فصل اول :

اجزاء تشکیل دهنده بتن و خواص آنها :

۱-۱) مقدمه : امروزه استفاده از سازه هاي بتن آرمه در جهان رو به افزايش مي باشد. سازه هاي بتن آرمه داراي محاسن زير مي باشند :

الف - عمر بسيار طولاني سازه هاي بتن آرمه

ب - مقاومت در برابر آتش سوزي

ج - فراواني و در دسترس بودن مصالح

د - فرم پذيري

هـ - مقاومت فشاري بالا

با اين وجود ، اين سازه ها داراي معايب زير مي باشند :

الف - سنگين بودن سازه هاي بتني

ب - قدرت انتقال صوتي و قابليت انتقال حرارتي

ج - اشكالات مربوط به نگهداري بتن در قالب

د - حجم بالاي اعضاي اسكلت بتني

هـ - وابستگي اجراي سازه هاي بتن آرمه به شرايط آب و هوايي

و - سرعت پايين اجراي سازه هاي بتني

۱-۲) مواد تشکیل دهنده بتن : مواد تشکیل دهنده بتن شامل مواد زیر است :

الف - سنگدانه ها

ب - سيمان

ج - آب

د - مواد افزودني

۱-۲-۱) سیمان : سيمان فرآورده اي است شيميايي كه داراي خاصيت چسبندگي است و در اثر تماس با آب سفت و سخت شده و محصول حاصله در برابر آب و رطوبت از دوام بالايي برخوردار است . سيمان در بتن نقش چسباننده

دانه هاي سنگي را دارد . سيمان از پختن بعضي از تركيبات طبيعي يا مصنوعي كربنات كلسيم يا آلومين ، منيزي و سيليس به دست مي آيد .

۱-۲-۱-۱) مواد تشكيل دهنده سيمان : بيشترين ماده تشكيل دهنده سيمان را آهك (Cao) و سيليس (Sio_2) تشكيل مي دهد .

عمده مواد تشكيل دهنده سيمان و درصد آنها به شرح زير است:

- آهك (Cao) ٦٠ - ٦٧ درصد
- سيليس (Sio_2) ١٧-٢٥ درصد
- آلومينا (Al_2o_3) ٣-٨ درصد
- اكسيد آهن (Fe_2o_3) ٠/٥ - ٦ درصد
- اكسيد منيزيم (Mgo) ٠/١ - ٤ درصد
- انيدريد سولفوريك (So_3) ١-٣ درصد
- قلياي ها (Na_2o) ٠/٢-١/٣ درصد

خاصيت چسبندگي سيمان به خاطر وجود دو ماده سيليس و آهك مي باشد و مواد ديگر ذكر شده در بالا هر كدام به نوعي در روند پخت سيمان و تشكيل كلينكر اثر دارند.

۱-۲-۱-۲) **انواع سيمان پرتلند :** سيمان با توجه به مواد تشكيل دهنده ، نحوه تهيه و خواص آن به انواع زير تقسيم مي شود :

الف- سيمان پرتلند نوع يك : سيمان نوع يك همان سيمان معمولي بوده و از آن مي توان در مناطقي با آب و هواي معتدل و خشك و در كارهاي معمولي استفاده نمود.

ب- سيمان پرتلند نوع ۲ : اين نوع سيمان نسبت به سيمان نوع يك در برابر زمينهاي سولفاته و خاكهاي شوره ، مقاومت بيشتري داشته و در هنگام خودگيري و فعل و انفعالات شيميايي نسبت به سيمان پرتلند نوع يك حرارت هيدراتاسيون كمتري توليد مي كند. اين نوع

سیمان تا حدي كندگير است . گرماي هيدراتاسيون سيمان نوع ۲ بيشتر از سيمان نوع ٤ است . و افزايش مقاومت آن شبيه سيمان نوع يك است . از اين نوع سيمان مي توان در بتن ريزي در هواي گرم ، سازه هاي مجاور آب هاي زيرزميني كه غلظت سولفات بيشتري نسبت به آبهاي معمولي دارند ، ولي غلظتشان خيلي شديد نيست و همچنين مناطقي كه خطر حمله سولفاتها و كلريد ها به صورت همزمان مطرح باشد ، (مانند سواحل جنوبي) استفاده نمود.

ج – سيمان پرتلند نوع ۳ : اين سيمان در مدت كوتاهي (يك هفته و يا كمتر) مقاومت زيادي به دست مي آورد . به همين دليل سيمان نوع ۳ ، به سيمان با مقاومت زودرس معروف است . از اين نوع سيمان در مواردي استفاده مي شود كه قالبها بايد زود باز شوند و يا سازه ها بايد به سرعت مورد بهره برداري قرار گيرند . در بتن ريزي در هواي سرد ، به علت گرمازايي زياد اين نوع سيمان ،از آن مي توان استفاده نمود . از اين سيمان به علت گرمازايي زياد نبايد در بتن ريزي حجيم استفاده نمود.

د- سيمان پرتلند نوع ٤ : اين نوع سيمان به سيمان كندگير معروف است . حرارت توليد شده توسط اين سيمان حتي از سيمان نوع ۲ نيز كمتر است و بتن ساخته شده با اين سيمان با سرعت كمتري سخت مي شود . اين نوع سيمان در مواردي كه نياز به حرارت هيدراتاسيون كم مي باشد ، همانند بتن ريزي حجيم و بتن ريزي در هواي گرم (جهت جلوگيري از اتصال سرد*) استفاده مي شود.

---

* در بتن ريزي ديوارهاي طويل (نظير ديوار استخر) از آنجا كه بتن ريزي به صورت لايه لايه انجام مي شود ، ممكن است مدت زماني حدود نيم ساعت يا بيشتر طول بكشد تا لايه بتن جديد بر روي بتن قبلي ريخته شود ، به اين ترتيب در موقع ريختن لايه جديد بتن ، لايه قبلي سفت و سخت شده و اتصال ميان آنها به

هـ - سیمان پرتلند نوع ۵ : خودگیري و مقاومت این سیمان آرامتر از سیمان پرتلند نوع یك است و گرمازایي کمتري دارد . از این نوع سیمان زماني استفاده مي شود که بتن در تماس شدید با حمله سولفاتها قرار داشته باشد . اگر سولفاتهاي قابل حل در آب در مجاورت بتن قرار گرفته و به داخل آن نفوذ کنند ، در اثر واکنش با سیمان ، ماده اي به وجود مي آید که منبسط شده و سبب ایجاد ترك در بتن مي شود . تاثیر سولفاتها بر بتن بر اثر ترو خشك شدن بتن ، شدید مي گردد. این مورد در سازه هایي که در معرض جزر و مد قرار مي گیرند قابل مشاهده مي باشد . استفاده از این سیمان در اماکني نظیر خلیج فارس که علاوه بر سولفاتها به املاح کلر هم آلوده هستند ، از لحاظ حفاظت آرماتورها نامناسب است و باید به جاي آن از سیمان نوع ۲ استفاده نمود.

و - سیمان حبابزا (سیمان هوازا) : بتنهایي که با این سیمان ساخته مي شوند ، نسبت به یخ زدن و ذوب شدنهاي متوالي مقاومت بهتري دارند . در این نوع بتنها حبابهاي هواي عمدي ایجاد مي شود که باعث بالا رفتن مقاومت بتن در برابر یخ زدن و آب شدن هاي متوالي مي شود براي تهیه این نوع سیمان به کلینکر سیمان نوع ۱ ، ۲ و ۳ برخي مواد حبابزا نظیر اسیدهاي چرب و صابونهاي آنها و رزینهاي چوب اضافه مي کنند .

ز - سیمان پرتلند آهنگدازي : از مخلوط کردن و آسیاب نمودن مخلوطي از کلینکر سیمان پرتلند و سرباره آهنگدازي (تفاله) ، مي توان این سیمان را تهیه نمود. در هر محلي که بتوان از سیمان پرتلند معمولي استفاده نمود ، از این نوع سیمان نیز مي توان

خوبي صورت نمي گیرد . این اتصال ضعیف میان لایه هاي بتن قدیم و جدید را اتصال سرد مي گویند.

استفاده نمود. مقاومت اولیه این نوع سیمان ، معمولاً کمتر از سیمان پرتلند معمولي است .

ح – سیمان پرتلند سفید : تفاوت آن با سیمان پرتلند معمولي تنها در رنگ آن است .براي تهیه این سیمان باید با انتخاب مواد اولیه مناسب ، از ورود مواد رنگي مانند اکسیدهاي آهن و منگنز که موجب ایجاد رنگ خاکستري در سیمان مي شود جلوگیري نمود. بدین جهت براي تولید سیمان سفید ، باید از خاك رسي استفاده کرد که حداکثر مقدار سولفات آهن و منیزیم آن برابر ۰/۸ درصد است . این سیمان نسبت به سیمان معمولي داراي قیمت بالاتر و مقاومت کمتر مي باشد و نباید در قطعات باربر از آن استفاده کرد . از این سیمان در کارهاي تزییني و نماکاریها استفاده مي شود .

ط – سیمانهاي رنگي : از این نوع سیمان بیشتر در کارهاي تزییني استفاده مي شود . براي ایجاد رنگ ، به مواد اولیه سیمان مواد رنگ زا اضافه مي شود.

ي – سیمان پرتلند پوزولاني : این نوع سیمان از مخلوط نمودن گرد سیمان پرتلند و پوزولان طبیعي و با مخلوط نمودن کلینکر سیمان پرتلند و پوزولانها و سپس آسیاب نمودن مخلوطي از آن دو با کمي سنگ گچ ، تهیه مي شود . پوزولانها مواد سیلیسي یا سیلیسي آلومیني هستند . این سیمان در برابر عوامل شیمیایي مقاومتر است . گرماي هیدراسیون آن کمتر بوده و به همین دلیل در بتن ریزي حجیم استفاده مي شود . این سیمان ارزانتر از سیمان پرتلند معمولي است .

۱-۲-۱-۳) روشهاي تهیه سیمان

روش تهیه سیمان به این صورت است که ابتدا مواد خام را آسیاب نموده و بعد آنها را به نسبتهاي مشخص ،کاملاً

مخلوط مي كنند و در مرحله بعد ، در كوره بزرگ دوار ، در دماي حدود ۱۳۰۰ تا ۱٤۰۰ درجه سانتيگراد ، حرارت مي دهند . در اين دما ، بخشي از آنها ذوب شده و سبب به وجود آمدن دانه هاي فندقي به نام كلينكر مي شوند . كلينكر را سرد كرده و حدود ۱ تا ۲ درصد به آن سنگ گچ اضافه و سپس آن را آسياب مي كنند تا به صورت پودر نرمي درآيد . سنگ گچ باعث جلوگيري از گيرش سريع سيمان مي شود . عمل مخلوط نمودن و آسياب نمودن مواد خام در آب و يا در حالت خشك مي توانند انجام پذيرد و به همين دليل روشهاي تر و خشك به وجود آمده است .

۱-۲-۱-۳-۱) پختن سيمان : به وجود آوردن واكنشهايي ميان دانه هاي ريز مواد خام به كمك حرارت به مدت و شدت معين را سيمان پزي مي گويند . براي اين كه اين واكنشها انجام شود ، بايد مواد خام را تا اندازه اي حرارت دهند تا عرق نموده و به همديگر بچسبند و به كلينكر تبديل شوند . اين واكنشها به كندي انجام مي شوند و هر چقدر دانه هاي مواد خام ريزتر باشند ، واكنش سريعتر انجام مي شود.

۱-۲-۱-٤) خواص سيمانهاي پرتلند :

۱-۲-۱-٤-۱) نرمي سيمان : مقدار مساحت سطح خارجي دانه هاي سيمان در واحد جرم آن عامل تعيين كننده خواصي چون سرعت آزاد شدن حرارت و ميزان افزايش مقاومت سيمان است . ريزي سيمان با معيار سطح مخصوص دانه ها كه واحد آن m^2/kg مي باشد ، معين مي شود . هر چه ريزي سيمان بيشتر باشد ، سطح مخصوص آن بيشتر و سرعت آزاد شدن حرارت و ميزان ازدياد مقاومت آن افزايش مي يابد.

۱-۲-۱-٤-۲) سلامت سيمان : لازم است در خمير سيمان بعد از به دست آوردن گيرش ، تغييرات حجمي چنداني به وجود

نیاید و انبساط بیش از حدي صورت نگیرد . در غیر این صورت ممکن است خمیر سفت شده سیمان از هم بپاشد . اگر در مواد خام سیمان آهك بیش از حد وجود داشته باشد ، آهك اضافه باعث ایجاد انبساط در سیمان مي شود. همین مسأله براي سنگ گچ نیز وجود دارد و مقدار سنگ گچ نیز نباید از حد مورد نیاز بیشتر باشد . سیماني که داراي چنین مشکلي باشد به سیمان ناسالم معروف است.

۱-۲-۱-٤-۳) زمان گیرش : سیمان براي مشخص شدن زمان خودگیري و همچنین مقاومتش در برابر نیروهاي فشار و کشش تحت آزمایش قرار مي گیرد.

خودگیري سیمان بر اثر سیلیکات تري کلسیت (Sio_2Cao) انجام مي شود و زمان خودگیري سیمان بعد از اختلاط با آب بین ۰/٥ تا ۱ ساعت است . به تغییر وضعیت سیمان از حالت خمیري به حالت جامد گیرش مي گویند . براي تعیین گیرش سیمان از دستگاهي به نام ویکات استفاده مي شود. آیین نامه BS انگلستان زمان گیرش اولیه براي سیمانهاي پرتلند معمولي و زود سخت شونده و سیمان پرتلند با سرباره آهنگدازي را ٤٥ دقیقه توصیه مي کند. این آیین نامه زمان گیرش نهایي براي این سیمانها را ۱۰ ساعت توصیه مي کند .

۱-۲-۱-٤-٤) حرارت هیدراتاسیون سیمان : در اثر واکنش سیمان با آب (که هیدراتاسیون گفته مي شود) حرارت تولید مي شود . به میزان حرارت تولید شده به وسیله هر یك گرم سیمان ، حرارت هیدراتاسیون گفته مي شود . مقدار تولید گرما به ترکیبات شیمیایي ، ریزي سیمان و دماي عمل آوري بتن بستگي دارد . میزان حرارت تولید شده توسط سیمانهاي مختلف بر حسب درصدي از حرارت سیمان نوع یك به شرح زیر است :

تیپ ۲ : ۸۰ تا ۸٥ درصد

تیپ ۳ : تا ۱۵۰ درصد

تیپ ٤ : ٤٠ تا ٦٠ درصد

تیپ ٥ : ٦٠ تا ٧٥ درصد

۱-۲-۱-٤-٥) وزن مخصوص : وزن مخصوص حقیقي سیمان حدود ۳۲۰۰ کیلوگرم در متر مکعب و وزن مخصوص ظاهري در حدود ۱٦۰۰ تا ۱۷۰۰ کیلوگرم در متر مکعب مي باشد.

۱-۲-۱-٥) ترکیبات اصلي سیمان : ترکیبات اصلي سیمان شامل موارد زیر است :

الف - تري کلسیم سیلیکات یا آلیت ($3Cao , Sio_2$) با علامت اختصاري C_3S بیشترین مقدار ترکیبات سیمان را تشکیل مي دهد . بیشترین نقش را در گیرش و مقاومت اولیه سیمان دارد .

ب - دي کلسیم سیلیکات یا بلیت ($2Cao , Sio_2$) با علامت اختصاري C_2S وجود این ماده باعث کند گیر شدن سیمان مي شود.

ج - تري کلسیم آلومینات یا فیلیت ($3Cao , Al_2o_3$) با علامت اختصاري C_3A باعث گیرش آني و حرارت زایي بالایي سیمان مي شود.

٦ـ تراکلسیم آلومینوفریت یا سیلیت (4 cao , Al2O3 , Fe2O3) با علامت اختصاري (C4AF) این ماده به مقدار کمي در سیمان وجود دارد و نسبت به سه ترکیب دیگر در خواص سیمان نقش اندکي دارد .

۱ـ۲ـ۱ـ٦) حمل وانبار کردن سیمان : سیمان در دو نوع فله و پاکتي در بازار موجود است . در حمل سیمان باید دقت نمود تا سیمان از اثر باران و رطوبت در امان باشد . براي حمل سیمانهاي پاکتي با تریلي ، مطابق استاندارد باید حداکثر ٤ کیسه بر روي هم قرار داده شود . سیمان باید به صورت خشك نگه داشته شود . در

صورتي كه سيمان در فضاي باز انبار مي شود ، بايد كف محل خشك و حداقل ۱۰ سانتيمتر بالاتر از زمين طبيعي باشد و روي كيسه هاي سيمان بايد روكشهاي پلاستيكي پوشيده شود . نگهداري به اين روش نبايد به مدت طولاني انجام پذيرد . در صورت نگهداري سيمان در انبارهاي سر پوشيده ، سقف ، ديوار و كف انبار بايد كاملاً نم بندي شود . حداكثر ارتفاع كيسه هاي روي هم چيده شده ۱/۵ متر و پهناي رديف كيسه هاي چيده شده ۳ متر مي باشد . حداقل فاصله كيسه هاي سيمان از ديوار ۳۰ سانتيمتر مي باشد .حداكثر زمان نگهداري سيمان در شرايط مطلوب ۳ ماه و در شرايط با رطوبت نسبي بالا ٦ هفته مي باشد .

۱ـ۲ـ۲) مصالح سنگي : حدود ٦۰ تا ۷۵ درصد از حجم بتن را مصالح سنگي تشكيل مي دهد . از اين رو در رفتار بتن داراي نقش بزرگي است .

انتخاب نوع و نسبت صحيح مصالح سنگي از اهميت خاصي برخوردار است . سنگدانه ها نقش اسكلت بتن را دارند و مقاومت بتن بستگي به مقاومت سنگدانه ها دارد .سنگدانه ها مي توانند به صورت طبيعي از بستر رودخانه ها و يا معادن شن و ماسه به دست آيند (اين نوع سنگدانه ها به صورت گرد گوشه و كروي شكل هستند .) و ديگر مصالح سنگي شكسته كه از خرد نمودن سنگهاي بزرگ توسط دستگاههاي سنگ شكن توليد شده و توسط سرند در اندازه هاي مختلف سرند مي شود . استفاده از دانه هاي شكسته به علت وجود گوشه هاي تيز بسيار مناسب است ، ولي مخارج بيشتري نسبت به مصالح رودخانه اي دارد . اين سنگدانه ها در بتن كارايي بتن را پايين مي آورند .

۱ـ۲ـ۲ـ۱) حداکثر اندازه دانه هاي درشت : استفاده از دانه هاي درشت باعث قویتر شدن اسکلت بتن و بالا رفتن مقاومت بتن مي شود ، اما از لحاظ اجرایي اندازه دانه هاي سنگي محدود مي شود . مطابق آیین نامه آبا بزرگترین بعد دانه هاي درشت نباید از مقادیر زیر بیشتر باشد :

الف ـ $\frac{1}{5}$ کوچکترین بعد اعضا

ب ـ $\frac{1}{3}$ ضخامت دال

ج ـ $\frac{3}{4}$ کوچکترین فاصله آزاد بین آرماتورها

دانه هاي شن داراي ابعاد بیش از ٤/٧٥ میلیمتر (الك نمره ٤) مي باشد . مطابق آیین نامه آبا توصیه شده است که بزرگترین بعد درشت دانه ها از ۳۸ میلیمتر بیشتر نشود ، اما در هر صورت این مقدار نباید از ٦۳ میلیمتر بزرگتر باشد ، تنها براي بتن هاي حجیم این مقدار مي تواند تا حدود ۲٥۰ میلیمتر افزایش یابد .
دانه هاي با ابعاد بین ۰/۰۷٥ میلیمتر و ٤/٧٥ میلیمتر ماسه نامیده مي شوند . وجود ذرات با بزرگي کوچکتر از ۰/۰۷٥ میلیمتر براي بتن مضر مي باشد و مقدار این ذرات در سنگدانه ها توسط آیین نامه آبا محدود شده است .

۱ـ۲ـ۲ـ۲) دسته بندي سنگدانه ها از نظر شکل ظاهري

با توجه به شکل ظاهري ، دانه هاي شن و ماسه به ٥ گروه زیر تقسیم مي شوند :

الف ـ دانه هاي گرد : این دانه ها به دلیل فرسایش در طبیعت داراي شکل گرد و سطح صاف شده اند .

ب ـ دانه هاي نامنظم : این دانه ها معمولاً سطحي صاف و صیقلي داشته ولي شکلشان کاملاً گرد نیست .

ج ـ دانه هاي گوشه دار : اين دانه ها سطح صافي ندارند ، شكل هندسي آنها مشخص نيست و در بيشتر موارد گوشه هاي تيزي دارند .

د ـ دانه هاي پولكي شكل : ضخامت اين دانه ها نسبت به دو بعد ديگرشان كم است .

هـ ـ دانه هاي سوزني شكل : دانه هايي هستند كه طولشان بيش از ۳ برابر عرض يا ضخامتشان است .

اصولاً در بتن سازي از دانه هاي گرد ، نامنظم و گوشه دار استفاده مي شود و به كارگيري دانه هاي پولكي و سوزني شكل در ساخت بتن مجاز نيست . بطور كلي دانه هاي گرد در مقايسه با دانه هاي نامنظم و گوشه دار ، در بتن سازي كمترين مصرف سيمان را دارد. (با توجه به پايين تر بودن سطح ظاهري اين دانه ها نسبت به دانه هاي ديگر) پس از اين دانه ها از لحاظ مصرف سيمان به ترتيب دانه هاي نامنظم و سپس دانه هاي گوشه دار در مرتبه هاي بعدي قرار دارند . از نظر مقاومت نهايي بتن، دانه هاي گوشه دار به علت امكان درگير شدن بيشتر دانه ها مقاومت بيشتري دارند .

استفاده از دانه هاي گرد گوشه نسبت به دانه هاي شكسته شده باعث بالا رفتن كارآيي مخلوط بتن مي شود .

۱ـ۲ـ۲ـ۳) تقسيم بندي سنگدانه ها با توجه به رطوبت سطحي و جذب آب دانه ها : بطور كلي دانه ها از نظر رطوبت سطحي و جذب آب به چهار دسته زير تقسيم مي شوند :

الف ـ دانه هاي كاملاً خشك : دانه هايي هستند كه در كوره ۱۰۰ الي ۱۱۰ درجه حرارت ديده و كاملاً خشك شده باشند . در اين دانه ها سطح خارجي و خلل و فرج داخلي آنها كاملاً خشك است .

ب ـ دانه هاي خشك : دانه هايي هستند كه در بعضي از حفره هاي داخلي آنها آب وجود دارد ، اما سطح خارجي آنها خشك است .

ج ـ دانه هاي اشباع با سطح خشك (S.S.D) : دانه هايي هستند كه كليه حفره ها و خلل و فرج هاي آنها از آب پر باشد ، ليكن سطح دانه خشك است . چنانچه دانه ها را به مدت ٢٤ ساعت در آب نگه داشته ، سپس از آب بيرون بياورند و سطح آن را با دستمال خشك و ضخيم كاملاً خشك كنند ، اين دانه ها اشباع با سطح خشك مي باشند .

د ـ دانه هاي مرطوب : دانه هايي هستند كه خلل و فرج داخلي آنها اشباع از آب بوده و از طرفي سطح خارجي آنها نيز خيس مي باشد .

در طرح مخلوط بتن هميشه فرض مي شود كه دانه ها اشباع با سطح خشك مي باشند اگر دانه هاي مورد استفاده مرطوب باشند ، بايد مقدار آب اختلاط مصرفي را كاهش و اگر دانه ها خشك و يا كاملاً خشك باشند ، بايد آب اختلاط را افزايش دهيم .

١ـ٢ـ٢ـ٤) دانه بندي مصالح سنگي : براي دانه بندي سنگدانه ها ، در آزمايش دانه بندي ، مصالح خشك شده با لرزاندن از الكهاي استاندارد عبور داده مي شوند و با توجه به درصد رد شده از هر الك دانه بندي مصالح سنگي تعيين و منحني هاي دانه بندي رسم مي شود . الكهاي مورد استفاده شامل الكهاي شماره ٤ ، ٨ ، ١٦ ، ٣٠ ، ٥٠ ، ١٠٠ براي مصالح ريزدانه و الكهاي $1\frac{1}{2}''$ ، $\frac{3}{4}''$ و $\frac{3}{8}''$ براي دانه هاي درشت دانه مي باشد . الك

نمره ٤ با بعد ٤/٧٦ ميليمترمرز شن و ماسه مي باشد . مصالح عبور كرده از الك ٤ و مانده بر روي الك ١٠٠ ماسه و مصالح باقيمانده بر روي الك نمره ٤ شن مي باشند . براي مصالح درشت دانه ، اندازه الك بر حسب اندازه سوراخها به اينچ طول و براي دانه هاي ريز نمره الك بر حسب تعداد چشمه ها در هر اينچ طول الك محاسبه مي شود .

با توجه به شكل منحني هاي دانه بندي ، آنها به دو دسته زير تقسيم مي شوند :

الف ـ منحني دانه بندي گسسته

ب ـ منحني دانه بندي پيوسته

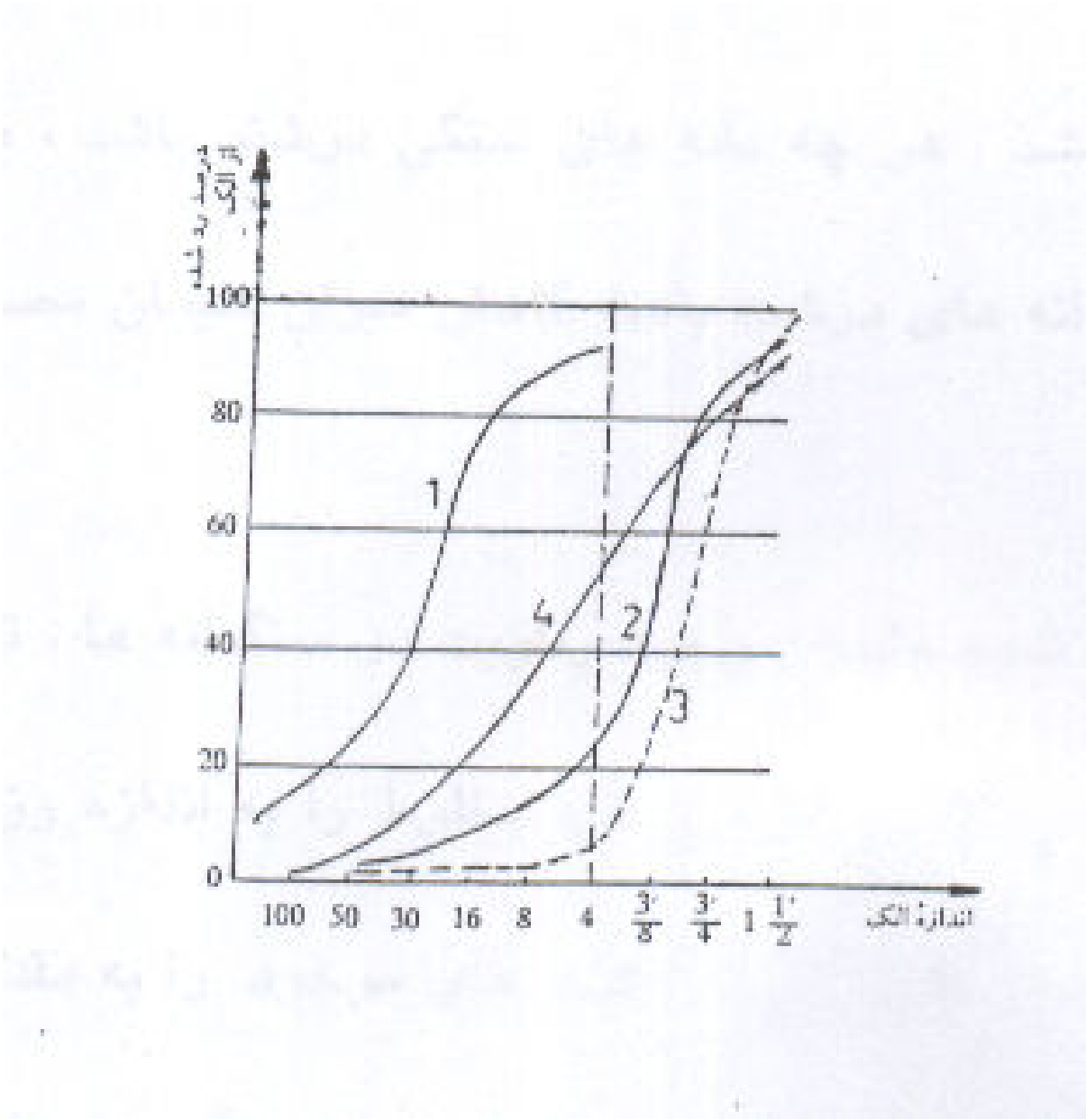
منحني دانه بندي گسسته داراي يكي از شرايط زير مي باشد :

١ـ يك يا چند گروه از دانه ها در منحني دانه بندي وجود ندارد در اين حالت در منحني دانه بندي در محدوده الك مورد نظر يك خط افقي ايجاد مي شود .

٢ـ مقدار برخي از دانه ها بسيار بيشتر و يا بسيار كمتر از مقادير ديگر مي باشد . در اين حالت در منحني دانه بندي در برخي نواحي شيبهاي زياد و در برخي قسمتهاي ديگر شيب كم ايجاد مي شود .

اگر يك منحني ناپيوسته نباشد ، پيوسته است . در شكل (١ـ١) اين منحني ها نشان داده شده اند . در اين شكل در منحني شماره ١ ، منحني شامل محدوده شن نمي باشد. در منحني شماره ٢ بخش قابل توجهي از سنگدانه ها بر روي الك نمره ٤ باقي مانده اند . در منحني شماره ٣ در محدوده كوچكي (از الك $\frac{3}{4}''$ تا $\frac{3}{8}''$) در حدود ٦٠ درصد كل دانه ها

قرار گرفته اند .بدين جهت اين ۳ منحني گسسته مي باشند . اما در منحني شماره ٤ شرايط ناپيوستگي وجود ندارد و در نتيجه اين منحني پيوسته است .



شكل (۱ـ۱) نمونه هايي از منحني هاي دانه بندي

استفاده از دانه بندي پيوسته باعث ايجاد بتن مترا كمتر وقويتر و كم شدن مصرف سيمان مي شود . (زيرا در اين نوع دانه بندي ، دانه هاي ريزتر فضاي بين دانه هاي درشتر را پر مي نمايند و باعث تراكم بيشتر بتن مي شوند

.) به همين جهت استفاده از اين دانه بندي توصيه مي شود . استفاده از دانه بندي گسسته در برخي بتنهاي با دانه هاي درشت نمايان كاربرد دارد .

۱ـ۲ـ۲ـه) مدول نرمي يا ضريب نرمي (F.M) : مدول نرمي ضريبي است كه از دانه بندي به دست مي آيد . مدول نرمي به مجموع درصدهاي تجمعي باقيمانده روي الكهاي استاندارد تقسيم برصد گفته مي شود . با توجه به آنكه تعداد اين الكها ۹ الك و مقدار درصد مانده بين ۰ تا ۱۰۰ متغير است ، مقدار مدول نرمي بين عدد صفر تا نه متغير مي باشد . اما براي سنگدانه هاي مورد استفاده در بتن اين مقدار بايد در محدوده ي ۲/۳ تا ۳/۱ قرار داشته باشد . هر چه دانه هاي سنگي درشتر باشد ، مدول نرمي آنها بيشتر است. استفاده از دانه هاي درشت باعث كاهش ميزان سيمان مصرفي و افزايش مقاومت بتن مي شود .

۱ـ۲ـ۲ـ٦) متورم شدم ماسه : وجود رطوبت در سنگدانه ها ، تصحيح نسبتهاي واقعي مخلوط را ايجاب مي كند . بايد وزن آب مخلوط را به اندازه وزن آب آزادي كه همراه سنگدانه هاست كاهش داد و وزن سنگدانه هاي موجود را به مقدار مشابهي افزايش داد . وجود رطوبت در ماسه ، يك اثر ثانوي ايجاد مي كند و آن تورم است . تورم عبارتست از افزايش در حجم جرم معيني از ماسه در اثر لايه نازكي از آب كه ذرات را دور از يكديگر نگاه مي دارند .

مقدار رطوبت به ميزان رطوبت موجود در ماسه و نرمي آن بستگي دارد . هر چه ماسه ريزدانه تر باشد ، تورم بيشتري خواهد داشت . تورم ماسه با رطوبت ۱۰ درصد

حدود ٤٠ درصد است . انبساط حجمي ظاهري بتن را ري كردن ماسه نيز مي گويند .

١ـ٢ـ٢ـ٧) مقاومت دانه هاي سنگي در مقابل سايش : اين ويژگي براي بتني كه در معرض سايش قرار دارد (سطوح پر ترافيك مانند راههاي بتني و كفهاي ساختماني) مهم است . اين ويژگي توسط آزمايش لس آنجلس اندازه گيري مي شود .

١ـ٢ـ٢ـ٨) مقاومت دانه هاي سنگي در برابر يخ زدگي : مقاومت مصالح سنگي در برابر يخ زدگي به پوكي ، نم گيري و درصد خلل و فرج آن بستگي دارد . براي بتني كه در هواي آزاد قرار دارد ، اين خاصيت مهم است . تمام سنگدانه ها حتي سنگدانه هاي سخت مانند گرانيت ، خلل و فرجهايي دارند كه اگر در مجاورت آب قرار گيرند ، اين سوراخها از آب پر مي شوند و اگر در اين وضعيت در معرض يخبندان قرار گيرند ، آب درون اين حفره ها منجمد شده و اضافه حجم پيدا مي كنند . ممكن است اين اضافه حجم ، موجب تركيدن و متلاشي شدن سنگدانه ها شود . اين مساله براي سنگدانه هاي درشت و همچنين سنگدانه هايي كه در معرض تر و خشك شدنهاي متوالي قرار مي گيرند ، شديدتر مي باشد . مقاومت دانه هاي سنگي در برابر يخبندان بستگي به عوامل زير دارد :

الف ـ تخلخل : با بالا رفتن تخلخل مقاومت كم مي شود .

ب ـ نفوذ ناپذيري دانه ها : با بالا رفتن نفوذ ناپذيري دانه ها ، مقاومت آنها در برابر يخبندان بيشتر مي شود .

ج ـ مقاومت كششي دانه ها : هر چه دانه هاي سنگي ، داراي مقاومت كششي كمتر باشند ، مقاومت آنها در برابر يخبندان كمتر است .

۱ـ۲ـ۳) آب اختلاط : يكي از اجزاي اصلي بتن محسوب مي شود و فقط به سبب وجود آب است كه واكنش شيميايي در بتن انجام مي شود .كيفيت آب در بتن از اهميت خاصي برخوردار است زيرا ناخالصيهاي موجود در آن ممكن است درگيرايي سيمان اثر گذاشته و موجب به وجود آمدن اختلالاتي شود . از نظر تئوري مقدار آب مورد لزوم براي بتن بايد در حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد وزن سيمان باشد ، ولي در عمل براي به دست آوردن كارآيي لازم ، مقدار آب مصرفي بايد تا حدود ۳۰ تا ۵۵ درصد افزايش يابد ، (آب اضافي موجود در بتن موجب مي شود ، پس از تبخير آن ، در بتن فضاهاي خالي به وجود آمده و مقاومت بتن كاهش يابد) . با استفاده از مواد روانساز ، مي توان نسبت آب به سيمان را كاهش داد . آب مناسب براي ساخت بتن آبي است كه فاقد مزه يا بوي خاصي باشد . آب آشاميدني به عنوان مناسبترين آب براي ساخت بتن محسوب مي شود . آب نامناسب ممكن است بر روي مقاومت بتن اثر نامطلوب گذاشته و سبب به وجود آمدن لكه هايي در سطح بتن و حتي زنگ زدگي ميلگردها نيز شود . گاهي اوقات مجبور به استفاده از آب دريا به عنوان آب اختلاط هستيم . اين نوع آب مقاومت اوليه بتن را بالا برده و سپس در دراز مدت از مقاومت آن مي كاهد . آب دريا به علت وجود نمكهاي كلر باعث مرطوب شدن نمونه و ايجاد شوره در سطح ظاهري آن مي شود. در صورتي كه مجبور به استفاده از آب غير آشاميدني باشيم ، مقاومت نمونه مكعبي بتن به دست آمده با اين آب ، بايد حداقل برابر ۹۰ درصد مقاومت نمونه مكعبي مشابه ساخته شده با آب مقطر باشد .

۱ـ۲ـ٤) مواد مضاف مصرفي در بتن :

مواد مضاف مواد شیمیایي خاصي هستند که به صورت گرد و یا مایع براي اصلاح بعضي از خواص بتن به مقدار جزیي به مخلوط بتن اضافي مي شوند . مواد مضاف متداول شامل موارد زیر مي باشند :

۱ـ۳ـ٤ـ۱) تسریع کننده ها (زودگیر کننده ها) :

براي تسریع درگیرش بتن و کسب مقاومت زود رس ، به خصوص در مناطق سرد و یخبندان و یا مواقعي که کسب مقاومت بتن در دماي معمولي باید به صورت سریع انجام شود ، از این مواد استفاده مي کنند . معمولترین نوع تسریع کننده ها ، کلرورکلسیم (cacl2) است که سرعت افزایش مقاومت بتن را در ابتدا بالا مي برد .

این ماده را ابتدا با آب مخلوط نموده و سپس به مخلوط شن ، ماسه و سیمان اضافه مي کنند . استفاده از این ماده سبب بالا رفتن مقاومت بتن در برابر فرسایش و سایش و کاهش مقاومت در برابر حمله سولفاتها مي شود . مطابق آیین نامه آبا استفاده از این ماده تنها در بتن غیر مسلح مجاز مي باشد . این مساله به دلیل احتمال خوردگي آرماتورها به علت وجود کلر است . از دیگر موادي که مي توانند باعث تسریع در گرفتن بتن شوند مي توان به هیدراکسیدها و سولفاتهاي سدیم و پتاسیم اشاره کرد اصولاً طرح اختلاط صحیح بتن ، گرم کردن آب و سنگدانه هاي آن و عایقکاري حرارتي قالبها به مصرف مواد تسریع کننده در بتن ارجحیت دارد .

۱ـ۳ـ٤ـ۲) کندگیر کننده ها (دیرگیر کننده ها) :

موقعي که قرار است در گیرش و سخت شدن بتن تاخیر افتد از این مواد استفاده مي شود . این مواد براي بتن ریزي در هواي گرم و همچنین براي جلوگیري از به وجود آمدن ترکهاي ناشي از گیرش در بتن ریزیهاي متوالي مفید

مي باشد . اين مواد مقاومت بتن در روزهاي اول را كاهش مي دهند . شكر و سنگ گچ جزء كند گير كننده ها مي باشند . اضافه كردن شكر در حدود ٥% درصد وزني سيمان به بتن باعث تاخير گيرش سيمان تا ٤ ساعت مي شود.اگر اين مقدار به ٠/٢ تا ١ درصد وزني سيمان افزايش يابد ، گيرش بتن به كلي متوقف مي شود . اغلب كند گير كننده ها ، روان كننده يا عامل كاهنده آب نيز هستند . در برخي از آنها حباب هوا نيز ايجاد مي شود . از ديگر مواد كند گير كننده مي توان به پودر شير كم چربي ، انواع نشاسته و كلرورهاي آمونيوم و آهن نيز اشاره نمود .

١ـ٣ـ٤ـ٣) روان كننده ها : از اين مواد به سه منظور استفاده مي شود :

الف ـ كاهش نسبت آب به سيمان (كاهش آب) با حفظ كارآيي بتن

ب ـ بالا بردن كارآيي بتن

ج ـ بهبود مخلوطهاي خشن ، مخصوصاً وقتي كه نياز به پرداخت سطوح بتني باشد .

يكي از موارد استفاده از اين مواد در بتن ريزي با پمپ مي باشند .استفاده از اين مواد به طور جزيي مقاومت فشاري بتن را كاهش مي دهد . روان كننده ها در بازار به پلاستي سايزر و نوع مرغوب آنها سوپر پلاتيسايزر معروف است .

١ـ٣ـ٤ـ٤) مواد افزودني حباب ساز : اين مواد افزودني در بتن حبابهاي بسيار ريزي از هوا (ريزتر از ٠/٠٥ ميليمتر) ايجاد مي كنند اين عمل موجب افزايش پايايي بتن در برابر رطوبت و يخ زدن و آب شدنهاي مكرر مي شود . اين مواد همچنين كارآيي و رواني بتن تازه را

افزايش مي دهند و باعث كاهش نفوذ پذيري بتن تازه مي شوند . اين مواد مقاومت در برابر پوسته شدگي سطحي ناشي از يخ زدنهاي شيميايي را زياد مي كنند .
حبابهاي موجود در بتن به دو دسته حبابهاي غير عمدي (درشت تر از ۰/۰۵ ميليمتر) و حبابهاي عمدي تقسيم مي شوند . حبابهاي غير عمدي بايد با ويبره بتن به حداقل برسند . همچنين با افزايش مقدار ريزدانه ها اين درصد كاهش مي يابد . مقدار اين حبابها حدود ۰/۵ تا ۳ درصد حجم بتن است . از مواد حبابزا مي توان چربي طبيعي حيوانات و صمغ طبيعي درختان را نام برد . از محاسن استفاده از بتن هوادار موارد زير را مي توان نام برد :

الف ـ افزايش مقاومت در برابر يخبندان : حبابهاي غير عمدي موجود در هوا با كنار هم قرار گرفتن تشكيل حبابهاي بزرگي مي دهند . اين حبابها در مجاورت آب ، از آب پر ميشوند و در اثر يخبندان ، حجم آب زياد شده و موجب متلاشي شدن قطعه بتني مي شوند. عملكرد حبابهاي ريز عمدي وارد شده در بتن اينست كه ضمن محدود كردن نفوذ آب به بتن ، اين حفره هاي هوا ، افزايش حجم ناشي از يخ زدن را جبران مي كنند و از خراب شدن بتن جلوگيري مي كنند .

ب ـ مقاومت در برابر تورق : در بيشتر موارد در اثر عملكرد مواد شيميايي يخ زدا در بتن (نظير نمك) ، تورق به وجود مي آيد . نمك بر روي بتن تاثير نامطلوب گذاشته و باعث ورقه ورقه شدن بتن به مرور زمان مي شود . تجربه نشان داده است بتنهاي هوادار داراي مقاومت بيشتري در اين زمينه مي باشند .

ج ـ افزايش قابليت آب بندي و كاهش ميزان جذب آب : نفوذ و جذب آب از طريق حفره هاي داخلي بتن موجب ايجاد

خسارت به بتن مي شود . تجربه نشان داده است كه بتنهاي هوادار در اين زمينه داراي مقاومت بيشتري هستند .

د ـ افزايش مقاومت در برابر تهاجم سولفاتها : پديده تهاجم سولفاتها در بتن واكنشي است كه همراه با افزايش حجم است ، وجود حبابهاي هوا ، افزايش حجم ايجاد شده را جبران مي نمايد .

هـ ـ افزايش مقاومت در برابر شرايط بد آب و هوايي : يك سازه بتني در طول عمر مفيد خود به دفعات در معرض تر و خشك شدن و گرم و سرد شدن قرار مي گيرد كه تمام اين عوامل باعث انبساط و انقباض قطعه مورد نظر مي شود . بتني كه به صورت مداوم تحت اين شرايط قرار مي گيرد ، ضريب انبساطي آن دائماً تغيير مي كند و دچار كاهش و افزايش حجم مي شود كه اين مساله باعث ايجاد تنشهاي اضافي در بتن و در دراز مدت موجب فرسوده شدن و خرد شدن قطعه مي شود .بتن هوادار به علت وجود حبابهاي هوا و جبران اضافه حجم از طريق اين حبابها ، در اين زمينه مقاومتر است . از ديگر محاسن اين نوع بتن مي توان به افزايش مقاومت سايشي ، افزايش كارآيي بتن و كاهش امكان جداشدگي دانه ها اشاره كرد . بتنهاي هوادار به مقدار جزيي مقاومت فشاري كمتري نسبت به بتنهاي معمولي دارند.

۱ـ۳ـ٤ـه) ضد يخها : موقعي كه امكان يخ زدن بتن تازه وجود داشته باشد از ضد يخ استفاده مي شود . دو كار عمده ضد يخ عبارت است از :

الف ـ پايين آوردن دماي انجماد آب : در اين حالت دماي انجماد آب بتن ، پايين مي آيد. ميزان كاهش دماي انجماد بستگي به ميزان ماده مصرفي دارد .

ب ـ داشتن نقش تسریع کننده : تا حدي باعث مي شود كه واكنش هيد را سيون سريعتر انجام شود و بنا براين دماي زمان گيرش بتن با لا تر مي رود . اما از آنجايي كه واكنشهاي هيدراتاسيون نياز به دماي بيش از ٤ درجة سا نتيگراد دارد , استفاده از اين مواد نقش زيادي در بهبود زمان گيرش بتن ندارد . همچنين مصرف اين مواد باعث پايين آمدن مقاومت فشاري بتن مي شود .به همين جهت استفاده از اين مواد توصيه نمي شود .

١_٣_٤_٦)مواد پوزولاني : اين مواد , مواد سيليسي يا سيليسي آلومينى هستند كه هر گاه به خوبي آسياب شوند و به صورت ذرات ريز درآيند, در مجاورت مواد نظير هيدروكيد كلسيم , سولفات كلسيم و سيمان پرتلند در دماي عادي فعال شده و با آب تركيباتي شبيه سيمان به وجود مي آورند كه خاصيت چسباننده‌گي دارد . اين مواد باعث كم كردن حرارت آبگيري سيمان ، آب بندي نسبي بتن ، كاهش واكنشهاي قليايي سنگدانه ها و حمله سولفاتها در بتن مي شوند . مواد پوزولاني را مي توان جانشين بخشي از كلينكر در سيمان كرد . در اين صورت كاهش در مقاومت اوليه و ٢٨ روزه بتن رخ مي دهد ، ولي مقاومت دراز مدت آن افزايش يافته و در گاهي موارد مقاومت آن نسبت به بتن معمولي نيز بيشتر مي شود .

فصل دو م
بتن و خواص آن

۲ـ۱) ميزان آب در خمير سيمان : همانطور كه در فصل قبل گفته شد ، براي انجام واكنش هيدراتاسيون نياز به وجود آب در حدود ۲۵ درصد وزن سيمان مي باشد ؛ اما براي ايجاد كارآيي مناسب در خمير سيمان اين نسبت بايد تا حدود ٤% تا ٦% افزايش يابد . افزايش مقدار آب باعث بالا رفتن كارآيي مخلوط بتن تازه مي شود ، اما اين مساله باعث ايجاد مسايل متعدد ديگري در بتن مي شود . در كل بهتر است كه نسبت آب به سيمان تا حد امكان كمتر باشد . استفاده از نسبت آب به سيمان پايين داراي مزاياي زير مي باشد :

الف ـ افزايش مقاومت فشاري و كششي بتن

ب ـ افزايش خاصيت آب بندي بتن (به علت آنكه هر چه آب كمتري مصرف شده باشد ، فضاي خالي كمتري در بتن ايجاد شده و در نتيجه روزنه هاي كمتري براي عبور آب وجود خواهد داشت .)

ج ـ كاهش جذب آب (به دليل محدودتر شدن فضاهاي خالي)

د ـ پيوستگي بهتر بين لايه هاي متوالي در بتن ريزي

هـ ـ افزايش چسبندگي بين ميلگرد و بتن (چون سطح تماس ميلگرد و بتن بيشتر خواهد بود .)

وـ افزايش مقاومت در برابر شرايط جوي نامساعد (تر و خشك شدن و سرد و گرم شدنهاي متوالي)

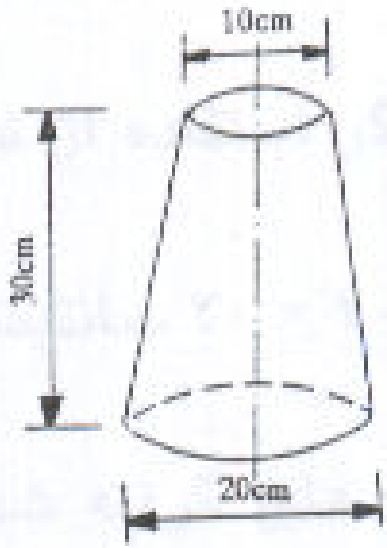
ز ـ كاهش ميزان افت

ح ـ كاهش ميزان خزش

ط ـ كاهش امكان آب انداختن بتن

ي ـ كاهش امكان جدا شدن دانه ها

۲ـ۲) کارآیي بتن : هر چه ریختن بتن تازه و کار کردن با آن ساده تر باشد ، بتن از کارآیي بالاتري برخوردار است . براي مشخص نمودن درجه کارآیي بتن تازه از آزمایش اسلامپ استفاده مي کنند . در این آزمایش مطابق تصویر ۲ـ۱ از یك مخروط ناقص به ارتفاع ۳۰ سانتیمتر استفاده مي شود .



شکل ۲ـ۱)مخروط ناقص آزمایش محاسبه اسلامپ

براي آزمایش ، بتن تازه در سه لایه در مخروط جاي مي دهند و با میله هر لایه راویبره مي کنند ، سپس سطح آن را صاف کرده و مخروط را به سمت بالا حرکت مي دهند . بتن پس از بیرون آمدن از قالب مخروطي مقداري افت مي کند . میزان این افت بر حسب سانتیمتر را کارآیي بتن مي نامند . این افت مي تواند از صفر تا ۳۰ سانتیمتر متغیر باشد . اما براي کارهاي بتن آرمه این مقدار باید در محدوده ۲/۵ تا ۱۰ سانتیمتر قرار گیرد .

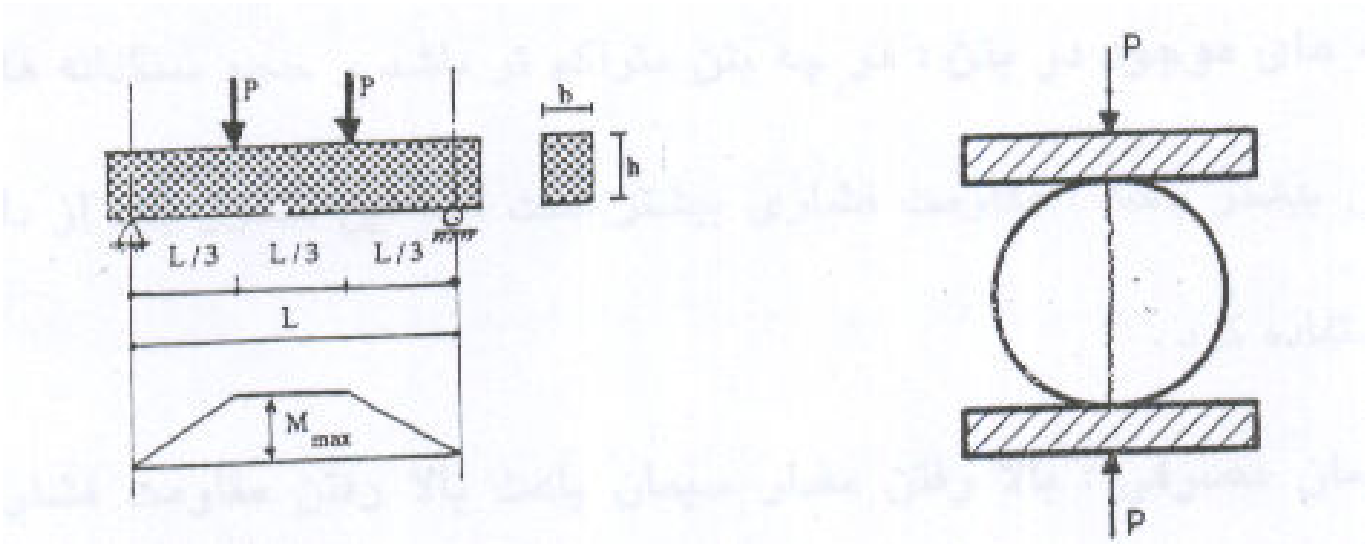
۲ـ۳) بتن و مقاومتهاي آن : يكي از عوامل مهم در بتن مقاومت بتن مي باشد . مقاومت كششي بتن معمولاً پايين است (حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد مقاومت فشاري بتن) و از اين مقاومت معمولاً در طراحي سازه هاي بتن آرمه صرف نظر مي شود . براي جبران اين كمبود از آرماتور در بتن استفاده مي شود . مقاومت فشاري بتن بايد با آزمايش اندازه گيري شود . يكي از راههاي اندازه گيري مقاومت فشاري بتن استفاده از چكش اشميت است . با استفاده از اين چكش و وارد آوردن ضربه به سطح بتن سختي سطح بتن بدون نياز به تخريب بتن محاسبه مي شود . نام ديگر اين آزمايشي چكش بازتاب يا چكش ضربه اي مي باشد . روش ديگر استفاده از نمونه هاي آزمايش مي باشد . اين نمونه ها توسط مكعب هاي ۱۵ × ۱۵ و ۲۰ × ۲۰ سانتيمتر و يا قالب استوانه اي به قطر ۱۵ و ارتفاع ۳۰ سانتيمتر مي باشد . نمو.نه هاي گرفته شده به مدت ۲۸ روز تحت شرايط مشابه با شرايط بتن اصلي نگهداري مي شوند و سپس با استفاده از جكهاي مخصوص تحت نيروي فشاري قرار داده شده و شكسته مي شوند و با توجه به نيروي وارد شده مقاومت فشاري محاسبه مي شود . اين مقاومت با $f'c$ نشان داده مي شود .مقاومت فشاري نمونه هاي مكعبي و استوانه اي با هم يكسان نيست . مقاومت نمونه هاي استوانه اي حدود ۸۰ درصد مقاومت نمونه هاي مكعبي ۲۰ سانتيمتري و ۸۳ درصد نمونه هاي مكعبي ۱۵ سانتيمتري است . اين تفاوت به دو دليل مي باشد . يكي آنكه جهت ريختن نمونه به داخل قالب و جهت اعمال بار در نمونه هاي استوانه اي با هم يكي مي باشد ؛ در حالي كه در نمونه هاي مكعبي اين دو جهت بر هم عمودند . همچنين در نمونه هاي استوانه اي امكان ايجاد تمركز تنش بيشتر است .

براي محاسبه مقاومت كششي بتن نيز از دو روش استفاده مي شود .

الف ـ مقاومت كششي تحت كشش مستقيم

ب ـ مقاومت كششي تحت كشش ناشي از خمش

مقاومت كششي در اين دو حالت با هم متفاوت مي باشد و در حالت اول مقاومت كششي كمتر است . در حالت اول براي نمونه هاي استوانه اي و مكعبي نمونه را از پهلو مي خوابانند و تحت فشار دستگاه جك قرار مي دهند ، تا نمونه دچار شكست شود به اين آزمايش اصطلاحاً آزمايش شكافت نمونه استوانه اي يا آزمايش برزيلي مي گويند .



شكل ۲ـ۳)محاسبه مقاومت كششي بتن

در حالت دوم براي محاسبه مقاومت كششي تحت كشش ناشي از خمش ، يك تير بتني سادهٔ غير مسلح را مطابق شكل ۲ـ۳ تحت دوبار متمركز قرار مي دهند و مقدار بار p را افزايش مي دهند تا تير دچار ترك شود . حداكثر تنش كششي تحت بار وارده محاسبه مي شود . به اين تنش اصطلاحاً مدول گسيختگي گفته مي شود و با fr نشان داده مي شود

مطابق آیین نامه ACI این مدول طبق فرمول زیر قابل محاسبه می باشد :

فرمول

$$F_r = 2\sqrt{f'_c}$$

که f'_c مقاومت فشاري بتن است .

۲ـ۳ـ۱) عوامل موثربر مقاومت فشاري بتن : بر مقاومت فشاري بتن عوامل زیر موثر است .

الف ـ نسبت آب به سیمان : با کاهش این مقدار مقاومت فشاري افزایش مي یابد.

ب ـ مقدار دانه هاي موجود در بتن : هر چه بتن متراکم تر باشد و حجم سنگدانه هاي مصرفي در بتن بیشتر باشد ، مقاومت فشاري بیشتر است . به این منظور باید از دانه بندي مناسب استفاده کرد .

ج ـ مقدار سیمان مصرفي : بالا رفتن مقدار سیمان باعث بالا رفتن مقاومت فشاري مي شود ؛ حداکثر مقدار سیمان مصرفي ٤٠٠ کیلوگرم در متر مکعب بتن مي باشد . اضافه شدن سیمان از این حد باعث پایین أمدن مقاومت فشاري مي شود ، زیرا باعث فاصله انداختن بین دانه ها مي شود .

د ـ کیفیت دانه ها (دانه بندي ، بافت سطحي ، شکل ، مقاومت و سختي)

هر چه دانه هاي مصرفي داراي کیفیت بالاتري باشند ، مقاومت بتن بیشتر مي شود . مصرف دانه هاي با وزن مخصوص بیشتر (توپرتر و متراکمتر) موجب مي شود که مقاومت فشاري بتن بیشتر شود . بتنهاي ساخته شده با سنگدانه

هاي گرد و صيقلي نسبت به بتنهاي تهيه شده با سنگدانه هاي شكسته از مقاومت كمتري برخوردارند

هـ ـ سن بتن : از زمان ريختن بتن ، بتن شروع به افزايش مقاومت مي نمايد . هر چه از شروع ساخت بتن مدت زمان بيشتري بگذرد ، بتن مقاومت بيشتري پيدا مي كند . مقاومت فشاري ۷ روزه بتن حدود ۷۰ درصد مقاومت فشاري ۲۸ روزه آن است . بتن پس از ۲۸ روز حدود ۹۰ درصد مقاومت نهايي خود را كسب مي نمايد . معمولاً مقاومت ۲۸ روزه مبناي محاسبات قرار گرفته و آن را مقاومت فشاري مشخصه بتن مي نامند .

۲ـ٤) بعضي از مسايل كه ممكن است در بتن تازه به وجود آيد :

۲ـ٤ـ۱) آب انداختن : آب انداختن بتن از نظر يك پديده ظاهري اين گونه تجلي مي كند كه پس از بتن ريزي و پرداخت سطحي بتن ، يك لايه نازك آب آغشته به سيمان ، روي سطح بتن ظاهر مي شود ، اين آب از قسمتهاي زيرين بتن به دليل خاصيت مويينگي به قسمتهاي سطحي بالا آمده و در مسير خود احتمالاً مقداري سيمان را نيز با خود شسته و همراه مي كند . لذا در قسمتهاي بالايي بتن ، مقدار آب موجود ، از آبي كه در طراحي در نظر گرفته شده بيشتر خواهد شد و به عكس ، در قسمتهاي پاييني بتن مقدار آب كمتر خواهد گرديد . اين بتن پس از سخت شدن نامرغوب بوده و به مقاومت مطلوب و مورد نظر نخواهد رسيد . همچنين لايه رويي بتن آب انداخته ، پس از سخت شدن به مرور زمان و با استفاده هاي ترافيكي از آن ، پودر شده و به صورت گرد و خاك در مي آيد و به اين جهت سطح رويي ناصاف شده و پديده پودر شدگي اتفاق مي افتد . چنين بتني اولاً بدنما شده و ثانياً نقطه ضعفي

براي شرايط يخ زدگي و هوازدگي خواهد بود . مهمترين دليل در آب انداختن بتن ، اسلامپ بيش از حد بتن است . دلايل ديگر نظير ويبره بيش از حد و نيز نامناسب بودن دانه بندي ، احتمال آب انداختن را افزايش مي دهد .

۲ـ٤ـ۲) جدا شدن دانه ها : جدا شدن دانه ها از پديده هايي است كه در بتن تازه رخ مي دهد . به اين ترتيب كه دانه هاي درشت مخلوط نشست كرده و به سمت پايين حركت مي كنند ودانه هاي ريز تر به سمت بالا منتقل مي شوند . بنابراين بتن حالت يكنواختي خود را از دست داده و توزيع دانه بندي به هم مي خورد . بتني كه دچار اين مساله مي شود ، از نظر مقاومت فشاري و خمشي ضعيف مي باشد . مهمترين دليل اين امر ، اسلامپ بالا مي باشد . دلايل ديگري نظير ويبره بيش از حد ، جابه جا كردن بتن در قالب به وسيله بيل يا ويبراتور ، ريختن بتن از ارتفاع زياد نيز ممكن است سبب تشديد اين مساله شوند .

۲ـ٥) وسايل ساخت بتن

۲ـ٥ـ۱) بتونير : بتونير عمل تركيب مواد تشكيل دهنده بتن را انجام مي دهد . اين دستگاه در فرمها و ظرفيتهاي مختلف وجود دارد . از دستگاههاي با ظرفيت كم براي ساخت ملات و از دستگاههاي با ظرفيت زياد براي ساخت بتن استفاده مي شود . اين دستگاه داراي يك مخزن دوار مي باشد كه عمل اختلاط بتن را انجام مي دهد .

۲ـ٥ـ۲) دستگاه بتن ساز مركزي (Batching) : اين دستگاه ، يك ماشين بتن ساز ثابت است كه در مركز تهيه بتن نصب مي شود . از اين دستگاه براي بتنهاي با حجم

زیاد در ساختمانهاي عظیم بتني نظیر تونلسازي و سد سازي استفاده مي شود .

۲ـ۵ـ۳) تراك میکسر : اگر فاصله بین مرکز بتن سازي و محل تخلیه بتن زیاد باشد ، براي جابه جایي آن از تراك میکسر استفاده مي شود.این دستگاه یك نوع کامیون داراي یك مخزن دوار حمل بتن مي باشد که در حین بتن ، عمل اختلاط بتن را نیز انجام مي دهد . براي انتقال بتن در مسافتهاي طولاني ، معمولاً مصالح خشك را درون آنها ریخته و در هنگام حمل به وسیله یك منبع و یك پمپ هیدورلیك ، آب مورد لزوم به درون میکسر وارد مي شود و عمل اختلاط انجام مي شود . در مسافتهاي کوتاه در دستگاه بتن ساز بتن تازه ریخته مي شود. با این دستگاه مي توان بتن را تا مسافت حدود ٤٠ کیلومتر جابه جا کرد . این جابه جایي حدود ۱/۵ ساعت طول مي کشد .

۲ـ٦) وسایل حمل بتن : در حمل باید به دو نکته توجه شود . اول آنکه جدایي دانه ها رخ ندهد و دوم آنکه آب بتن از دست نرود . براي حمل بتن روشهاي زیر وجود دارد .:

الف ـ حمل دستي با فرغون : یا این روش حجم کمي از بتن را مي توان جابه جا کرد و فقط براي کارهاي کوچك و مسافتهاي کوتاه کاربرد دارد .

ب ـ دامپر : دامپر نوعي کامیون ، اما در مقیاس کوچکتر است . براي حمل بتن در کارگاه از این دستگاه استفاده مي شود .

ج ـ کامیون : براي حمل بتن در حجم زیاد از این وسیله استفاده مي شود . از این وسیله براي مسافتهاي کوتاه مي توان استفاده نمود . (زیرا امکان جدایي دانه ها وجود دارد.زمان حمل با این وسیله حدود ٤٥ دقیقه است).

د ـ شوت (ناودانی) : از این وسیله برای انتقال بتن از میکسر به کامیون و همچنین برای منتقل کردن بتن به سطوح پایینتر استفاده می شود شکل ظاهری شوت همانند نیم بشکه های به هم متصل شده است .

هـ ـ تسمه نقاله : در بتن ریزی های حجیم می توان از این وسیله برای انتقال افقی و همچنین انتقال در سطوح شیبدار استفاده نمود .

و ـ پمپ بتن : در مکانهایی که امکان انتقال بتن با وسایل معمولی وجود نداشته باشد و یا چنانچه انتقال بتن به روشهای دیگر مقرون به صرفه نباشد ، از این روش استفاده می شود .

۲ـ۷) تراکم بتن تازه : تراکم بتن یعنی به حرکت در آوردن ذرات بتن ، کم کردن اصطکاك بین آنها و خارج کردن حبابهای هوا از آنها ـ مکانیزمی که برای تراکم بتن به کار می رود ، ارتعاش است . هدف از متراکم کردن بتن و خارج کردن حبابهای هوا ، آن است که بتن توپرتری به دست آید تا در نتیجه آن بتن از مقاومت بهتری برخوردار شده و در مقابل عوامل مخرب محیطی از خود دوام بهتری نشان دهد .از طرفی تراکم بتن ، با افزایش سطح تماس بین بتن و میلگرد ، چسبندگی بهتری بین آنها فراهم کرده و نیز سبب می شود که پس از باز کردن قالبها سطح ظاهری صاف و بدون خلل و فرجی برای بتن حاصل شود .

۲ـ۷ـ۱) انواع ویبره : به روشهای زیر می توان بتن را ویبره کرد :

الف ـ ویبره دستی : ساده ترین نوع ویبره ، ویبره دستی است که ممکن است به صورت میله ای یا شیلنگی باشد . ویبره میله ای یك وسیله لرزاننده کوچك است که آنرا به وسیله دست هدایت کرده و با فرو بردن به صورت قایم

در قسمتهاي مختلف ، بتن را مرتعش کرده و حبابهاي هوا را خارج مي کنند .

ب ـ ويبره لرزاننده قالب : اين ويبره را در مجاورت قالب بتن قرار داده و يا به آن متصل مي کنند . با به کار افتادن اين ويبره ، مجموعه قالب و بتن داخل آن مرتعش شده و حبابهاي هوا خارج مي شوند .

ج ـ ويبره ميزي : معمولاً در کارگاههاي بتن پيش ساخته مورد استفاده قرار مي گيرد . در چنين کارگاههايي ميز و ويبره در سالني موسوم به سالن ويبره مستقر بوده و با به کار افتادن دستگاه ويبره ميزي ، مجموعه ميز و قالب و بتن ، لرزيده و عمل ويبره شدن انجام مي گيرد .

۲ـ۸) بتن ريزي در هواي سرد : در بتن ريزي به هوايي سرد گفته مي شود که متوسط دماي هوا در ۳ روز متوالي کمتر از ٥ درجه سانتيگراد باشد . فرآيند گيرش سيمان در دماهاي پايين کند و در دماي پايينتر از ۱۰- درجه سانتيگراد به طور کلي متوقف مي شود . دماي بتن در ۳ روز اول پس از بتن ريزي اهميت خاصي دارد . در دماي پايين امکان يخ زدن آب بتن و توقف قرآيند گيرش سيمان وجود دارد . در بتنريزي در هواي سرد بايد تدابير زير اعمال شود :

الف ـ حتي الامکان از سيمان تيپ ۳ استفاده شود (سيمان زودگير)

ب ـ از آب گرم جهت اختلاط استفاده نمود . در اين حالت بايد از تماس مستقيم سيمان و آب جلوگيري نمود . زيرا باعث گيرش سريع سيمان و گلوله شدن سيمان مي شود . اين موضوع بايد در نحوه و ترتيب ريختن مصالح در مخلوط کن رعايت شود .

ج ـ سنگدانه ، آرماتورها و قالبها نباید آغشته به یخ و برف باشند و باید از یخ و برف پاك شوند .
د ـ مي توان سنگدانه ها را تا دماي ۵۰ درجه سانتیگراد گرم نمود .
هـ ـ از مواد مضاف زودگیر کننده ، ضد یخ و یا مواد حبابزا استفاده نمود.
و ـ مقدار نسبت آب به سیمان نباید بیشتر از ۰/۵ اختیار شود . این امر به علت کاهش میزان آب قابل یخ زدن در بتن و همچنین کاهش میزان آب انداختن بتن تازه مي باشد .
ز ـ دماي بتن نباید از ۵ درجه سانتیگراد کمتر گردد .
ح ـ بعد از بتن ریزي بتن باید تا رسیدن به مقاومت ۵ مگاپاسگال مورد مراقبت قرار گیرد. این امر مي تواند با استفاده از پوششهاي عایق و گرم کردن بتن و محیط اطراف انجام شود .

۲ـ۹) **بتن ریزي در هواي گرم :** هواي گرم هنگام بتن ریزي باعث پایین آمدن کیفیت بتن تازه و سخت شده مي گردد . در این حالت ، آب بتن به سرعت تبخیر شده ، سرعت آبگیري و گیرش سیمان بالا رفته ، کارآیي بتن تازه پایین آمده و در نهایت مقاومت نهایي بتن پایین مي آید .
در بتن ریزي در هواي گرم باید تدابیر زیر اعمال شود :
الف ـ دماي بتن در هنگام بتنریزي نباید بیش از ۳۲ درجه سانتیگراد براي بتن معمولي و ۱۵ درجه سانتیگراد براي بتن حجیم شود .
ب ـ حتي الامکان از سیمانهاي با حرارت زایي کم استفاده شود .
ج ـ دماي سنگدانه ها با نگهداري آنها در سایه و همچنیني آبپاشي پایین نگه داشته شود.

د ـ با استفاده از سایه بان و بادگیر و آبپاشي سطح بتن ، بتن تازه در برابر تابش آفتاب و وزش باد و تبخیر آب نگهداري شود .مدت عمل آوري بتن نباید کمتر از ۷ روز باشد .

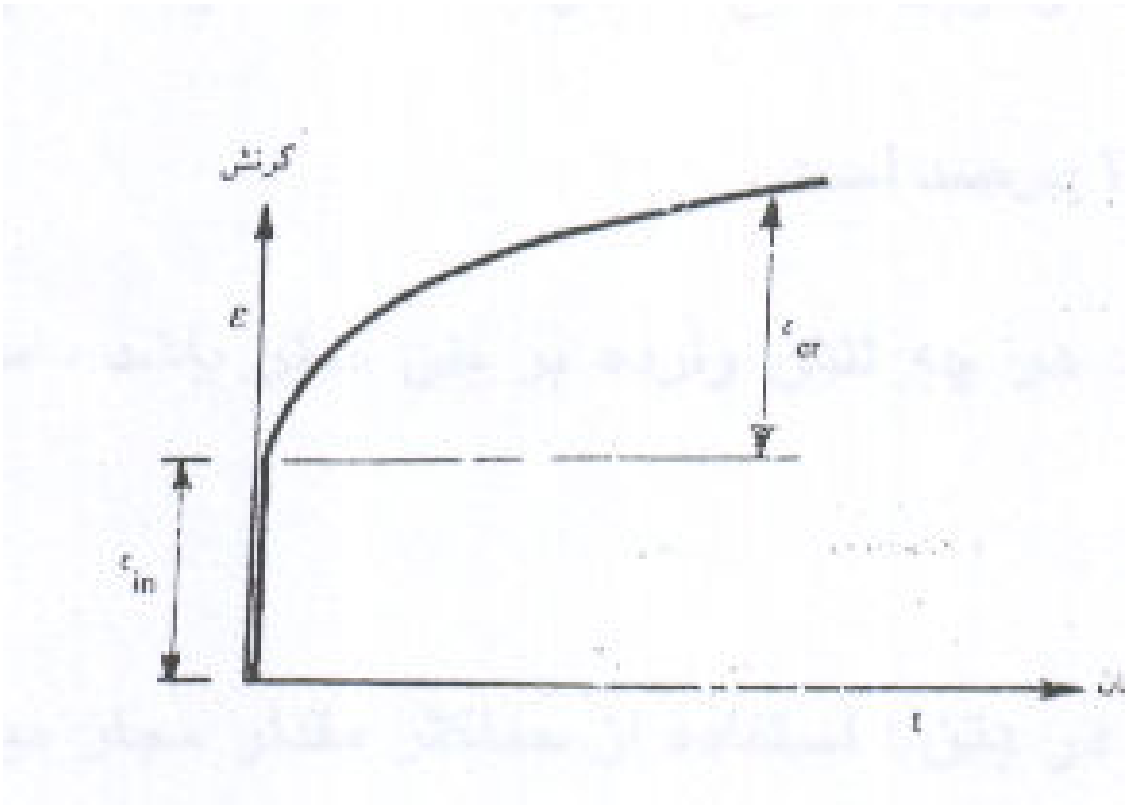
۲ـ ۱۰) بتن پاشیده : بتن پاشیده فرآیندي است که در آن بتن یا ملات بر روي یك سطح پاشیده مي شود تا لایه اي متراکم ، باربر و خود نگهدار ایجاد شود . در مواردي که شکل کار پیچیده یا قالب بندي مشکل و پر هزینه باشد ، بویژه در بهسازي ساختمانها و پلها ، کارهاي تعمیراتي، جداره مخازن ،پوشش داخلي تونلها، سطوح مدور و قوسي و پایدار کردن صخره هاي سنگي شیبدار استفاده مي شود . به این روش با توجه به آنکه بزرگي دانه هاي بتن کوچکتر یا بزرگتر از ۱۰ میلیمتر باشد، به ترتیب شاتکریت و گانیت گفته مي شود .

۲ـ۱۱)مراقبت از بتن (به عمل آوردن بتن) : براي تهیه بتني با کیفیت خوب و مطلوب ، باید عملیات ریختن بتن مخلوط را با عمل آوردن آن در یك محیط مناسب و در طول مراحل اولیه سخت شدن دنبال کرد .

عمل آوردن به اقداماتي گفته مي شود که براي تکمیل و پیشرفت هیدراتاسیون سیمان و افزایش مقاومت بتن مورد استفاده قرار مي گیرد . عمل آوري بتن در دو زمینه حفظ رطوبت و دماي بتن است . دماي مناسب براي بتن ۱۳ درجه سانتیگراد و درصد رطوبت مناسب حدود ۸۰ درصد است . عمل آوردن بتن یکي از مهمترین عملیات در بتن ریزي است و فرآیندي است که طي آن از افت آب بتن جلوگیري مي شود ، همچنین دماي بتن در وضعیت رضایت بخشي حفظ مي شود . رطوبت موجود در بتن باید باقي بماند تا روي هیدراتاسیون کامل خمیر سیمان اثر بگذارد . عمل بتن بر روي کاهش نفوذ پذیري ، مقاومت در برابر یخ زدن و آب

شدن تاثير بسزايي دارد . پس از گيرش بتن ، فوراً بايد عمل آوردن مرطوب به روش تماس مستمر قطعه بتني با آب به مرحله اجرا درآيد . اين امر با آب پاشي يا حبس كردن كامل بتن به صورت مداوم يا قرار دادن سطح بتن در زير لايه اي از آب و يا به روشهاي ديگر مانند پوشاندن سطح بتن با ماسه ، خاك مرطوب ، خاك اره ، كاه مرطوب كاغذهاي ضد رطوبت و ورقه هاي پلاستيكي ، استفاده از بخار آب همراه با فشار ، انجام شدني است . مراقبت از بتن بايد حداقل تا ۷ روز و تا رسيدن به ۷۰ درصد مقاومت مورد نياز ادامه يابد . مدت عمل آوري بتن بستگي به عواملي نظير دماي محيط بتن ، نوع سيمان ، مقدار مقاومت مورد نياز ، درصد رطوبت هوا ، نسبت سطح نمايان بتن به حجم آن و ... دارد . عدم مراقبت صحيح از بتن باعث عواملي نظير افت مقاومت فشاري و خمشي ، ايجاد زمينه پودر شدگي سطحي بتن ، افزايش ميزان افت و خزش در بتن مي شود .

۲ـ۱۲) جمع شدگي و خزش در بتن : به افزايش تدريجي تغيير شكل يك ماده كه تحت اثر بار ثابت قرار دارد ، خزش مي گويند . يكي از خواص بتن مساله خزش مي باشد . موقعي كه بتن تحت اثر بار دايمي باشد ، تغيير شكلهاي ارتجاعي آن با زمان افزايش پيدا مي كند. بيشترين مقدار خزش در طول چند ماه اول پس از بارگذاري اتفاق مي افتد و ممكن است اين عمل تا ۲۵ سال نيز طول بكشد .



شکل ۲ـ٤)تغییر طول بتن در زمان تحت تنش ثابت

با اضافه شدن سن بتن سرعت خزش کاهش مي يابد . چنانچه بار مداوم از روي بتن برداشته شود ، مقداري برگشت تغيير شكل به وجود مي آيد . اما معمولاً بتن به اندازه كامل به حالت اوليه خود بر نمي گردد . خزش در بتن تابع عوامل زير است :

الف ـ جنس و مقدار مصالح سنگي : هر چه در بتن نسبت مصالح سنگي به سيمان بيشتر باشد ، مقدار خزش آن كمتر است . از آنجا كه سنگدانه ها ، سخت تر از خمير سيمان هستند ، نقش اصلي آنها محدود كردن خزش در خمير سيمان است .

ب ـ سن بتن در موقع بارگذاري : سن بتن در موقع بارگذاري نيز تاثير زيادي در مقدار خزش دارد . تاخير در بارگزاري سبب كاهش خزش بتن مي شود .

ج ـ مقاومت فشاري بتن : خزش با مقاومت فشاري بتن رابطه معكوس دارد .لذا مشخص است كه هر چه نسبت آب به سيمان افزايش يابد ، مقدار خزش نيز افزايش مي يابد .

د ـ رطوبت و دماي محيط : هر چه رطوبت نسبي هوا كمتر باشد ، مقدار خزش بيشتر مي شود . خزش بتن در محيطي كه رطوبت نسبي ٥٠ درصد است حدود ٢/٥ برابر خزش در محيطي است كه رطوبت آن ١٠٠ درصد است .

هـ ـ شدت تنش وارده بر بتن : هر چه تنش وارده بر بتن كمتر باشد ، مقدار خزش كاهش مي يابد .

و ـ ميزان آرماتورهاي مصرفي در بتن : استفاده از حداكثر مقدار مجاز ميلگرد ، علي الخصوص استفاده از آرماتور فشاري خزش را كاهش مي دهد .

٢ـ ١٣) افت بتن : تغييرات حجم بتن را كه از زمان آغاز گيرش بتن شروع و در طول مدت سخت شدن ادامه پيدا مي كند ، افت يا انقباض مي گويند . در واقع افت بتن كاهش حجمي است كه در طول زمان ايجاد مي شود . از دست رفتن آب بتن به سبب خشك شدن و تغييرات ناشي از كربناسيون در حجم بتن ، دو دليل عمده افت بتن است . رطوبت محيط بر روي افت بتن اثر چشمگيري دارد . هر چه محيط ، رطوبت بيشتري داشته باشد ، افت بتن كه پس از گذشت چندين سال به حداكثر خود مي رسد ، كمتر مي شود . تا زماني كه بتن تر باشد ،مانع و مشكلي جهت جمع شدن وجود نخواهد داشت . اگر بتن تا اندازه اي سفت گردد ، ديگر محيط (كف ، ديواره و...) از كاهش حجم آن جلوگيري مي كند . لذا اين مايل بودن بتن به كاهش حجم به صورت تنش كششي در بتن ظاهر مي شود و به دليل اين كه مقاومت كششي بتن خيلي كم است ، ترك خوردگي در

سطح بتن ایجاد مي شود . در میزان افت بتن عوامل زیر موثرند :

الف ـ مقدار آب در بتن : چنانچه نسبت آب به سیمان بیشتر شود ، مقدار افت در بتن بیشتر مي شود ، معمولاً در بتني که آب زیادي دارد ، مقداري از آب به صورت آزاد باقي مي ماند که پس از تبخیر شدن آن ، بتن دچار افت مي شود .

ب ـ رطوبت محیط : محیط خشك موجب مي شود که بتن به سرعت آب خود را از دست بدهد و در این محیط افت بتن بیشتر است .

ج ـ مقدار دانه هاي سنگي : هر چه مقدار دانه هاي سنگي در بتن بیشتر باشد ، افت بتن کمتر خواهد بود .

د ـ نوع دانه ها ي سنگي : هر چه در بتن از مصالح مرغوبتري استفاده شود ، افت بتن کمتر مي شود .

هـ ـ عمر بتن : بیشترین مقدار افت بتن در سالهاي اولیه مي باشد و حدود ۹۰ درصد افت نسبي در همان سال اول رخ مي دهد .

براي مقابله با افت مي توان از روشهاي مراقبت مناسب و همچنین از سیمان ضد افت استفاده نمود . سیمان ضد افت همزمان با گیرش خود ، افزایش حجمي را در بتن ایجاد مي کند که این افزایش حجم مي تواند با کاهش حجم ناشي از افت مقابله کند (اما این سیمان گرانقیمت است) استفاده از درزهاي مناسب نیز راه دیگر کاهش افت است . در این حالت بتن را در فواصل مناسب با استفاده از درزهاي انقباض از هم جدا مي کنند . همچنین مي توان با استفاده از آرماتور افت که براي خنثي نمودن تنشهاي کششي ناشي از افت در بتن استفاده مي شود ، مقدار افت را کاهش داد . به این آرماتورها از آنجایي که نقش مقابله کننده با تنشهاي حرارتي را نیز دارند ،

آرماتور افت و حرارت نیز گفته مي شود . مقدار این آرماتورها حدود ۰/۱۸ تا ۰/۲ درصد سطح مقطع بتني مي باشد .

۲ـ۱٤) انواع بتن از لحاظ وزن مخصوص : بتن با توجه به وزن مخصوص آن به سه دسته زیر تقسیم مي شود :

الف ـ بتن معمولي : این بتن در شرایط عادي با سنگدانه ها و سیمانهاي معمولي ساخته مي شود و وزن مخصوص آن بین ۲۱۰۰ تا ۲۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب متغیر است . از این بتن در کارهاي بتن آرمه معمولي استفاده مي شود .

ب ـ بتن سبك : در ساخت این بتن از دانه هاي سبك به طور مثال از دانه هاي متخلخل نظیر سنگ پا و پوکه استفاده مي شود و یا در مرحله ساخت بتن با اضافه کردن برخي مواد (نظیر ژل آلومینیوم) باعث اضافه شدن حجم بتن و در نتیجه کاهش جرم حجمي آن مي شوند . وزن مخصوص این بتن حدود $\frac{1}{2}$ تا $\frac{1}{3}$ بتن معمولي مي باشد و از آن براي کارهایي نظیر نماسازي و دیوارهاي جدا کننده استفاده مي شود .

ج ـ بتن سنگین : در ساخت بتن سنگین به جاي شن و ماسه از خرده هاي مواد سنگین نظیر فولاد و چدن استفاده مي شود . کاربرد این گونه بتن براي جلوگیري از تشعشع اشعه x ، γ و غیره بوده و اصولاً براي سازه هاي مربوط به تاسیسات اتمي و یا هر جا که امکان تشعشعات رادیواکتیو باشد ، از این گونه بتن استفاده مي شود . وزن مخصوص بتن سنگین ۱/٥ تا ۲/٥ برابر بتن معمولي است .

منابع :

۱ـ تکنولوژي بتن ، مهدي پرنا ، انتشارات آزاده ، پاییز ۱۳۸۲

۲ـ تکنولوژي و طرح اختلاط بتن ، دکتر داور مستوفي نژاد ، انتشارات ارکان ، پاییز ۱۳۸۱

۳ـ مشخصات فني عمومي کارهاي ساختماني ، تجدید نظر دوم (نشریه ۵۵) معاونت امور فني ، دفتر تدوین ضوابط و معیارهاي فني ، انتشارات سازمان مدیریت و برنامه ریزي کشور ، ۱۳۸۳

تهیه کننده : **جاوید جمالی مقدم**