولیه با ۵۰ درصد وزنی آب مخلوط می شود ولی در روش خشک مواد اولیه با ۱۲ درصد وزنی آب مخلوط می شوند.


پیش گرم کن
دودکش
معدن
انبار خاک
فیلتر
سنگ شکن
سیلوی مواد
آسیای مواد
سیلوهای تصحیح
آهک ، آهن ، میکس
کولر
کوره
فیلتر
افزودنی ها
پزولان، گچ، آهک، سرباره
انبار کلینکر
آسیای سیمان
سیلو
بارگیر خانه

ترکیبات شیمیایی موجود در سیمان:

۱- تری کلسیم سیلیکات ($3CaO , SiO2$) با علامت اختصاری C_3S

این ماده سریعا وارد واکنش شیمیایی شده و بتن را سفت می کند. C_3S بیشترین مقدار را در ترکیب سیمان دارد و بیشترین نقش را در گیرش و مقاومت اولیه سیمان را دارد .در ترکیب با آب گرمای زیادی تولید می کند. تنها عیب C_3S این است که باعث کاهش مقاومت بتن در برابر حملات سولفاتی می شود.

۲- دی کلسیم سیلیکات ($2CaO , SiO2$) با علامت اختصاری C_2S

خصوصیات C_2S بر خلاف C_3S می باشد. بدین معنی که گیرش اولیه دی کلسیم سیلیکات کم است و بعد از ۲ تا ۷ روز و حتی تا یک ماه به تدریج وارد عملیات شیمیایی می شود. این ماده باعث کند گیر شدن سیمان می شود و در هنگام گرفتن گرمای کمی تولید می کند.

۳- تری کلسیم آلو مینات ($3CaO , AL_2O_3$) با علامت اختصاری C_3A

این ماده همان خواص C_3S را دارد. به این معنی که در گیرش اولیه سیمان دخالت می کند و از طرفی مقاومت بتن را در مقابل حمله سولفات ها می کاهد. در هنگام گیرش گرمای بیشتری نسبت به سایر اجزای سیمان تولید می کند.

۴- تترا کلسیم آلو مینو فریت $(4CaO , AL_2O_3, Fe_2O_3)$

به مقدار کم در سیمان وجود دارد و نقش کمی نسبت به سه فاز بالا دارد.

ترکیبات شیمیایی موجود در انواع سیمان پرتلند

نام ترکیب	اکسیدهای ترکیب	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
چهار کلسیم آلومینوفریت	$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$	C_4AF

انواع سیمان پرتلند:

استاندارد ASTM C150

استاندارد شماره ۳۸۹ ایران

۱- سیمان پرتلند تیپ ۱ (I)

سیمان پرتلند معمولی

برای مصارف عمومی که ویژگی خاصی برای بتن در نظر گرفته نشده است و احتمال حملات سولفاتی وجود نداشته باشد مثل ساختن پیاده روها، روسازی جادهها، پلهای بتن مسلح، راه‌آهن، مخازن، لوله‌های آب و ملات برای بنایی استفاده می‌شود.

۲- سیمان پرتلند تیپ ۲ (II)

سیمان متوسط از نظر حرارت هیدراتاسیون و مقاومت در برابر حمله

مقاومت فشاری اولیه و نهایی کمتر از سیمان تیپ ۱

معمولاً کندگیرتر از سیمان تیپ ۱

در ساخت این سیمان سعی می شود تا حد ممکن از مقدار C3S و C3A کاسته شود و مقدار C2S افزایش یابد.

۳- سیمان پرتلند تیپ ۳ (III) یا سیمان زودگیر

اجزاء اولیه آن مشابه سیمان تیپ ۱ با این تفاوت که بسیار ریزتر آسیاب شده و به همین جهت گیرش سریعتری دارد.

سیمان تیپ ۳ در مدت کوتاهی یعنی معمولاً در عرض ۱ هفته یا کمتر مقاومت زیادی به دست می‌آورد و مقاومت ۷ روزه آن در حدود مقاومت ۲۸ روزه سیمان تیپ ۱ است.

زمانی که قالب برداری و بارگذاری زود تر از موعد نیاز باشد این سیمان استفاده گسترده‌ای دارد.

در شرایط آب و هوایی سرد نیز برای کاهش مدت زمان عمل آوری می‌توان از این سیمان استفاده کرد.

۴- سیمان پرتلند تیپ ۴ (IV) یا سیمان دیرگیر

سیمان تیپ ۴ کندگیر بوده و به هنگام بتن ریزی حرارت کمتری تولید می‌کند.

- کاربرد اصلی این نوع سیمان در ساخت بتن های حجیم مثل سدها است.

- این نوع سیمان، برای تسهیل در مراقبت از بتن تازه، در هوای گرم و دمای بالای ۴۰ درجه سانتیگراد، به صورت گسترده‌ای مصرف می‌شود.

- در برخی از سازه‌ها مانند دیوارها و برای جلوگیری از ایجاد اتصال سرد در این قبیل بتن ریزی ها، استفاده از خاصیت دیرگیر بودن سیمان تیپ ۴ فرصت کافی برای اجرای عملیات را فراهم می‌کند.

۵- سیمان پرتلند تیپ ۵ (V) یا سیمان ضد سولفات

مناسب برای مصرف در بتن‌هایی که در معرض حمله سولفاتها قرار دارد.

(در جاهایی که سازه با خاک یا آب حاوی سولفات در تماس باشد.)

سیمان تیپ ۵ دیرتر از سیمان معمولی می‌گیرد و حد مقاومت ۷،۳ و ۲۸ روزه برای این سیمان کمتر از سایر سیمان‌های پرتلند است.

محدودیت استفاده برای سازه‌هایی که در آنها نیاز به مقاومت‌های بالاتری باشد.

مقادیر متوسط درصد ترکیبات تشکیل دهنده انواع مختلف سیمان

نوع سیمان	C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	$CaSO_4$	CaO آزاد	MgO
I	۵۹	۱۵	۱۲	۸	۲/۹	۰/۸	۲/۴
II	۴۶	۲۹	۶	۱۲	۲/۸	۰/۶	۳/۰
III	۶۰	۱۲	۱۲	۸	۳/۹	۱/۳	۲/۶
IV	۳۰	۴۶	۵	۱۳	۲/۹	۰/۳	۲/۷
V	۴۳	۳۶	۴	۱۲	۲/۷	۰/۴	۱/۶

۶- سیمان پرتلند پوزولانی

پوزولان از جنس سیلیکات و تقریباً شبیه سیمان است که به تنهایی خاصیت سیمانی شدن ندارد اما اگر آسیاب شود، در حضور رطوبت با آهک (آزاد شده از هیدراسیون سیمان) واکنش داده و ترکیباتی با خاصیت سیمانی شدن ایجاد می کند.

در سیمان پوزولانی حداکثر ۱۵ درصد سیمان را ماده پوزولانی تشکیل می‌دهد.

مزایای سیمان پوزالانی:

- کاهش نفوذپذیری بتن و ایجاد دوام قابل توجه در محیط‌های حاوی املاح خورنده
- پدیده آب انداختگی بتن حاوی پوزولان، کمتر از بتن معمولی بوده و از بروز ترک‌های سطحی و عمقی جلوگیری می کند.
- واکنش پوزولانی منجر به کاهش آهک آزاد داخل بتن شده که ضمن کاهش خلل و خرج، از نفوذپذیری این بتن کاسته و از بروز شوره، سفیدک بتن و کربناته شدن آن جلوگیری می کند.

سیمان سفید:

محدود نمودن آهن و منیزیم به مقدار کمتر از ۰/۸ درصد و در نتیجه ایجاد رنگ سفید در سیمان

استفاده از سنگ گچ (که به افزایش مقاومت و گیرش هم کمک می کند)، سنگ آهک ، سنگ های با رنگدانه سفید مثل سنگ های کائولین و ...

برای تولید سیمان سفید از گاز به عنوان سوخت استفاده می شود.

کاربرد:

ساخت نما ی ساختمانها

ساخت محصولات و پنل های پیش ساخته

تولید سیمان های رنگی

سیمان های رنگی:

طرح‌های تزئینی (محوطه پارک ها ، کفپوش خیابان و پیاده رو ها و یا جداول و ...) و نمای ساختمان‌ها

دارای تنوع رنگی قابل قبول

مقابل در برابر سایش آب و آفتاب

میزان رنگدانه‌های اضافه شده به سیمان سفید بین ۰/۵ تا ۲ درصد وزن سیمان است.

برای رنگ های قرمز ، زرد ، قهوه ای ، سیاه از اکسید اهن، برای رنگ های سیاه و قهوه ای از اکسید منگنز ، برای رنگ سبز از اکسید کروم، برای رنگ ابی از اکسید کبالت، برای رنگ زرد از گل اخرا استفاده می‌شود.

سیمان پرتلند سرباره ای:

آسیاب مواد زاید (سرباره) کوره ذوب آهن با کلینکر سیمان **(ترکیبی از سیلیس، آلومینیم و آهک)**

مقدار سرباره مورد نیاز % 25 تا % 65 وزن سیمان است .

به منظور کنترل زمان گیرش مقدار کمی گچ نیز اضافه می شود.

مقاومت اولیه این سیمان معمولاً کمتر از سیمان معمولی است.

ارزان قیمت تر از سیمان پرتلند معمولی است.

مهمترین مزایای بتن ساخته شده از سیمان پرتلند سرباره ای:

- حرارت هیدراتاسیون کنترل شده و در نتیجه کارائی بهتر در هوای گرم و بتن ریزی های نسبتا حجیم
- کاهش خوردگی آرماتور و بتن به دلیل افزایش مقاومت شیمیائی در مقابل سولفات و کلر
- افزایش دوام بتن به دلیل کاهش اثرات مخرب واکنش قلیایی – سیلیسی سنگدانه ها و نفوذ پذیری و انبساط کمتر

سیمان بنایی:

این نوع سیمان که عمدتا به صورت ملات در سازه های بنایی برای اتصال آجر، سنگ یا بلوک مورد استفاده قرار می گیرد، مخلوطی از یک ماده چسباننده با سایر مواد مناسب است.

ماده سیمانی ممکن است یکی از انواع سیمان پرتلند، با مواد پرکننده دیگر مثل خاک رس یا سنگ آهک باشد.

نسبت اختلاط سیمان بنایی ۷۰ درصد سیمان پرتلند و ۳۰ درصد مواد دیگر است.

این نوع سیمان دارای مقاومت کمتری نسبت به سیمان های دیگر است.

سیمان هوازا (حباب زا) I-A و II-A و III-A :

در این بتن ها حباب های عمدی هوا ایجاد می شود.

بتنی که از این سیمان ساخته می شود در برابر یخ زدن و ذوب شدن متوالی مقاومت بیشتری دارد.

برای تهیه این نوع سیمان به کلینکر سیمان های تیپ ۱ و ۲و ۳ برخی مواد حباب زا مثل اسید های چرب و یا زرینهای چوب اضافه می شود.

سیمان انبساطی (سیمان ضد افت):

متشکل از سیلیکات‌های کلسیم، آلومینات‌های کلسیم و سولفات‌های کلسیم
پس از گیرش و در مرحله ابتدایی سخت‌شدن، انبساط حجمی از خود نشان دهد.

هدف: جبران انقباض بتن ناشی از خشک‌شدن بتن

سیمان انبساطی به انواع زیر تقسیم می‌شود:
سیمان انبساطی نوع K : سیمانی دارای کلسیم آلومینوسولفات بدون آب، کلسیم سولفات و اکسید کلسیم آزاد
سیمان انبساطی نوع M : سیمانی دارای کلسیم آلومینات و کلسیم سولفات
سیمان انبساطی نوع S : سیمانی دارای تری‌کلسیم آلومینات و کلسیم سولفات

سیمان پرآلومین یا سیمان برقی:

در تولید این سیمان حدود ۴۰٪ سنگ آهک را با ۴۰٪ بوکسیت مخلوط نموده، ۲۰٪ آهن و سیلیس افزوده شده و مخلوط را درون کوره تا حدود ۱۶۰۰ درجه سانتی گراد حرارت می دهند.

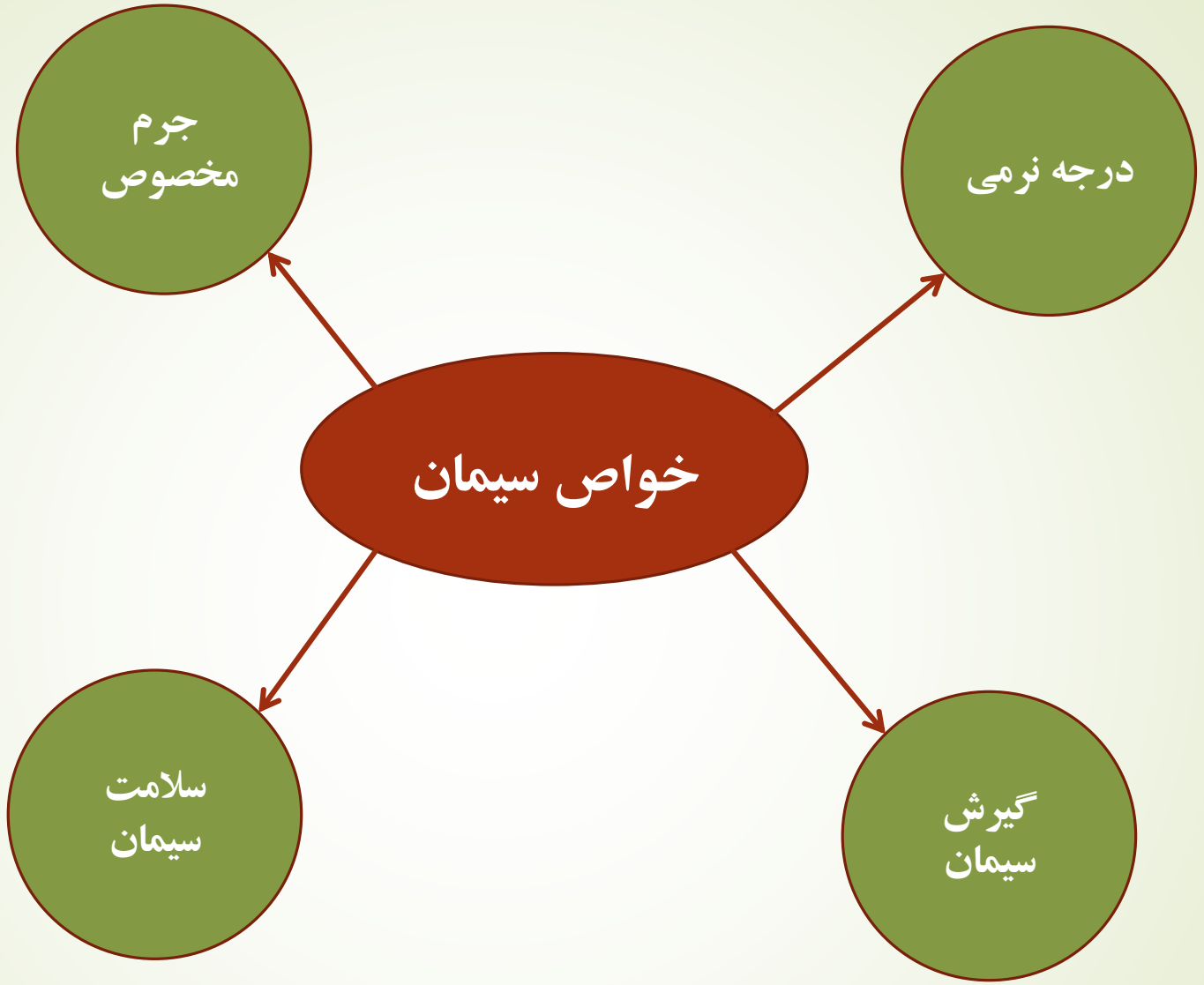
در دمای ۱۶۰۰ درجه سانتی گراد کلیه مواد اولیه به صورت مذاب در می آیند. مواد مذاب از انتهای کوره خارج می شوند و داخل سینی هایی می ریزند تا به سرعت سرد شوند.

ورقه های شیشه ای ← دستگاه خردکن و تبدیل به قطعات کوچکی به نام کلینکر سیمان برقی

← آسیاب کلینکر بدون افزودن هیچگونه ماده ای آن

← سیمان پرآلومین با رنگی تیره تر از سیمان پرتلند معمولی (تقریباً سیاه)

موارد مصرف	نوع سیمان مناسب
کارهای معمولی و عمومی شامل اسکلت های بتن آرمه، پلها، قطعات پیش ساخته بتن آرمه، جدول و فرش کف خیابانها، ملاتها و اندودها و پی ساختمانهایی که در معرض حمله سولفاتها نباشند.	سیمان پرتلند معمولی (نوع ۱)
ملاتها و اندودهای سیمانی تزئینی- بتن های نمایان	سیمان سفید و رنگی
کارهایی که در معرض حمله ضعیف سولفاتها قرار دارند و بتن ریزی و اندودکاری در هوای گرم	سیمان پرتلند نوع ۲، سیمان پرتلند سرباره ای (با ۱۵ تا ۲۵ درصد سرباره) سیمان پرتلند پوزولانی (با ۱۵ تا ۲۵ درصد پوزولان)
مقابله با سولفاتهای قوی	سیمان پرتلند سرباره ای با بیش از۲۵ درصد سرباره، سیمان پرتلند پوزولانی با بیش از ۲۵ درصد درصد پوزولان، سیمان پرتلند نوع ۵
مقابله با سولفاتهای قوی به همراه یون کلر، مقابله با واکنش سنگدانه ها و ساخت بتن متراکم با نفوذپذیری کم	سیمان پرتلند سرباره ای با بیش از ۵۰ درصد سرباره، سیمان پرتلند پوزولانی با بیش از ۵۰ درصد پوزولان (سیمان پرتلند نوع ۲)
کارهای بنایی، ملاتها و اندودها در شرایط عادی	سیمان بنایی، سیمان آهکی- پوزولانی و سیمان آهکی سرباره


خواص سیمان
جرم مخصوص
درجه نرمی
سلامت سیمان
گیرش سیمان

جرم مخصوص سیمان:

جرم مخصوص دانه ای: از تقسیم جرم دانه های سیمان بر حجم سیمان بدون در نظر گرفتن فضای بین دانه های سیمان بدست می آید.

جرم مخصوص انبوهی: از تقسیم جرم دانه های سیمان بر حجم سیمان با در نظر گرفتن فضای بین دانه های سیمان بدست می آید.

وسیله انجام آزمایش تعیین جرم دانه ای:

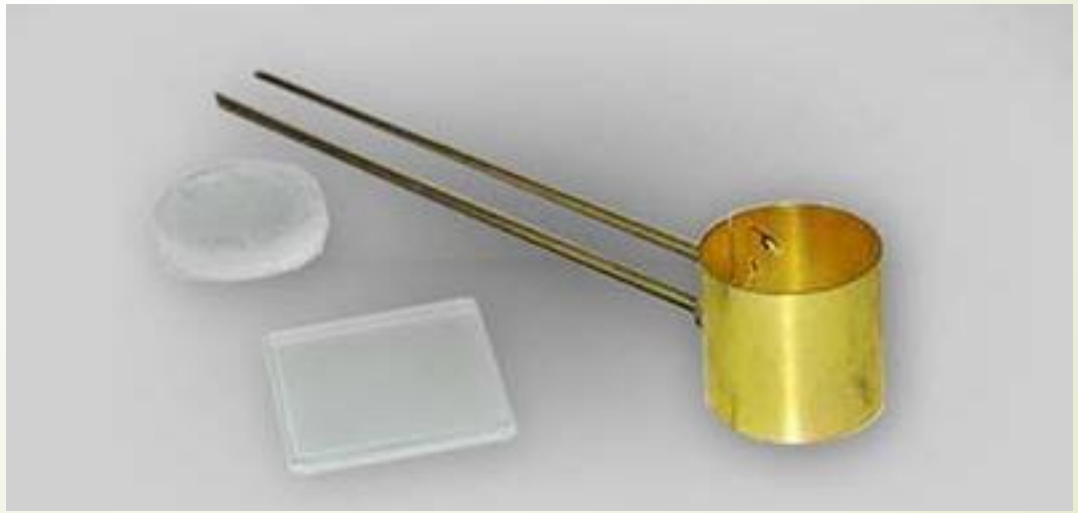
فلاکس یا بالون لوشاتلیه

سلامت سیمان:

استاندارد ملی ایران شماره ۳۹۱ و ASTM C151-84

اندازه گیری تغییرات حجمی خمیر سیمان بعد از گیرش
آهک و سنگ گچ مازاد = سیمان ناسالم
وجود اکسید منیزیم بیش از حد= سیمان ناسالم

سلامت سیمان با استفاده از آزمایش اتوکلاو یا آزمایش انبرک لوشاتلیه انجام می شود.



زمان گیرش سیمان

تغییر وضعیت سیمان از حالت خمیری به حالت جامد

گیرش سریع سیمان در اثر وجود C3S است.

گیرش اولیه = نیم تا یک ساعت
گیرش نهایی= ۶ ساعت

برای تعیین گیرش سیمان از دستگاهی به نام ویکات استفاده می شود.

دستگاه ویکات

مقاومت سیمان:

مقاومت ملات سیمان و یا بتن به سه عامل بستگی دارد:
چسبندگی خمیر سیمان
قابلیت چسبندگی آن به مواد سنگی
مقاومت مواد سنگی مورد استفاده در ساخت بتن

۱-کشش مستقیم
۲-فشار مستقیم
۳- خمش

ملات سیمان = مخلوطی از پودر سیمان و ماسه استاندارد

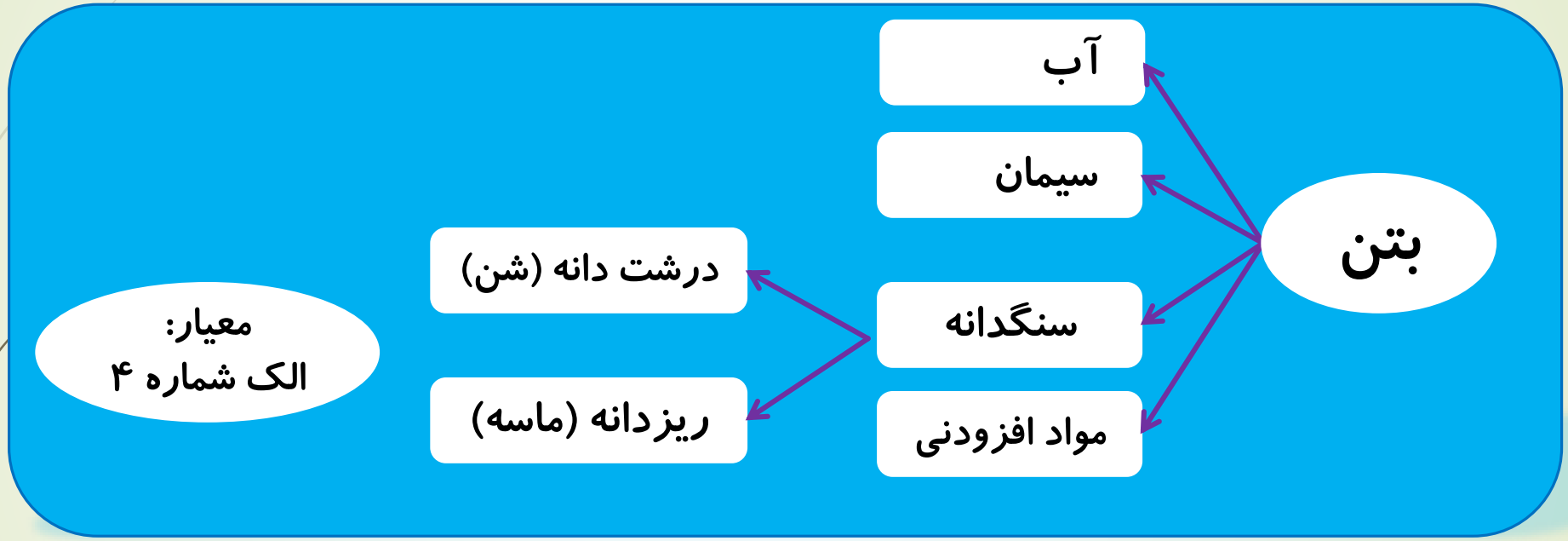
نسبت پودر سیمان به ماسه باید ۱ به ۳ باشد و رطوبت در این مخلوط متناسب با روانی متعارف باشد.

قالب مقاومت فشاری

قالب مقاومت کششی

قالب مقاومت خمشی

سنگدانه ها در بتن



مصالح سنگی(شن و ماسه) : حدود ۶۰ تا ۷۵ درصد از حجم بتن

۶۰ تا ۷۰ درصد از کل دانه ها شن و ۳۰ الی ۴۰ درصد دانه ها ماسه.

مرز اندازه شن و ماسه ، الک استاندارد نمره ۴ ، است که اندازه بعد آن $\frac{۳}{۱۶}$ اینچ یا ۷۶/۴ میلیمتر است .

دسته بندی ماسه

نام دسته بندی ماسه	اندازه قطر دانه ها (میلیمتر)
درشت	۲ تا ۵
متوسط	۰/۵ تا ۲
نرمه	۰/۰۷۵ تا ۰/۵

دانه های ماسه باید از ۰/۰۷۵ میلیمتر بزرگتر باشند

دسته بندی شن

نام دسته بندی	اندازه قطر دانه ها (میلیمتر)
درشت	۲۵ تا ۶۰
بادامی	۱۲ تا ۲۵
نخودی	۵ تا ۱۲

حداکثر اندازه دانه های شن ۶۰ میلی متر می باشد.

مشخصات سنگدانه ها

- 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 ← **برای ساخت بتن مناسب نیستند.**

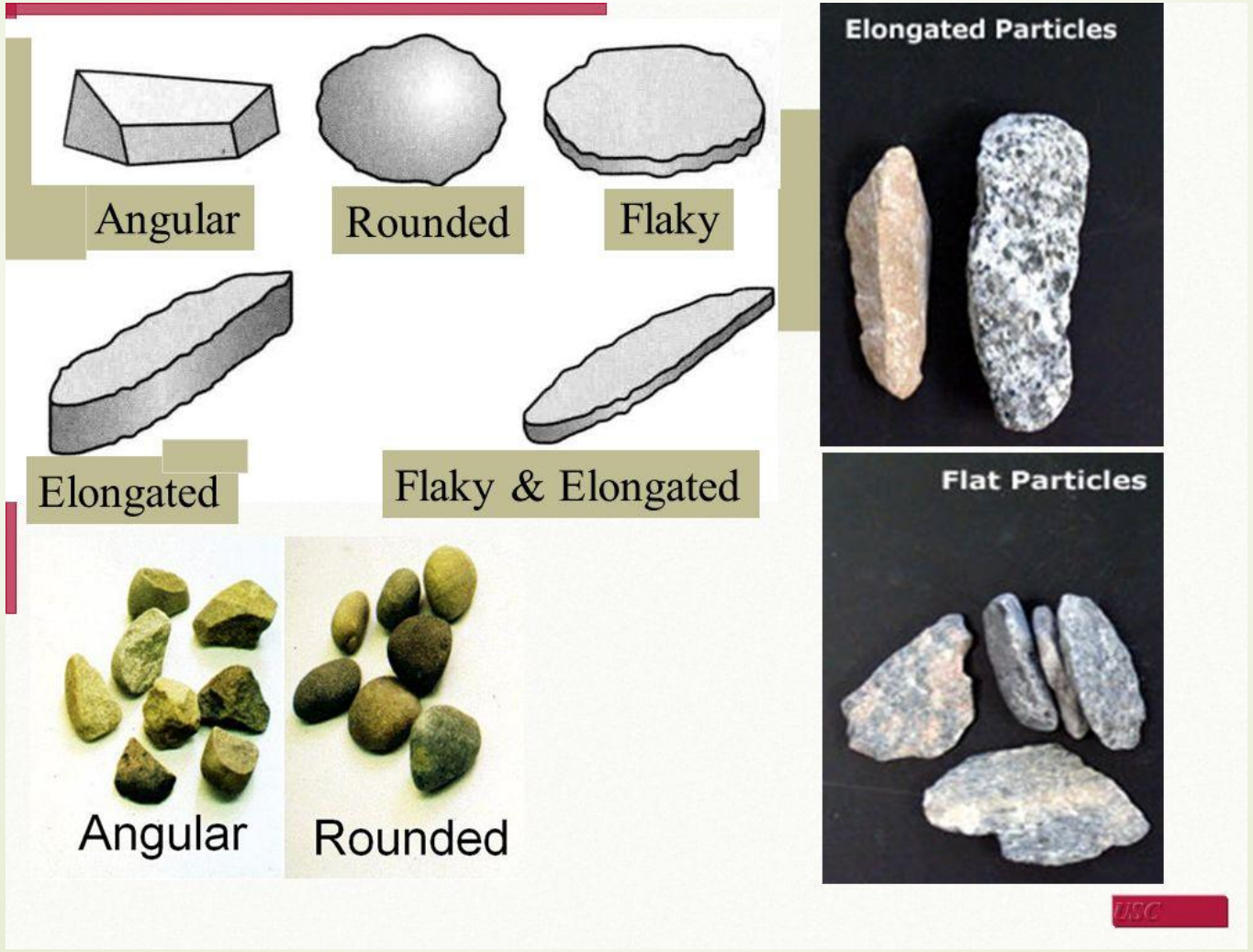
- دانه ها باید در مقابل یخبندان مقاوم باشند.

- **تخلخل (حجم منافذ توده سنگدانه به حجم کل توده): رابطه عکس**
- **نفوذپذیری دانه ها: رابطه عکس**
- **مقاومت کششی دانه ها: رابطه مستقیم**

(این موضوع در بتن هایی که در مناطق سردسیر مصرف می شوند یا در معرض سیکل یخ زدن و ذوب شدن مکرر قرار دارند به وجود می آید.)

- دانه ها باید در مقابل هوازدگی مقاوم باشند.
(تغییرات همزمان رطوبت و دما)
تفاوت ضریب انبساط حرارتی سنگ دانه (شن و ماسه) در حالت تر و حالت خشک

تقسیم بندی سنگدانه از نظر شکل ظاهری



مناسب برای بتن ریزی

- 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.

- 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

شکل ظاهری دانه ها

- دانه های گرد در مقایسه با دانه های نامنظم و گوشه دار، در بتن کم ترین مصرف سیمان را دارد.
- از نظر مقاومت نهائی بتن، بتنی که با دانه های گوشه دار ساخته می شود به دلیل امکان درگیر شدن بهتر با دانه ها با یکدیگر و برقراری اصطکاک بهتر بین آن ها، مقاوم تر خواهد بود.
- هر چه اندازه سنگدانه بزرگتر باشد، سطح ویژه کمتر شده و آب کمتری جهت مرطوب شدن سطح لازم است که این موضوع سبب افزایش مقاومت بتن می شود.
- دانه های زبر، گوشه ای و سوزنی در مقایسه با دانه های صاف، گرد، متراکم، آب بیشتری برای تولید بتن با کارایی یکسان نیاز دارد.

دانه بندی:

نحوه توزیع دانه ها از نظر ابعاد

شاخص: منحنی دانه بندی

نحوه توزیع دانه ها از نظر ابعاد با منحنی دانه بندی مشخص می شود.

دانه بندی خوب:

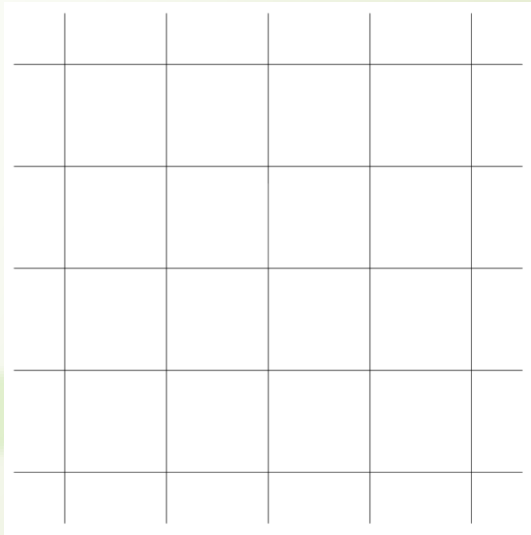
دانه های ریزتر فضای خالی بین دانه های درشت تر را پر کنند و باعث تراکم هرچه بیشتر شن و ماسه در بتن شوند.

تراکم بیشتر بتن باعث افزایش وزن مخصوص و همچنین مقاومت آن نسبت به نمونه مشابه می شود.

با مقاومت ثابت، بتن با دانه بندی بهتر احتیاج به سیمان کمتری دارد و چون سیمان از مصالح نسبتاً گران است، لذا دانه بندی بهتر اقتصادی تر است.

نامگذاری الک ها

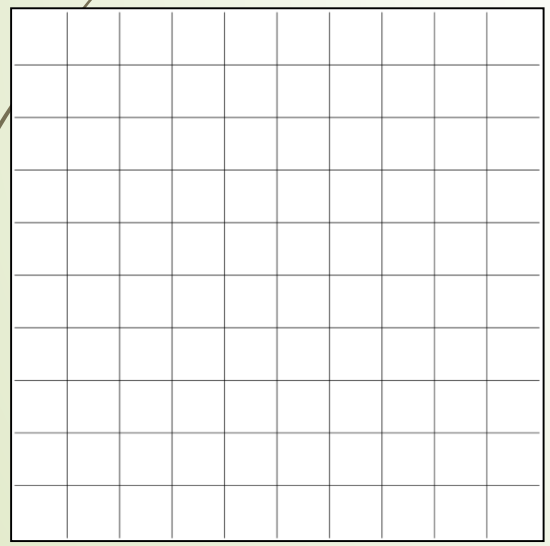
الک درشت
بزرگ تر از الک شماره ۴



بعد هر حفره به اینچ= شماره الک

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 مربع از سطح الک= شماره الک

دانه بندی

سنگدانه
درشت دانه
(شن)
ریزدانه
(ماسه)
مرز
الک شماره ۴
تعداد الک ها:
۹
تعداد الک: ۳
الک ۳/۸ اینچ
الک ۳/۴ اینچ
الک ۱/۲ و ۱ اینچ
تعداد الک: ۵
الک نمره ۸
الک نمره ۱۶
الک نمره ۳۰
الک نمره ۵۰
الک نمره ۱۰۰

رسم منحنی دانه بندی

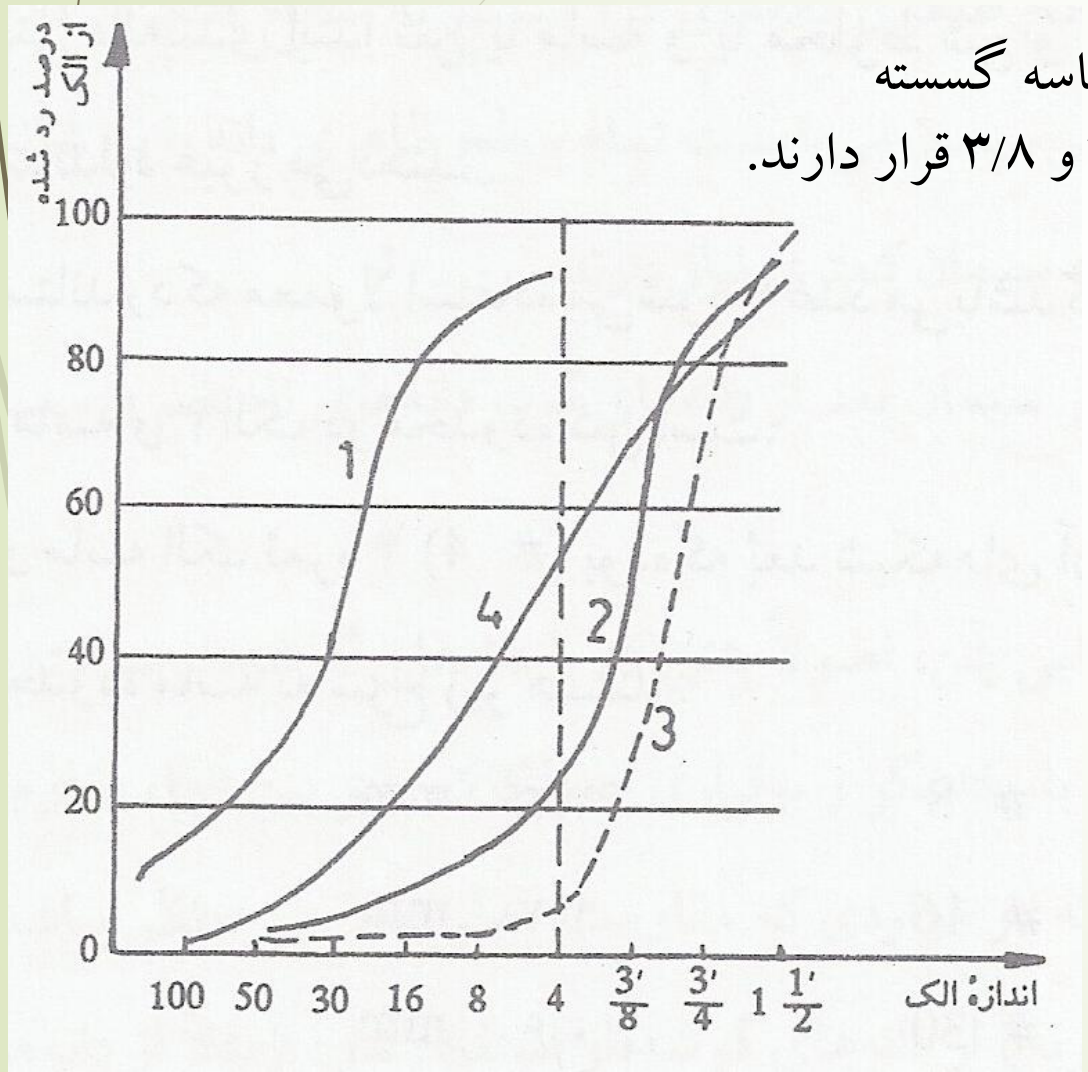
- وزن کردن سنگدانه ها
- ریختن سنگدانه ها بر روی بالاترین الک (الک ۱ و ۱/۲ اینچ)
- روشن کردن لرزاننده
- وزن کردن سنگدانه های باقی مانده بر روی هر الک
- محاسبه درصد مانده بر روی هر الک (وزن مانده روی هر الک تقسیم بر وزن کل)
- محاسبه درصد عبوری از هر الک (۱۰۰ منهای درصد مانده)

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: در محدوده ماسه، در محدوده ماسه پیوسته
- منحنی شماره ۲: در محدوده شن 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**

دانه بندی پیوسته: مناسب جهت ساخت بتن

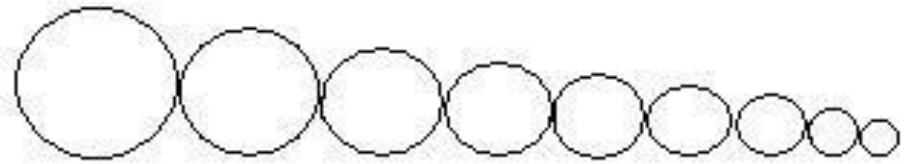


Figure 1. Well Graded

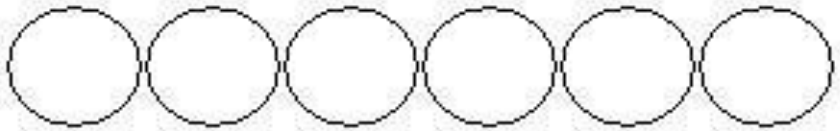
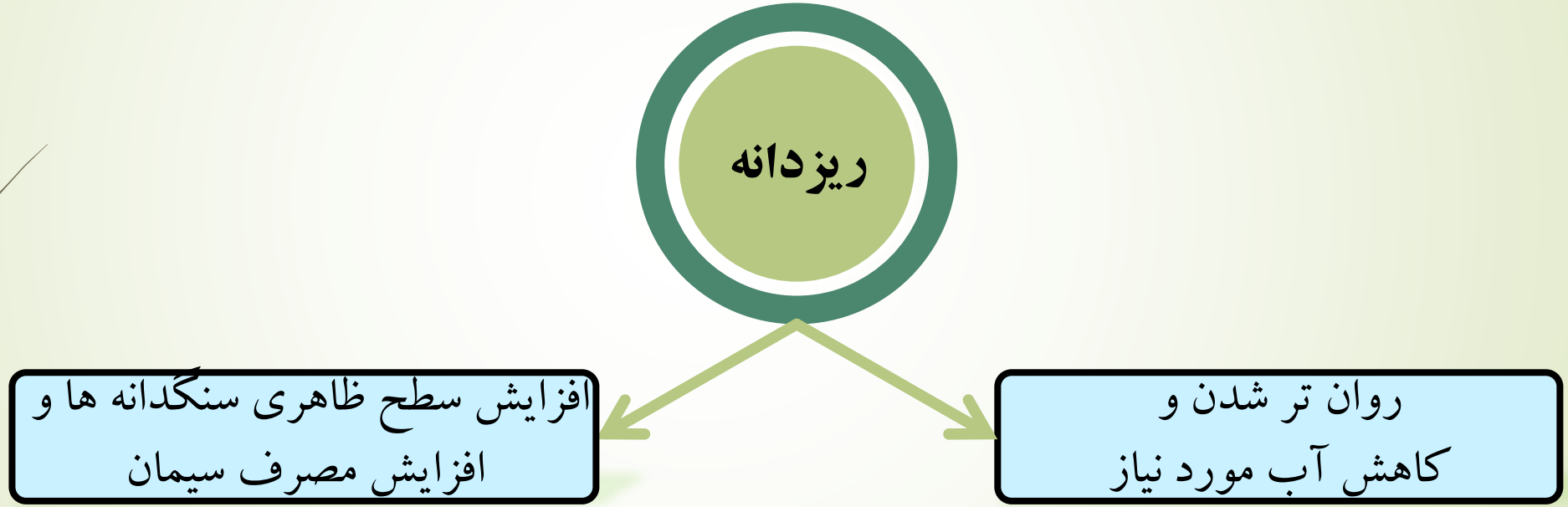


Figure 2. Uniformly-Graded

Figure 3. Gap-Graded

تاثیر ریز دانه 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)



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.

افزایش مقاومت بتن

کاهش کارایی و روانی
(و اختلال در عبور دانه ها در قالب و بین میلگردها)

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

جدول ۹-۱۰-۱۰ ضوابط الزامی دانه‌بندی سنگدانه‌های ریز مصرفی در بتن

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

جدول ۹-۱۰-۱۱ ضوابط الزامی دانه‌بندی سنگدانه‌های درشت مصرفی در بتن

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

مدول نرمی سنگدانه

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

۰<مدول نرمی<۹

ریزدانه

درشت دانه

هرچه مدول نرمی بزرگتر باشد مخلوط درشت دانه تر (خشن تر) و هرچه مدول نرمی کوچکتر باشد مخلوط ریزدانه تر (کاراتر) است.

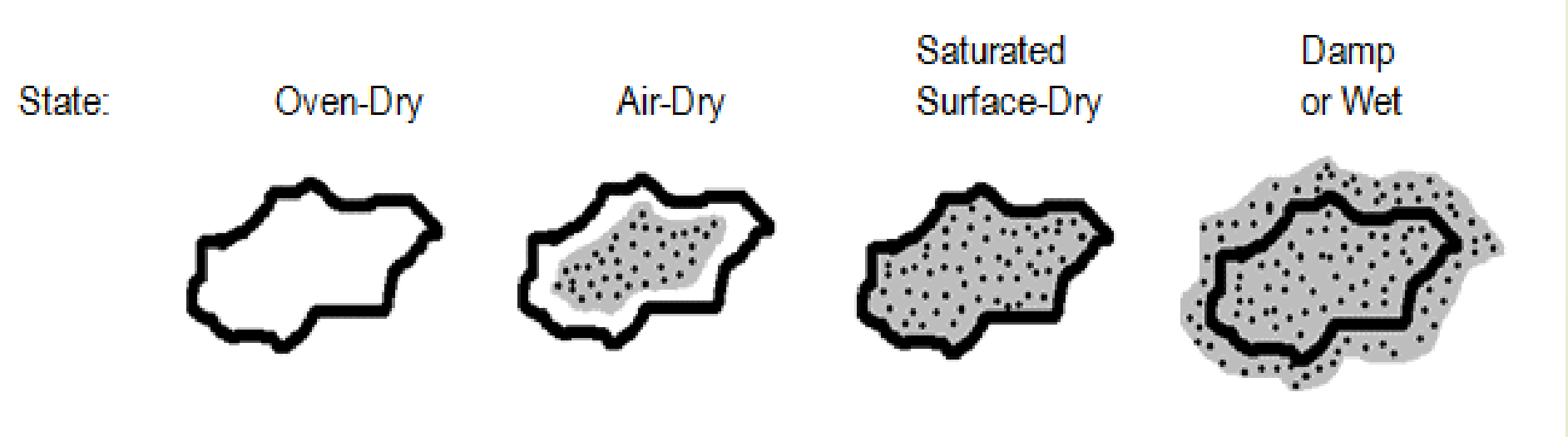
دانه بندی و مدول نرمی ماسه

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 $283 \div 100 = 2.83$

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)



- 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.

- 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.

انواع مواد مضر در سنگدانه ها

ناخالصی های آلی:

مواد آلی معمولا حاصل پوسیدگی مواد نباتی بخصوص در ماسه که با شستن به آسانی از آن جدا می شوند.

رس و ذرات بسیار ریز

با ایجاد پوشش روی سطح دانه ها بر چسبندگی و پیوستگی دانه ها و خمیرسیمان تاثیر می گذارد .

باعث افزایش آب مخلوط بتن جهت مرطوب شدن همه دانه ها می گردند.

ناخالصی های نمکی (آلودگی به املاح)

ماسه های که از ساحل دریا یا مصب رودخانه ها جمع آوری می شود و با شستن آن با آب آشامیدنی از دانه ها جدا می شوند.

نمک باعث زنگ زدگی و خوردگی آرماتور در بتن مسلح می شوند.

جذب بیشتر آب ایجاد شوره که معمولا بصورت ذرات سفید رنگی در سطح بتن نمایان می گردد.

ذرات ناسالم مثل:

ذغال:

باعث تورم و سبب گسیخته شدن بتن، اختلال در فرایند سخت شدن خمیر سیمان

سنگ گچ و سولفاتها:

با آب و اکسیژن هوا واکنش داده و بخصوص در شرایط مرطوب و گرم سطح بتن را لکه دار می کند

قلیائی های سیمان K_2O و Na_2O

به ویژه زمانی که بتن در معرض گرما و رطوبت باشد موجب انبساط غیر عادی و ترک خوردگی در بتن می شود.

عواملی موثر بر پیشرفت واکنش سنگدانه ها با قلیایی سیمان :

۱- تخلخل سنگدانه ها

۲- مقدار قلیایی های سیمان K_2O و Na_2O

۳- وجود آب و نفوذپذیری بتن

راههای پیشگیری از واکنش قلیائی سنگدانه ها:

۱- استفاده از سیمان با درصد قلیایی کمتر از ۰/۶%

۲- جایگزین کردن حداقل ۱۵ ٪ وزنی سیمان با پوزلان

۳- جایگزین کردن بخشی از سنگدانه ها با سنگدانه های غیر فعال ۳۰%

۴- تامین شرایط محیطی نسبتا خشک برای بتن

۵- استفاده از مواد حباب هوازا

۶- کم کردن نفوذپذیری بتن

آب در بتن

آب اساساً به سه صورت در بتن به کار می رود:

۱) برای شستشوی سنگدانه ها
۲) به عنوان یکی از اجزای ساخت بتن
۳) برای عمل آوری بتن

آب مناسب برای بتن آبی است که برای نوشیدن مناسب باشد.

مشکلات استفاده از آب نامناسب در ساخت بتن:

1) زمان گیرش سیمان به تاخیر افتاده، بتن دیرگیر می شود.

۲) افت مقاومت نهایی بتن (گاهی تا ۳۰٪ کاهش مقاومت).

۳) خوردگی و زوال تدریجی میلگرد ها

۴) ایجاد لکه روی سطح بتن بخصوص در بتن هایی که سطح آن ها در نما قرار می گیرد .

آب مناسب برای ساخت بتن

۱) اسیدی و بازی نباشد (pH بین 6 تا 8)

۲) درصد کربنات هایش کمتر از ۰.۱ درصد باشد.

۳) درصد جامدات (ذرات معلق) در آن (مانند سیلت) کمتر از ۰.۱ درصد باشد.

۴) درصد کلرور هایش کمتر از ۰.۰۵ درصد باشد.

۵) درصد سولفات هایش کمتر از ۰.۱ درصد باشد.

	پارامتر	کاربری	مقدار استاندارد(ppm)
۱	ذرات معلق جامد	بتن بیش تنیده در هر شرایط محیطی	<1000
		بتن غیر مسلح و بدون آرماتور	<2000
		بتن آرمه در شرایط محیطی ملایم	<2000
		بتن آرمه در شرایط محیطی بسیار و فوق العاده شدید	<1000
۲	کل مواد محلول(TDS)	بتن پیش تنیده در هر شرایط محیطی	<1000
		بتن غیر مسلح و بدون اقلام فلزی مدفون	<3500
		بتن آرمه در شرایط محیطی ملایم و متوسط	<2000
		بتن آرمه در شرایط محیطی شدید و بسیار شدید و فوق العاده شدید	<1000
۳	کلراید	بتن بیش تنیده در هر شرایط محیطی	<500
		بتن غیر مسلح و بدون آرماتور و بدون اقلام فلزی مدفون	<1000
		بتن آرمه در شرایط محیطی شدید و بسیار شدید وفوق العاده شدید	<500
		بتن آرمه در شرایط محیطی ملایم و متوسط	<1000
		بتن غیر مسلح و بدون آرماتور، ولی دارای مواد آلومینیومی یا فلزات غیر مشابه	<1000
۴	سولفات	بتن بیش تنیده در هر شرایط محیطی	<1000
		بتن آرمه در هر شرایط محیطی	<1000
		بتن غیر مسلح بدون آرماتور و بدون اقلام فلزی مدفون	<3000

محدودیت کلراید در آب

جدول۹ – ۶ – ۴ حداکثر مجاز یون‌کلرید از نظر خوردگی

نوع قطعه بتنی	حداکثر نسبت کلرید قابل حل در آب در بتن، به‌وزن سیمان برحسب درصد
بتن پیش‌تنیده	۰/۰۶
بتن آرمه‌ای که در زمان بهره‌برداری در معرض رطوبت و کلریدها قرار گیرد	۰/۱۵
بتن آرمه‌ای که در زمان بهره‌برداری در حالت خشک باشد یا از رطوبت محافظت شود.	۱/۰۰
سایر سازه های بتن آرمه	۰/۳۰

مواد افزودنی بتن

مواد افزودنی:

مواد افزودنی شیمیایی که به صورت محلول و یا پودر عرضه می شوند (حداکثر ۵ درصد وزنی سیمان)

مواد مضاف معدنی مثل پوزالان ها که به صورت طبیعی یافت می شوند (حداقل ۵ درصد وزنی سیمان)

مواد افزودنی به بتن افزوده می شود تا بعضی از ویژگی های بتن تازه یا سخت شده را تغییر دهند.

انواع افزودنی ها

- افزودنی های تند گیر کننده و کند گیر کننده
- افزودنی حباب زا
- فوق روان کننده
- افزودنی کاهنده آب

استاندارد ASTM-C-494-81 برای طبقه بندی مواد مضاف بتن:

- نوع A، روان کننده‌ها
- نوع B، دیرگیر کننده‌ها
- نوع C، زودگیرکننده‌ها
- نوع D، روان کننده‌های توام با اثر دیرگیر کننده
- نوع E، روان کننده های توام با اثر زودگیر کننده
- نوع F، روان کننده‌های قوی
- نوع G، روان کننده‌های قوی با اثر دیرگیر کننده

مواد افزودنی تندگیر کننده (تسریع کننده)

افزودنی هایی که سخت شدگی بتن را تسریع می بخشند.
(واکنش شیمیایی بین آب و سیمان را افزایش می دهند.)

کاربرد:

برای تسریع در گیرش بتن و کسب مقاومت زود رس بخصوص در سرما و یخ بندان یا در مواقعی که کسب مقاومت بتن باید سریع انجام شود.

کلرید کلسیم $CaCl_2$ به عنوان تندگیر کننده فقط بر بتن های غیر مسلح مجاز می باشد.
(به علت خوردگی آرماتورها)

نمونه های دیگر هیدروکسیدها و سولفاتهای سدیم و کلسیم و دیگرزودگیر کننده ها می باشد.

مواد افزودنی کندگیر کننده

مواد مضافی که باعث تاخیر در گیرش بتن می شود.

کاربرد:

- برای بتن ریزی در هوای گرم
- طولانی کردن زمان گیرش در کارهای حجیم مانند سدهای بزرگ بتنی
- جلوگیری از به وجود آمدن ترکهای ناشی از گیرش در بتن ریزی های متوالی
- پمپ کردن بتن در فواصل زیاد یا حمل بتن آماده در مسافتهای دور بکار میرود.

- مصرف مواد کندگیرکننده معمولا موجب کاهش مقاومت اولیه بتن می شود.
-
- اغلب کندگیرکننده ها روان کننده یا عامل کاهنده ی آب بتن نیز هستند.
- در برخی از آنها حباب هوا نیز ایجاد می شود.

انواع کندگیر کننده:

- معمولترین کندگیرکننده ها سولفات کلسیم است (تنظیم زمان گیرش سیمان در موقع آسیاب کردن کلینگر)
- شکر : استفاده از شکر به میزان ۰/۲ درصد وزنی سیمان باعث تاخیر در گیرش سیمان تا ۷۲ ساعت می شود
- نشاسته
- کلر ورهای آلومینیوم و آهن

مواد افزودنی روان کننده (کاهنده آب)

Super plasticizer فوق روان کننده

Plasticizer روان کننده

کاربرد:

۱-کاهش نسبت آب به سیمان با حفظ کارایی بتن.

۲ - بالا بردن کارایی بتن.

۳ - بهبود مخلوطهای خشن به خصوص وقتی نیاز به پرداخت سطوح بتنی باشد.

۴- بتن ریزی با پمپ

۵- افزایش ۱۰ تا ۲۵ درصدی مقاومت بتن به دلیل کاهش نسبت آب به سیمان

- افزودنی های معمول کاهنده آب، مقدار آب را در حدود ۵ تا ۱۰ ٪ کاهش می دهند.

مواد افزودنی حباب هوا ساز

نقش: ایجاد و تثبیت حبابهای میکروسکوپی هوا (ریز تر از ۰/۰۵ میلی متر) در بتن

اثرات:

- افزایش پایانی بتن در برابر رطوبت و یخ زدن و آب شدنهای مکرر
- افزایش کارایی و روانی بتن تازه
- کاهش نفوذ پذیری بتن
- افزایش مقاومت بتن در برابر پوسته شدگی سطحی ناشی از یخ زدن های شیمیایی در بتن

چربی طبیعی حیوانات و سمغ درختان

محاسن استفاده از بتن هوادار:

۱- افزایش مقاومت در برابر یخ بندان.

۲ – مقاومت در برابر تورم.

۳ – افزایش قابلیت آب بندی و کاهش میزان جذب آب.

۴ – افزایش مقاومت در برابر تهاجم سولفات ها.

۵ – افزایش مقاومت در برابر شرایط آب و هوایی

۶ – افزایش مقاومت سایشی.

۷ – افزایش کارایی بتن و کاهش امکان جداشدگی دانه ها.

معایب ترک در بتن

۱- ترکها یک کوتاهی و قصور واقعی و مرئی می باشند.

۲- ترکها ظرفیت باربری سازه ها را کاهش می دهند.

۳-ترکها خطر نفوذ کلرور و خوردگی آرماتورها را افزایش می دهند.(مثلا پایه پلها، بتن های مجاور با خاکهای کلردار، پارکینگها)

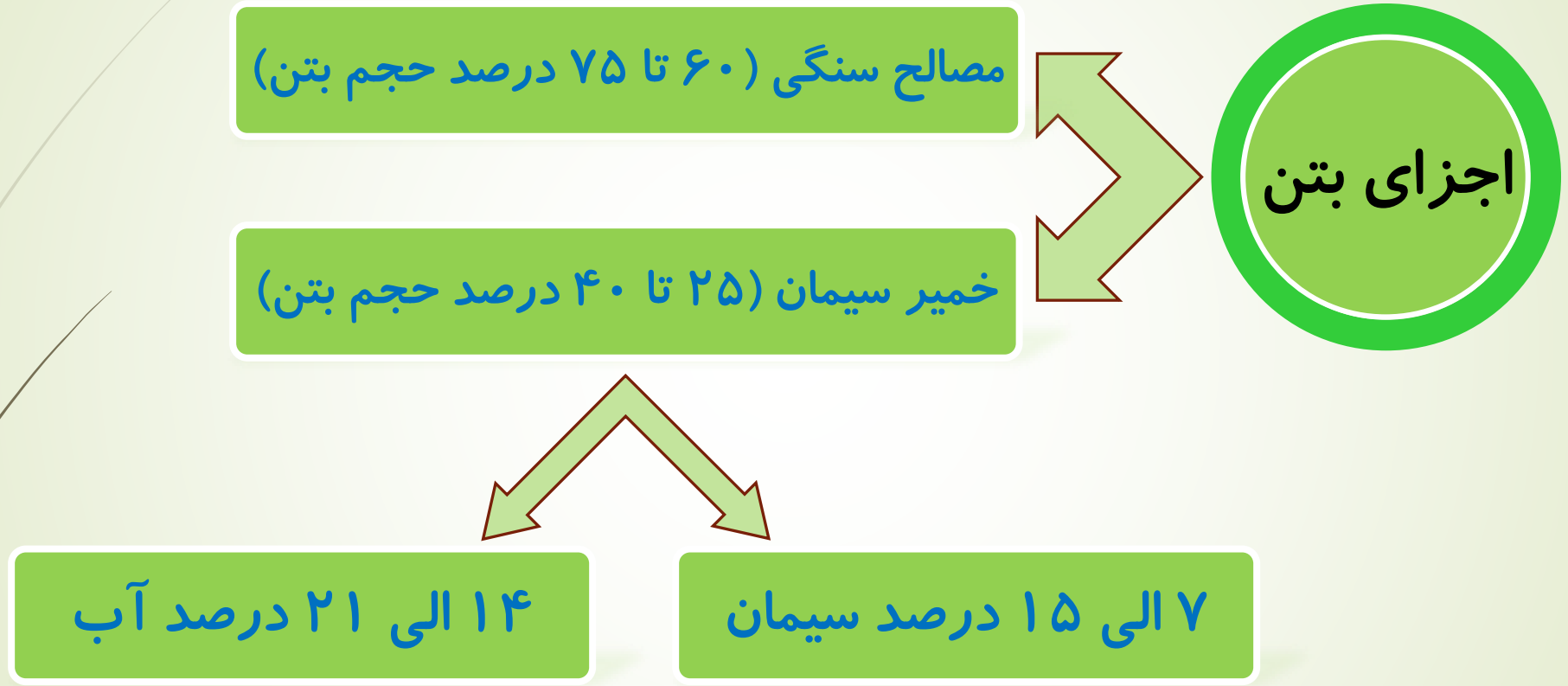
۴-ترکها سبب تشدید خرابی بتن در اثر حملات سولفاتها شده و قابلیت استفاده از سازه بتنی را کاهش می دهند.

ضد یخ

در مواردی به کار می روند که امکان یخ زدن بتن ها تازه وجود داشته باشد.

استفاده از ضدیخ در بتن، همچنین باعث کاهش مقاوم نهایی بتن می شود.

بتن و خواص آن


اجزای بتن
مصالح سنگی (۶۰ تا ۷۵ درصد حجم بتن)
خمیر سیمان (۲۵ تا ۴۰ درصد حجم بتن)
۷ الی ۱۵ درصد سیمان
۱۴ الی ۲۱ درصد آب

میزان آب در خمیر سیمان

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

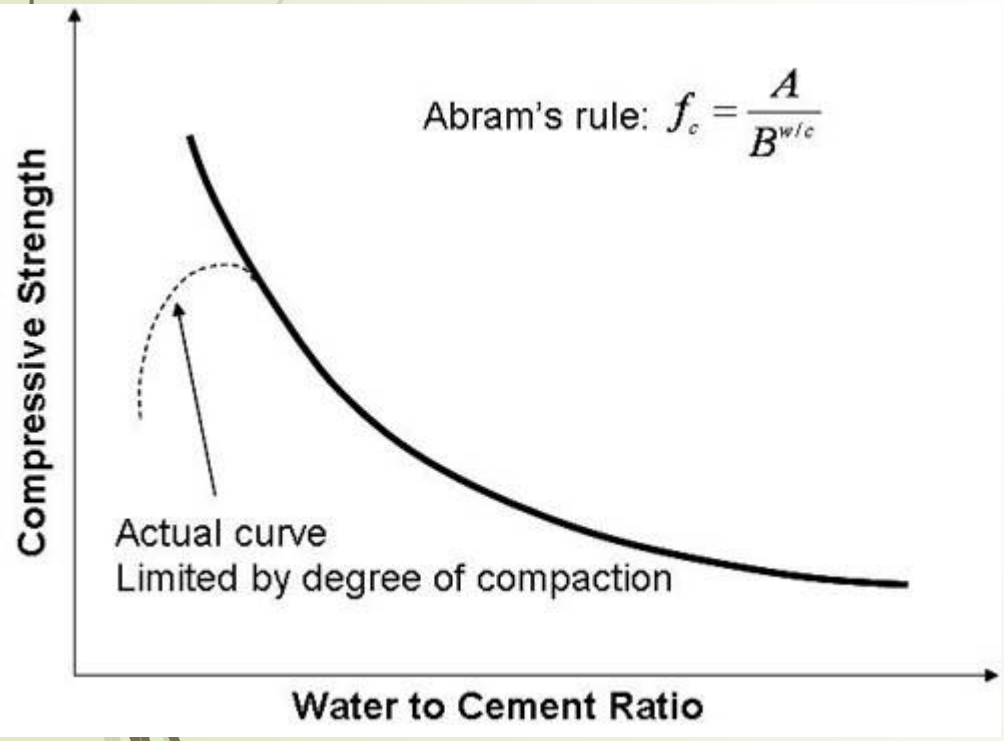
W: وزن آب و C: وزن سیمان.

- آب مورد نیاز واکنش های هیدراتاسیون: حدود ۲۵ درصد وزنی سیمان (آزمایش غلظت نرمال).

- 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



محاسن (W/C) زیاد: **افزایش روانی و کارایی**

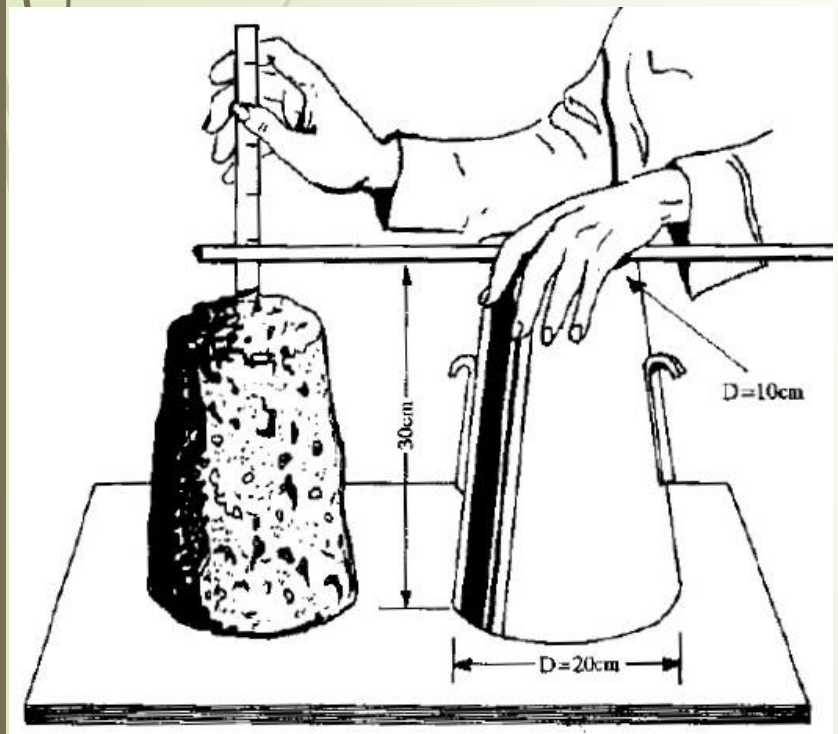
بتن تازه و کارایی آن

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



روش اندازه گیری اسلامپ بتن

مقادیر حداقل و حداکثر اسلامپ در قطعات بتنی

ردیف	نوع عضو یا قطعه بتنی	اسلامپ به میلیمتر	
		حداقل	حداکثر*
۱	شالوده‌ها و پی دیوارهای بتن‌آرمه[۲]	۲۵	۷۵
۲	شالوده‌های با بتن ساده، صندوقه‌ها و دیوارهای زیر سازه‌ها	۲۵	۷۵
۳	تیرها و دیوارهای بتن‌آرمه	۲۵	۱۰۰
۴	ستونها	۲۵	۱۰۰
۵	دالها و پیاده‌روهای بتنی[۴]	۲۵	۷۵
۶	بتن حجیم	۲۵	۵۰

*در صورتی که لرزش و ارتعاش با روشهای دستی انجام شود به مقدار حداکثر می‌توان ۲۵ میلیمتر اضافه نمود.

مشکلات بتن تازه

۱- آب انداختن بتن

۲- جدا شدن دانه ها

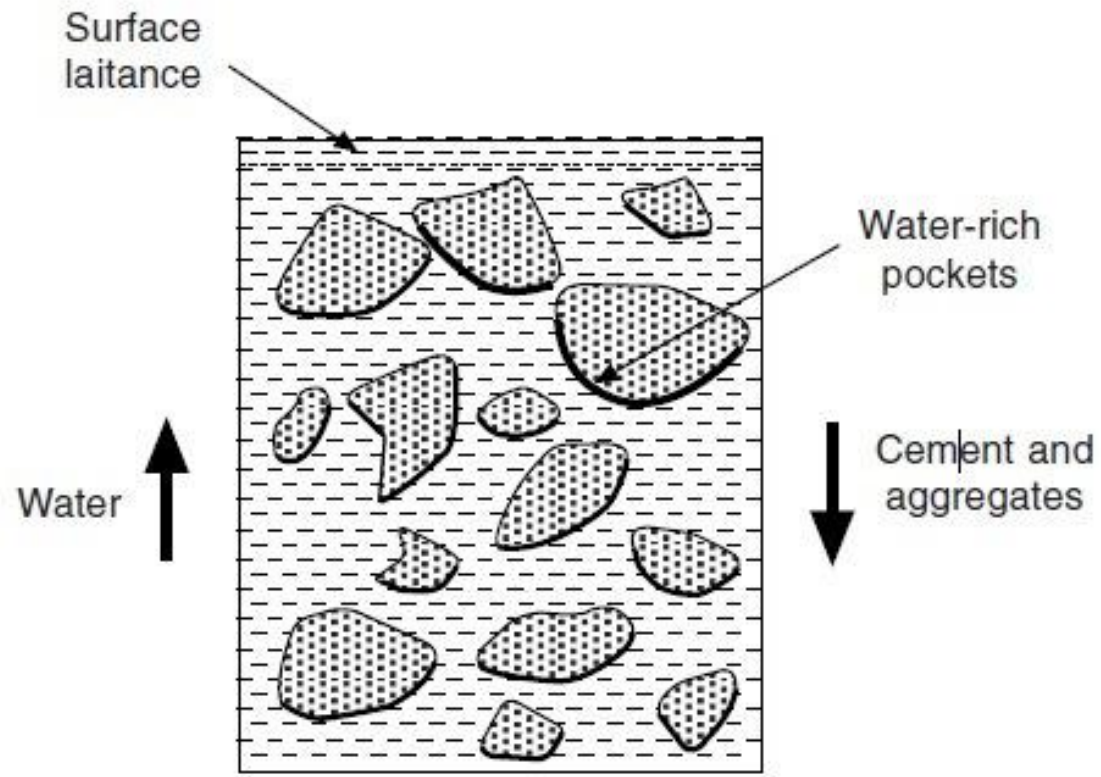


Figure 1.28 Segregation and bleed in freshly placed concrete.

جدا شدن بتن

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.

- استفاده از دانه بندی نامناسب سنگدانه ها
- اسلامپ بیش از حد
- ویبره بیش از حد
- ریختن بتن از ارتفاع
- حمل بتن در مسافت های دور و طولانی

- جداشدگی دانه ها معمولا در بتن های پرآرمه (آرماتور زیاد) اتفاق می افتد.
- در بتن ریزی در زیر آب این پدیده معمولا رخ می دهد.
- در ستون های بلند پدیده جداشدگی دانه ها اتفاق می افتد.

چگونه می توان جداشدگی بتن را به حداقل رسانید؟

- حفظ نسبت مناسب اجزای بتن
- بتن ریزی، حمل، تراکم و پرداخت مناسب بتن
- استفاده از مواد افزودنی و پوزولانی مناسب

آب انداختن بتن

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)
- جابجاکردن بتن در قالب با
  بیل یا ویبراتور

تراکم بتن

- به معنای فشرده سازی بتن تازه است تا در اطراف قالبها و نیز در اطراف میلگردها دقیقاً شکل گرفته و دور آنها را بپوشاند. همچنین هوای محبوس را به میزان زیادی از بتن خارج کرده و از کرمو شدن داخل و سطوح بتن جلوگیری نماید، و ذرات جامد را به یکدیگر نزدیک کند.

- تراکم باید به گونه ای اتخاذ و اجرا شود که از جداشدگی اجزا به هر صورت جلوگیری شود.

- در صورتی که از روشهای تراکم استفاده نشود، امکان ساخت بتن های با اسلامپ کم، سیمان کم، و در عین حال مقاومت زیاد میسّر نخواهد بود.

عوامل مؤثر بر انتخاب روش تراکم

1) روانی بتن
2) میزان آرماتورها، فاصلهٔ بین آنها (تراکم آرماتورها)
3) پیچیدگی قالب بندی و شکل هندسی عضو یا اعضا
4) حجم بتن ریزی
5) نوع بتن
6) نوع روش انتقال و بتن ریزی (نظیر استفاده از پمپ بتن)
7) امکانات موجود

تراکم بتن

ارتعاش (ویبره)

- 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

انواع ویبره بتن

- ویبراتورها با تولید ارتعاش اصطکاک داخلی بین سنگدانه ها موقتا از بین می برند و بتن مانند یک مایع رفتار می کند. در نتیجه بتن تحت تاثیر ثقل در قالب فرو می نشیند و حباب های بزرگ هوای محبوس شده با سهولت بیشتری به سوی سطح بتن صعود می کنند.

ویبره دستی

ویبره لرزاننده قالب

ویبره میزی

ویبره دستی

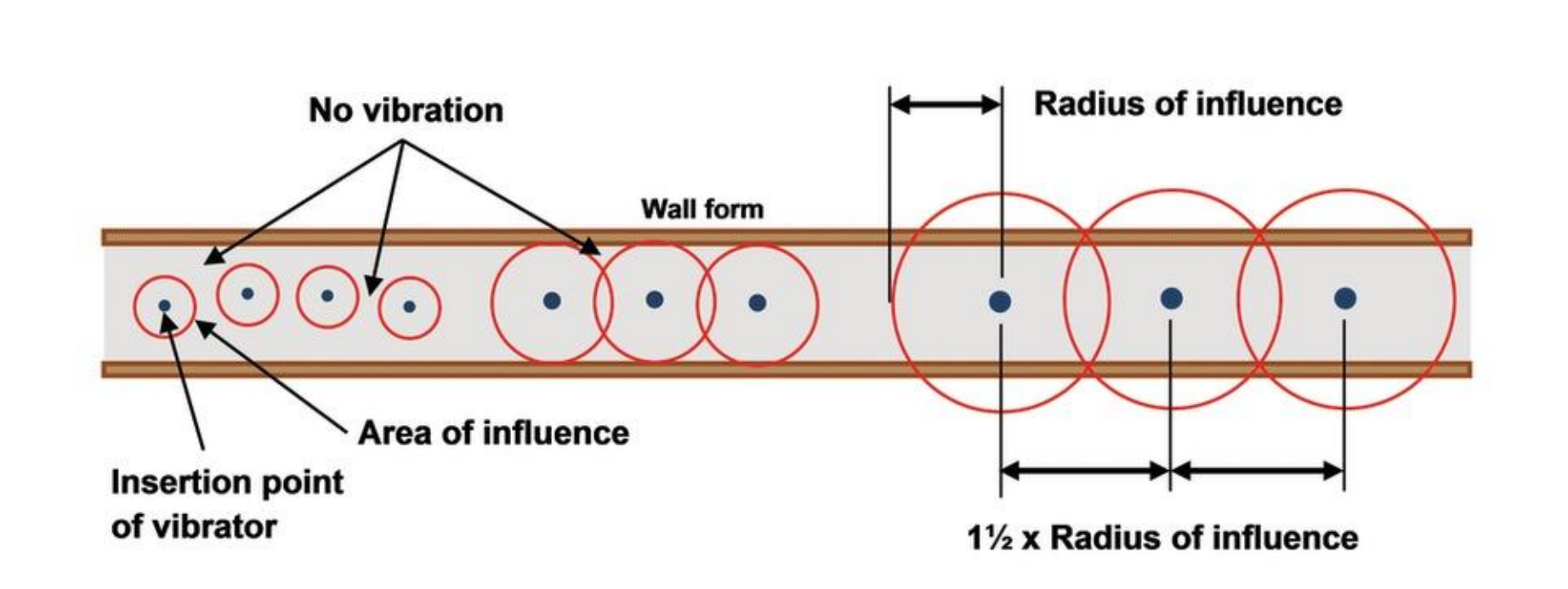
- ویبراتور دستی به فاصله هر ۰/۵ الی یک متر در بتن فرو برده می شود.
- هر بار بین ۵ تا ۳۰ ثانیه در بتن نگه دارند (بسته به میزان تراکم مورد نظر و همچنین اسلامپ بتن)
- مدت زمان دقیق باید بر اساس ظاهر شدن شیره بتن بر سطح و تغییر صدای لرزاننده تعیین شود.
- اگر زمان لرزاندن کم باشد سنگدانه‌ها حرکت می کنند، اما ملات فرصت کافی برای جاری شدن ندارد و بتن متخلخل می‌شود.
- اگر زمان لرزاندن زیاد باشد، مقدار زیادی شیره بتن به سطح آمده که باعث جداشدگی در بتن و ایجاد ترک و کاهش مقاومت سطح بتن و کرمو شدن قسمت‌های زیرین بتن می‌شود.

- برای حذف مؤثر هوا، ویبراتور باید سریعاً به داخل بتن وارد گردد و با حرکت ملایم بالا-پایین به آهستگی ویبراتور خارج شود.

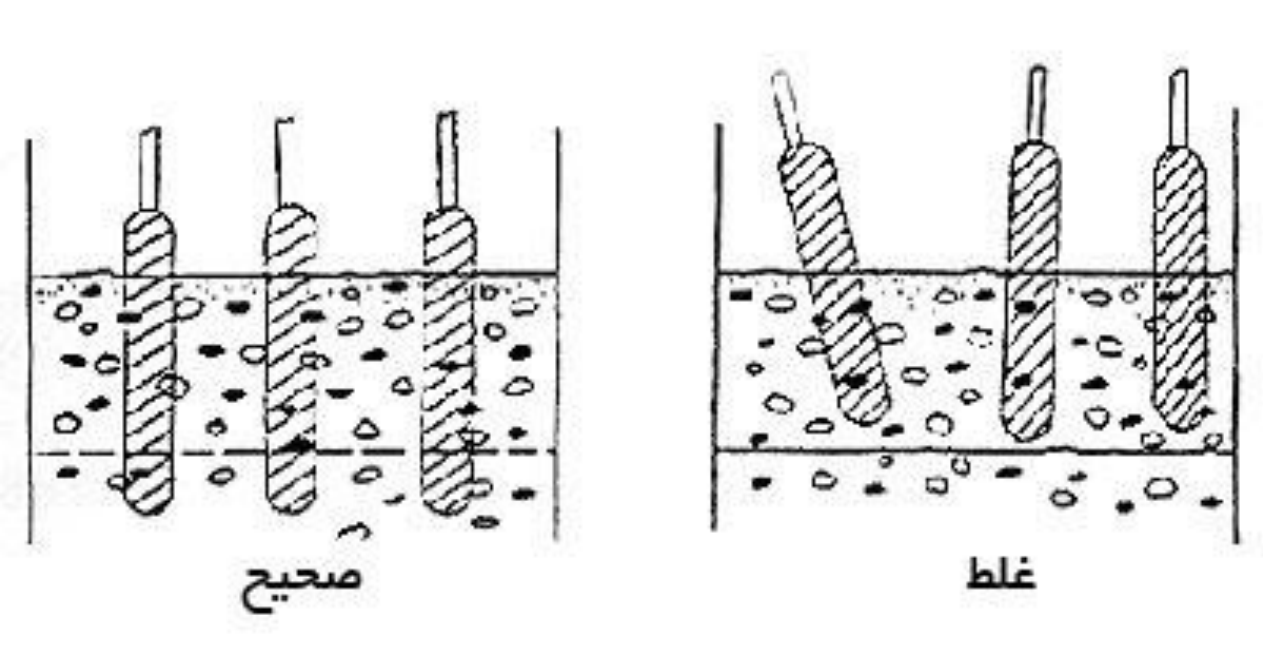
- در زمانی که ویبراتور به آهستگی خارج می‌شود، هوای بالای ویبراتور به طرف بالا رانده می‌شود و از طرف دیگر، باعث جاری شدن ملات به صورت یکنواخت می‌شود. ضمناً در بتن‌های سفت جای میله ویبراتور به این ترتیب پر می‌شود.

فواصل مورد نظر بر اساس شعاع عمل لرزاننده تعیین می‌شود. از طرف دیگر، شعاع‌های عمل باید تا چند سانتیمتر یکدیگر را پوشش دهند. معمولاً این فاصله ۱/۵ برابر شعاع عمل لرزاننده توصیه می‌شود.

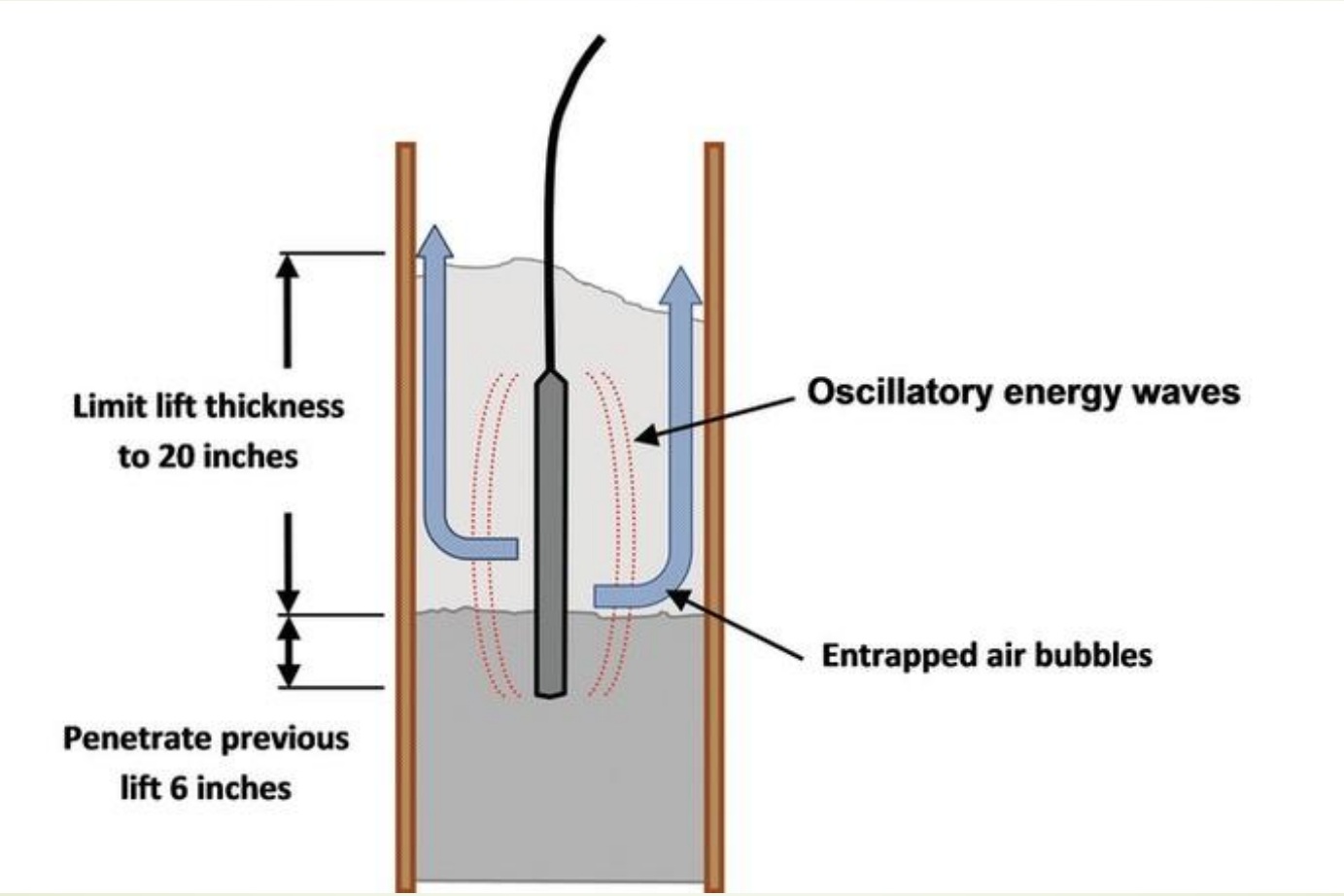
شعاع عمل ویبراتور برای لرزاننده‌های تا قطر ۷۵ میلیمتر بین ۱۵۰ تا ۵۰۰ میلیمتر است و به قطر لرزاننده و نوع بتن مورد استفاده بستگی دارد.



- لرزاننده باید به صورت عمودی و در فواصل یکنواخت به داخل بتن فرو برده شود و از خواباندن لرزاننده به صورت کاملاً مایل یا افقی پرهیز گردد.



- هنگامی که لایه قبلی بتن، حالت خمیری دارد و هنوز به مرز گیرش اولیه آن نزدیک نشده است، لرزاننده باید به مقدار ۵۰ تا ۱۰۰ میلیمتر به داخل لایه قبلی نفوذ کند .

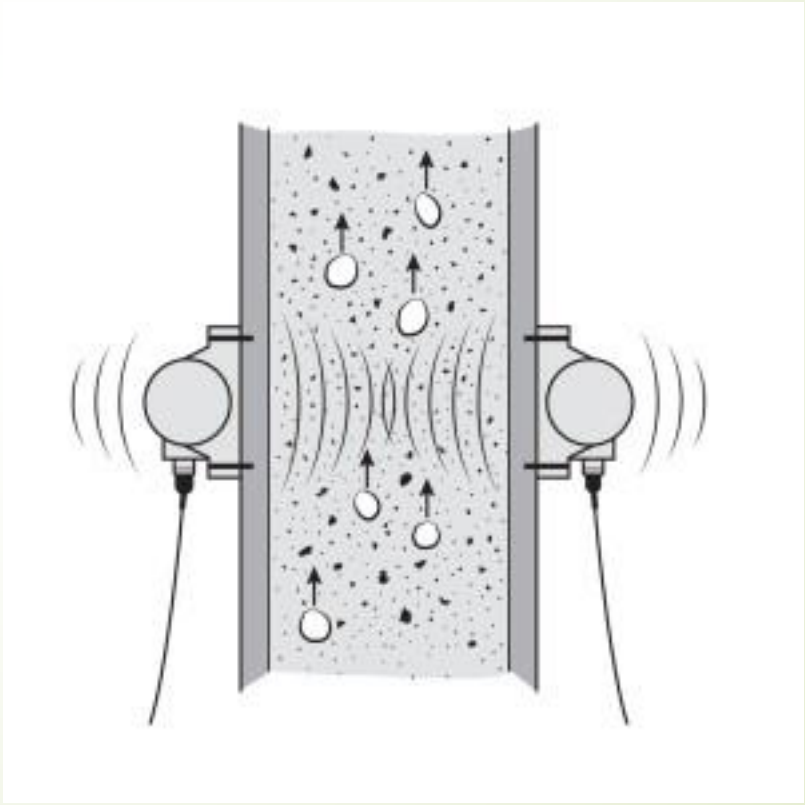


- ویبراتور نباید با سطح قالب و میلگرد تماس داشته باشد، زیرا ممکن است باعث صدمه زدن به سطح قالب شود و یا سبب لرزش میلگردها در بتن قبلی که در حال گیرش می‌باشند، گردیده و موجب کاهش پیوستگی بتن و میلگرد شود. همچنین لرزش قالب در قسمتهایی که بتن آن در حال گیرش می باشد می‌تواند به نمای قسمت سطحی آسیب رساند.

- ویبراتور نباید برای حرکت جانبی و هل دادن بتن استفاده گردد، زیرا سبب جداشدگی اجزای مخلوط بتن می‌شود.

ویبره لرزاننده قالب:

این ویبره را در مجاورت قالب بتن قرار داده و یا به آن متصل می‌کنند. با بکار افتادن این ویبره، مجموعه قالب و بتن داخل آن مرتعش شده و حباب‌های هوا خارج می‌شوند.



ویبره میزی:

- معمولاً در کارگاه‌های بتن پیش ساخته مورد استفاده قرار می گیرد.
- در چنین کارگاه‌هایی میز ویبره در سالنی موسوم به سالن ویبره مستقر بوده و با بکار افتادن دستگاه ویبره میزی، مجموعه میز و قالب و بتن، لرزیده و عمل ویبره شده انجام می گیرد.

عمل آوری بتن

- عمل آوری بتن روشی است که در آن بتن در برابر از دست دادن رطوبت مورد نیاز هیدراسیون محافظت می گردد و دمای آن در اندازه مورد نظر حفظ می شود.

- عمل آوری مقاومت را افزایش می دهد و نفوذپذیری بتن سخت شده را کاهش می دهد.

- این اقدام همچنین به کاهش حرارت و ترکهای پلاستیک که به شدت بر پایداری سازه تأثیر گذار خواهند بود، کمک می کند.

چرا عمل آوری بتن ضروری است؟

- افزایش هیدراسیون سیمان در بتن تا رسیدن به مقاومت مورد انتظار
- افزایش پایداری بتن با کاهش ترکها
- عملکرد سرویس دهی بالا با افزایش مقاومت سایشی
- بهبود میکرو ساختارها به وسیله توسعه بهتر فرایند هیدراته شدن

عمل آوری بتن

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:

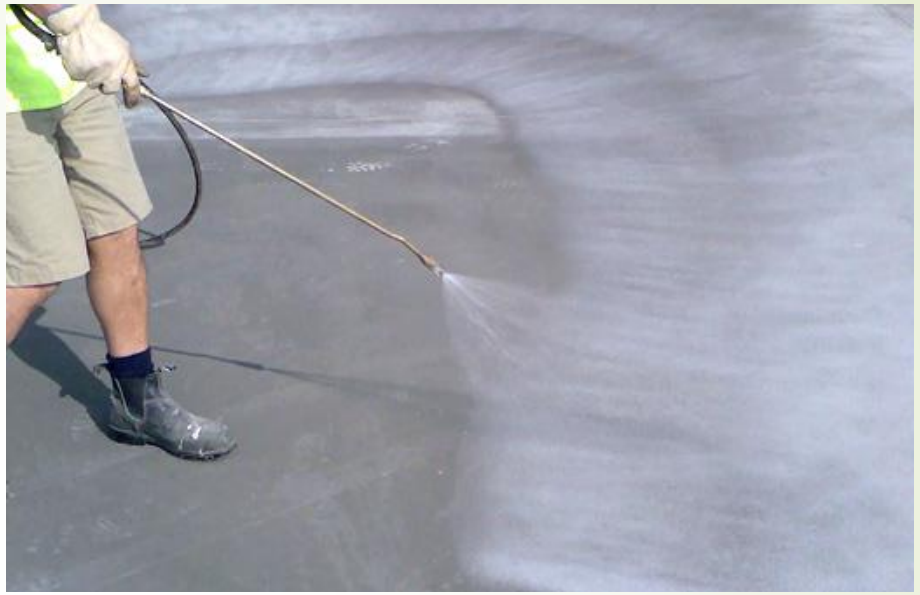
استفاده از سیمان های با گرمای هیدراتاسیون بالا (تیپ ۳)

استفاده از وسایل گرمازا در محل بتن ریزی

استفاده از آب گرم

حداقل زمان مراقبت:
۷ روز

روش های عمل آوری بتن



عمل آوری با آب

این روش از حذف آب سطح بتن به واسطه خیس کردن بی وقفه آن جلوگیری می کند. این کار با افشاندن یا پاشیدن آب روی سطح بتن به منظور اطمینان از مرطوب بودن سطح بتن به صورت مداوم انجام می شود. در نتیجه رطوبت بتن تا رسیدن به مقاومت لازم حفظ می شود.

روشهای عمل آوری با آب شامل:

- غرقاب کردن (برکه)
- پاشیدن آب، مه سازی
- پوششهای مرطوب یا خیس

روش ایجاد برکه آب

- در طول دوره مراقبت از بتن، همیشه یک لایه آب به ضخامت حداقل ۵ الی ۱۰ سانتیمتر روی بتن قرار می گیرد.
- استفاده از این روش فقط برای سطوح تخت و افقی مناسب است.
- آب نسبت به بتن نباید بیشتر از ۱۰ درجه سانتیگراد اختلاف درجه حرارت داشته باشد. زیرا در صورت وجود اختلاف دما موجب بروز ترکهای موئین در سطح بتن می گردد.
- به طور کلی این روش برای مکان هایی مناسب است که آب کاف وجود داشته باشد ونیز امکان یخ زدگی بسیار کم باشد.

روش ایجاد مه (آب پاشی)

- ایجاد مه به این معنی است که آب به صورت ریز شده و پودر شده پاشیده شود تا روی بتن مورد نظر را مه آب بپوشاند.
- این روش برای آب پاشی سطوح افقی و سطوح قائم مناسب است.
- اتلاف آب در این روش حتی از روش برکه آب نیز بیشر بوده و بنابراین برای جاههایی توصیه می شود که از نظر میزان مصرف آب محدودیتی وجود نداشته باشد.

روش استفاده از پوششهای خیس

- پوششهایی نظیر گونی کرباس و موکت به صورت خیس شده روی بتن قرار می گیرند .

- این پوششها برای ما دو کار را انجام می دهند:

۱- از تابش مستقیم آفتاب جلوگیری می کنند در نتیجه موجب کاهش میزان تبخیر آب می شوند.

۲- این پوششها مقداری از آب را در خود ذخیره می کنند که مدت زمانی طول می کشد تا این آب تبخیر شود.

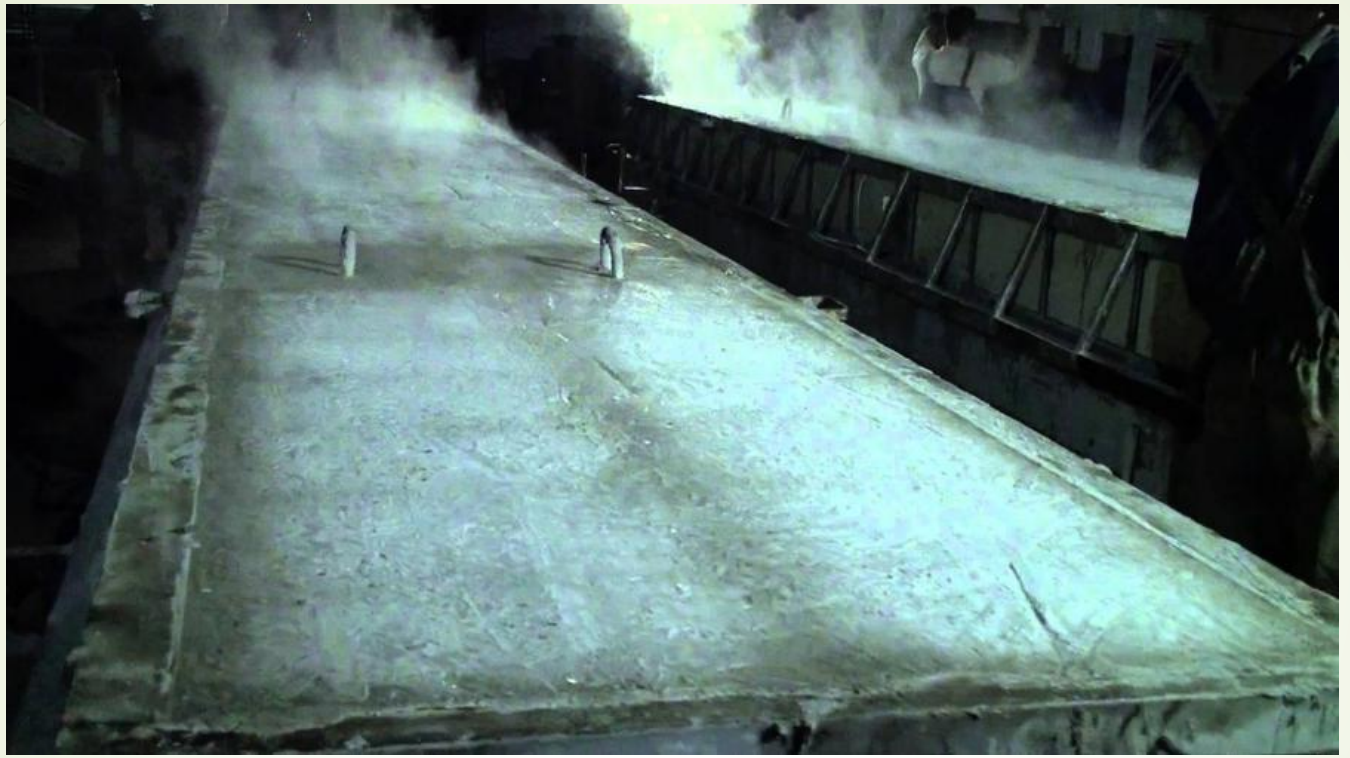
- بسته به میزان حرارت و نوع ضخامت پوشش باید هر چند ساعت و یا هر چند روز یکبار آنها را خیس کرد.

- در این روش می توان از پوششهایی نظیر خاک یا خاک اره یا کاه و یا علف استفاده کرد.

- امروزه این روش یکی از روشهای متداول مراقبت ازبتن است و در ساختمانهای بتن آرمه به خصوص در مراقبت از ستون ها از آن استفاده می شود.

عمل آوری با بخار

- عمل آوری با بخار، سطح را مرطوب نگه داشته و دمای بتن را برای سرعت بخشیدن به کسب مقاومت، افزایش می دهد.
- این کار برای سرعت دادن به سخت شدگی سریع بتن و ملات، با در معرض قرار دادن آنها در برابر بخار و رطوبت انجام می شود.
- این روش برای کارخانه های بتن پیش ساخته که تولید انبوه دارند و زمان چرخش قالب بسیار سریع است، رایج است.
- در این روش دمای سطح بتن با بخار آب به ۸۰ الی ۱۰۰ درجه سانتیگراد میرسد.
- معمولا با این روش مراقبت ۷ روزه را به ۴۸ ساعت تقلیل می دهند.



عمل آوری با بخار

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.

جدول ۹ – ۷ – ۱ حداقل زمان عمل‌آوردن بتن

نوع سیمان	شرایط محیطی پس از ریختن بتن در قالب *	دمای متوسط سطح بتن **		
		۵ تا ۱۰ درجه سلسیوس	۱۱ تا ۲۰ درجه سلسیوس	۲۱ درجه سلسیوس و بیشتر
نوع ۱ و ۲ و ۳ و ۵	متوسط	۴ روز	۳ روز	۲ روز
	ضعیف	۶ روز	۴ روز	۳ روز
همه سیمان‌ها به جز نوع ۱ و ۲ و ۳ و ۵ و همه سیمان‌های حاوی مواد پوزولانی یا روباره‌ای	متوسط			
	ضعیف	۱۰ روز	۷ روز	۵ روز
همه سیمان‌ها	خوب	اقدامی خاص ضرورت ندارد		

* شرایط محیطی مندرج در این ستون به‌شرح زیر تعریف می‌شوند:

خوب: محیط مرطوب و محافظت‌شده (رطوبت نسبی بیشتر از ۸۰ درصد و محافظت شده در برابر تابش مستقیم خورشید و باد).

ضعیف: محیط خشک و محافظت‌نشده (رطوبت نسبی کمتر از ۵۰ درصد و محافظت‌نشده در برابر تابش مستقیم خورشید و باد.)

متوسط: شرایطی بین دو حد خوب و ضعیف.

** درصورتی‌که دمای سطح بتن اندازه‌گیری یا محاسبه نشود، می‌توان آن را معادل دمای هوای مجاور سطح بتن فرض کرد.

مقاومت بتن (یکی از مهمترین خواص بتن سخت شده)

عوامل موثر در مقاومت بتن:

۱- کیفیت دانه ها (دانه های سیلیسی، آهکی، و گچی)

۲- میزان دانه ها

- افزایش دانه ها سبب افزایش مقاومت بتن می شود (ملاحظات ذکرشده قبلی لحاظ شود).

۳- مقدار سیمان و نوع سیمان

- افزایش مقدار سیمان سبب افزایش مقاومت بتن می شود .
- مقدار سیمان باید در حدی باشد که چسبندگی مناسب بین سنگدانه ها برقرار کند. سیمان مازاد سبب افزایش فاصله بین سنگدانه ها و در نتیجه کاهش مقاومت می شود.

۴- نسبت آب به سیمان

۵- عمر بتن

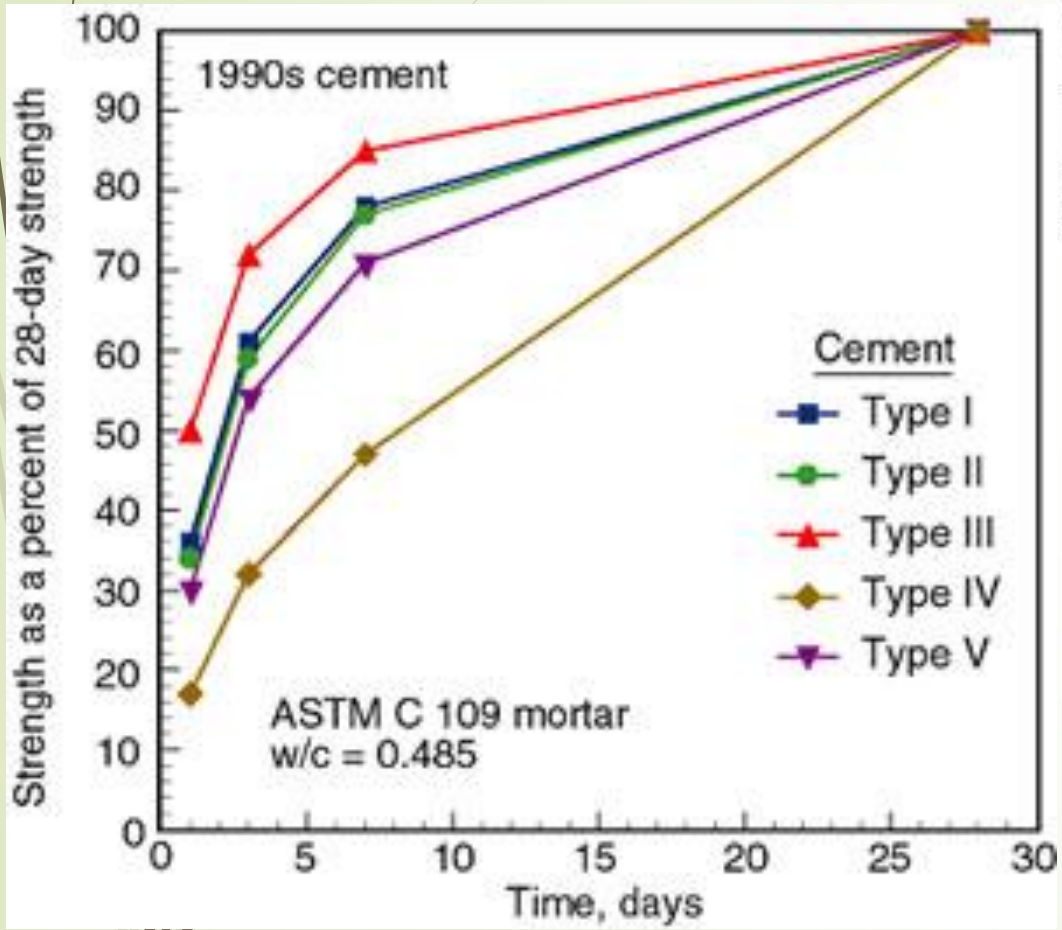
- با گذر زمان و تکمیل واکنش های هیدراتاسیون مقاومت بتن افزایش می یابد.

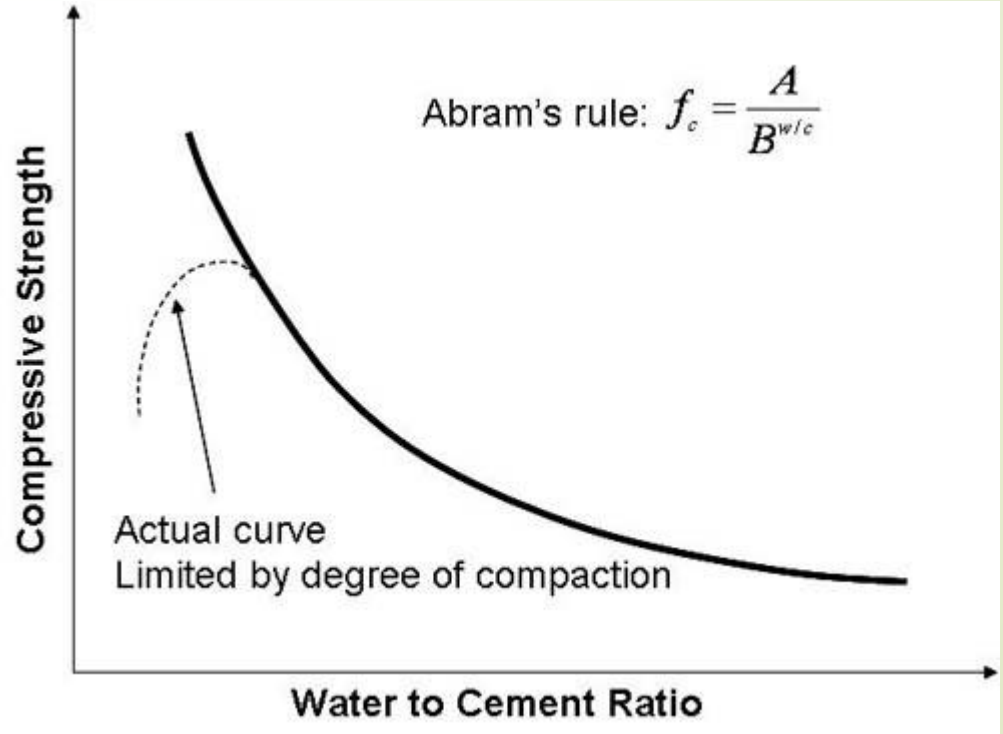
مقاومت فشاری ۷ روزه: ۶۰ تا ۶۵ درصد مقاومت نهایی

مقاومت فشاری ۲۸ روزه: ۹۰ تا ۹۵ درصد مقاومت نهایی

۹-۱۰-۲۴ تاثیر نوع سیمان و سن بتن بر روی مقاومت فشاری نسبی بتن

نوع سیمان	مقاومت فشاری (به صورت نسبی)			
	۱ روزه	۷ روزه	۲۸ روزه	۹۰ روزه
سیمان نوع I	۰/۳۰	۰/۶۶	۱/۰۰	۱/۲۰
سیمان نوع II	۰/۲۳	۰/۵۶	۰/۹۰	۱/۲۰
سیمان نوع III	۰/۵۷	۰/۷۹	۱/۱۰	۱/۲۰
سیمان نوع IV	۰/۱۷	۰/۴۳	۰/۷۵	۱/۲۰
سیمان نوع V	۰/۲۰	۰/۵۰	۰/۸۵	۱/۲۰





دلیل استفاده کردن آیین نامه ها از مقاومت فشاری ۲۸ روزه:

۱) افزایش مقاومت بعد از روز ۲۸ ام در شرایط عادی ناچیز است.

۲) بعد از این مدت امکان بارگذاری سازه ها وجود دارد.

۳) 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.

اندازه گیری مقاومت فشاری بتن

- در استانداردهای آمریکایی و ایران مقاومت فشاری بتن با f’c مشخص می شود که در واقع مقاومت ۲۸ روزه 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 fcu نشان می دهند.

عوامل موثر بر مقاومت فشاری نمونه های بتنی

۱- نوع نمونه

- مقاومت فشاری ۲۸ روزه نمونه های استوانه ای در حدود ۸۰ درصد مقاومت فشاری نمونه مکعبی با ابعاد ۱۵۰ میلیمتر و در حدود ۸۳ درصد مقاومت فشاری نمونه های مکعبی با ابعاد ۲۰۰ میلیمتر است.

- با این وجود برای بتن سبک وزن، مقاومت فشاری هر دو نمونه تقریباً یکسان خواهد بود.

۲- ابعاد نمونه

- هر چه اندازه نمونه بزرگتر شود مقاومت فشاری آن کاهش می یابد (با افزایش ابعاد نمونه احتمال وجود ترک در بتن بالا می رود.).

۳- رطوبت نمونه

- نمونه های کاملاً خشک نسبت به نمونه های کاملاً اشباع ۲۰ تا ۲۵ درصد از مقاومت بیشتری برخوردار است.

- بر طبق استاندارد، اندازه گیری مقاومت در شرایط اشباع می بایستی انجام گیرد؛ چرا که وجود فشار آب در بین منفذه ای داخلی باعث کاهش مقاومت نمونه های در حالت اشباع می باشد.

۴- سرعت بارگذاری نمونه

سرعت بارگذاری عبارتست از مقدارتنش اعمال شده بر نمونه در واحد زمان (MPa/sec)

نکته ۱- هر چه سرعت بارگذاری بیشتر باشد، مقاومت فشاری بتن نیز افزایش می یابد.

نکته ۲- اگر سرعت بارگذاری ۳۰ درصد افزایش یابد، مقاومت فشاری به میزان ۱۲ درصد بیشتر میشود و بالعکس.

نکته ۳- هر چه سرعت را افزایش دهیم، مقاومت از ۱۵ درصد بیشتر نمی گردد.

نکته ۴- سرعت بارگذاری در استاندارد بین ۱۵ / ۰ تا ۳۴ / ۰ مگاپاسکال می باشد. ۲۵ / ۰ سرعت بارگذاری مناسبی است.

- مقاومت مشخصه در آیین نامه ایران بر حسب نمونه استوانه ای ۱۵X۳۰ سانتی متر تعریف می گردد.

- در عمل ممکن است در کارگاه نمونه های استوانه ای غیر استانداردو یا نمونه های مکعبی برای کنترل مقاومت فشاری بتن مورد استفاده قرار بگیرد.

نحوه ی تبدیل مقاومت فشاری مکعبی به استوانه ای

طبق بند ۹-۶-۱ مبحث نهم:

r2/مقاومت فشاری نمونه مکعبی غیر ۲۰۰ = مقاومت فشاری نمونه مکعبی ۲۰۰ میلیمتری

r3 /مقاومت فشاری نمونه مکعبی ۲۰۰ = مقاومت فشاری نمونه استوانه ای استاندارد

r1 /مقاومت فشاری نمونه استوانه ای غیر استاندارد = مقاومت فشاری نمونه استوانه ای استاندارد

نمونه استوانه ای استاندارد هم نمونه ای است به قطر ۱۵۰ و به ارتفاع ۳۰۰ میلیمتر.

جدول ۹ – ۶ – ۰ – ۱ مقادیر r_1

$a \times 2a$	۱۰۰ ×۲۰۰	۱۵۰ ×۳۰۰	۲۰۰ ×۴۰۰	۲۵۰ ×۵۰۰	۳۰۰ ×۶۰۰
r_1	۱/۰۲	۱/۰۰	۰/۹۷	۰/۹۵	۰/۹۱

جدول ۹ – ۶ – ۰ – ۲ مقادیر r_2

مکعبی b	۱۰۰	۱۵۰	۲۰۰	۲۵۰	۳۰۰
r_2	۱/۰۵	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۵	۰/۹

جدول ۹ – ۶ – ۰ – ۳ مقادیر r_3

مقاومت فشاری نمونه مکعبی (MPa)	≤ ۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵
r_3	۱/۲۵	۱/۲۰	۱/۱۷	۱/۱۴	۱/۱۳	۱/۱۱	۱/۱۰
مقاومت فشاری نمونه استوانه ای (MPa)	با توجه به ضریب	۲۵	۳۰	۳۵	۴۰	۴۵	۵۰

مقاومت کششی بتن

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

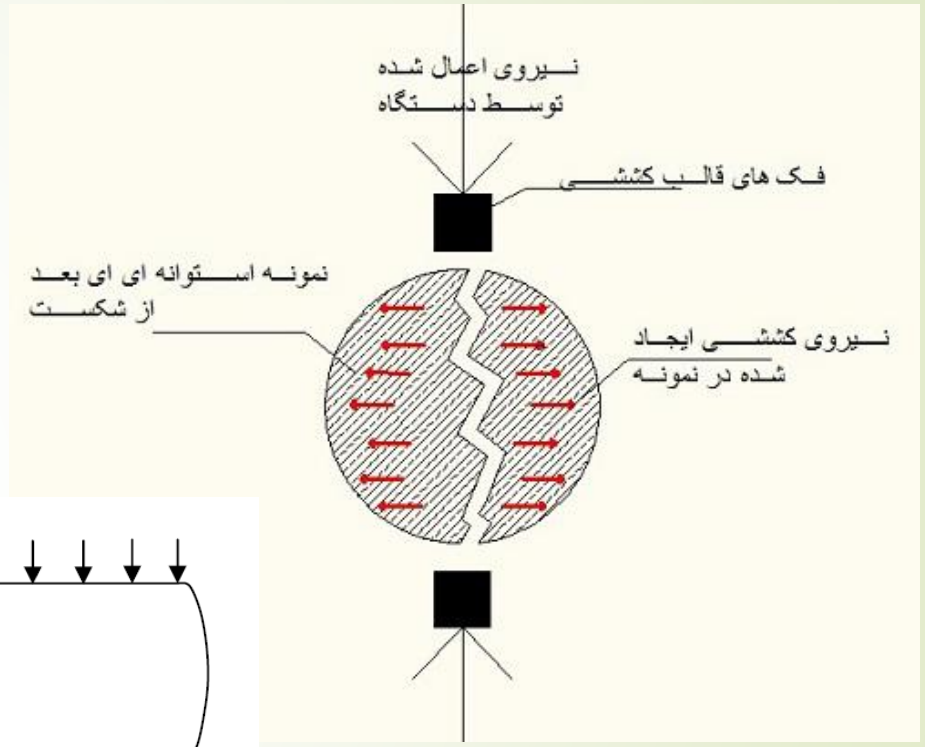
- آزمایش مقاومت کششی برزیلی
- آزمایش خمش

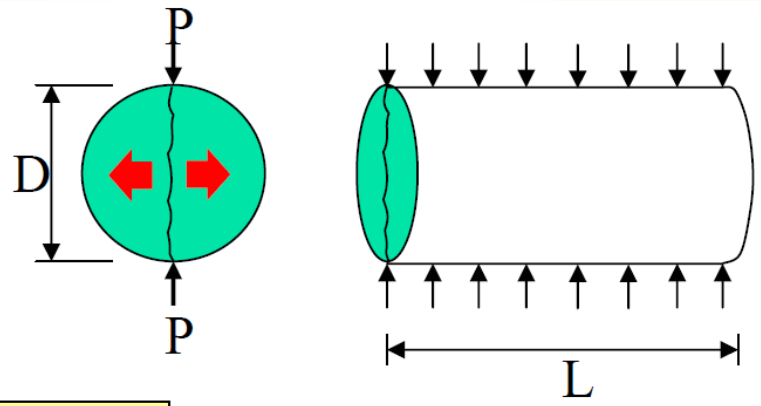
مقاومت کششی بتن را مدول گسیختگی یا ضریب گسیختگی می نامند.

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

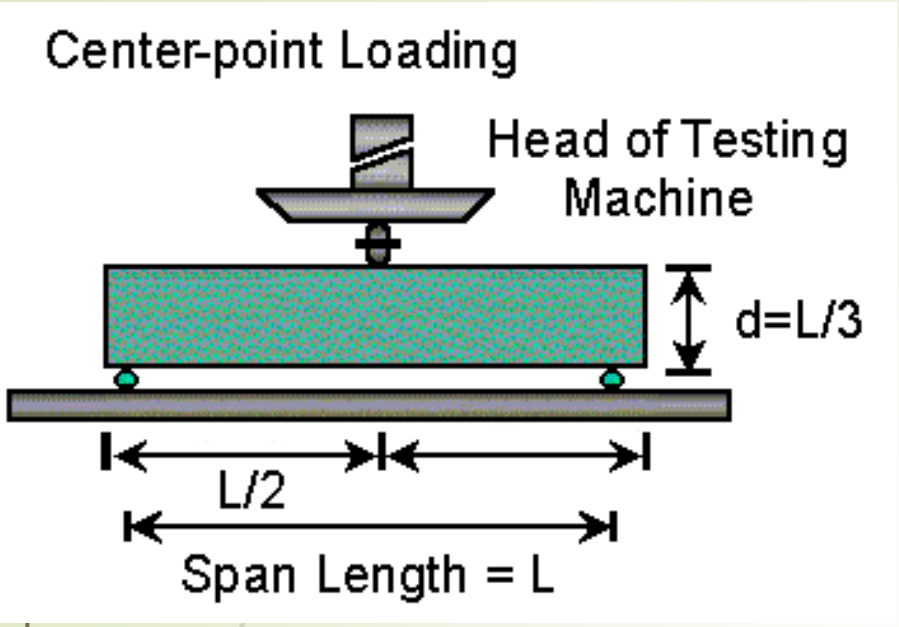




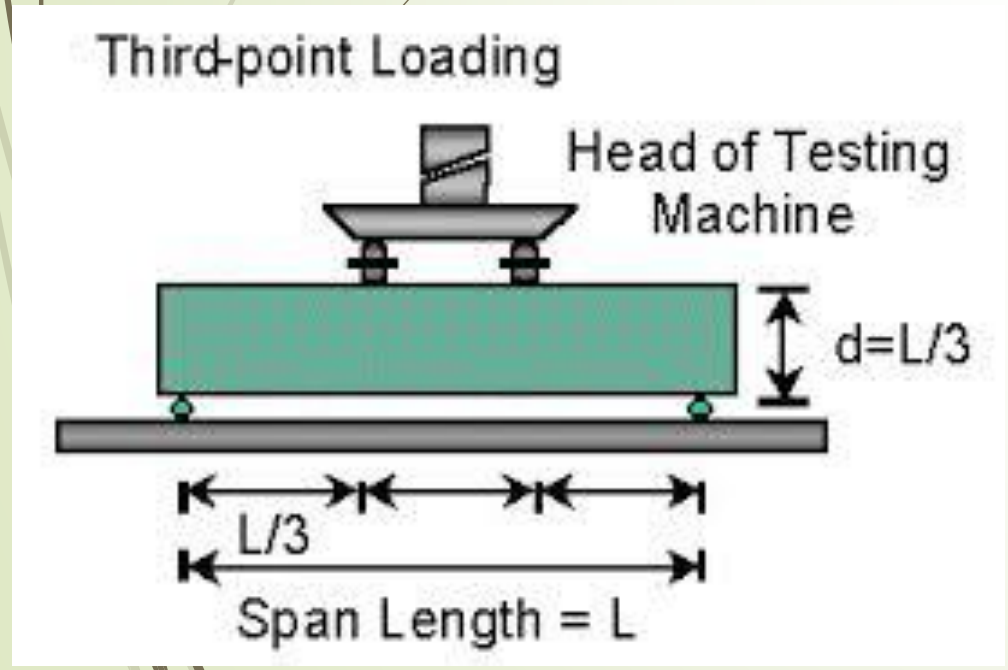
$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi LD}$$

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

آزمایش خمش



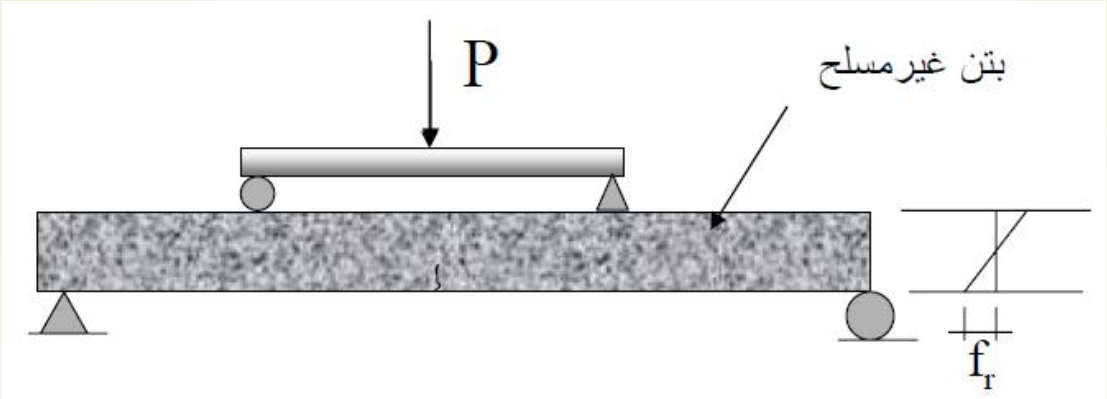
- آزمایش سه بار نقطه ای ASTM C78



- آزمایش بار نقطه ای مرکزی ASTM C293

- عرض، عمق و طول نمونه به ترتیب برابر است با: ۱۵۰ میلیمتر، ۱۵۰ میلیمتر، حداقل سه برابر عمق نمونه باید باشد.

- ابعاد قالب معمولا ۲۰۰ میلی متر، ۲۰۰ میلی متر و ۷۵۰ میلی متر انتخاب می شود.



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

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

وزن مخصوص بتن، Wc

- **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