

بِه نام خدا

ٲكنولوزى بن

منابع جزوه:

مبحث نهم مقررات ملی ساختمان

تکنولوژی و طرح اختلاط بتن / دکتر داوود مستوفی نژاد

تکنولوژی بتن / دکتر علی اکبر رضانیانپور دکتر محمدرضا شاه نظری

دستنامه بتن / وادل و دوبروولسکی ترجمه علی اکبر رضانیانپور ، شاپور طاحونی و منصور پیدایش

روش ملی طرح مخلوط بتن / سازمان تحقیقات ساختمان و مسکن



۱-مقدمه:

امروزه بتن در کنار فولاد یکی از مهمترین مصالح در پروژه‌های عمرانی می‌باشد. با توجه به کاربرد گسترده بتن در اکثر پروژه‌های عمرانی مثل راه، پل، ابنیه، سد و سایر تاسیسات زیر بنایی، بتن را می‌توان پر مصرف ترین ماده ساختمانی نامید. در آمریکا مصرف بتن ۵ برابر مصرف فولاد برآورد شده است. در بعضی کشورها مصرف بتن تا ۱۵ برابر مصرف فولاد است.

در حالت کلی بتن ماده مرکبی است که از یک ماده چسباننده که ماده سیمانی نیز نامیده میشود و یک یا چند بخش سخت تشکیل شده است. به عنوان مثال ماده سیمانی مخلوط آسفالت قیر و ماده سیمانی بتن گاوگردی گاوگرد می باشد. در بتن های مرسوم که که نوعی سنگ مصنوعی هستند ماده چسباننده که به دلیل نیاز به ترکیب با آب بتن هیدرولیکی نیز نامیده می شود از سیمان های پرتلند و یا ترکیب از سیمان های مختلف و پوزولان ها تشکیل شده است. اجزای اصلی این بتن ها عبارتند از سیمان ، آب ، سنگدانه و هوا که با توجه به کاربرد بتن می توان از مواد افزودنی نیز در ترکیب بتن استفاده کرد.

سیمان که حدود ۷ الی ۱۵ درصد حجم بتن را تشکیل میدهد جزء اصلی چسباننده اجزای بتن است.

نقش آب که ۱۴ الی ۲۱ درصد حجم بتن را تشکیل میدهد انجام واکنش هیدراسیون با سیمان و نیز ایجاد روانی در بتن برای حرکت در قالب است.

سنگدانه ها که نقش اصلی را در مقاومت فشاری بتن ایجاد می کنند حدود ۶۰ الی ۷۵ درصد حجم بتن را تشکیل میدهند. سنگدانه ها به دو بخش شن (درشت دانه) و ماسه (ریز دانه) تقسیم میشوند. به سنگ دانه های بین ۷۵ میکرون تا ۴.۷۵ میلیمتر ماسه و به سنگدانه های بیش از ۴.۷۵ شن میگویند.

هوا حدود ۱.۵ تا ۳ درصد حجم بتن را تشکیل میدهد. معمولاً در طی فرایند ساخت بتن مقداری هوای ناخواسته وارد بتن میشود که برای جلوگیری از آسیب و تضعیف بتن با عمل ویبراسیون این هوا از بتن خارج میشود. در بعضی موارد برای افزایش روانی و یا سبک سازی بتن با استفاده از مواد مخصوص افزودنی حباب هایی در بتن ایجاد میشود.

مهمترین مزایای بتن عبارتند از:

- عمر طولانی سازه های بتنی
- مقاومت در برابر آتشسوزی
- در دسترس بودن مصالح
- فرم پذیری
- مقاوت فشاری مناسب
- نیاز به نیروی متخصص کمتر و در دسترس تر

مهمترین معایب بتن عبارتند از:

- کنترل کیفیت دشوارتر نسبت به مصالحی همچون فولاد به دلیل عوامل متعدد تاثیر گذار
- سنگین بودن سازه های بتنی در قیاس با سازه های فولادی
- ابعاد بزرگ اعضای سازه های بتنی در مقابل سازه های فولادی
- سرعت پایین اجرا
- محدودیت های اجرایی به علت شرایط آب و هوایی
- مقاومت کششی کم



سیمان



۲-سیمان

سیمان ترجمه فارسی لغت سمنت (Cement) است که این کلمه از کلمه رومی سمنتوم نشات گرفته شده است.

به طور کلی به هر ماده ای که دارای خاصیت چسبندگی باشد و بتواند مواد مختلف را به هم بچسباند سیمان گفته می شود.

چسباننده ها را در صنعت ساختمان می توان به ۴ گروه اصلی تقسیم کرد:

۱- چسباننده های بر پایه کلسیم مثل گچ ، آهک و سیمان پرتلند

۲- چسباننده های هیدروکربنی مثل قیر

۳- چسباننده های گیاهی و حیوانی مثل سریش

۴- چسباننده های بر پایه مواد معدنی مثل گواگرد

چسباننده ها از نظر شرایط محیطی برای گیرش به دو دسته تقسیم می شوند:

- ۱- چسباننده های هوایی که فقط در برابر هوا سخت می شوند مثل گچ
- ۲- چسباننده های آبی- هوایی که هم در مجاورت هوا و هم در مجاورت آب و حتی در زیر آب سخت می شوند مثل سیمان

تاریخچه سیمان:

قرن ها قبل ایرانیان ، مصریان و یونانیان باستان با استفاده از آهک و خاکستر و مواد دیگر ، ماده ای به نام ساروج را برای استفاده های ساختمانی ساختند که خواصی مشابه سیمان امروزی داشت.

از حدود ۳۰۰ سال قبل از میلاد رومی ها از نوعی سیمان هیدرولیکی استفاده می کردند که بقایای آن در بناهای کلوسیم و پانتون موجود است.

در قرن های ۱۷ و ۱۸ میلادی افرادی مثل جان اسمیتن و جیمز پارکر ترکیباتی مشابه سیمان های امروزی را ابداع کردند. در سال ۱۸۲۴ جوزف اسپدین با حرارت دادن ترکیبی از خاک رس و سنگ آهک سیمانی تهیه کرد که به دلیل شباهت رنگ این سیمان با سنگهای جزایر پرتلند این ماده به عنوان سیمان پرتلند نامیده شد که امروزه نیز این پسوند برای سیمان ها استفاده می شود. در سال ۱۸۴۵ ایساک جانسون با افزایش حرارت فرایند تولید سیمان توانست سیمان امروزی را تولید کند. در سال ۱۳۱۲ شمسی اولین کارخانه سیمان ایران با ظرفیت ۱۰۰ تن در روز به بهره برداری رسید.

ماده اولیه	منشا	نام شیمیایی	درصد تقریبی	مرحله ترکیب
آهک	سنگ آهک	CaO	۶۳	قبل از کوره دوار
سیلیس	خاک رس	SiO ₂	۲۰	قبل از کوره دوار
آلومین	خاک رس	Al ₂ O ₃	۶	قبل از کوره دوار
اکسید آهن	خاک رس	Fe ₂ O ₃	۳	قبل از کوره دوار
اکسید منیزیم	خاک رس	MgO	۱,۵	قبل از کوره دوار
سولفات کلسیم	سنگ گچ	CaSO ₄	۳	بعد از کلینکر

مواد اولیه سیمان

مواد اولیه برای تولید سیمان عبارتند از آهک، سیلیس، اکسید های آلومینیوم و آهن که از سنگ آهک و رس به دست می آیند و نیز سنگ گچ. این مواد در ترکیب با یکدیگر و طی فرایند تولید سیمان ترکیبات جدیدی را ایجاد می نمایند که خواص سیمان به دلیل خواص این مواد جدید است.

روش تولید سیمان



سیمان را می توان به ۴ روش تولید کرد:

۱- روش تر

۲- روش نیمه تر

۳- روش خشک

۴- روش نیمه خشک

ولی عمدتاً سیمان به در روش خشک و تر تولید می شود.

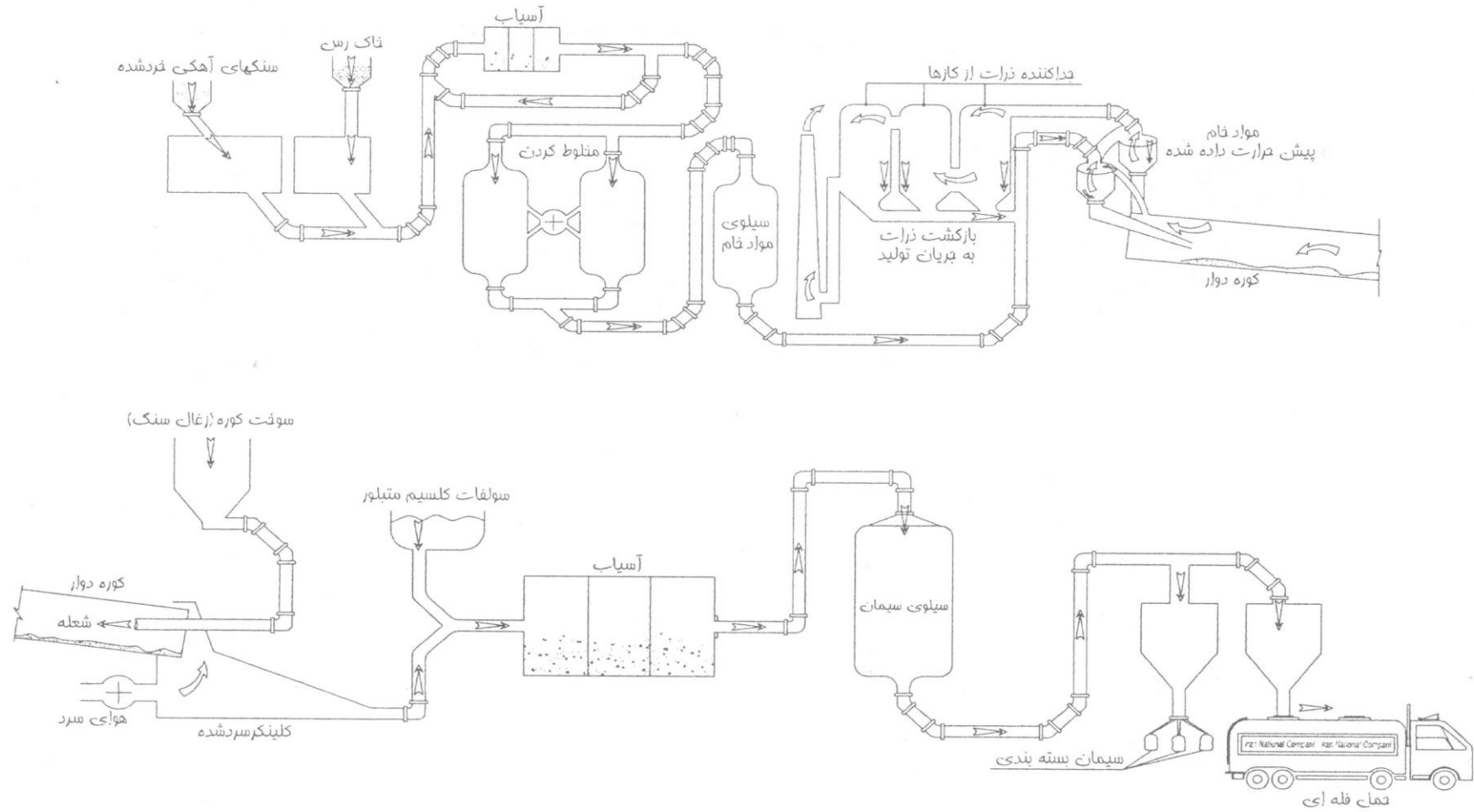


روش تر

در این روش ابتدا سنگ آهک و خاک رس را با هم ترکیب می کنند و سپس خرد می کنند و پس از جدا نمودن مواد خارجی و گیاهی ، آب را به ترکیب اضافه می کنند تا مخلوطی لجن شکل تولید شود و پس از آن درصد مواد شیمیایی ترکیب را کنترل و در صورت نیاز آن را اصلاح می نمایند.



در مرحله بعدی مخلوط را به **کوره** های **دوار** مخصوص با طول حدود ۴۰ متر وارد می کنند. در این کوره ها که شیب ملایمی دارد حرارت به صورت تدریجی تا حدود ۱۱۰۰-۱۳۰۰ درجه سانتیگراد طی مدت حدود ۳ ساعت به مخلوط اعمال می شود. در مرحله بعد محصول خروجی که به صورت گلوله هایی با رنگ سبز تیره هستند و کلینکر نام دارد را با حدود ۳ درصد سنگ گچ ترکیب و آسیاب می کنند تا محصول نهایی بدست آید و به سیلوها انتقال داده شود.

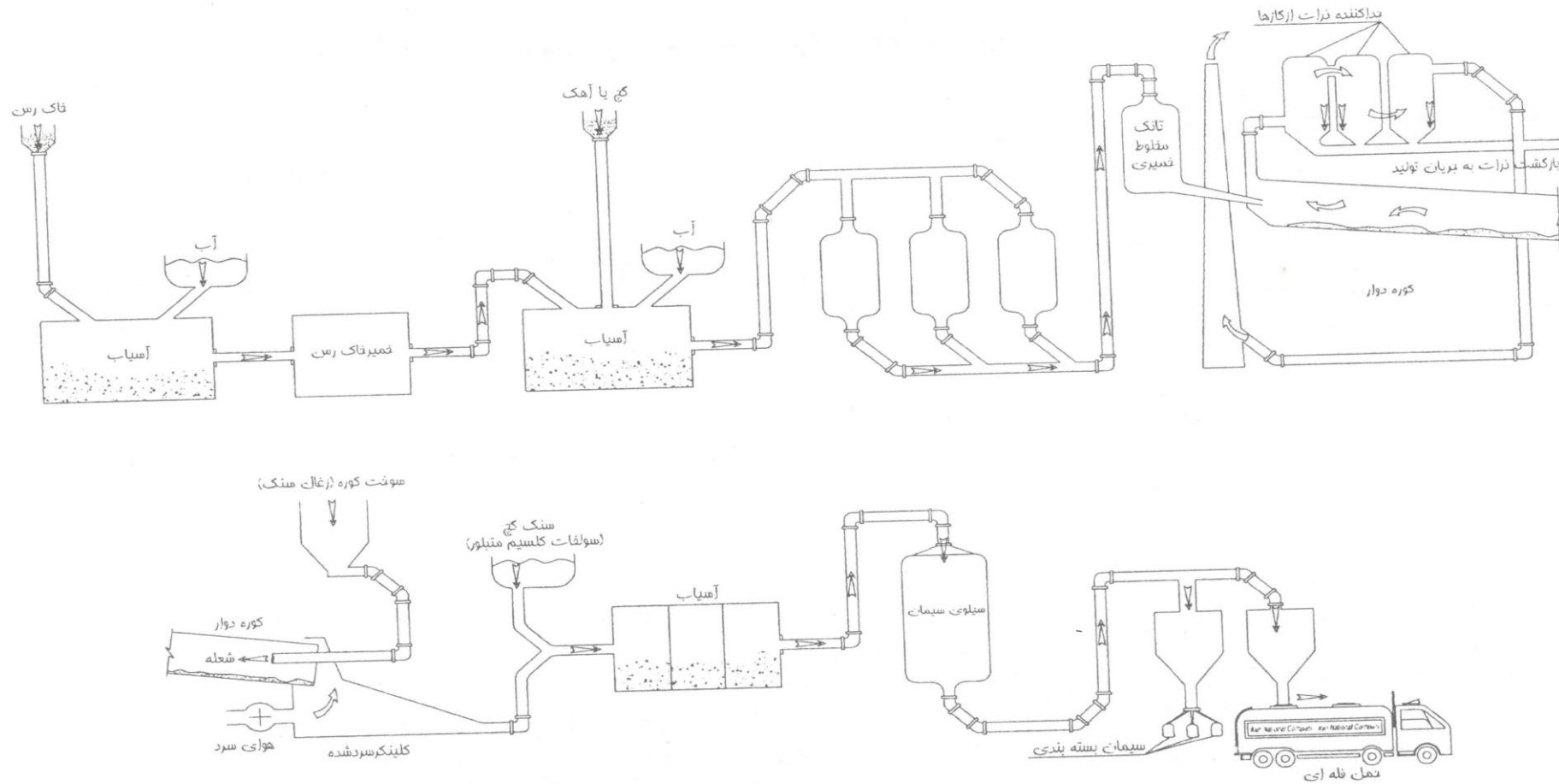


روند تولید سیمان به روش خشک

روش خشک

در این روش ابتدا مواد اولیه شامل خاک رس و سنگ آهک را پودر و مخلوط می کنند. در مرحله بعد درصد آهک زنده، آلومین، فریت، سیلیس، منیزیت و دیگر مواد تنظیم میشود و قبل از ورود به کوره مقداری آب برای جلوگیری از برخاستن غبار به مخلوط اضافه می کنند و آن را به سمت کوره دوار هدایت کرده و پس از تولید کلیکر آن را با حدود ۳ درصد گچ پودر آسیاب می کنند تا محصول نهایی بدست آید.

توضیح: گچ به این منظور اضافه می شود تا از گیرش زودهنگام سیمان جلوگیری شود و اجازه پرداخت سیمان داده شود



روند تولید سیمان به روش تر



اجزای شیمیایی سیمان (پس از خارج شدن از کوره)

۱- C_3S ($3CaO, SiO_2$) **تری کلسیم سیلیکات**

سریع گیرش پیدا می کند (در مقاومت تا ۴ هفته اول موثر است)

دارای مقاومت اولیه خوبی است

میزان انرژی تولید شده حاصل از واکنش با آب ۱۲۰ کالری بر گرم

مقاومت سیمان یا بتن را در برابر **سولفات** ها **کم** میکند



۲- C_2S ($2CaO, SiO_2$) **دی کلسیم سیلیکات**

دیر وارد واکنش هیدراسیون می شود (در مقاومت بعد هفته ۴ام موثر است)

دیر گیر است

مقاومت اولیه آن بعد ۲ تا ۳ روز ایجاد می شود

میزان انرژی تولید شده حاصل از واکنش با آب ۶۲ کالری بر گرم

۳- C3A (3CaO, Al₂O₃) تری کلسیم آلومینات

مشابه C3S

- سریع گیرش پیدا می کند
- تاثیر ناچیزی در مقاومت فشاری بتن دارد
- میزان انرژی تولید شده حاصل از واکنش با آب ۲۱۰ کالری بر گرم (MAX)
- مقاومت سیمان یا بتن را در برابر **سولفات** ها **کم** میکند (تولید اترینگایت و گچ)

حضورش در سیمان خیلی سودمند نیست ← بهتر است مقادیر آن کم شود

تنها سودش در جلوگیری از افت گیرش یا shrinkage است

۲- C4AF (4CaO, Al₂O₃, Fe₂O₃) تترا کلسیم آلومینو فریت

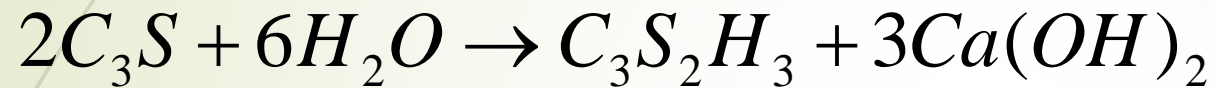
- گیرش متوسط
- میزان انرژی تولید شده حاصل از واکنش با آب ۱۰۰ کالری بر گرم
- باعث تسریع هیدراتاسیون سیلیکاتها می شود

هیدراتاسیون یا آبگیری سیمان

25

هیدراتاسیون (هیدراسیون) = ترکیب شیمیایی سیمان با آب

✓ C_3S و C_2S مهمترین مولفه های سیمان هستند که در مقاومت نقش عمده دارند



میکرو سیلیکات هیدراته = ژل سیلیکاتی = ژل توبر موریت

C-S-H



ناخالص

ناخالص

بلیت (Belite)

الیت (Alite)

انواع سیمان پرتلند تیپ I:

• همان سیمان معمولی است.

• زمانی مصرف می شود که حمله سولفاتها و ازدیاد دما مطرح **نباشد**.

• از آن می توان در مناطقی با آب و هوای معتدل و خشک استفاده

نمود.

• در **کارهای معمولی** مانند جاده ها، پیاده روها، ساختمانهای بتن

آرمه، پلها، سازه های راه آهن، منابع، آبروها، لوله های آب و سازه

های بنایی استفاده می شود.

انواع سیمان پرتلند

تیپ II:



• از نظر خواص سیمانی متوسط است.

• تا حدودی دیرگیر بخاطر (C2S) بیشتر و (C3S) و (C3A) کمتر

• تا حدودی در برابر **سولفات** ها **مقاوم**

• در مناطقی که غلظت **سولفات** زیاد نباشد مجاز است

انواع سیمان پرتلند

تیپ III:

بخاطر ریزتر آسیاب شدن نسبت به سیمان تیپ I

• سیمان زودگیری است

در مدت یک هفته یا کمتر مقاومت بالای کسب

میکند

• از نظر شیمیایی مشابه سیمان تیپ اول

• مناسب برای جاهایی که قالب باید سریع باز شود و یا هوا سرد است

• در بتن ریزی حجیم مجاز نمی باشد حرارت هیدراسیون بالا

تنش های حرارتی ترک خوردگی

ایجاد



انواع سیمان پرتلند

تیپ IV:



نسبت به سایر سیمان ها دیرتر مقاومت کسب می

• سیمان دیرگیری است

کند

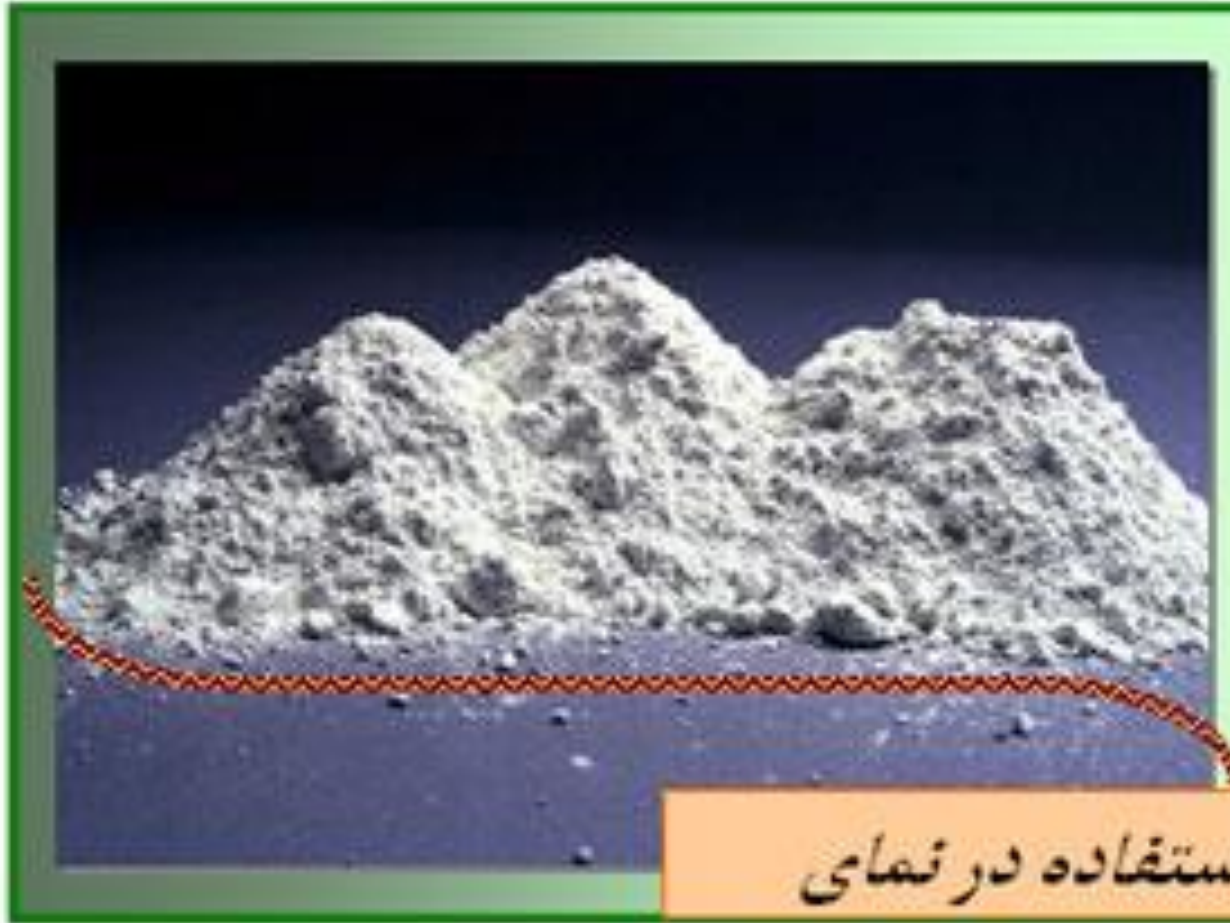
• حرارت هیدراسیون پایین

• مناسب برای بتن ریزی های حجیم و یا جاهایی که هوا گرم (۴۰ تا ۵۰ درجه) است



سیمان پرتلند حباب زا: (در انواع IA، IIA، IIIA)

- از نظر ترکیب شیمیایی شبیه تیپ های ا و او III هستند
- مقدار کمی مواد هواساز نظیر اسیدهای چرب و صابونهای آنها و رزینهای چوب در حین آسیاب کردن کلینکر به آن افزوده شده اند تا حباب های بسیار ریز و یکنواخت در بتن تولید کنند
- بتنی تولید می کنند که در برابر یخ زدن و آب شدن و همچنین پوسته شدگی حاصل از اثرات شیمیایی برای زدودن یخ و برف مقاومت بیشتری دارند.



سیمان سفید و استفاده در نمای

مولی یا سفید

گ و زرد از
ت اکسید
د.



انواع سیما

سیمان پرت

- از افزودن

به دست م

- سیمان

- سیمان

برای تهیه و

اکسیدهای آ

استفاده می

معمولی (پ.پ)

ویژه (پ.پ.و)

(۱) سیمان پرتلند پوزولانی

(سیمان تراس)

(۲) سیمان پرتلند روباره ای

(سیمان سرباره ای)

(۳) سیمان بنایی

(۴) سیمان مخصوص چاه نفت

انواع سیمان پرتلند

سیمان پرتلند آمیخته

(blended portland cement)

- میزان پوزولان: بین ۵ تا ۱۵ درصد وزنی سیمان
- برای مصارف عمومی ساخت ملات و بتن به کار می رود.

از انواع سیمان پرتلند پوزولانی معمولی:

- سیمان نوع $I(PM)$ = سیمان پرتلند پوزولانی اصلاح شده، که برای کارهای معمولی به کار می رود.



- میزان پوزولان: ۱۵ تا ۴۰ درصد وزنی سیمان
- برای ساخت بتن های حجیم
- برای ساخت بتن های تحت **تهاجم های شیمیایی**
- مقاومت اولیه (تا سه روز) آن کم است.

انواع سیمان پرتلند پوزولانی ویژه:

- سیمان نوع IP = برای مصارف عادی
- سیمان نوع P = برای زمانی که به مقاومت اولیه زیاد نیاز نداریم.



- کلینکر سیمان پرتلند + ۱۵ تا ۹۵ درصد سرباره کوره آهنگدازی + مقدار مناسبی سنگ گچ

- پایداری زیاد در برابر سولفاتها

- نفوذپذیری بتن ساخته شده با آن کم و دوام آن زیاد است.

- دیرگیرتر از سیمان پرتلند معمولی

- حرارت هیدراتاسیون کمتر در مقایسه با سیمان پرتلند معمولی

- IS = سیمان پرتلند معمولی + سرباره کوره آهنگدازی



- معمولاً ترکیبی از سیمان پرتلند معمولی و آهک، و گاهی رنگدانه
- مصرف آن فقط در ملات مجاز است.
- شماره استاندارد ملی ایران: ۲۵۱۶



- برای درزگیری چاههای نفت به کار می رود.
- ویژگی عمده: کندگیر بودن، پایایی در دما و فشار زیاد
- در ۹ نوع (A تا H، و J) وجود دارد. هر یک از این انواع برای محدوده خاصی از عمق چاه، دما، فشار، و محیطهای سولفاتی به کار می رود.
- مشخصات آن می باید با ضوابط API-101 مطابقت داشته باشد.



سیمان هیدروفویک (با اسید چرب):

- سیمان ضد رطوبت
- طوری عمل آوری شده که گرایش آن به جذب رطوبت کاهش یابد

سیمان مقاوم در برابر باکتری:

- در هنگام تولید و یا بعد از تولید سیمان موادی به آن اضافه می شود که از رشد باکتری در آن و روی آن جلوگیری می کند
- از این نوع سیمان در محیط های بهداشتی و بیمارستانها استفاده می شود.



سایر انواع سیمانها (غیر پرتلند)

- (۱) پرسولفات
- (۲) پرالومین (برقی)
- (۳) منبسط شونده
- (۴) سیمان پراهن (HIC) (High Iron Cement)
- (۵) سیمان با مقاومت اولیه خیلی زیاد (VHE)
(Very High Early Strength Cement)

سیمان پرسولفات

42

- از ساییدن مخلوطی از ۸۰ الی ۸۵٪ سرباره دانه‌ای کوره‌بلند، ۱۰ تا ۱۵٪ سولفات کلسیم، مقدار کمی آهک، ۵٪ سیمان یا کلینکر سیمان، تولید می‌شود.
- جزء سیمانهای پرتلند نیست.
- میزان سولفات آن از مقدار سولفات سیمان پرتلند سرباره‌ای بیشتر است.
- در مناطق مرطوب مورد استفاده نمی‌گیرد.
- دارای مقاومت بالا در آب دریا و در مقابل **حمله‌ی سولفاتی** و نیز در مقابل **اسیدها و روغن‌ها** است.
- این سیمان نباید با سیمان پرتلند معمولی مخلوط شود.
- باید در محیطی بسیار خشک نگهداری شود زیرا سریع فاسد می‌شود.
- نیاز به توجه خاص در مصرف



سیمان پرآلومین (برقی) یا آلومیناتی (HAC) یا (CAC)

- نام آن در فرانسه: سیمان فوندو
- شامل سنگ آهک (یا گچ) + بوکسیت
- بوکسیت = اکسید آلومینیم هیدراته
- حداقل مقدار اکسید آلومینیم = ۳۲ درصد
- **آهک آزاد ندارد، لذا خطر ناسلامتی ندارد.**

از حد معینی تجاوز کند باعث انبساط و خرد شدن بتن می‌گردد.

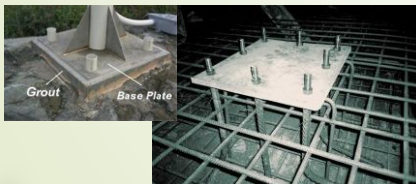
- (۱) مقاومت بسیار زیاد در برابر سولفات‌ها
- (۲) بسیار زود سخت شونده (کسب ۸۰ درصد مقاومت طی ۲۴ ساعت و حتی گاهی ۶ تا ۸ ساعت)
- (۳) حرارت هیدراتاسیون سریع
- (۴) گیرش اولیه آرام و گیرش نهایی نسبتاً سریعتر از سیمان پرتلند معمولی
- (۵) مصرف عمده: در کارهای **تعمیراتی** (لکه گیری بدنه سد، پل ها و لوله های بتنی)، و در کارهای موقتی و اضطراری
- (۶) بسیار گران تولید می شود.
- (۷) مقاومت شیمیایی نسبتاً خوب بتن ساخته شده با آن
- (۸) مقاومت حرارتی زیاد و نسبتاً نسوز بودن بتن ساخته شده با آن



سیمان منبسط شونده

45

- تمامی انواع آنها تولید **اترینگایت** می کنند.
- در سه نوع **K** و **M** و **S**
- نوع **K**: مقاومت کمی در برابر سولفاتها دارد.
- نوع **M** (منبسط شونده پر انرژی): بسیار مقاوم در برابر سولفاتها است.
- زودگیر و زود سخت شونده است (کسب مقاومت بتن 7MPa طی مدت ۶ ساعت و 50MPa طی مدت ۲۸ روز)
- نوع **S**: دارای مقادیر **C3A** بیشتر نسبت به پرتلند معمولی مقاومت کم در برابر سولفاتها
- دو نوع بتن با آن ساخته می شود:
 - بتنی که جمع شدگی آن با انبساط جبران می شود.
 - بتن خود تنیده (دارای تنشهای فشاری قبل از بارگذاری)



سیمان پر آهن (HIC)

- از سیمانهای با مقاومت اولیه زیاد است.
- برای محصولات بتنی پیش ساخته و پیش تنیده مناسب است.



سیمان با مقاومت اولیه زیاد (VHE)

از سیمانهای با مقاومت اولیه زیاد است.
برای محصولات بتنی پیش ساخته و پیش تنیده مناسب است.

انواع جدید سیمان:

V سیمان MDF

V سیمان DSP

V سیمان ژئوپلیمری

V سیمان آلینیت

V سیمان بلیت

انبار کردن سیمان

48

سیمان باید در جاهایی انبار شود که از رطوبت به دور باشد.

رطوبت سخت شدن سیمان تبدیل به کلوخه کاهش مقاومت ملات و بتن و دیرگیر شدن آن



انبار کردن سیمان فله ای:

زیر سیمان خشک باشد پهن کردن لایه شن پهن کرن پلاستیک یا برزنت روی سیمان

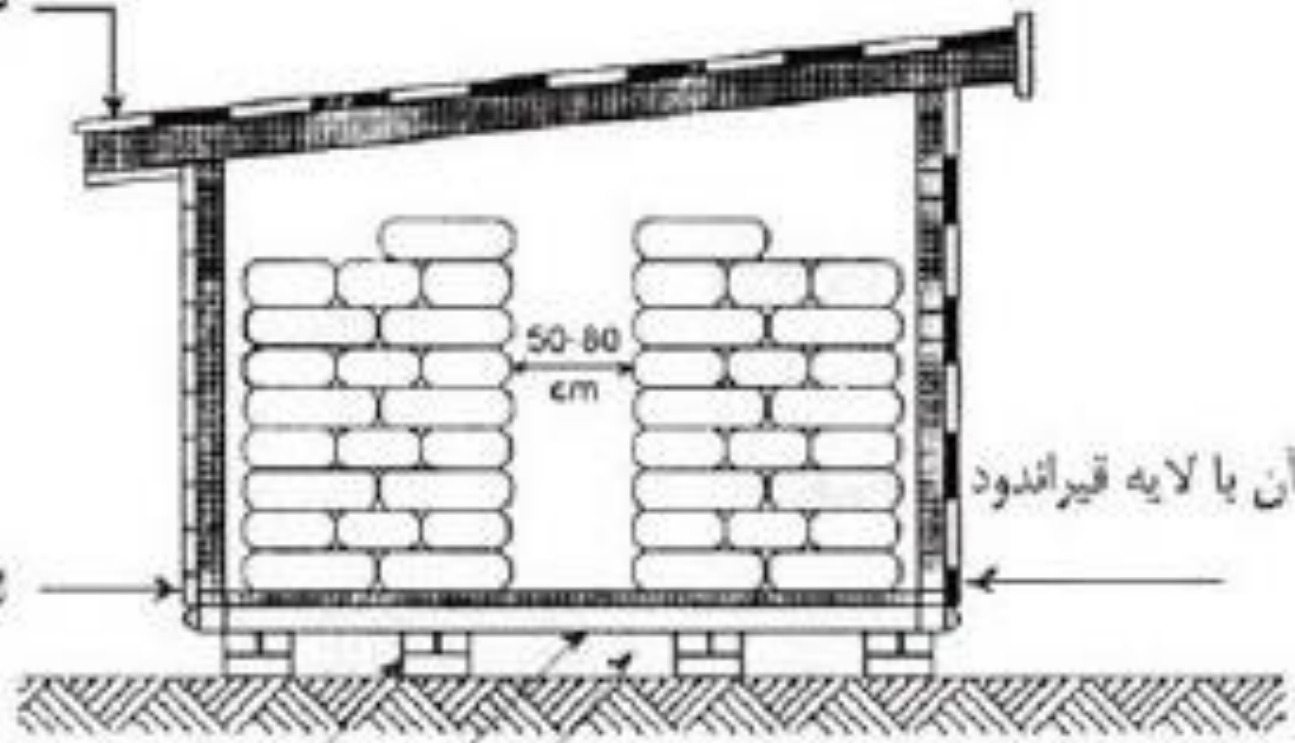


انبار کردن سیمان کیسه ای:

Q سیمانهای کیسه ای باید بر روی کف خشک، که دست کم به اندازه ۱۰ سانتیمتر به وسیله پالت از سطح اطراف خود بالاتر آمده است، قرار گیرند.

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

لایه قیراندود شده



پوشش به وسیله لایه قیراندود یا چوب

انبار که سطح خارجی آن با لایه قیراندود پوشیده شده است.

پایه‌های آجری با لایه قیراندود

الوار چوبی

فضای خالی

حمله سولفات‌ها و راه‌های مقابله با آن:

سولفات‌ها — واکنش شیمیایی با عناصر سیمان — تولید اترینگایت و گچ — افزایش حجم بتن — خرد شدن و پودر شدن بتن

۲۲۰٪

منشا سولفات‌ها :

۱- آب سیمان

۲- مواد بتن

۳- خاک شالوده

۴- آبی که قرار است در مجاورت سازه باشد

۵- آب زیرزمینی (احتمال بالا آمدن آن)

به دلیل محلول بودن به مراتب
خطرناکتر است

سولفات‌هایی مضر هستند که در آب قابل حل هستند

سولفات‌ها اثر نامطلوب روی بتن می‌گذارند به نحوی که به ازای هر ۱٪ سولفات در آب، ۱۰٪ کاهش مقاومت بوجود می‌آید

راه حل مقابله :

بسته به درجه نسبی حمله سولفاتی استفاده از بتن‌های تیپ ۱ و تیپ ۲ و تیپ ۵، سیمان تیپ ۵ به همراه پوزولان و یا سیمان پوزولانی تیپ ۵

برخی از مفاهیم پایه ای سیمان

نرمی (fineness)



- میزان ریزی دانه های سیمان را نشان می دهد.

- از طریق آزمایش بلین (Blain) به دست می آید.

- بر حسب سطح مخصوص بیان می شود.

- حداقل نرمی سیمانهای پرتلند پنج گانه (به جز سیمان نوع ۳) برابر با $2800 \text{ cm}^2/\text{gr}$ ($280 \text{ m}^2/\text{kg}$)

است. این عدد برای **سیمان نوع ۳ برابر با ۳۲۰۰ (۳۲۰)** است.

- ریزی سیمان بر سرعت آزاد شدن حرارت هیدراتاسیون اثر می کند لیکن در کل حرارت هیدراتاسیون تاثیری ندارد، مانند سیمان تیپ سه که باعث تسریع در کسب مقاومت می گردد و اثرات آن در طی هفته ی اول ظاهر می شود.

سلامت یا ثبات حجمی (soundness)

- عدم سلامت یا عدم ثبات حجمی و افزایش حجم نامناسب و مضر در سیمان و در نتیجه در بتن سخت شده را گویند.

- عدم سلامت سیمان اساساً ناشی از مقادیر بیش از حد مجاز MgO و CaO (آهک آزاد خوب پخته نشده) متبلور در سیمان و واکنش هیدراتاسیون این ترکیبات است که موجب افزایش حجم زیاد می شود.

- از آزمایش انبساط در اتوکلاو به دست می آید.

نمونه برداری از سیمان :

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

نمونه برداری از محل تسمه نقاله یا لوله انتقال سیمان به سیلو.

وزن نمونه برای هر ۴۰ تن سیمان (یا بخشی از آن) در حال انتقال به سیلو ۵ کیلوگرم

نمونه برداری از محل تخلیه سیمان از سیلو.

به فاصله‌های زمانی معین به ازای هر یکصدتن سیمان داخل سیلو مقدار ۵ کیلوگرم

نمونه برداری از انبار سیمان فله.

چنانچه عمق انباشته سیمان موجود در انبار از ۲ متر کمتر باشد، نمونه را می‌توان با ابزار ویژه نمونه برداری تهیه نمود.

نمونه برداری از انبار کیسه‌های سیمان.

به ازای هر پنج تن یا بخشی از آن کیسه سیمان انتخاب می‌شود و مقدار لازم برای نمونه توسط ابزار ویژه نمونه برداری تهیه می‌شود.

نمونه برداری از محموله کامیون و سایر موارد ذکر نشده.

از سه نقطه مختلف محموله برداشت می‌شود و چنانچه در چندین کامیون باشد بشرط آنکه محموله‌ها از سیلوی مشخص و در یک

روز بارگیری شده باشد، نمونه‌های برداشت شده از کامیون‌ها را می‌توان مخلوط نمود.



آب بتن

خصوصیات آب مصرفی در بتن :

• عامل اصلی شروع فرآیند هیدراتاسیون است

• در اکثر استانداردها، آب مناسب برای بتن **آب آشامیدنی** می باشد.

• از نظر تئوری مقدار آب لازم برای بتن باید در حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد وزن سیمان باشد، ولی در عمل برای رسیدن به کارایی لازم می توان آب مصرفی را تا حدود ۳۰ الی ۵۵ درصد افزایش داد.

آب اضافی

پس از تبخیر آن، در بتن فضاهای خالی به وجود می آید و در نتیجه مقاومت بتن کاهش می یابد.

با استفاده از روان کننده ها می توان نسبت آب به سیمان را کاهش داد.

$$W/C = 0.2 \sim 0.25$$

خصوصیات آب مصرفی در بتن (ادامه) :

آب مناسب برای بتن باید فاقد بو و مزه باشد در غیر اینصورت روی مقاومت بتن تاثیر گذاشته و باعث بروز لکه هایی در سطح بتن و یا خوردگی میلگردها می شود

به طور کلی هر آبی که PH آن بین ۶ تا ۸ باشد و طعم شوری نداشته باشد و فاقد فواید و مزه باشد مناسب است.

سایر الزامات مبحث نهم مقررات ملی مانند درصد کلرورها، درصد سولفاتها، درصد مواد معلق در آن و غیره نیز باید برآورده شوند تا آب، مناسب برای بتن تشخیص داده شود.

خصوصیات آب دریا:

آب دریا معمولاً ۳/۵ درصد املاح محلول دارد

مقاومت اولیه را بالا می برد ولی مقاومت دراز مدت معمولاً پایین می آید

به علت وجود نمک های کلرور، سبب مرطوب شدن نمونه و ایجاد شوره در آن می گردند

به علت وجود کلر در آب دریا، خطر خوردگی میلگرد مدفون در بتن بالاتر می رود

مقاومت نمونه مکعبی بتن بدست آمده با آب غیر آشامیدنی، باید حداقل برابر با ۹۰ درصد مقاومت نمونه مکعبی مشابه ساخته شده با آب مقطر باشد.

اثر برخی فاکتورهای آب مخلوط پر بتن:

وجود جلبک در آب مخلوط باعث می شود به سنگدانه ها بچسبد و مانع چسبندگی سیمان و سنگدانه شود و همچنین باعث ایجاد حباب هوا در بتن می شود در نتیجه کاهش مقاومت بتن حاصل می شود

وجود کلرورها در آب مخلوط باعث خوردگی میلگردها می شود

حضور گل و لای در آب مخلوط مانند یک حایل اطراف سنگدانه ها عمل کرده و مانع از چسبندگی بین سیمان و سنگدانه می شوند.

چربیهای معدنی (مانند نفت و انواع روغنهای صنعتی) در آب مخلوط مانند یک حایل اطراف سنگدانه ها عمل کرده و مانع از چسبندگی بین سیمان و سنگدانه می شوند.





سنگدانه

سنگدانه های مصرفی در بتن :

59

سنگدانه ها ۶۰ تا ۷۵ درصد از حجم بتن را تشکیل می دهند

نقش اسکلت بتن را دارند و مقاومت بتن بستگی به مقاومت سنگدانه ها دارد.

پایداری و دوام بتن تا حد زیادی متاثر از این مصالح می باشد

دانه های سنگی **طبیعی** معمولاً به وسیله ی هوازدهی و فرسایش و یا به طور مصنوعی با خرد کردن سنگ های مادر تشکیل می شوند که به صورت **کروی** یا **گردگوشه** هستند

مصالح سنگی **شکسته** از خرد نمودن سنگ های بزرگ توسط دستگاه های سنگ شکن تولید شده و توسط سرنده در اندازه های مختلف سرنده می شوند. استفاده از دانه های شکسته به علت وجود **گوشه های تیز** بسیار مناسب است ولی مخارج بیشتری نسبت به سنگ های رودخانه ای دارد. این سنگدانه ها در بتن کارایی بتن را پایین می آورند.

برای بتن مضر هستند
(ذرات عبوری از الک ۲۰۰)

$$D < 0.075$$

رس

$$0.075 < D < 0.15$$

لای و سیلت

(ذرات عبوری از الک ۴)

$$0.15 < D < 0.3$$

ریزدانه (ماسه)

$$0.3 < D < 4.75$$

درشت دانه (شن)

اندازه ی دانه های سنگی



استفاده از دانه های درشت باعث قوی تر شدن اسکلت بتن و بالا رفتن مقاومت بتن می شود. اما از لحاظ اجرایی اندازه ی دانه های سنگی محدودیت هایی دارد

محدودیت های حداکثر اندازه ی درشت دانه ها:

مطابق آیین نامه آبا بزرگ ترین بعد دانه های درشت نباید از مقادیر ریز بیشتر باشد :

الف) $\frac{1}{5}$ کوچکترین بعد اعضاء

ب) $\frac{1}{3}$ ضخامت دال

ج) $\frac{3}{4}$ کوچک ترین فاصله آزاد بین آرماتورها **بتن بتواند به راحتی از بین میلگردها عبور نماید و تراکم کامل ایجاد شود**

براساس آیین نامه آبا بزرگ ترین بعد درشت دانه ها از ۳۸ میلی متر نباید بیشتر باشد. اما در هر صورت این مقدار نباید از ۶۳ میلی متر بزرگ تر شود. تنها برای **بتن های حجیم** این مقدار می تواند تا حدود **۲۵۰** میلی متر افزایش یابد.

دسته بندی سنگدانه ها از نظر شکل ظاهری :

- (۱) دانه های گرد : به دلیل فرسایش در طبیعت دارای شکل گرد و سطح صاف شده اند.
- (۲) دانه های نامنظم : این دانه ها معمولاً سطحی صاف و صیقلی شده اند ولی شکلشان کاملاً گرد نیست .
- (۳) دانه های گوشه دار : این دانه ها سطح صافی ندارند، شکل هندسی آن ها مشخص نیست و در بیشتر موارد گوشه های تیزی دارند.
- (۴) دانه های پولکی شکل : مقاومت این دانه ها نسبت به ۲ بعد دیگرشان کم است.
- (۵) دانه های سوزنی شکل : دانه هایی هستند که طولشان بیشتر از ۳ برابر عرضشان یا ضخامتشان است.



دانه های گرد ← دانه های نامنظم ← گوشه دار

←
افزایش سطح ظاهری

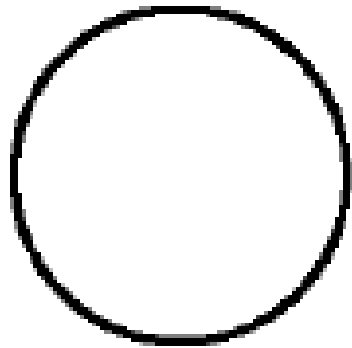
←
افزایش میزان مصرف سیمان

←
افزایش مقاومت بتن (درگیری سنگدانه بیشتر)

←
کاهش کارآیی بتن

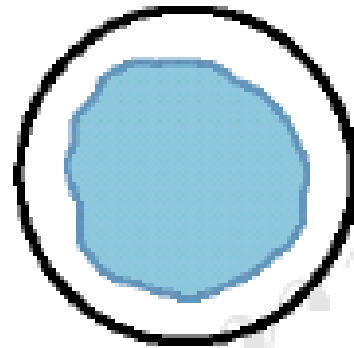
تقسیم بندی سنگ دانه ها با توجه به رطوبت سطحی و جذب آب دانه ها :

Ovendry



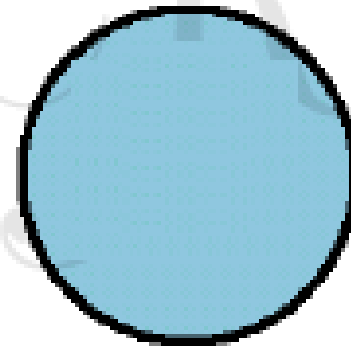
None

Air dry



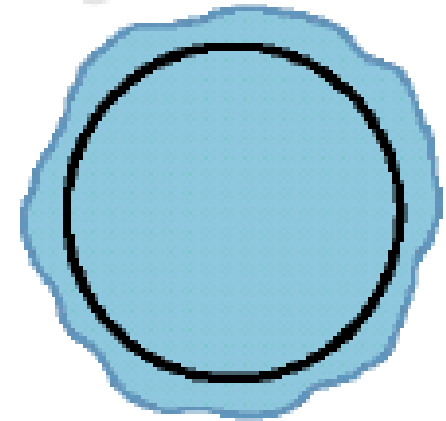
Less than
potential
absorption

Saturated,
surface dry



Equal to
potential
absorption

Damp
or wet



Greater
than
absorption

(۱)

(۲)

(۳)

دانه

و ض

(۴)

در طرح مخلوط بتن فرض می شود دانه های **اشباع با سطح خشک** باشند اگر دانه های مورد استفاده مرطوب باشند، باید مقدار آب مصرفی را کاهش داد و اگر دانه ها خشک و یا کاملاً خشک باشند باید آب اختلاط را افزایش دهیم.

دانه بندی مصالح سنگی :

در آزمایش دانه بندی، مصالح خشک شده با لرزاندن از الک های استاندارد عبور داده می شوند و با توجه به **درصد رد شده** از هر الک دانه بندی مصالح سنگی تعیین و منحنی های دانه بندی رسم می شود.

با توجه به شکل منحنی های دانه بندی، آنها به دو دسته تقسیم می شوند :

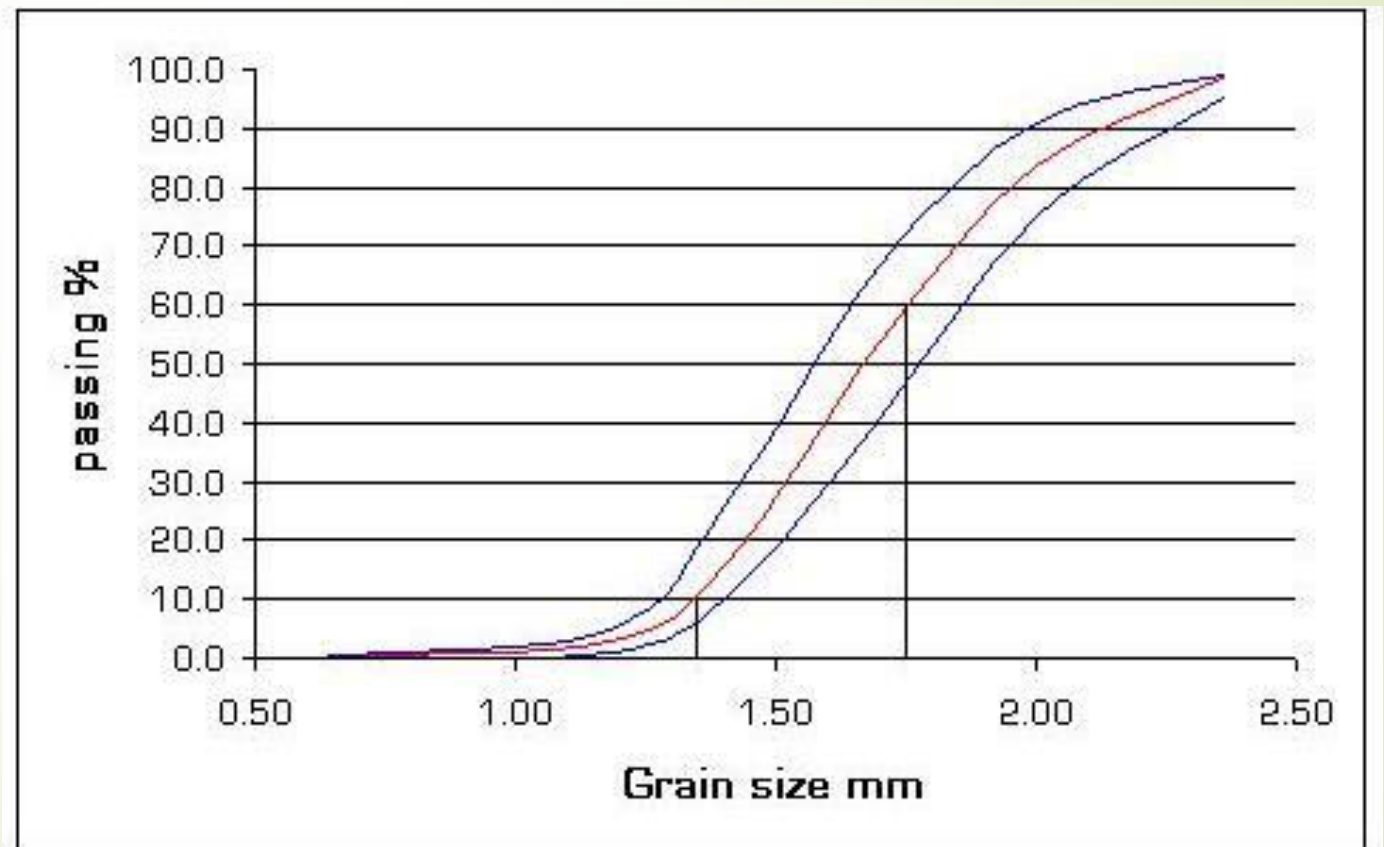
(۱) یک یا چند گروه از دانه ها در منحنی دانه بندی وجود ندارند. در این حالت در منحنی دانه بندی در محدوده الک مورد نظر یک خط افقی ایجاد می شود.

(الف) منحنی دانه بندی گسسته

(۲) مقدار برخی دانه بسیار بیشتر و یا بسیار کم تر از مقادیر دیگر می باشد در این حالت در منحنی دانه بندی در برخی نواحی شیب های زیاد و در برخی قسمت های دیگر شیب کم ایجاد می شود.

باعث ایجاد **بتن متراکم تر و قوی تر و مصرف کم تر سیمان** می شود (زیرا در این نوع دانه بندی، دانه های ریزتر فضای بین دانه های درشت تر را پر می کنند و باعث تراکم بیشتر بتن می شوند.)
به همین جهت استفاده از **این دانه بندی توصیه** می شود

(ب) منحنی دانه بندی پیوسته





مدول نرمی یا ضریب نرمی (F.M) :

از دانه بندی بدست می آید.

مدول نرمی به مجموع درصدهای **تجمعی باقیمانده** روی الک های استاندارد تقسیم بر ۱۰۰ گفته می شود.

مقدار مدول نرمی بین عدد ۰ تا ۹ متغیر است.

سنگدانه های مورد استفاده در بتن این مقدار باید در محدوده $\frac{1}{3}$ تا $\frac{2}{3}$ قرار داشته باشد.

هر چه دانه های سنگی **درشت تر** باشد **مدول نرمی** آن ها **بیشتر** است.

استفاده از **دانه های درشت** باعث **کاهش میزان سیمان مصرفی** و **افزایش مقاومت** بتن می شود.

متورم شدن ماسه :

68



وجود رطوبت در ماسه یک اثر جانبی (ثانویه) ایجاد می کند. آن تورم ماسه را می
تورم عبارتست از افزایش در حجم جرم معینی از ماسه در اثر لایه نازکی از آب
دارد.

هر چه ماسه ریزدانه تر باشد، تورم بیشتری خواهد داشت. تورم ماسه
است.

انبساط حجمی ظاهری بتن را **ری کردن ماسه** نیز می گویند.

مقاومت دانه های سنگی در برابر سایش :

این ویژگی در مورد بتن هایی مطرح است که در سطوح پر ترافیک مانند راه های بتنی و کف های
ساختمانی به کار رفته اند. این ویژگی توسط آزمایش لوس آنجلس اندازه گیری می شود.

مقاومت دانه های سنگی در برابر یخ زدگی :

مقاومت مصالح سنگی در برابر یخ زدگی به پولکی، نم گیری و درصد خلل آن بستگی دارد.

برای بتنی که در هوای آزاد است این ویژگی مهم است.

تمام سنگدانه ها حتی سنگدانه های سخت مثل گرانیت خلل و فرجی دارند که اگر در مجاورت آب قرار گیرند این سوراخ ها از آب پر می شوند و اگر در این وضعیت در معرض یخبندان قرار گیرند، آب درون این حفره ها منجمد شده و اضافه حجم پیدا می کنند که این اضافه حجم ممکن است باعث ترکیدن و متلاشی شدن سنگدانه ها شود

ترکیدن و متلاشی شدن برای سنگدانه های درشت و سنگدانه هایی که در معرض تر و خشک شدن های متوالی هستند شدیدتر می باشد.

مقاومت دانه های سنگی در برابر یخبندان به عوامل زیر بستگی دارد:

۱) تخلخل : با بالا رفتن تخلخل مقاومت کم می شود.

۲) نفوذ پذیری دانه ها : بالا رفتن عدم نفوذ پذیری دانه ها، مقاومت آن ها در برابر یخبندان بالا می رود.

۳) مقاومت کششی دانه ها : هر چه دانه های سنگی مقاومت کششی کمتری داشته باشند، مقاومت آن ها در برابر یخبندان کمتر است.

مواد مضر سنگدانه ها :

عموماً ناخالصی هایی هستند که ممکن است در فعل و انفعالات و هیدراتاسیون سیمان تاثیر بگذارند و یا به صورت پوششی از ایجاد چسبندگی بین دانه ها خمیر سیمان جلوگیری کنند.

مواد آلی : در اثر پوسیدگی مواد نباتی موجود در سنگدانه ها و به خصوص در ماسه یافت می شوند و با شستن به راحتی از آن جدا می شوند

ناخالصی های نمکی ماسه سواحل حتی با آب دریا شسته شده دارای نمک های مضر برای بتن می باشد.

ناخالصی ها



مواد افزودنی

ماده ای است که علاوه بر مواد اصلی بتن (سیمان، آب، سنگدانه و الیاف تقویتی) به صورت پودر یا مایع به عنوان یکی از مواد تشکیل دهنده بتن و برای اصلاح خواص بتن در مرحله ی مخلوط کردن به بتن اضافه می شوند و شامل انواع زیر می شوند:

افزودنی های شیمیایی شامل :

- (۱) تقلیل دهنده های آب (روان کننده ها)
- (۲) کند گیر کننده های گیرش
- (۳) تسریع کننده های گیرش
- (۴) فوق روان کننده ها
- (۵) حباب هوا ساز در بتن
- (۶) افزودنی های چسبنده و دفع کننده های آب

مواد افزودنی تقلیل دهنده آب :

این افزودنی ها به سه منظور به کار می روند :

(۱) رسیدن به مقاومتی بالاتر، با کاهش نسبت به آب سیمان با یک کارایی ثابت. (کاهش آب)

(۲) رسیدن به یک کارایی مشخص با کاهش مقدار سیمان مصرفی و نتیجتاً باعث کاهش حرارت هیدراتاسیون در توده بتن می شود.
(میزان آب ثابت)

(۳) افزایش کارایی و بنابراین سادگی بتن ریزی در قالب های با آرماتور انبوه و موقعیت های غیر قابل دسترسی. (W/C ثابت)

انواع مواد افزودنی تقلیل دهنده آب:

افزودنی های با کاهش میزان آب (تیپ A)

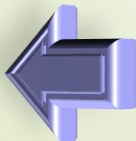
افزودنی های با کاهش میزان آب و تاخیر در گیرش (تیپ D)

افزودنی های با کاهش میزان آب و تسریع در گیرش (تیپ E)

* کاهش آب مخلوط بین ۵ تا ۱۵ درصد در استفاده از روان کننده ها می باشد

مکانیزم عمل تقلیل دهنده های آب:

این افزودنی ها با ایجاد پراکندگی سیمان در مخلوط بتن، ضمن ایجاد سطوح بیشتر در تماس با آب، باعث هیدراتاسیون بهتر سیمان می شوند به همین دلیل مقاومت این بتن در مقایسه با بتنی که با همین نسبت آب و سیمان و بدون افزودنی ساخته می شود بیشتر خواهد بود و دوام بتن افزایش می یابد.



کند گیر کننده های گیرش (Retarders):

75

دیرگیری بتن با اضافه کردن شکر، مشتقات هیدروکربنی نمک های محلول روی، برات های محلول و... حاصل می شود

اگر 0.05% وزن سیمان شکر به بتن اضافه کنیم **حدود ۴ ساعت** گیرش آن را به تاخیر می اندازد.

مصرف 0.2 تا 1 درصد وزن سیمان از شکر باعث می شود **از گیرش سیمان جلوگیری** شود

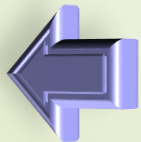
مقاومت دراز مدت آن چندان تفاوتی نمی کند.

موارد مصرف:

برای جلوگیری از ایجاد ترک های ناشی از گیرش در بتن ریزی های متوالی

در هوای گرم که زمان گیرش بتن به خاطر تبخیر آب موجود در مخلوط کم می شود

در عمل از کندگیر کننده هایی که در عین حال **تقلیل دهنده آب هم هستند استفاده می شود.**



تسریع کننده ها (accelarators):

افزودنی هایی هستند که سخت شدگی بتن را تسریع می بخشند و مقاومت اولیه بتن را بالا می برند
معمولی ترین نوع کلرور کلسیم (CaCl_2) است که به سرعت افزایش مقاومت بتن را در ابتدا بالا می برد.

مقدار ۱ تا ۲ درصد کلرور کلسیم کافی است.

موارد مصرف تسریع کننده ها:

q در بتن ریزی در دمای پایین (۲ تا ۴ درجه)

q کارهای تعمیراتی سریع

سایر تسریع کننده ها که فاقد کلرور کلسیم هستند تا حدی اسیدی هستند و باعث افزایش هیدراتاسیون سیمان می شوند ولی بطور کلی در هر دمایی نسبت به کلرور کلسیم توانایی تسریع کنندگی کمتری دارد.

اثرات کلرور کلسیم :

∇ کاهش مقاومت بتن های حباب دار در مقابل یخ زدگی و ذوب یخ در دراز مدت

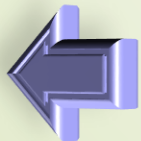
∇ در صورت وجود سنگدانه های فعال، افزایش احتمال واکنش شیمیایی سنگدانه ها

∇ کاهش مقاومت سیمان به خصوص در بتن های سبک در مقابل حمله ی سولفات ها

∇ افزایش جمع شدگی و خزش

∇ عامل خوردگی میلگردها (فقط در بتن غیر مسلح مجاز به مصرف است تا سقف ۲٪ وزن سیمان)

∇ افزایش مقاومت بتن های حباب دار در مقابل خوردگی و سایش در دراز مدت



فوق روان کننده ها (Super Plastisizer):

دارای مکانیزمی شبیه تقلیل دهنده های آب هستند با این تفاوت که میزان بیشتری از آب مخلوط را کم میکنند

کاهش میزان آب
افزایش روانی

بدون تغییر روانی
بدون تغییر در میزان آب

این مواد می توانند کاهش ۲۰ الی ۳۰ درصدی آب مخلوط را ممکن سازند

کاربرد فوق روان کننده بتن:

برای دستیابی به روانی بیشتر و مقاومت بالا

حمل و مسافت های طولانی بتن ریزی

بتن ریزی های مناطق گرمسیر

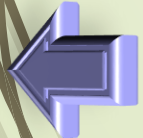
بتن ریزی های حجیم با ابعاد زیاد

سازه های بتنی میکروسیلیسی

برای مقاطع با تراکم آرماتورهای بالا

بتن های خود تراز شونده و خود متراکم شونده

کف های سخت صنعتی (کف سازی)



مواد حباب زا (Air-Entraining Admixtures):

79

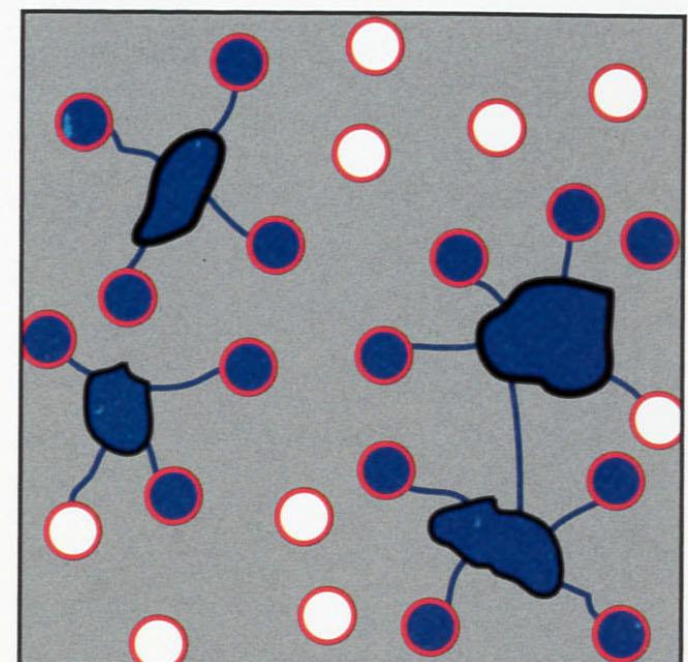
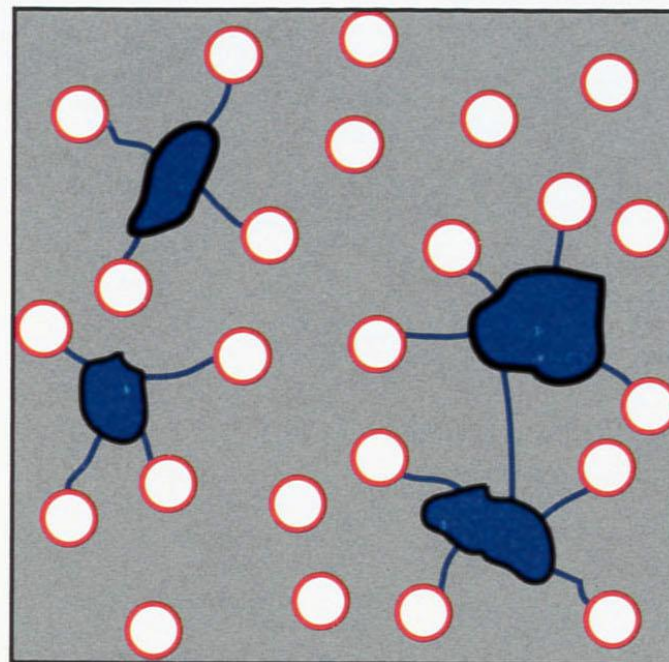
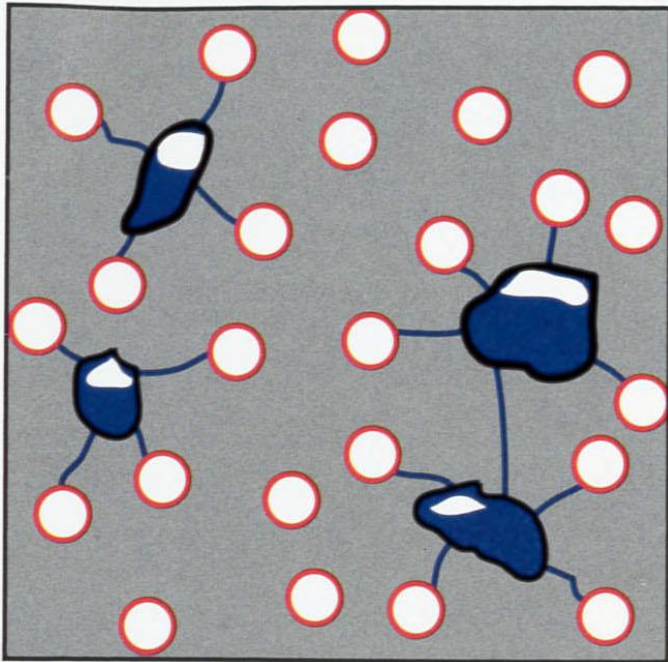
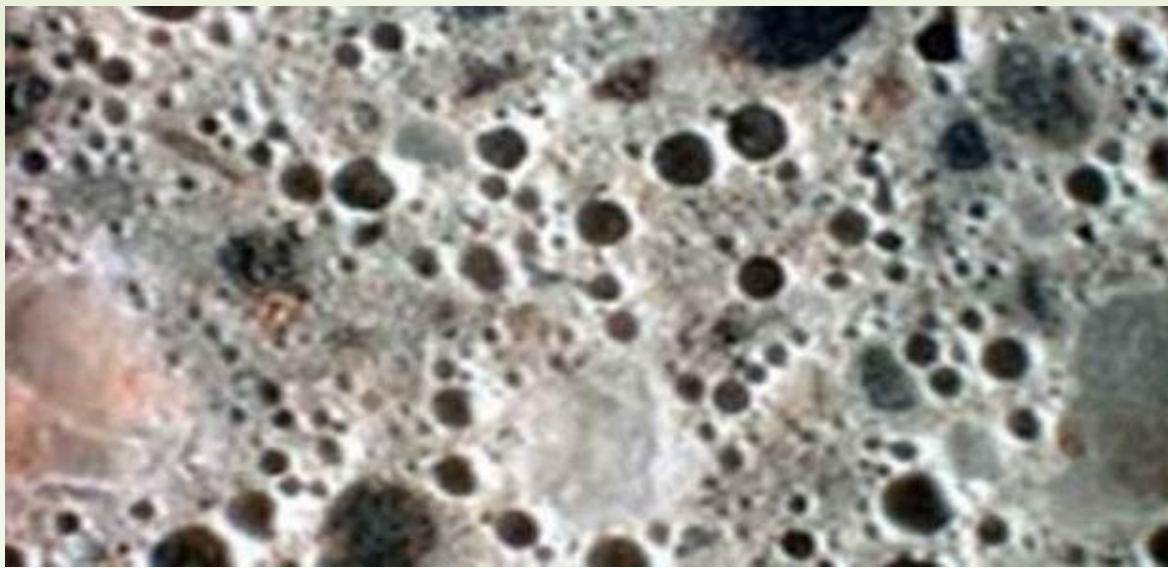
این مواد افزودنی باعث ایجاد حباب های ریز و یکنواخت در داخل بتن می شود که بعد از سخت شدن نیز باقی می ماند. این افزودنی ها اجازه میدهند تا مقدار کمی حباب هوا به صورت کنترل شده و یکنواخت در حین اختلاط در بتن پخش شوند.

مواد شیمیایی حباب ساز می تواند از نمک های رزین چوب ، دترجنت مصنوعی ، نمک های اسید چرب ، نمک اسیدهای پتروشمی و ... باشد.

مکانیزم عمل مواد حباب زا :

۱- حباب های ریز کروی که قطری حدود ۱۰۰ تا ۱۵۰ میکرون دارند لوله های باریک موئینه در بتن را از بین میبرند ، قطعه قطعه می کنند و یا با قرار گرفتن در ابتدا و انتهای این لوله ها آنها را آب بند میکنند (فشار اسمز را از بین میبرند)

۲- در هنگام انجماد آب موجود در داخل بتن که منجر به افزایش حجم می شود، اجازه میدهند یخ های ناشی از اضافه حجم به داخل این حفرات راه پیدا کرده و مانع ترک خوردگی بتن شوند.



As temperatures drop, pores created by air
entrainment allow the water a place to go as it
freezes.

During freezing, water in the capillary pores
expands; however, water is also going toward air-
entrained pores.

Under pressure, the water will be pushed into the air
entrainment pores and not crack the concrete matrix.

افزودنی های چسبنده :

این افزودنی ها امولوسیون پلیمری (لاستیک خام) هستند که چسبندگی بتن تازه را به بتن سخت شده افزایش می دهند و 81 برای **کارهای تعمیراتی** به کار می روند.

افزودنی های دفع کننده آب :

این مواد جذب آب را توسط بتن های سخت شده کاهش می دهند و در نتیجه ی نفوذ پذیری بتن کاهش می یابد (شامل روغن های گیاهی و معدنی و نوعی صابون های صمغی) اما نمی توانند از نفوذ قطعی آب به داخل بتن جلوگیری کنند و نمی توان آن ها را ضد آب نامید.

ضد یخ :

ی در فواصل زمستان در **دمای زیر ۵ درجه** که احتمال یخ زدن بتن است استفاده می شود.
ی بر خلاف تصور عوام ضد یخ بتن هرگز نقطه انجماد را پایین نمی آورد زیرا واکنش هیدراسیون در دماهای پایین تر از ۵+ درجه سانتیگراد متوقف می گردد.
ی برای جلوگیری از یخ زدن بتن در هوای سرد می بایست زمان گیرش اولیه را از ۱۲ ساعت به حدود ۴ الی ۵ ساعت کاهش دهیم که این کار توسط ضد یخ بتن که نوعی شتاب دهنده واکنش سیمان و آب (افزایش سرعت هیدراسیون) است، انجام می پذیرد .
ی استفاده از ضد یخ موجب کاهش مقاومت نهایی بتن می شود (به دلیل ایجاد حفرات ریز)

□ افزودنی های بازدارنده خوردگی :

مقاومت میلگردها در برابر حمله خوردگی کلریدی را افزایش می دهد و بنابراین باعث افزایش دوام بتن می شود.

□ افزودنی کف زا:

برای ساخت بتن و یا ملات های سبک و با دانسیته کم جهت استفاده به عنوان پرکننده ها، سقف های عایق و یا قطعات بنایی

□ افزودنی های پلیمری:

معمولا در مخلوط های ملاتی برای کف ها، پلاسترها و یا تعمیرات استفاده می شود. مقاومت خمشی و کششی را بهبود میبخشند. هم چنین آنها **کاهنده های قوی آب** هستند و این باعث می شود **خواصی ضد آب به بتن** بدهد.

□ افزودنی کمک پمپاژی:

جهت بهبود چسبندگی بتن و کاهش جدایی دانه ها و مسدود شدن لوله های پمپاژ از این مواد استفاده می شود. بتن ساخته شده با این مواد نیاز به فشار پمپاژ کمتر دارند.

□ افزودنی های بتن ریزی زیر آب:

این افزودنی ها به منظور افزایش چسبندگی و کاهش شسته شدن در حین بتن ریزی طراحی شده اند و مانع جدا شدن در حین جابجایی می شوند. این مواد **اثرات جذر و مد** و موج را بر بتن در حال سخت شدن کاهش می دهد.

جایگزین های سیمان :Cement Replacement Materials (CRM)

83

مواد **طبیعی** و یا **محصولات زاید صنعتی** هستند که می توانند به عنوان بخشی از سیمان پرتلند مورد مصرف در بتن ، جایگزین شوند.

امروزه استفاده از مواد جایگزین سیمان به منظور بالابردن **دوام** سازه های بتنی به خصوص در مناطق گرم و خورنده و هم چنین کاهش هزینه ها بسیار متداول شده است.

۱- مواد پوزولانی : مواد سیلیسی یا سیلیسی - آلومینی هستند. به خودی خود فاقد ارزش چسبندگی هستند- اگر به صورت بسیار ریز آسیاب شوند در مجاورت رطوبت خاصیت سیمانی پیدا میکنند.- باعث کاهش نفوذپذیری می شوند.

مواد جایگزینی سیمان

۲- مواد سیمانی مانند روباره : با تغییر ریز ساختار در فصل مشترک سنگدانه و سیمان باعث کاهش نفوذپذیری می شود

افزودن مواد پوزولانی باعث می شود منافذ بزرگ به منافذ کوچک تبدیل شوند

نفوذپذیری کاهش می یابد

دوام افزایش می یابد

فعالیت پوزولانی باعث می شود که **هیدروکسید کلسیم** موجود در خمیر سیمان، مصرف شده و در نتیجه از مقدار آهک که عامل مخربی در حمله سولفاتها هست کاسته شود.

پوزولان با مصرف آهک باعث می شود، منطقه انتقالی بتن یعنی وجه مشترک سنگدانه و سیمان تقویت شود.

۱- طبیعی (سیمان طبیعی) یا (تراس **Natural Pozzolans**) : مانند پوکه سنگها، توفها و خاکسترهای آتشفشانی یا **Volcanic Ash** ، که همگی به هنگام فوران از دهانه آتشفشان به سرعت در هوا یا آب سرد شده به طوری که سیلیس آنها بلوری نمی شوند.

- ۱- افزایش مقاومت در دراز مدت
- ۲- عملکرد مناسب در برابر تهاجم یون کلر و سولفاتها
- ۳- کاهش تخلخل و نفوذپذیری

عملکرد پوزولان های طبیعی

مواد پوزولانی

۲- مصنوعی یا صنعتی: مانند خاکستر بادی (**Fly Ash** و **Pulverized Fly Ash**)، دوده سیلیسی (**Silica Fume**)

دوده سیلیس یا میکروسیلیس : ناشی از بازیافت غبار در کارخانه های تولید آلیاژ فروسیلیس می باشد - جایگزینی **۶ تا ۸ درصد بجای سیمان** نتایج مطلوبی داشته است

خاکستر بادی (fly ash) : از استخراج گازهای خروجی کوره های آتش با سوخت زغال و سیلت غیر پلاستیک و ریز می باشد که ترکیبی متفاوت بر اساس سوخت زغال طبیعی است - جایگزینی **۲۰ تا ۵۰ درصد بجای سیمان** نتایج مطلوبی داشته است

اثرات خاکستر بادی بر بتن تازه:

- کاهش حرارت اولیه هیدراتاسیون
- افزایش کارایی بتن تازه
- کاهش نفوذپذیری
- مقاومت در برابر سولفاتها، کلریدها و واکنش های قلیایی

اثرات میکرو سیلیس بر بتن تازه:

- افزایش سرعت هیدراتاسیون
- کاهش شدید کارایی بتن تازه
- کاهش آب انداختگی و جداسدگی مخلوط تازه
- کاهش نفوذپذیری
- پیوستگی بهتر در منطقه انتقال



مصرف خاکستر بادی در بتن برای اولین بار در کشور امریکا در سال ۱۹۲۹ در بتن سد هوور مورد استفاده قرار گرفت.

87

Hoover Dam



بتن و خواص آن



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

← حاصل فعل و انفعال سیمان های هیدرولیکی و آب می باشد.

در نحوه ی ساخت آن ممکن است از حرارت، بخار آب، اتو کلاو، خلاء، فشارهای هیدرولیکی و متراکم کننده های مختلف استفاده شود.



۱- سیمان: ۷ الی ۱۵ %

۲- آب: ۱۴ الی ۲۱ %

۳- سنگدانه : ۶۰ الی ۷۵ %

۴- هوا : ۱/۵ الی ۳ %

۵- مواد افزودنی: درصدی از وزن سیمان

بتن

خصوصیات بتن تازه خوب:

q روانی و غلظت بتن تازه طوری باشد که با وسایل موجود در کارگاه بتوان آن را متراکم کرد
 q چسبندگی مخلوط باید بحدی باشد که در ضمن حمل و ریختن بتن موجود مواد از یکدیگر جدا نشوند

q مهمترین خصوصیات یک بتن تازه کارایی و تراکم بتن می باشد.

خصوصیات بتن سخت شده خوب:

q دارای مقاومت فشاری متناسب با انتظارات باشد

q دارای خصوصیات مکانیکی مطابق با انتظارات باشد. مانند مقاومت خمشی قابل قبول، مقاومت کششی قابل قبول،

شکل پذیری مناسب

q دارای خصوصیات دوام خوب بر حسب مورد استفاده باشد. مانند نفوذپذیری پایین، مقاومت در برابر سایش،

مقاومت در برابر ضربه و مقاوم در برابر حملات شیمیایی

میزان آب در خمیر سیمان

- آب عامل اصلی شروع فرآیند هیدراتاسیون سیمان است.
- میزان آب با نسبت وزنی آب به سیمان (W/C) نشان داده می شود
- به صورت یک اصل W/C باید حتی المقدور **کم** انتخاب شود
- میزان $W/C=0.2-0.25$ جهت انجام فرآیند هیدراتاسیون کافی است
- عملاً کار با $W/C=0.2-0.25$ عملاً مشکل است و جهت سهولت میزان W/C را تا 0.4 الی 0.6 بالا می برند

چرا W/C را بهتر است کم انتخاب کنیم؟

زیرا آب مازاد، فضایی از بتن را اشغال کرده که در هیدراتاسیون نقشی ندارد و پس از تبخیر در بتن فضاهای خالی به وجود می آورد که منجر به کاهش مقاومت می شود.

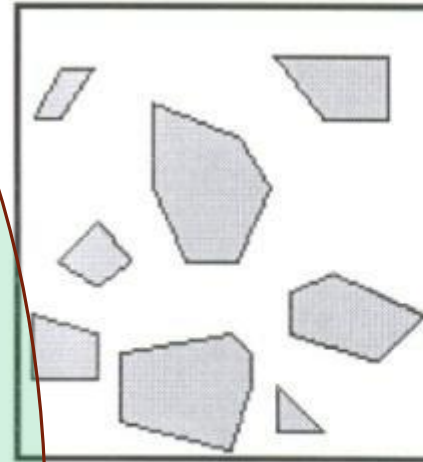
- ۱- افزایش مقاومت فشاری و کشش
- ۲- افزایش خاصیت آب بندی (به دلیل کاهش نفوذپذیری)
- ۳- کاهش جذب آب (به دلیل کاهش فضای خالی)
- ۴- پیوستگی بهتر بین لایه های متوالی در بتن ریزی
- ۵- افزایش چسبندگی بین میلگرد و بتن (به دلیل افزایش سطح تماس بتن و میلگرد)
- ۶- افزایش مقاومت در مقابل تر و خشک شدن متوالی و سرد و گرم شدن متوالی
- ۷- کاهش میزان افت
- ۸- کاهش میزان خزش
- ۹- کاهش امکان آب انداختن بتن
- ۱۰- کاهش امکان جدا شدن دانه ها

Cement particles
suspended
in mix water

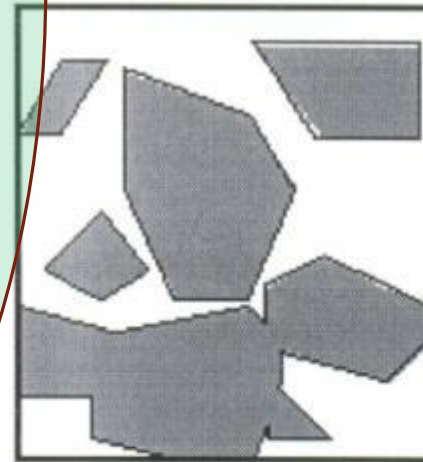
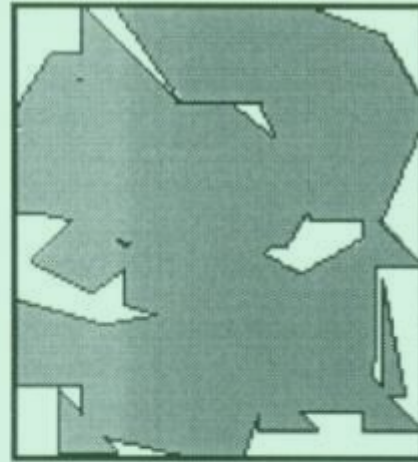
Low water:cement ratio



High water:cement ratio



Fully
hydrated
cement



Low Porosity = High Strength

High Porosity = Low Strength

Schematic drawings to demonstrate the relationship between the water/cement ratio and porosity.

محاسن W/C زیاد :

q روانی و کارآیی بالاتر

تعریف کارآیی:

کارآیی عبارتست از درجه سهولت ریختن و کارکردن با بتن

کارآیی بالاتر ↑ کارکردن با بتن راحت تر ↑

سنجش کارآیی بتن معمولی با آزمایش اسلامپ : یک مخروط ناقص با ارتفاع ۳۰ سانتیمتر و قاعده ۲۰ سانتیمتر

عوامل موثر در کارایی :

- هرچه میزان آب در بتن بیشتر باشد میزان کارایی بیشتر است
- بتن با سنگدانه های گرد گوشه کارایی بیشتری نسبت به بتن با سنگدانه های تیز گوشه دارد
- بتن با ریز دانه بیشتر کارایی بالاتری دارد
- هرچه جذب آب سنگدانه ها کمتر باشد کارایی بتن بیشتر است
- بتن تازه تر کارایی بالاتری دارد
- هرچه چگالی سنگدانه بیشتر باشد کارایی بتن بیشتر است
- با افزایش سیمان به علت افزایش آب کارایی افزایش می یابد
- هر چه دمای بتن افزایش یابد کارایی کاهش می یابد
- استفاده از روان کننده ها و فوق روان کننده ها باعث افزایش کارایی بتن میشود

q برای تعیین روانی **بتن های معمولی** انجام می شود

q بتن در **سه مرحله** درون مخروطی ناقص که بر روی یک صفحه قرار دارد ریخته و با ۲۵ ضربه متراکم می شود سپس با برداشت مخروط **میزان افت ارتفاع** سطح بتن اندازه گیری میشود. عدد به دست آمده در این آزمایش که به آن اسلامپ بتن میگویند نشان دهنده میزان روانی بتن است q اسلامپ بتن کارهای معمولی بین ۵۰ تا ۱۰۰ میلیمتر است.

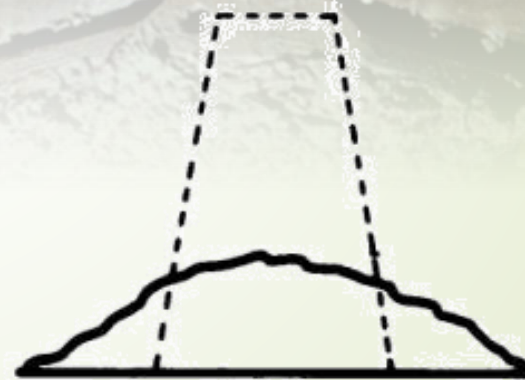
q این آزمایش برای مخلوط های **خیلی خشک** و یا مخلوط های **خیلی روان** استفاده نمی شود.



True Slump



Shear



Collapse

Description of Workability and Magnitude of Slump

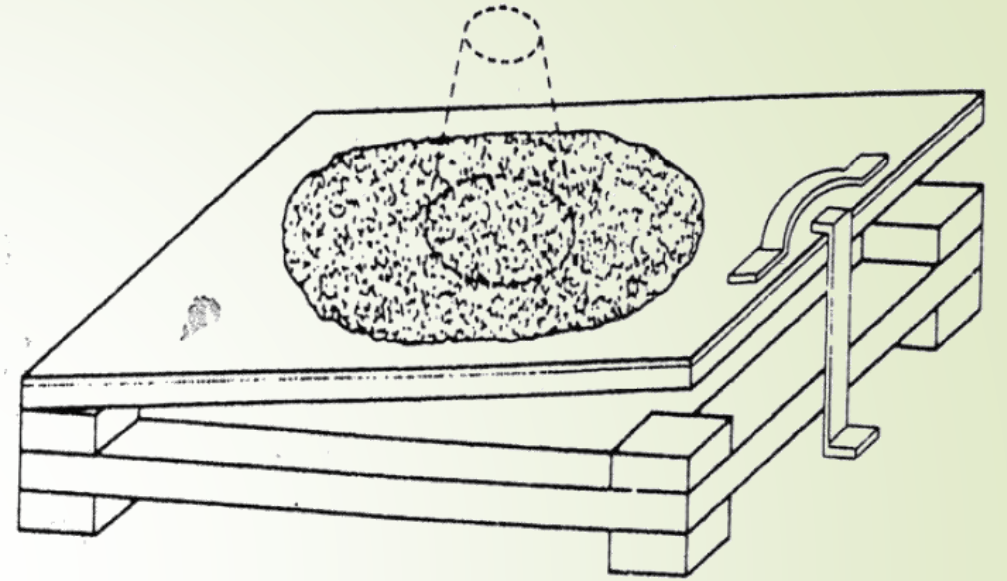
<i>Description of workability</i>	<i>Slump</i>	
	<i>mm</i>	<i>in.</i>
No slump	0	0
Very low	5–10	$\frac{1}{4}$ – $\frac{1}{2}$
Low	15–30	$\frac{3}{4}$ – $1\frac{1}{4}$
Medium	35–75	$1\frac{1}{2}$ –3
High	80–155	$3\frac{1}{4}$ –6
Very high	160 to collapse	$6\frac{1}{4}$ to collapse

q برای بتن های روان که با فوق روان کننده ها ساخته میشوند کاربرد فراوان دارد

q بتن را در مخروطی ناقص که روی یک صفحه مفصل دار قرار گرفته است ریخته و متراکم میکنند سپس مخروط را برداشته و یک طرف صفحه را ۲۰ بار تا ارتفاع ۴۰ میلیمتر بالا آورده و رها میکنند و دو بعد بتن پخش شده را اندازه گیری میکنند. میانگین این دو عدد میزان روانی بتن را مشخص میکند.

q مقدار کارایی متوسط در این روش معادل ۴۰۰ میلیمتر است.

q بتن های آزمایش شده با این روش باید همگن و چسبنده باشند.



تراکم یعنی به حرکت در آوردن ذرات بتن به منظور کم کردن اصطکاک بین آنها و نهایتاً

خروج حباب های محبوس هوا از بتن

مقاومت بتن با افزایش تخلخل آ



زیرابه ازای هر یک درصد هوای
همچنین حباب های هوا، موجب

مهمترین عوامل افزایش تراکم در
درصد هوا، ویبره مناسب

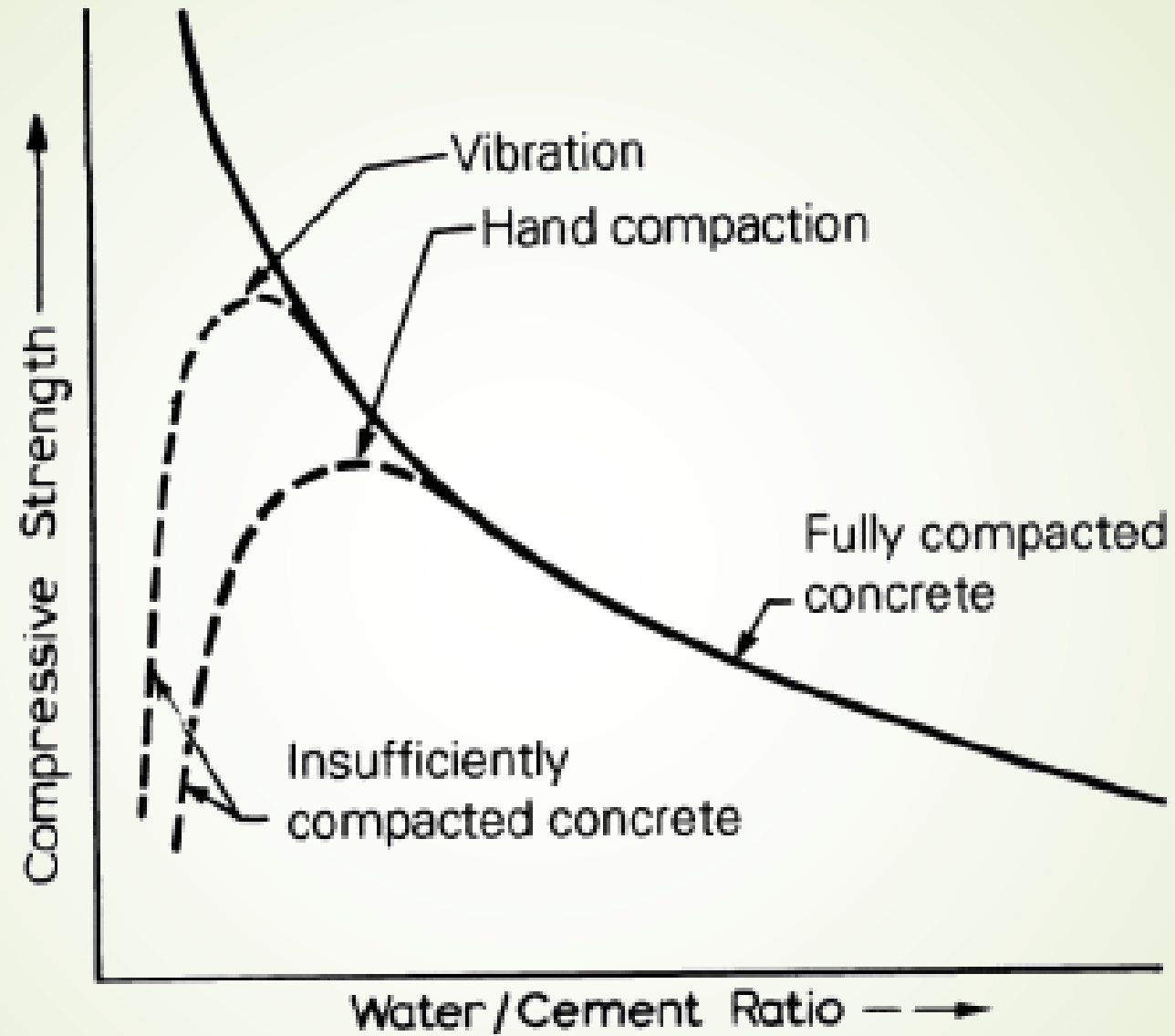


Fig. 6.1 The relation between strength and water/cement ratio of concrete

ویبراتورها در زمین با تعداد کم از آن‌ها استفاده می‌شوند که در خاک داخل سازه‌ها مانند ستون‌ها و ستیبل‌ها موقتاً از بین برود و بتن مانند

قسمت لرزانیده شده با هم
رو رود.
حباب هوا در داخل بتن



تکرار می‌شود.

(۱) متداو

(۲) ویبرا

همپوشان

(۳) ویبرا

باقی

(۱)

(۲) میا

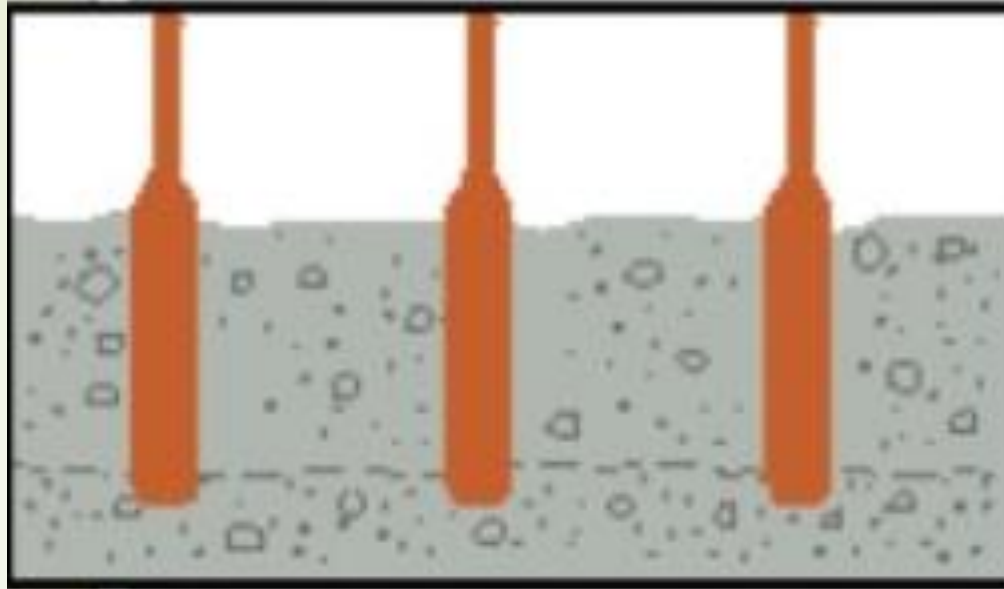
(۳)

(۲) بی

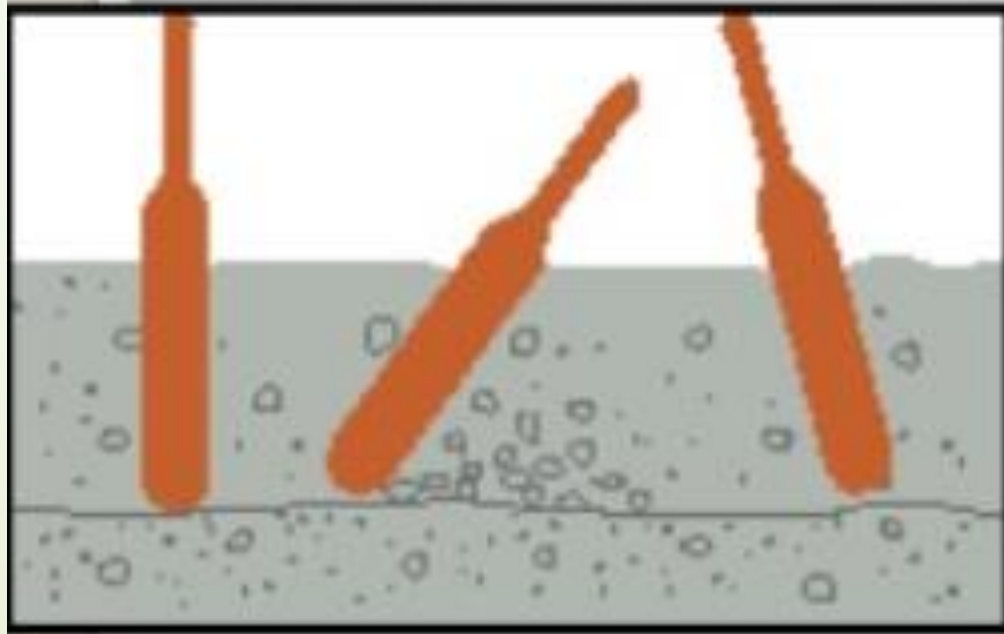
این

(۳) و از ا

- (۲) میزهای سقوط کننده
- (۳) دستگاه‌های با کوبنده موتوری
- (۴) دستگاه‌های مبتنی بر نیروی گریز از مرکز



روش صحیح



روش غلط

عوامل مؤثر بر انتخاب روش تراکم:

- ۱) نوع بتن
- ۲) روانی بتن
- ۳) حجم بتن ریزی
- ۴) میزان آرماتورها، فاصله بین آنها تراکم
- ۵) نوع روش انتقال و جای دادن بتن (نظیر استفاده از پمپ بتن)
- ۶) پیچیدگی قالب بندی و شکل هندسی عضو یا اعضا
- ۷) امکانات موجود

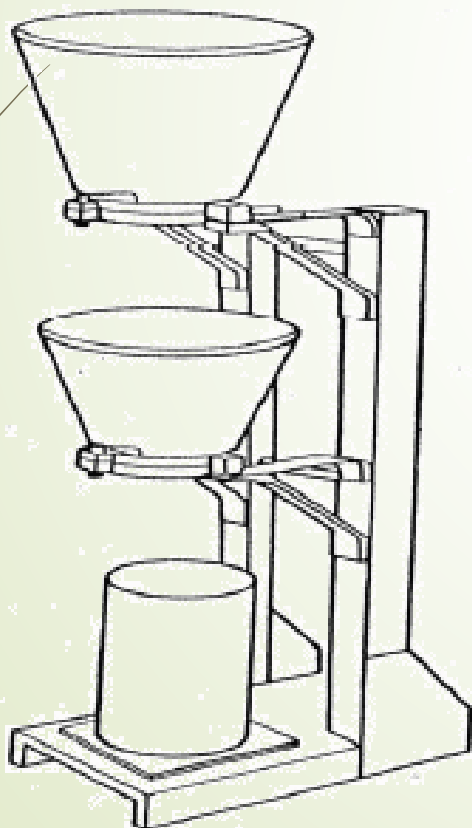


مخلوط های با کارآیی بیشتر به فرکانس بیشتری نیاز دارند.

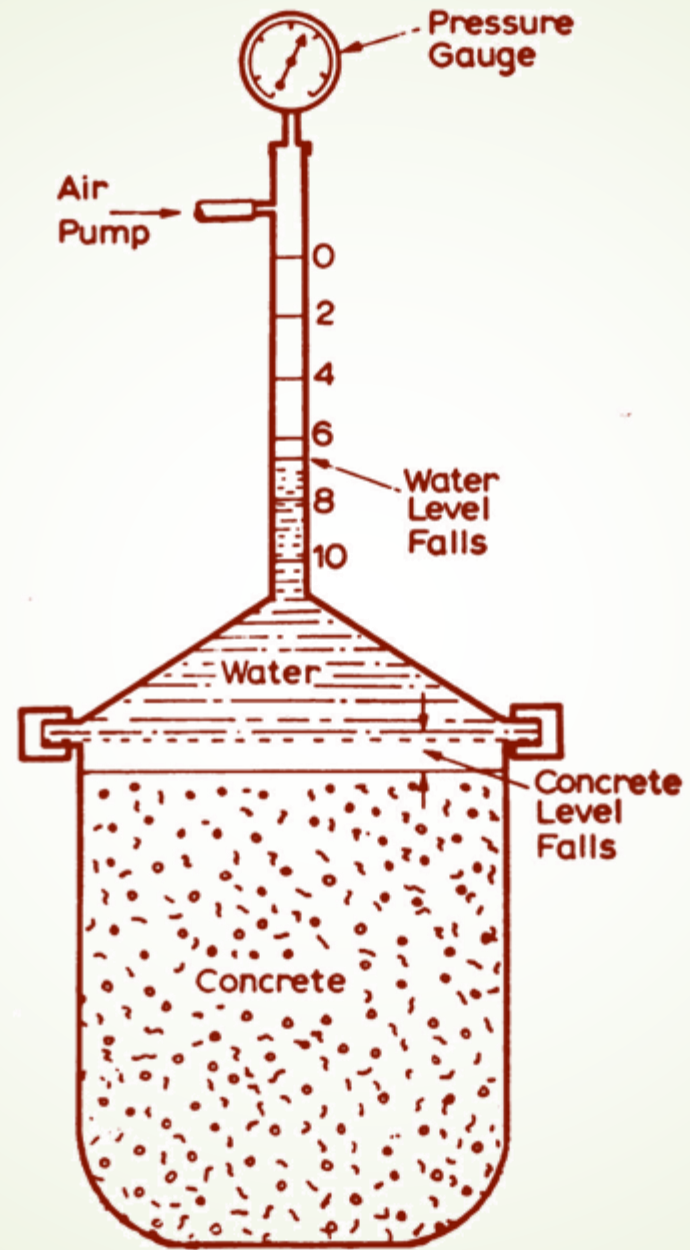
□ برای تعیین میزان تراکم مخلوط با اعمال کار مشخص استفاده می شود .

□ چگالی مخلوط را که پس از دو مرحله عبور از دو مخروط ناقص به داخل استوانه ریخته شده است محاسبه کرده و بر چگالی همین مخلوط در حالتی که در ۴ مرحله در قالب ریخته شده و متراکم شده است تقسیم می کنیم.

□ هرچه این عدد به ۱ نزدیکتر باشد کارایی مخلوط بیشتر است.



- میزان هوای موجود در بتن از زوایای مختلفی مثل مقاومت در برابر سیکل های متناوب انجماد و ذوب دارای اهمیت است.
- روش های متفاوتی برای اندازه گیری درصد هوا وجود دارد که یکی از معتبرترین آنها روش فشار است. در این روش ابتدا در ظرف مخصوصی در چند مرحله بتن ریخته و متراکم می شود سپس درب ظرف را گذاشته و مقدار معینی آب به داخل ظرف ریخته می شود سپس با اعمال فشار مشخص و سپس برداشتن فشار مقدار کاهش سطح آب که معادل حجم هوای موجود در مخلوط است بو دست می آید



۱- آب انداختن بتن :

□ در حقیقت نوعی جدایی در بتن می باشد که در آن قسمتی از آب مخلوط به بالا و سطح بتن آمده و از دانه ها جدا می شود

□ علت آن عدم توانایی ذرات جامد در نگه داشتن همه ی آب مخلوط بین خود و جلوگیری از ته نشین شدن آن ها می باشد

اثرات نامطلوب آب انداختن بتن:

∇ در اثر آب انداختن بتن لایه بالای بتن بسیار پر آب شده و با ریختن لایه بعدی بتن بر روی آن و محبوس شدن این آب اضافی، لایه ای بسیار ضعیف و متخلخل و کم دوام از بتن بین هر دو لایه ایجاد می شود.

∇ علاوه بر جمع شدن آب در سطح بتن مقداری از آب بالا آمده در زیر سنگدانه های درشت و یا زیر آرماتورها محبوس شده و ناحیه ای با چسبندگی بسیار ضعیف را ایجاد می کند.

∇ در صورت مخلوط کردن مجدد این آب اضافی سطحی به هنگام پرداخت بتن لایه سطحی کم مقاومت در مقایسه سایش ایجاد می شود.

∇ اگر سرعت تبخیر آب سطحی بتن بیش از سرعت آب انداختن آن باشد، ترک های جمع شدگی پلاستیک به وجود خواهد آمد.

∇ در لایه های نازک و روسازی ها خطر یخبندان بتن را تشدید می کند

□ آب انداختن بتن همواره زیانبار نخواهد بود. بلکه اگر این عمل دست نخورده بماند و آب بخار شود باعث افزایش مقدار سیمان به آب و در نتیجه افزایش مقاومت بتن می شود ولی اگر آب بالا آمده به همراه خود مقدار قابل توجهی ذرات ریز سیمان را به بالا و سطح بتن بیاورد که اصطلاحاً به آن شیره بتن گویند که این شیره (لایه) در بالای سطح، سطحی کاملاً متخلخل و کم مقاومت در مقابل سایش ایجاد می کند و چسبندگی را با لایه روی خودش کم می کند به همین دلیل همواره باید شیره ی فوق با برس زدن و شستن از سطح بتن پاک شود.

□ مهمترین دلایل آب افتادگی بتن عبارتند از اسلامپ بیش از حد بتن ، ویبره بیش از حد و نیز دانه بندی نامناسب

□ هر چه سیمان ریزتر شود آب انداختن کاهش می یابد

□ افزایش مواد هوازا، مواد پوزولانی و پودر آلومینیوم این خطر را کاهش می دهد.

جدایی عبارتست از برهم خوردن یکنواختی پخش ذرات که سبب جدا شدن اجزاء یک مخلوط ناهمگن می شود در بتن این امر در اثر اختلاف دانه بندی و اندازه ی دانه ها ایجاد می شود که ۲ نوع جدایی مشاهده می شود :

(الف) در نوع اول : دانه های درشت تر به علت حرکت سریع تر در شیب ها نسبت به ریز دانه تمایل به جدایی از سایر دانه ها دارند. (مخلوط های خیلی خشک)

(ب) در نوع دوم : جدایی که معمولاً در مخلوط های آب دار اتفاق می افتد (جدا شدن دوغاب سیمان و آب از سایر اجزاء مخلوط) (مخلوط بسیار تر و آبدار)

عوامل جدایی دانه ها :

- (۱) پرتاب بتن از یک فاصله قابل ملاحظه به داخل قالب.
- (۲) عبور از ناودانی های طولانی که گاه با تغییر جهت همراه است.
- (۳) تخلیه بتن بر عکس یک مانع موجود.
- (۴) حمل بتن به مسافت های طولانی.
- (۵) استفاده ناصحیح از ویبراتور.

مخلوط کن ها :

هدف از مخلوط کردن مصالح بتن که با هم زدن یا دوران دادن مصالح تامین می شود پوشانیدن سطح دانه های سنگی با دوغاب سیمان و تولید یک مخلوط همگن و یکنواخت می باشد که همواره در حین اختلاط و تخلیه بتن از مخلوط کن باید همگنی آن از بین نرود.

نحوه ی تغذیه مخلوط کن :

در صورت امکان بهتر است کمی از آب اختلاط ابتدا داخل مخلوط کن ریخته شود تا بعد از ریختن مصالح درشت دانه از خیس شدن و مرطوب شدن سطح سنگدانه ها اطمینان حاصل شود. چون اگر سیمان و آب خیلی سریع و خیلی گرم با هم ترکیب شوند خطر گلوله شدن سیمان حتی تا قطر ۷۵ میلیمتر وجود خواهد داشت.

اگر زمان اختلاط طولانی شود آب از بتن تبخیر می شود که این تبخیر مقاومت و کارایی را کاهش می دهد و اثر دوم طولانی شدن زمان اختلاط به خصوص در شن و ماسه نرم سبب سایش آن ها شده و باعث ریزتر شدن دانه بندی و کاهش کارایی می شود و در اثر اصطکاک مصالح روی هم درجه حرارت افزایش می یابد.

حمل و نقل بتن :

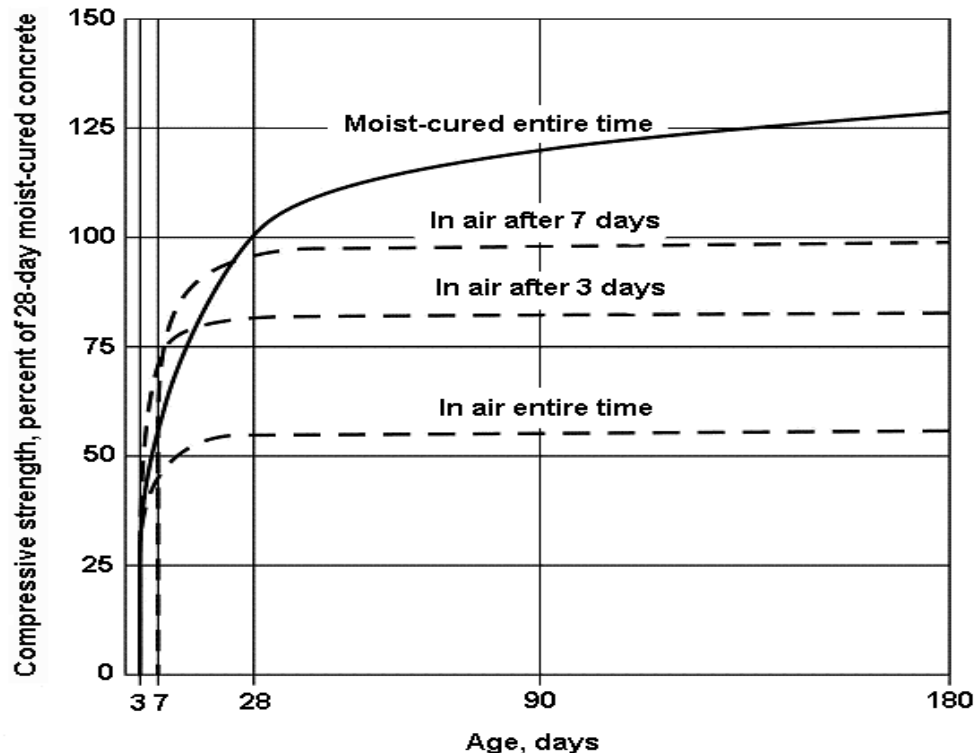


فرغون (چرخ دستی)
 دامپر
 شوت (سرسره بتن یا ناوه شیبدار
 شوت سقوطی یا خرطوم فیلی
 باکت (جام) و تاورکرین
 نوار نقاله
 کامیون مخلوط کن
 کامیون ناهمزن
 بتن پاشی
 تلمبه یا پمپ بتن
 پخش کننده های با محور حلزونی
 قیف و لوله (ترمی)

عمل آوری مراقبتی است که در ۷ الی ۱۰ روز اول بتن انجام می شود.

عمل آوری بتن در دمای معمولی آن است که بتن در حالت اشباع و یا تا حد امکان نزدیک به اشباع نگهداری شده و این نگهداری تا آن جا ادامه یابد که فضاهای موجود در خمیر سیمان تازه که از همان ابتدا مملو آب گردیده اند به مقدار کافی توسط فرآورده های ناشی از فعل و انفعالات هیدراتاسیون سیمان اشغال گردیده و پر شوند. وقتی رطوبت نسبی در بتن کمتر از ۸۰ درصد گردد، هیدراتاسیون سیمان بسیار کند و تقریباً متوقف می شود و کسب مقاومت ادامه نمی یابد. لذا عمل آوری بتن به منظور رسیدن به ویژگیهای مورد نظر بتن سخت شده بسیار مؤثر است

هدف نهایی از عمل آوری : انجام فرآیند هیدراتاسیون و تشکیل ژل سیلیکات کلسیم هیدراته و در نتیجه افزایش مقاومت بتن



بتنی که از لحظه تخلیه ، در هوای آزاد قرار بگیرد تنها به ۵۰ درصد مقاومت نمونه ای ۲۸ روزه (که در آزمایشگاه در دما و رطوبت ایده آل قرار دارد) می رسد. اگر این مراقبت ۳ روز پیاپی صورت پذیرد مقاومت بتن اجرا شده به بیش از ۷۵ درصد شرایط ایده آل میرسد. عمل آوری ۷ روزه تضمین کننده رسیدن به صد درصد مقاومت شرایط ایده آل می باشد

بایستی توجه داشت که **عمل آوری** مهمترین **عامل جلوگیری** از بروز **ترک بعد از بتن ریزی** می باشد.

در مراقبت از بتن باید دو مسئله زیر مورد توجه قرار گیرد:

- ۱- جلوگیری از کاهش رطوبت یا تامین رطوبت از دست رفته
- ۲- حفظ دمای بتن در حدی مطلوب به مدت زمانی معین

کنترل دما در **هوای معمولی** چندان **ضرورتی ندارد** ولی در **هوای بسیار گرم و بسیار سرد** (کمتر از ۴ درجه سانتی گراد) باید تدابیر ویژه ای اتخاذ شود.

روش های مراقبت از بتن را می توان در چند دسته اساسی برشمرد:

الف: روش هایی که با حضور آب در کنار بتن انجام می شوند که خود به ۶ دسته اصلی تقسیم می شوند:

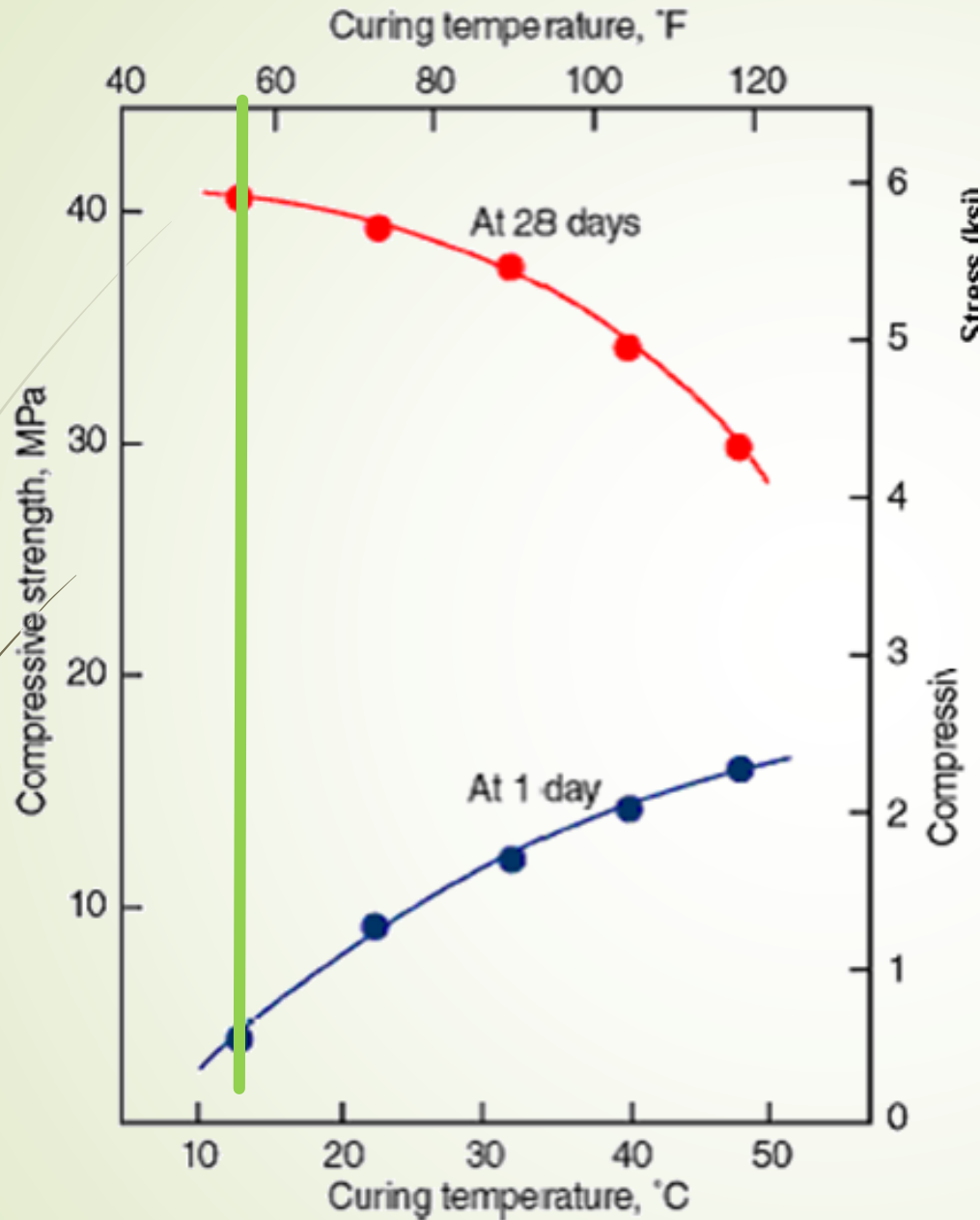
- ۱- ایجاد برکه آب
- ۲- ایجاد مه (آب پاشی)
- ۳- پوشش خیس
- ۴- پوشش نایلونی
- ۵- مواد محافظ
- ۶- قالب های درجا نگه داشته شده

ب) روش هایی که با ایجاد حرارت زیاد همراه با رطوبت کافی، گیرش بتن را تسریع میکند.

۱) استفاده از جریان بخار آب: در این روش جریانی از بخار آب دمای بتن را به دمای ۸۰ الی ۱۰۰ درجه سانتیگراد می رساند و با تسریع گیرش مراقبت ۷ روزه به ۴۸ ساعت تقلیل می یابد. استفاده از این روش برای بتن پیش ساخته مناسب است و برای بتن درجا کاربرد ندارد.

۲) استفاده از بخار آب همراه با فشار: دمای حدود ۱۵۰ درجه با بخار آب به همراه فشار به قطعه که در یک محفظه قرار دارد تزریق می شود. در کارگاه ها و کارخانه پیش ساخته و پیش تنیده از این روش برای مراقبت از قطعات پیش ساخته استفاده می شود.

بایستی توجه داشت که حرارت در دو روش پیشین به همراه با بخار و رطوبت به بتن اعمال می شود. و از این منظر ضرری برای بتن ایجاد نمی کند.



دمای بهینه برای عمل آوری بتن ساخته شده با سیمان تیپ I و II حدود ۱۳ درجه سانتیگراد می باشد.

دمای بهینه برای عمل آوری بتن ساخته شده با سیمان تیپ III کمتر از مقدار مورد نیاز برای سیمان های تیپ اول و دوم می باشد

به این صورت که شرایط مناسب به گونه ای فراهم می شود که در طول دوره مراقبت همواره یک لایه آب به ضخامت حداقل ۵ الی ۱۰ سانتیمتر روی سطح بتن قرار گیرد. استفاده از این روش تنها برای سطوح تخت قابل اجرا بوده و برای مکانی مناسب است آب کافی در دسترس بوده و اختلاف دمای آب و بتن بیش از ده درجه نباشد.



ایجاد مه (آب باشی):

119

ایجاد مه به این معنی است که آب به صورت قطرات ریز و پودری بر روی سطح بتن ریزی پاشیده می شود. و برای مکان هایی مناسب است که دما نسبتا بالا باشد.



پوشش نظیر گونی، کرباس و موکت اگر به صورت خیس شده روی بتن قرار گیرند، در مراقبت از سطوح بتنی بسیار مفید خواهند بود. مزایای این روش نسبت به روش قبل در این می باشد که تبخیر آب از این پوشش ها بسیار طولانی مدت تر می باشد. اما عیب این روش لکه کردن احتمالی سطح بتن است.



خاک اره مرطوب و یا شن مرطوب نیز می تواند به عنوان پوشش مرطوب مورد استفاده قرار گیرد



استفاده از پوشش نایلونی:

121

روش مناسبی برای جلوگیری از تبخیر آب محسوب می شود. پوشش نایلونی معمولا در مقابل آفتاب خشک شده و پاره می شود.



استفاده از مواد محافظ:

122

موادی هستند از جنس موم یا چسب که معمولاً با دستگاهی نظیر دستگاه رنگ پاش روی سطح بتن پاشیده می شوند. این غشا اگر دارای سوراخ شدگی و یا آسیب دیدگی نباشد به نحو موثری **تبخیر آب** از بتن را **متوقف می سازد**. مناسب برای کارهای است که در ارتفاع اجرا شده و از نظر وسعت و حجم کوچک باشد علت این امر به این دلیل است که گران بودن این مواد برای استفاده در پروژه های بزرگ صرفه اقتصادی ندارد.

غشاء نفوذ ناپذیر هم مزیت دارد هم عیب . مزیت آن جلوگیری از تبخیر آب است اما عیب آن این است که همانطور که از خروج آب از درون بتن جلوگیری می کند. امکان ورود آن را هم از بین می برد بدین طریق جبران آب در اثر خود خشکیدن بتن از بین می رود



قالب های فلزی از این نظر مناسبند که آب بتن را محبوس نموده و به هیچ وجه اجازه نمی دهند که آب از بتن تبخیر شود. در مورد قالب های چوبی بایستی توجه کرد که این قالب ها تا حدودی آب بتن را جذب کرده پس بایستی مراقبت ویژه ای در باره قالب چوبی لحاظ شود. در عمل برای جلوگیری از جذب آب توسط قالب از پوشش های نایلونی استفاده می شود و یا قالب های چوبی را با روغن اشباع می سازند.

خلاصه مطلب:

بطور کلی ، عمل آوردن به اقداماتی گفته می شود که برای تکمیل و پیشرفت هیوراتاسیون سیمان و افزایش مقاومت بتن مورد استفاده قرار می گیرد ، که عمل آوردن بتن در دو زمینه حفظ رطوبت و دمای مناسب است.

دمای مناسب بتن ۱۳ درجه سانتی گراد و درصد رطوبت مناسب حدود ۸۰ درصد است.

عمل آوری باید حداقل به مدت هفت روز برای رسیدن به ۷۰٪ مقاومت نهایی انجام شود.

q عمل آوری مناسب باعث افزایش مقاومت فشاری ، کششی و خمشی می شود.

q عمل آوری مناسب منجر به کاهش نفوذپذیری و در نتیجه افزایش دوام و پایداری بتن می شود

q عمل آوری مناسب باعث افزایش مقاومت در برابر یخبندان و یخ و ذوب متوالی و تر و خشک شدن متوالی می شود

q عمل آوری مناسب از افت آب بتن و دمای آن جلوگیری می کند.

q عمل آوری مناسب از خزش بیش از حد بتن جلوگیری می کند

هوای گرم هنگام بتن ریزی باعث **پایین آمدن کیفیت بتن تازه و سخت شده** می گردد در این حالت **آب بتن** به **سرعت تبخیر** می گردد و **سرعت آنگیری و گیرش سیمان بالارفته و کار آیی بتن تازه پایین آمده و در نهایت مقاومت نهایی بتن پایین می آید**

چون در دمای بالا هم هیدراتاسیون با سرعت و شدت فوق العاده ای انجام می شود که منجر به شکل گیری ناهمگن و غیریکنواخت ژل سیمان می شود هم از طرفی دیگر، در شروع فعل و انفعالات، فرصت کافی برای ترکیبات و فرآورده های ناشی از هیدراتاسیون وجود ندارد، تا به شکل یکنواخت از سطح دانه های سیمان به اطراف گسترش یافته و در حفرات و منافذ خمیر سیمان جای گرفته و آنها را پر سازند



اقدامات مناسب برای بتن ریزی در هوای گرم:

125

۱) حتی الامکان از سیمانهای با حرارت زائی کم استفاده شود (تیپ ۴)

۲) دمای سنگدانه ها با نگهداشتن آنها در سایه و آبپاشی پایین نگه داشته شود.

۳) با استفاده از سایبان ، بادگیر و آبپاشی سطح بتن ، بتن تازه در برابر تابش آفتاب و وزش باد و تبخیر آن نگهداری شود. مدت عمل آوری بتن نباید کمتر از ۷ روز باشد.

۴) از قالب های دارای مواد عایق استفاده شود.

۵) کلیه سطوح منجمله سطوح بالای بتن عایق شوند.

۶) استفاده از مواد افزودنی تقلیل دهنده آب



بتن ریزی در هوای سرد :

مشکلات بتن ریزی در هوای سرد به مسئله **یخ زدن بتن** مربوط می شود هوای سرد به هوایی گفته می شود که متوسط دمای هوا در ۳ روز متوالی کمتر از ۵ درجه سانتی گراد باشد

در دمای کمتر از ۱۰ - درجه بتن ریزی متوقف می شود

زمانیکه آب موجود در بتن یخ می بندد **عمل هیدراتاسیون متوقف می گردد**. بنابراین خمیر سیمان تشکیل نمی شود و به همین سبب بتن تشکیل شده پوک خواهد بود.

همچنین **آب** موجود در بتن پس از یخ زدن **منبسط** می شود و مجدداً بعد از گرم شدن فضای خالی بسیاری را در بتن به جای می گذارد.

با توجه به نکات ذکر شده **مقاومت فشاری** بتن کاهش یافته و بتن **نفوذ ناپذیری** خود را از دست می دهد.

اقدامات مناسب برای بتن ریزی در هوای سرد:

(۱) حتی الامکان از سیمان با حرارت زائی بالا استفاده شود (تیپ ۳)

(۲) از آب گرم جهت اختلاط استفاده شود در این حالت باید از تماس مستقیم آب و سیمان جلوگیری شود زیرا باعث **گیرش سریع سیمان و گلوله شدن** سیمان می شود. این موضوع باید در نحوه و ترتیب ریختن مصالح در مخلوط کن رعایت شود.

(۳) سنگدانه ها ، آرماتورها و قالب ها نباید آغشته به یخ و برف باشند و باید از یخ و برف پاک شوند.

(۴) می توان سنگدانه ها را تا در دمای ۵۰ درجه گرم نمود

(۵) از مواد مضاف زود گیر کننده ، ضد یخ و یا **مواد حباب زا** استفاده کرد .

(۶) نسبت آب به سیمان باید کمتر از ۰/۵ باشد تا میزان آب قابل یخ زدن کاهش یابد

(۷) دمای بتن نباید از ۵ درجه کمتر باشد.

(۸) بعد از بتن ریزی ، بتن باید تا رسیدن به مقاومت ۵ مگا پاسکال مورد مراقبت قرار گیرد. این امر می تواند با استفاده از پوشش های عایق و گرم کردن بتن و محیط اطراف انجام شود.

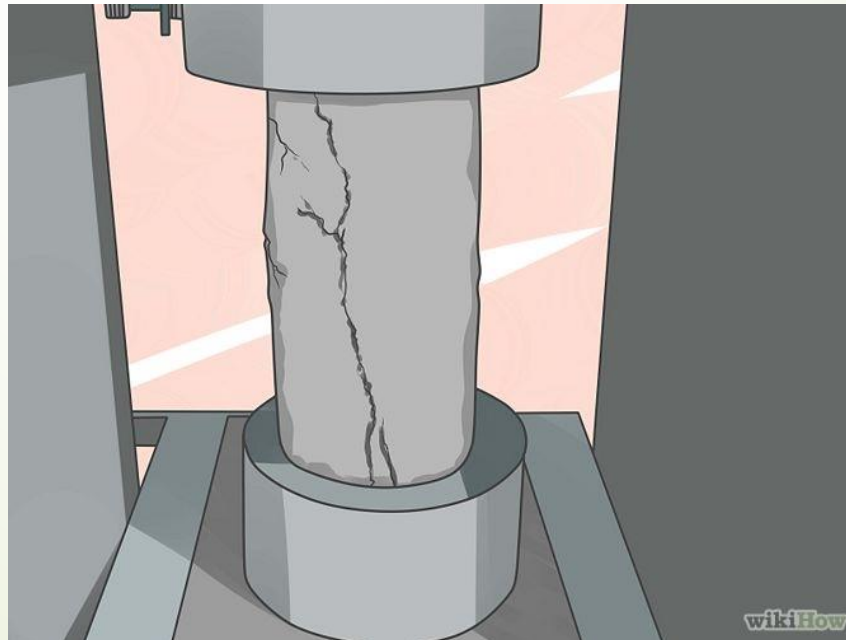
خواص مقاومتی بتن



عبارت است از ظرفیت تحمل یک جسم، مصالح ساختمانی یا سازه در مقابل نیروهای فشاری محوری مستقیم.

هنگامی که حد مقاومت فشاری یک ماده فرا می‌رسد، آن ماده **منهدم** خواهد شد.

یکی از پارامترهای مهم در طراحی سازه‌های مختلف، مقاومت فشاری می‌باشد. حتی گفته می‌شود سایر خصوصیات مکانیکی بتن مانند مقاومت کششی، نفوذپذیری، مقاومت سایشی و ... نیز رابطه مستقیمی با مقاومت فشاری دارند. بنابراین اندازه گیری مقاومت فشاری بسیار مهم می‌باشد.



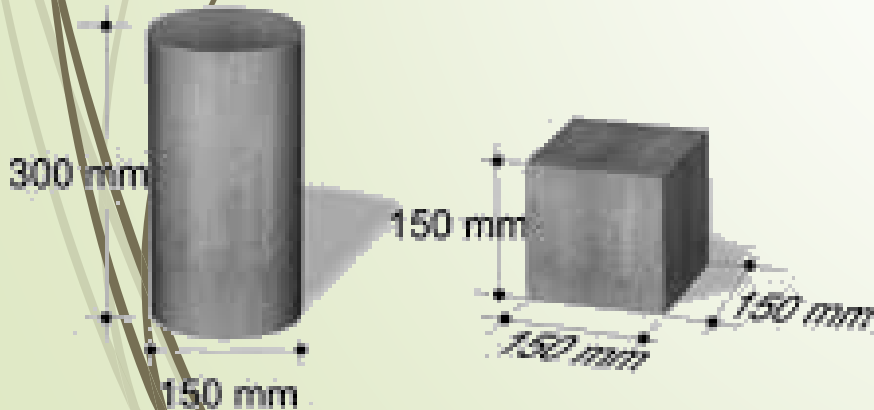
عوامل اصلی مؤثر بر مقاومت که در عمل اندازه گیری می شوند شامل نسبت **آب به سیمان**، درجه تراکم، سن بتن و **درجه حرارت** می باشد. **عوامل ثانویه** ای هم وجود دارند که بر مقاومت تأثیرگذار هستند و عبارتند از: نسبت سنگدانه به سیمان، کیفیت سنگدانه (دانه بندی، بافت سطحی، شکل، مقاومت و سختی)، حداکثر اندازه سنگدانه، سرعت بارگذاری، رطوبت محیط، اندازه نمونه، شرایط نگهداری بتن و ماشین آزمایش

آزمایش مقاومت فشاری در استاندارد **ASTM C 39** بر روی **نمونه های استوانه ای** با ابعاد 12×6 اینچ (300×150 میلی متر) و در استاندارد **BS 1881** این آزمایش بر روی **نمونه های مکعبی** 6 اینچی (150 میلی متری) انجام می شود.

C 30 / 37

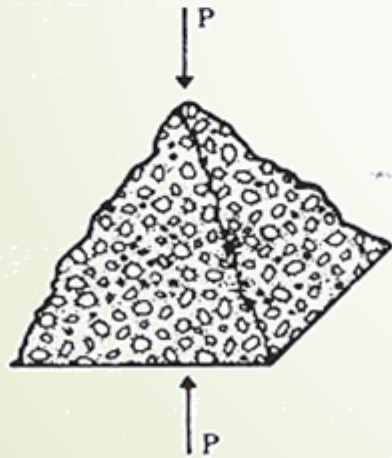
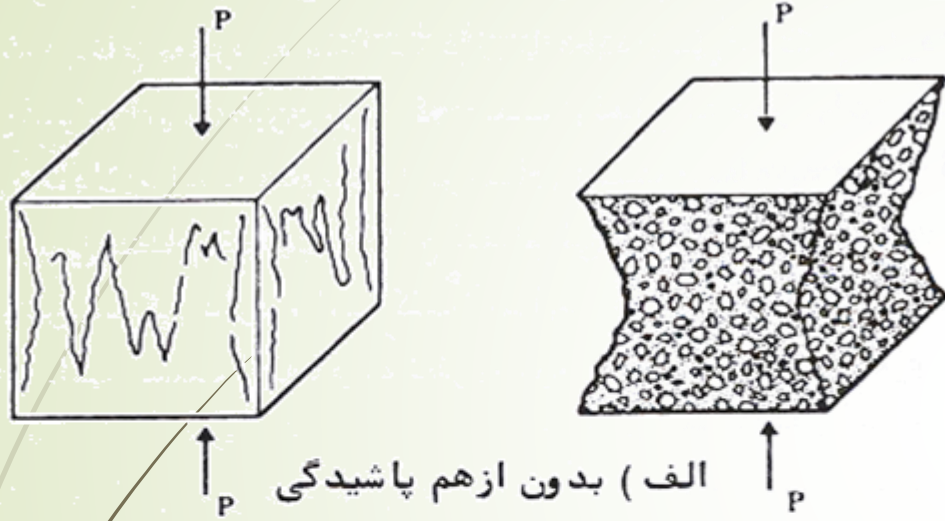
cylinder's strength
 $f_{ck} = 30 \text{ MPa}$

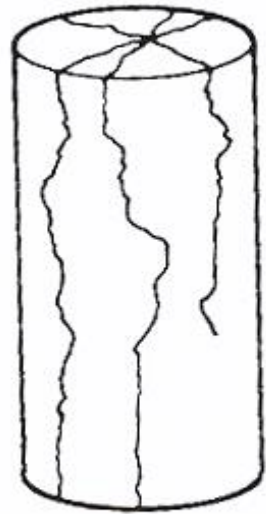
cube's strength
 $f_{ck} = 37 \text{ MPa}$



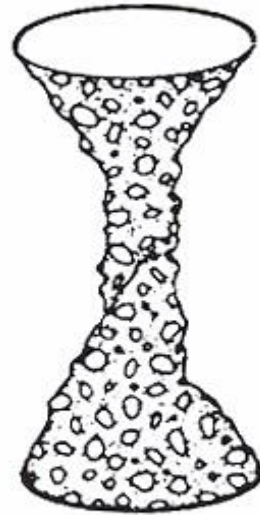
استاندارد **BS** توصیه می کند که نمونه طوری زیر دستگاه قرار گیرد که جهت بار **عمود بر جهت بتن ریزی** نمونه در قالب اعمال شود. بار به صورت تنشی ثابت با سرعت $2/0$ تا $4/0$ مگاپاسکال در ثانیه اعمال می شود و مقاومت نمونه بدست می آید. شکل های گسیختگی به غیر از آنچه در شکل بعد دیده می شود رضایت بخش نخواهد بود و نشان دهنده آن است که خطایی احتمالی در ماشین آزمایش وجود دارد

مقاومت فشاری حاصل شده از نمونه استوانه استاندارد **تقریباً 0.8 برابر** مقاومت حاصل شده از نمونه مکعبی استاندارد می باشد

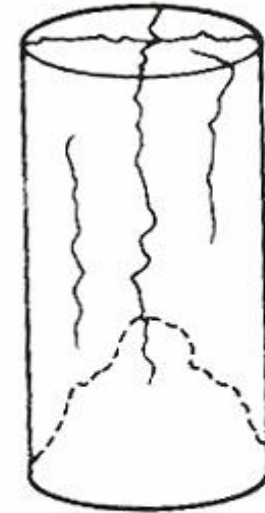




الف (شکافتن



ب (برش



ج (شکافتن و برش

شکل‌های گسیختگی رضایت‌بخش نمونه‌های استوانه‌ای آزمایش مقاومت فشاری طبق ASTM C 39

$$F = P/A$$



عدد نیروی قرائت شده از روی دستگاه

سطحی از نمونه که تحت اثر بار قرار دارد



- ۱- برای انجام آزمایش مقاومت فشاری با استفاده از نمونه استوانه ای لازم است سطح بالایی آن کپینگ شود تا سطحی کاملاً صاف بوجود آید و نیرو به سنگدانه های برجسته از سطح وارد نشود (نتایج غیر واقعی به دست نیاید)
- ۲- نتایج آزمایش مقاومت فشاری با نمونه استوانه ای به واقعیت نزدیکتر است
- ۳- نتیجه ای قابل اعتماد تر است که سطح شکست **حداقل از ۲۵٪** سطح سنگدانه ها عبور کرده باشد
- ۴- مقاومت فشاری مشخصه بتن در سن ۲۸ روزگی انجام می گردد مگر آنکه در نقشه های اجرایی یا دفترچه مشخصات فنی پروژه سنی دیگر برای مقاومت فشاری مشخصه اجرایی مقرر شود.
- ۵- مقاومت بتن معمولاً در عمر های ۳ ، ۷ ، ۲۸ و ۹۰ روزه تعیین می شود. مبنای پذیرش بتن، آزمایش مقاومت در عمر ۲۸ روزه و در دمای است مقاومت در عمر های دیگر (مثلاً ۷ روزه) تنها برای به دست آوردن تخمینی از مقاومت ۲۸ روزه به کار می رود و نمی تواند مبنای رد یا قبول بتن باشد.
- ۶- **مقاومت ۷ روزه تقریباً ۰/۷ تا ۰/۸ مقاومت ۲۸ روزه است.**
- ۷- **مقاومت ۲۸ روزه بتنهای معمولی تقریباً ۹۰ تا ۹۵ درصد مقاومت نهایی بتن می باشد**



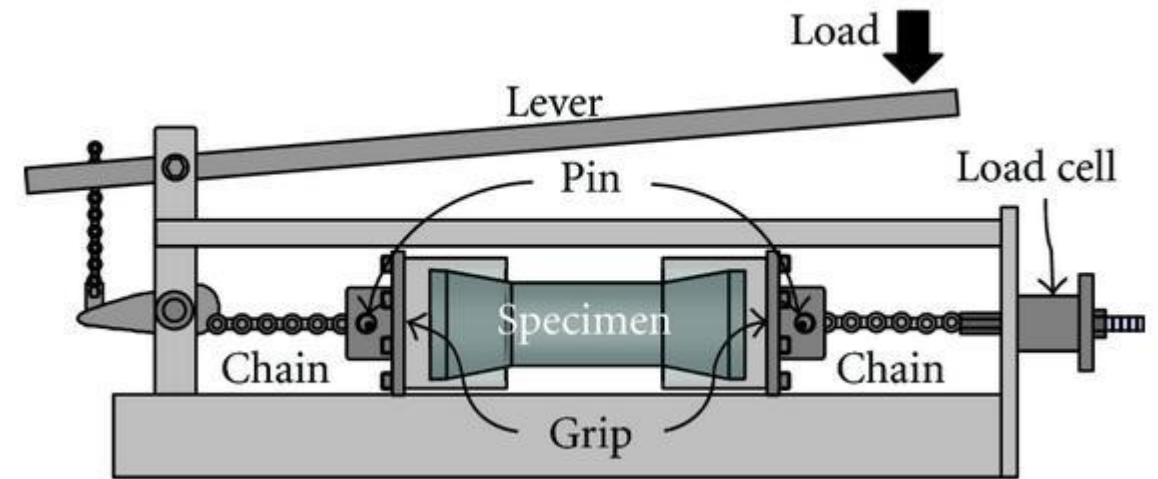
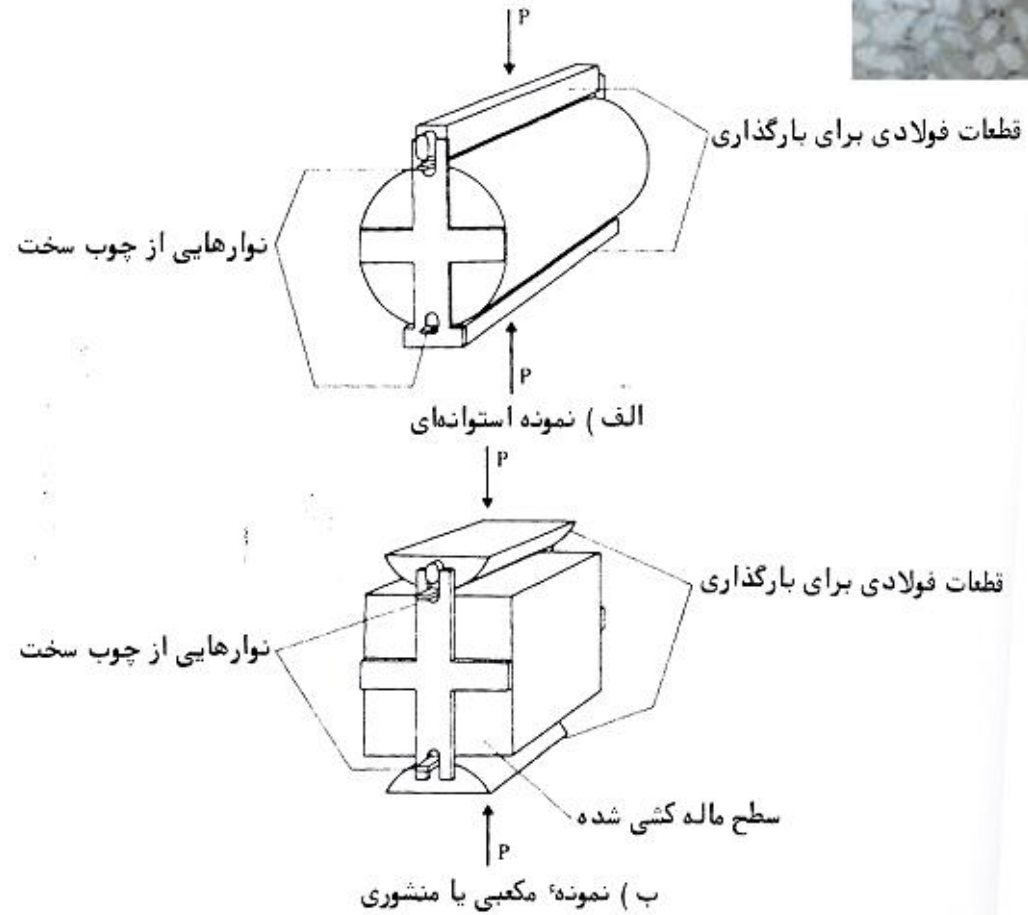
مقاومت کششی بتن در مقایسه با مقاومت فشاری آن ناچیز است. مقاومت کششی در حدود **0.1 تا 0.15** مقاومت فشاری آن می باشد

روش‌های مستقیم و غیر مستقیمی برای مشخص نمودن مقاومت کششی بتن وجود دارد

انجام آزمایش مقاومت کششی مستقیم به دلیل تمرکز تنش‌های محلی بسیار مشکل است که حذف این تمرکز تنش تنها با در نظر گرفتن تدابیر ویژه‌ای امکان پذیر است

مقاومت کششی بتن با روش‌های غیر مستقیم یعنی آزمایش‌های خمشی و آزمایش شکافت (دو نیم شدن) تعیین می شود (تست برزیلی)

آزمایش دو نیم کردن یک روش ساده و راحت است که اغلب از این روش برای سنجش میزان مقاومت کششی بتن استفاده می شود. در این آزمایش یک استوانه بتنی یا به ندرت یک نمونه مکعبی از نوعی که برای آزمایش مقاومت فشاری معرفی شدند، طوری بین صفحات دستگاه آزمایش قرار می گیرد که محور آن، افقی باشد. سپس بار افزایش می یابد تا شکستگی به صورت دو نیم شدن در صفحه شامل قطر قائم نمونه بوجود بیاید.



دستگاه آزمایش کشش مستقیم

مقدار مقاومت کششی با آزمایش دو نیم شدن (شکاف - برزیلی - اسپلیت) :

عدد نیروی قرائت شده از روی دستگاه

$$F_{st} = \frac{2P}{\pi L D}$$

ارتفاع نمونه

قطر نمونه



برای انجام این آزمایش یک نمونه منشوری تحت اثر دو بار متمرکز به فاصله معین قرار می گیرد و مدول گسیختگی که طبق رابطه زیر محاسبه می شود به عنوان مقاومت خمشی شناخته می شود

سطح نمونه ای که تحت آزمایش قرار می گیرد باید کاملاً صاف باشد و در صورت نیاز باید یا با سایش جزیی و یا با کپینگ سطح نمونه به این الزام رسید.

$$R = PL/bd^2$$

R: مدول گسیختگی (MPa)

P: ماکزیمم بار اعمال شده به نمونه (N)

L: طول دهانه (mm)

b: متوسط عرض نمونه در محل گسیختگی (mm)

d: متوسط ارتفاع نمونه در محل گسیختگی (mm)



مقاومت سایش: برای مکانهایی که تحت سایش قرار میگیرند استفاده می شود. مثل بزرگراهها، پل ها، کف های صنعتی

مقاومت فرسایش: برای مکانهایی که در خطر شستن توسط آب قرار دارند انجام می شود . مثل تونل های انتقال آب

مقاومت ضربه ای: مقاومت ضربه ای در فرو کردن شمع های بتنی، در پی ماشین هایی که بارهای ضربه ای اعمال می کنند یا در ضربه های تصادفی مثل حمل و نقل قطعات پیش ساخته بتنی مطرح است.

مقاومت خستگی: بررسی این مقاومت به دو نوع زیر تقسیم می شود

(۱) **خزش:** گسیختگی تحت اثر یک بار دائمی (یا بار افزایش یابنده ی تدریجی

(۲) **خستگی:** در اثر سیکل های بارگذاری و باربرداری های تکرار شونده است.



طرح اختلاط بتن

تعریف طرح اختلاط بتن:

تعیین نسبت های اختلاط آب، سیمان، درشت دانه، ریزدانه و مواد پوزولانی به گونه ای که مقاومت فشاری مورد نیاز را تامین کند

معمولا در طرح اختلاط بتن سه مورد باید توجه شود:

۱. رسیدن به مقاومت مورد نظر
 ۲. تامین دوام کافی
 ۳. رسیدن به روانی مورد نظر
- بستگی به عامل مخرب و شرایط محیطی دارد. مثلا طرح اختلاط بتن در محیط سولفات با بتنی که در معرض یخ زدگی و ذوب متوالی قرار دارد فرق می کند ←

فرضیات کلی در طرح اختلاط بتن:

۱. دانه بندی شن و ماسه مصرفی باید در محدوده ی ASTM-C33 قرار گیرد.

۲. وزن مخصوص دانه ها باید به وسیله ی آزمایش تعیین شود ماسه = ۲,۸ شن = ۲,۷۲

۳. چگالی سیمان برابر ۳,۱۵ در نظر گرفته شود، مگر آن که در آزمایشگاه مستقیما چگالی سیمان مصرفی بدست آورده باشد.

۴. مدول نرمی ماسه با دانه بندی ماسه در آزمایشگاه قابل تعیین است، محدوده ی مجاز مدول نرمی ماسه مصرفی در بتن بین ۲,۱ - ۳,۲ می باشد.

۵. وزن شن و ماسه در حلت SSD تعیین می شود، به عبارت دیگر فرض بر این است که دانه ها، نه آبی از مخلوط به خود جذب کنند و نه آبی به مخلوط اضافه کنند، اگر رطوبت شن و ماسه در حالت SSD نباشد، تصحیحات لازم در محاسبه شن و ماسه و آب مصرفی باید صورت پذیرد.

۶. جداول ارائه شده در روش ACI-211 بر اساس تجربیات آزمایشگاهی است به همین جهت باید در مراحل پایان طرح اختلاط با ساخت نمونه های آزمایشی اختلاف احتمالی شرایط و مصالح محلی با شرایط و مصالح استاندارد در محاسبه وارد شود.

مراحل ۹ گانه طرح اختلاط بتن به روش ACI

۱. انتخاب اسلامپ: بر اساس تجربه و در صورت عدم آن با استفاده از جدول ۵-۲

۲. انتخاب بزرگترین بعد دانه

بر اساس تجربه ی مهندسی طراح و نیز شرایط و امکانات ملی. در بتن هرچه از دانه های درشت تری استفاده شود اسکلت بتن قوی تر می شود و مصرف سیمان کم می شود لیکن باید به محدودیت حداکثر بعد دانه ها نیز توجه کرد.

۳. تعیین میزان آب و هوا: از جدول ۵-۳

۴. انتخاب نسبت آب به سیمان: بر اساس دو مبنا صورت می گیرد:
(۱) مقاومت (۲) دوام بر اساس شرایط محیط از جداول الف و ب ۵-۴

۵. محاسبه ی مقدار سیمان

۶. تخمین مقدار شن یا درشت دانه: حجم شن به صورت خشک و نیمه خشک (کوبیده شده) در واحد حجم بتن را، می توان بر اساس آنها و مدول نرمی ماسه تعیین کرد. از طریق جدول ۵-۵

۷. محاسبه ی وزن ماسه: (جدول ۵-۶)

۸. تصحیح اوزان شن، ماسه و آب در صورت مرطوب بودن دانه ها

۹. ساخت نمونه ی آزمایشگاهی و انجام تصحیحات لازم: (مثلا 20 lit)

بتن های ویژه



(۱) بتن سبک (CLC یا LWC) :

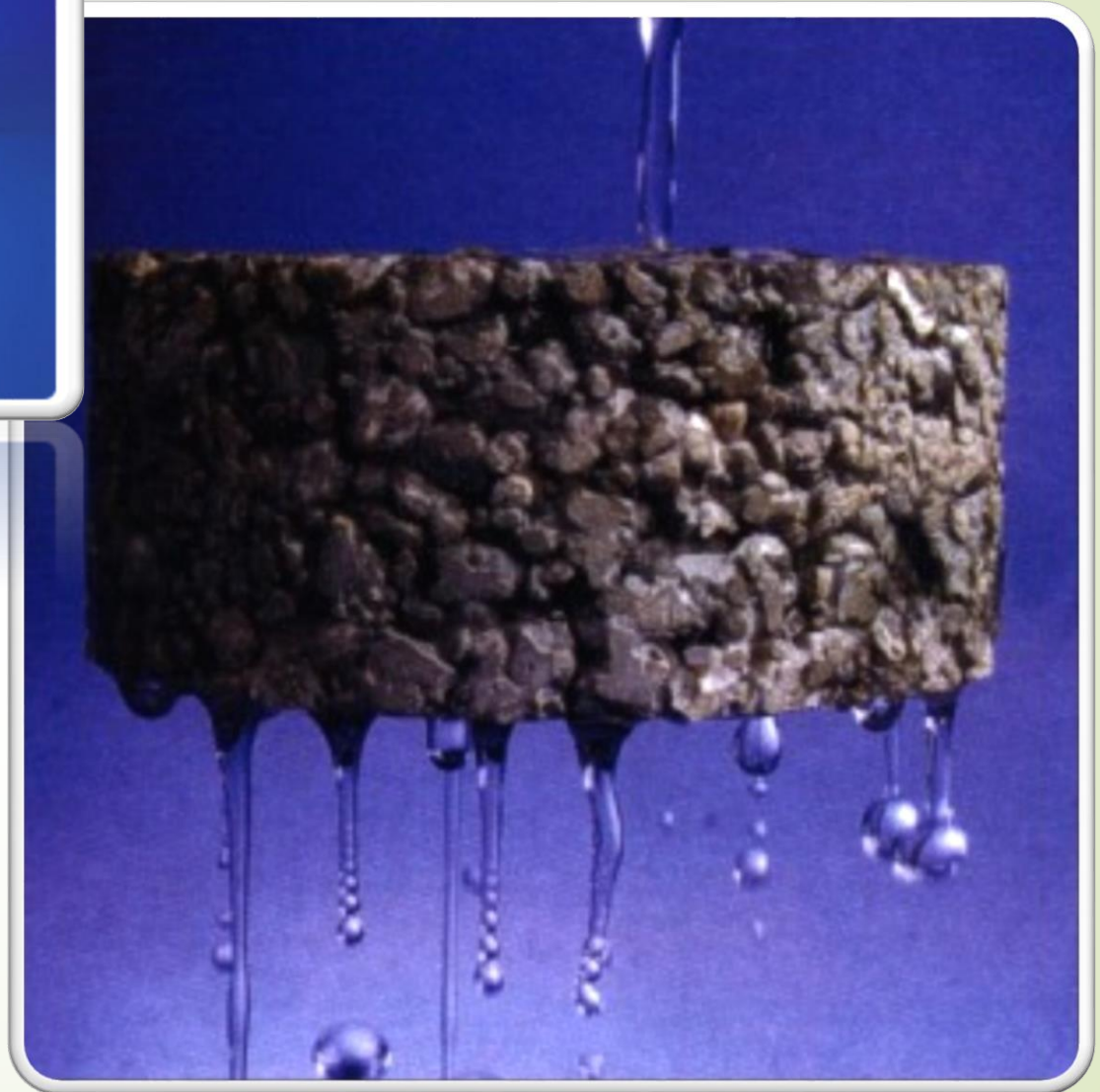
145

این بتن ها وزن مخصوصشان به طور قابل ملاحظه ای کم تر از وزن مخصوص بتن های ساخته شده با سنگدانه های معمولی می باشد که انواع گوناگون بتن های سبک را با توجه به روش تولید آن ها به صورت زیر طبقه بندی کرد :

الف) با استفاده از سنگدانه های سبک و متخلخل که وزن ظاهریشان کم تر از ۲,۶ می باشد (مانند لیکا) ، این نوع بتن به عنوان بتن دانه سبک شناخته می شود.

ب) با ایجاد حفره های بزرگ در داخل بتن یا ملات : این حفره ها باید به وضوح از حباب های فوق العاده ریز ناشی از حباب زایی قابل تشخیص باشند که انواع مختلف آن با اسامی بتن اسفنجی (شامل دو نوع بتن گازی و بتن کفی) و بتن متخلخل شناخته می شود.

ج) با حذف ریزدانه ها از مخلوط : به طوری که حفره های درونی زیادی در مخلوط ایجاد شود در این موارد معمولاً درشت دانه های معمولی دیده می شود که این نوع بتن به عنوان بتن بدون ریزدانه شناخته می شود. مانند بتن متخلخل



خصوصیات بتن سبک :

147

- ۱- مقاومت فشاری کمتر از بتن معمولی
- ۲- به دلیل وجود حفرات و هوا، **عایق حرارتی خوبی** هستند
- ۳- طرح اختلاط، حمل و ریختن بتن نیاز به دقت و تخصص بیشتر دارد
- ۴- باعث کاهش وزن سقف و بارهای مرده و زنده و کاهش بارهای وارد بر اعضای سازه و کاهش وزن پی و کاهش ابعاد پی ها و همچنین کاهش فشار بتن ریزی در قالب ها و کاهش وزن کلی مصالحی که باید جابه جا شوند.
- ۵- به ازای کارایی برابر، بتن سبک دانه، اسلامپ پایین تر و ضریب تراکم کمتری را نسبت به بتن معمولی نشان می دهد، زیرا در مصالح سبک تر وزن کم تر می باشد.
- ۶- مقاومت در برابر آتش بیشتر است، چون سنگدانه های سبک تمایل کم تری به خرد شدن دارند و بتن در نتیجه ی بالا رفتن دما افت مقاومت کم تری دارد.
- ۷- برای مقاومت فشاری برابر با بتن معمولی، مقاومت برشی ۱۵ تا ۲۵ درصد و مقاومت پیوستگی ۲۰ تا ۵۰ درصد کم تر است.

در ساخت بتن سنگین به جای شن و ماسه از خرده های فولاد، چدن و یا سولفات باریم استفاده می شود.

کاربرد اینگونه بتن باری **جلوگیری از تشعشع اشعه X و γ و غیره** بوده و اصولاً برای سازه های مربوط به تأسیسات اتمی و یا هر جا که **امکان تشعشعات رادیواکتیو** وجود دارد از اینگونه بتن استفاده می شود.

وزن مخصوص بتن سنگین حدود $5/1$ تا $5/2$ برابر وزن مخصوص بتن معمولی است.

و یا در مواردی که نیاز به افزایش بار مرده سازه، بدون افزایش حجم هستیم، نیز مورد استفاده می باشند (مثلاً برای جلوگیری از دوران سازه)

۳) بتن با مقاومت بسیار بالا (HSC)

149

بتن با مقاومت بسیار بالا را می توان بتنی با مقاومت بین ۶۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع تعریف نمود.

از آنجا که افزایش مدول الاستیسیته در مقایسه با افزایش مقاومت کم تر می باشد. اعمال تنش های بهره برداری بالاتر به بتن با مقاومت بالا، باعث کرنش ها و تغییر شکل های بزرگی نسبت به بتن معمولی می شود

هر چه بتن مقاوم تر باشد شکننده تر است (به صورت انفجاری منهدم می شود)

از مزایای این بتن کاهش مقاطع ستون ها و یا همان سطح مقطع کاهش مقدار آرماتورها می باشد.

۴) بتن پلیمری (PC):

پلیمرها دارای مقاومت فشاری و کششی بالاتری نسبت به بتن متداول هستند ولی مدول الاتیسته آن ها کم تر و خزش آن ها بیشتر است

ممکن است توسط عوامل اکسید کننده ی حرارتی، پرتوهای ماوراء بنفش و مواد شیمیایی و میکرو ارگانیزم ها فاسد شوند

پلیمرها برای تولید سه نوع بتن به کار می روند :

الف) بتن با پلیمر تزریقی (PIC)
در برابر سایش، یخ زدگی، آب شدن و حملات شیمیایی نیز مقاوم تر می باشد که همه این بهبودها در نتیجه ی تخلخل و نفوذپذیری کم تر بتن با پلیمر تزریقی است.

ب) بتن پلیمری (PC)

ج) بتن پلیمری ساخته شده با سیمان پرتلند (PPCC)
در این بتن هرگز از مواد حباب زا نباید استفاده شود

(۵) بتن گوگردی (SC) :

این بتن شامل گوگرد و سنگدانه های ریز و درشت است و **آب و سیمان** ندارد.

۲۰٪ گوگرد + ۳۲٪ ریز دانه + ۴۸٪ درشت دانه + ۵٪ سلیس بهترین نسبت وزنی اجزاء می باشد.

در مقایسه با بتن معمولی، بتن گوگردی سریع تر به مقاومت می رسد و در شرایط دمایی و رطوبتی معمولی، **۹۰٪ مقاومتش را در ۶ تا ۸ ساعت بدست می آورد.**

مقاومت بالا در سنین اولیه و پایایی خوب شیمایی، بتن گوگردی را برای استفاده در قطعات پیش ساخته و کارخانه های صنعتی مناسب می سازد.

تزیق گوگرد در بتن معمولی مقاومت های **فشاری و خمشی** را در حد چشمگیری افزایش می دهد.

مقاومت این بتن در مقابل حمله ی سولفات ها و اسید ها و تناوب های یخ زدن و آب شدن خوب می باشد.

(۶) بتن الیافی (FRC) :

از ترکیب بتن معمولی و الیاف مجزا و غیرپیوسته مانند پنبه نسوز، انواع مخصوص کف و سلولز و یا موادی مانند شیشه، فولاد، کربن، و پلیمر ساخته می شود.

مقدار مصرف الیاف کم و معمولاً ۱ تا ۵ درصد حجم بتن است.

هدف از مسلح نمودن بتن با الیاف، افزایش **مقاومت کششی**، **جلوگیری از توسعه ی ترک ها** و افزایش سختی به وسیله ی انتقال در عرض مقطع یک ترک می باشد که در مقایسه با بتن بدون الیاف، امکان تغییر شکل های بزرگ تری را فراهم می شود.



۷) بتن غلتکی (RCC) :

بتن متراکم شده با غلتک، بتنی با **اسلامپ صفر** است که با ارتعاش توسط غلتک ها محکم و سفت شده است. کاربرد در سدها، اجرای سریع تک تک لایه های روسازی بزرگراه ها و گذرگاه ها و اجرای چند لایه ی پی ها می باشد. این بتن باید به **اندازه ی کافی خشک** باشد تا در حین اختلاط و تراکم امکان پخش یکنواخت خمیر سیمان در بتن فراهم شود.

۸) بتن خودمتراکم (SCC) :

بتن خود تراکم از آخرین دستاوردهای تکنولوژی بتن است .

مهم ترین ویژگی این بتن آن است که **نیاز به تراکم نداشته** و **تحت وزن خود** و در قالب قرار می گیرد .

کمبود روانی بتن معمولی باعث می شود که بتن در مناطق محدود و مناطقی که دارای **تراکم آرماتور** باشند به خوبی نفوذ نکرده و بتن پوک یا کرمو اجرا شود که با استفاده از بتن خودمتراکم شونده میتوان سازه های با تراکم بالای آرماتور را به راحتی بتن ریزی نمود

برای ساخت این نوع بتن از مواد افزودنی فوق روان کننده و کاهنده های قوی آب استفاده می شود

۹) بتن توانمند و فوق توانمند (UHPC - HPC) :

مقاومت به تنهایی نمی تواند جوابگوی کلیه خواص مربوط به بتن بخصوص دوام آن باشد و لازم است در طراحی بتن برای مناطق مختلف علاوه بر مسأله مقاومت و تحمل بارها در طول مدت بهره دهی، پایداری و دوام آن نیز مد نظر قرار گیرد.

به طور کلی بتن توانمند به بتنی اطلاق می شود که همزمان دارای کارایی بالا، مقاومت فشاری خوب و دوام بسیار عالی است .

هر بتن HSC (با مقاومت بالا) یک بتن HPC است ؛ ولی عکس آن صادق نمی باشد

در ساخت بتن های HPC بهتر است از سنگدانه های سیلیسی استفاده نمود. زیرا این سنگدانه ها هم دوام و هم اقتصاد طرح را تأمین می کنند.

در ساخت بتن های با دوام بالا نمی توان از هر ماده آب بندی استفاده نمود و تنها آب بندهایی که در برابر حرارت و خوردگی مقاوم می باشند قابل استفاده در اینگونه بتن ها می باشند.

۱۰) بتن پاششی یا شاتکریت (Shotcrete) :

شاتکریت را می توان به عنوان بتن یا ملاتی که از طریق شیلنگهای لاستیکی حمل شده و با استفاده از هوای فشرده با **سرعت زیاد به سطح مورد نظر پاشیده** می شود، تعریف کرد.

بطور معمول ، **نیاز به قالب بندی ندارد** و بدین ترتیب هزینه های قالب بندی و تجهیزات نیروی انسانی و زمان انجام عملیات بطور قابل ملاحظه ای کاهش می یابد . عدم استفاده از قالب سبب می شود که کارگر بتواند فضای کار را دیده و بتن را به شکل مناسبی بین میلگردها جای دهد .

- امکان اجرای سازه های بتنی با اشکال منحنی ، مدور و غیر منظم (مثل استخر و آبگیر) - امکان **تثبیت کوهها و صخره ها با پوشاندن آنها با یک شبکه مش و پاشیدن بتن روی آنها**

- روکش کردن پایه پلها و لاینینگ تونلها
- افزایش ضخامت لوله های بتنی در محیطهای خورنده و خطرناک در مقابل آتش
- مقاومت مکانیکی بهتر نسبت به شاتکریت مخلوط خشک
- چسبندگی بهتر بین بتن و میلگرد
- کاهش نفوذ پذیری و آب بندی مناسب

از این نوع شاتکریت می توان در اجرای سرریزها ، لاینینگ تونلهای انحراف ، روکش کردن بدنه سد (بمنظور تقویت سازه ای) و **تثبیت دیوارهای حایل و کوههای اطراف سد** استفاده کرد



(۱۱) سایر بتن های ویژه:

- ۱- بتن خود تمیم شونده
- ۲- بتن فروسیمانی
- ۳- بتن پیش ساخته
- ۴- بتن نسوز
- ۵- بتن اتوکلاو شده
- ۶- بتن مسلح با سیستم پیش تنیده و پس تنیده
- ۷- بتن مسلح با FRP
- ۸- بتن تزئینی یا بتن اکسپوز
- ۹- بتن بازیافتی یا بتن سبز

زندگی قانون باورها و لیاقت هاست

همیشه باور داشته باش که لایق بهترین هایی



Thank you