جزوه درسی تکنولوژی بتن: سرکار خانم مهندس معینی پویا

تعریف بتن:

بتن در مفهوم بسیار وسیع به هر ماده یا محصولی که از یک ماده چسبنده با خاصیت سیمانی شدن تشکیل شده باشد اتلاق می شود. این ماده چسبنده عموماً حاصل فعل و انفعال سیمان های هیدرولیکی و آب می باشد. بتن ممکن است از انواع مختلف سیمان و نیز پوزولان ها، سرباره ی کوره ها، مواد مضاف، گوگرد، مواد افزودنی، پلیمرها و الیاف و غیره تهیه شود. همچنین در نحوه ی ساخت آن ممکن است از حرارت، بخار آب، اتو کللو، خلاء، فشارهای هیدرولیکی و متراکم کننده های مختلف استفاده شود. اولین سوال جواب دادن به این سوال است که بتن خوب و بتن بد را چگونه بشناسیم؟ بتن بد یا ضعیف بتنی است به روانی سوپ که پس از سخت شدن کرمو می شود و غیر همگن و بسیار ضعیف خواهد بود و طرح اختلاط بتن آب، سیمان و دانه های سنگی می باشد که با کمی تفاوت در میزان اختلاط آن ها بتن نامطلوب بدست می آید. و اما در مورد بتن خوب باید چه در موقع سخت شدن و چه در حالت تازه، زمانی که از مخلوط کن تخلیه شده و در قالب ها ریخته می شود، مورد پذیرش واقع شود و روانی و غلظت بتن تازه طوری باشد که با وسایل موجود در کارگاه بتوان آن را متراکم کرد و چسبندگی مخلوط باید بحدی باشد که در ضمن حمل و ریختن بتن موجود مواد از یکدیگر جدا شوند. در مورد بتن سخت شده مقاومت فشاری به عنوان معیار پذیرش در نظر گرفته می شود که عددی که بدست می آید برای مقاومت فشاری تنها کیفیت بتن را نشان می دهد و همچنین علت دیگر سنجش بتن براساس مقاومت فشاری آن این است که بسیاری از خواص دیگر بتن به مقاومت آن مربوط می شود شامل وزن مخصوص، نفوذ پذیری، تا حدی ، مقاومت در برابر فرسایش، مقاومت در برابر ضربه، مقاومت کششی، مقاومت در برابر حمله سولفات ها و بعضی خواص دیگر.

مواد تشکیل دهنده ی بتن :

الف) سنگدانه ها

ب) سیمان

ج) آب

د) افزودنی ها

نواقص و آسیب های رایج بتن :

۱- کرمو شدن

۲- نواقص سطح بتن : که ناشی از موارد زیر می باشد :

الف) کنج ها

ب) ترک ها

ج) نشتی

د) درز قالب

ه) ناهمواری های سطح

۳- عدم وجود پوشش مناسب (cover)کاور درآیین نامه بتن ایران (آبا) ستون وتیر ۳-۸ ودردال ۲ سانتیمترو در فونداسیون و سازه های کنار دریا ۷ سانتیمتر می باشد .

انواع بتن و کاربرد آن ها :

بتن سبک : این بتن ها وزن مخصوصشان به طور قابل ملاحظه ای کم تر از وزن مخصوص بتن ها ی 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 :

۱) با استفاده از سنگدانه های سبک و متخلخل که وزن ظاهریشان کم تر از ۲.۶ می باشد، این نوع بتن به عنوان بتن دانه سبک شناخته می شود.

۲) 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، بتن متخلخل، بتن کفی یا گازی شناخته می شود.

۳) 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.

که واضح است که حضور این حفره ها مقاومت بتن سبک را در مقایسه با بتن معمولی کاهش می دهد.این بتن به دلیل در میان داشتن حباب های هوا، عایق حرارتی خوبی بوده و دوام رضایت بخشی دارد. اما در مقابل سایش مقاوم نمی باشد و معمولاً این بتن گران تر از بتن معمولی است و اختلاط ، حمل و نقل و ریختن آن محتاج دقت و مواظبت بیشتری نسبت به بتن معمولی است.به هر حال برای برخی مقاصد، مزایای بتن سبک مهم تراز نقایص آن می شود. و موارد مصارف آن در بتن پیش تنیده، ساختمان های بلند و حتی پوسته های سقف تمایل روز افزونی وجود دارد و این بتن را براساس هدف کاربرد آن طبقه بندی می کنند که شامل بتن های سازه ای سبک، بتن های سبک مورد مصرف در واحدهای بنایی، بتن های سبک جدا کننده می باشد که مقاومت فشاری بتن سازه ای سبک ۲۸ روزه ی نمونه های استوانه ای از ۱۷۰ $\frac{kg}{cm^2}$ نباید کم تر باشد، وزن حجمی آن در حالت خشک از ۱۸۴۰ $\frac{\mathrm{kg}}{cm^3}$ نباید تجاوز کند که وزن حجمی آن معمولاً بین ۱۴۰۰ تا ۱۸۰۰ $\frac{\mathrm{kg}}{cm^3}$ می باشد ، و مورد بتن بنایی دارای وزنی بین ۵۰۰ تا ۸۰۰ $\frac{\mathrm{kg}}{cm^3}$ و مقاومتی بین ۷۰ تا ۱۶۰ $\frac{\mathrm{kg}}{cm^2}$ می باشد. خصوصیات اصلی بتن جداگر، ضریب انتقال حرارت آن است که باید کم تر از ۰.۳ $\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{m^2S^\circ Cm}}$باشد و وزن حجمی آن کم تر از ۸۰۰ $\frac{\mathrm{kg}}{cm^3}$ باشد و مقاومت آن بین ۷ تا ۷۰ $\frac{kg}{cm^2}$ باشد. مزایای استفاده از بتن سبک، 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. کاربرد بتن سازه ای سبک در مرحله ی اول اقتصادی بودن آن می

باشد. در کاربرد سنگدانه های سبک در مخلوط بتن به انواع سنگدانه های طبیعی و مصنوعی می توان اشاره کرد که سنگدا نه های طبیعی سبک شامل سنگ پا، سنگ پوکه، جوش های آتشفشانی وتوف می باشد که منشا آتش نشانی دارند که از بین این ها سنگ پا یک جسم آتشفشانی کفی شکل با رنگ روشن و وزن مخصوص ظاهری حدود ۵۰۰ الی ۹۰۰ $\frac{kg}{cm^2}$ و خصوصیات خوب عایق سازی اما با انقباض و جذب آب بالا بتن رضایت بخشی را ایجاد می کند، همچنین در مورد پوکه سنگ که یک سنگ شیشه ای حفره دار است و مشابه با سربارهای صنعتی می باشد و چنین بتنی را ایجاد می کند.

انواع سبک دانه هایی که به عنوان مصالح در ساختار بتن سبک استفاده می شود :

الف – سبک دانه طبیعی : مانند دیاتومه ها ، سنگ پا ، پـوکه سنگ ، خاکستر ، تـوف که بـجز دیاتومه ها بقیه آنها منشاء آتشفشانی دارند .

نکته ۱ : این نـوع سبک دانه ها معمولاً بدلیل اینکه فـقـط در بعـضی از جاها یـافت می شوند به میزان زیاد مصرف نمی شوند ، معمولاً از ایتالیا و آلمان اینگونه مصالح صادر می شود .

نکته ۲ : از انـواعی پـوکه معدنی سنگی که ساختمان داخـلی آن ضـعیف نباشد بتن رضایت بـخـشی با وزن مـخـصوص ۷۰۰ الی ۱۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب تولید می شود که خاصیت عایق بودن آن خوب می باشد اما جذب آب و جمع شدگی آن زیاد است . سنگ پا نیز دارای خاصیت مشابه است .

ب – سبک دانه های مصنوعی :این سبک دانه ها به چهار گروه تقسیم می شوند :

۱- گروه اول : که با حرارت دادن و منبسط شدن خاک رس ، سنگ رسی ، سنگ لوح ، سنگ رسی دیاتومه - ای ، پرلیت ، اسیدین ، ورمیکولیت بدست می آیند .

۲- گروه دوم : از سرد نمودن و منبسط شدن روباره کوره آهن گدازی به طریقی مخصوص بدست می آید .

۳- گروه سوم : جوشهای صنعتی (سبکدانه های کلینکری) می باشند .

۴- گروه چهارم : مـخلوطی از خاک رس با زباله خانگی و لـجن فـاضلاب پردازش شده را می توان به صورت گندوله در آورد تا با پختن در کوره تبدیل به سبک دانه شود ولی این روش هنوز به صورت تولید منظم در نیامده است .

بعبارتی :

بتن ساخته شده از سنگدانه های رسی و شیلی مقاومت بالاتری نسبت به بتن های ساخته شده از سنگدانه های سبک تر دارند.

بتن های جداساز از پرلیت ساخته می شوند، چون این سنگ تا شروع گداختگی به سرعت گرم می شود، به خاطر متصاعد شدن گازها منبسط می شود و یک مصالح متخلخل تا وزن حجمی ظاهری بین ۳۰ تا ۲۴۰ $\frac{\mathrm{kg}}{cm^2}$ ایجاد می کنند که به خاطر مدول الاستیسته پایین دارای مقاومت خیلی کم و انقباض خیلی زیاد می باشد. از مزایای آن این است که سریع خشک می شود، ومی توان آن را به سرعت جدا نمود.

بتن ساخته شده با ورمیکولیت که سنگدانه ای مصنوعی است دارای مقاومت خیلی پایین و انقباض بالایی خواهد بود ولی یک عایق حرارتی عالی است..

سرباره های کوره ی تولید آهن را هنگام تخلیه مقدار محدودی آب به صورت خیلی ریز روی آنها پاشیده می شود و گازی تولید می کند و سرباره را که هنوز خمیری است را متورم می کند (باردار) میکند و به صورت متخلخل شبیه سنگ پا سخت می شود (روش فواره ی آب) که بتن ساخته شده با آن وزن حجمی بین ۵۵۰ تا ۱۷۵۰ $\frac{kg}{\mathrm{m}^3}$ را دارد.

در کوره های تولید آهن اگر سرباره ی مذاب توسط آب منبسط شود و پس از خرد کردن آن به صورت ذرات ریز، در معرض هوا قرار می گیرد تا گلوله های صیقلی تشکیل شود که به آن گندوله گفته می شود.

مقاومت :

بتن سازه ای ۱۰۰-120	بتن با مقاومت متوسط 60-80	بتن جدا کننده 20-40
رس و شیل منبسط شده به روش خاکسترهای بادی و سرباره ای منبسط شده		
رس منبسط در کوره دوار	پوکه سنگ ، سنگ پا	
		پرلیت ، ورمیکولیت

خصوصیات بتن سبک :

بتن سبک ماده ای است با ترکیبات جدید و فوق العاده سبک و مقاوم .

مواد تشکیل دهنده بتن سبک عبارت است از ورموکولیت ، پرلیت ، سنگ بازالت و سیمان تیپ ۲ و ...

در این بتن همانند بتنهای عادی ، از ماسه استفاده نمی شود .

عدم وجود ماسه باعث سبک و همگن شدن ساختار بتن گردیده و باعث می شود که مواد تشکیل دهنده که تقریباً از یک خانواده می باشند و بهتر همدیگر را جذب کنند .

ساختمان این بتن متخلخل بوده و این مسئله پارامتر بسیار موثری است . چون تخلخل موجود در بتن باعث مقاوم شدن در برابر زلزله و عایق شدن در برابر صدا ، گرما و سرما می گردد .

ترکیبات این بتن به گونه ای عمل می کند که حالت ضد رطوبت به خود گرفته و به مانند بتن معمولی که جذب آب دارد عمل نکرده و آب را از خود دفع می کند .

این بتن تحت فشار مستقیم (پرس) ساخته می شود .

بدلیل شکل گیری بتن در فشار ، ساختار آن دارای یکپارچگی قابل قبولی است .

بتن سبک در قالبهای طراحی شده توسط متخصصین ، بصورت یکپارچه ریخته می شود .

بدلیل یکپارچگی در نوع ساختمان بتن ، قطعه تولیدی از استحکام بالایی برخوردار شده و مقاومت بالایی نیز در برابر زلزله از خود نشان خواهد داد .

برای تقویت این بتن از یک یا چند لایه شبکه فلزی در داخل بتن استفاده شده که این حالت همانند مسلح کردن بتن معمولی بوسیله میلگرد می باشد .

هزینه تولید این نوع بتن از دیگر مواد ساختمانی به نسبت ویژگی آن پایینتر است .

زمان بسیار کمتری جهت تولید دیوارهای بتنی سبک یا قطعات دیگر لازم است .

پرت مواد اولیه جهت تولید بتن سبک بسیار کمتر از بتن معمولی است . چون تمام مراحل تولید در محل مشخصی صورت گرفته و جهت تولید پروسه ای طراحی گردیده است .

بدلیل طراحی کلیه مراحل تولید و وجود نظارت بر تمامی این مراحل ماده تولیدی دارای استاندارد خاصی تعریف شده است . (مهندسی ساز)

خرید مصالح بطور عمده صورت می گیرد و هزینه کمتری برای سازنده در بر خواهد داشت و در نهایت خانه پیش ساخته با قیمت پائین تری عرضه می گردد .

قطعات تولیدی در کارخانه از آزمایشات کنترل کیفیت گذر کرده و در صورت تائید به بازار مصرف عرضه می گردد . بتن سبک مسطح بوده که می توان با یک ماستیک کاری ساده بر روی آن رنگ آمیزی کرد .

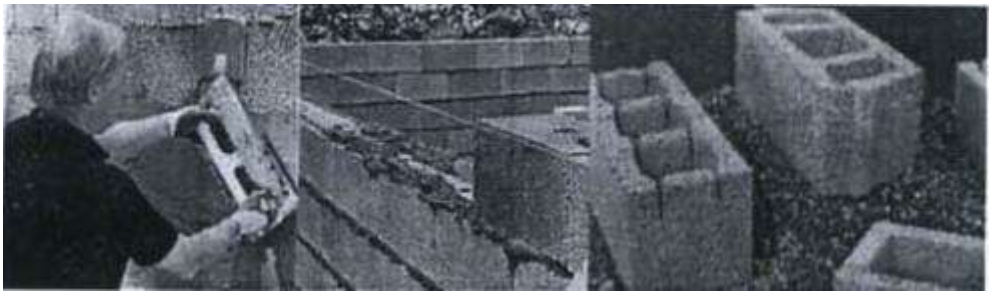
کاربرد بتن سبک در ساختمان :

الف) شیب بندی پشت بام : بهترین مصالح به لحاظ سبکی ، محکمی وهمچنین اقتصادی برای شیب بندی بتن فوم سم می باشد و می توان آن رابه صورت یکپارچه استفاده نمود (بتن با وزن ۳۰۰ الی ۴۰۰ کیلو) .

ب) کف بندی طبقات : o با توجه به خصوصیات فوم سم می توان بعد از اتمام کار تاسیسات ، تمامی کف طبقات ، محوطه و بالکن ساختمان را با آن پوشانید و عملیات بعدی را روی آن انجام داد (بتن با وزن ۳۰۰ الی ۴۰۰ کیلوگرم) .

ج) بلوکهای غیر باربر : o با بلوکهای تو پر فوم سم می توان (با ابعاد دلخواه) تمام تیغه بندیها ، دیوارهای جداکننده ساختمان را با استفاده از چسب بتن یا ملات بتن انجام داد . با استفاده از این بلوکها علاوه بر جلوگیری از سنگین شدن ساختمان ، عملیات حمل و نصب نیز بسیار سریع صورت می گیرد و دستمزد کمتری هزینه می شود .و پس از اجرای صحیح دیوار می توان مستقیماً روی آن گچ یا دیگر پوششهای

دلخواه را انجام داد (وزن مخصوص ۶۰۰ الی ۸۰۰ کیلو) .



د) دیوارهای جداکننده یکپارچه : o از این بتن می تـوان پـنلهای جداکننده مسلح ساخت که برای دیوار محوطه ، نماهای ساختمان ، دیوار سوله و ... کاربرد دارد . همچنین بعلت خصوصیات عایق بودن این بتن می توان از آن برای دیوارهای سردخانه ها ، گرم خانه ها (موتورخانه) ، سالنهای ضد صدا بصورت یکپارچه با قالب بندی عمری استفاده نمود (وزن مخصوص ۱۲۰۰ کیلو) .

ه) کاربردهای دیگر بتن سبک (فوم سم) :عایق سازی لوله های حرارتی و برودتی - عایق سازی لوله های گاز و کابلهای برق - جایگزین بتن سبک هوادار بجای خاک در پشت دیوارهای حائل - پوشش سازهای زیر زمینی بجای خاک مانند کانال های زیرزمینی - استفاده در راه ، پل ، تونل ، فرودگاه، سد سازی و ... - استفاده در ساخت فضاهای سبز - ساخت قطعات تزئینی (مجسمه سازی) - قابلیت استفاده از بتن فوم سم در ساخت ساختمانهای پیش ساخته - ساخت تجهیزات کامل تولید بتن سبک هوادار - ست ماشین ها برای ساخت (فوم سم) بتن سبک هوادار .

با توجه به آئین نامه جدید محاسبه ایمنی ساختمانها در برابر زلزله ، بکارگیری مصالح سبک وزن راه حل مناسب و با صرفه در جهت افزایش ایمنی ساختمان می باشد و بلوکهای بتن سبک (هبلکس) تامین کننده این مزیت فنی است . یک متر مربع بلوک هبلکس حدود ۶۰۰ کیلوگرم وزن دارد که برابر ۸۶۶ عدد آجر به

وزن ۱۷۵۰ کیلوگرم می باشد .

بعبارت دیگر یک عدد بلوک ۲۰*۲۵*۵۰ هبلکس مطابق با ۲۶ عدد آجر است در حالیکه وزن آن برابر وزن ۱۰ عدد آجر بوده و یک کارگر براحتی می تواند آن را حمل نماید و سریعاً نیز نصب می گردد . ضمناً ملات مصرفی برابر ٪۲۵ ملات مورد نیاز برای اجرای همان دیواربا آجر بوده وبه درصد سیمان کمتری نیز در ملات نیاز دارد . بعنوان مثال : چنانچه برای اجرای یک دیواربا آجر به یکصد کیلوگرم سیمان نیاز باشد همان دیوار در صورت استفاده از بلوکهای هبلکس ۱۵ کیلوگرم سیمان مصرف می کند .

همچنین بارگیری و حمل بلوکهای هبلکس که در قالبهای ۱۵.۳ مترمکعبی بسته بندی می شوند با استفاده از جرثقیل فکی و تریلی کفی براحتی و اقتصادی تر انجام می گردد . در این بتن ها، بتن هایی با وزن مخصوص ۳۰۰ تا ۱۸۵۰$\frac{Kg}{\mathrm{m}^3}$ و مقاومتی بین ۳ تا ۴۰۰ $\frac{\mathrm{Kg}}{cm^2}$ ساخته می شود با مصرف مقدار زیادی سیمان مقاومت را تا ۶۰۰ $\frac{\mathrm{kg}}{cm^2}$ افزایش می دهند که در این بتن ها مقدار سیمان از مقدار سیمان معرفی با سنگدانه های معمولی بیشتر و تا ۷۰ درصد بیشتر از آن تغییرمی کند.

مزایا و معایب :

مزایای فنی :

سبکی وزن ، عایق در برابر حرارت ، برودت صدا ، استحکام وپایداری در مقابل زلزله و آتش سوزی و بسیاری مزایای دیگر از محاسن بلوکهای هبلکس نسبت به سایر مصالح قدیمی نظیر آجر و سفال می باشد .قابلیت انتقال حرارت پایین در بتن دانه سبک در مواردی که به عایق سازی خیلی خوب نیاز است یک مزیت به شمار می رود ولی همین خاصیت در شرایط عمل آوری انبوه باعث افزایش دمای بیشتری می شود که باعث

بروز ترک های حرارتی در سنین اولیه می شود.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.

از معایب آن به دلیل تخلخل بالا، خاصیت جذب آب بالا و کاهش کارایی است علاج مشکل اختلاط سنگدانه با حداقل نیمی از آب مخلوط قبل از افزودن سیمان است ولی باعث افزایش وزن حجمی بتن و کاهش عایق سازی حرارتی می شود، که برای غلبه بر این مظرات می توان به روشی خاص سنگدانه ها را با قیر نفوذ ناپذیر کرد که به ندرت انجام می شود.

بعضی خصوصیات بتن دانه سبک در مقایسه با بتن معمولی :

- ✓ برای یک مقاومت برابر با بتن معمولی مدول الاتیسته ۲۵ تا ۵۰ درصد کم تر است و تغییر شکل ها بیشتر.
- ✓ مقاومت در برابر یخ زدن و آب شدن به دلیل تخلخل بیشتر سنگدانه های سبک بیشتر می باشد مشروط بر آنکه سنگدانه ها قبل از اختلاط اشباع نشده باشند.
- ✓ 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.
- ✓ راحت تر بریده می شود و ساده تر می توان وسایلی را به آن نصب کرد.
- ✓ برای مقاومت فشاری برابر با بتن معمولی، مقاومت برشی ۱۵ تا ۲۵ درصد و مقاومت پیوستگی ۲۰ تا ۵۰ درصد کم تر است.
- ✓ ظرفیتی کرنشی کششی در بتن سبک، در حدود ۵۰ درصد بیشتر از بتن معمولی است. از این رو توانایی تحمل حرکت های مقید شده، مثلاً در نتیجه ی تغییرات دمای داخلی در بتن سبک بیشتر می باشد.
- ✓ با داشتن مقاومت فشاری برابر با بتن معمولی، خزش بتن دانه سبک تقریباً مشابه با بتن معمولی است.

ویژگی های عمده بتن سبک :

۱- عامل اقتصادی :

سبکی وزن با مـقاومت مـطلوب فـوم بتن با توجه به نـوع کاربرد آن به طور کلی به لـحاظ اقتـصادی مخارج ساختمان را میزان قابل ملاحظه ای کاهش میدهد چون درنتیجه استفاده ازآن ، وزن اسکلت فلزی و دیوارها وسقف کاهش یافته وضمناً باعث کاهش مخارج فونداسیون وپی در ساختمان می گردد که با توجه به خواص فوق با سبکتر بودن ساختمان نیروی زلزله خسارت کمتری را در صورت وقوع متوجه آن می سازد .

۲-سهولت در حمل و نقل و نصب قطعات پیش ساخته :

حمل و نـقل قـطعات پیش ساخته با بتن سبک هزینه کمتری را نسبت به قـطعات بتن در بر داشته و نصب قـطعات به علت سبکی آنها بسیار آسان می باشد و هرگونه نازک کاری براحتی روی پوشش بتن سبک قابل اجرا است و ضمناً چسبندگی قـابل توجهی با سیمان و گچ دارد .

۳- عایق بودن در برابر گرما ، سرما و صدا :

بتن سبک به علت پایین بودن وزن مخصوصش یک عایق موثر در مقابل گرما ، سرما و صدا است .

ضریب انتقال حرارت بتن سبک بین ۰.۶۵۰ تا ۰.۴۳۵ می باشد (ضریب هدایت بتن معمولی 1.3 تا 1.7 می باشد) استفاده از بتن سبک بعنوان عایق باعث صرفه جویی در استفاده از وسایل گرمازا و سرمازا می گردد .

بتن سبک عایق مناسبی جهت صدا با ضریب زیاد جذب آگوستیک به شمار می رود که در نتیجه بعنوان یک فاکتور رفاهی در جهت جلوگیری از ورود صداهای اضافی می باشد که اخیراً مورد توجه طراحان قرار گرفته

است .

۴- مقاومت در برابر نفوذ رطوبت وآب :

نظربه اینکه بتن سبک درقشرهای سطحی دارای تخلخل فراوان میباشد درنتیجه شکافهای مویین و درزهای کمتری در سطح ایجاد می شود واگر پوشش فوم بتن با ضخامت کافی مورد استفاده قرار گیرد درمقابل خطر نفوذ باران و رطوبت مقاومت مطلوبی خواهد داشت .

۵- مقاومت در برابر آتش :

مقاومت بتن سبک در مقابل آتش فوق العاده می باشد .

به طور مثال قـطعه ای از نـوع بتن سبک با وزن فـضایی ۷۰۰ الی ۸۰۰ کیلوگرم در مترمکعب که حداقل ۸ سانتیمتر ضخامت داشته باشد به راحتی تا ۱۲۷۰ درجه سانتیگراد را تـحمل می نماید و اصولاً در وزن های پایین غیر قابل احتراق است .

۶- قابل برش بودن :

به دلیل قابل برش بودن با اره نجاری و میخ پذیر بودن آن کارهای سیم کشی و نصب لوازم برقی و تاسیسات خیلی سریع و به راحتی قابل عمل خواهد بود .

۲) بتن اسفنجی : Foom Concrete

بتن اسفنجی بتنی است که با ورود حباب های گاز در ملات خمیری، مصالحی با ساختار متخلخل که معمولاً درشت دانه ای در آن مخلوط استفاده نمی شود ساخته می شود.

بتن اسفنجی یک مخلوط سنگدانه درشت (شن) ، سیمان ،آب و ماسه به میزان اندک (وگاهی اوقات بدون

ماسه) است . در ساختار این بتن 25% - 15 (از لحاظ حـجم) فـضای خالی وجود دارد و این امر مـوجب عبور آب از داخل این بتن می شود .

دربتن اسفنجی از آب نسبت به دیگر انواع بتن کمتر استفاده میشود و این مساله باعث شده تاپس از ساختن مخلوط بتن آب آن به سرعت تبخیر شده و مخلوط در مدت یک ساعت کاملاً از آب تخلیه خواهد شد .

این نوع بتن بدلیل مقاومت نسبتاً پائین آن 400Psi الی 4000Psi اساس مشخص شده و پذیرفته شده ای برای مقاومت بالا نیست . و مساله مهم تر در موفقیت یک روسازی بتن اسفنجی مقدار پوکی (فضای خالی) آن است .

البته باید بدانیم که زیرسازی این بتن و زمین زیرینش نباید کاملاً غیر قـابل نـفوذ باشد و باید حداقل اندکی خاک و زیرسازی آن نـفتوذپذیری داشته باشد . در مناطق ماسه ای هـم بتن اسفنجی مستـقیماً بالای ماسه گذاشته می شود .

همچنین باید به این مـوضوع اشـاره کرد که یخ زدن آب در داخل ایـن بتـن مشکلی ایـجاد نمی کند ، زیـرا آزمایشهایی صورت گرفته که در آن بتن اسفنجی را به مدت بیش از ۱۵ سال در آب و هوای سرد گذاشته و آب باران و برف پس از ورود به داخل بتن یخ می زد .

نقش مواد افزودنی (مواد دارای خواص سیمانی) در بتن اسفنجی :

مـواد افزودنی (یا همان مـواد دارای خـواص سیمانی) که در بتن اسفنجی به کار می روند عبارتنداز : رقیق کننده های سیمان ، خاکستر بادی و پوزولان طبیعی ، روباره و بخار سیلیس .

حال به برخی از آن ها که نقش بسیار مهمی در ساختار بتن دارند و می توانند به جای سیمان مورد استفاده قرار گیرند (که در ایران ازآنها به ندرت استفاده می شود) اشاره می کنیم . درواقع این مواد بر عملکرد زمان گیرش ، میزان افزایش مقاومت ، تخلخل ، نفوذپذیری و ... دربتن تاثیر می گذارند ودریک کلام کلید عملکرد بالای بتن ، در استفاده از مواد افزودنی (SCMS) است .

گاز سیلیس (Silica Fume) :یک فرآورده فرعی (محصول جانبی) از تولید سیلیکون است ، و از دانه - های خیلی ریز و ذرات کروی شکلی تشکیل شده است و بطور موثری مقاومت و دوام بتن را افزایش میدهد . و بطورمکرر برای ارتفاعات بلند ساختمان ها به منظور افزایش مقاومت فشاری بتن (بااستفاده از گاز سیلیس مقاومت فشاری بتن از 20000Psi هم فراتر می رود) استفاده می شود و می توان از آن 5 - 12% به جای سیمان در بتن استفاده کرد .

خاکستر بادی (Fly Ash) : خاکستر بادی ، مـحصول فرعی انبار ذغـال سنگ سوزان در نیروگاه های برق است و سال ها قبل به عنوان ماده ای بی مصرف روی زمین انباشته می شد و بدون استفاده بود . اما حالا به عنوان یک ماده مهم در صنعت سیمان سازی بکار برده می شود و می توان از آن 65% - 5 به جای سیمان در بتن استفاده کرد .

روباره (Blast Furnace Slag) : روباره، محصول فرعی زباله در صنعت پولاد (فولاد) است ، وسهم آن در مقاومت و دوام بتن بیشتر است و می توان از آن 70% - 20 به جای سیمان در بتن استفاده کرد .

مزایای بتن اسفنجی چیست و موارد استفاده از آن کدام است ؟

بتن اسفنجی دارای مزایای اقتصادی وزیست محیطی فراوانی است،که البته مزایای زیست محیطی آن بیشتر مد نظر است . از مزایای اقتـصادی آن می توان به پایین آمدن خرج های فراوان به منظور هدایت آب باران و فاضلاب اشاره داشت . در واقع می توان گفت با وجود بتن اسفنجی نیازی به ساختن جوی های آب فراوان درسطح شهر وکنار خیابان و کوچه ها و همچنین کانال های بزرگ آب نیست . زیرا این بتن هرگونه بارندگی رامستقیماً به زمین وسفره های آب زیرزمینی منتقل میکند ودر واقع یک مزیت زیست محیطی نیز محسوب می شود . از دیگر مزایای زیست محیطی آن می توان به موارد زیر اشاره کرد :

۱- جلوگیری از بروز آب گرفتگی در معابر و مکان ها به هنگام بارندگی

۲- جلوگیری از آلوده شدن آب بارندگی ها (زیرا اگر زمین غیر قـابل نـفوذ باشد ، آب باران و برف در سطح زمین که آلودگی فراوان دارد جریان می یابد و منجر به آلوده شدن آب بارندگی می شود) .

۳- پر شدن ذخایر آب زیرزمینی

۴- در نقاط سرد که ماندن برف و باران روی زمین (بعد از بارش) منجر به سردتر شدن آن مناطق می شود می توان با استـفـاده از این بتن آب باران و برف را به داخل زمین هـدایـت کرد و از سردتتر شدن آن ناحیه جلوگیری کرد .

۵- همـچنین می توان از این نـوع بتن در مکان هایی که نیاز به زمین خـشک اسـت استفـاده کرد مـثلاً در زیرسازی چمن های استادیوم های فوتبال .

۶- همچنین در مناطق سردسیر ، بدلیل عبور آب از این بتن از یخ زدگی سطح معابر و در نتیجه ایجاد خطر

جـلوگیری می کند که شهرداری های مـحترم می تـوانند از این بتن در پیاده روسازی ها و مـحوطه سازی پارک ها ، پارکینگ ها و معابری که مشکل آبگیری دارند استفاده نمایند .

۷- ایجاد مناظری زیبابه هنگام بارندگی ،زیرابا وجود این بتن دیگرهنگام بارندگی آب گرفتگی وجود ندارد .

دو روش اسفنجی نمودن بتن :

۱) بتن گازی (Gas concrete) :

که در نتیجه ی یک واکنش شیمیایی که گاز را وارد ملات می کند که برای ایجاد حباب های گاز از پودر نرم آلومینیوم با نسبتی حدودا برابربا ۲ درصد مقدار سیمان استفاده می شود یا پودر روی و آلیاژ آلومینیوم.

۲) **بتن کفی (FO AMED CONCRETE)** : با افزودن ماده ای کف زا شامل بعضی شکل های پروتئین هیدرولیزه شده یا صابون صمغی. این بتن ممکن است بدون ماسه ساخته شود اما فقط برای کارهای غیر سازه ای مانند عایق سازی حرارتی. وزن حجمی آن ۸۰۰تا ۳۰۰ $\frac{kg}{m^3}$ است. خزش این بتن (نسبت تنش به مقاومت) به همان اندازه ی بتن معمولی است. هر چند براساس مقاومت فشاری مساوی، خزش مخصوص بتن اسفنجی بیشتر است. و در مقایسه با بتن دانه سبک با مقاومت مشابه دارای تغییر شکل حرارتی بیشتر، انقباض بیشتر و نفوذ پذیری بیشتر است. در برابر آتش مقاوم تر از بتن معمولی و قابلیت انتقال حرارتی آن پایین تر از بتن معمولی است. که به شکل بلوک ها یا قطعات پیش ساخته عمل آمده در بخار تحت فشار بکار می رود. و می توان در کف سازی ها به جای کاشی استفاده می شود. از مزایای آن این است که می توان آن را برید، میخ را نگه می دارد و به مقدار قابل قبولی پایا است. ولی درصد جذب آب در آن بالا است ولی سرعت نفوذ آب مادامی که حفره ها با مکش آب پر نشود پایین است به همین دلیل مقاومت نسبی خوبی در برابر یخبندان دارد و اگر دوغابی شود می توان آن را در ساختن دیوارها استفاده کرد.

بتن با مقاومت بسیار بالا :

با استفاده از سنگدانه های مرغوب با دانه بندی خوب می توان مقاومت بتن معمولی را تا ۱۰۰۰ $\frac{kg}{cm^2}$ افزایش داد. عامل اساسی کاهش تخلخل است که با مصرف بیش از ۵۰۰kg سیمان در متر مکعب، نسبت آب به سیمان پایین می آید و تراکم و نگهداری کافی حاصل خواهد شد. برای رسیدن به مخلوطی با کارایی معمولی، استفاده از یک روان کننده ی قوی ضروری است. بتن با مقاومت بسیار بالا، بتنی با مقاومت بین ۶۰۰ تا ۱۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع تعریف نمود. از آنجا که افزایش مدول الاتیسته 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، همچنین هر چه بتن مقاوم تر باشد شکننده تر است. از مزایای این بتن کاهش مقاطع ستون ها و یا همان سطح مقطع کاهش مقدار آرماتورها می باشد. با مصرف در این بتن در ساختمان های بلند، در نتیجه کاهش سطح مقاطع را افزایش سطح ، مقداری صرفه ی اقتصادی وجود دارد با استفاده از مقاومت بالا در پل ها می توان تعداد تیرها را کاهش داد. و معایب آن مقاومت برشی نسبتاً پایین ، افزایش خزش و انقباض ناشی از کاهش مقدار سنگدانه است.

بتن پلیمری :

بتن پلیمری (PC) یا بتن رزینی شامل یک چسباننده ی پلیمری که ممکن است ترمو - پلاستیکها باشند اما غالباً بیشتریک پولیمر ترموست می باشد ویک پرکننده ی معدنی مانند شن و ماسه ، شن ویا سنگ هاست . PC ها مقاومت بالاتر ، مقاومت بیشتر در برابر مواد شیمیایی و خورنده ها ، جذب آب کمتر و پایداری بالاتر در مقابل پدیده یخ زدگی - ذوب (ذوب مجدد) نسبت به بتن سیمان پرتلند رایج دارند .

پلیمر چیست (تفاوت بین ترموپلاستیکها و ترموستها) ؟

امروزه نـام پلاستیک به گروه بزرگی از مـواد اطلاق می گردد که از مواد معمولی مانند ذغال سنگ ، نمک و

نفت و گاز ، چوب وآب ساخته شده اند ،برای مثال رزین های فوران (Furan) از فورفورال ساخته می شوند که فور فورال از هیدرولیز اسیدی ضایعات و تفاله ی ذرت و نیشکر به دست می آید .

پلاستیک ها از چـنین مـواد معمولی و مواد ساده ی شیمیایی به نام منومر (Monomer) که می توانند با امثال خودشان ترکیب شوند ، تهیه میگردند . از واکنش این منومرها زنجیره های مولکولی تشکیل میشوند که پلیمر (Polymer) نامیده می شوند . منومر یک مولکول آلی است که قادر است به طور شیمیایی با مولکول های مشابه یا متفاوتی ترکیب شده و ماده ای با وزن مولکولی بالا به نام پلیمر تشکیل دهد. پلیمر شامل زنجیره ای از منومرها می باشد از نظر شیمیایی پلیمرها مواد بی اثری هستند که به دو دسته : ترمو پلاستیک ها که دارای حلقه های خطی، بلند و نواری هستند که عرضی به هم متصل نمی شوند و در گرم شدن خاصیت پرگشت پذیری دارند و ترموست ها حلقه هایی با جهت گیری اتفاقی هستند که به طور عرضی به هم متصل می شوند و با تغییرات و با خاصیت برگشت پذیری ندارند. 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 و ممکن است توسط عوامل اکسید کننده ی حرارتی، پرتوهای ماوراء بنفش و مواد شیمیایی و میکرو ارگانیزم ها فاسد شوند.

((ترموست : گرما سخت)) ترموپلاستیکها در اثر حرارت نرم و در اثر سرما سخت می شوند (بدون توجه به تعدادی که این عمل تکرار می شود) . این امکان از آنجا ناشی می شود که ترموپلاستیکها مطابق شکل (۱- الف) دارای زنـجیره های مولکولی خـطی می باشند که به هنگام سرما و گرما نسبت به هـم حرکت می کنند وبدون اینکه شکست مهمی در زنجیره ها صورت گیرد ، جامد می گردند . البته ازنظر تعداد دفعات گرم و سرد شدن در عمل محدودیتهایی وجود دارد . تعداد زیاد سیکل های گرم و سرد شدن می تواند باعث از دست دادن رنگ یا نرمی و در نتیجه تغییر در خواص محصول شود .

اکریلیکها ، سلونریـکها ، پلی اتیلن ، پلی ویـنیل کلراید (PVC) پلی استایرن ، پلی آلـومرها ، پلی کربناتـها ، پلی ایمید ،پلی پروپیلن ،پلی سولوفون ، فنیل اکساید ،نایلون ها ، متیل پنتن ها ،آیونومر، فلوئور پلاستیکها ، استال واکرینونیتریل بوتادی ان استامیرن (ABS) نمونه هایی از ترموپلاستیکها می باشند .

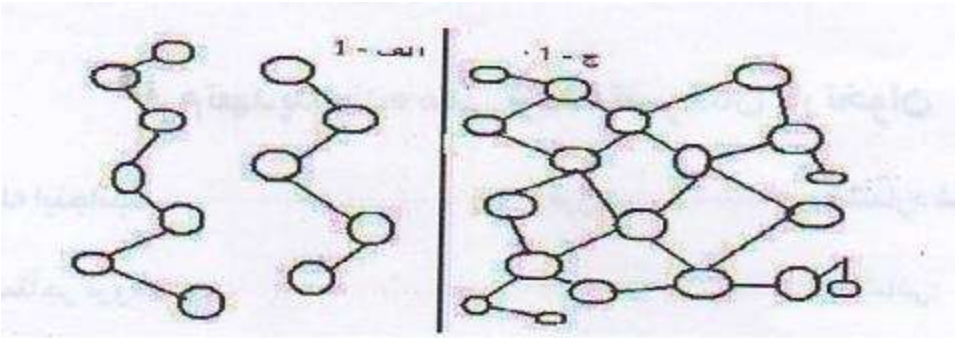
ترموستها مولکولهایی زنجیر مانند دارند و قبل از قالبگیری خیلی مشابه ترموپلاستیکها می باشند ،اما فرآیند پخت (Backing) و سخت شدن (Setting) آنها مطابق شکل (۱- ج) باعث تشکیل اتصالات عرضی بین زنجیره های مولکولی همسایه می گردد . در نتیجه محصول نهایی دارای ساختاری پیچیده و شبکه ای (Network) در هم رفته می باشد که در آن زنـجیره ها دیگر نمی توانند آزادانه حرکت کنند ، لذا اعـمال حرارت به این پلاستیک ها باعث ایجاد جریان خمیری یا نرم شدن آنها نمی گردد و این خود دلیل محکمی برای استفاده ی آنها در بتن سازی است .

آلکیدها ، آمین ها (اوره و ملامین فرمالدئید) ،دی آنیل فتالات (DAP)اپوکسی ها ، فوران ، فنولیکها ، پلی

استرها ، پلی اورتان و سیلیکونها از گروه های ترموستها می باشند .

به فرآیند ترکیب منومرها برای تـشکیل پـلیمرها ، پلیمریزاسیون می گویند (Polymerization)که به دو دسته و شکل تراکمی و افزایشی انجام می شوند .

گاهی اوقـات پلاستی سایزرها یا روان کننده ها (Plasticizers) را برای تسریع فرآیند تولید پلیمرها به مواد اولیه ی آنها می افزایند .



بتن های اصلاح شده پلیمری را می توان به دو دسته تقسیم کرد :

الف) بتن های پلیمری تزریقی(PIC)

ب) بتن پلیمر - سیمان (سیمان پلیمری) (PPCC-PC)

نوع اول با تزریق کردن یک نوع منومر در بتن سیمان پرتلند پیش ساخته سخت شده به دست می آید که بعداًبه پلیمر جامد تبدیل می شود . برای تولید نوع دوم قسمتی از سیمان چسباننده ی مخلوط بتن با پلیمر جایگزین می شود (معمولاً به صورت شیره مانند) .

هر دونوع در مقایسه با بتن معمولی ، دارای مقاومت بیشتر ، نفوذ پذیری آب کمتر ، مقاومت شیمیایی بیشتر و پایداری بیشتر در مقابل پدیده ی یخ زدگی - ذوب (ذوب مجدد) هستند .

بتن ساخته شده با سیمان پرتلند اگر چه به خاطر خواص خوب فیزیکی و به همین نسبت قیمت پایین تر از پر مصرفترین مصالح ساختمانی به شمار می آید ، لیکن دارای معایب زیادی از جمله مقاومت خمشی کم ، احـتمال آسیب دیدگی بر اثـر یـخبندان و مقاومت شیمیایی کم می باشد . این خـصوصیات برای مهندسین شناخته شده است ولی با این اوصاف در بیشتر کاربردها مجازند .

درموارد خاص این نقاط ضعف بتن را می توان با به کاربردن پلیمرهای آلی یا رزین (پلیمر تجاری) به صورت جایگزین یا به همراه و کمک سیمان پرتلند برطرف کرد . این مواد دارای محاسن بسیاری از جمله : مقاومت بیشتر ، دوام بیشتر ، مقاومت بیشتر دربرابر خوردگی ، نفوذپذیری آب کمتر و مقاومت بیشتر درمقابل پدیده یخ زدگی - ذوب های متوالی می باشند .

بطور کلی پلیمرها برای تولید سه نوع بتن به کار می روند :

بتن با پلیمر تزریقی (PIC) : ابتدا بتن معمولی ساخته شده با سیمان پرتلند را که خشک شده را توسط یک منومر مایع مثل استایرن اشباع کرده و یا با ایجاد خلاء در بتن به آن در دمای 15° تزریق تحت فشار انجام می شود و برای جلوگیری از ترک های حرارتی در قطعات بزرگ، لازم است سرعت گرم و سرد شدن بتن کنترل گردد دارای مقاومت فشاری کششی و ضربه ای و مدول الاتیسته بالاتر از بتن های اصلاح شده ی دیگر است و خرش و ترک های حرارتی در آن کم تر است و 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.

عارضه ی مهم این مواد این است که نسبت بزرگی از حجم حفره ها از پلیمرهایی پر شده اندکه تشکیل یک شبکه پیوسته ی تقویتی داده اند . این سازه های بتنی ممکن است در لایه های (اعماق) گوناگون یا فـقط در یک لایه ی سطحی تزریق بشوند که این بستگی به مقاومت یا دوامی که از سازه طلب می کنند دارد .

مهمترین عامل نامناسب برای استفاده از این فرآورده ها قیمت نسبتاً زیاد آنهاست بطوری که منومر استفاده شده در آنها گران قیمت می باشند و فرآیند تولید نیز پیچیده تر از بتن اصلاح نشده می باشد .

نتیجه ی تزریق بتن بهبود قابل ملاحـظه ای در مقاومت کششی ، فشاری و ضربه ای ، تقویت دوام و کاهش نفوذپذیری در مقابل آب و محلولهای نمک آبی ازقبیل سولفاتها و کلریدها ایجاد می کند . مقاومت فشاری از

35Mpa می تـواند تا 140Mpa، افزایش پیدا کند . جذب آب هم کاهش می یابد . همچنین مقاومت در مقابل پدیده ی یخ - ذوب (ذوب مجدد) بطور چشمگیری تقویت می شود . لازم به ذکراست که می توانیم با تزریق بخار دربتن (اتوکلاو شده) به مقاومت بیشتری هم برسیم .که این مواد یک نسبت مقاومت فشاری به چگالی ، نزدیک ۳ برابر فولاد دارد . اگر چه مدول الاستیسیته به طور متوسط بزرگتر از بتن های تزریقی پلیمری بخار داده شده است ، اما کرنش ماکزیمم در شکست بالاتر است .

منومرهایی که بیشتر به طور گسترده در تزریـق بتن استـفاده می شوند از نـوع وینیل هستند از قبیل متیل متاکریلیت (M . M . A) ، استیرن ، اکریلو نیترین ، و تی - بوتیل استیرن وینیل استات .

بتن پلیمری (PC) :

استفاده از کاتالیزوهای تسریع کننده در ترکیب منومر و سنگدانه ها می باشد قبلاً بتن پلیمری با پلی استر یا اپوکسی ساخته می شد اما امروزه از پلی استایرن و متاکرایلیت استفاده می شود. در مواردی چون تعمیرات سریع در بزرگ راه های پر ترافیک تولید دیوارهای پیش ساخته ی مسلح به الیاف شیشه، تولید موزاییک های کف، و تولید لوله های جدار نازک مسلح به الیاف شیشه مورد استفاده قرار می گیرد. بتن پلیمری (PC) یا بتن رزینی شامل یک چسباننده ی پلیمری که ممکن است ترمو - پلاستیکها باشند اما غالباً بیشتر یک پولیمر ترموست می باشد ویک پرکننده ی معدنی مانند شن وماسه ، شن ویا سنگ گسسته است . PC ها مقاومت بالاتر ، مقاومت بیشتر در برابر مواد شیمیایی و خورنده ها ، جذب آب کمتر و پایداری بالاتر در مقابل پدیده ی یخ زدگی - ذوب (ذوب مجدد) نسبت به بتن سیمان پرتلند رایج دارند . PC ها مواد مرکبی هستند که چسباننده ی آنها تماماً شامل پلیمرهای مصنوعی می باشند ، که اشکال متفاوتی ازآنها مانند بتن رزینهای مصنوعی ، بتن رزین پلاستیک یا بتن ساده رزینی شناخته شده اند .به دلیل استفاده از پلیمر به جای سیمان پرتلند افزایش واقـعی قیمت وجود خواهد داشت لذا پلیمرها فـقـط

باید در مواردی مصرف شوند که بتوان خواص فوق العاده آنها ، هزینه دستمزد کمتر ، انرژی کمتر در عمل آوری و جابجایی را با قیمت بالای آنها تـوجیه کرد . بنابراین مهم است که یک طراح و مهندس ، آگاهی کافی از قابلیت ها و محدودیتهای PC ها داشته باشد و با توجه به کارابودن و اقتصادی بودن محصول برای یک کاربری ویژه یکی را انتخاب کند .

بتن پلیمری ساخته شده با سیمان پرتلند (PPCC) :

با افزودن یک پلیمر یا منومر به بتن تازه ساخته می شود در این بتن هرگز از مواد حباب زا نباید استفاده شود، مزایای آن در مقایسه با بتن معمولی، بهبود پایایی و افزایش چسبندگی آن است و مقاومت در برابر یخ زدگی، سایش، آب شدن و بارهای ضربه ای از بتن معمولی بیشتر است در مواردی چون عرشه ی پل ها و دیوارهای جدا کننده پیش ساخته استفاده می شود. یک بتن اصلاح شده است که قسمتی از (۱۵٪ - ۱۰ وزن آن) سیمان چسباننده آن با پلیمرهای مصنوعی جایگزین شده است . این فرآورده از ترکیب کردن یک منومر ، پری پلیمر - منومر با یک شیره ی پلیمری داخل یک بتن سیمانی تولید می شود . پلیمریزاسیون منومرها و پری پلیمر - منومر نیز در اثر اضافه کردن یک کاتالیزور به مخلوط انجام می شود .

تکنولوژی این فرآیند خیلی شبیه به بتن معمولی است . بنابراین بتن پلیمر - سیمان را می توان در کاربری خواسته شده در جا ریخت .

برای دستیابی به اصلاح واقعی واساسی بیشتر ، ازبتن اصلاح نشده ، نسبت کاملاًزیادی از پلیمرهانیاز است که این اصلاح و بهبودی با افزایش قیمت توجیه پذیر نیست . نتیجه ی اصلاح بتن با شیوه ی پلیمری بهبود زیاد خواص درمحدوده یک هزینه معقول است . بنابراین گونه های زیادی از شیره ها (لاتـکس) در حال حـاضر برای استفاده در فرآورده های بتنی پلیمر - سیمان و ملات ها وجـود دارند . بیشتر شیره های لاتـکس معمولی بر پـایه ی پلی (متیل متاکـلریلیت)که لاتکسهای اکریلیکی نامیده می شوند مانند پلی (وینیل استات) وینیل کلراید کوپو لیمر ، پلی استیرن ، کوپولیمر ، پلاستیکهای نیتریل ، پلاستیکهای

طبیعی استوار شده اند و و هر کدام از فرآورده های پلیمرها صفت های فیزیکی اختـصاص به خود را دارند . مثلاً شیره ی آکریلیت یک ضد آب خوب پیوسته بین پلیمر اصلاح شده و اجزاء بتن فراهم می کند ،در حالیکه نتیجه ی استفاده از شیره ی استیرن یک مقاومت فشاری بالاست . عمل آوری شیره ی بتن پلیمر - سیمان با بتن معمولی متفاوت می باشد ،به دلیل اینکه پلیمر یک غشاء نازک روی سطح فرآورده ها تشکیل میدهد قسمتی از رطوبت داخلی نگهداری میشودکه برای ادامه هیدراتاسیون سیمان مورد نیاز است و به دلیل همین غشاء نازک تشکیل یافته ، عمل آوری با آب برای این محصولات عموماً کمتر از بتن معمولی است . عموماً بتن های پلیمر - سیمان ساخته شده از شیره ی پلیمر ، پیوستگی (پیوستن) عالی با آرماتورهای فولادی و بتن های کهنه ازخود نشان می دهند . شکل پذیری خوب، مقاومت در برابر نفوذ آب و محلولهای نمک آبی ، مقاومت در برابر پدیده ی یخ - ذوب از دیگر خواص آنها می باشد . مقاومت خمشی واستحکام (چقرمگی) آنهانیز معمولاً از بتنهای اصلاح نشده بیشتر است . مدول الاستیسیته ی آنها نیز می تواند بیشتر باشد (نه الزاماً) چرا که بستگی به شیره ی پلیمر مصرفی دارد . به طورکلی چون خزش (وارفتگی) غالباً بیشتر از بتن ساده می باشد می توان آن رابا استفاده ی یکی از شیرههای پلیمری پیشنهادی زیر کاهش داد : پلی اکریلیک ، استیرن ، بوتادین کرپلیمر ، پلی وینیلیدن کلراید . جمع شدگی ناشی از خشک شدن بتن پلیمر - سیمان نیز غالباً کمتر از بتن معمولی است . متوسط جمع شدگی بستگی به نسبت آب به سیمان ، مقدار سیمان ، مقدار پلیمر و شرایط عمل آوری دارد . و همچنین حساسیت آنها در مقابل دماهای بالا از بتنهای معمولی بیشتر است . برای مثال خزش (وارفتگی) در دمایی با اندازه ی بزرگتر ازبتن سیمان معمولی افزایش می یابد .درحالیکه مقاومت خمشی ، مدول خمشی و مدول الاستیسیته کاهش می یابد .این تاثیرات درمواد ساخته شده ازشیره های الاستومتریک (استیرن - بوتادین)بیشتر و بزرگتر است ، از مواد ساخته شده از پلیمرهای ترموپلاستیک (اکریلیک) .

به طور نمونه بتن پلیمر - سیمان ساخته شده با شیره های ترموپلاستیک در دمای حدود $45^{\circ}C$ تنها تقریباً 50%ازمقاومت خمشی ومدول الاستیسیته خود را نگه می دارد .

عمده کاربری بتن های پلیمر - سیمان حاوی شیره ها در موارد زیر می باشد :

سطح سقفها ، چون آنها بدون گرد و خاک و به نسبت ارزان می باشند . به دلیل جمع شدگی کم ، مقاومت خوب در مقابل نفوذ مایعات گوناگون از قبیل آب و محلولهای نمکی و خاصیت پیوستگی خوب با بتن های کهنه مخصوصاً برای کف سازی نازک (25mm)، روکش کف پلهای بتنی ،روکشهای ضد زنگ ، مرمت های بتنی و در وصله گذاری مناسب می باشند .

ترکیبات بتن پلیمری به طور کلی دارای خواص زیر می باشند :

مقاومت خوب دربرابر حمله ی شیمیایی ودیگر خورنده ها ، خاصیت جذب آب پایین ، مقاومت خوب دربرابر ساییدگی و ثبات و پایداری درمقابل پدیده ی یخ زدگی - ذوب (ذوب مجدد) . همچنین مقاومت بالای بتن پلیمری در مقایسه با بتن سیمان پرتلند اجازه ی مصرف تا بالای 50% کمتر از مواد را به ما می دهند .

این شرایط باعث می شوند که بتن پلیمری در یک سطح قابل رقابت با بتن سیمان پرتلند در کاربریهای ویژه قرار بگیرد . مـقاومت شیمیایی و خواص فیزیکی عـموماً تا اندازه ی زیادی به وسیله ی ماهیت چسباننده ی پلیمری مشخص می گردند تا نوع ومقدار پرکننده ها ،در واقع خواص ملات پلیمر هم به طور زیادی به زمان ودمایی که آنهاتولید میشوند بستگی دارد .خاصیت ارتجاعی چسباننده های پلیمری مقادیر خزش (وارفتگی) بالایی را ایجاد می کنند و این یک عامل محدود کننده در مصرف PC ها درکاربری های سازه ای است . این واکنش تغییر شکل ، بسیار زیاد متغیر است و بستگی به فرمول پلیمر مصرف شده دارد .

مدول الاستیسیته ممکن است بین 20Gpa تا حدود 50Gpa تغییر کند .کرنش ناشی ازگسیختگی کششی۱٪ می باشد و تغییر شکل ناشی از جمع شدگی نیزدر مقادیر مختلف با پلیمر مصرف شده ،تغییر می

کند .(زیاد برای پلی استر و کم برای چسباننده ی اپوکسی) .گونه های گسترده ای از منومرها و پری پلیمرها درتولید PC ها استفاده می شوند .

پلیمرهایی که اخیراً بیشتر استفاده می شوند ، به ۴ دسته تقسیم شده اند :

الف) متیل متاکریلیت (M . M . A)

ب) پلی استر پری پلیمر - استیرن

ج) سخت کننده ی پری پلیمر اپوکساید

د) فورفوریل الکل

بتن آکریلیک پلیمر (Acrylic Polymer Concrete) :

عمومی ترین پلیمرهای آکریلیکی شامل (پلی متیل آکریلیک) (PMMA) می باشند که از پلیمریزاسیون متیل متاکریلیت (MMA) حاصل شده اند . PC های ساخته شده از اکریلیک پلیمر به عنوان یک ماده ی چسباننده ی چند کاره مورد استفاده قرار می گیرند . مـقاومت عـالی در برابر هوازدگی و خاصیت خوب ضد آب ومقاومت خوب شیمیایی، جمع شدگی نسبت پایین (0.1% - 0.01) و ضریب انبساط حرارتی آن معادل بتن سیمان پرتلند می باشد . به دلیل خاصیت جذب آب بسیار کم این بتن ها مقاومت بسیار بالایی در برابر پدیده ی یخ - ذوب (ذوب مجدد) دارند .

تنها اشکال و ضعف این بتن ها درجه ی اشتعال پایین 11℃ منومر MMAمی باشند، بنابراینب اید یک شرایط ایمنی در نظر گرفته شود .

هر چند که منومر MMA گران تر از منومرهای پری پلیمر می باشد استفاده از PCهای پلی استری عمومی تر و رایج تر می باشد . به دلیل خواص غیر عادی و بی نظیرشان ، برای کاربری های متـعددی مناسب میباشند . شامل پلکان کارخانه های صنعتی ، محصولات بهداشتی ، سنگ جدول و صفحات نماسازی .

یکی دیگر از دلایل توسعه ی مصرف این مواد ، گیرش سریع (تندگیری) آنهاست . لذا ازآنها در وصله کاری - های ساختمانی و مرمت سوراخهای بزرگ در کف پلها نیز استفاده ی فراوان می شود .

بتن پلی استر (Polyester Polymer Concrete) :

به دلیل قیمت پایین ، چسباننده های پلیمری ساخته از پـلیمر پلی استر غیر اشباع گسترده ترین مصرف را دارند . این چسباننده ها دارای یک فرمول عمومی می باشند که این فرمول در 60 تا80 درصد منومرهای کوپولیمر موجود می باشند از قبیل استیرن و متیل متاکریلیت - استیرن .

PC های پلی استری مقاومت مکانیکی خوب ، خاصیت چسبندگی نسبتاً خوب به دیگر مواد ، مقاومت خوب شیمیایی و مقاومت در برابر پدیده یخ - ذوب دارند .

یک سری از اشکالات این PC ها زمان گیرش زیاد و جمع شدگی بعد از گیرش بالا (بیشتر از ۱۰ برابر بتن سیمان پرتلند) می باشد . این PC ها در پیش ساخته های مختلف و همچنین کاربریهای در جا ریخته در کارهای ساختمانی مورد استفاده قرار می گیرند . (در ساختمانهای عمومی و تجاری ، کفپوش ها ، لوله ها و آبروهای فاضلاب و پلکانها) .

بتن اپوکسی پلیمر (Epoxy Polymer Concrete) :

چسباننده ی اپـوکسی شبیه پـلی استر ، یک پـلیمر ترموست (گرما سخت) است . چسباننده ی اپوکسی با موادهای افزودنی عمل آورنـده های مـخـتلف سـخت می شوند . پلی آمینها (ترتیاری پلی آمین) بیشترین مصرف را دارند .استفاده از پلی آمین به عنوان سخت کننده (ماده ی افزودنی عمل آورنده) باعث می شود که PC حاصل دارای مقاومت شیمیایی بالایی بشوند . از دیگر افزودنیهای عمل آورنده می توان پلی آمیدها و پلیمرهای پلی سولفید را نام برد . PC های اپوکسی عـمل آورده شده با پـلی آمید دارای انـعـطاف پذیری بیشتر ، مـقاومت گرمایی بهتر و کاهـش سفیدک های ناشی از هـوازدگی خارج از ساختمان می باشند . ولی حلالیت پذیری و مقاومت شیمیایی آنها کمتر از محصولات عمل آورده شده با پلی آمین ها می باشد . PCاپوکسی های تولید شده با پلی سولفیدها هم محصولاتی با انعطاف پذیری بسیار بالاتر را موجب می گردند .

اپوکسی PC ها مقاومت چسبندگی بالایی با دیگر مواد ازخود نشان می دهند ، همچنین دارای جمع شدگی کمی (در مراحل مختلف گیرش) می باشند . مقاومت شیمیایی بالا و مقاومت دربرابر خستگی (Fatigue)وخزش (وارفتگی = Creep) ازدیگر خواص این محصولات است . بدلیل قیمت نسبتاً بالای چسباننده های اپوکسی ، این محصولات به طور گسترده ای نمی توانند مورد استفاده قرار بگیرند و تنها در کاربریهای ویژه که می توان ، آسانی و خواص خوب را با قیمت زیـاد توجیه کرد استفاده می شوند از قبیل ، نیاز به مـقاومت فیزیکی و شیمیایی بالادرکفپوشهای صنعتی ،نیاز به مقاومت لغزشی در روکشهای (پرکننده با ماسه ، سنگ سنباده ، سنگ پا ،کوارتز) بزرگراهها ، اپوکسی پلاستر برای دیواره های خارجی (پانلهای بتن دانه نمایان)، روکش کاری برای نواحی فرسوده و کهنه ، همچنین اپوکسی PC های تقویت شده (آرماتوربندی شده) با الیاف شیشه ، الیاف کربن ، و نیز در پانلهای پیشین ساخته ی نیم شفاف ، بدنه ی قایقها و بدنه ی اتومبیلها می شود .

بتن فوران پلیمر (Furan Polymer Concrete):

این پلیمر از فـور فـوریل الکل تشکیل شده است که از تـه مانده ها (پسماند) محصولات کشاورزی از قبیل ساقه ی ذرت ، ساقه ی برنج (شلتوک) و ساقه ی نیشکر بدست می آید . مـقـاومت شیمیایی بالا و مقاومت عالی در برابر دماهای مرتفع و شوکهای حرارتی از خصوصیات آنها می باشد .

بتن دیر گداز :

به مـخلوطی از سیمان ، انـواع پرکننده و ذرات ریز و آب گـفته می شود که در درجه حرارت معمولی حالت گیرش دارد و تمام موادی که شامل سیمان نیستند می تون شبه بتن (Concrete Type) بحساب می - آورند . لغت بتن بیان کننده عوامل چسباننده ی دانه های ریز هیدرولیکی که عمدتاً شامل ترکیبی از $Fe_2O_3 - Al_2O_3 - Sio_2$ با CaO که دراستانداردهای مشخص دارای خواص معینی هستند و بعد ازعمل ترکیب (بعد از 28 روز) به استحکام فشاری 3200 Psi می رسد که آن را بعنوان مینیمم استاندارد در نظر می گیرند . مهمترین بتن ها در این رابطه عبارتنداز :

بتن های سیمان پرتلند ، سیمان کوره بلند ، آلومیناهای مختلف که یکی از مشخصه های بارز همه ی آنها سختی هیدرولیکی آنهاست و کاربرد این بتنها تا منطقه زینتر شدن آنهاست .

مشخصات استاندارد بتن های دیرگداز عبارت است از :

بتن های دیرگداز در درجه حرارت های معمولی دارای اتصالات هیدرولیکی هستند و وقتی پـخته می شوند ازمرحله ی اتصال هیدرولیکی به مرحله ی اتصال سرامیکی تبدیل می شوند بدون آنکه استحکام آن کاهشی پیدا کند . بر طبق این استانداردها مخلوط های بتنی از نظر کارخانجات دیرگداز مخلوط های خشک شدنی در هوا نیستند که از مواد اولیه مقاوم در برابر حرارت با اندازه بندی 30mm - 0 و سیمان تشکیل شده اند .

به عبارت دیگر بتن های دیرگداز عبارتنداز :

بتن هایی که خواص مکانیکی و فیزیکی آن حتی بعد از مدت زمان زیادی که در حرارت های بالا تاحد قابل قبول باقی بماند .

ویژگیهای بتن دیرگداز :

تکنولوژی بتن دیرگداز را می توان در مقایسه با بتن معمولی یا در مقایسه با مواد دیرگداز نشان داد . برای صاحبان تکنولوژی بتن ویژگیهای اصلی دراستفاده از پرکننده های دیرگداز خاص با مشخصات معین در نظر است واستفاده از پرکننده های خیلی ریز مثل خاک نسوز یااستفاده از سیمان آلومینیائی یا حتی چسب های غیر معمول تر دیگری مثل چسب شیشه و فسفات . انحراف از تکنولوژی بتن معمولاً خیلی کم بوده و درخور توجه نیست . از این نقطه اثر به سختی می توان انتظار داشت که بتن دیرگداز مواد تازه ای را عرضه کند در حالیکه مقادیر مشخصی دراستحکام ساختمانی برای بتن معمولی اهمیت دارد . این مقادیربرای بتن دیرگداز از اهمیت ناچیزی برخوردار است . زیرا تنشهای حرارتی که در بتن در حین سرویس و کار تحمل می کند اساس ساختار آن را تغییر می دهد .

از دیدگاه مهندسینی که با مواد دیرگداز سروکار دارند بتن دیرگداز دارای ویژگیهای خاص خود در نحوه ی تولید و کاربرد است . درحالیکه تکنولوژی مواد دیرگداز را می توان اینطور ترسیم کرد که تهیه مواد به شکل دلخواه در آوردن و سپس خشک کردن دریک زمان طولانی و نهایتاً در آتش قرار دادن . درحالیکه تکنولوژی پیش ریختگی بتن دیرگداز عبارت است از تهیه مخلوط و به فرم دلخواه درآوردن با ریختن و لرزش و سپس سخت کردن با پرس و سرانجام در زمان کوتاهی خشک می شود . استحکام مورد نیاز بدون پخت بدست می

- آید و بدین وسیله ما قادر به تولید شکل های پیچیده و مـختلف می باشیم بدون خطر ترک و تـغییر فرم .

مزایا واهمیت بتن دیرگداز درکارخانجات تکنو حرارتی را میتوان از نقطه نظر فنی و اقتصادی ملاحظه نمود.

اگر چه استفاده از این مواد گاهی به علت مقدار دما محدود می شود . وجود بتن های تولید شده در مقیاس وسیع با چسب های مـخصوص قـابلیت استفاده از آن را در دماهای خیلی بالا نشان می دهد . مـخلوط های بتنی از نـظر کارخانجات دیرگداز ، مخلوط های خشک شدنی در هـوا هستند که از مواد اولیه مقاوم در برابر حرارت با اندازه دانه بندی (300) میلیمتر و سیمان تشکیل شده اند . عاملهای چسبانده در چنین بتن هائی ، چسب های هیدرولیکی (معمولاً سیمانها) یا چسب های غیر هیدرولیکی (مثل چسب شیشه) میباشند . این نوع بتن ها ، موادی هستند که دارای فسفات ، چسب شیشه ، ماگنزیا (پریکلاس) می باشند . استحکام مورد نیاز بدون پختن بدست می آید و بدین وسیله قادر به تولید شکلهای پیچیده و مختلف میباشیم (سازه مونولیتیک) .{ عبارت ساده " سازه های مونولیتیک " به این معنی نیست که بتوان تمام دیوار را به معنای واقعی کلمه یکدست و یکپارچه ساخت . بلکه بیشتربدین معنی است که میتوان قسمتهای بزرگی را یکپارچه تهیه نمود . ازطرفی دیگر قطعات بدون شکل نباید بیش از اندازه بزرگ طراحی گردد زیرا در غیر این صورت تنشهای درون لایه دیرگداز آنچنان زیاد میشود که باعث بروز ترکهای ناخواسته و غیرقابل کنترل میشوند.}

خواص بتن های دیرگداز :

بتن های دیرگداز خود خواص معینی را دارا میباشند که آگاه بودن از آن ها نیز مهم است . به علاوه در نظر داشتن آنها در هنگام انتخاب مواد و دستیابی به درک صحیح از رفتار بتن تحت شرایط کاری ضروری است .

مهمترین این خواص در طبقه بندی زیر گنجانده شده است :

جزوه درسی تکنولوژی بتن: سرکار خانم مهندس معینی پویا

۱- خواص فیزیکی و مکانیکی :

مهمترین خواص فیزیکی و مکانیکی : چگالی ، تخلخل ، قابلیت هدایت حرارتی و انبساط حرارتی می باشد .

وزن مخصوص : وزن مخصوص بتن های مقاوم دربرابر حرارت (دیرگداز) تابعی ازترکیب آنها ، نمونه سیمان ، پرکننده ، مخلوط و نسبت های آنها میباشد .

چگالی : چگالی بتن های نسوز تابعی از دانسیته ، غلظت های مواد تشکیل دهنده و حجم تخلخل موجود در بتن است .

تخلخل و نفوذپذیری : چگالی و تخلخل نسبت معکوس با یکدیگر دارند . هرچند اغلب دراستفاده های عملی ،مجموع تخلخل مواد نسوز مهم نبوده بلکه مورد مصرف نسبت تخلخل بسته به تخلخل باز (ظاهری) که در تماس با اتمسفر است میباشد . بعد از پختن تخلخل زیاد میشود ، زیاد شدن تخلخل بستگی به عواملی دارد که مـهمترین آنها ، دما و سـطح واکنش است که بین عامل اتـصال و پرکننده رخ می دهد . نـفوذپذیری نیز تابعی از قطر و تخلخل میباشد . نسبت آب به سیمان نیز عامل مهمی در نفوذپذیری است .

انبساط حرارتی : ضریب انبساط حرارتی بتن های دیرگداز به مـقدار زیـادی به ضریب انبـساط پـرکنـنده ها بستگی دارد .

گرمای ویژه : در بتن های دیرگداز ظرفـیت حرارتی پـرکننده ها مـعمولاً به عنوان فاکتوری تعیین کننده در ترکیب اصلی محاسبه میشود . گرمای ویژه پرکننده ها باید بدون هیچ خطای محسوسی تعیین گردد .

هدایت حرارتی : هدایت حرارتی مواد دیرگداز یک خاصیت پیچیده است که به هدایت حرارتی اجزاء تشکیل دهنده و همچنین به نحوه ی تراکم ، تخلخل و درجه حرارت بستگی دارد .

مقاومت سایشی و فرسایشی : در بسیاری از استـفاده های صنعتی دیرگداز ، سائیده شدن و فرسایـش مطرح هستند . در فرسایش تمام سطح ماده مورد حمله قرار میگیرد ولی در حالت سایشی فقط فازهای منیرالی که کمترین مقاومت را دارند مورد حمله قرار میگیرد . بنابراین یک رابطه مستقیم بین مقاومت فشاری با مقدار سیمان از یک طرف و میزان سایش از طرف دیگر وجود دارد .

۲- خواص شیمیایی :

در علم دیرگداز واژه " خواص شیمیایی " که بکار برده میشود شامل رفـتار مواد دیرگداز در ارتبـاط بـا سایر مواد که آستر با آنها تماس پیدا میکند ، می شود و این امر همچنین شامل خوردگی شیمیایی به وسیله مواد مذاب و دخول مواد خارجی بداخل و فرج آنها که باعث تغییر خواص آنها می شود . برای بتن های دیرگداز ، میتوان خواص شیمیایی را در حوزه های زیر بررسی کرد :

- رفتار بتن ها در حضور سرباره های حاوی اکسیدها و مواد مذاب .

- رفتار در برابر فلزات مذاب .

- رفتار در حضور گازها .

تقسیم بندی بتن های دیرگداز :

طبقه بندی جرمهای نسوز بر اساس تک تک ویژگی های اصلی آن ها که معمولاً دارای محدودیت هستند ، انجام می شود .

مواد اولیه مصرفی ، همچنین روشهای ساخت وکاربرد ، فاکتورهای دیگری هستند که معیارهای طبقه بندی جرمهای نسوز را تشکیل میدهند . از طرفی دیگر جرمهای نسوز را میتوان بر اساس درجه حرارت کار ، نـوع

عاملهای اتصال (چسباننده) ، نوع مواد پرکننده نیز تقسیم بندی نمود .

۱- تقسیم بندی بر اساس درجه حرارت :

نوع بتن	درجه حرارت	درجه حرارت کار
بتن هائی با دیرگدازی پایین	کمتر از 1500 درجه سانتیگراد	200 درجه - 1100 درجه سانتیگراد
بتن هائی با دیرگدازی متوسط (مقاوم در برابر آتش)	1500 درجه - 1790 درجه سانتیگراد	1100 درجه - 1300 درجه سانتیگراد
بتن هائی با دیرگدازی بالا	بیشتر از1790 درجه سانتیگراد	بیشتر از1300 درجه سانتیگراد

۲- تقسیم بندی بر اساس نوع اتصالات :

- بتن های دیرگداز ساخته شده از سیمان سرباره .

- بتن های دیرگداز ساخته شده از سیمان آلومینائی .

- بتن های دیرگداز با عامل چسباننده چسب شیشه .

- بتن های دیرگداز با عامل چسباننده ماگنزیا .

- بتن های دیرگداز با عامل اتصال هیدرولیکی (مانند : قیر ، قطران ، سولفیت) .

- بتن های دیرگداز با عامل اتصال شیمیائی (مانند : فسفاتها ، با افزودن اسید فسفرین به مخلوط) .

۳- تقسیم بندی بر اساس نوع مواد پرکننده :

- بتن های دیرگداز با مواد پرکننده غیر مقاوم در برابر حرارت (خرده آجر ، سرباره و ...) .

- بتن های دیرگداز با شاموت (خاک نسوز پخته نشده) .

- بتن های دیرگداز با آلومینات بالا .

- بتن های دیرگداز با کراندوم .

- بتن های دیرگداز با سیلیس .

- بتن های دیرگداز با مگنزیا .

- بتن های دیرگداز با کرومیت - ماگنزیا .

- بتن های دیرگداز با کاربید سیلسیم .

مواد اصلی بتن های دیرگداز :

۱- عامل چسباننده :

عاملهای چسباننده یکی ازمهمترین بخشهای متشکله بتن های دیرگداز می باشند که به دو دسته سیمانها و چسب ها تقسیم بندی می شوند :

الف) سیمان :

سیمان یکی از عوامل چسباننده ی در بتن های دیرگداز می باشد . سیمان های صنعتی معمولاً بعد از زینتر یا ذوب و آسیاب کردن بصورت پودرریزی در می آیند که هم دارای ساختمان کریستالی و هم غیر کریستالی می باشند . اجزای اصلی سیمانها عبارتنداز : $SiO_2 - CaO - Al_2O_3 - Fe_2O_3$و سیمان ها را به طور کلی به دودسته تقسیم می کنند :

۱- سیمانهای سیلیکاتی مثل سیمان پرتلند معمولی و سیمانهای سرباره ای (سیمان پرتلند آهن و سیمان

کوره بلند و سیمان سوپر سولفاته) .

۲- سیمانهای آلومینیائی مثل انواع سیمان آلومینیائی .

از انواع سیمانه که به طور معمولی تـهیه می شوند آن ها که در ساخت بتن های دیرگداز استـفاده می شوند عبارتنداز : سیمان پرتلند ، سیمان پرتلند آهن ، سیمان کوره بلند ، سیمان آلومینیای معمولی ، سیمان آلومینیای بالا و سایر سیمانها اهمیت محدود داشته یا در تحقیقات علمی بکار می روند .

ب) چسب های سرد گیر :

غیر آلی بدون آب : همانطور که گفته شد توسعه ی بتن های دیرگداز با گذر از مرزهای بتن با پایه سیمانی به تولید و استفاده از شبه بتن با چسب های دیگر رسیده است .

در اکثر موارد یک چسب مناسب یا ترکیبی از چسب ها به مخلوط های پودری افزوده میشود . این چسب ها استحکام کافی قـطعات خام را در هـنگام اجرای تمام مراحل فرآیند ساخت و حتی در مرحله مـصرف تامین میکند . انواع چسب ها در زیر نام برده شده است :

- چسب شیشه : یکی ازاین دست عامل های چسباننده چسب شیشه می باشد که چسب شیشه عبارت است از ترکیبات مختلف سیلیکات سدیم یا پتاسیم که در آب یا محلولند و یا مـخلوط کلوئیدی تشکیل می دهند و تقریباً به طور کامل هیدرولیز می شوند . عـمومی ترین چسب شیشه ای که استـفاده می شوند سـیلیکات سدیم غـنی از سیـلیسی است که شامل 4 - 2 مولکول گرم SiO_2و در یک مـولکول گرم سیلیکات سدیم است . گیرش در هوا انجام می گیرد که معمولاً همراه با استفاده از شتاب دهنده های گیرش (تـحت عنوان افزودنی ها) انجام می شود .

درمقایسه با سیمان پرتلند چسب شیشه بتنهایی ازنظر خواص فیزیکی شیمیایی قابل قیاس نمی باشد . البته غـیر از مدول الاستیسیته و دانسیته تنها نکته ی جالب تـوجه مشخـصه های حرارتی است که با استـفاده از چسب شیشه عـاید می شود . فـایده این ترکیبات که در بتن های دیرگداز چسب شیشه ای به عـنوان عامل چسباننده بکار می روند فعالیت شدید آنهاست که آنها را قادر می سازد تا با مواد پرکننده ی بسیار متنوع و مـختلفی ترکیب شوند و ترکیباتی تولید کنند که پایداری حرارتی خـوبی دارند و دیرگدازی بسیار خوبی هم دارند .

- چسب های ماگنزیایی : چسبهای منزیای سوزآور (محرق) " MgOزینتر شده " کمی حرارت دیده از محلولهای کلرید منیزیم یا سولفات منیزیم تهیه می شود .

- دولومیت : به خوبی شناخته شده است که اگر دولومیت تـحت شرایـط خاصی پـخته شود میتواند خواص اتصالهای هیدرولیکی را پیدا کند . با دولومیت ، اتصال دارای پایداری خوب در تغییرات سریع درجه حرارت می باشد . ولی دولومیت اهمیت تجاری ندارد .

- اسید فسفریک و فسفات : امکان ساخت ملات های کوبیدنی و آجرهای دیرگداز به وسیله استـفاده از اسید فسفریک یا فسفات به دست می آید . مـقدار اسید فسفریک یا فسفات به عوامل متعددی من جمله نوع مواد پرکننده ای که استفاده می شود بستگی دارد .

۲- مواد پرکننده :

در ساخت بتنهای معمولی می توان از شن و ماسه طبیعی بهره گرفت . سنگ های صخره ای و سنگ آهک برای بتن های متراکم و خاکهای نسوز یا خاکستر زینتر شده برای بتن های سبک وزن به عبارت دیگر برای

استـفاده از بتن ها در درجه حرارت بالا انتخاب مواد پرکننده باید بر اساس نـوع مصرفی که بر عهده ی آن است صورت می گیرد . خواص حرارتی بتن در درجه حرارت بالا بمقدار زیادی بوسیله انتخاب مواد پرکننده تعیین می شود بنابراین با انتخاب مواد مناسب مقاوم در برابر حرارت امکان تهیه بتن ها با مقاومت حرارتی بالا وجود دارد .

در بتن نسوز تنها مواد درشت تر که دارای اندازه دانه هایی بزرگتر از 0.2mm می باشد باید مورد استفاده قرار گیرد . مواد پرکننده ی ریز اغلب دانه های تشکیل دهنده اش از 0.1mm کمتر است . و بعنوان عامل تثبیت کننده با خواص شیمیایی مخصوص در بتن های دیرگداز ساخته شده با سیمان پرتلند مورد استفاده قرار می گیرند درحالیکه در بتن های چسب شیشه آنها بعنوان مواد پرکننده ی بسیار ریز micro - fillingعمل می کنند . بنابراین آنها به عنوان پرکننده عمل نمی کنند بلکه بیشتر مواد افزودنی هستند . خواص حرارتی بتن های درجه حرارت بالا به مقدار زیادی به وسیله مواد پرکننده تامین میشود . بنابراین با انتخاب مواد مناسب مقاوم در برابر حرارت ، امکان تهیه بتن هایی با مقاومت حرارتی بالا وجود دارد .

. انواع پرکننده ها را میتوان بصورت زیر نام برد :

- پرکننده های معدنی غیر مقاوم دربرابرآتش :که فقط برای استفاده دربتن های درجه حرارت پائین مناسب است نه برای بتن های پرکننده های معمولی فقط برای استفاده در بتنهای درجه حرارت پائین مناسب است نه برای بتن های دیرگداز ، زیرا مقاومت آن برای دماهای 1100 - 1000 درجه ی سانتیگراد مناسب است . من جمله مـواد طبیعی مثل دیابس و بازالت و مـواد مـصنوعی مثل خاک نسوز پـوک شـده با نام صـنـعتی

سرامسایت و SLATE پـوک شده ، ضایـعات صنعتی و مـحـصولات فرعی ، دیرگداز ورمیکولیت پوک شده وپرلیت . در بعضی شرایط بخصوص افزودنیهای دیرگداز مثل سرباره ها بتن دیرگداز بکار می روند . البته به شرطی که آنها اثر شیمیایی خوبی داشته باشند .

مواد طبیعی : سنگ های طبیعی که ضریب حرارت انبساطی آنهازیاد نباشد وتحت شرایط دیرگدازی انبساط حجمی نداشته باشند به عنوان پرکننده بکار می روند . مثل سنگهای کوارتز و شن .

در استفاده از سنگ آهک باید دقت شود زیرا که تغییراتی در خواص آنها در اثر از بین رفتن بوجود می آید .

ضایعات صنعتی و محصولات فرعی : سرباره هایی که از منابع مختلف تولید می شود اولین محصولات فرعی هستند که باید بررسی شـوند . تـعدادی از مـحـقـقان محدوده ی وسیع از سرباره ها را آزمایش کرده اند که توانسته اند اینها را به عنوان مواد پرکننده در بتن دیرگداز بکار برند .

پرکننده های مصنوعی : معمولی ترین مواد مصنوعی که بـعـنوان پرکننده بتن تولید می شوند پرکننده های سبک وزن مشخصی هستند برای تولید بتن سبک بکار می روند .

مثالهای این موارد ازخاکهای نسوز پوک شده (با نام صنعتی سرامسایت Ceramcite) و Slate پوک شده (بـانـام صنـعتی Glovulite) . ایـن مـواد برای سـاخته شدن بتن نسوز ستاخته شده است . انـواع دیـگر پرکننده های سبک شامل ورمیکولایت و پرلیت می باشند .

شاموت : متداولترین ماده ی پرکننده برای بتن های دیرگداز انواع مختلف شاموت های مقاوم دربرابر حرارت (ذرات شاموت مقاوم در برابر حرارت مثل خاک رس) است . از شاموت به میزان زیادی به عنوان افزودنی برای سیمان پرتلند و بتن های سیمان چسب شیشه استفاده می شود . شاموت از پختن کائولن های نسوز

در درجه حرارت بالا بدست می آید . شاموتها به دو نوع کوارتزی و معمولی تقسیم میشوند . اجزای اصلی آن SiO_2و Al_2O_3 و همچنین مقادیر کمی Fe_2O_3 وقـلیایی هاست که بسته به مواد اولیه آن فـرق می کند . درجه ی دیرگدازی اکثر شاموت های کوارتزی 1650 درجه ی سانتیگراد و شاموت های معمولی 1750 درجه ی سانتیگراد می باشد . درجه ی حرارت کار با افزایش درصد آلومینای از 1400 - 1200 درجه ی سانتیگراد فرق می کند .

- مواد محتوی آلومینای بالا : شناخته شده تـریـن آن ها گروه مولایت (ترکیبات مولایت) است که شـامل ترکیبات مولایت و شاموت های کراندومی است . مولایت دارای ضریب انبساط حرارتی پایین بوده و ضریب انتقـال حرارت آن با افـزایش حرارت به آهستگی کم می شود که این دو عامل ، پایه مقاومت خـوب در برابر تغییرات دما محسوب می شود .

- کراندوم : از کراندوم به علت نقطه ذوب بسیار بالای ، استحکام مکانیکی و مقاومت شیمیایی آن به مقدار بسیار زیاد ، بعنوان پرکننده برای بتن دیرگداز استفاده میشود . در حالت معمولی نیز انقباض بتن را کاهش می دهد .

- مواد محتوی منیزیا یا دولوما : مواد در این گروه اساساً دارای منیزیای ذوب شده یا زینتر شده یا دولومیت زینتر شده هستند . منیزیا و دولوما دارای مقاومت حرارتی بسیار بالا میباشند که علاوه بر استفاده در بتنهای سیمانی به عنوان مواد پرکننده در بتن های منیزیتی نیز بکار می روند .

- مواد محتوی کرومیت و کرومیت منیزیت .

- فـورستریت : فـورستریت ها مـوادی هستند که از زینترکردن سنگ های طبیعی سیلیکات منیزیم مثل

سرپنتاین اولیوین یا رونیت با افـزودن منیزیای زینتر شده یا قـلیا به وجود می آیند که اجزاء اصلی آنها فورستریت و پیریکلاس میباشد . فورستریت خالص در دمای 1890 درجه سانتیگراد ذوب میشود .

- کاربید سیلسیم : کاربید سیلسیم نام تجاری SiC است که وجود ناخالصی آن را بی اهمیت می سازد . این ماده ی سخت مقاومت زیادی در برابر حرارت های بالا دارد . نقطه ذوب ندارد ودر حرارت های بالای 2200 درجه سانتیگراد تجزیه می شود . در درجه حرارت های بسیار بالا به آهستگی اکسید می شود واین از معایب آن است . ضریب انبساط حرارتی آن پایین می باشد . از SiC خالص برای بتن های نسوز استفاده می شود .

۳- افزودنی ها :

افزودنی های خاص بمنظور بهبود کارپذیری و شکل دادن و یا کنترل ریز ساختار و محصولات دیرگداز برای دستیابی به خواص ویژه بکارگرفته میشوند . افزودنی هاتحت عناوین مواد پرکننده و چسب ها قرارنمیگیرند . عمده ترین افزودنی ها موادپودری شکل هستند که تثبیت کننده سرامیکی نیز نامیده میشوند وبرای بتنهای ساخته شده با سیمان پرتلند و چسب شیشه بکار میروند . افزودنیها همچنین شامل موادی که برای بهبود پلاستیسه ، شتاب دهنده ی گیرش و خواص زینتر در موقع حرارت دادن بکار می روند تحت این عنوان می - باشند .

افزودنی ها را میتوان بصورت زیر طبقه بندی نمود :

شاموت :

که در سطح وسیعی از آن استفاده می شود و مهم ترین افزودنی دانه ریز است و هر چه دانه های آن ریزتر باشد استحکام بتن بیشتر خواهد شد .

خاک رس :

پودر خاک رس نیز دراین زمینه مهم است . عمل پلاستیسیته آن نیز باید مد نظر باشد ودر بتن های سیمان پرتلند مدتهاست که استفاده می شود . در سیمان های آلومینیای ذوب شده به عنوان پرکننده ی بسیار ریز برای بـهبود پـلاستیسیته بتن تر یا افزودنی برای بدست آمدن استحکام بالاتر در درجه حرارت های متوسط بکار می رود .

تثبیت کننده های سرامیکی (مواد پودری شکل) :

که هدف آنها چسباندن و خنثی کردن آهک زیاد است . تثبیت کننده های سرامیکی : مهمترین افزودنی ها برای بتن دیرگداز یا سیمان پرتلند مواد پودری شکل ریز است که هدف آن چسباندن وآزاد کردن آهک زیاد است . آهک آزاد در ابتدا بصورت $Ca(OH)_2$ و بالای 550 در جه ی سانتیگراد به CaO تبدیل می شود و برای مواد شبه بتنی بنیان چسب شیشه افزودنیهایی ازاین نوع استحکام و اتصال چسب رابهبود می بخشند . این مواد به عنوان افزودنی های بسیار ریز در مقابل مواد پرکننده ی معمولی قـرار می گیرند و اطلاق تثبیت کننده های سرامیکی نیز کار آنها را می سازد .

تثبیت کننده ها دارای خصوصیات زیر می باشند :

۱- دانه بندی خیلی ریز تا بطور یکنواخت پخش شوند و سریعاً ترکیب شوند .

۲- ترکیب شیمیایی مناسبی داشته باشند .

نرم کننده (خمیری کننده) : این مواد گاه به بتن تر افزوده می شوند تا آب مورد نیاز بتن را کم کنند و بنابراین نسبت آب به سیمان را کاهش می دهند . آن ها خصوصیت خمیر شوندگی ذرات جامد را بهبود می

- بخشند و در نتیجه با کم کردن آب مورد نیاز ، کارپذیری ، استحکام و غیر نفوذپذیری بتن را افزایش می - دهند .

شتاب دهنده های گیرش : شتاب دهنده ها زمان گیرش رابه طور قابل ملاحظه ای کم می کنند و همچنین سبب میشوند که سریعاً استحکام بالایی بدست آید . شتاب دهنده ها این توانائی را نیز دارند که عملیات بتن کاری در درجه حرارت های زیرصفر را امکان پذیر نمایند . شناخته شده ترین شتاب دهنده ها کلرید کلسیم است که در ترکیب با سایر کلریدها استفاده میشود . با اضافه کردن درصد کمی (با توجه به درصد سیمان) زمان گیرش را به چند دقیقه می رساند بدون اینکه استحکام نهائی کاهش یابد یا انقباض افزایش پیدا کند .

عوامل زینتر کننده وجود منطقه استحکام بحرانی و در نتیجه محدودیت بحرانی برای استفاده از بتن های دیرگداز را در محدوده های درجه حرارت متوسط بهبود می بخشد . این با افزودن موادی که موجب زینترشدن و در نتیجه ایجاد واکنش های مناسب میشوند ، میسر است . تحقیقات نشان داده است که حتی شیشه پودر شده برای این منظور مناسب است ، گرچه درجه حرارت حداقل باید 850درجه سانتیگراد باشد (در درجه حرارت های پائین تاثیر پودر شیشه بر روی استحکام ، کم است) . عوامل تخلخل زا ، برای ساخت بتن های متخلخل یا لانه زنبوری از این عوامل استفاده میشود . برای با مخلوط ALتهیه بتن های گازی دیرگداز ، افزودن پودر آلومینیم به سیمان پرتلند بتن باعث واکنش آهک قلیا می شود

که در نتیجه هیدروژن متصاعد میشود و بتن متخلخل بدست می آید .

۴- آب :

آب یکی دیگر از موادی است که در ساختار بتن دیرگداز به کار می رود و نسبت آن باید بدقت رعایت شود و همچنین بکار بردن آبی که دارای ناخالصی است در بتن مضر است .

آب دو نقش اساسی دارد :

۱. مخلوط خشک مواد پرکننده و عامل چسباننده را قابل مصرف می سازد .

۲. با عامل چسباننده واکنش انجام داده و واکنش های آب گیری (هیدراسیون) و سخت شدن (گیرش) را سبب می شود .

انواع بتن دیرگداز :

انواع بتن های دیرگداز را میتوان به صورت زیر نام برد :

۱- بتن های دیرگداز با عامل اتصال سیمانی .

۲- بتن های دیرگداز با عامل اتصال چسب شیشه .

۳- بتن های دیرگداز ساخته شده با چسب منیزیایی .

۴- مواد دیرگداز شبه بتنی با عامل اتصال فسفات .

۵- بتن مسلح دیرگداز { بتن مسلح دیرگداز معمولاًدر سازه هائی بکارمیرود که دمای کار آنها از 200 درجه سانتیگراد تجاوز نکند (بندرت تا 350 درجه سانتیگراد مورد استفاده قرار میگیرد) . در دماهای بالابتن را با چدن خاکستری یاآجرهای دیرگدازحفاظت میکنند . بعلاوه سازه های با قاب فلزی یا قابهائی که با لایه های دیرگداز پـوشیده شده اند را برای تـقویت سازه هائی بکار میبرند که بایستی تحت بار باشند . طرح بتن های مسلح دیرگداز معمولاً مشکل می باشد ، زیرا تحت اثر دمای بالا و شرایط بارگذاری ، فولاد مسلح کننده باید طوری هماهنگ با بتن رفتار کند که اشکالی پیش نیاید . }

مزیت های بتن دیرگداز نسبت به نسوزهای معمولی :

۱- مصرف بتن های دیرگداز با قـاب فلزی این امکان را بوجود می آورد که از پوشش یک لایه بتنی استفاده شود و از مصرف آجرهای چند لایه و پیچیده جلوگیری شود ، بعلاوه به علت سادگی کار صرفه جوئی زیادی در زمان ساخت خواهد داشت .

۲- برای مصرف کننده به علت عوامل زیر کاهش هزینه دربر دارد :

- کاهش تعداد کارگر لازم .

- کاهش زمان ساخت و تعمیر پو شش های لازم .

- صرفه جوئی در هزینه و بهبود تولید .

۳- درمقایسه با آجرهای نسوز بتنهای دیرگداز اغلب درمقابل حملات شیمیائی مقاومت بالادارند . سائیدگی و سایش کمتر و سیکلهای حرارتی و سادگی مصرف ، باعث افزایش روزافزون استفاده ازاین نوع جرم دیرگداز شده است .

۴- عـواملی در تولید بتن دیرگداز وجود دارند که سبب کاهش هزینه تولید می شوند که عبارتنداز : نبود یا کاهش فرآیند پرس ، خشک کردن ، پختن و کم کردن تعداد کارگاهها و وسایل لازم .

۵- با مصرف قطعات بزرگ پیش ساخته این امکان بوجود می آید که از این روش جهت ساخت بدنه ی کوره ها استفاده شود .

۶- ساخت قـطعات پیش ساخته تـوسط بتن دیرگداز منـجر به افزایش راندمان تـولید و امکان مکانیزه شدن فرآیند تولید در کارخانجات می شود .

شکل زیر نمایی از یک دودکش پیش ساخته را نشان می دهد .

دوکفلی ساخته شده از قطعات بتن نسوز پیش تنیده و پیش ساخته شده قبل از نصب

مزیت های بتن دیرگداز تنها در عـواملی که ذکر شد خلاصه نمی گردد عـوامل دیگری که از لحاظ اقتصادی آن را مقرون به صرفه تر می کند عبارتنداز : دامنه ی استفاده وسیع از بتن ، طول عمر بتن و ساختمان آن بنابراین باید در این مورد تـوجه بیشتری به این ماده معـطوف گردد . هزینه ی اصلی در ساختمان بتن های نسوز مربوط به شاموت و سیمان میباشد و قیمت سیمان نسوز با آلومینای بالا تقریباً 10 برابر سیمان پرتلند می باشد و چنانچه قیمت دو نوع بتن ساخته شده بااین نوع سیمان ها را مقایسه کنیم مشخص می شود که قیمت بتن با سیمان آلومینای بالا دو برابر سیمان پرتلند است . پس برای درجه حرارت های پائین تا 850 درجه ی سانتیگراد از بتن با آلومینای بالا استفاده شود مقرون به صرفه نـخواهد بـود در صـورتی که سیمان پرتلند با شاموت جوابگوی این مسئله خواهد بود . یا در مورد نسبت سیمان به پرکننده وقتی که می توان با 20 درصد سیمان نتیجه ی مطلوب را به دست آورد نیازی به مصرف بیشتر سیمان نخواهد بود و با توجه به قسمت سیمان با آلومینای بالا مشاهده میشود که قیمت مخلوط روی هم 32% افزایش می یابد .در صورتی که در درجـه ی حرارت خیلی بالا باشد و از پـرکننده های گران قیمت مثل کوراندوم و سیلیمانیت استـفاده شود با توجه به اینکه قیمت این مواد 10 تا 15 برابر قیمت شاموت است بنابراین قیمت سیمان تاثیر زیادی

در قیمت تمام شده نخواهد داشت در نتیجه در این موارد بهتر است از آجرهای ضایعاتی خورد شده استفاده شود تا بتوان همان مزایای اقـتـصادی را بدست آورد . در درجه حرارت های خیلی بالا به عـلت این که مواد مـصرفی باید خالـص بوده و کیفیت مناسبی داشته باشند بنابراین بتن ها مزایای اقتـصادی زیادی نسبت به دیگر مواد نسوز ندارند و فقط در مواردی که درجه ی حرارت حدود 1000 است با استفاده از اجزایی مانند خرده آجر سرباره وکوره ها و سیمان پرتلند استفاده از بتن اقتصادی تر ازآجرهای نسوز خواهد بود اگر قیمت بتن های نسوز و بتن های پیش ساخته شاموتی را با نسوزهای دیگر شاموتی مقایسه کنیم نتیجه زیر حاصل می شود :

بتن های نسوز پرس شده ارزان تر از آجرهای شاموتی است و همچنین بتن گیرش یافته سریـع تر استحکام پیدا می کند و قابل استفاده می گردد . مزیت واقعی بتن های نسوز بستگی به ابعاد کار و مقدار سیمان نسوز بکاربرده شده و مقایسه ی واقعی را وقتی میتوان نشان داد که مشخصات کار داده شده باشد . اگرچه همیشه مقایسه ی مستقیم بین قیمت بتن نسوز و آجر نسوز ممکن نیست در مواقعی که قیمت های بتن و آجر برابر است . مزایای بتن نسوز درجه حرارت بالا بیشتر از آجرهای نسوز میباشد ولی بطور کلی قیمت تمام شده ی بتن های نسوز کمتر از آجرهای نسوز می باشد .

۱) تکنولوژی کوره های معمولی

۲) متالوژی آهن و فولاد

۳) کارخانجات فورج و نورد

۴) ریخته گری

۵) سایر فرآیند های کار با فلزات

۶) کارخانجات تولید فلزات غیر آهنی

۷) صنایع سرامیک

۸) صنایع شیشه سازی

۹) صنایع سیمان و آهک

۱۰) صنایع کک سازی و تولید گاز

۱۱) صنعت نیرو (بویلرهای حرارتی)

۱۲) صنایع شیمیائی

۱۳) فرودگاه و صنایع هواپیماسازی

۱۴) مهندسی هسته ای

۱۵) مصارف خانگی

۱۶) تعمیر آستر کوره ها .

بتن گوگردی :

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٪ مقامتش را در ۶ تال ۸ بدست می آورد.

عوامل موثر در خواص مکانیکی بتن گوگردی :

الف : درصد گوگرد مصرفی

ب : ماده مضاف جهت عمل آوری گوگرد (Modifier)

ج : کیفیت مصالح سنگی استفاده شده در تهیه بتن

ه : ویبره

فرمولاسیون سیمان های گوگردی :

بتن گوگردی محصول جدیدی است که با وجود اینکه ظاهری نهایی مانند بتن حاصل ازسیمان پرتلند دارد ، اما طرز تولید ، نگهداری و استفاده ار آن متفاوت است .

بتن های گوگردی یک عنوان کلی است که برای مجموعه ای از محصولات استفاده می شود که از نظر نوع و نسبت ترکیبات استفاده شده متفاوت می باشند . این مـواد کلاً جـزء دسته مـواد تـرموپلاستیک بـوده که از ترکیبات گرمایی نوع خاصی از گوگرد ، ترکیبات معدنی و افزودنی های مورد نیاز بدست می آید و بطور کلی شامل اجزاء ذیل است :

Sulfur سولفور

Aggregates مواد متراکم ریزدانه و درشت دانه

Filler مواد پرکننده

Additives مواد افزودنی

مخلوط اولیه شامل حدود 25 - 15 درصد سولـفـور ، حدود 35 - 25 درصد مـواد متراکم ریـزدانه و حدود 45 - 40 درصد مواد متراکم درشت دانه بوده که در حدود 15 - 10 درصد نیز مواد افزودنی و filler به آن اضافه می گردد . نوع ، شکل و درجه بندی مواد متراکم موجود در فرمولاسیون باید بنحوی انتخاب گردد تا بتوان حداقل فضای خالی Void Content در سیستم را ایجاد نمود .

بعد از انتخاب مواد متراکم ، پرکننده های معدنی و مواد افزودنی برای یک فرمولاسیون مورد نظر لازم است که میزان بـهینه سولفور در فرمولاسیون تتعیین گردد . روش بدین منوال است که نسبت حـجـمی پرکننده معدنی مشخصی را در نظر قرار گرفته و سپس با طراحی آزمایشات تجربی میزان F/S یعنی (S) به سولفور (F) سولفور جهت فرمولاسیون را بدست می آوریم .

اگر بخواهیم بتن رادر محیط خورنده مورد استفاده قراردهیم توجه خاص به انتخاب نوع مواد از لحاظ قابلیت مقاومت شیمیایی مدنظر قرار می گیرد . میزان انبساط در محیط آبی و یا محیط های آلی باید اندازه گیری و در فرمولاسیون تطبیق های لازم اعمال گردد . حداکثر مجاز انبساط در آب 0.05 درصد در مدت سه ماه و 0.1 درصد در مدت شش ماه بعنوان اندازه گیریهای اولیه مدنظر قرار می گیرد .

از مزایای اصلی استفاده از بتن های سولـفـوره خاصیت آن در مـقابل مـحیط های خورنده است که از جمله می توان به موارد ذیل اشاره نمود :

۱) مزیت در استفاده از پوشاندن کف و محیط هایی که با مواد خورنده در تماس می باشند

۲) پوشش های مقاوم کف و همچنین ساختارهای سیمانی

۳) قطعات از پیش قالب گیری شده بتن های سولفوره در منطقه بارگیری اسید در کارخانجات تولیدی

۴) این قطعات را می توان بصورت پوشش در روی سیمان معمولی بکار گرفت

۵) قطعات از پیش قالب گیری شده و بتن های سولفوره در ساختار سل های الکترولیت

۶) اسیدی Leaching حوضچه های ساخت مخازن اسیدی کف های عمومی در محیط های اسیدی و خورنده در محیط های اسیدی و نمکها از خود مقاومت و کارآیی بسیار عالی نشان می دهد .

خواص فیزیکی بتن گوگردی :

۱. مقاومت زیاد در برابر خوردگی در محیط های نمک و اسیدی

۲. سرعت فوق العاده در حصول مقاومت نهایی

۳. مقاومت زیاد در برابر خستگی

۴. دوام خوب و خاصیت ارتجاعی

۵. عدم نفوذ آب به داخل سطح نهائی

برای مصرف در قطعات پیش ساخته و مصرف در کارخانه های صنعتی به خاطر مقاومت بالا در سنین اولیه و پایایی خوب شیمیایی آن است. و از معایب آن شکنندگی، خرش زیاد اثر خوردگی فولاد در شرایط مرطوب و پایین بودن نقطه ی ذوب گوگرد که در پی آن کاهش مقاومت دارد و مستعد احتراق می گردد و گازهای سمی تولید می کند. مقاومت آن در مقابل یخ زدن و آب شدن کم است.

بتن الیافی :

بتنی است که با سیمان هیدرولیکی، مصالح سنگی ریزدانه یا ریزدانه و درشت دانه و الیاف مجزا و غیر پیوسته مانند پنبه نسوز، انواع مخصوص کنف 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.

کاربردهای بتن الیافی :

بیشترین کاربردهای بتن مسلح به الیاف به ویژه الیاف فولادی تاکنون در دال ها ، عـرشه پل ها ، کف سازی فرودگاهها ، پارکینگها و محیط های در معرفی کاویتاسیون و فرسایش بوده است . در پل سازی مهمترین کاربرد آن در سطوحی بوده که در معرض خوردگی و فرسایش قرار دارند .

دالهای روی بستر :

در مورد دالهای روی بستر ، نمونه هایی که خوب بررسی شده باشند اندک هستند . اما در جاهایی که دال بتنی مسلح به الیاف فولادی تحت تاثیر عبور و مرور اتوبوسهای سنگین قرار دارد ، مشخص شده است که این نوع دال ،با ضخامتی درحدود 60 تا 75 درصد دالهای غیر مسلح ، عملکردی مشابه آنها دارد . با استفاده از این نوع بتن ، پـوشش باند فرودگاهها را میتوان به نـحو قابل ملاحـظه ای (20 تا 60 درصد) نازک تر از پوششهای بتنی غیر مسلح مشابه اجرا کرد . خستگی خمشی عامل مهمی است که بر عملکرد کف سازی اثر می گذارد ، اطلاعات موجود نشان میدهد که الیاف ، مقاومت بتن را در برابر خستگی بنحو قابل ملاحظه ای افزایش می دهند .

دالهای سازه ای سقفها :

برای دالهای کوچک ، بر اساس نظریه خط سیلان ، یک روش طراحی ارائه شده است که بر نتایج حاصل از آزمایش دالهای دو طرفه بتنی متکی است . ولی برون یابی نتایج کار و اعمال آنها بر دالهای بزرگتر ،به شدت نهی شده است .

عرشه پلها :

استفاده از نمک های یخ زدا موجب انهدام عرشه پلها می شود . بتن الیافی گرچه نمی تواند مانع از نفوذ این نمکها شود ولی با محدود نگاه داشتن تعداد و عرض ترکها می توان از گسترش دامنه این انهدام جلوگیری کرد .

تیرها :

- خمش در تیرها :

دراین زمینه ، هم برای تیرهایی که تنها به الیاف مسلح شده اند و هم در مورد تیرهایی که از ترکیب الیاف و آرماتور درآنها استفاده شده ، فرمولها و معادلاتی ارائه گردیده است . درمورد تیرهایی که فقط به الیاف مسلح باشند ،معادلات مذکورارزش عملی چندانی نداردوتنها درمورد تیرهای کوچک (10*10*35 سانتیمتری) و اعـضای فرعی سازه ها کاربرد دارند . اما در زمینه تیرهای مسلح به ترکیب الیاف و آرماتور معادلات ، طرح شده با تـوجه به استـفاده از مقاومت کششی افزایش یـافته بتن که به کمک آرماتور کششی می آید ، قادرند مدل مناسبی از تیر به دست دهند . از جمله این معادلات ، روابط پیشنهادی است که مشابه معادلات روش طراحی بر اساس مقاومت نهایی ACI است .

اتصالات تیر - ستون :

مـطالعات اخیر روی اتـصالات تیر - ستون مقاوم در برابر زلزله با استفاده از الیاف فولادی به جای بـخشی از میلگردهای حلقوی ، حاکی از بهبود قابل ملاحظه مقاومت ، نرمی و جذب انرژی اتصال است .

مطالعات مربوط به خستگی خمشی :

تـحـقیقات اخیر نشان می دهد که افزودن الیاف به تیرهای بتنی مسلح به میلگرد عـمر خستگی را و تـغییر مکانها و عرض ترکها را کاهش می دهد . بر اساس این تحقیقات گرفته می شود که اثر مفید الیاف با افزایش میزان میلگردها کاهش می یابد .

- برش در تیرها :

داده های آزمایشگاهی زیادی که در دست هـستند نشان می دهند که الیاف اساساً ظرفیت برشی (مـقاومت کششی قطری) تیرهای بتنی را افزایش می دهند . به کار بردن الیاف به جای خاموتهای قائم یا میلگردهای خم شده یا برای کمک به آنها مزایای چندی را ایجاد می کند که عبارتنداز :

الف - الیاف در حجم بتن به طور یکنواخت توزیع شده وخیلی بیشتر از میلگردهای تقویتی برشی به یکدیگر نزدیک هستند .

ب - مقاومت کششی در نخستین ترک و مقاومت کششی نهایی هر دو توسط الیاف افزایش می یابند .

ج - مقاومت برشی اصطکاکی افزایش می یابد .

بااستفاده از الیاف دارای انتهای آجدار میتوان از انهدام فاجعه آمیز تیرهای بتنی دراثرکشش قطری جلوگیری کرد . برخی از پژوهـشگران تـحلیل هایی ارائه داده اند که نشان می دهد الیاف می توانند از لحاظ اقتـصادی جایگزین خاموت ها شوند الیاف دارای انتهای چین خورده می توانند به افزایشی چشمگیر در مقاومت برشی منجر شود . در برخی آزمایشها این افزایش حتی به 100 درصد بالغ گردیده است .

برش در دالها :

مطالعات اخیر نشان داده اند که با افزودن الیاف فولادی قلابدار به آرماتور در دال های بتنی مسلح ، مقاومت

برشی آنها بسته به درصد الیاف تا 42 درصد افزایش یابد .

هدف از مسلح نمودن بتن با الیاف، افزلیش 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. و مقاومت و سختی درخمش افزایش می یابد و مقاومت خستگی و مقاومت حرفه ای را بهبود و انقباض را کاهش می دهد باید توجه شود الیاف در حین اضافه شدن به خمیر سیمان آسیب نبینند در غیر این صورت اثر تقویت کنندگی آن ها کم تر می شود. استفاده از سیمان و بتن مسلح به الیاف در قطعات پیش ساخته و یا پل ها و نماهای تزئینی مورد استفاده قرار می گیرد. الیاف شیشه ای و فلزی هر دو در سازه های بتنی بکار می روند و از الیاف فلزی در بتن استفاده می شود البته خوردگی فولاد در هوای آزاد را در بردارد. ساخت قالب های دائمی یا قابل مصرف مجدد و محافظت و تقویت پوسته ی اعضاء بتنی از دیگر مصارف سیمان الیاف دار است.

بتن فرو سیمانی :

فرو سیمان نوعی از بتن مسلح می باشد که با نوع معمولی تفاوت دارد. فروسیمان شامل لایه های متعدد و نزدیکی از شبکه ها و میله گردهای نازک است که کاملاً توسط ملات سیمان احاطه شده است. و خیلی نازک تر از بتن مسلح است. و شبکه آرماتور آن را می توان بدون محدودیت به هر شکلی درآورد و سپس روی آن را با پاشیدن ملات به وسیله پوشاند تولید آن به دلیل زحمت بسیار زیاد نسبتاً گران است و موارد مصرفی به خصوصی در ساختن کشتی های کوچک، خانه های متحرک، استخرهای شنا، سیلوها، مخازن آب، و سقف های قوسی به کار می رود، زیرا نسبت مقاومت کششی به جرم و مقامت در برابر ترک خوردگی بیش تر از بتن مسلح معمولی است. ترکیب دانه بندی نسبت ماسه به سیمان بین ۱.۵ تا ۲.۵ و اب به سیمان بین ۳۵٪ تا ۵۵٪ مخلوط رضایتبخشی را فراهم می کند که حدوداً ۹۵ درصد حجم فروسیمان را اشغال می کند.

بتن غلتکی :

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 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 تاوزن غلتک ها را تحمل کندو به اندازه کافی خیس باشدتا در حین اختلاط و تراکم امکان پخش یکنواخت خمیر سیمان در بتن فراهم شود.

بتن پیش تنیده و بتن پس تنیده :

بتن پیش تنیده(tensioned-post concrete):

اگر فولاد پیش تنیدگی را بعد از گرفتن و سفت شدن بتن بکشند بتن را بتن پس کشیده می نامند . نیروی پیش تنیدگی توسط گره های (anchorages) در انتهای سازه از کابل به بتن منتقل می شود . فولاد پیش تنیدگی نباید قبل از کشیدن به بتن بچسبد در غیر این صورت امکان کشیدن آن وجود ندارد فولادهای پیش تنیدگی را داخل غلاف ها یا مجراهایی که در داخل بتن یا خارج از آن تعبیه شده اند قرار می دهند. کابل های پیش تنیدگی را می توان قبل و یا بعد از بتن ریزی در داخل غلاف ها کار گذاشته کابل ها به صورت یکی یکی توسط دستگاه کابل ردکن (stand pusher) و یا بصورت دسته ای به وسیله ی نیروی انسانی در داخل غلاف ها کارگذاشته می شوند .

به طور کلی در یک تیر بتنی معمولی که تحت بار ثقلی قرار دارد به واسطه خمش ایجاد شده در آن، پایین مقطع (زیر تار خنثی) به کشش افتاده و دربالا فشار ایجاد می گردد از آنجایی که بتن در کشش ضعیف می باشد پس از ترک خوردن بتن در مقابل تنش های کششی فولاد موجود در تار خنثی به کشش می‌اافتد این امر ممکن است حتی تحت اثر وزن خود تیر نیز اتفاق بیافتد . همان طور که گفتیم در سیستم پیش تنیده به جای آرماتورهای معمولی از یکسری تاندون (کابل)های با مقاومت کشش بالا استفاده می شود . که این کابل ها تحت کشش زیادی قرار گرفته و در دو انتهای تیر توسط گره های مخصوص تثبیت می

گردند بدین ترتیب کابل های پس کشیده پس از رها شدن از کشش تمایل به جمع شدن و رسیدن به حالت اولیه دارند لذا یک نیروی فشاری اضافی (زیادی) در قسمت زیرین تار خنثی در بتن ایجاد می گردد. که به تبع این نیرو در مقابل نیروی کشش که به وسیله بارهای ثقلی در بتن ایجاد می گردد قرار می گیرد .

دو نوع سیستم پیش تنیده داریم :

۱) سیستم پیش کشیده

۲) سیستم پس کشیده

۱) * سیستم پیش کشیده :

در این سیستم در مرحله اول فولادها تحت کشش قرار می گیرند و دوانتهای عضو توسط گره های مخصوص کاملاً گیر داده می شوند . در مرحله دوم عضو مورد نظر بتن ریزی می شود و سپس بتن عمل آورده می شود و به مقاومت کافی می رسد . در مرحله سوم فولادهای پیش تنیدگی در دو انتهای تیر ، بریده شده و نیروی پیش تنیدگی بصورت یک نیروی فشاری بر عضو اعمال می شود که فولادهای پیش تنیدگی به دو صورت فولاد با مسیر سیستم و فولادهای با مسیر شکسته اجرا می شوند .

۲) * سیستم پس کشیده :

در این سیستم در مسیر عبور فولاد های پیش تنیدگی ، غلافی تو خالی در بتن تعبیه می گردد سپس کابل ها از درون غلاف ها عبور داده می شوند بطور ی که دو سر آن از غلاف بیرون آمده و عملیات بتن ریزی انجام می شود و غالباً قبل از بتن ریزی دو ورق صفحه فشار جایگذاری می شود . بعد از اینکه بتن به مقاومت مورد نظر رسید فولادهای پیش تنیدگی توسط جک هایی که به صفحه فشار تکیه می نمایند کشیده می شوند .

مزایای سقف های پس کشیده :

۱) کاهش ارتفاع سیستم سقف سازه : وجود دال پس کشیده باعث کوتاه شدن و یا حذف تیرها می شوند و باعث کاهش ارتفاع طبقه و ارتفاع کل سازه می شوند .

۲) افزایش طول دهانه ها : امکان فضاهای بدون ستون و انعطاف بیشتر در معماری .

۳) انعطاف پذیری در مسیر عبور تأسیسات : حذف تیرها یا تیرچه ها در سقف های پس کشیده انعطاف پذیری را جهت عبور تأسیسات بیشترمی کند .

۴) قابلیت ساخت بهتر : مصالح مصرفی کمتر ، جرئیات ساده تر ، نبودن تیر ها و در نتیجه قالب بندی و آرماتور بندی آنها ، تراکم کمتر آرماتور ها همگی قالبیت ساخت بهتر را ایجاد می کند .

۵) سرعت بالای ساخت .

۶) کنترل ترک ها و کاهش تغییر شکل ها .

دامنه ی کاربرد سقف های پس کشیده :

۱) پارکینگ های طبقاتی : به دلیل اثر حذف ستون و افزایش طول دهانه و قابلیت کاهش نفوذ پذیری و مقاوم نشدن در مقابل تهاجم های شیمیایی در دال های پس کشنده در پارکینگ های طبقاتی استفاده می شوند .

۲) برج ها و ساختمان های مرتفع : به دلیل کاهش ارتفاع طبقه کاهش ارتفاع کلی سازه

۳) ساختمان های تجاری و بیمارستان ها : به علت سرعت اجرا، فاصله زیاد ستون ها و کاهش وزن سازه در این دسته سازه ها بکار می روند .

۴) پل ها : امکان تأمین دهانه های بزرگ . جلوگیری از لرزش و ترک خوردگی و نفوذ پذیری بتن و سرعت بالای اجرا بکار می روند .

۵) انبوه سازی های مسکونی : چون در هر طبقه چندین تا حد مسکونی اجرا می شوند تأمین فاصله زیاد ستون ها فضای طراحی مناسبی را فراهم می کند .

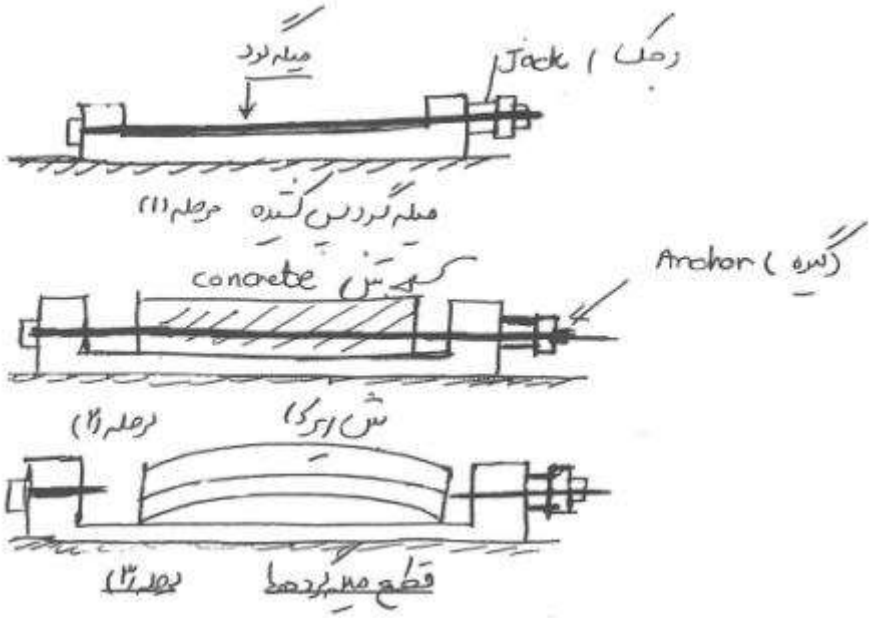
روش هایی اجرای پس کشیده :

۱) سیستم چسبنده (bonded) :

در این روش کابل های پس کشنده از میان غلاف های تحت ممتد و کوچک از جنس گالوانیزه عبور می کنند که داخل غلاف ها پس از بتن ریزی و کشیده شدن کابل ها با دوغاب پر می شود .

۲) سیستم غیر چسبنده (unbonded) :

در این سیستم کابل با دو غاب تزریق نمی شود و می تواند آزادانه و مستقل از بتن حرکت کند . اغلب کابل ها در یک غلاف محافظ با گریس پوشانده شده اند . پس از بتن ریزی و کسب مقاومت فشاری مشخص کابل با یک جک دستی کوچک کشیده می شود که این عمل پس کشیدگی را تکمیل می کند .



بتن عبور دهنده ی نور (litracan light transmising concrete):

بتن عبور دهنده ی نور، امروزه به عنوان یک متریال ساختمانی جدید با قابلیت استفاده بالا مطرح است . این بتن ترکیبی از فیبرهای نوری و ذرات بتن است و می تواند به عنوان بلوک ها و یا پانل های پیش ساخته ساختمانی مورد استفاده قرار گیرد . فیبرها بخاطر اندازه کوچکشان با بتن مخلوط شده و ترکیبی از یک متریال دانه بندی شده را تشکیل می دهند . به این ترتیب نتیجه کار صرفاً ترکیب دو متریال شیشه و بتن نیست ، بلکه یک متریال جدید سوم که از لحاظ ساختار درونی و همچنین سطوح بیرونی کامل همگن است ، به دست می آید . فیبرهای شیشه باعث نفوذ نور به داخل بلوک ها می شوند . رنگ نوری که از پشت بتن دیده می شود ثابت است . هزاران فیبر شیشه ای نوری به صورت موازی کنار هم بین دو وجه اصلی بلوک قرار می گیرند . نسبت فیبرها بسیار کمک و حدود ۴ درصد کل میزان بلوک ها است . علاوه بر این فیبرها بخاطر اندازه کوچکشان با بتن مخلوط شده و تبدیل به یک جزء ساختاری می شوند . بنابراین سطح بیرونی بتن همگن و یکنواخت باقی می ماند . در تئوری ساختار یک دیوار ساخته شده با بتن عبور دهنده ی

نور می تواند تا چند متر ضخامت داشته باشد زیرا فیبرها تا ۲۰ متر بدون از دست دادن نور عمل می کنند و در دیواری با این ضخامت باز هم نور وجود دارد .

ساختارهای باربر هم می توانند از این بلوک ها ساخته شوند . زیرا فیبرهای شیشه ای هیچ تأثیر منفی روی مقاومت بتن ندارند . در سال ۲۰۰۱ معماری معروف بنام «آرون لاسونسزی » آنرا اختراع کرد و به ثبت رسانده و در سال ۲۰۰۴ شرکت خود را بنام لایتراکان تأسیس کرد و در سال ۲۰۰۶ با شرکت های صنعتی به توافق رسیده است .

موارد کاربردی :

۱) دیوار :

به عنوان متداول ترین حالت ممکن این بلوک می تواند در ساختن دیوارها مورد استفاده قرار گیرد . به این ترتیب هر دو سمت و همچنین ضخامت این متریال جدید قابل مشاهده خواهد بود و بنابر این سنگینی و استحکام بتن به عنوان ماده اصلی لایتراکان محسوس تر می شود و در عین حال کنتراست بین نور و ماده شدیدتر است . اگر نور خورشید به ساختار این دیوار می تابد قرار گیری غربی یا شرقی توصیه می شود تا اشعه آفتاب در حال طلوع یا غروب یا زاویه کم به فیبرهای نوری برسد و شدت عبور نور بیشتر شود به علت استحکام زیاد این ماده می توان از آن برای ساختن دیوارهای باربر هم استفاده کرد. در صورت نیاز مسلح کردن آن نیز ممکن است .

۲) پوشش کف :

یکی از جذاب ترین کاربردها استفاده از پوشش کف ها و درخشش آن از پایین است . در طول روز این یک کف پوش از جنس بتن معمولی به نظر می رسد و در هنگام غروب بلوک های کف در نگهداری منعکس شده از نور غروب شروع به درخشش می کنند .

۳) طراحی داخلی :

از این بتن برای روکش دیوارها در طراحی داخلی استفاده می گردد به صورتی که از پشت نور پردازی شده باشند .

۴) کاربرد در هنر :

کنتراست موجود در پشت متریال اثر بسیار زیبایی را ایجاد می کند .

*** مسلح کردن بلوک بتنی عبور دهنده ی نور :**

در صورت مسلح کردن این بتن شیارهایی داخل آن تعبیه می کنند ودر حین ساختن دیوارها میلگردها به صورت عمودی یا افقی در این شیارها قرار می گیرند و فیبرهای اپتیکی بخاطر انعطاف پذیری خود در اطراف میله گردها جمع می شوند به این ترتیب میله گردها دیده نمی شوند .

این محصول با ترکیب ۹۶٪ بتن معمولی و ۴٪ فیبرهای نوری دانسیته ای برابر با ۲۴۰۰ – ۲۱۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب ، مقاومت فشاری ۵۰$\frac{N}{mm^2}$ و مقاومت کششی $\frac{N}{mm^2}$ ۷در سه رنگ خاکستری ، سیاه و یا سفید با ابعاد استاندارد mm ۶۰۰*۳۰۰، با ضخامتmm ۵۰۰-۲۵ تولید می گردد.

بتن خود متراکم :

برای اولین بار در سال ۱۹۸۸ به منظور دستیابی به سازه های بتنی با دوام مورد استفاده قرار گرفت . بتن خود متراکم (scc) نسل جدید بتن است که نیاز به استفاده از لرزاننده ندارد و تحت تأثیر وزن خود متراکم می شود از این بتن می توان در محل های با تراکم زیاد آرماتور که ویبره کردن بتن های سنتی در این ناحیه مشکل است ، استفاده کرد که باعث بهبود کیفیت نهایی خواهیم بود و از طرفی کاربرد بتن با مقاومت بالا (HSC) در سازه ها موجب کاهش سطح مقطع اعضا و افزایش فضای بیشتر در طرح های معماری می گردد ولی با افزایش مقاومت بتتن ، سازه دارای شکست تردتری می شود در این حالت کاربرد

بتن خود تراکم که مقاومت قابل قبولی دارد پیشنهاد می شود که در این حالت مقادیر و عرض ترک خوردگی بتن تا مرحلهٔ سرویس پائین تر از مقادیر کم تر از بتن معمولی است .

مزایای کاربرد بتن خود متراکم به شرح زیر است :

۱) خدمت پذیری تیرهای بتن مسلح با بتن خود متراکم مقاومت بالا بیشتر از بتن معمولی می باشد بدین دلیل در مواردی که حجم زیاد آرماتور را داریم به دلیل مشکل استفاده از بتن معمولی از بتن خود متراکم استفاده می شود .

۲) شکل پذیری اتصالات ساخته شده از بتن خود متراکم .

۳) مقاوم سازی سازه های بنائی با استفاده از بتن خود متراکم .

یکی از مهمترین مشکلاتی که در استفاده عملی از بتن خود متراکم وجود دارد ، آن است که به دلیل جدید بودن این تکنولوژی ، هنوز شناخت دقیقی از آن وجود ندارد و استانداردهای آن در حال تکوین می باشند . از بتن خود متراکم در صنعت سبک سازی ساختمان استفاده می شود .

یکی از نقاط ضعف بتن های عادی آن است که این بتن ها دارای سیالیت زیاد نیستند . کمبود سیالیت 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 می شود . بتن خود متراکم (Self Cimpacting Concrete) (SCC) دارای سیالیت فوق العاده می باشد و کمبود سیالات را حل کرده است . نسل اول این بتن دارای طرح اختلاطی مشابه بتن های SCC عادی است با این تفاوت که در آن مواد افزودنی مخصوص برای روان کردن بتن استفاده می شود . از این بتن در ابتدا برای مرمت سازه های بتنی و بتن ریزی در مناطق محدود استفاده شد ولی به علت هزینه بالای روان کننده ها باعث گران شدن این بتن شد و در نسل دوم با جایگزین کردن برخی مصالح هزینه ساخت تا حد امکان کاهش یافت . تا کنون در صنعت پیش ساخته کاربردهای تجاری و

برخی سازه های خاص از این بتن استفاده می شود ولی بخاطر هزینه بالای آن هنوز روند استفاده از ساختمانهای مسکونی کنداست .

افزودنی های بتن

مواد ترکیبی ، موادی هستند که در مرحله ی تولید به سیمان اضافه می شوند در حالیکه مواد افزودنی در مرحله ی مخلوط کردن به بتن اضافه می شوند.

افزودنی های شیمیایی شامل :

تقلیل دهنده های آب (روان کننده ها)

کند گیر کننده های گیرش

تسریع کننده های گیرش

فوق روان کننده ها

حباب هوا ساز در بتن

افزودنی های چسبنده و دفع کننده های آب

تسریع کننده ها :

تسریع کننده ها افزودنی هایی هستند که سخت شدگی بتن را تسریع می بخشند و مقاومت اولیه بتن را بالا می برند. برخی افزودنی های تندگیر کننده، کربنات سذیم است که به منظور ایجاد گریش سریع در پلاسترهای سیمانی مورد استفاده در نماها به کار می رود ولی اثرات منفی در مقاومت ملات به جای می گذارد. ولی با ایجاد گریش سریع، کارهای تعمیراتی سریع را امکان پذیر می سازد. برخی عبارتند از : کلرور آلومینیوم، کربنات پتاسیم، سدیم، آلومنیات سدیم و آهن هستند.

معمولی ترین نوع کلرور کلسیم است ($cacl2$) که به سرعت افزایش مقاومت بتن را در ابتدا بالا می برد. در بتن ریزی در دمای پایین (۲ تا ۴ درجه) این افزودنی اضافه می شود یا در مواردی که مجبور به انجام کارهای تعمیراتی سریع هستیم که باعث بالا رفتن سرعت ایجاد گرما در ساعات اولیه بعد از مخلوط کردن

بتن می شود. به کار بردن مقدار ۱ تا ۲ درصد کلرور کلسیم کافی است. استفاده از کلرور کلسیم مقاومت سیمان را به خصوص در بتن های سبک در مقابل حمله ی سولفات ها کاهش می دهد و در صورت وجود سنگدانه های فعال، احتمال واکنش شیمیایی سنگدانه ها را افزایش می دهد از اثرات نامطلوب آن جمع شدگی و خزش را افزایش داده و باعث کاهش مقاومت بتن های حباب دار در مقابل یخ زدگی و ذوب یخ در دراز مدت می شود و باعث افزایش مقاومت بتن در مقابل خوردگی و سایش می شود. بیش تر افزودنی های بدون کلراز فرمات کلسیم هستند که تا حدودی اسیدی هستند و هیدراتاسیون سیمان را سرعت می بخشند که این افزودنی در دمای پایین تسریع کنندگی بیشتری دارندوبه طور کلی در هر دمایی نسبت به کلورور کلسیم توانایی تسریع کنندگی کمتری دارد.

کندگیر کننده ها :

در هوای گرم که زمان گیرش بتن به خاطر تبخیر آب موجود در مخلوط کم می شود از کندگیر کننده ها استفاده می شود. همچنین برای جلوگیری از ایجاد ترک های ناشی از گیرش در بتن ریزی های متوالی مفید می باشد. بتن با اضافه کردن شکر، مشتقات هیدروکربنی نمک های محلول روی، برات های محلول و... حاصل می شود در عمل از کندگیر کننده هایی که در عین حال تقلیل دهنده آب هم هستند استفاده می شود. اگر ۰٫۵ وزن سیمان شکر به بتن اضافه کنیم حدود ۴ ساعت گریش آن را به تاخیر می اندازد. مصرف زیادی شکر حدد ۲ تا ۱ درصد وزن سیمان باعث می شود از گیرش سیمان جلوگیری شود و این خاصیتی است که در هنگام بد کار کردن و خراب شدن مخلوط بتن مفید خواهد بود.بتن حاوی گیر کننده ها مقاومت اولیه کم تری در مقایسه با بتن معمولی دار اما چون بعداً افزایش مقاومت بتن چندان تفاوتی نمی کند.

تقلیل دهنده های آب :

این افزودنی ها به سه منظور به کار می روند :

رسیدن به مقاومتی بالاتر، نسبت به بتن افزودنی با کاهش نسبت به آب سیمان و یک کارایی ثابت.

رسیدن به یک کارایی مشخص با کاهش مقدار سیمان مصرفی و نتیجتاً تا کاهش حرارت هیدراتاسیون در توده بتن.

افزایش کارایی و بنابراین سادگی بتن ریزی قالب های با آرماتور انبوه و موقعیت های غیر قابل دسترسی.

انواع آن در استاندارد ASTM به صورت زیر نام گذاری میشوند:

افزودنی های با کاهش میزان آب (تیپ A)

افزودنمی های با کاهش میزان آب و تاخیر در گگریش (تیپD)

افزودنمی های با کاهش میزان آب و تسریع در گریش (تیپ E)

کاهش آب مخلوط با استفاده از روان کننده ها بین ۵ تا ۱۵ درصد می باشد، 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 از بتنی که با همین نسبت آب و سیمان و بدون افزودنی ساخته می شود بیشتر خواهد بود و دوام بتن افزاش می یابد.

فوق روان کننده ها :

این مواد از جدید ترین و موثرترین انواع تقلیل دهنده های آب می باشند که در آمریکا به عنوان روان کننده ی قوی و درASTM به عنوان تیپ F نام گذاری شده اند. و اگر با تاخیرش در گیرش هم همراه باشد تیپ G نام دارند. فوق روان کننده ها چون نمی توانند کششی سطحی آب را به طور محسوسی پایین بیاورند، در نتیجه مقدار قابل توجهی هوا را وارد بتن می کنند. این نوع افزودنی در تولید بتن های روان در مواقعی که محل بتن ریزی غیر قابل دسترسی است و یا در محل هایی که بتن ریزی خیلی سریع لازم است به کار می روند مورد مصرف دیگر در تولید بتن های با مقاومت خیلی بالاست که با کارایی معمولی و نسبت

آب به سیمان بسیار پایین بدست می آیند که شامل نفتالین فرمالدئید سولفاته شده ی تغلیظ شده یا ملامین فرمالدئید سولفاته شده ی تغلیظ شده می باشند که تا حدی هم خاصیت کندگیر کنندگی دارند ضعف آنها قیمت نسبتاً گران آن هاست.

افزودنی های معدنی (حباب ساز هوا) :

شامل پوزولان ها و سرباره های کوره ها می باشد. مواد رنگی یا مواد آسیاب شده ای شامل پودر دانه های سنگی به منظور کمک به کارایی دوغاب ها و ملات ها به کار می روند ولی به مقاومت کمک نمی کنند. پودروی و آلومینیوم در بتن های حباب دار استفاده می شود که این بتن ها درعایق سازی های حرارتی مورد استفاده قرار می گیرند که این افزودنی ها را افزودنی های حباب زا گویند. مثل پرواکسید هیدروژن که حباب های اکسیژن تولید می کند که این حباب در مخلوط ماسه و سیمان محبوس شده و بتن حباب دار ایجاد می کند.

افزودنی های چسبنده :

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

افزودنی های دفع کننده ی 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.

مزایای سازه های بتن آرمه :

عمر بسیار طولانی سازه های بتن آرمه

مقاومت در برابر آتش سوزی

فراوانی و دسترس بودن مصالح

فرم پذیری

مقاومت فشاری بالا

معایب سازه های بتن آرمه :

سنگین بودن سازه های بتنی

قدرت انتقال صوتی و قابلیت انتقال حرارتی

اشکالات مربوط به نگهداری بتن در قالب

حجم بالای اعضای اسکلت بتنی

وابستگی اجرای سازه های بتنی به شرایط آب و هوایی

سرعت پایین اجرای سازه های بتنی

سیمان

سیمان : سیمان فرآورده ای شیمیایی است که دارای خاصیت چسبندگی است و در اثر تماس با آب سفت می شود و محصول حاصله در برابر آب و رطوبت از دوام بالایی برخوردار می باشد. سیمان در بتن نقش چسباننده دانه های سنگی را داردکه از پختن ترکیبات مصنوعی یا طبیعی کربنات کلسیم یا آلومین، منیزیم، و سیلیس ساخته می شود.

مواد تشکیل دهنده ی سیمان :

بیشترین ماده ی تشکیل دهنده ی سیمان را آهک و سیلیس تشکیل می دهد. عمده مواد تشکیل دهنده سیمان و درصد آن به صورت زیر است :

آهک (Cao) ۶۰- ۶۷ ٪

سلیس (Sio2) ۱۷-۲۵ ٪

آلومینا (AL2O3) ۸-۳ ٪

اکسید آهن (Fe2O3) ۶-۰.۵ ٪

اکسید منیزیم (Mgo) ۴-۰.۱ ٪

انیدرید سولفوریک (So3) ۳-۱ ٪

قلیایی ها(Na2o) ۱.۳-۰.۲ ٪

خاصیت چسبندگی سیمان به خاطر وجود ماده سلیس و آهک می باشد و مواد دیگر ذکر شده هر کدام به نوعی در تولید و روند پخت سیمان و تشکیل کلینکر اثر دارند.

روش های تهیه سیمان :

روش تهیه سیمان به این صورت است که ابتدا مواد خام را آسیاب نموده و بعد آن ها را با نسبت های مشخص، کاملاً مخلوط می کنند و در مرحله بعد در کوره بزرگ دوار در دمای حدود ۱۸۰۰ تا ۱۴۰۰ درجه سانتی گراد حرارت می دهند. در این دما بخشی از آن ها ذوب شده و سبب به وجود آمدن دانه های فندقی به نام کلینکرمی شوند. کلینکر را سرد می کنند و حدود ۱ تا ۲ درصد به آن سنگ گچ اضافه می کنند و سپس آن را آسیاب می کنند تا به صورت پودر نرمی دربیاید.

سنگ گچ باعث جلوگیری از گیرش سریع سیمان می شود. عمل مخلوط کردن و آسیاب کردن مواد خام در آب یا در حالت خشک می تواند انجام شود به همین دلیل روش های تر و خشک به وجود آمده است.

پختن سیمان :

به وجود آمدن واکنش هایی میان دانه های ریز مواد خام به کمک حرارت به مدت و شدت معین را سیمان پذیری گویند. برای اینکه این واکنش ها انجام شوند مواد خام باید تا اندازه ای حرارت داده شوند تا عرق کنند و به همدیگر بچسبند و به کلینکر تبدیل شوند این واکنش ها به کندی انجام می شود و هر چقدر دانه های مواد خام ریزتر باشد واکنش سریع تر است.

وزن مخصوص سیمان :

وزن مخصوص حقیقی سیمان حدود ۳۲۰۰ کیلوگرم در متر مکعب و وزن مخصوص ظاهری آن حدود ۱۶۰۰ تا ۱۷۰۰ کیلوگرم در متر مکعب می باشد.

ترکیبات اصلی سیمان پرتلند :

نام ترکیب	اکسیدهای تشکیل دهنده	علامت اختصاری
سه کلسیم سیلیکات	3Cao.Sio2	C3S
دو کلسیم سیلیکات	2Cao.Sio2	C2S
سه کلسیم آلومینات	3Cao.Al2o3	C3A
چهار کلسیم آ لومینوفریت	4Cao.Al2o3.Fe2o3	C4AF

C3S : بیشترین نقش در گیرش سیمان و افزایش مقاومت اولیه را دارد.

C2S : باعث کند گیر شدن سیمان می شود.

C3A : باعث گیرش آنی و حرارت زایی بالای سیمان می شود.

C4AF :نقش اندکی در سیمان دارد.

علاوه بر اکسیدهای اصلی، اکسیدهای فرعی نظیر Tio2، Mn2O3 ، K2O ، Na2O نیز به مقدار کمی در سیمان وجود دارند.

اکسیدهای سدیم و پتاسیم که به نام قلیایی های سیمان هستند با پاره ای از مواد سنگی در بتن ترکیب شده و سبب خرابی بتن و تغییر در میزان افزایش مقاومت آن می شوند.

آزمایش های سیمان :

شامل آزمایش های ریزی سیمان، زمان گیرش، سلامت سیمان و مقاومت سیمان براساس استانداردهای ASTM و BS می باشند.

آزمایش ریزی سیمان

ریزی سیمان یکی از خواص مهم سیمان است زیرا هیدراتاسیون سیمان از سطح دانه های آن آغاز می شود و سرعت واکنش شیمیایی آب و سیمان، به ریزی سیمان مربوط است لذا برای هیدراتاسیون سریع و افزایش مقاومت سریع، سیمانی با ریزی بالا لازم است.استانداردهای ASTM و BS برای مشخص کردن ریزی سیمان سطح مخصوص دانه ها را ملاک قرار می دهند. روش مستقیم تعیین توزیع اندازه ی ذرات، قانون استوک وته نشین شدن در یک محلول تحت اثر جرم آن ها می باشد. (با استفاده از یک سلول فتو الکتریک در صد اشعه خارج شده از ذرات معلق سیمان در یک محلول نفت چراغ را اندازه گرفته و از روی آن قطر و درصد ذرات رامی توان تعیین نمود.)

روش دیگر اندازه گیری سطح مخصوص سیمان با استفاده از روش نفوذ پذیری در مقابل جریان هوا بود (آزمایش لی ویزس)،(در آن افت فشار هنگامی که هوای خشک با سرعت ثابت از میان سیمانی با ضخامت و تخلخل معین عبور کند اندازه گیری می شود (استانداردBS).

غلظت خمیرنرمال :

با روش دستگاه ویکات که در آن عمق سوزنی به نظر ۱۰ میلی متر تحت وزن خود در خمیر اندازه گیری می شود معین می گردد هنگامی که سوزن تا عمق، یعنی در خمیر نفوذ می کند مقدار آب خمیرکه معمولاً بین ۳۳ الی ۲۶ درصد وزن سیمان خشک می باشد تعیین می شود.

زمان گیرش :

زمان گیرش در حقیقت سرعت سخت شدن خمیر سیمان را نشان می دهد که زمان گیرش اصولاً به علت گیرش C3S و C3A پدید آمده و با افزایش درجه حرارت خمیر همراه است.

برای تعیین زمان گیرش اولیه، از دستگاه ویکات با سوزنی با وزن مشخص ولی به قطر۱ میلیمتر جهت نفوذ در خمیر نرمال استفاده می شود. زمان گیرش اولیه زمانی است که سوزن فوق به فاصله ی ۵ میلی متری از کف قالب مخصوص پر از ملات مخصوص می رسد (زمان ۴۵ دقیقه). (در استاندارد BS).

در استاندارد ASTM روشی مشابه به روش BS با این تفاوت که زمان گیرش حداقل را ۶۰ دقیقه و عمق نفوذ سوزن را کم تر در نظر گرفته است. زمان گیرش نهایی توسط سوزنی که یک قسمت حلقه ای تو خالی فلزی برای اثر گذاشتن در خمیر متصل است تعیین می شود که این زمان مدتی است که پس از آن سوزن روی سطح خمیر اثر گذاشته، لیکن لبه ی اتصال اثری روی سطح خمیر نمی گذارد. استانداردهای انگلستان و آمریکا زمان گیرش نهایی را حداکثر ۱۰ ساعت برای سیمان های پرتلند در نظر گرفته اند (خودگیری سیمان بر اثر سیلیکات تری کلسیت است و زمان خودگیری سیمان بعد از اختلاط با آب بین ۰.۵ تا ۱ ساعت است). به تغییر وضعیت سیمان از حالت خمیری به حالت گیرش گویند.

آزمایش سلامت سیمان :

سیمانی که خاصیت انبساط ناشی ازفعل و انفعالات آهکی و منیزیم آزاد و سولفات کلسیم دارد را سیمان ناسالم گویند و لازم است در خمیر سیمان بعد از گیرش تغییرات چندانی به وجود نیاید. در استاندارد انگلستان آزمایش سلامت سیمان را بدین صورت بیان می کند، نحوه ی آزمایش بدین صورت است که خمیر سیمان با غلظت استاندارد برای ۲۴ ساعت در آب نگهداری شود و پس از آن ۱ ساعت در درجه حرارت بالا و آب جوش نگهداری شود و سپس تا درجه حرارت اولیه سرد شود. اگر میزان انبساط از مقدار مشخصی بیشتر باشد بعد از اینکه سیمان به مدت ۷ روز در هوا پخش شد آزمایش دیگری انجام می گیرد. در پایان این مدت آهک یا باید هیدراته یا کربناته شود. لذا انبساط باید۵۰٪ مقدار مشخص اولیه باشد در غیر این صورت نباید از سیمان استفاده کرد.(اگر مقدار آهک بیش از حد باشد آهک اضافه باعث ایجاد انبساط در سیمان می شود همین طور برای سنگ گچ)

مقاومت :

به علت مشکلاتی که در ساخت خمیر خالص سیمان وجود دارد آزمایش مقاومت مستقیماً روی خمیر انجام نمی شود عموماً برای ساخت نمونه های مناسب، ملات ماسه سیمان یا بتن با نسبت های معین مواد در شرایط استاندارد تهیه شده و مقاومت آن ها تعیین می شود مقاومت کششی مستقیم، فشاری وخمشی .

مقاومت فشاری سیمان به دو روش :

در استفاده از ملات مخصوص ۱ به ۳ سیمان و ماسه با آب که به میزان ۱۰٪ مصالح خشک انتخاب می شود آماده می گردد. نمونه های مکعبی ۷۱ میلی متری آماده و بعد از ۲۴ ساعت از قالب باز شده و در آب نگهداری می شود و در شرایط سطح مرطوب آزمایش می شوند.

مخلوط ماسه، سیمان به نسبت ۲.۷۵ به ۱ و آب به سیمان ۰.۴۸۵ را به کار می برد. نحوه ی ساخت مشابهBS ، ماسه از نوع اتاوا بوده و نمونه ها در ابعاد ۵۱ میلی متری ساخته می شوند و نمونه ها تا زمان آزمایش در محلول آهک اشباع شده دردمای ۲۲ درجه سانتی گراد نگهداری می شوند.

انواع سیمان پرتلند :

اکثر سیمان های ساخته شده از سیمان پرتلند برای ساخت بتنی با دوام در شرایط مختلف محیطی تولید شده اند.

سیمان پرتلند معمولی (تیپ ۱) : این نوع سیمان معمولی ترین سیمانی است که در همه ی موارد به غیر از مواردی که بتن با حمله سولفات های موجود در خاک مواجه است بکار می رود.

سیمان پرتلند زود سخت شونده (تیپ ۳) : همانطور که از نام سیمان مشخص است، مقاومت این سیمان به سرعت افزایش می یابد.این خاصیت به علت درصد بالای C3S در این سیمان و ریزی بالای سیمان می باشد کاربرد آن برای باز شدن سریع قالب ها برای بتن ریزی جدیدی می باشد و یا زمانی که

جهت پیشرفت سریع تر کار ساختمان به مقاومت نیاز می باشد. این سیمان به خاطر ایجاد حرارت خیلی بالانباید در بتن ریزی های حجیم و یا در قطعات بزرگ بتنی به کار می رود. اما در بتن ریزی در هوای سرد به علت حرارت بالا می تواند از یخ زدگی سریع جلوگیری کند. زمان گیرش سیمان های تیپ ۱ و ۳ تقریباً یکسان است ولی قیمت تمام شده ی ۳ کمی بیشتر از نوع ۱ است. نوع مخصوص این سیمان که تحت عنوان سیمان پرتلند زود سخت شونده ی مخصوص است در قطعات پیش تنیده و در تعمیرات فوری بتن های خراب استفاده می شود.

سیمان پرتلند با حرارت زایی کم (تیپ ۴) : این سیمان نخستین بار جهت مصرف در سدهای وزنی عظیم ساخته شد، در واکنش با آب حرارت کم ی تولید می کند.

سیمان اصلاح شده (نوع ۲) : در پاره ای موارد کاربرد سیمانی با مقاومت اولیه پایین مناسب نبوده و به همین دلیل در آمریکا سیمانی اصلاح شده ساخته شده است حرارت زایی آن بیشتر از سیمان تیپ ۴ بوده و افزایش مقاومت آن مشابه سیمان نوع ۱ می باشد. کاربرد آن در ساختمان هایی است که باید حرارت زایی سیمان در آن ها کم باشد و تا حدی حمله ی سولفات ها به بتن را خنثی می کند.

سیمان ضد سولفات (تیپ ۵) : این نوع سیمان با کم تری ساخته شده است و در مقابل حمله ی سولفات ها به بتن پایدار است. حرارت زایی این سیمان ها خیلی بیشتر از سیمان های با حرارت زایی پایین نیست و قیمت تمام شده ی آن ها بالاتر از نوع ۴ می باشد.

سیمان آهن گذاری :

از آسیاب کردن و مخلوط کردن سیمان پرتلند + سرباره های کوره های آهن گذاری بدست می آید (از مواد زائد کوره ساخته می شود). روباره یا سیمان تفاله نام دیگر آن می باشد موارد استفاده ازآن در بتن ریزی های حجیم به علت خاصیت حرارت زایی کم تر و در ساختمان های دریایی و اسکله ها به علت مقاومت در برابر حمله سولفات ها می باشد.

سیمان پر سولفات :

این سیمان که از سرباره های کوره های آهن گذاری ساخته می شود جزء سیمان های پرتلند نیست. سیمان پر سولفات از آسیاب ۸۵ – ۸۰ درصد سرباره با ۱۵-۱۰ درصد سولفات کلسیم و حدود ۵ درصد سیمان پرتلندمعمولی ساخته می شود. مزایای این نوع سیمان، مقاومت بالای آن ها در آب دریا و در مقابل حمله ی سولفاتی و نیز در مقابل اسیدها و روغن هاست، روند افزایش مقاومت این سیمان با کم و زیاد شدن درجه حرارت به طور نا محسوسی تغییر می کند همچنین این سیمان نباید با سیمان پرتلند معمولی مخلوط شود و باید این سیمان در محیطی بسیار خشک نگهداری شود زیرا سریع فاسد می شود.

سیمان های پرتلند سفید و رنگی :

در کارهای نما سازی و جلوه های معماری در پاره ای کشورها سیمان سفید و رنگی به کار می رود. کم بودن قلیایی های محلول در سیمان سفید باعث می شود که نما لکه ایجاد نشود. این سیمان از رسی به نام رس چینی (رس سفید رنگ) که مقدار اکسیدهای آهن و منگنز آن بسیار پایین است و گچ و آهک نسبتاً خالص ساخته می شود و قیمت آن دو برابر سیمان معمولی است گرانی آن باعث شده که از آن بتنی به عنوان روکش ساخته می شود که نسبتاً گران است.

سیمان پرتلند پوزولانی :

از آسیاب کردن پوزولان ها (خاک های طبیعی و مصنوعی جایگزین سیمان) با سیمان پرتلند ساخته می شوند.

پوزولان ها : مواد سیلیسی یا سیلیسی آلومینی اتلاق می شود که به تنهایی خاصیت گیرش و سیمانی شدن را ندارند ولی به صورت ذرات ریز و در مجاورت رطوبت با آهک آزاد شده از هیدراتاسیون سیمان و در درجه حرارت محیط، ترکیباتی با خاصیت سیمانی تشکیل می دهند و مقاومت آن ها چون به آرامی به دست می آید در دراز مدت مقاومت بسیار بالایی خواهند داشت و به جهت دیر گیری بتن ساخته شده از آن

ها باید مدت بیشتری مراقبت شود " مواد اصلی پوزولان ها خاکسترهای آتشفشانی، پومیس ، شیل ، خاک دیاتومه کلسینه شده، رس پخته و خاکسترباد‌ی یا نرم (PFA) است."

خاکستر بادی از سوزاندن ذغال سنگ در نیروگاه های تولید برق بدست می آید.

سیمان منبسط شونده :

در پاره ای موارد لازم است سیمانی تهیه شود که حجم آن در جمع شدگی ناشی از خشک شدن تغییر نکند و در نتیجه از ترک خوردگی جلوگیری شود. حتی در پاره ای از موارد به هنگام سخت شدن کمی نیز منبسط شود. بتن هایی که با این نوع سیمان ساخته شوند، در روزهای اولیه انبساط یافته و در صورت مهار این انبساط با آرماتورها بتن به صورت پیش تنیده در می آید.

در این حالت فولاد در کشش و بتن تحت فشار پیش تنیدگی قرار می گیرد. البته استفاده از این سیمان ها نمی تواند کاملاً جلوی جمع شدگی را بگیرد و بتنی با حجم ثابت بسازد زیرا بلافاصله بعد از خاتمه نگهداری بتن در محیط مرطوب، جمع شدگی و افت آغاز میشود.

امروزه دو نوع بتن با استفاده از سیمان منبسط شونده ساخته شده اند :

نوع اول آن بتنی است که جمع شدگی آن با انبساط جبران می شود.

نوع دوم آن بتن خود تنیده شده است که دارای تنش های فشاری قبل از بارگذاری است.

سیمان پرآلومین (سیمان برقی) : (HAC) :

این سیمان در آغاز قرن اخیر ساخته شده و به عنوان سیمان ضد سولفات و سیمان زود سخت شونده به کار می رود.

مواد اصلی این سیمان سنگ آهک یا گچ و بوکسیت می باشد. که بوکسیت حاوی اکسید آلومینیوم هیدراته، اکسیدهای آهن و تیتانیوم و مقدار کمی اکسید سیلیسیم است، کاربرد آن فعلاً در حال حاضر در کارهای

موقتی و اضطراری است. و یکی از اولین موادی بوده که به عنوان ماده نسوز در درجات حرارت بالای ۱۰۰۰ استفاده می شده. بتن نسوزی که از این نوع مواد ساخته می شود مقاومت شیمیایی نسبتاً خوب و به علاوه در مقابل اثرات حرارتی مقاوم می باشد.

حرارت هیدراتاسیون سیمان :

در اثر واکنش سیمان با آب که هیدراتاسیون گفته می شود حرارت تولید می شود به میزان حرارت تولید شده به وسیله ی هر ۱ گرم سیمان، حرارت هیدراتاسیون گفته می شود. مقدار تولید گرما به ترکیبات شیمیایی، ریزی سیمان و دمای عمل آوری بتن بستگی دارد میزان حرارت تولید شده توسط سیمان های مختلف بر حسب درصدی از حرارت سیمان نوع ۱ به شرح زیر است :

تیپ ۲ : ۸۰ تا ۸۵ درصد

تیپ ۳ : تا ۱۵۰ درصد

تیپ ۴ : ۴۰ تا ۶۰ درصد

تیپ ۵ : ۶۰ تا ۷۵ درصد

حمل و انبار کردن سیمان :

سیمان در دو نوع فله و پاکتی در بازار موجود است. در حمل سیمان باید دقت نمود تا سیمان از اثر باران یا رطوبت در امان باشد. برای حمل سیمان های پاکتی ، مطابق استاندارد باید حداکثر ۴ کیسه بر روی هم قرار داده شوند، سیمان باید به صورت خشک نگه داشته شود. در صورتی که سیمان در فضای باز انبار می شود. باید کف محل خشک و حداقل ۱۰ سانتی متر بالاتر از زمین طبیعی باشد و روی کیسه های سیمان باید روکش های پلاستیکی پوشیده شود، نگهداری به این روش نباید به مدت طولانی انجام شود در صورت نگهداری سیمان در انبارهای سرپوشیده، سقف، دیوار و کف انبار باید کاملاً شود. حداکثر ارتفاع کیسه های

روی هم چیده شده ۱.۵ متر و پهنای ردیف کیسه های چیده شده ۳ متر می باشد. حداقل فاصله ی کیسه های سیمان از دیوار ۳۰ سانتی متر می باشدو حداکثر زمان نگهداری سیمان در شرایط مطلوب ۳ ماه و در شرایط با رطوبت نسبی بالا ۶ هفته می باشد.

سنگدانه ها

گروه بندی سنگ دانه ها :

سنگ دانه ها به طرق مختلفه زیر گروه بندی می شوند . باید توجه داشت که برخی گروه بندی ها دارای وجه اشتراک می باشند .

ممکن تفاوت در طبیعی بودن یا مصنوعی (ساخته شده) بودن سنگ دانه باشد . در حین تولید سنگ دانه طبیعی وانجام اعمالی نظیر خرد کردن ،شستن ،سرندکردن و امثالهم ،اینگونه ذرات تغییر ماهیت نمی دهند. غالباً سنگ دانه های مصنوعی ،محصول فرعی یا ضایعات برخی فرآیندهای حرارتی روی مواد معدنی طبیعی می باشند . از جمله این نوع سنگ دانه ها می توان از روباره خرد شده نام برد .

غالباً ، در ساخت بتن از شن و ماسه طبیعی به دلیل در دسترس بودن و اقتصادی بودنش استفاده می شود . معذالک باید توجه داشت که ذخایر شن و ماسه غالباً دارای نوسان شدید در کیفیت ، خصوصاً از نقطه نظر دانه بندی می باشند . بنابراین برای بدست آوردن سنگ دانه های دارای کیفیت یکنواخت از ذخایر طبیعی ، انجام کارهای شستشو ، سرندکردن و دانه بندی آنها قبل از مصرف توصیه می گردد .

نوع دیگری از سنگ دانه های طبیعی که به مقیاس وسیعی مورد مصرف دارد ، سنگ شکسته است که از خردکردن سنگ های استخراج شده از معادن سنگ حاصل می شود . سنگ شکسته بدنبال یک سری اعمال

در معدن سنگ نظیر چال زدن ،آتشکاری و سپس خردکردن تخته سنگها در سنگ شکن تا ابعاد مورد نیاز ، دانه بندی سنگهای خرد شده بوسیله دستگاه دانه بندی بدست می آید .

شاید معروفترین نوع سنگ دانه مصنوعی روباره خرد شده است .از اواخر قرن گذشته روباره خرد شده بعنوان سنگ دانه مصرفی در ساختن بتن مورد استفاده قرار گرفت . البته به دلیل خواص انبساطی و معیوب بودن برخی انواع روباره ها ،ازهرنوع روباره ای برای ساخت بتن نمی توان استفاده کرد . درضمن ذوب کردن سنگ آهن در کوره ذوب آهن کف روی مذاب پس از سرد شدن بصورت سنگ نسبتاً یکپارچه و یا دانه های ریزی در می آید که بدان روباره می گویند .

گروه دیگراز سنگ دانه های ساخته شده یا مصنوعی شامل سنگ دانه های سبک میباشد.این سنگ دانه ها، بدلیل رشد مصرف بتن سبک محبوبیت خاصی پیدا کرده اند .از جمله این سنگ دانه های سبک می توان از روباره و ترکیبات منبسط شده نـظیر پرلیت ها ، اسلیت ها ، رس ها و شـیل ها نام برد . نمونه ای از سـنگ دانه های مصنوعی که از جمله ضایعات می باشند میتوان خرده آجر و بتن خرد شده را نام برد . بعنوان یک قاعده سنگ دانه های مصنوعی در مقایسه با سنگ دانه های طبیعی دارای کیفیت یکنواختی می باشند .

نوع دیگر گروه بندی سنگ دانه ها ،از نقطه نظر سنگ شناسی ذرات متشکله آنها می باشد . بیشتر انواع مهم و عادی سنگ دانه های معدنی متشکل از مینرالهای سیلیس ، فلداسپار ، مینرالهای فرومنیزیم ، مینرالهای میکا ، کانی های رسی ، زئولیتها ،کانی های کربنات ، کانی های سولفات ،کانی های سولفید آهن وکانی های اکسید آهن می باشند .

با توجه به مبدا پیدایش سنگها ،سه گروه اصلی وجود دارد : آذرین ، رسوبی و دگرگونی .

سنگهای آذرین در اثر سرد شدن مواد مذاب خروجی از دهانه آتشفشان بوجود می آیند (گرانیت ، بازالت ، دیابیس ، گابرو ، آندزیت ، پومیس ، و غیره). سنگ های رسوبی شامل سنگهای آهکی که از رسوب کردن محلول کربنات کلسیم (سنگ آهک) حاصل می شود و یا با یکپارچه شدن اجزاء و قطعاتسنگهای قدیمی که بوسیله آب ، یخ و یا سنگینی جابجا شده اند و سپس ته نشین گردیده اند (نظیر ماسه سنگ ، شیل ، کنگلومرا و غیره) می باشند .

سنگهای دگرگونی ممکن است از سنگهای آذرین یا رسوبی باشند که دراثر فشار یا حرکت یا هر دو دگرگون شده اند (نظیر اسلیت ، مرمر ، کوارتزیت و غیره) . معمولاً سنگهای آذرین متشکل از دانه های ریزی هستند که بخوبی درهم رفته اند و یکپارچه شده اند و حاوی درصد کمی فلداسپار می باشند و دارای بهترین خواص جهت ساخت بتن هستند . در میان سنگهای رسوبی ، سنگ آهکهای قطور و سخت بهترین نوع هستند . سنگهای دگرگونی حاصله در اعماق زیاد نیز دارای خواص عالی از نقطه نظر ساخت بتن می باشند .

روباره کوره بلند اساساً متشکل از سیلیکت ها و آلومینوسیلیکات های آهک هستند و ترکیب آنها برای کوره های مختلف متفاوت می باشد . این بدان معنی است که ترکیب روباره ها با سنگ ها متفاوت است ولی از جنبه خـواص فیزیکی با برخی سنگ های آذرین مشابـه هستند . روبـاره های شیشه ای شده شـکننده تر و سخت تر از روباره های کریستاله می باشند . در اغلب موارد تعیین هویت سنگ ها و مینرال ها بوسیله یک بلورشناس و سنگ شناس ماهر امکان پذیر است .

اکثریت سنگ دانه ها در داخل بتن خنثی (Inert) و غیرفعال (Inactive)هستند ،بدین معنی که با خمیر سخت شده ایجاد اتصال می نمایند ولی نقشی درفرآیند ونحوه گیرش و سخت شدن ویا انبساط بتن ندارند .

البته سنگ دانه های فعال (Reactive) هم وجود دارند که با خمیر سیمان ایجاد واکنش های قابل توجهی می کنند . اینگونه واکنش ها می توانند همانند واکنش کوارتز در تولید قطعات بتنی در اتوکلاو ، مفید باشند و یا همانند واکنش های قلیائی - سنگ دانه مضر باشند .

شاید رایج ترین دسته بندی سنگ دانه ها ، مبتنی بر دانه بندی آنها باشد : سنگ دانه متشکل از دانه های درشت موسوم به درشت دانه (Coarse Aggregate) و سنگ دانه های متشکل از ذرات ریز موسوم به دانه ریز (Fine Aggregate) هستند . مرز بین این دو در کشورهای مختلف متفاوت است . این مرز الک شماره ۴ (۴.۷۵ میلیمتر) است . سنگ دانه هائی که از این الک عبور می کنند ریزدانه و سنگ دانه های باقیمانده روی الک درشت دانه هستند . سنگ دانه هائی که از الک شماره ۱۶ (۱.۱۸ میلیمتر) عبور می نمایند موسوم به ماسه نرم (fine sand) هستند . ذراتی که از الک شماره ۲۰۰ (۰.۰۷۵ میلیمتر) عبور می کنند ، سیلت (Silt) و آنهائیکه کوچکتر از ۲ میکرون هستند رس (Clay) نامیده می شوند . سنگ دانه هائی که متشکل از ذرات ریز و درشت هستند ، مخلوط (Combined) نام دارند .

تاب بتن باسنگ شکسته بیشتر است ،زیرا که دوغاب سیمان به سطوح ولبه های تیزدانه ها بهتر می چسبد .

سنگدانه ها در بتن حدوداً ۳/۴ حجم آنرا یعنی ۶۰ تا ۷۵ درصد از حجم بتن را تشکیل می دهد از اینرو کیفیت آن ها از اهمیت بالایی برخوردار است. انتخاب نوع و نسبت صحیح مصالح سنگی از اهمیت خاصی برخوردار است. سنگدانه ها نقش اسکلت بتن را دارند و مقاومت بتن بستگی به مقاومت سنگدانه ها دارد. به طور مثال پایداری و دوام بتن تا حد زیادی متاثر از این مصالح می باشد.دانه های سنگی طبیعی معمولاً به وسیله ی هوازدگی و فرسایش و یا به طور مصنوعی با خرد کردن سنگ های مادر تشکیل می شوند یعنی از بستررودخانه ها یا معادن شن و ماسه بدست آیند. که به صورت کروی یا گرد گوشه هستند و دیگر مصالح سنگی شکسته که از خرد نمودن سنگ های بزرگ توسط دستگاه های سنگ شکن تولید شده و توسط

سرند در اندازه های مختلف سرندمی 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.

اندازه ی دانه های سنگی :

بتن معمولاً از سنگدانه هایی به اندازه های مختلف که حداکثر آن بین ۱۰ میلی متر و ۵۰ میلی متر و به طور متوسط ۲۰ میلی متر می باشد، ساخته می شود حد فاصل دانه بندی ریز و درشت را الک ۴.۷۵ میلی متری یا نمره ۴ استانداردASTM تعیین می کند. مصالح درشت تر از ۴.۷۵ میلی متر به نام شن و کوچکتر از آن به نام ماسه نام گذاری شده اند. حد پایین ماسه ۷٪ میلی متر یا کم تر است. مواد بین ۶٪ تا ۲٪ میلی متر به لای و سیلت و مواد ریزتر جزء رس محسوب می شوند.

حداکثر اندازه ی درشت دانه ها :

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

الف)۱/۵ کوچکترین بعد اعضاء

ب) ۱/۳ضخامت دال

ج) ۳/۴کوچک ترین فاصله آزاد بین آرماتورها

دانه های شن ابعاد بیش از ۴/۷۵ میلی متر (الک نمره ۴) هستند. 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.

دانه های با اندازه ۰.۰۷۵ تا ۴/۷۵ میلی متر، ماسه نامیده می شود و ذرات کوچک تر از ۰.۰۷۵ میلی متر برای بتن مضر می باشد. و مقدار این ذرات در سنگدانه ها توسط آیین نامه آبا محدود شده است.

دسته بندی سنگدانه ها از نظر شکل ظاهری :

دانه های گرد : به دلیل فرسایش در طبیعت دارای شکل گرد و سطح صاف شده اند.

دانه های نامنظم : این دانه ها معمولاً سطحی صاف و صیقلی شده اند ولی شکلشان کاملاً گرد نیست.

دانه های گوشه دار : این دانه ها سطح صافی ندارند، شکل هندسی آن ها مشخص نیست و در بیشتر موارد گوشه های تیزی دارند.

دانه های پولکی شکل : ضخامت این دانه ها نسبت به دو بعد دیگرشان کم است.

دانه های سوزنی شکل : دانه هایی هستند که طولشان بیشتر از سه برابر عرضشان یا ضخامتشان است.

اصولاً در بتن سازی از دانه های گرد، نامنظم و گوشه دار استفاده می کنند و به کارگیری دانه های سوزنی و پولکی شکل در بتن مجاز نمی باشد و به طور کلی دانه های گرد در مقایسه با دانه های نامنظم و گوشه دار در بتن سازی کم ترین مصرف سیمان را دارند (چون سطح ظاهریشان نسبت به دانه های دیگر پایین تر است). بعد از این دانه ها به ترتیب مصرف دانه های نامنظم و سپس دانه های گوشه دار در مرتبه ی بعدی هستند. از نظر مقاومت نهایی بتن، دانه های گوشه دار به علت امکان درگیر شدن بیشتر دانه ها مقاومت بیشتری دارند. استفاده از دانه های گرد گوشه نسبت به دانه های شکسته شده باعث بالا رفتن کارایی مخلوط بتن می شود.

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

۱. دانه های کاملاً خشک : این دامنه ها در کوره $^{\circ}$۱۱۰ – ۱۰۰ حرارت دیده اند، در این دامنه ها سطح خارجی و خلل و خرج داخلی آن ها کاملاً خشک است.

۲. دانه های خشک : دانه هایی هستند که در بعضی حفره های داخلی آن ها آب دیده می شود اما سطح خارجی آن ها خشک است.

۳. دانه های اشباع با سطح خشک (SSD) : دانه هایی هستند که کلیه ی حفره ها و خلل و خرج های آن ها از آب پر باشند، لیکن سطح دانه خشک است، چنانچه دانه ها را به مدت ۲۴ ساعت در آب نگه داشته، سپس از آب بیرون بیاورند و سطح آن ها با دستمال خشک و ضخیم کاملاً خشک کنند. این دانه ها اشباع با سطح خشک می باشند.

۴. دانه های مرطوب : دانه هایی هستند که خرج آن ها از آب اشباع و سطحی خارجی آن ها نیز خیس می باشد.

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 :

برای دانه بندی سنگدانه ها، 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.

الک های مورد استفاده شامل الک های شماره ۴ و ۸ و ۱۶ و ۳۰ و۵۰ و ۱۰۰ برای مصالح ریزدانه و الک های ۱/۲ و ۳/۴و ۳/۸ اینچ برای دانه های درشت می باشد. الک نمره ۴ با بعد ۴/۷۵ میلی متر مرز بین شن و ماسه می باشند. برای مصالح ذرشت دانه، اندازه الک برحسب اندازه سوراخ ها به اینچ طول و برای دانه های ریز نمره الک بر حسب تعداد چشمه ها در هر اینچ طول الک محاسبه می شود.

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

الف) منحنی دامنه بندی گسسته

ب) منحنی دامنه بندی پیوسته

منحنی دامنه بندی گسسته دارای یکی از شرایط زیر می باشد:

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

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

اگر یک منحنی ناپیوسته نباشد، پیوسته است. (در شکل زیر) منحنی شماره ی ۱ منحنی شامل محدوده ی شن نمی باشد.در منحنی شماره ۶ بخش قابل توجهی از سنگدانه ها بر روی الک نمره۴ باقی مانده اند. درمنحنی شماره ۳ در محدوده ی کوچکی (از الک ۳/۴ تا ۳/۸ اینچ) در حدود ۶۰ درصد کل دانه ها قرار گرفته اند، بنابراین این سه منحنی گسسته اند ولی منحنی شماره ۴ ناپیوستگی نداریم و منحنی پیوسته است.

استفاده از دانه بندی پیوسته باعث ایجاد بتن متراکم تر و قوی تر و مصرف کم تر سیمان می شود (زیرا در این نوع دامنه 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. استفاده از دانه بندی گسسته در برخی بتن های با دانه های درشت نمایان کاربرد دارد.

مدول نرمی یا ضریب نرمی :

مدول نرمی ضریبی است که از دانه بندی بدست می آید. مدول نرمی به مجموع درصدهای تجمعی باقیمانده روی الک های استاندارد تقسیم بر ۱۰۰ گفته می شود. با توجه به آن که تعداد الک ها ۹ عدد و مقدار درصد مانده بین ۰ تا ۱۰۰ متغیر است. مقدار مدول نرمی بین عدد ۰ تا ۹ متغیر است. اما برای سنگدانه های مورد استفاده در بتن این مقدار باید در محدوده ی ۲/۳ تا ۱/۳ 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 :

وجود رطوبت در سنگدانه ها، تصحیح نسبت های واقعی مخلوط را ایجاب می کند. باید وزن آب مخلوط را به اندازه ی وزن آب آزادی که همراه سنگدانه هاست کاهش داد و وزن سنگدانه های موجود را به مقدار مشابهی افزایش داد.وجود رطوبت در ماسه یک اثر جانبی (ثانویه) ایجاد می کند و آن تورم است.

تورم عبارتست از افزایش در حجم جرم معینی از ماسه در اثر لایه نازکی از آب که ذرات را دور از یکدیگر نگه می دارد.

مقدار رطوبت به میزان رطوبت موجود در ماسه و نرمی آن بستگی دارد. هر چه ماسه ریزدانه تر باشد، تورم بیشتری خواهد داشت. تورم ماسه با رطوبت ۱۰ درصد حدود ۴۰ درصد 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 آزمایش لوس آنجلس اندازه گیری می شود.

مقاومت دانه های سنگی در برابر یخ زدگی :

مقامت مصالح سنگی در برابر یخ زدگی به پولکی، نم گیری و در صد خلل آن بستگی دارد. برای بتنی که در هوای آزاد است این ویژگی مهم است. تمام سنگدانه ها حتی سنگدانه های بخت مثل گرانیت خلل و خرجی دارند که اگر در مجاورت آب قرار گیرند این سوراخ ها از آب پر می شوند و دگر 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 سنگ دانه ها شود این مساله 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 تخلفل مقاومت کم می شود.

۲. نفوذ پذیری دانه ها : با بالا رفتن 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 کم تری داشته باشند، مقاومت آن ها در برابر یخبندان کم تر است.

مواد مضر سنگدانه ها :

مواد مضر سنگدانه ها، عموماً ناخالصی هایی هستند که ممکن است در فعل و انفعلات و هیدراتاسیون سیمان تاثیر بگذارند و یا به صورت پوششی از ایجاد چسبندگی بین دانه ها خمیر سیمان جلوگیری کنند. گاه ناخالصی حاصل مواد آلی هستند که در اثر پوسیدگی مواد نباتی موجود در سنگدانه ها و به خصوص یافت می شوند و با شستن به راحتی از آن جدا می شوند که تاثیر این ناخالصی در آزمایشی به نام تشخیص رنگ که دراستاندارد ASTM آمده کنترل می گردند. گاهی ناخالصی ها به علت ناخالصی های نمکی می باشد به خصوص در مورد ماسه ای که از دریا جمع آوری شده و دارای نمک است و با شستن توسط آب از دانه ها جدا می شود، ولی ماسه کف که حتی با آب دریا شسته شده دارای نمک های مضر برای بتن می باشد. که از مضرات آن جذب آب نمک های موجود در سنگدانه ها توسط هوا و تشکیل شوره در سطح بتن است.

آب بتن

آب اختلاط 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 موجود در بتن باعث می شود پس از تبخیر آن، در بتن فضاهای خالی به وجود بیاید و مقاومت بتن کاهش یابد. با استفاده از روان کننده ها می توان نسبت آب به سیمان را کاهش داد. آب مناسب برای بتن باید فاقد بو و مزه باشد آب مناسب روی مقاومت بتن تاثیر گذاشته و باعث بروز لکه هایی در سطح بتن و یا خوردگی میله گردها نشود. به طور کلی هر آبی که PH آن باید بین ۶ تا ۸ باشد و طعم شوری نداشته باشد و فاقد فاقد بو و مزه باشد مناسب است.

وجود جلبک در آب مخلوط باعث ایجاد حباب هوا در بتن و در نتیجه کاهش مقاومت می شود گاهی اوقات به ناچار مجبور هستیم آب دریا را در مخلوط بتن استفاده کنیم، آب دریا معمولاً ۳.۵ درصد املاح محلول دارد، چنین آبی مقاومت اولیه را بالا می برد ولی مقاومت دراز مدت معمولا پایین می آید. آب دریا به علت وجود نمک های کلرور، سبب مرطوب شدن نمونه و ایجاد شوره در آن می گردند. در صورتیکه مجبور به استفاده از آب غیر آشامیدنی هستیم، مقاومت نمونه مکعبی بتن بدست آمده با این آب، باید حداقل برابر با ۹۰ درصد مقاومت نمونه مکعبی مشابه ساخته شده با آب باشد.

ویژگیهای آب مصرفی بتن :

الف) آب های مناسب برای ساختن بتن :

۱- آب باران

۲- آب چاه

۳- آب برکه

۴- آب رودخانه در صورتی که به پسابهای شیمیایی کارخانجات آلوده نباشد و غیره ... به طور کلی آبی که برای نوشیدن مناسب باشد برای بتن نیز مناسب است باستثناء مواردی کهمتعاقباً توضیح داده خواهد شد .

الف) آب های نامناسب برای ساختن بتن :

۱- آبهای دارای کلر (موجب زنگ زدگی آرماتور می شود)

۲- آبهایی که بیش از حد به روغن و چربی آلوده می باشند

۳- وجود باقیمانده نباتات در آب

۴- آب گل آلود (موجب پایین آوردن مقاومت بتن می شود)

۵- آب باتلاقها و مردابها

۶- آبهای دارای رنگ تیره و بدبو

۷- آبهای گازدار مانند CO_2 و ...

۸- آبهای دارای گچ و سولفات و یا کلرید موجب اثرگذاری نامطلوب روی بتن می شوند .

آب برای عمل آوری بتن :

اصولاً آبی که برای ساختن مخلوط بتن مناسب است، برای عمل آوری آن نیز مطلوب خواهد بود. به هر حال وجود مواد آهنی و آلی در آب سبب ایجاد لکه روی سطح بتن شده و این امر هنگامی که آب به آرامی روی

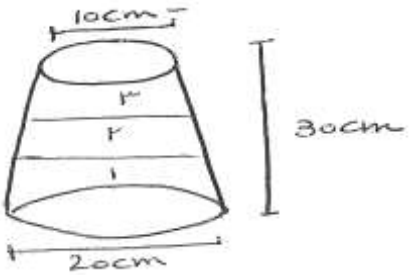
سطح بتن جریان می یابد و سریع تبخیر می شود، تسریع می گردد به طور کلی توصیه می شود آبی که برای عمل آوری بتن مصرف می شود، از موادی که ممکن است روی بتن سخت شده اثر بگذارند، عاری باشد. مثلاً آبی که دارای$CO2$ آزاد باشد و یا آب خالص حاصل از ذوب یخ ها که مقدار کمی $CO2$ دارد بتن را حل می کند و سبب سایش سطحی آن می شود.

بتن تازه

کارایی بتن

کارایی به صورت مقدار کار مفید داخلی لازم برای ایجاد تراکم کامل بیان شده است. کار داخلی مفید یکی از خواص فیزیکی بتن است و در واقع کار یا انرژی لازم برای غلبه بر اصطکاک داخلی بین ذرات تشکیل دهنده بتن می باشد. در عمل انژی بیشتری لازم است تا بر اصطکاک سطحی بین بتن و قالب ها یا آرماتورها غلبه کند. همچنین انرژی تلف شده ای جهت لرزاندن قالب ها و بتنی که متراکم شده، مصرف می شود بنابراین در عمل اندازه گیری کارایی طبق تعریف فوق مشکل بوده و چیزی که اندازه گیری می شود روش ابداعی بخصوصی در آزمایش اسلامپ می باشد. در این آزمایش از یک مخروط ناقص به ارتفاع ۳۰ سانتی متر استفاده می شود (قطر قاعده کوچک ۱۰ و قاعده زرگ) می باشد.برای آزمایش بتن تازه را در ۳ لایه در مخروط می دهند و با میله یا وسیله ای به نام کوبه به قطر ۱۶ میلی متر با انتهای گرد شده با ۲۵ ضربه متراکم می شود سپس سطح آن را صاف کرده و مخروط را به سمت بالا حرکت می دهندو بتن پس از بیرون آمدن از قالب مخروط مقداری افت می کند میزان این افت را بر حسب سانتی متر کارایی بتن می نامند که میزان افت عددی بین ۰ تا ۳۰ است و برای کارهای بتنی آرمه این افت باید بین ۲.۵ تا ۱۰ باشد. اسلامپ صفر برای مخلوط هایی با روانی بسیار کم و سفت است لذا در مخلوط های نسبتاً خشک تغییرات کارایی را نمی توان با آزمایش اسلامپ تعیین کرد.

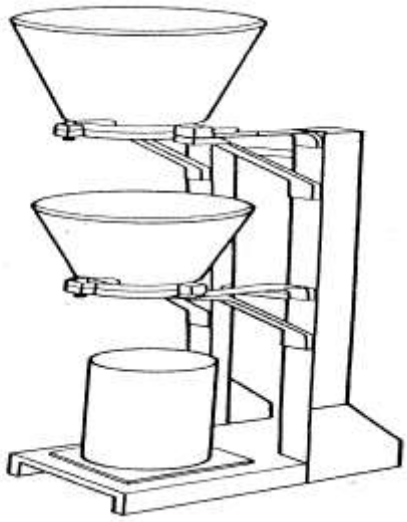
اسلامپ خیلی بالا یا خیلی پایین به سازنده ی بتن این آگاهی را می دهد که در شرایط موجود تغییراتی بدهد.



آزمایش فاکتور تراکم:

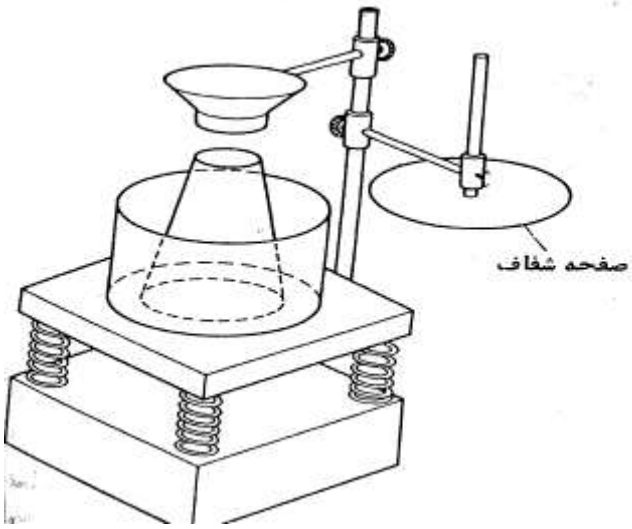
آزمایش فاکتور تراکم روشی است که با اعمال کار شخصی درجه ترام مخلوط را تعیین می کند در این آزمایش کار اعمال شده شامل کار غلبه کننده بر اصطکاک سطح نیز بوده اما اگرچه اصطکاک واقعی با کارایی مخلوط تغییر می کند. سعی می شود این میزان کار به حاقل برسد. این درجه تراکم از تعیین نسبت بین وزن مخصوص بذست آمده در آزمایش به وزن مخصوص همان بتن با تراکم کامل بدست می آید. دستگاه شامل ۲ مخروط ناقص و یک استوانه می باشد که بالای یکدیگر قرار می گیرند. ۲ مخروط در انتها دارای ۲ درب مفصلی بازشو می باشند و جهت کاهش اصطکاک سطوح داخلی مخروط ها صیقلی شده اند. ابتدا مخروط بالایی به آرامی از بتن پر می شود و در حقیقت کاری برای تراکم صورت نمی گیرد سپس دریچه ی انتهایی مخروط باز شده تا بتن در مخروط دوم که کمی کوچکتر از اولی است بریزد که بتن اضافی از سر مخروط فوق بیرون می ریزد وهمواره یک مقدار بتن مطابق استاندارد در آن باقی می ماند. سپس دریچه ی باز شده و بتن به استوانه ریخته می شود. بتن اضافی سر استوانه توسط دوماله جمع و سطحی صاف بدست می آید آنگاه وزن بتن داخل استوانه اندازه گیری می شود. با داشتن حجم استوانه، وزن مخصوص بتن محاسبه شده و ضریب تراکم از تقسیم این وزن مخصوص به وزن مخصوص بتن در حالت تراکم کامل به دست می آید. وزن مخصوص در حالت تراکم کامل، با پر کردن استوانه ی فوق از بتن در ۴ لایه و کوبیدن و لرزاندن هر لایه محاسبه می شود این آزمایش برخلاف آزمایش اسلامپ در کارایی های

پایین حساسیت بیشتری دارد و تغییرات کارایی را در بتن های نسبتاً خشک دقیق تر نشان می دهد.



آزمایش Vebe :

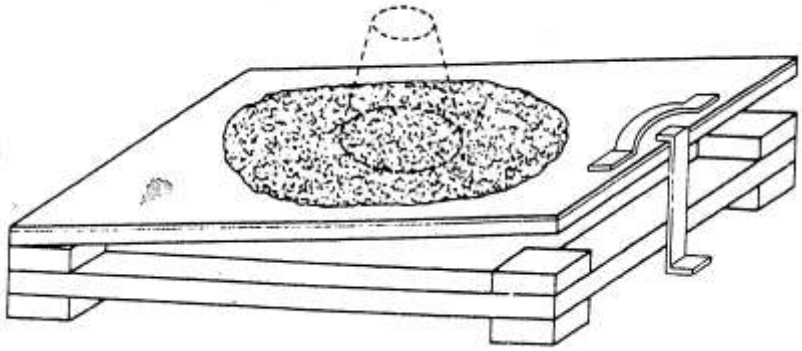
این آزمایش مخروط استانداردی که در اسلامپ استفاده می شد را روی استوانه ی به قطر ۲۴۰ میلی متر و ارتفاع ۲۰۰ میلی متر قرار می دهند مخروط اسلامپ به روش قبل از بتن پر شده و بعد از تراکم اسلامپ اندازه گیری می شود. سپس صفحه به وزن۲.۷۵کیلوگرم روی بتن قرار داده می شود آنگاه توسط میز لرزاننده که به سیستم متصل است لرزشی با فرکانس 50 هرتز ایجاد می شود. در این حالت استوانه و صفحه ی زیر آن تا حدود 0.35 در جهت قائم حرکت می کنند. تراکم کامل زمانی است که صفحه شفاف کاملاً توسط بتن پوشیده شود و تمامی فضاهای خالی سطح بتن محو می شود. نسبت تغییرات حجم بتن قبل ازلرزیدن به تغییرات حجم بتن بعد از لرزیدن *زمان اندازه گیری شده زمان اصلاح شده را می دهد. ان روش مخصوص برای مخلوط های خشک است.



نسبت $\frac{V_2}{V_1} \times$ زمان اندازه گیری شده $\times \frac{\text{تغییرات حجم بتن قبل از لرزیدن}}{\text{تغییرات حجم بتن بعد از لرزیدن}} = t$

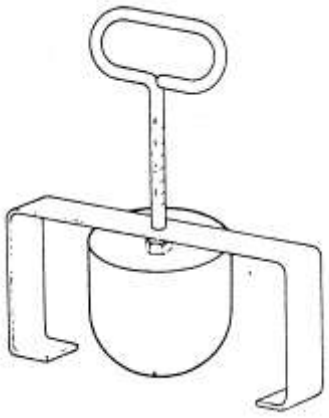
آزمایش میز سیمان :

این آزمایش برای بتن های روان با فوق روان کننده ها استفاده می شود به این صورت که دستگاه از ۴ چوب تخته ای و صفحه ای فلزی در بالا به وزن کل ۱۶کیلوگرم تشکیل شده. ابعاد صفحه ۷۰۰*۷۰۰ میلی متر بوده و یک طرف آن به پایه متصل شده است. صفحه رویی می تواند به اندازه ۴۰ میلی متر بالا آورده شود و رها شود. در وسط صفحه علامت هایی برای قرار دادن مخروط اندازه گیری مشخص می شود صفحه بالایی مرطوب شده و مخروط ناقصی به ارتفاع ۲۰۰ و قاعده های ۱۳۰ و ۲۰۰ میلی متر در محل قرار گرفته و با بتن پر و توسط میله چوبی استانداردی به آرامی متراکم می شود پس از پاک کردن بتن های اضافی از صفحه و قالب، مخروط فوق بعد از ۳۰ ثانیه بالا کشیده شده آنگاه صفحه رویی را ۱۵ بار هر بار به مدت ۴ ثانیه بلند کرده و رها می کنند. در نتیجه ی این عمل بتن روی صفحه پخش می شود و حداکثر میزان پخش شدگی در دو جهت موازی ۲ لبه صفحه با متر اندازه گیری می شود. متوسط این ۲ مقدار با تقریب میلی متر میزان روانی را نشان می دهد عدد ۴۰۰ میلی متر کارایی متوسط و مقدار ۵۰۰ میلی متر کارایی بالا را نشان می دهد.



آزمایش نفوذ توپی (نیمکره):

اساس آزمایش تعیین عمق نفوذ نیمکره فلزی به قطر میلی متر۱۵۲ و با وزن ۱۴ کیلوگرم است که تحت وزن خود در بتن فرو می رود که این آزمایش همانند اسلامپ برای کنترل مداوم روانی بتن در کارگاه ها می باشد. و می تواند جایگزین اسلامپ نیز باشد چون ساده تر و سریع تر از آن می باشد مهم تر اینکه می تواند روی بتن های در حال حمل و یا در قالب ها نیز انجام شود.



آب انداختن بتن :

آب انداختن بتن در حقیقت نوعی جدایی در بتن می باشد که در آن قسمتی از آب مخروط به بالا و سطح بتن آمده و از دانه ها جدا می شود در حقیقت علت آن عدم توانایی ذرات در نگه داشتن همه ی آب مخروط بین خود و جلوگیری از ته نشین شدن آن ها می باشد آب انداختن بتن را از لحاظ کمی می توان به صورت کل نشست در واحد ارتفاع بتن بیان کرد 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. در صورت مخلوط کردن مجدد این آب اضافی سطحی به هنگام پرداخت بتن لایه سطحی کم مقاومت در مقایش سایش ایجاد می شود. برای اجتناب از این مسئله می توان عمل پرداخت بتن را تا تبخیرآب روزده به تاخیر انداخت همچنین استفاده از تخته ماله نیز جهت تحریک کم تر سطح مناسب می باشد از طرف دیگر اگر سرعت تبخیر آب سطحی بتن بیش از سرعت آب انداختن آن باشد، ترک های جمع شدگی پلاستیک به وجود خواهد آمد. 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. به هرحال در بتن تعدادی حفره های خالی باقی می ماند لیکن روزدن زیاد آب خطر یخ زدگی بتن را افزایش می دهد . آب انداختن بتن بخصوص در دال های نازک و روسازی ها خطر یخبندان بتن را تشدید می کند.آب انداختن بتن همواره زیانبار نخواهد بود. بلکه اگر این عمل دست خورده 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 تا برس زدن و شستن از سطح بتن پاک شود. هر چه سیمان ریزتر شود آب انداختن کاهش می یابد و افزایش کلرورکلسیم آب انداختن راکاهش می دهد. همچنین سیمان های با

خاصیت قلیایی بالا نیز بسیار در این امر موثرند. افزایش مواد هوازا، مواد پزولانی و پودر آلومینیوم این خطر را کاهش می دهد.

جدایی دانه ها :

جدایی عبارتست از برهم خوردن یکنواختی پختن 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 :

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)

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 :

پرتاپ بتن از یک فاصله قابل ملاحظه به داخل قالب.

عبور از ناودانی های طولانی که گاه با تغییر جهت همراه است.

تخلیه بتن بر عکس یک مانع موجود.

حمل بتن به مسافت های طولانی.

استفاده ناصحیح از ویبراتور.

استفاده از مواد حباب زا (هوازا) در بتن خطر جدایی را کم می کند.

اجرای بتن

این فصل شامل مباحث زیر می باشد: اجرای بتن-روش های ساخت بتن، حمل و ریختن و تراکم بتن.

در این فصل به بررسی نقطه نظرهای عملی در ساخت بتن تازه و ریختن آن در قالب ها تا تشکیل بتن سخت شده ساختمانی می پردازیم. معمولاًزمانی که از بتن صحبت می شود منظوربتن سخت شده است. مراحل زیر به دنبال هم طی می شوند.

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. ساده ترین نوع مخلوط کن ها، مخلوط کن های پیمانه ای هستند که در آن ها مصالح مخلوط و خالی شده و سپس پیمانه ی دیگری از مصالح وارد مخلوط کن می شود که امروزه ۴ نوع مخلوط کن پیمانه ای موجود است :

۱. مخلوط کن کج شونده : بعد از عمل اختلاط مصالح با کج کردن ظرف مخلوط کن تخلیه می شود. و ظرف مخلوط کن به شکل مخروط با تعبیه پره هایی در داخل آن می باشد تخلیه مصالح آن بسیار سریع بوده و برای بتن هایی با کارایی نسبتاً پایین و با دانه های سنگی نسبتاً درشت مناسب است.
۲. مخلوط کن غیر کج شونده : دارای محوری افقی است وتخلیه مصالح با وارد کردن یک ناودانی به داخل مخلوط کن و یا دوران مخلوط کن بر خلاف جهت اولیه صورت می گیرد مشکل آن سرعت تخلیه پایین مصالح است که با جدایی درشت دانه ها همراه خواهد بود . این مخلوط

کن توسط پیمانه هایی پر می شودو لازم است کل مصالح یکباره از پیمانه داخل مخلوط کن ریخته شود.

۳. مخلوط کن های تغاری : مصالح بر خلاف دو مخلوط کن قبلی که ازادانه رویهم ریخته و مخلوط می شوند ، با اعمال نیرو مخلوط می شوند که از یک ظرف دایره ای که که حول خود می چرخد با یک یا دو میله پره دار که حول محوری قایم می چرخند تشکیل شده اند پاره ای مواقع ظرف دایره ای ثابت و میله های پره دار حول محور خود و روی مداری دایره ای شکل دوران می کنند . در هر دو صورت مخلوط بتن به خوبی و بدون چسبیدن به جداره های مخلوط کن انجام می شود .ارتفاع پره به گونه ای است که مانع چسبیدن و تشکیل لایه ای از ملات در ته مخلوط کن می شود .که برای مخلوط های سفت و چسبنده و برای بتن های پیش ساخته و ساختن مقادیر کم بتن و ملات در آزمایشگاه استفاده می شوند.

۴. مخلوط کن های دوقلو : در کارهای راه سازی بتنی استفاده می شوند . بتن در یکی از تغارها ی مخلوط کن ، مخلوط شده و سپس برای بقیه زمان مخلوط به مخلوط کن دوم می رود و سپس تخلیه میشود که در همین زمان تغار اول از ملات پر و تغذیه میشود،که با این رو بازدهی بتن ۲ برابر می شود.

در مخلوط کن های نوع ۱ و ۲ که تیغه برای تمیز کردن بتن دیواره ها وجود ندارد باید بتن جداره مخلوط کن پاک شود.

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 میلی متر وجود خواهد داشت.

یکنواختی مخلوط :

کارایی و راندمان مخلوط کن براساس پیشنهاد ASTM باید با نمونه گیری از مخلوط داخل آن در زمان تخلیه نمونه ها از و هر پیمانه گرفته شود و اختلاف خواص ۲ نمونه تعیین شود که مقدار اختلاف از مقادیر زیر باید بیشتر باشد :

۱. وزن مخصوص بتن از
۲. اسلامپ : ۲۵ میلی متر در حالتی که متوسط اسلامپ از ۴۰ کم تر است و۴۰ میلی متر برای اسلامپ بین ۵۰- ۱۰۰ میلی متر
۳. میزان هوا : ۱ درصد
۴. درصد سنگدانه باقی مانده روی الک ۴.۷۵ می لی متر : از ۶ در صد
۵. وزن مخلوط ملات بدون هوا از ۱.۶درصد
۶ . مقاومت فشاری ۷ روزه از ۷.۵٪

زمان مخلوط کردن :

زمان لازم جهت اختلاط مصالح در مخلوط کن به عواملی نظیر نوع و ظرفیت مخلوط کن سرعت دوران آن و کیفیت مخلوط مصالح به هنگام پر کردن مخلوط کن بستگی دارد. به طور کلی زمانی کم تر از ۱ دقیقه تا ۱/۴ و ۱دقیقه باعث تولید مخلوطی غیر یکنواخت و با مقاومت کم می شود و زمان بیشتر از ۲ دقیقه هم تاثیری در خواص فوق ندارد.

آب باید در زمانی دیرتر از زمان اختلاط به آن اضافه شود در هنگام به کار کردن سنگ دانه های سبک زمان مخلوط کن از ۵ دقیقه نباید کم تر باشد که این زمان به دو قسمت دو دقیقه ای بعد از افزودن سیمان تقسیم می شود. 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.

بتن آماده :

گاه به جای پیمانه و مخلوط کردن بتن ، بتن در یک مرکز بتن سازی به صورت آماده به کارگاه آورده می شود که روش مزایایی در مقایسه با روش اختلاط در کارگاه دارد :

۱ . کنترل کیفیت بالاتر

۲ . استفاده در کارگاه های با فضای کم و شلوغ و یا در راه سازی ها که امکان مصالح و ساخت بتن دشوار است.

۳ . استفاده از کامیون های مخلوط کن که در طول حمل از جدایی دانه ها و کاهش کارایی جلوگیری می کند.

۴ . راحتی در ساخت مقادیر کم بتن و بتن ریزی

بتن آماده به ۲ صورت ساخته می شود :

۱ . در کارگاه مرکزی ساخته و توسط کامیون های به هم زن به محل حمل می شود.

۲ . در کارگاه مرکزی مصالح پیمانه شده لیکن اختلاط حین حمل یا قبل از تخلیه بتن در کامیون انجام می شود.

سرعت به هم زدن ۲ تا ۶ دور در دقیقه و سرعت مخلوط کردن بین ۴ تا ۱۶ دور در دقیقه است.

حمل و نقل بتن :

روش متداول استفاده از فرغون، سطل، پیمانه، تسمه نقاله، کامیون های مخصوص و پمپ است تا زمانی که پیوستگی دانه بندی حفظ شود خواص بتن تازه یعنی چسبندگی از بین نرود.

وسایل ساختن بتن :

بتونیر : بتونیر عمل ترکیب مواد تشکیل دهنده ی بتن را انجام می دهد این دستگاه در فرم ها و ظرفیت های مختلف وجود دارد. از دستگاه ها با ظرفیت کم برای ساختن ملات و از دستگاه های با سرعت زیاد برای ساختن بتن استفاده می شود. که این دستگاه دارای مخزنی دوار است که عمل اختلاط را انجام می دهد.

دستگاه بتن ساز مرکزی : این دستگاه یک ماشین بتن ساز ثابت است که در مرکز تهیه ی بتن نصب می شود. از این دستگاه برای بتن های با حجم زیاد در ساختمان های عظیم بتنی نظیر تونل سازی و سدسازی استفاده می شود.

تراک میکسر : اگر فاصله ی بین مرکز بتن سازی و محل تخلیه ی بتن زیاد باشد برای جابه جایی آن از تراک میکسر استفاده می کنند این دستگاه یک نوع کامیون دارای یک مخزن دوار حمل بتن است که در حین حمل بتن عمل اختلاط را هم انجام می دهد . معمولاً مصالح خشک را درون آن ها ریخته و در هنگام حمل به وسیله ی یک منبع و یک پمپ هیدرولیک آب مورد لزوم به درون میکسر وارد شده و عمل اختلاط انجام می شود. در مسافت های کوتاه در دستگاه بتن ساز ، بتنی تازه ریخته می شود با این دستگاه می توان بتن را تا مسافت ۴۰ کیلومتر حمل کرد این جابه جایی حدود ۱.۵ ساعت طول می کشد.

وسایل حمل بتن :

۱ . **حمل با فرغون دستی** : با این روش حجم کمی از بتن را می توان جابه جا کرد (کارهای کوچک و مسافت های کوتاه)

۲ . **دامپر** : دامپر نوعی کامیون است ، اما در مقیاس کوچکتر برای حمل بتن در کارگاه از این دستگاه استفاده می شود.

۳ . **کامیون** : برای حمل بتن در حجم زیاد از این وسیله استفاده می شود. برای مسافت های کوتاه هم استفاده می شود. (زیرا امکان جدایی دانه ها وجود دارد)

۴ . **شوت (ناودانی)** : برای انتقال بتن از میکسر به کامیون و برای انتقال بتن به سطوح پایین تر استفاده می شود شکل ظاهری شوت شبیه نیم بشکه های به هم متصل شده است .

۵ . تسمه نقاله : در بتن ریزی های حجیم برای انتقال افقی و انتقال در سیطوح شیب دار استفاده می شود.

۶ . پمپ بتن : برای مکان هایی که امکان انتقال بتن با وسایل معمولی وجود ندارد و یا انتقال بتن به روش های دیگر مقرون به صرفه نباشد.

بتن ریزی

بتن آماده توسط ماشینهای حمل بتن (میکسر) برای شما آورده میشود ، توجه به نکات زیربرای اجرای یک بتن ریزی صحیح الزامی است :

۱- از افزودن آب به بتن حمل شده بدون اجازه مهندس نـاظر اکیداً خودداری شود . (معمولاً کارگران برای سهولت کار خود و روانی بیشتر بتن به آن آب می افزایند که این امر از مقاومت بتن به شدت می کاهد لذا توجه به این امر بسیار دارای اهمیت می باشد .)

۲- معمولاً مـقداری از بتن در ابتدای تـخلیه از میکسر دارای دانه بندی نامناسبی می باشد . باید دقـت شود این بتن که دارای کیفیت نامناسب جهت بتن ریزی می باشد ، مورد مصرف کارهای ساختمانی قرار نگیرد .

۳- قبل از بتن ریزی حتماً باید درون قالبهای فونداسیون که آرماتور گذاری شده است از خاکهای ریزشی و نخاله های ساختمانی کاملاً پاکسازی گردد .

۴- در زمان بتن ریزی استفاده از دستگاه ویبره الزامی است ، پیمانکاران موظف هستند قبل ازآغاز بتن ریزی از سلامت دستگاه ویبره خود اطمینان حاصل نمایند .

۵- برای آنکه آجرهای قالب بندی فونداسیون آب شیرآبه بتن را جذب نکند استفاده از پـوشش پلاستیکی (کاور) الزامی است .

۶- قبل ازاینکه بتن ریزی آغاز شود برای اینکه آب بتن سریعاً توسط بستر خارج نشود لازم است بستر بتن - ریزی مرطوب شود ، البته باید مراقب بود تا آب در کف پی جمع نشود و فقط رطوبت وجود داشته باشد .

بتن ریزی سقف :

بتن ریزی سقف های پروژه به دو صورت ، به کمک پمپ و یا تاور کرین بسته به موقعیت مکانی و زمانی کار ریخته می شد .

به منظور جلوگیری از تغییرات در ضخامت سقف بتن ریزی شده که خود باعث وارد آمدن بار مرده اضافی یا کمبود مقاومت بتن به جهت کمبود حجم آن می گردد ونیز ایجاد سطح یکنواخت درسطح کف سازه درحین بتن ریزی همواره ارتفاع تمامی نقاط بتن ریزی شده کنترل می گردد .

یکی دیگراز حفاظت بتن سقف مرحله اجرای تخته ماله دوم روی سطح بتن است که دراین ، به منظور حین اجرای سطحی یکنواخت و بدون ترک باید ترتیبی فراهم آورد تا سطح بتن از رفت و آمد مربوط به این کار آسیب ظاهری نبیند .

در بسیاری مواقع ، شرایط کار به نحوی پیش می رفت که به ناچار بسیاری از کارها می بایست به صورت هم زمان پیش می رفت تا پروژه از برنامه زمان بندی از پیش طراحی شده عقب نماند .

از دیگر مراحل بسیار مهم بتن ریزی ، مراحل آغازین و پایانی عملیات بتن ریزی است درمرحله آغاز عملیات بتن ریزی می بایست شرایـطی فراهـم آورد تـا لوله های پـمپاژ بتن آماده انتقال بتن گردد . بدین منظور در ابتدا با توجه به شرایط محیط کار مانند درجه حرارت محیط و ... طرح اختلاط خاصی از آب و سیمان توسط پمپ بتن در داخـل لوله ها جریان می یابد ، اما باید تـوجه داشت که این دوغـاب سیمان به هیچ وجه اجازه ورود به سطح بتن ریزی را ندارد و باید به نحوی از محیط عملیات خارج گردد .

از جمله موارد حفاظت محیطی بتن جلوگیری از وزش باد در محوطه بتن ریزی شده می باشد . زیرا که خود عامل تبخیر غیر طبیعی رطوبت بتن بوده و موجب ایجاد ترک می شود . با محصور کردن اطراف محل بتن - ریزی با پوشش مناسب علاوه بر حفاظت محیطی بتن ، محیط کار از بقیه محیط جدا شده و ایمنی کارکنان و محیط اطراف منطقه عملیات بتن ریزی نیز تا حد مطلوبی تامین می گردد .

با تـوجه به سطح بسیار زیاد بتن ریزی در هر سقف - حدود 900 مترمربع - نیاز می باشد که در هر مرحله لولههای پمپ بتن در حین بتن ریزی باز شده ودر مسیر جدید مجدداً بسته می شود که انتخاب محل انجام این کار به نحوی که مراحل انجام کار کمتر شده وآسیب کمتری به محیط عملیات بتن ریزی برسد ودر عین حال هماهنگی بین پمپ مـحل و مـحل لوله کشی از مسائلی بود که قبل از انجام عملیات بتن ریزی نیاز به برنامه ریزی داشت .

بتن ریزی در زیر آب :

مشخصات کلی در مواردی که بتن ریزی در زیر سطح آب مورد نظر باشد می توان از قیف و لوله (ترمی) یا پمپ برای بتن ریزی استفاده کرد .

الف- بتن ریزی با قیف و لوله (ترمی) :

دراین روش باید دقت شود تا دراثرجریان آب مواد سیمانی شسته نشوند .لازم است برای بتن با کارائی زیاد ، بتن ریخته شده در آب حداقل 350 کیلوگرم در متر مکعب مواد سیمانی داشته باشد . نسبت آب به سیمان در طرح اختلاط نباید از 0.45 تجاوز کند .

سیستم قیف و لوله باید کاملاً آب بند بوده و بتن براحتی در آن حرکت نماید . در طول مدیت بتن ریزی باید این سیستم از بتن پر باشد .

قطر لوله ترمی باید حداقل 8 برابر قطر بزرگترین اندازه سنگدانه مصرفی باشد . اسلامپ بتن باید بین 170 تا 250 میلیمتر انتـخاب شود . سر لوله ترمی همواره باید به میزان 100 تا 150 سانتیمتر در داخـل بـتن ریخته شده قرار گیرد .

ب- بتن ریزی با پمپ :

برای بتن ریزی با پمپ ، باید طرح اختلاط بتن چنان انتـخاب شود که نسبت آب به سیمان کمترین مـقدار ممکن را داشته و مقدار آن از 0.6 تجاوز ننماید . مقدار سیمان باید نسبتاً زیاد باشد (در محدوده 350 تا 400 کیلوگرم در متر مکعب) تا چسبندگی کافی بتن تامین شود و خطر شسته شدن سیمان از بین برود . به منـظور افـزایش کارائی بتن می تـوان از سنگدانـه های گرد گوشه استـفاده نمود . استـفاده از دانه بندی پیوسته با حداکثر اندازه 38 میلیمتر وهمچنین مقدارکافی ریزدانه ضروری است . چنانچه سنگدانه ها حاوی مقدار کافی ریزدانه نباشد ، می توان با افزودن مواد ریز چسبندگی کافی را در بتن ایجاد نمود .

بتنی که پمپ می شود باید تا حدی روان تر باشد تا از مسدود شدن لوله ها جلوگیری شود . به منظور آنکه آب به سیمان از حد مـجاز بالاتر نرود باید برای تامین روانی از مواد افـزودنی مناسب نـظیر روان کننده ها و فوق روان کننده ها یا مواد افـزودنی آب نگهدار استفاده شود .

جز در مـواردی که افـزودنیهای ویژه مصرف می شود ، باید از سقوط آزاد بتن به داخل آب جلوگیری کرد تا پدیده جداشدگی ذرات رخ ندهد . بتن ریزی درآب می تواند با روش پیش آکنده نیزبا رعایت ضوابط مربوطه

انجام شود .

الف - هنگام بتن ریزی باید اختلاف فشار هیدرولیکی داخل و خارج قالب از بین رفته و سطح آب در داخل و خارج قالب در یک تراز باشد .

ب - درموقع بتن ریزی با ترمی باید همیشه انتهای تحتانی لوله حداقل بـطول 1 تا 1.5 متر داخل بتن باشد به طوری که آب نتواند از پایین وارد لوله شود . برای این منظور باید بتدریج با پرشدن لوله آن را بالا کشید .

پ - باید از ایجاد سطوح افقی که لایه های مختلف بتن را از یکدیگر جدا می کنند اجتناب شود .

ت - وقـتی سطح بتن به حد فوقانی مورد نـظر رسید ، باید آن قسمت از بتن که با مواد بیرونی درآمیخته و دانه های شن و ماسه و شیره بتن از هم جدا شده ، جمع آوری و بیرون ریخته شود . این کار باید تا رسیدن به بتن خمیری سالم ادامه یابد .

ث - استـفـاده از سایر روش های بتن ریزی در زیر آب بنابر تـوصیه و تایید دستگاه نـظارت بـلامانع است .

جزئیات امر بتن ریزی در زیر آب باید در مشخصات فنی خصوصی درج گردد .

بتن ریزی در هوای گرم:

هنگام بتن ریزی در هوای گرم مسائل بخصوصی که ناشی از دمای بالای بتن است و در اکثر مواقع با افزایش میزان تبخیر آب بتن در یک مخلوط تازه همراه است مشاهده می شود. 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 آبگیری و گیرش سیمان بالارفته و کار آیی بتن تازه پایین آمده و در نهایت مقاومت نهایی بتن پایین می آید در بتن ریزی در هوای گرم اگر از مواد حباب ساز هوا استفاده شود راندمان آنها پایین می آید البته این امر با افزایش میزان مصرف آن تا حدی جبران می شود.

با بالا بودن دما ، تبخیر سریع آب بتن را خواهیم داشت که باعث کنده شدن هیدراتاسیون و عدم مقاومت کافی بتن و افزایش تنش های کششی و افزایش ترک در بتن می شود.

در اولین قدم باید دمای بتن در کارگاه پایه یا به هنگام تحویل بایستی پایین و حدود $16^{\circ}C$ باشد و حداکثر ۳۲ درجه نگه داشته شود . که بدین منظور تعمیراتی اعمال می شود که :

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 ، بارگیر و آبپاشی سطح بتن ، بتن تازه در برابر تابش آفتاب و وزش باد و تبخیرآن نگهداری شود مدت عمل آوری بتن نباید کمتر از ۷ روز باشد.

۴)ازقالب های دارای مواد عایق استفاده شود.

۵)کلیه سطوح منجله 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 و در دمای کمتر از ۱۰- درجه سانتی گراد بطور کلی متوقف می شود. دمای بتن در ۳ روز اول پس از بتن ریزی اهمیت خاصی دارد که همانطور که گفته شد در دمای پایین امکان یخ زدن آب بتن و توقف فرآیند گریش سیمان وجود دارد به این منظور تعمیراتی اعمال می شوند :

۱) حتی الامکان از سیمان با حرارت زدائی 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 $50^{\circ}C$ گرم نمود .

۵) از مواد مضاف زود گیر کننده ،ضد یخ ویا مواد حباب را استفاده کرد .

۶) نسبت آب به سیمان نباید بیشتر از ۰/۵ باشد .این امر بعلت کاهش میزان آب قابل یخ زدن در بتن وهمچنین کاهش میزان آب انداختن بتن تازه می شود.

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.

تراکم بتن تازه :

تراکم بین یعنی به حرکت درآوردن ذرات بتن، کم کردن اصطحکاک بین آن ها و خارج کردن حباب های هو ا. مکانیزم تراکم بتن ارتعاش است.

هدف از تراکم بتن، بدست آوردن بتنی بدون تخلخل و توپر و افزایش مقاومت و افزایش دوام در برابر عوامل مخرب محیطی است.

از طریق تراکم بتن، با افزایش سطح تماس بین بتن و میله گرد چسبندگی بهتری بین آن ها فراهم می شود و نیز سبب می شود پس از باز کردن قالب ها سطح ظاهری صاف و بدون خلل و فرجی برای بتن حاصل شود.

انواع روش های ویبره کردن (متراکم کردن) بتن :

ویبره دستی (لرزاننده ی درونی) : به صورت میله ای یا شلنگی می باشدکه ویبره میله ای یک وسیله لرزاننده کوچک است که بوسیله دست هدایت می شود و با فرو بردن بصورت قایم در قسمت های مختلف بتن را مرتعش کرده و حبابهای هوا را خارج می کند .(سر خرطومی شکل دستگاه وارد بتن می شود.

ویبره لرزاننده ی قالب (لرزاننده ی خارجی) :این ویبره در مجاورت قالب قرار دارد و یا به ان متصلمی شود . با بکار افتادن این ویبره مجموعه قالب وبتن داخل ان مرتعش می شود و حبابهای هوا خارج می شود..

ویبره میزی (میزان های لرزاننده) : معمولا در کارگاه های بتن پیش ساخته مورد استفاده قرار می گیرند . در چنین کارگا هایی میز و ویبره در سالنی موسوم به سالن ویبره مستقر بوده و با بکار افتادن دستگاه ویبره میزی ، مجموعه و قالب و بتن لرزیده و عمل ویبره شدن انجام میشود.

ارتعاش مجدد :

برای ایجاد پیوستگی مناسب بین لایه های مختلف بتن ریزی باید لایه های قبلی زمانی که هنوز در حالت پلاستیک و خمیری هستند مجدداً مرتعش نشوند. طرح یک سوال : آیا ارتعاش مجدد برای بتن سودمند است ؟ جواب : بله ارتعاش مجدد بتن بین یک تا دو ساعت بعد از ریختن آن سبب افزایش مقاومت شاری تا ۱۵ درصد می شود به طور کلی افزایش مقاومت در زمان های اولیه بیشتر بوده و در بتن هایی که قابلیت آب انداختن دارند به علت خارج کردن آب محبوس با تراکم و ویبره مجدد این افزایش مقاومت قابل ملاحظه است به همین دلیل چسبندگی بین فولاد و بتن افزایش می یابد. همچنین تنش های حاصل از جمع شدگی پلاستیک در اطراف دانه های درشت مصالح سنگی فراهم می شود.

بتن پاشی :

بتن پاشی به حمل بتن توسط یک شیلنگ و پاشیدن سریع آن بکمک فشار زیاد با سطح انجام می شود. پاشیدن بتن که با فشار زیاد انجام می شود، سبب تراکم بتن و چسبیدن و جدا شدن آن بر روی حتی سطوحئ قائم و سطوح بالای سر می شود (شاتکریت و گانیت). برای ملاتی با ماکزیمم قطر دانه ۵ میلی متربه کار می رود که برای پوشش های داخلی تونل ها و تانک ها و مخازن بتن پیش تنیده کاربرد دارد. همچنین این نوع بتن برای تعمیرات بتن های خراب شده، پایدار کردن صخره های سنگی شیب دار، پوشش فولاد جهت ضد آتش کردن آن را ایجاد لایه ی نازک روی بتن و آجر و مصالح بنایی و فولاد به کار می رود. در این روش چون بتنی که روی سطح پاشیده می شود به تدریج ضخامت آن کامل می شود و تا حدود ۱۰۰ میلی متر می رسد نیازی به یک طرف قالب نیست و این روش مقرون به صرفه است به علت مصرف نکردن یک جداره و حایل لازم . ولی هزینه ی آن به خاطر مصرف سیمان زیاد بیشتر است.

این روش به دلیل آن که بزرگی دانه های کوچکتر یا بزرگ تر از ۱۰ میلی متر است به ترتیب شاتکریت و گانیت گفته می شود.

فاصله افشانک (نازل) باید تاحد امکان عمود بر سطح کارباشدوفاصله آن ثابت و در حدود ۶۰۰ - ۱۸۰۰میلیمتر برای نازل بزرگ وحدود ۳۰۰ میلیمتر برای نازل کوچک میباشد.ودر زمانی که آراتور وجود داردباید تحت زاویه ای نه بیشتر از ۴۵ درجه پشت آرماتورها پرشود.

- **بتن پاشیدنی، مصالحی با کیفیت بالا وخواص مطلوب زیر را تولید میکند.**

- نسبت آب به سیمان کم که باعث افزایش مقاومت وکاهش نفوذ پذیری میشود.

۲- بتن توپرتر، که به علت سرعت برخورد زیاد وآب کمتر می باشد.

۳- قابیت چسبندگی زیاد که آن را برای استفاده در تعمیرات بتن مناسب می سازد.

۴- به تجهیزات نسبتا ساده ای نیازدارد.

۵- امکان ساخت اشکال مختلف و مقاطع نازک با حداقل قالب بندی ویا بدون قالب را فراهم می سازد.

۶- مقاومت خوبی در برابر عوامل جوی و سایش دارد.

۷- با دانه بندی مناسب بتن پاشیدنی مقاومت مناسبی دارد حدود ۲۰-۳۵ مگا پاسگال

تجهیزات بتن پاشیدنی به صورت خشک وتر، برای مخلوط هایی با دانه بندی حداکثر۲۵ میلیمتر توسعه یافته. در روش خشک اول مصالح مخلوط شده و در هنگام خروج از نازل (دهانه)، آب به آن اضافه میشود. ولی در روش تر عمل اختلاط قبل از پاشیدن انجام میشود.عمل تراکم بوسیله ضربه ناشی ازبرخورد ملات روی سطح مورد نظر حاصل میشود. نیروی پاشیدن بتن، هوای فشرده است

آبپاشی : سطح زیر کار سیرآب می شود تا خاک آب بتن را جذب نکند

شاتکریت پشت آرماتورها تحت زاویه حداکثر ۴۵ درجه

عمل آوری بتن

در این فصل در مورد عمل آوری بتن و روش های مختلف و نقش آن در خواص بتن و روش های بتن ریزی در شرایط آب و هوایی گرم یا سرد صحبت می شود.

عمل آوری بتن در دمای معمولی آن است که بتن در حالت اشباع و یا تا حد امکان نزدیک به اشباع نگهداری تا آن جا ادامه یابد که فضاهای موجود در خمیر سیمان تازه که از همان ابتدا مملواز آب گردیده اند به مقدار کافی توسط فرآورده های ناشی از فعل و انفعالات هیدراتاسیون سیمان اشغال گردیده و پر شوند. در مورد آن دسته از قطعات بتنی که نسبت سطح به حجم آن ها کوچک است، حتی روغنکاری جداره ی قالب ها قبل از قالب بندی و یا مرطوب ساختن آن ها قبل از مرحله ی بتن ریزی می تواند اقدامی کمکی در زمینه ی عمل آوردن بتن محسوب شود. همچنین می توان قالب ها را باز نکرده و در جای خود باقی گذاشت و حتی در صورتی که جنس قالب ها مناسب باشد آن ها را در تمام طول دوره سخت شدن بتن مرطوب نگه داشت. بذیهی است در صورتی که به علت تنگ ها (خاموت های) اجرایی ، لازم باشد

قالب ها در همان سنین اولیه و مراحل اولیه ی سفت شدن بتن باز شوند، باید سطح بتن را با مواد عایقی مانند صفحات پلاستیکی و دیگر پوشش های مناسب پوشاند. بلافاصله می توان پس از گرفتن بتن عمل آوری مرطوب آن را از طریق تماس مستمر قطعه بتنی با آب، به مرحله ی اجرا درآورد که این امر با آبپاشی یا کردن کامل بتن و یا به روش های دیگر همچون پوشاندن بتن با ماسه، خاک، خاک اره و یا کاه مرطوب امکان پذیر است. یا گاهی یک پوشش جاذب آب بر روی سطح بتن قرار می دهند و با آبپاشی، آب را بدرون پوشش مذبور وارد می کنند. طبیعتاًیک آب رسانی مداوم و پیوسته، نسبت به یک آبرسانی متناوب و ناپیوسته، موثرتر و مناسب تر است. یکی دیگر از روش های عمل آوری بتن ، پوشاندن سطح آن و ایجاد یک غشاء نفوذ ناپذیر و به عبارت دیگر عایق پاشی سطح بتن می باشد طریقه ی دیگر استفاده از کاغذهای ضد رطوبت تقویت شده و یا ورقه ی پلاستیکی می باشد.غشا نفوذ نا پذیر هم مزیت دارد هم عیب . مزیت ان جلوگیری از تبخیر اب است اما عیب ان این است که همانطور که از خروج اب از درون بتن جلوگیری می کند امکان ورود ان را هم از بین می برد . بدین طریق جبران اب از دست رفته بتن از بین می رود. غشا نفوذ نا پذیر با استفاده از مواد و ترکیبات لعاب ساز ایجاد می شود . که در موقع اجرا بصورت مایع و یا با وسایل دستی مانند قلمو و یا از طریق پاشیدن بوسیله پمپ و پیستوله بکار می رود .که این کار باید بلافاصله بعد از تبخیر و جد اشدن اب ازاد موجود در سطح ظاهری بتن انجام شود.این لعاب ها در دو رنگ مشکی و سفید می توانند اجرا شوند ولی رنگ تیره بتن را تیره می کند ولی رنگ سفید منجر به جدب کمتری از گرمای خورشید می گردد. 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 بیش است. دمای مناسب بتن ۱۳درجه سانتی گراد و درصد رطوبت مناسب حدود ۸۰ درصد است. عمل آوری بتن از افت آب بتن و دمای آن جلوگیری می کند.

عمل آوری بتن روی فاکتورهای کاهش نفوذ پذیری ، مقاومت در برابر یخبندان و یخ زدن و آب شدن تاثیر بسزایی دارد.

مراقبت از بتن باید حداقل تا ۷ روز و تا رسیدن به ۷۰ درصد مقاومت مورد نیاز ادامه یابد. مدت عمل آوری بتن به عواملی نظیر دمای محیط بتن ، نوع سیمان ، مقدار مقاومت مورد نیاز ،درصد رطوبت هوا ، نسبت سطح نمایان بتن به حجم آن دارد.

عدم مراقلت صحیح از بتن سبب افت و کاهش مقاومت فشاری و خمشی و ایجاد پودرشدگی سطح بتن ، افزایش میزان افت و خزش در بتن می شود.

تاثیر دما در عمل آوری بتن :

معمولا گرم تر بودن مخلوط بتن در مرحله بتن ریزی ، با سرعت بیشتر در کسب مقاومت اولیه آن همراه است در صورتی که در دراز مدت منجر به مقاومت کمتر می شود.

به همین دلیل توجه به این نکته ضروری است که در شرایط جوی یا آب و هوای گرم الزاماً دمای مخلوط بتن تازه پایین نگه داشته شود چون در دمای بالا هم هیدراتاسیون با سرعت و شدت فوق العاده ای انجام می شود که منجر به شکل گیری نا همگن و غیریکنواخت در 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 که نتیجه این وضعیت تمرکز ترکیبات ناشی از فعل و انفعالات در اطراف دانه های در حال هیدراتاسیون سیمان است. بنابراین تاثیر دما در روزهای اول با افزایش مقاومت همراه است و در دراز مدت منجر به کاهش مقاومت می شود ولی به طور کلی می توان گفت که برای هر سن مشخص . یک دمای بهینه وجود دارد که نمونه بتن تا رسیدن به آن سن در دمای مزبور عمل آورده شده از بیشترین مقاومت برخوردار خواهد بود و ثانیا این دما بهینه با افزایش دوره عمل آوردن ، کاهش می یابد.

عمل آوردن بتن با بخار :

در این روش با استفاده ازعمل آوری بتن در بخار آب ، روند رشد مقاومت آن تسریع می یابد.در چنین شرایطی که بتن در بخار تحت فشار اتمسفر قرار می گیرد و دمای محیط کمتر از ۱۰۰ در جه است. محیط آنچنان مرطوب است که مراحل کار را می توان حالت خاصی از عمل آوری مرطوب دانسته و آن را عمل آوری با بخار نامید . البته عمل آوری در فشار های بالاتر که اصطلاحا به اتوکلاو معروف می باشد روشی متفاوت با این شرایط است. در هر صورت هدف از عمل آوری با بخار دسترسی به یک مقاومت اولیه بالا و نسبتاً کافی است . به نحوی که بتوان تولیدات بتن را پس از مدت زمان اندکی از مرحله ی قالب گیری حمل و جابه جا نمود و یا آنکه بتوان قالب آنها را باز کرد یازودتر از آنچه در شرایط عمل آوری معمولی ممکن است بتوان وسایل پیش تنیدگی را برچید و برای ذخیره و انبار کردن محصولات بتنی فضای کمتری را اشغال نمود.

« دیگر خواص مقاومتی بتن»

موضوع این فصل به مقاومت بتن تحت اثرانواع بارگذاری ها ،به غیراز فشارهیدرواستاتیکی مربوط می گردد. بتن دارای مقاومت کششی بسیار پایینی می باشد که بعلت پایین بودن آن در نظر گرفته نمی شود در حالی که در بتن تنش های کششی همواره بوجودند که با برش همراه هستند و منجر به تغییر شکل های جزئی مثل انقباض می شوند که با کاهش پایانی بتن و ترک خوردگی همراه است بنابراین باید رابطه ی بین مقاومت فشاری و کششی در بتن را بدانیم.

پدیده ای در بتن نیز باید مورد بررسی قرار گیرد که به آن خستگی می گویند که در اثر بارگذاری و بارداری های موجود که بطور متناوب به سازه اعمال می شوند رخ می دهند. همچنین مقاومت بتن در برابر سایش و خستگی و بارهای ضربه ای مورد توجه قرار گیرد .

رابطه ی بین مقاومت کششی و مقاومتی فشاری و مسائل خستگی و مقاومت در برابر ضربه :

همانطور که می دانیم مقاومت فشاری بتن نمی تواند بطور قابل ملاحظه ای از مقاومت سنگدانه ها بیشتر باشد . بایستی توجه داشت که مقاومت لازم برای سنگدانه ها باید از مقاومت بتن معمولی بالا تر باشد این به علت آن است که تنش های وارده بر سطح تماس یک دانه ممکن است بسیار بالاتر از تنش های فشاری وارد شده باشد از طرفی هم سنگدانه های با مقاومت و مدل الاستیسیته متوسط تا بتن از نقطه نظر سلامت بتن ممکن است با ارزش باشند که این نوع سنگدانه ها به علت تراکم پذیری سبب ایجاد تنش های کم تری در خمیر سیمان به علت تغییرات حجمی ناشی از رطوبت و حرارت می شوند حال آنکه سنگدانه های تحت ممکن است باعث بروز ترک هایی در خمیر سیمان شوند.

*مقاومت در برابر ضربه که به آن (طاقت) هم گفته می شود مقاومت سنگدانه ها را در برابر ضربه نشان می دهد.

سختی یا مقاومت در برابر سایش یکی از مهم ترین خصوصیات بتن می باشد که به خصوص در راههای بتنی و کفهای ساختمانها و کارگاهها که در معرض رفت و آمد باشند بالا می باشد اهمیت فراوان دارد.که آزمایش لوس آنجلس این پارامتر را بررسی می کند بطوری که داخل یک استوانه استاندارد سنگدانه ها را با دانه بندی مناسب همراه با گلوله های فلزی که لوله استوانه بصورت افقی دوران می کند می ریزند واستوانه رابه تعداد مشخص دوران می دهند . در اثر برخورد سنگدانه ها و گلوله درصد مصالح خرد شده که به صورت پودر درآمده را اندازه گیری می کنند.

بین مقاومت کششی و فشاری بتن رابطه ی ثابتی وجود دارد که معمولاً مقاومت فشاری تئوریکی ۸ بار بیشتر از مقاومت کششی می باشد. نسبت این دو مقاومت به مقاومت بتن بستگی دارد و هر چه مقاومت فشاری بالاتر باشد، نسبت مقاومت کششی به مقاومت فشاری کم تر خواهد بود. عواملی چون، اندازه ی نمونه

ها بافت سطحی درشت دانه و وضعیت رطوبتی بتن و آزمایش بتن در کشش تاثیری در رابطه ی بین ۲ مقاومت دارند، از آنجایی که در آزمایش کشش مقاومت کششی کم تر تحت تاثیر شکل و بافت سطحی سنگدانه ها قرار می گیرد، در زمان استفاده از سنگدانه های شکسته، بخصوص در مقاومت های فشاری بالا، نسبت مقاومت خمشی و مقاومت فشاری افزایش می یابد.

روابط تجربی مقاومت فشاری و کششی :

بین مقاومت کششی و فشاری بتن رابطه ی ثابتی وجود دارد که معمولاً مقاومت فشاری تئوریکی ۸ بار بیشتر از مقاومت کششی می باشد. نسبت این دو مقاومت به مقاومت بتن بستگی دارد و هر چه مقاومت فشاری بالاتر باشد، نسبت مقاومت کششی به مقاومت فشاری کم تر خواهد بود. عواملی چون، اندازه ی نمونه

ها بافت سطحی درشت دانه و وضعیت رطوبتی بتن و آزمایش بتن در کشش تاثیری در رابطه ی بین ۲ مقاومت دارند، از آنجایی که در آزمایش کشش مقاومت کششی کم تر تحت تاثیر شکل و بافت سطحی سنگدانه ها قرار می گیرد، در زمان استفاده از سنگدانه های شکسته، بخصوص در مقاومت های فشاری بالا، نسبت مقاومت خمشی و مقاومت فشاری افزایش می یابد.

k و n ضرایبی هستند که به پارامترهایی چون شکل نمونه فشاری(مکعبی یا استوانه ای)و... مربوط اند.

$$F_t = k f_c^n$$

$$\text{ACI} : \quad F_t = k\sqrt{f_c}$$

عوامل موثربر مقاومت فشاری بتن عبارتنداز :

۱ . نسبت آب به سیمان : با کاهش این مقدار مقاومت افزایش می یابد.

۲ . مقدار سیمان مصرفی : بالا رفتن مقدار سیمان باعث افزایش مقاومت فشاری می شود. حداکثر مقدار مصرفی ۴۰۰ کیلوگرم در متر مکعب بتن باشد افزایش سیمان بیشتر از این مقدار باعث پایین آمدن مقاومت فشاری شده زیرا باعث فاصله انداختن بین دانه ها می شود.

۳ . مقدار دانه های موجود در بتن : هرچه بتن متراکم تر باشد حجم سنگدانه های مصرفی در بتن بیشتر باشد، مقاومت فشاری بیشتر است بدین منظور باید از دانه بندی مناسب استفاده کرد.

۴ . کیفیت دانه ها (دانه بندی، بافت سطحی ،شکل ، مقاومت و سختی) : هرچه کیفیت دانه های مصرفی بالاتر باشند مقاومت بتن بیشتر می شود مصرف دانه های با وزن مخصوص بیشتر موجب می شود که مقاومت فشاری بتن بیشتر شود.

بتن های ساخته شده با سنگدانه های گردوصیقلی نسبت به سنگدانه های تیز گوشه از مقاومت کمتری برخوردارند.

آزمایش های مقاومت فشاری بتن :

همانطور که گفتیم مقاومت فشاری بتن بسیار بالاتر از مقاومت کششی آن است که معمولا مقاومت کششیحدودا ۱۰ الی ۱۵ درصد مقاومت فشاری است و از آن در طراحی سازه های بتن آرمه صرفنظر می شود .مقاومت فشاری بتن توسط آزمایشی اندازه گیری می شود که این روش ، آزمایش چکش اسمیت است با استفاده از این چکش وارد کردن ضربه به سطح بتن ، سختی سطح بتن بدون نیاز به تخریب بتن محاسبه می شود ،که نام دیگر این آزمایش چکش ضربه ای یا چکش بازتاب است .روش دیگر استفاده از نمونه های آزمایش است که این نمونه ها توسط مکعب هایی ۱۵*۱۵ و ۲۰*۲۰ سانتی متر ویا قالب استوانه ای به قطر ۱۵ و ارتفاع ۳۰ سانتی مترمی باشد نمونه ها به مدت ۲۸ روز تحت شرایط مشابه با شرایط بتن نگهداری می شوند و زیر جک های مخصوص تحت نیروی فشاری قرار میگیرند تا نشکنند وعقربه عددی راکه موقع شکستن نمونه نشان میدهد fc یا همان مقاومت فشاری بتن است. مقاومت فشاری نمو نه های مکعبی و استوانه ای با هم یکسان نیست مقاومت نمونه های استوانه ای حدودا ۸۰ درصد مقاومت نمونه های مکعبی ۲۰ سانتی متری و۸۳ درصد نمونه های مکعبی ۱۵ سانتی متری است که این مقاومت به ۲ دلیل است : یکی آنکه جهت ریختن نمونه ها به داخل قالب و جهت اعمال بار در نمونه های استوانه ای با هم یکی می

باشد در حالیکه در نمونه های مکعبی این دو جهت عمود بر هم هستند، همچنین در نمونه های استوانه ای امکان ایجاد تمرکز بیشتر است.

آزمایش مقاومت کششی بتن :

برای محاسبه ی مقاومت کششی بتن به دو روش عمل می کنند :

۱ . مقاومت کششی تحت کشش مستقیم (آزمایش برزیلی)

۲ . مقاومت کششی تحت کشش ناشی از خمش

مقاومت کششی در این ۲ حالت با هم متفاوت هستند و در حالت اول مقاومت کششی کم تر است. در حالت اول برای نمونه های استوانه ای و مکعبی نمونه را از پهلو می خوابانند و تحت فشار دستگاه جک قرار می دهن تا نمونه دچار شکست شود که به این آزمایش معمولاً آزمایش شکافت نمونه استوانه ای یا آزمایش برزیلی گفته می شود.

در حالت دوم برای محاسبه ی مقاومت کششی تحت کشش ناشی از خمش یک تیر بتن ساده ی غیر مسلح را مطابق شکل بالا تحت ۲ بار تمرکز قرار می دهند و مقدار بار را افزایش می دهند تا تیر دچار ترک بشود. حداکثر کششی تحت بار وارده محاسبه می شود به این اصطلاحاً مدول گسیختگی گفته می شود و با fr مخفف (fracture) نشان داده می شود.که مطابق آیین نامه ACI داریم : $fr = 2\sqrt{fc}$

و مطابق آیین نامه آبا داریم :

$$F_r = 0.6\sqrt{f_c}$$

f_c برحسب Mpa(مگاپاسکال) می باشد.

انواع گسیختگی در بتن :

در اثر مقاومت خستگی 3 نوع گسیختگی در بتن روی می دهد :

گسیختگی خزشی : گسیختگی تحت اثر یک بار دائمی (یا بار افزایش یابنده ی تدریجی) که مقدار کمی از مقاومت فشاری بتن در آزمایش استاندارد کم تر است رخ می دهد که بیشترین مقدار خزش در طول چند ماه پس از بارگذاری اتفاق بیافتد و ممکن است این عمل تا ۲۵ سال طول بکشد که با افزایش سن بتن سرعت خزش کاهش می یابد.

گسیختگی حاصل از خستگی : خستگی در اثر سیکل های بارگذاری و باربرداری های تکرار شونده است.

گسیختگی استاتیکی : تحت بارگذاری های کند این گسیختگی هنگامی رخ می دهد که از حدود ۷۰ تا ۸۰ درصد مقاومت کوتاه مدت تجاوز نکند که آغاز توسعه ترک های زیر می باشد که عاقبت این ترک های ریز بهم پیوسته و گسیختگی رخ می دهد. این نوع خستگی درتنش های کششی بزرگ تر از ۷۰ تا ۸۰ درصد مقاومت کوتاه مدت نیز رخ می دهد.

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. رابطه ی مشخصی با مقاومت فشاری ندارند ولی مقاومت ضربه ای را می توان با توانایی نمونه بخشی در تحمل ضربه های متوالی و جذب انرژی سنجیده می شود مثلاً تعداد ضربه هایی که بتن می تواند قبل از رسیدن به شرایط بازگشت تحمل کند.

بطور کلی برای یک نوع مشخص از سنگدانه ها هر چه مقاومت فشاری بتن بالاتر باشد قبل از ترک خوردن انرژی کم تری در هر ضربه جذب می شود، اما تعداد ضربه ها جهت رسیدن به حالت بدون برگشت بیشتر می شود. و رابطه ی بین مقاومت ضربه ای و فشاری به نوع سنگدانه های درشت بستگی دارد. همچنین

مقاومت فشاری بتنی که از مصالح گرد گوشه و ریزتر بیشتر ساخته می شود، بیشتر است واقعیت این است که مقاومت ضربه ای بیشتر از مقاومت فشاری به مقاومت خمشی مرتبط است. برای رسیدن به مقاومت ضربه ای مناسب با کاهش مصرف شن رودخانه ای به خاطر پیوستگی ضعیف آن کاهش بزرگترین اندازه دانه ها و استفاده از سنگدانه هایی با ضریب ارتجایی و ضریب پواسون پایین مقاومت ضربه ای رابه میزان قابل ملاحظه افزایش می دهند همچنین مصرف سیمان به میزان کمتر از۴۰۰ کیلوگرم درمترمکعب خواهدبود.

سن بتن :

اززمان ریختن بتن ، بتن شروع به افزایش مقاومت میکند هرچه از شروع ساخت بتن مدت زمان بیشتری می گذرد مقاومتش افزایش می یابد مقومت فشاری ۷ روزه بتن حدود ۷۰٪ مقاومت فشاری ۲۸ روزه آن است بتن پس از ۲۸ روز به ۹۰٪ مقاومت نهایی خود می رسد که همین مقاومت ۲۸ روزه مبنای محاسبات بتن می باشد که به آن مقاومت فشاری مشخصه بتن می گویند.

خزش در بتن تابع عوامل زیراست :

۱-جنس و مقدار مصالح سنگی : هرچه در بتن نسبت مصالح سنگی بیشتر از سیمان باشد مقدارآن کمتر است از آنجایی که سنگدانه ها سخت تر ازخمیرسیمان هستند نقش اصلی محدود کردن خزش درسیمان است.

۲- سن بتن در موقع بارگذاری : تاخیر در بارگذاری سبب کاهش خزش دربتن میشود.

۳- مقاومت فشاری بتن : خزش بامقاومت فشاری رابطه عکس دارد لذا مشخص است هرچه مقدار آب به سیمان افزایش یابد مقدارخزش نیزافزایش می یابد.

۴- رطوبت و دمای محیط : هر چه رطوبت نسبی هـوا کمتـر باشـد مقـدار خـزش بیشـتر میشـود. خـزش بتن در محیطی که رطوبت نسبی بتن ۵۰ درصد است حدود ۲.۵ برابرخزش درمحیطی است که رطوبت آن ۱۰۰ درصد است.

۵- شدت تنش وارده بر بتن : هرچه تنش وارده بر بتن کمتر باشد ، خزش کاهش می یابد.

۶- میزان آرماتورهای مصرفی در بتن : استفاده از حداکثر مقدارمجاز آرماتور در بتن بخصـوص آرماتورهـای فشاری خزش را کاهش میدهد.

میزان آب در خمیر سیمان :

برای انجام واکنش هیدراتاسیون نیاز به وجود آب در حدود ۲۵ درصد وزن سیمان هستیم که همانطور که گفتیم برای ایجاد کارایی بهتر این نسبت حدوداً ۴۰ تا ۶۰ درصد افزایش می یابد. که افزایش مقدار آب باعث بالا رفتن کارایی مخلوط می شود ولی در کل بهتر است مقدار آب به سیمان تا حد امکان کم تر باشد. استفاده از نسبت آب به سیمان پایین دارای مزایای زیر می باشد :

۱ . افزایش مقاومت فشاری و کششی بتن

۲ . افزایش خاصیت آب بندی بتن : هر چه اب مصرفی کمتر باشد فضای خالی در بتن کمتر است و رزطنه های کمتری برای عبور اب وجود دارد .

۳ . کاهش جذب آب : بدلیل محدود شدن فضاهای خالی

۴ . پیوستگی بهتر بین لایه های متوالی در بتن ریزی

۵ . افزایش چسبندگی بین میلگرد و بتن (چون سطح تماس بتن و میله گرد بیشتر می شود) .

۶ . افزایش مقامت در برابر شرایط جوی نا مساعد(تر و خشک شدن و سرد و گرم شدن های متوالی)

۷ . کاهش میزان افت

۸ . کاهش میزان خزش

۹ . کاهش آب انداختن بتن

۱۰ . کاهش امکان جدا شدن دانه ها

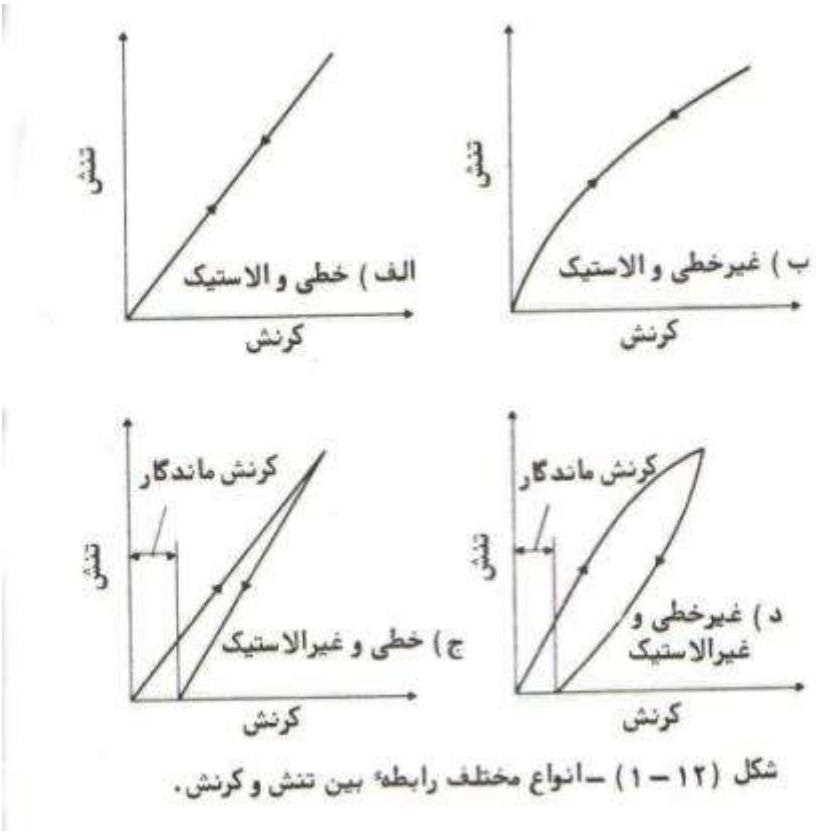
پیوستگی با آرماتورها :

پیوستگی بین آرماتورهای فولادی وبتن وهله اول ناشی از اصطکاک وچسبندگی می باشد.درشرایط معمولی،مقاومت پیوستگی تقریباً متناسب با مقاومت فشاری بتن تا حد ۲۰۰ کیلوگرم بر سانتی متر مربع است . آرماتورهای آجدار اتصال و پیوستگی بهتری نسبت به آرماتورهای ساده دارند.

الاستیسیته :

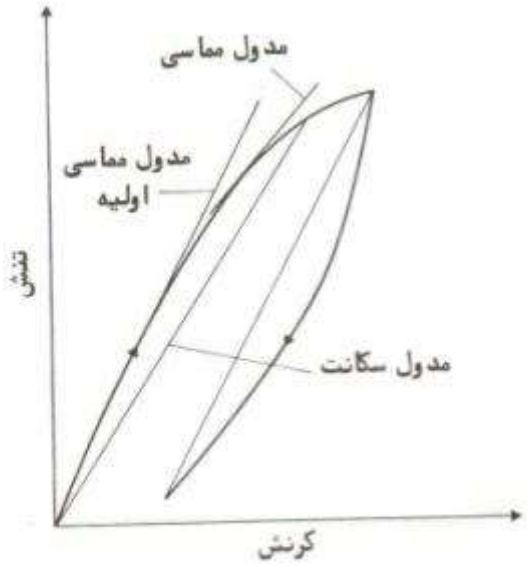
برای محاسبه تغییر شکل و خیز اعضای سازه اطلاع رابطه ی بین تنش و کرنش ضروری می باشد. بتن در ابتدای اعمال بار دارای رفتار ارتجاعی است هرچند در بارگذاری های دراز مدت دچار خزش می شود . یعنی کرنش تحت اثر تنش های ثابت حتی در تنش های خیلی پایین و در شرایط حرارتی و رطوبتی معمولی با زمان افزایش می یابد . در حالی که فولاد در تنش های خیلی بالا و دمای طبیعی و یا در تنش های پایین و دماهای خیلی بالا خزش می یابد و در هر ۲ حالت وقوع گسیختگی تابع زمان است.

معنای ارتجاعی بودن محض آن است که کرنش ها بلافاصله با اعمال و حذف تنش ظاهر و ناپدید گردند.



شکل (۱۲ – ۱) – انواع مختلف رابطهٔ بین تنش و کرنش.

شیب رابطه ی بین تنش و کرنش مدول الاستیسیته (ضریب ارتجاعی) را مشخص می کند . اما مدول یانگ را می توان فقط برای قسمت ابتدای منحنی بارگذاری محاسبه نمود اما هنگامی که هیچ قسمت مستقیمی در منحنی وجود دارد می توانیم شیب مماس بر منحنی را در مبدا اندازه بگیریم که به این مقدار مدول مماسی گفته می شود.



شکل (۱۲ – ۲) – تیپ منحنی تنش – کرنش برای بتن .

غیر خطی بودن رفتار بتن در تنش های معمولی بعلت خزش است.

**تغییر شکل ناشی از اعمال تنش طرح بعنوان کرنش ارتجاعی اولیه و افزایش متعاقب در کرنش تحت تنش دراز مدت بعنوان خزش تعریف می شود. مدول الا ستیسیته در زمان بارگذاری مدول سکانتی است.

عوامل موثر بر مدول الا ستیسیته:

۱) مدول الا ستیسیته سنگدانه ها :

هرچه بالاتر باشد مدول الاستیسیته بتن هم بالاتر خواهد بود ومنظورمدول بالای سنگدانه افزایش میزان حجم آنهادر مخلوط بتن می باشد.

۲) سن نمونه :

باگذشت زمان افزایش مدول الاستیسیته خیلی سریعتراز مقاومت خواهد بود.

۳) دربتن های سبک مدول الاستیسیته آنها بین ۴۰ تا ۸۰ درصد بتن معمولی با مقاومت مشابه است ودر واقع برابر با مدول الاستیسیته خمیر سیمان است.

ضریب پواسون:

نسبت کرنش جانبی متناظر با یک کرنش محوری را به کرنش محوری اعمال شده ضریب پواسون گویند.

$$\mu = -\frac{\text{کرنش جانبی}}{\text{کرنش محوری}} = -\frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_x} = -\frac{\varepsilon_z}{\varepsilon_x}$$

این ضریب برای بتن های معمولی و سبک با اندازه گیری های کرنش در مدول الاستیسیته استاتیکی بین ۰/۱۵ تا ۰/۲ است.

جمع شدگی و تورم :

کاهش آب در نتیجه تبخیر یا هیدراتاسیون سیمان و همچنین کربناتاسیون ، باعث جمع شدگی بتن می شود. کاهش حجم یعنی کرنش حجمی ۳ برابر جمع شدگی خطی است و در عین جمع شدگی به صورت یک کزش خطی اندازه گیری می شود و بصورتی ضریبی از 10^{-6} ارائه می شود. زمانی که سیمان بصورت خمیری می باشد به جمع شدگی حجمی در آن بوجود می آید که مقدارش در حدود ۱ درصد حجم مطلق سیمان خشک می باشد که به آن جمع شدگی خمیری (پلاستیک) گفته می شود. که در نتیجه کاهش آب از طریق تبخیر از سطح بتن یا مکش آب از سوی بتن خشک زیرین می باشدوباعث گسترش ترکهای خمیری می شود . که این ترکها با افزایش سرعت تبخیر افزایش می یابد که در واقع به دمای هوا ، دمای بتن ، رطوبت نسبی هوا ، و سرعت باد بستگی دارد. که هرچه مخلوط بتن پر سیمان تر باشد جمع شدگی بیشتر و هرچه نسبت حجمی سنگدانه در مخلوط بیشتر باشد جمع شدگی کمتر است.

تورم :

اگر بتنی که اجازه داده شده است درهوایی با رطوبت نسبی مشخص خشک شود متعاقباًدرآب یارطوبت نسبی بالاترقرار بگیرد در نتیجه جذب آب توسط خمیر سیمان متورم خواهد شد.

منظورازجمع شدگی ناشی ازکربناتاسیون واکنش CO_2 با سیمان هیدراته شده است که باوجود رطوبت وCO_2 اسیدکربنیک تشکیل میشود که با $Ca(oH)_2$واکنش می دهدو $Caco_3$ را تشکیل می دهد. که کربناتاسیون از سطح بتن شروع می شود وبه داخل پیشرفت می کند اما سرعت آن فوق العاده کم است . که سرعت واقعی کربناتاسیون به نفوذپذیری و مقدار رطوبت بتن و همچنین متوسط درصد CO_2ورطوبت نسبی هوا بستگی دارد.بتنی که نسبت آب به سیمان آن بالاست و از نگهداری ناکافی برخوردار است بیشتر مستعد کربناتاسیون و عمق کربناتاسیون آن بزرگتر است عمق کربناتاسیون را می توان به سادگی با آغشتن مقطع تازه شکسته شده ی بتن توسط فنل فتالئین تعیین کرد بدین صورت که $Ca(oH)_2$آزاد ارغوانی خواهد شد در حالی که بخش کربناته بی رنگ باقی می ماند.

کربناتاسیون بتن (ساخته شده از سیمان تیپ ۱ پرتلند) باعث افزایش جزئی مقاومت وکاهش نفوذ پذیری می شود. دلیل این تغییرات احتمالاً آن است که در ضمن کربناتاسیون و در نتیجه تجزیه ی$Ca(oH)_2$ مقداری آب آزاد می شود ، که به هیدراتاسیون سیمان کمک میکندو $Caco_3$ایجادشده نیزحفره های موجود در خمیرسیمان را پر می کند.

$$Co_2 + H_2o \rightarrow H_2Co_3$$

$$H_2Co_3 + Ca(oH_2) \rightarrow Caco_3 + 2H_2o$$

ازطرف دیگر کربناتاسیون حالت قلیایی خمیر سیمان هیدراته شده را خنثی نموده وبنابراین محافظت آرماتورها در مقابل خورندگی از بین می رود . در نتیجه اگر تمام عمق پوشش آرماتورها کربناته شود واکسیژن و رطوبت بتواند وارد بتن شود خوردگی آرماتورها ترک خوردگی به وجود خواهد آمد.

عوامل موثر بر جمع شدگی :

۱) مهمترین تاثیرازسوی سنگدانه ها است که مقدار جمع شدگی خمیر سیمان را نسبت به آنچه در واقع میتواند بوجود آید محدود می سازد.(استفاده بیشتر از سنگدانه ها در مخلوط تا سیمان).

۲) نسبت آب به سیمان ثابت جمع شدگی را کم می کند.

۳) پایین بودن درجه هیدراتاسیون ، میزان جمع شدگی را کاهش می دهد.

انواع ترک ها در بتن :

دراین بحث ترکهای مربوط به خصوصیات ذاتی بتن مطرح هستند ترکهایی که دراعمال باراضافی ایجادمیشوند که عبارتنداز:

۱) ترک های خمیری :

این ترک ها قبل از سخت شدن بتن (بین ۱ تا ۸ ساعت پس از ریختن)تشکیل می شوند که به صورت ترکهای جمع شدگی خمیری و ترکهای نشت خمیری می باشند.

۲) ترک های حرارتی سنین اولیه:

این ترک هابدلیل وجود موانعی ، نشست بتن درضمن آب انداختگی غیر یکنواخت می باشد که این غیریکنواختی ممکن است در نتیجه ی وجود آرماتورهای قوی یا حتی عمق غیر یکنواخت بتن ریخته شده باشد.

۳) ترک های جمع شدگی ناشی از خشک شدن :

در قطعات بزرگ ،تفاوت جمع شدگی بین سطح و قسمتهای داخلی بتن باعث ایجاد تنش های کششی در سطح می شود که توسط قسمت های داخلی مقید شده اند که باعث بروز این ترک ها می شود. این ترک ها

که هفته ها یا ماهها طول می کشد ایجاد شوند ممکن است در اثر قیود خارجی که توسط قسمت های دیگر یا زیر اساس اعمال شوند پدید آیند بهترین روش جلوگیری از ترک های جمع شدگی ناشی از خشک شدن کاهش ، کاهش میزان جمع شدگی می باشد یا قرار دادن آرماتورها در نزدیکترین موقعیت به سطح با داشتن حداقل پوشش می باشد.

یکی از اشکال ترک های جمع شدگی ناشی از خشک شدن ، تشکیل ترک های زیر سطحی(Crazing)در دیوار ها و دال ها است که اگر لایه سطحی بتن دارای آب بیشتری نسبت به قسمت های داخلی داشته باشد ایجاد می شود.

۴) ترک های ناشی از خوردگی آرماتورها

۵) ترک های ناشی از واکنش سیلیس سنگدانه و قلیایی سیمان

برای کاهش ترک خمیری راه حل های زیر توصیه می شود:

۱) استفاده از مواد افزودنی هوازا که باعث کاهش آب انداختگی می شوند.

۲) افزایش پوشش میله گردهای بالایی

۳) ارتعاش مجدد ، در آخرین زمان ممکنی که می توان لرزاننده را داخل بتن نمود و بدون به جای گذاشتن اثر قابل توجهی از بتن بیرون کشید.

« پایایی »

پایایی بتن یکی از مهم ترین خصوصیات آن می باشد چون لازم است بتن در طول عمر سازه ، شرایطی را که برای آن طراحی شده را تحمل کند.

عوامل خارجی محیطی ویا عوامل داخلی بتن وجود دارند که باعث کاهش پایایی بتن میشوند که این عوامل ۳ دسته اند :

الف) عوامل فیزیکی :

اثر یخبندان ، گرمای هوا و تبخیر زیاد از حد آب بتن ، یا تفاوت بین خصوصیات حرارتی سنگدانه ها و بتن می باشد.

ب) عوامل مکانیکی :

اثر ضربه ، اثر سایش ، اثر خستگی بتن و.....

ج) عوامل شیمایی :

حمل توسط سولفاتها ، آب دریاها ، اسیدها ، کلرورها که باعث خوردگی آرماتورها می شوند . از آنجایی که حمله به داخل بتن انجام می شود عوامل تهاجم باید قادر به نفوذ به داخل بتن بوده و بتن نیز نفوذ پذیر باشد . بنابراین نفوذپذیری در این حمله بسیار موثر است.

نفوذپذیری :

نفوذپذیری سهولت حرکت مایعات و گازها در داخل بتن می باشد این خصوصیات در ارتباط با آب بند بودن سازه های نگهدارنده آب و همچنین در ارتباط با حمله ی شیمیایی مورد توجه می باشند.

در استاندارد های ASTM و BSآزمایش استانداردی برای نفوذپذیری معرفی شده است ولی یک آزمایش ساده این پارامتر را به طور نسبی مشخص می کند. در این آزمایش جوانب یک نمونه ی بتنی پوشانده می شود و آب تحت فشار به سطوح بالایی نمونه اعمال می شود که وقتی شرایط جریان پایدار پدید آمد (که این ممکن است ۱۰ روز طول بکشد) مقدار آبی را که از ضخامت معین بتن در مدت زمان مشخص عبور می کنند که نفوذ پذیری آب بر حسب ضریب نفوذ پذیری K بیان می شود که در معادله دارسی داریم :

$$\frac{1}{A}\frac{dq}{dt} = k\frac{\Delta h}{L}$$

K = $\frac{ft}{s}$ یا $\frac{m}{s}$

سرعت جریان آب $= \frac{dq}{dt}$

A = سطح مقطع نمونه

Δh = افت ارتفاع آب در طول نمونه

L = ضخامت نمونه

نفوذ پذیری بتن در مقابل مواد یا گازهای دیگر در سازه هایی همچون مخازن فاضلاب و تصفیه کننده های گاز و در مخازن تحت فشار در راکتورهای اتمی ، مورد توجه می باشد.

*برای بتن ساخته شده با سنگدانه هایی با وزن معمولی ، نفوذ پذیری تحت تاثیر خمیر سیمان می باشد اما چون توزیع اندازه ی حفره ها هم عامل موثری می باشد ، نمی توان آنرا به صورت رابطه ای ساده بیان کرد.

*برای درجه هیدراتاسیون مشخص ، در خمیرهایی با نسبت آب به سیمان پایین تر نفوذپذیری کمتر است (کمتر از ۰/۶)

از نظر پایایی رسیدن به حداقل نفوذ پذیری از اهمیت زیادی برخوردار است اما کافی نیست بلکه بتن باید متراکم باشد و سنگدانه هایی با دانه بندی مناسب استفاده شود زیرا مثلا بتن های مدرن ریزدانه ، نسبت $\frac{\text{آب}}{\text{سیمان}}$ پایین دارند ولی نفوذپذیری بالایی هم دارند که این نوع بتن ها پایایی لازم را ندارند.

حملات شیمیایی بتن ها شامل موارد زیر می شود :

۱) حمله سولفات ها :

این بتنی که در معرض حمله سولفات ها قرار گرفته است دارای ظاهری سفید رنگ می شود و خرابی از لبه ها و گوشه ها آغاز می شود و با ترک خوردن ، تجزیه بتن ادامه دارد. زیرا حمله سولفات ها باعث تشکیل سولفات کلسیم (گچ) و سولفو آلومینات کلسیم (اترینگایت) می گردد که هر دوی این محصولات نسبت به ترکیباتی که جایگزین آنها شده اند دارای حجم بیشتری بوده و باعث انبساط و ریختن بتن سخت شده می گردند.

نوعی از محلولهای سولفاتی آبهای زیر زمینی داخل بعضی رس ها هستند. که حاوی سولفات های سدیم ، کلسیم یا منیزیم می باشند این سولفات ها با $Ca(oH)_2$هیدراته شده واکنش انجام داده و به ترتیب گچ و اترینگایت تشکیل می دهد.

سولفات های منیزیم دارای تاثیر مخرب بیشتری نسبت به سولفات های دیگر هستند زیرا به تجزیه سیلیکات های کلسیم هیدراته شده و $Ca(oH)_2$ و C_3A هیدراته شده منتهی می شوند. سپس سیلیکات منیزیم هیدراته که دارای هیچ خاصیت چسبندگی نمی باشد تشکیل می شوند.

مقدار تاثیر حمله سولفاتها به ۲ عامل بستگی دارد :

الف) غلظت آنها

ب) نفوذپذیری بتن

اگر بتن خیلی نفوذ پذیر باشد آب به داخل نفوذ می کند و $Ca(oH)_2$ شسته می شود. و تبخیر در سطح بتن رسوبات کربنات کلسیم را که از واکنش $Ca(oH)_2$با Co_2 تشکیل شده را بارنگ سفید به نام سفیدک بجای می گذارد. از آنجا که C_3A توسط سولفاتها مورد حمله قرار می گیرد با مصرف سیمان هایی با C_3A کم (تیپ۴) آسیب پذیری بتن در برابر حمله سولفاتها کم می شود یا با استفاده از سیمان پرتلند پوزولانی یا سیمان رو باره ی آهنگدازی می توان مقاومت بتن را افزایش داد.

۲) حمله نمکها :

نمک ها اگر به صورت محلول باشند به بتن حمله می کنند.

۳) تهاجم بوسیله آب دریا :

آب دریا حاوی سولفاتها بوده که به بتن حمله می کنند اما چون کلرها هم در آب دریا وجود دارند تهاجم آب دریا معمولاً باعث انبساط بتن نمی شود زیرا گچ و اترینگایت در محل کلروری خیلی بیشتر حل می شوند و این بدان معناست که به راحتی توسط آب شسته می شوند در نتیجه هیچگونه تجزیه یا خوردگی بوجود نمی آید ولی تخلخل افزایش و مقاومت کاهش می یابد.

از سوی دیگر فشار رفتار ناشی از تبلور بلورنمک ها می تواند باعث انبساط شود تبلور در بالای سطح آب ، در نقطه ی تبخیر آب انجام می شود چون محلول های نمک در اثر فرآیند موئینگی به داخل بتن وارد می شوند حمله فقط هنگامی آغاز می شود که آب بتواند به داخل بتن نفوذ کند.

اثرات مخرب آب دریا علاوه بر حمله سولفاتها تاثیر مخرب یخبندان ، ضربه ی امواج و سایش همراه می گردد با جذب نمک ها توسط بتن خوردگی آرماتورها شروع می شود که شروع ترک خوردگی در بتن می باشد . در این شرایط روش های مراقبتی زیر توصیه شده است:

الف) مصرف سیمانی معادل ۳۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب در بالای سطح آب و ۳۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب در زیر سطح آب

ب) نسبت آب به سیمان کمتر از ۰/۴ تا ۰/۴۵

ج) رعایت پوشش کافی بر روی بتن های مسلح به میزان ۵ الی ۷.۵cm

۴) حمله اسیدی :

هیچ سیمان پرتلندی در برابر حمله اسیدی مقاوم نمی باشد . در محیط های مرطوب دی اکسید گوگرد (So_2) و دی اکسید کربن(Co_2)و برخی بخارهای دیگر موجود در هوا تشکیل اسید می دهند که به بتن حمله می کنند و ضمن حل کردن و بیرون آوردن بخشی از خمیر سیمان هیدراته شده . توده ای نرم و خیلی ضعیف را به جای می گذارند . در محیط های صنعتی گوناگون بخوصوص در واکنش ها ،دربعضی محیط های کشاورزی مثل کف محل های تولید و عرضه ی فرآورده های لبنیاتی با این حمله مواجه می شوند حمله در PH کمتر از ۶/۵ بوقوع می پیوندد و PH کمتر از ۴/۵ منجر به حمله شدیدتری می شود.

آبهای حاصل از ذوب شدگی یخبندان ها که حاوی دی اکسید کربن هستند و آبهای حاوی دی اکسید کربن آن را با غلظت بالا که آبهایی اسیدی ناشی از آب لجنزارها یا حاصل از ذوب یخ و جمع شدگی هستند می باشد. آب لجن Co_2 بالایی دارد و $PH <$ ۴/۵ دارد که بسیار خورنده است.

/ واکنش قلیایی سنگدانه ها :

در اثر واکنش بین اجزای سلیسی و نعال موجود در سنگدانه ها و قلیایی های سیمان بتن آسیب می بیند و واکنش سلیس قلیایی نامیده می شود .) مخصوصاً قلیایی های (Na2o) و (k2o) . که یک ژل سلیسی قلیایی تشکیل نمی شود که در اثر خاصیت موئینگی (اسفری) آب جذب می شود و در نتیجه باعث افزایش حجم می شود و باعث فشار داخلی وارده به سیمانی می شود که اطراف ژل را احاطه کرده که منجر به انبساط وترک خوردن و گسیختگی خمیر سیمان می شود.

جهت کاهش احتمال واکنش های سلیسی قلیایی را هکارهایزیر توصیه شده اند :

۱)جلوگیری از تماس بین بتن با آب و رسیدن رطوبت به آن

۲) استفاده از سیمان های پرتلندکه قلیایی های آنها از ۶٪درصدکه بر حسب Nao2 بیان می گردد ، بیشتر نباشد.

۳) استفاده از ترکیبی از سیمان پرتلند + خاکستر مادی (PFA) که حداقل شامل ۲۵٪ (PFA) باشد وقلیایی بتن که در اجرای سیمان پرتلند موجودند کمتر از ۳ کیلوگرم برمتر مکعب باشد.

۴) محدود کردن قلیایی بتن به کمتر از ۳ کیلوگرم در متر مکعب

استفاده از سنگدانه هایی که تشخیص داده شده است بی اثرند.

۶/خوردگی آرماتورها :

طبیعت فوق العاده ((ca(OH2)) با PH = 13 با تشکیل یک لایۀ محافظ نازک از دی اکسید آهن روی سطح فلز ، از خوردگی آرماتورها جلوگیری می کند محافظت بعنوان خنثی سازی (passivity) معروف است.

اگر بتن به میزان نفوذپذیر باشد که کربناتاسیون بر شی که در تماس با فولاد است برسد تا کلرور های محلول بتوانند تا محل آرماتورها نفوذ کنند و آب و اکسیژن وجود داشته باشد خوردگی آمارتورها حتمی خواهد بود اگر PH<11 شود و کربناتاسیون PH را تا 8 پایین بیاورد اثر لایه محافظ Fe4o3 (اسید آهن) نیز از بین رفته و باعث تشکیل زنگ آهن که با افزایش حجم فولاد همراه است شده و فشارهای تورمی باعث ترک خوردن و خرد شدن بتن می شوند.

۵) واکنش قلیایی سنگدانه ها :

در اثر واکنش بین اجزای سلیسی و فعال موجود در سنگدانه ها و قلیایی های سیمان بتن آسیب می

بیند (واکنش سلیس- قلیایی نامیده می شود .) مخصوصاً قلیایی های (Na_2O)و (K_2O)، که یک ژل سلیسی قلیایی تشکیل می شود که در اثر خاصیت موئینگی (اسمزی) آب جذب می شود و در نتیجه باعث افزایش حجم می شود و باعث فشار داخلی وارده به سیمانی می شود که اطراف ژل را احاطه کرده که منجر به انبساط وترک خوردن و گسیختگی خمیر سیمان می شود.

جهت کاهش احتمال واکنش های سلیسی قلیایی را هکارهای زیر توصیه شده اند :

الف) جلوگیری از تماس بین بتن با آب و رسیدن رطوبت به آن

ب) استفاده از سیمان های پرتلندکه قلیایی های آنها از ۶٪درصدکه بر حسب (Na_2o) بیان می گردد ، بیشتر نباشد.

ج) استفاده از ترکیبی از سیمان پرتلند + خاکستر بادی (PFA)که حداقل شامل ۲۵٪ (PFA)باشد و قلیایی بتن که در اجرای سیمان پرتلند موجودند کمتر از ۳ کیلوگرم برمتر مکعب باشد.

د) محدود کردن قلیایی بتن به کمتر از ۳ کیلوگرم در متر مکعب

استفاده از سنگدانه هایی که تشخیص داده شده است بی اثرند.

۶) خوردگی آرماتورها :

طبیعت فوق العاده$(Ca(oH_2))$ با $PH=13$ با تشکیل یک لایۀ محافظ نازک از دی اکسید آهن روی سطح فلز ، از خوردگی آرماتورها جلوگیری می کند محافظت بعنوان خنثی سازی (passivity) معروف است.

اگر بتن به میزانی نفوذپذیر باشد که کربناتاسیون به بتنی که در تماس با فولاد است برسد تا کلرورهای

محلول بتوانند تا محل آرماتورها نفوذ کنند و آب و اکسیژن وجود داشته باشد خوردگی آمارتورها حتمی خواهد بود اگر $PH<11$ شود و کربناتاسیون PH را تا ۸ پایین بیاورد اثر لایه محافظ Fe_2o_3 (اسید آهن) نیز از بین رفته و باعث تشکیل زنگ آهن که با افزایش حجم فولاد همراه است شده و فشارهای تورمی باعث ترک خوردن و خرد شدن بتن می شوند.

جزوه درسی تکنولوژی بتن: سرکار خانم مهندس معینی پویا

"طرح اختلاط"

تعریف طرح اختلاط :

روند انتخاب اجزاء مناسب برای بتن و تعیین مقادیر نسبی آنها بمنظور تولید نسبی اقتصادی که دارای خصوصیات مشخصی ، مانند کارایی ، مقاومت و پایانی باشد.

از آنجا که مقاومت یک کمیت متغیر است ، هنگام طرح یک مخلوط بتن باید مقاومت متوسطی بالاتر از حداقل مقاومت لازم از نظر سازه ای را در نظر بگیریم .

طرح مخلوط بتونی به این مفهوم است که به چه نسبتی اجرای بتون سیمان – آب – شن و ماسه را مخلوط کرد تا بتون ساخته شده دارای ویژگی های مشخصی باشد که معمولاً در طرح بتن ۳ مقوله مطرح است :

۱ . رسیدن به مقاومت مورد نظر

۲ . تأمین دوام کافی

۳ . دست یابی به اسلامپ

موارد ۱ و ۲ به بتن سخت شده و مورد ۳ به بتن تازه مربوط می شود .

طرح بتن موجب اطمینان خاطر مجریان و سازندگان قطعه ها و سازه های بتنی شده و به طراحان امکان می دهد که سازه های بتنی را مطابق با انتظارات طراحی کنند و سرانجام موجب صرفه جویی جلوگیری از به هدر رفتن مصالح را فراهم آورند .

مراحل گام گام طرح اختلاط بتن به روش آیین نامه ای ACI :

در طرح اختلاط بتن باید عامل مخرب را برای بتنی که در معرض یخ زدن و ذوب شدن متولی قرارداد و برای هر کدام این عامل مخرب متفاوت است را در نظر گرفت . که تأثیر

هر یک از این عوامل مخرب محیطی باید در بتن لحاظ شود. مقاومت لازم برای اهداف سازه ای ، در سن ۲۸ روزه لازم می باشد اما ممکن است ملاحظات دیگری در ارتباط با مقاومت بتن در سنین دیگر نیز مطرح باشد (مانند زمان برداشتن قالبها)

گام ۱: انتخاب نوع سیمان نسبت آب به سیمان :

برای تعیین نسبت آب به سیمان لازم برای رسیدن به یک مقاومت متوسط داده شده می توان از روابط بدست آمده برای مخلوط هایی که با اجزاء مشابه ساخته می شوند استفاده کرد ولی ACI جداول ۱۹-۱ و ۱۹-۲ و شکل ۱۹-۱ وجدول ۱۹-۳ را برای این منظور ارائه داده است.

متوسط مقاومت فشاری ۲۸ روزه		نسبت آب به سیمان موثر درونی	
Mpa	psi	بتن بدون حباب زائی	بتن باحباب
زائی			
۴۵	–	۰/۳۸	–
–	۶۰۰۰	۰/۴۱	–
۴۰	–	۰/۴۳	–
۳۵	۵۰۰۰	۰/۴۸	۰/۴۰
۳۰	–	۰/۵۵	۰/۴۶
–	۴۰۰۰	۰/۵۷	۰/۴۸
۲۵	–	۰/۶۲	۰/۵۳
–	۳۰۰۰	۰/۶۸	۰/۵۹
۲۰	–	۰/۷۰	۰/۶۱
۱۵	–	۰/۸۰	۰/۷۱
–	۲۰۰	۰/۸۲	۰/۷۴

«جدول ۱۹-۱» رابطه نسبت آب به سیمان ومقاومت فشاری متوسط بتن طبق *ACI*

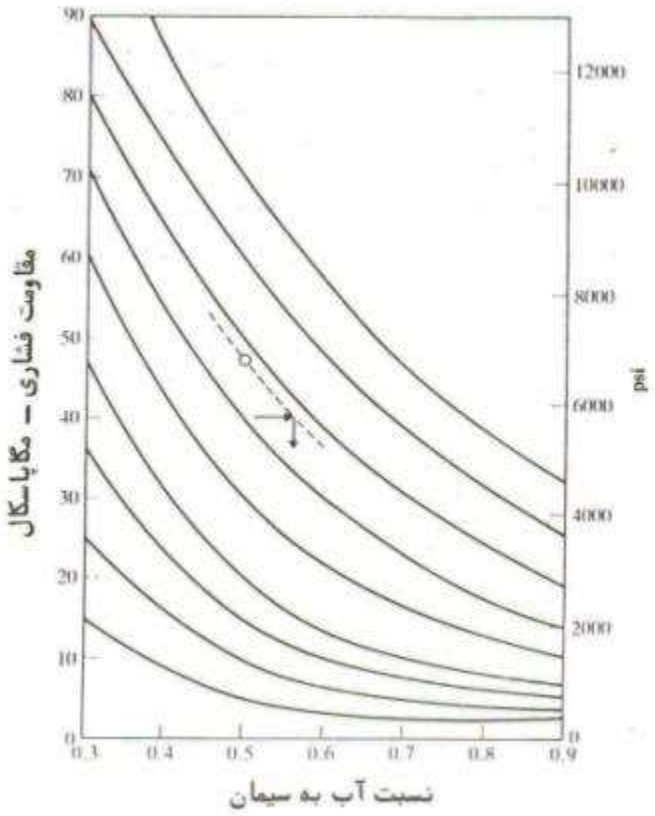
جدول ۱۹-۲ (رابطه بین نسبت آب به سیمان و مقاومت فشاری مقرر بتن طبق ACI

مقاومت فشاری	مقرردر سن ۲۸ روزه *	نسبت مطلق آب به سیمان (وزنی)	
Mpa	psi	بتن بدون حباب زائی	بتن با حباب زائی
-	۴۵۰۰	۰/۳۸	-
۳۰	-	۰/۴۰	-
-	۴۰۰۰	۰/۴۴	۰/۳۵
۲۵	-	۰/۵۰	۰/۳۹
-	۳۵۰۰	۰/۵۱	۰/۴۰
-	۳۰۰۰	۰/۵۸	۰/۴۶
۲۰	-	۰/۶۰	۰/۴۹
۱۷	-	۰/۶۶	۰/۵۴
-	۲۵۰۰	۰/۶۷	۰/۵۴

جدول (۱۹ ـ ۳) مقاومت فشاری تقریبی مخلوطهای بتن ساخته شده با نسبت آب به سیمان ۰/۵ طبق استاندارد انگلیس.

نوع سیمان	نوع سنگدانه	مقاومت فشاری* (MPa (psi)) در سن (روز)			
		۳	۷	۲۸	۹۱
پرتلند معمولی (نوع I)	غیرشکسته	۲۲(۳۲۰۰)	۳۱(۴۵۰۰)	۴۳(۶۲۰۰)	۵۰(۷۳۰۰)
پرتلند ضد ـ سولفات (نوع V)	شکسته	۲۷(۳۹۰۰)	۳۶(۵۲۰۰)	۴۸(۷۰۰۰)	۵۵(۸۰۰۰)
پرتلندزود سخت شونده (نوع III)	غیرشکسته	۲۹(۴۲۰۰)	۳۷(۵۴۰۰)	۴۹(۷۱۰۰)	۵۵(۸۰۰۰)
	شکسته	۳۴(۴۹۰۰)	۴۳(۶۲۰۰)	۵۴(۷۸۰۰)	۶۰(۸۷۰۰)

* روی نمونه‌های مکعبی



شکل(۱۹-۱)- رابطه بین مقاومت فشاری و نسبت آب آزاد به سیمان برای استفاده از روش طرح مخلوط انگلیسی

*مقاومت فشاری نمونه های استوانه ای برای سیمان های پرتلند معمولی (تیپ۱) و (تیپ ۲) و تیپ ۳ و تیپ ۵ و همچنین سیمان پرتلند سرباره ای و پرتلند پوزولانی و ضد سولفات ملایم

گام دوم :نوع سیمان :

انتخاب نوع سیمان به سرعت افزایش مقاومت لازم ، احتمال حملات شیمیایی و ملاحظات حرارتی بستگی دارد . اما همانطور که در قبل گفتیم در بتن ریزی در هوای سرد به سیمان با گرمای هیدراتاسیون بالا و در بتن ریزی های در مناطق گرم به سیمانی با حرارت هیدراتاسیون پایین نیاز داریم (همچنین در بتن ریزی های حجیم).

(ACI) جدول ۱۹-۴ اسلامپ های توصیه شده برای انواع مختلف ساختمان ها

نوع ساختمان	محدوده اسلامپ	
	mm	in
دیوارها و پی های بتن مصالح	۲۰-۸۰	۱-۳
پی ها و بندها و دیوارهای غیر مسلح	۲۰-۸۰	۱-۳
تیرها و دیوارهای مسلح	۲۰-۱۰۰	۱-۴
ستونهای ساختمان	۲۰-۱۰۰	۱-۴
روسازی ها و دال ها	۲۰-۱۰۰	۱-۳
بتن حجیم	۲۰-۸۰	۱-۲

- نکته :

در حالت تراکم با دست می توان محدوده بالای اسلامپ را 20mm افزایش داد.

جدول (۱۹-۵) مقدار تقریبی آب اختلاط و درصد هوا برای کارایی های مختلف را بر اساس بزرگترین اندازه اسمی دانه ها طبق ACI نشان می دهد .(به کتاب رمضانپور مراجعه شود.)

جدول ۱۹ – ۵ – مقدار تقریبی آب اختلاط و درصد هوا برای کارآیی‌های مختلف برحسب بزرگترین اندازه اسمی سنگدانه‌ها طبق ACI 211.1-81

کارآیی یا مقدار هوا	مقدار آب kg/m³ (lb/yd³) برحسب بزرگترین اندازه* دانه ها							
	۱۰ mm (⅜ in.)	۱۲/۵ mm (½ in.)	۲۰ mm (¾ in.)	۲۵ mm (1 in.)	۴۰ mm (1½ in.)	۵۰ mm (2 in.)	۷۰ mm (3 in.)	۱۵۰ mm (6 in.)
بتن بدون حباب زایی								
اسلامپ:								
۳۰–۵۰ mm (1–2 in.)	۲۰۵(۳۵۰)	۲۰۰(۳۳۵)	۱۸۵(۳۱۵)	۱۸۰(۳۰۰)	۱۶۰(۲۷۵)	۱۵۵(۲۶۰)	۱۴۵(۲۲۰)	۱۲۵(۱۹۰)
۸۰–۱۰۰ mm (3–4 in.)	۲۲۵(۳۸۵)	۲۱۵(۳۶۵)	۲۰۰(۳۴۰)	۱۹۵(۳۲۵)	۱۷۵(۳۰۰)	۱۷۰(۲۸۵)	۱۶۰(۲۴۵)	۱۴۰(۲۱۰)
۱۵۰–۱۸۰ mm (6–7 in.)	۲۴۰(۴۱۰)	۲۳۰(۳۸۵)	۲۱۰(۳۶۰)	۲۰۵(۳۴۰)	۱۸۵(۳۱۵)	۱۸۰(۳۰۰)	۱۷۰(۲۷۰)	—
مقدار تقریبی هوای محبوس شده (درصد)	۳	۲/۵	۲	۱/۵	۱	۰/۵	۰/۳	۰/۲
بتن با حباب زایی								
اسلامپ:								
۳۰–۵۰ mm (1–2 in.)	۱۸۰(۳۰۵)	۱۷۵(۲۹۵)	۱۶۵(۲۸۰)	۱۶۰(۲۷۰)	۱۴۵(۲۵۰)	۱۴۰(۲۴۰)	۱۳۵(۲۰۵)	۱۲۰(۱۸۰)
۸۰–۱۰۰ mm (3–4 in.)	۲۰۰(۳۴۰)	۱۹۰(۳۲۵)	۱۸۰(۳۰۵)	۱۷۵(۲۹۵)	۱۶۰(۲۷۵)	۱۵۵(۲۶۵)	۱۵۰(۲۲۵)	۱۲۵(۲۰۰)
۱۵۰–۱۸۰ mm (6–7 in.)	۲۱۵(۳۶۵)	۲۰۵(۳۴۵)	۱۹۰(۳۲۵)	۱۸۵(۳۱۰)	۱۷۰(۲۹۰)	۱۶۵(۲۸۰)	۱۶۰(۲۶۰)	—
متوسط مقدار هوای کلی توصیه شده درصد:								
شرایط ملایم	۴/۵	۴	۳/۵	۳	۲/۵	۲	۱/۵*	۱*
شرایط متوسط	۶	۵/۵	۵	۴/۵	۴/۵	۴	۳/۵*	۳*
شرایط سخت+	۷/۵	۷	۶	۶	۵/۵	۵	۴/۵*	۴*

مقادیر اسلامپ برای بتن‌های شامل سنگدانه‌هایی با بزرگترین اندازه* بزرگتر از ۴۰ میلیمتر، برمبنای تعیین اسلامپ پس از حذف دانه‌های درشت‌تر از ۴۰ میلیمتر می‌باشد.
مقادیر آب برای بزرگترین اندازه دانه‌های ۷۰ میلیمتر و ۱۵۰ میلیمتر مقادیر متوسط برای درشت دانه‌هایی با شکل منطقی و دانه‌بندی خوب از درشت به ریز می‌باشند.
* برای بتن‌های حاوی سنگدانه‌های درشت‌تر، که قبل از آزمایش تعیین مقدار هوا روی الک ۴۰ میلیمتر غربال می‌شوند، درصد هوای مصالح ریزتر از ۴۰ میلیمتر باید مطابق مقادیر داده شده در بتون مربوط به ۴۰ میلیمتر باشد. هرچند محاسبات نسبت اجزاء اولیه می‌بایست بر مبنای مقدار هوا بصورت درصدی از حجم کل انجام شود.
+ این مقادیر بر این مبنا می‌باشند که مقدار ۹ درصد هوا برای ملات بتن لازم می‌باشد.

گام سوم :انتخاب سنگدانه ها

همانطور که قبلا گفتیم بزرگترین اندازه اسمی دانه ها از $\frac{1}{5}$ بعد قالب و $\frac{1}{3}$ ضخامت دال و $\frac{3}{4}$ فاصله آزاد بین میلگردها نباید بیشتر باشد . لازم به ذکر است سنگدانه هایی با اندازه بزرگتر از $40mm$ باعث بهبود خصوصیات بتن نخواهند شد بنابراین استفاده از دانه های بزرگتر مفید نخواهد بود بعلاوه استفاده از درشت دانه های بزرگتر به این معنی است که باید تعداد بیشتری دپوی سنگدانه ها نگهداری شود و باعث پیچیده تر شدن عمل اختلاط می شود که در کارگاههای کوچک باعث غیر اقتصادی شدن بتن می شود . استفاده از مصالح محلی اقتصادی تر است حتی اگر مجبور به مصرف سیمان بیشتری باشیم ولی نکته مهم یکسان بودن دانه بندی است . استفاده از ریز دانه بیشتر در اختلاط منجر به مصرف آب بیشتر و کاهش مقاومت مخلوط می شود همچنین افزایش ریز دانه ها تراکم کامل شده که باز به کاهش مقاومت می انجامد. در فصل ۳ همین کتاب جداول ۹-۳ و ۸-۳ و ۱۰-۳ دانه بندی های عملی برای ریز دانه ها و درشت دانه ها را ارائه داده اند.

جدول (۳ – ۸)–حدود دانه‌بندی پیشنهادی استانداردهای BS و ASTM برای مصالح ریز (ماسه)

اندازه الک		درصد وزنی عبوری از الک				
		BS 882 : 1983				ASTM C 33-84
		حدود کلی	حدود اضافی			
BS	ASTM		درشت	متوسط	ریز	
۱۰ میلیمتر	$\frac{3}{8}$ اینچ	۱۰۰	–	–	–	۱۰۰
۵ میلیمتر	$\frac{3}{16}$ اینچ	۸۹ – ۱۰۰	–	–	–	۹۵ – ۱۰۰
۲/۳۶ میلیمتر	نمره ۸	۶۰ – ۱۰۰	۶۰ – ۱۰۰	۶۵ – ۱۰۰*	۸۰ – ۱۰۰	۸۰ – ۱۰۰
۱/۱۸ میلیمتر	نمره ۱۶	۳۰ – ۱۰۰	۳۰ – ۹۰	۴۵ – ۱۰۰	۷۰ – ۱۰۰	۵۰ – ۸۵
۶۰۰ میکرون	نمره ۳۰	۱۵ – ۱۰۰	۱۵ – ۵۴	۲۵ – ۸۰	۵۵ – ۱۰۰	۲۵ – ۶۰
۳۰۰ میکرون	نمره ۵۰	۵ – ۷۰	۵ – ۴۰	۵ – ۴۸	۵ – ۷۰	۱۰ – ۳۰
۱۵۰ میکرون	نمره ۱۰۰	۰ – ۱۵*	–	–	–	۲ – ۱۰

* برای ماسه شکسته حد مجاز تا ۲۰ درصد نیز افزایش می‌یابد بجز در مواردیکه برای کفهای با سایش سنگین بکار رود .

جدول (۳ – ۹) حدود دانه‌بندی پیشنهادی استاندارد BS 882 برای مصالح درشت(شن)

اندازه الک		درصد عبوری از الک							
		اندازه اسمی مصالح با دانه بندی				اندازه اسمی مصالح از یک اندازه			
میلیمتر	اینچ	۴۰ تا ۵ میلیمتر	۲۰ تا ۵ میلیمتر	۱۴ تا ۵ میلیمتر	۴۰میلیمتر	۲۰میلیمتر	۱۴میلیمتر	۱۰میلیمتر	۵ میلیمتر
		$1\frac{1}{2}$ تا $\frac{3}{16}$ اینچ	$\frac{3}{4}$ تا $\frac{3}{16}$ اینچ	$\frac{1}{2}$ تا $\frac{3}{16}$ اینچ	$1\frac{1}{2}$ اینچ	$\frac{3}{4}$ اینچ	$\frac{1}{2}$ اینچ	$\frac{3}{8}$ اینچ	$\frac{3}{16}$ اینچ
۵۰	۲	۱۰۰	–	–	۱۰۰	–	–	–	–
۳۷/۵	$1\frac{1}{2}$	۹۰ – ۱۰۰	۱۰۰	–	۸۵ – ۱۰۰	۱۰۰	–	–	–
۲۰	$\frac{3}{4}$	۳۵ – ۴۰	۹۰ – ۱۰۰	۱۰۰	۰ – ۲۵	۸۵ – ۱۰۰	۱۰۰	–	–
۱۴	$\frac{1}{2}$	–	–	۹۰ – ۱۰۰	–	–	۸۵ – ۱۰۰	۱۰۰	–
۱۰	$\frac{3}{8}$	۱۰ – ۴۰	۳۰ – ۶۰	۵۰ – ۸۵	۰ – ۵	۰ – ۲۵	۰ – ۵۰	۸۵ – ۱۰۰	۱۰۰
۵	$\frac{3}{16}$	۰ – ۵	۰ – ۱۰	۰ – ۱۰	–	۰ – ۵	۰ – ۱۰	۰ – ۲۵	۵۰ – ۱۰۰
۲/۳۶	نمره ۷	–	–	–	–	–	–	۰ – ۵	۰ – ۳۰

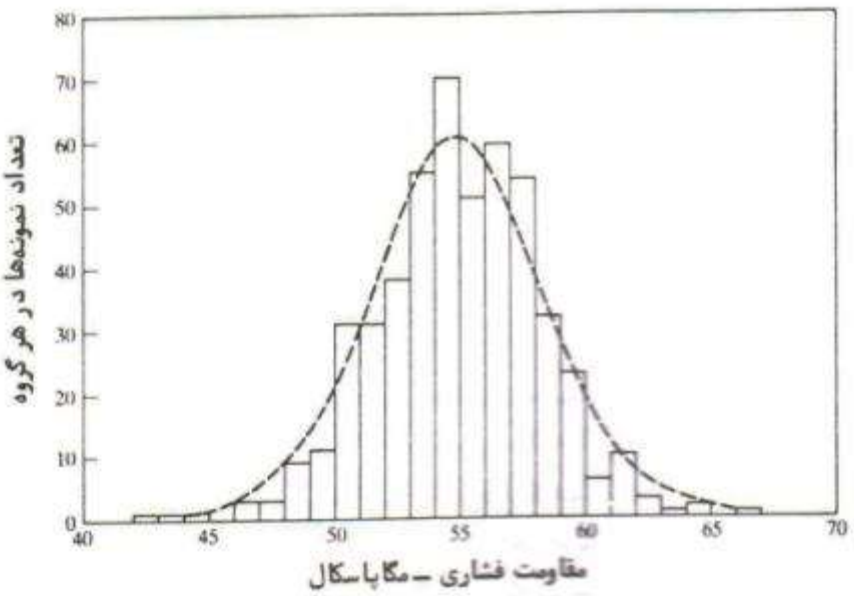
جدول (۳ – ۱۰) حدود دانه‌بندی پیشنهادی استاندارد ASTM C 33-84 برای مصالح درشت (شن)

اندازه الک		درصد وزنی عبوری از الک				
		اندازه اسمی مصالح با دانه بندی			اندازه‌اسمی مصالح‌ریز	اندازه
میلیمتر	اینچ	۳۷/۵ تا ۴/۷۵ میلیمتر ۱ $\frac{1}{2}$ تا $\frac{3}{16}$ اینچ	۱۹ تا ۴/۷۵ میلیمتر $\frac{3}{4}$ تا $\frac{3}{16}$ اینچ	۱۲/۵ تا ۴/۷۵ میلیمتر $\frac{1}{2}$ تا $\frac{3}{16}$ اینچ	۶۳ میلیمتر ۲ $\frac{1}{2}$ اینچ	۳۷/۵ میلیمتر ۱ $\frac{1}{2}$ اینچ
۷۵	۳	–	–	–	۱۰۰	–
۶۳	۲ $\frac{1}{2}$	–	–	–	۹۰–۱۰۰	–
۵۰	۲	۱۰۰	–	–	۳۵–۷۰	۱۰۰
۳۸/۱	۱ $\frac{1}{2}$	۹۵–۱۰۰	–	–	۰–۱۵	۹۰–۱۰۰
۲۵	۱	–	۱۰۰	–	–	۲۰–۵۵
۱۹	$\frac{3}{4}$	۳۵–۷۰	۹۰–۱۰۰	۱۰۰	۰–۵	۰–۱۵
۱۲/۵	$\frac{1}{2}$	–	–	۹۰–۱۰۰	–	–
۹/۵	$\frac{3}{8}$	۱۰–۳۰	۲۰–۵۵	۴۰–۷۰	–	۰–۵
۴/۷۵	$\frac{3}{16}$	۰–۵	۰–۱۰	۰–۱۵	–	–
۲/۳۶	نمره ۸		۰–۵	۰–۵	–	–

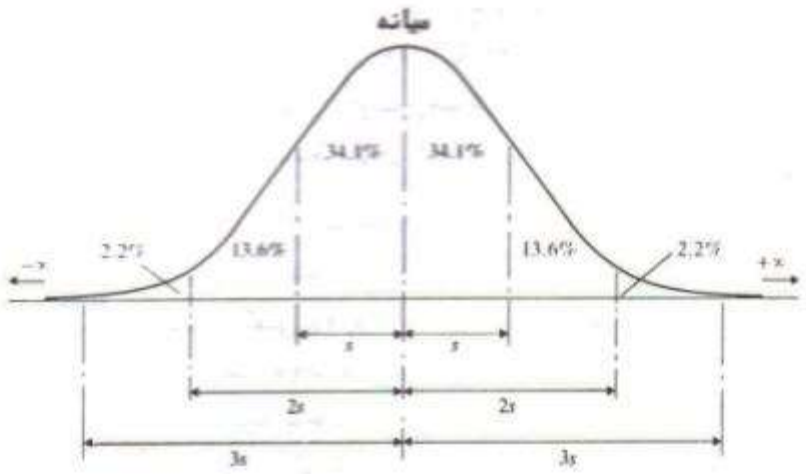
گام چهارم :مقدار سیمان

در طرح اختلاط باید مقدار مصرف سیمان اقتصادی باشند زیرا سیمان خیلی گران تر از سنگدانه است. همچنین مصرف متوسط سیمان در بتن های حجیم باعث کاهش پتانسیل ترک خوردگی ها می شود و در بتن های سازه ای باعث کاهش جمع شدگی می شود . از نظر فنی ، مقدار سیمان با توجه به آب لازم و نسبت آب به سیمان ($\frac{w}{c}$) تعیین می شود

$$c = \frac{W}{\frac{W}{C}}$$



شکل (۱۷ ـ ۱) ـ یک هیستوگرام از مقادیر مقاومت



شکل (۱۷ ـ ۲) ـ منحنی توزیع نرمال ، درصد نمونه‌ها در فاصله‌های یک انحراف معیار استاندارد نشان داده شده است .

جدول ۱۷ – ۱ – احتمال قرار گرفتن مقاومت‌ها درمحدوده* $f_m \pm ks$ و زیر $f_m - ks$ برای توزیع نرمال .

ضریب احتمال k	احتمال مقاومت در محدوده* $f_m \pm ks$ (درصد)	احتمال مقاومت کمتر از $f_m - ks$ (ریسک) درصد
۱	۶۸/۲	۱۵/۹ (۱ در ۶)
۱/۶۴	۹۰	۵ (۱ در ۲۰)
۱/۹۶	۹۵	۲/۵ (۱ در ۴۰)
۲/۳۳	۹۸	۱ (۱ در ۱۰۰)
۳	۹۹/۷	۰/۱۵ (۱ در ۷۰۰)

جدول ۱۷ – ۲ – ضریب اصلاح برای انحراف معیار داده شده توسط ACI 318-83

تعداد آزمایشات	ضریب انحراف معیار
۱۵	۱/۱۶
۲۰	۱/۰۸
۲۵	۱/۰۳
۳۰ یا بیشتر	۱

گام پنجم : مقدار سنگدانه

در ACI ، حجم ظاهری درشت دانه خشک در واحد حجم بتن با توجه به مدول نرمی ریز دانه و بزرگترین اندازه سنگدانه ها تعیین می شود جدول (۱۹-۱۰) این مقادیر را نشان می دهد.

جدول ۱۹ – ۱۰ – حجم ظاهری خشک درشت‌دانه در واحد حجم بتن طبق ACI 211.1-81

بزرگترین اندازه* دانه‌ها		حجم خشک ظاهری درشت‌دانه در واحد حجم بتن برای مدول نرمی ماسه :			
میلیمتر	اینچ	۲/۴	۲/۶	۲/۸	۳
۱۰	$\frac{۳}{۸}$	۰/۵	۰/۴۸	۰/۴۶	۰/۴۴
۱۲/۵	$\frac{۱}{۲}$	۰/۵۹	۰/۵۷	۰/۵۵	۰/۵۳
۲۰	$\frac{۳}{۴}$	۰/۶۶	۰/۶۴	۰/۶۲	۰/۶۰
۲۵	۱	۰/۷۱	۰/۶۹	۰/۶۷	۰/۶۵
۴۰	$۱\frac{۱}{۲}$	۰/۷۵	۰/۷۳	۰/۷۱	۰/۶۹
۵۰	۲	۰/۷۸	۰/۷۶	۰/۷۴	۰/۷۲
۷۰	۳	۰/۸۲	۰/۸۰	۰/۷۸	۰/۷۶
۱۵۰	۶	۰/۸۷	۰/۸۵	۰/۸۳	۰/۸۱

وزن واحد حجم × حجم ظاهری خشک = وزن درشت دانه

مقادیر این جدول مخلوط هایی با کارآیی مناسب برای ساختمان های بتن سلح ایجاد می کند در کارهای سازه ای با کارآیی کمتر مثل روسازی ها باید مقادیر را ۱۰ درصد افزایش داد . و برای بتن های با کارآیی بالاتر مقادیر فوق را (مثلا در بتن ریزی با پمپ)۱۰٪ کاهش دهیم.

برای محاسبه مقدار ریزدانه در واحد حجم بتن می توان از روش وزنی یا حجمی استفاده کرد :

۱) در روش وزنی :

مجموع وزن های سیمان ،درشت دانه و آب را از وزن واحد حجمی بتن کم می شوند که از جدول (۱۹-۱۱) نیز می توان این مقادیر را بعنوان اولین تخمین استفاده کرد برای نتایج دقیق تر ۲ فرمول زیر پیشنهاد شده اند (روش وزنی) :

$$\frac{kg}{\mathrm{m3}} \text{ برحسب} \quad \rightarrow \quad \rho = 10\gamma_a(100 - A) + c\left(1 + \frac{\gamma_a}{\gamma}\right) - w(\gamma_a - 1)$$

$\frac{\text{Lb}}{yd3}$ برحسب $\rightarrow \quad \rho = 16.85 Y_a\,(100 - A) + C\left(1 - \frac{Y_a}{Y}\right) - w(Y_a - 1)$

ρ = وزن واحد حجم بتن تازه $\frac{kg}{\text{m3}}$ یا $\frac{\text{Lb}}{yd3}$

Y_a = متوسط (وزنی) وزن مخصوص ظاهری (SSD) مخلوط ریز دانه و درشت دانه که باید از طریق آزمایش تعیین شود.

A = درصد هوا

C = مقدار سیمان بر حسب $\left(\frac{Lb}{yd^3}\right), \frac{kg}{m^3}$

Y = وزن مخصوص سیمان (۳.۱۵)

W = آب لازم برای مخلوط $\frac{kg}{m^3}$ یا $\frac{Lb}{yd^3}$

۲) روش حجمی : وزن ریز دانه(AF)

kg/m^3 برحسب $\text{AF} = Y_F\left[1000 - (W + \frac{C}{Y} + \frac{A_c}{Y_c} + 10A)\right]$

Lb/Ft^3 برحسب $\text{AF} = Y_F\left[27 - (W + \frac{C}{Y} + \frac{A_c}{Y_c} + 0.27A)\right]$

A_c = مقدار درشت دانه برحسب $kg/m^3 \quad \left(\frac{Lb}{ft^3}\right)$

Y_F = وزن مخصوص ظاهری (SSD) ریز دانه

Y_c = وزن مخصوص ظاهری (SSD) درشت دانه

جدول ۱۹ – ۱۱ – تخمین اولیه از وزن حجمی بتن تازه طبق ACI 211.1-81

بزرگترین اندازه دانه‌ها		تخمین اولیه وزن حجمی بتن تازه			
		بدون حباب زایی		با حباب زایی	
میلیمتر	اینچ	kg/m³	lb/yd³	kg/m³	lb/yd³
۱۰	$\frac{۳}{۸}$	۲۲۸۵	۳۸۴۰	۲۱۹۰	۳۶۹۰
۱۲/۵	$\frac{۱}{۲}$	۲۳۱۵	۳۸۹۰	۲۲۳۵	۳۷۶۰
۲۰	$\frac{۳}{۴}$	۲۳۵۵	۳۹۶۰	۲۲۸۰	۳۸۴۰
۲۵	۱	۲۳۷۵	۴۰۱۰	۲۳۱۵	۳۹۰۰
۴۰	$۱\frac{۱}{۲}$	۲۴۲۰	۴۰۷۰	۲۳۵۵	۳۹۶۰
۵۰	۲	۲۴۴۵	۴۱۲۰	۲۳۷۵	۴۰۰۰
۷۰	۳	۲۴۶۵	۴۱۶۰	۲۴۰۰	۴۰۴۰
۱۵۰	۶	۲۵۰۵	۴۲۳۰	۲۴۳۵	۴۱۲۰

اصلاح مقادیر طرح اختلاط : (اصلاح مقادیر و نسبت های اجزاء باید با ساختن مخلوط های آزمایشی کنترل شود). در مخلوط های بتن اگر پارامترهای اندازه گیری شده در بتن مثل کارایی، چسبندگی، خصوصیات پرداخت کردن و مقدار هوا و همچنین وزن حجمی و جاری شدن که مورد آزمایش قرار گرفته اند رضایت بخش نباشد باید نسبت اجزاء بتن را اصلاح کرد : برای مثال کمبود چسبندگی را می توان با افزایش ریز دانه و کاهش درشت دانه اصلاح کرد.

قوانین عملی ACI در اصلاح طرح اختلاط : (نسبت اجزاء محاسبه شده باید با ساختن مخلوط های بتنی کنترل شود.)

۱) در صورت نرسیدن به اسلامپ صحیح، به ازای هر ۲۵ میلی متر افزایش یا کاهش در اسلامپ مقدار آب تخمین زده شده ۶ کیلوگرم در متر مکعب افزایش یا کاهش داده شود.

۲) در صورت نرسیدن به درصد هوای مورد نظر لازم است مقدار مصرف افزودنی حباب زا اصلاح شود تا مقدار هوای تعیین نشده را ایجاد نماید. بر این اساس مقدار آب به ازای هر ۱ درصد کاهش یا افزایش در مقدار هوا ۳ کیلوگرم بر متر مکعب کاهش یا افزایش داده نشود.

۳) اگر وزن حجمی بتن تازه که با روش وزنی تخمین زده شده حاصل نگردید باید نسبت اجزاء اصلاح شود تا در مقدار هوای بتن تغییر حاصل شود.

مثال های روش ACI :

بتنی برای ستون های داخلی یک ساختمان لازم است مقاومت مقرر ۲۸ روزه ۲۰ مگاپاسکال(۲۹۰۰ Psi)

است و لازم است که در هر ۲۰ نتیجه، بیش از یک نمونه کم تر از مقاومت مقرر نباشد. اندازه مقطع ستون ها و فاصله آرماتورها اسلامپ ۵۰mm و بزرگ ترین اندازه ی دانه های۲۰mm را ایجاب می کند. هر دوی ریزدانه ها و درشت دانه ها بامشخصات دانه بندی ASTM مطابقت دارند و مدول نرمی ریز دانه ۲.۶ است .

و دارای رطوبت ناچیزی می باشد. وزن حجمی ظاهری درشت دانه ها برابر kg/m^3 ۱۶۰۰می باشد. مطلوبست طرح اختلاط ؟

۱) گام اول :

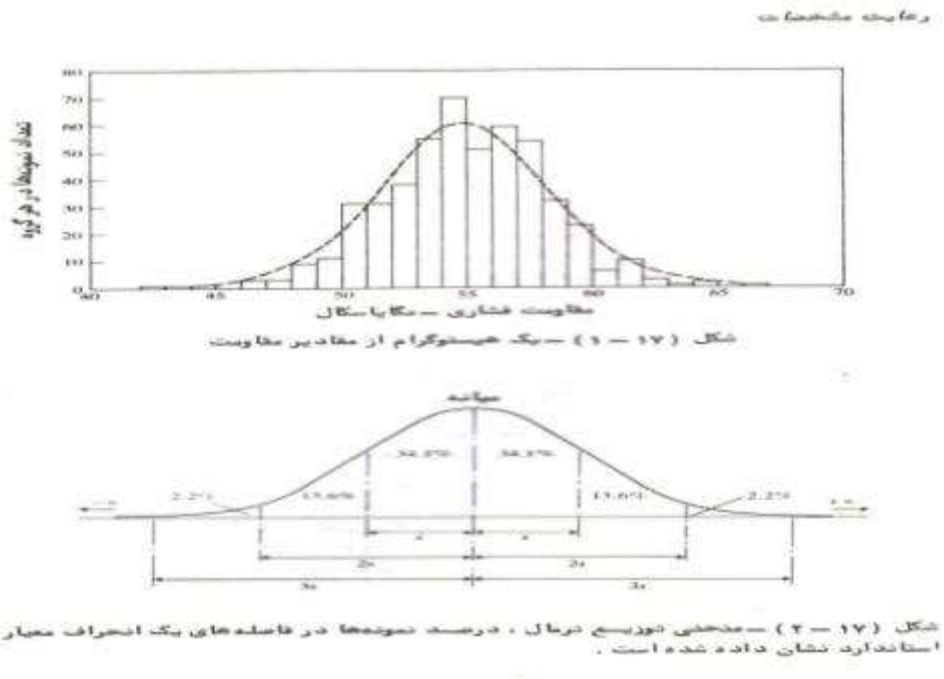
چون شرایط محیطی خاصی مد نظر نمی باشد سیمان تیپ ۱ بدون حباب زا استفاده می کنیم (انتخاب نوع سیمان)

۲) گام دوم :

چک کردن مقاومت سازه با نمونه های مشابه ساخته شده شده از تجربیات قبلی است . که بصورت ریز بدان پرداخته می شود. (فصل ۱۷)

از آنجا که مقاومت یک کمیت متغیر است هنگام طرح یک مخلوط بتن باید مقاومت متوسطی بالاتر از حداقل مقاومت لازم از نظر سازه ای را در نظر بگیریم برای این منظور فرض می کنیم تعداد زیادی از نمونه های آزمایشی مشابه که نمایانگر تمام بتن به کار رفته در سازه هستند داشته باشیم نتایج آزمایش پراکندگی یا توزیعی را حول مقاومت متوسط نشان خواهد داد که این را توسط یک هیستوگرام نشان می دهند که در آن تعداد نمونه هایی که مقاومت آن ها در یک محدوده ی مقاومت (فرکانس) قرار گرفته در مقابل محدوده ی مقاومت رسم می شود شکل (۱۷-۱) چنین هیستوگرامی را نشان می دهد که در آن توزیع مقاومت با یک منحنی خط چین تقریب زده می شود که این منحنی به نام توزیع فرکانس معروف است .

که این منحنی بر اساس مقاومت متوسط F_m و انحراف معیار S بیان می گردد.



S = انحراف معیار بیانگر پراکندگی مقاومت حول مقاومت متوسط می باشد که داریم :

$$\bar{S} = \left[\sum_{i=1}^{n} \frac{(f_i - f_m)^2}{n-1}\right]^{\frac{1}{2}}$$

$$F_{\mathrm{m}} = \frac{\sum_{\mathrm{i}=1}^{n} \mathrm{f_i}}{\mathrm{n}}$$

$F_i =$ مقامت نمونه آزمایشی شماره ی i می باشد.

$n =$ تعداد نمونه آزمایشی می باشد.

ضریب معمولا بین ۲.۳۳> k >۱.۶۴انتخاب می شود :

۱) اگر احتمالات $= \frac{1}{20}$ برای کمتر بودن مقاومت از حداقل مقاومت $\Longleftarrow$ $k = 1.64$

۲) اگر احتمالات $= \frac{1}{100}$ برای کمتر بودن مقاومت از حداقل مقاومت$\Longleftarrow$ $k = 2.33$

*اطلاعات حاصل از نمونه های آزمایش های قبلی باید آنهایی باشند که طی نزدیکترین دوره ۶ تا ۱۲ ماهه از مخلوط های جداگانه بتن بطور اتفاقی نمونه برداری شده اند.

روش ACI برای تعیین مقاومت متوسط چند حالت را قرار داده است:

۱) هنگامی که حداقل ۳۰ نتیجه ی آزمایش متوالی در یک دسته ، با مصالح و شرایط موجود باشد و مقاومت مقرر طرح آنها $F_{\min}$ کمتر از $7MPA$ باشد آنچه حالا لازم است تفاوت داشته باشد انحراف معیار از فرمول ۱ زیر محاسبه می شود :

$$\overline{\mathrm{S}} = \left[\sum_{i=1}^{n} \frac{(\mathrm{f_i} - \mathrm{f_m})^2}{n-1}\right]^{\frac{1}{2}}$$

و فرمول ۲ برای زمانی است که ۲ گروه آزمایش انجام شود :

$$\overline{\mathrm{S}} = \left[\frac{(\mathrm{n_1}-1)\mathrm{s_1^2} + (\mathrm{n_2}-1)\mathrm{s_2^2}}{\mathrm{n_1}+\mathrm{n_2}-2}\right]^{\frac{1}{2}}$$

که S_1 وS_2 انحراف معیارهای محاسبه شده از دو گروه نتایج آزمایش و n_1 و n_2 تعداد آزمایش ها در هر گروه است. ($\bar{S}$ متوسط S_1 و S_2 نمی باشد)

۱) اگر تعداد نتایج آزمایش بین ۱۵ تا ۲۹ باشد انحراف معیاراستاندارد توسط عامل داده شده از جدول ۱۷-۲ افزایش می یابد.

جدول ۱۷ ـ ۲ ـ ضریب اصلاح برای انحراف معیار داده شده توسط ACI 318-83

تعداد آزمایشات	ضریب انحراف معیار
۱۵	۱/۱۶
۲۰	۱/۰۸
۲۵	۱/۰۳
۳۰ یا بیشتر	۱

۲) اگر نتایج ثبت شده مناسبی در دست نباشد ، مقاومت متوسط لازم باید به اندازه ای که متناسب با مقاومت مقرر طرح می باشد. از مقاومت مقرر طرح تجاوز نماید که در جدول ۱۷-۳ بررسی شده است ولی به محض اینکه طی ساخت ، اطلاعات کافی بدست آمد ، انحراف معیار متناظر با تعداد نتایج آزمایش ، قابل محاسبه می باشد و قتی انحراف معیار تعیین شده مقاومت متوسط لازم را داریم که از max مقادیری که از معادلات زیر بدست می آیند نتیجه می شود :

$$F_{cr}{}' = f_c{}' + 1.34s$$

$F_{cr}{}'$ = مقاومت فشاری متوسط لازم

$f_c{}'$ = مقاومت فشاری مقرر

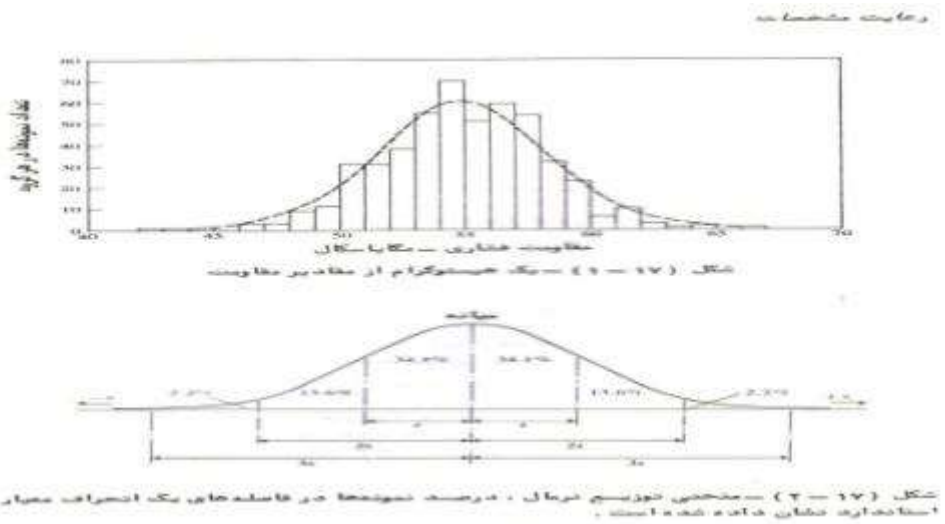
$$F_{cr}{}' = f_c{}' + 2.33s - 500 \quad (psi) \text{یا}$$

$$F_{cr}{}' = f_c{}' + 2.33 - 3.5 \quad MPA$$

جدول ۱۷ – ۳ – افزایش مقاومت لازم برای مقاومت فشاری مقرر هنگامی که هیچ نتیجه‌ای دردست نیست . ACI 318-83

مقاومت فشاری مقرر		افزایش مقاومت لازم	
MPa	psi	MPa	psi
کمتر از ۲۱	کمتر از ۳۰۰۰	۷	۱۰۰۰
۲۱ تا ۳۵	۳۰۰۰ تا ۵۰۰۰	۸/۵	۱۲۰۰
۳۵ یا بیشتر	۵۰۰۰ یا بیشتر	۱۰	۱۴۰۰

در شکل (۱۷-۲) می بینیم که منحنی حول مقدار متوسط متقارن است و تا بینهایت گسترده می شود ولی در عمل این مقاومت های خیلی کم و خیلی زیاد در بتن بوجود نمی آید اما می توان دید بیشتر سطح زیر منحنی حدود ۹۹.۶ درصد بین محدوده ی $\pm 3S$ قرار دارد پس بطور کلی احتمال قرار گرفتن یک نتیجه بین هر دو محدوده ای حول مقاومت متوسط$(F_m \pm K_s)$است . K ضریب احتمال ای است که احتمال قرار گرفتن مقاومت در محدوده ی $F_m + K_s$ و $F_m - K_s$ را نشان می دهد .



و اولین قدم در طرح یک مخلوط استفاده از انحراف معیار برای محاسبه ی مقاومت متوسط لازم است .

$$F_m = F_{min} + K_s$$

F_{min} = حداقل مقاومت است که مقاومت مقرر طرح نام دارد .

و در مرحله ی بعد مسئله ی حائز اهمیت پذیرش بتن براساس مقاومت مقرر است . که ارزیابی و پذیرش بتن که در قرار داده شده براساس آزمایش مفاومت یعنی متوسط نتایج ۲ نمونه ی استوانه ای ساخته شده از یک نمونه بتن می باشد که معمولاً در سن ۲۸ روزه تعیین می شود مقاومت یک بتن مشخص هنگامی پذیرفته می شود که هر ۲ معیار زیر ارضاء شود :

۱) متوسط همه ی گروه های ۳ تایی متوالی از نتایج حداقل برابر مقاومت مقرر طرح باشد .

۲) هیچ نتیجه آزمایشی بیش از ۳/۵ Mpa از مفاومت مقرر طرح کمتر نباشد .

حال با دانستن مطالب مربوط به مقاومت مقرر مقاومت فشاری متوسط لازم و انحراف استاندارد به ادامه ی حل مسئله می پردازیم :

۱) از تجربیات قبلی در مورد ساخت بتنی با مقاومت مقرر ۲۵ مگاپاسکال با مصالحی مشابه با آنچه در نظر است مصرف شود، انحراف معیار ۲۰ نتیجه ی آزمایش استوانه ای استاندارد (که هر یک متوسط ۲ استوانه است) برابر ۳/۵ مگاپاسکال است و احتمال مطلوب درمورد نتایج پایین تراز مقاومت مقرر برابر $\frac{1}{20}$ می باشد . بنابراین از جدول (۱۷-۱) میبینیم.

(۱-۱۷) K = 1.64 = 1.6

بعداز نمونه n = ۲۰ => (۲-۱۷) => ضریب اصلاح =۱.۰۸

بنابراین باید انحراف معیار با ضریب ۱.۰۸ افزایش داده شود.

$$F_m = F_{min} + K_s = 20 + (1.6 * 3.5 * 1.08) = 26$$

۲) مقدار تخمینی آب به سیمان از جدول ۱۹-۱ بدست میآید.

۲۶Mpa متوسط مقاومت فشاری (۱-۱۹)جدول => $\frac{w}{c} = 0.6$

۲۰ Mpa مقرر مقاومت فشاری (۲-۱۹ جدول => $\frac{w}{c} = 0.6$

۳) از جدول ۱۹-۵ مقدار آب اختلاط برای بتن بدون حباب هوا با اسلامپ 50mm و بزرگ ترین اندازه دانه 20mm برابر ۱۸۵ کیلوگرم در متر مکعب است .

۵۰ =اسلامپ<= ۲۰ mm =>بزرگترین اندازه ی دانه <=(جدول۱۹-۵)

$=>$ مقدار تقریبی هوای محبوس شده $= \%2$ $=>$ آب مقدار $= 185\frac{kg}{m^3}$

۴) مقادیر سیمان بصورت زیر تعیین می شود :

$C=w=\frac{185}{0.6} = 308\ kg/m^3$

۵) حجم ظاهری خشک درشت دانه :

از جدول (۱۹-۱۰) به ازای بزرگترین اندازه ی دانه 20mm و ریزدانه ای با مدول نرمی۲.۶ بدست می آید .

همانطور که در مسئله ی قید شده وزن حجمی ظاهری درشت دانه ها برابر ۱۶۰۰ کیلوگرم است.

مقدار وزنی درشت دانه لازم$\rightarrow$ پس داریم $\rightarrow V\times \frac{w}{v} = \frac{0}{64} \times 1600 = 1024$

چون جذب آب درشت دانه ها ناچیز است هیچ اصلاحی برای بدست آوردن وزن بر اساس حالت SSD لازم نمی باشد.

۶) محاسبه ی ریز دانه با استفاده از روش وزنی :

۳.۱۵= وزن مخصوص سیمان

۲۳۵۵=>درشت دانه<=تخمین اولیه وزن حجمی بتن تازه<=(جدول ۱۹-۱۱)

(ρ) تخمین وزن حجمی بتن<=معادله ی(۱۹-۱۲)

$$\rho = 10Y_a(100 - A) + c\left(1 + \frac{Y_a}{Y}\right) - w(Y_a - 1)$$

$$\rho = 10 * 2.65(100 - 2) + 308\left(1 - \frac{2.65}{3.15}\right) - 185(2.65 - 1)$$

$$\rho = 2292 < 2355$$

اگرچه این مقدار کمتر از مقدار اولین تخمین است(۲۳۵۵کیلوگرم بر متر مکعب)ولی تفاوت موجود هم نمی باشد.

برای محاسبه ی وزن ریز دانه باید وزن سایر اجزاء مخلوط را از وزن بتن تازه کم کنیم.

وزن ریزدانه $= 2355 - (185 + 308 + 1024) = 838 \ {}^{kg}/_{m^3}$

استفاده از روش حجمی دقیق تر است :

$$\text{AF} = Y_F\left[1000 - (W + \frac{C}{Y} + \frac{A_c}{Y_c} + 10A)\right]$$

$$\text{AF} = 2.65\left[1000 - (185 + \frac{308}{3.15} + \frac{1024}{2.65} + 10 * 2\right]$$

$\text{AF} = 824 \quad {}^{kg}/_{m3}$ ✓ دقیق تر است

۷) چون تمام وزن های بدست آمده در حالت می باشد و سنگدانه ها رطوبت ناچیزی دارند اصلاح وزن ها لازم نمی باشد .

۸) مقادیر بدست آمده بر حسب در متر مکعب به شرح زیر است :

سیمان = ۳۰۸

ریزدانه = ۸۲۴

درشت دانه = ۱۰۲۴

آب = ۱۸۵

$$\sum = 2341$$

۹) ساخت یک مخلوط آزمایشی با نسبت های فوق برای تهیه ی ۲٪ متر مکعب بتن .

آب =۰.۰۲ × ۱۸۵=۳.۷

سیمان=۰.۰۲× ۳۰۸=۶.۱۶

درشت دانه =۰.۰۲ × ۱۰۲۴=۲۰.۴۸

ریزدانه=۰.۰۲ × ۸۲۴=۱۶.۴۸

$$\sum = 46.82$$

براساس مقادیر فوق و مخصوصاً آب ۳.۷ کیلوگرمی به کار رفته توی مخلوط به این نتیجه رسیدند که آب ۳.۷ اسلامپ ناچیزی ایجاد می کند بنابراین لازم بود برای رسیدن به مخلوطی با کارایی رضایتبخش آب را تا ۴ کیلوگرم افزایش دهند که در نتیجه اسلامپ بتن ۲۵mm وزن جمعی آن ۲۳۲۰ شد.

مثال ۲ :

بتنی برای مصرف در پی لازم است به شدت در معرض سولفات ها خواهد بود مقاومت مقرر ۲۸ روزه برابر ۲۵ Mpa و اسلامپ لازم ۸۰ تا ۱۰۰ mm است . اندازه ی درشت دانه ها ۴۰ mm وزن حجمی ظاهری خشک ۱۶۰۰ وزن ظاهری ریزدانه ها جذب آب ۰/۷ درصد مقدار رطوبت کلی ۶ درصد و مدول نرمی ۲/۸ می باشد مطلوبست طرح اختلاط ؟

۱) نوع سیمان مورد استفاده (پرتلند تیپ ۵ برای محیط در معرض سولفات ها)

جدول (۱۴-۲)توصیه های ACI برای بتن های در معرض سولفات ها

۰.۴۵ = بیشترین نسبت آب آزاد به سیمان ⟹ سنگدانه های معمولی

۲)

(حمله شدید شرایط منتقب) هوا ۵/۵ ٪ ⟹ درصد هوای توصیه شده براساس بزرگترین

بزرگترین اندازه دانه ها ۴۰mm

۳) نسبت آب به سیمان و مقاومت فشاری مقرر بتن :

$\frac{w}{c} = 0.39$ = بتن با حباب زایی + مقاومت ۲۵Mpa ⟹ (۲-۱۹)

۴) مقدار آب لازم برای بتن حباب دار با اسلامپ ۸۰ الی ۱۰۰mm :

اسلامپ ۱۰۰-۸۰ و بتن با حباب و ۴۰mm= بزرگترین دانه و w=160kg ⟹ (جدول ۱۹-۵)

$$\Longrightarrow \quad C = \frac{W}{\frac{w}{c}} = \frac{160}{0.39} = 410kg$$

۵) مقدار سیمان :

$$\Longrightarrow \quad C = \frac{W}{\frac{W}{c}} = \frac{160}{0.39} = 410kg$$

۶) مقدار درشت دانه :

۰.۷۱ $\Longleftarrow$ مدول نرمی ۲.۶۸ $\Longrightarrow$ درشت دانه $\Longleftarrow$ ۴۰ mm $\Longrightarrow$ (جدول ۱۹-۱۰)

وزن درشت دانه $= 0.71 * 1600 = 1136\ kg$

جذب آب $= 0.5\%$

با توجه به جذب آب سنگدانه ، وزن آنرا اصلاح می کنیم:

وزن درشت دانه اصلاح شده $= 1136 * (1 + 0.005) = 1136 * 1.005 = 1141.68\ kg$

۷) تخمین وزن حجمی بتن از جدول(۱۹-۱۱):

$$\rho = 2355\ {}^{kg}/_{m3}$$

۸) محاسبه مقدار وزنی ریز دانه :

وزن ریزدانه $= 2355 - (160 + 410 + 1142) = 643\ kg$

۹) اصلاح درشت دانه و ریز دانه بر حسب SSD بدست آمده اند و سنگدانه ها دارای رطوبت سطحی هستند باید اوزان آن ها را اصلاح کنیم.

درشت دانه $=$ وزن درشت دانه $*$ (جذب آب $-$ رطوبت کلی)

رطوبت جذب شده درشت دانه $= (\frac{2 - 0.5}{100}) = \%1.5 = 0.015$

وزن درشت دانه $= 1142 * (1 + 0.015) = 1142 * 1.015 = 1159\ kg$

$$\text{وزن ریزدانه} = 643 * \left(\left(\frac{6-0.7}{100}\right)+1\right) = 677\ kg$$

نکته مهم :

قابل توجه است که رطوبت سطحی سنگدانه ها برخلاف رطوبت جذب شده، در واکنش های هیدراتاسیون سیمان شرکت می کنند در نتیجه آب سطحی موجود در سنگدانه ها باید از مقدار آبی که به مخلوط اضافه می شود کم شود بنابراین برای مقدار آب اصلاح شده داریم :

$$\text{وزن آب اصلاح شده} = \left(\text{وزن آب} = 160\ kg\right) - (1159-1142) - (677-643) = 109\ \text{kg}$$

: در نتیجه داریم

C = 410

۱۰۹ = آب

۱۱۵۹ = درشت دانه

۶۷۷ = ریز دانه

بطور کلی در جمع بندی نهایی برای طرح اختلاط بتن باید مراحل زیر گام به گام طی شوند :

۱) انتخاب اسلامپ : اگر مقدار آن مشخص نباشد از جدول (۱۹-۴) کتاب رمضانیانپور

۲) انتخاب بزرگ ترین اندازه اسمی سنگدانه ها : گفتیم حداکثر درشت دانه از $\frac{1}{5}$ بعد قالب، $\frac{1}{3}$ ضخامت دال و $\frac{3}{4}$ فاصله آزاد آرماتورها بزرگتر نباشد.

۳) تخمین آب اختلاط و مقدار هوای محبوس : (جدول۱۹-۵)

۴) انتخاب نسبت آب به سیمان : (جدول ۱۹-۲)

در محیط های در معرض سولفات ها (جدول ۱۴-۲)

۵) محاسبه مقدار سیمان : $C = \frac{w}{\frac{w}{c}}$

۶) تعیین مقدار سنگدانه درشت : (۱۹-۱۰)جدول

۷) تخمین مقدار سنگدانه ریز :

الف) تخمین وزن حجمی بتن از جدول (۱۹-۱۱)

ب) محاسبه مقدار وزنی ریز دانه با کم کردن وزن حجمی بتن از وزن سایر اجزاء محاسبه شده طی مراحل قبل.

دو روش: وزنی / حجمی

۸) اصلاحات مربوط به رطوبت سنگدانه ها

۹) اصلاحات مربوط به ساخت مخلوط های آزمایشی