طرح و كنترل مخلوطهاي بتن

طرح و كنترل مخلوطهاي بتن

Design and Control of Concrete Mixtures

ترجمه ابراهيم طسوجي

تاليف: سيامك عليزاد

١) مباني بتن	٣
٢) سيمانهاي پرتلند	٦
٣) آب اختلاط بتن	٩
٤) دانه هاي بتن	١٠
٥) بتن با حباب هوا	١٣
٦) مواد افزودني بتن	٢٠
٧) تعيين نسبت مخلوطهاي بتن معمولي	٢٣
٨) پيمانه كردن ، اختلاط ، و انتقال بتن	٣٠
٩) بتن ريزي و پرداخت	٣١
١٠) عمل آوردن بتن	٤٣
١١) بتن ريزي در هواي گرم	٤٦
١٢) بتن ريزي در هواي سرد	٥١
١٣) تغييرات حجمي بتن	٥٨
١٤) آزمايشهاي كنترل كيفيت بتن	٦٠
١٥) انواع ويژه بتن	٦٤

فصل اول

مبانی بتن

- بتن از دوقسمت تشکیل یافته { دانه های سنگی
خمیرسیمان(سیمان پرتلند و هوای محبوس)۴۰~۲۵%کل حجم بتن

تقسیم بندی دانه سنگی: ریز ودرشت
دانه های ریز : ماسه طبیعي کارخانه ای- اندازه تا۶ mm (۱/۴in) ۸۰~۶۰ درصد حجم بتن
دانه های درشت: مانده روی الک شماره۱۶ (۱,۱۸mm)

مزایای ناشی ازکاهش مقدار اب:

افزایش مقاومت فشاری ومقاومت خمشی
افزایش قابلیت آب بندی
کاهش جذب اب
افزایش مقاومت نسبت به عوامل جوی
پیوستگی بهتر بین لایه های متوالی
چسبند گی بهتر میان میلگرد وبتن
کاهش تغییرات حجمی دراثرتر وخشک شدن

اختلاط:
عوامل مهم در اختلاط بتن:
۱) اندازه هرپیمانه نسبت به اندازه دیگ مخلوط کن
۲) زمان میان پیمانه کردن واختلاط
۳) طراحی وشکل بندی دیگ وتیغه های مخلوط کن
۴) زمان افزودن اب
۵) تعداد دور کل دیگ مخلوط کن وسرعت دوران ان

بتن تازه:
بتنی که تازه مخلوط می شود باید حالت پلاستیک یا نیمه پلاستیک یا نیمه مایع داشته باشد یعنی قابلیت خمیری داشته وشکل پذیری ان مانند خمیر خاک رس درمد لسازی است.
بتنی که حالت خمیری دارد تکه تکه نمی شود، بلکه به ارامی جریان یافته به گونه ای که جدایی دانه پدید نمی اید.

کارایی: سهولت در ریختن ومتراکم کردن مخلوط تازه بتن راکارایی می نامند.

تراکم: ارتعاش ذرات بتن تازه را به حرکت در می اورد واصطکاک بین انها را کم می کند، وبه مخلوط کیفیت تحرک یک مایع غلیظ رامی دهد.ارتعاش مکانیکی استفاده از یک مخلوط سفت را ممکن می سازد وبنابراین می توان از نسبت بیشتری درشت دانه ونیز نسبت کمتری ریز دانه استفاده کرد.لذا اب کمتر و خمیر سیمان کمتری مورد نیاز خواهد بود.
نتیجه اینکه تنها زمانی که مخلوطهای سفت تر وخشن تر استفاده می شود ، می توان به گونه ای از ارتعاش بتن سود برد.

عمل آوردن مرطوب:
مادامی که سیمان هیدراته نشده همچنان موجود باشد ،افزایش مقاومت نسبت به زمان ادامه می یابد به شرطی که بتن مرطوب باقی بماند ، یا رطوبت نسبی داخل بتن بالاتر از حدود ۸۰% باشد .در کمتر از این مقدار ، هیدراسیون و کسب مقاومت بتن عملا متوقف می شود.
- بهتر است عمل اوردن مرطوب بتن را به صورت مداوم از زمانیکه بتن در قالبها ریخته می شود تا زمانیکه به کیفیت مطلوب می رسد ، ادامه داد زیرا مرطوب نمودن مجدد بتن مشکل است.

مقاومت:
در طراحی دالهای روی زمین عموما مقاومت خمشی بتن استفاده می شود . مقامت فشاری را می توان به عنوان شاخصی از مقاومت خمشی بکار برد .

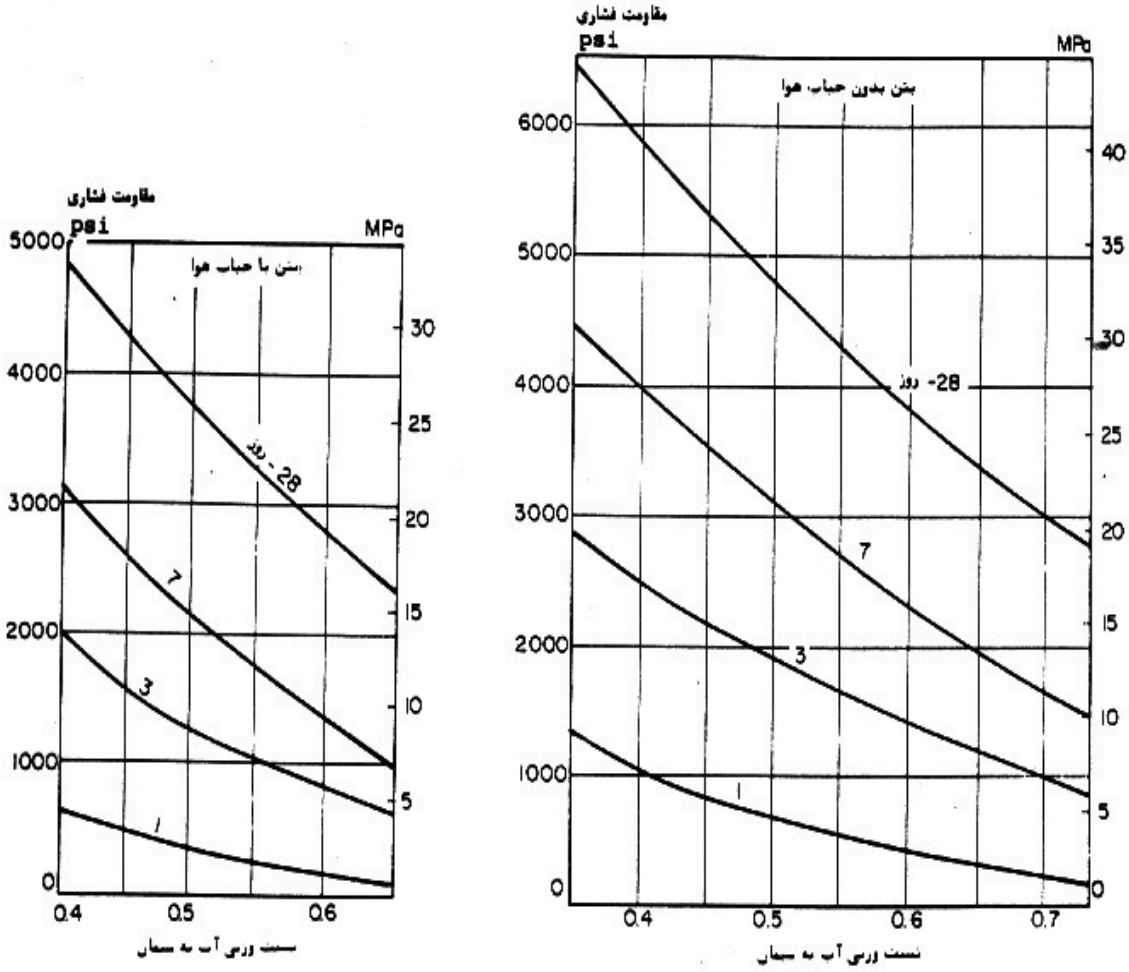
درسیستم اینچ- پوند:

مقاومت فشاری$\sqrt{}$(۱۰~۸)= مقاومت خمشی یا مدول گسیختگی بتن معمولی

$^{۰.۷۹}$(مقاومت فشاری) = مقاومت خمشی یا مدول گسیختگی بتن معمولی

عوامل موثر واصلی روی مقاومت بتن:

نسبت آب به سیما ن:
سن بتن یا محدوده زمانی که عمل هیدراسیون در حال پیشرفت بوده است .
روابط بین مقاومت وسن بتن در شکل ۱-۷ برای بتنهای با حباب هوا وبدون حباب هوا نشان داده شده است.



شکل ۱-۷: رابطهٔ نوعی مقاومت و سن بتن براساس آزمایشهای فشاری استوانه‌ها با استفاده از سیمان پرتلند نوع ۱ و عمل آوردن مرطوب در ۷۰ درجهٔ فارنهایت (۲۱ درجهٔ سلسیوس).

وزن مخصوص:
- در طراحی سازه ها ،عموما وزن مخصوص بتن ارمه معمولی ۲٤۰۰kg/m^{۳} فرض می شود.
- مقادیر وزن مخصوص بتن تازه در جدول ۱-۱ :

جدول ۱-۱ : وزن متوسط مشاهده شده بتن تازه

سیستم متریك							
وزن مخصوص، کیلوگرم بر مترمکعب**					سیمان، کیلوگرم بر مترمکعب	آب، کیلوگرم بر متر مکعب	مقدار هوا، درصد	حداکثر اندازه دانه، میلیمتر
چگالي دانه ها								
۲,۷۵	۲,۷۰	۲,٦٥	۲,٦۰	۲,٥٥				
۲۳۲۳	۲۲۹۱	۲۲٥۹	۲۲۲۷	۲۱۹٤	۳۳٦	۱٦۸	٦,۰	۱۹
۲٤۰۳	۲۳۷۱	۲۳۳۹	۲۲۹۱	۲۲٥۹	۲۹۱	۱٤٥	٤,٥	۳۸
۲٤٦۷	۲٤۳٥	۲۳۸۷	۲۳٥٥	۲۳۰۷	۲٤۲	۱۲۱	۳,٥	۷٦
۲٥۱٥	۲٤٦۷	۲٤۳٥	۲۳۸۷	۲۳٥٥	۱٦۷	۹۷	۳,۰	۱٥۲

**.بتن با حباب هوا با مقدار هواي مشخص شده

مقاومت در برابر یخ زدن و اب شدن :
حبابهای هوا مقاومت بتن را در برابر یخ زدن و اب شدن به مقدار زیادی بهبود می بخشد.

اب بندی :
- برای اب بند بودن بتن ، خمیر سیمان ،خود باید اب بند باشد .
- از انجا که حبابهای هوا، نسبت اب به سیمان را کاهش می دهند، قابلیت اب بندی بتن را بهبود می بخشد.

مقاومت در برابر سایش :
- مقاومت در برابر سایش، با مقاومت فشاری بتن ، رابطه نزدیکی دارد.
- نوع دانه های مصرف شده نیز اثر قابل توجهی بر مقاومت در برابر سا یش دارد .
- برای مقاومت در برابر سایش نسبت اب به سیمان کم و عمل اوردن کافی ضروری است .

ثبات حجم :
- حجم بتن سخت شده بر اثر تغییرات دما ، مقدار رطوبت و تنشهای متحمل شده به مقدار کمی تغییر می کند.(حدود ۰,۰۱% تا ۰,۰۸%)
- تغییرات حجمی بتن سخت شده در اثر گرما برابر فولاد است.
- بتنی که همواره مرطوب نگهداری می شود کمی ازدیاد حجم می یابد .هنگامی که به بتن اجازه خشک شدن داده می شود اب می رود .

آبرفتگی بتن به چندین عامل بستگی دارد:
۱) مقدار اب اختلاط و دانه
۲) ویژگیهای دانه
۳) اندازه نمونه
٤) رطوبت نسبی
٥) درجه حرارت محیط
٦) شیوه عمل اوردن
۷) میزان هیدراسیون وزمان

- بتن در اثر تنش تغییر شکل الاستیکی می دهد.

فصل دوم

سیمانهای پرتلند

تولید سیمان پرتلند : از اسیاب نمودن کلینکر که بیشتر شامل سیلیکاتهای کلسیم هیدرولیکی است تولید می شود .

- منابع مصالح خام که در تولید سیمان پرتلند مصرف می شود: اهک ،اهن، سیلیس ،الومین ، گچ ومنیزی
- گچ برای تنظیم گیرش سیمان استفاده می شود (حدود ۵ %)

انواع سیمان پرتلند :

نوع ۱، معمولی (حرارت هیدراسیون در خلال ۷روز ۱۰۰%)
نوع ۱A، معمولی حبابزا
نوع۲ ، متوسط : جایی که احتیاطات علیه حمله متوسط سولفاتها مهم باشد ، گرمای کمتری را با سرعت کمتری نسبت به نوع ۱دارد .کاربرد در سازه های نسبتا حجیم مانند پایه پلهای بزرگ ،دیوارهای حائل سنگین.(حرارت هیدراسیون ۸۵~۸۰% در خلال ۷روز)
نوع ۲A، متوسط حبا بزا
نوع۳، با مقاومت زود رس : کسب مقاومت در کمتر از یک هفته ، استفاده در هوای سرد.(حرارت هیدراسیون۱۵۰%)
نوع۳A، با مقاومت زودرس حبا بزا
نوع٤، کم حرارت – روند کسب مقاومت نسبت به نوع یک اهسته تر است ، کاربرد در سدهای ثقلی بزرگ(حرارت هیدراسیون ٦۰~٤۰%)
نوع۵، ضد سولفات(حرارت هیدراسیون ۷۵~٦۰%)

سیمانهای پرتلند حبا بزا (نوع ۱A،۲A،۳A): تولید بتنی که در برابریخ زدن واب شدن و نیز پوسته شدگي حاصل از اثرات مواد شیمیائی برای از بین بردن یخ وبرف جاده ها ، مقاومت بهبود یافته ای دارند .

- سیمان پرتلند سفید : مواد اولیه ان فاقد اکسید اهن و منگنز است.

سیمانهای هیدرولیکی مخلوط شده :

۱) سیمانهای پرتلند روباره اهنگدازی : مخلوطی از سیمان پرتلند و روباره (٦۵~۲۵%وزن سیمان) اهنگدازی دانه دانه (دو نوع :s۱وsa۱)

۲) سیمانهای پرتلند پوزولانی: مخلوطی از سیمان پرتلند با یک ماده پوزولانی مناسب (۱۵تا٤۰%سیمان)(چهار نوعp۱وp-a۱وpوpa)

سیمانهای بنائی	سیمان پرتلند	+	اهک هیدراته	تالک
	سیمان پوزولانی پرتلند		سنگ اهک	روباره
	سیمان روباره ای یا اهک هیدرولیکی		سنگ اهک نرم	رس

سیمانهای ویژه:

سیمان چاه نفت: برای نفوذ ناپذیر کردن چاه های نفت ،دارای گیرش کند ، در برابر درجات حرارت و فشارهای زیاد مقاوم
سیمان پرتلند ضد اب: کلینکر سیمان + استیرات
سیمانهای خمیری : سیمانهای نوع ۱و۲+ مواد روان ساز تا مقدار ۱۲%حجم کل، برای ساختن پلاستر و پوششهای سیمانی نما.
سیمان انبساطی : پس از گیرش منبسط می شود .
سیمان با گیرش تنظیم شده : یک سیمان هیدرولیکی با زمان گیرش کنترل شده از ۱تا ۲ دقیقه (حتی ٦۰دقیقه) وبهمان ترتیب دارای مقاومت زود رس.

خواص سیمان پرتلند :

۱) ریزی : ریزی سیمان بر میزان هیدراسیون اثر می کند . سیمان ریز دانه تر ، میزان هیدر اسیون سیمان را افزایش و روند کسب مقامت تسریع می شود .
۲) سلامت: به ثبات حجم بتن خمیر سیمان سخت شده بعد از گیرش اطلاق می شود.
۳) روانی: به تحرک نسبی مخلوط تازه ، یا قابلیت جریان یافتن ان گفته می شود .
*. روانی عادی خمیر سیمان ، نفوذ ۱± ۱۰ میلیمتر میله ویلکا ت بیان می شود.
*. روانی بتن را با ازمایش اسلامپ اندازه گیری می کنند.
٤) زمان گیرش : آزمایش زمان گیرش با استفاده از دستگاه ویلکات ویا سوزن گیلمور برای تعیین میزان گرفتن و سخت شدن خمیر سیمان در طول چند ساعت اول انجام می گیرد .
٥) گیرش کاذب: در مدت زمان کوتاهی پس از اختلاط بتن ، گیرش کاذب همراه با افت قابل ملاحظه حالت خمیری مخلوط ، بدون اینکه حرارت زیادی آزاد گردد ، مشاهده می شود .
٦) مقاومت فشاری : آزمایش بر روی مکعبهای ۵۰ mm با روش مشخص و استفاده از ماسه استاندارد .
- از عوامل موثر در مقاومت فشاری : نوع سیمان و ریزی دانه های سیمان .
- مقررات مقاومت فشاری نسبی بر حسب انواع سیمان در جدول ۲-٤ آمده است(آز ASTM)

جدول۲-٤ : مقررات مقاومت فشاري نسبي برحسب نوع سيمان

نوع سیمان پرتلند	حداقل مقاومت فشاري ، برحسب درصد مقاومت سیمان نوع ۱ در ۷ روز			
	۱روز	۳ روز	۷ روز	۲۸ روز
I	-	٦٤	۱۰۰	۱٤۳
IA	-	٥۲	۸۰	۱۱٤
II	-	٥٤	۸۹	۱٤۳
IIA	-	٤۳	۷۱	۱۱٤
III	٦٤	۱۲٥	-	-
IIIA	٥۲	۱۰۰	-	-
IV	-	-	۳٦	۸۹
V	-	٤۳	۷۹	۱۰۷
IS	-	٦٤	۱۰۰	۱۲٥
IS-A	-	٥۲	۸۰	۱۰۰
IS(MS)	-	۳٦	٦٤	۱۲٥
IS-A(MS)	-	۲۷	٥۰	۱۰۰
IP	-	٦٤	۱۰۰	۱۲٥
IP-A	-	٥۲	۸۰	۱۰۰
P	-	-	٥٤	۱۰۷
P-A	-	-	٤٥	۸۹

۷) حرارت هیدراسیون : واکنش شیمیایی بین سیمان و آب.
- میزان تولید گرما تحت تاثیر ترکیبات شیمیایی وریزی سیمان ونیز دمای عمل آوردن بتن قرار دارد.
- حرارت وگرمای ایجاد شده برای برخی سازه های حجیم نا مطلوب و از سوی دیگر در هوای سرد سود مند است
۸) افت ناشی از حرارت دادن: با حرارت دادن جرم معینی از یک نمونه سیمان در دمای۹۰۰ الي ۱۰۰۰ درجه سانتی گراد تا رسیدن به جرم ثابت به دست می اید .
۹) چگالی : برای سیمان پرتلند حدود ۳,۱٥
برای سیمان های روباره آهن گدازی و پرتلند پوزولانی حدود ۲,۹
- چگالی سیمان نشانگر کیفیت سیمان نیست .
۱۰) وزن سیمان : اکثر سیمانهای پرتلند به صورت فله وبه صورت بادی بار گیری و تخلیه می شود (بر حسب تن)
- وزن مخصوص سیمان های فله متغیر و بستگی به نوع حمل و بار گیری دارد لذا اجرای خوب حکم می کند که سیمان فله برا ی هر بار بتن سازی توزین شود
- وزن کیسه های سیمانی در ایران ۵۰ kg حجم انها ۰,۰ ۳۳m^3 است .

انبار کردن سیمان :

- سیمانی که در تماس با رطوبت باشد مقاومت کمتری نسبت به سیمانی که به صورت خشک نگهداری شده دارد
- کیسه های سیمان باید روی تخته های چوبی گذاشته شوند و نزدیک به یکدیگر قرار گیرند.
- سیمان فله باید در سیلو های فلزی یا بتنی انبار شوند .

فصل سوم

آب اختلاط بتن

- تقریبا هر آب طبیعی که قابل اشامیدن بوده و مزه و بوی مشخصی نداشته باشد می تواند به عنوان اب اختلاط برای ساختن بتن به کار برود .
- آب مورد تردید برای ساختن بتن را به شرطی که مکعب ملات سیمان ساخته شده با آن آب دارای مقاومت هفت روزه و بیست وهشت روزه ای برابر با حد اقل ۹۰% نمونه های مشابه ساخته شده با اب قابل شرب باشد می توان مصرف کرد همچنین با ید زمان گیرش سیمان با سوزن ویکات آزمایش کرد .
- نتیجه مهم اینکه نا خالصی ها در آب عمدتا روی مقاومت و گیرش اثر می گذارند .

آب دریا :

- هنگامی که آب شیرین مناسب در دسترس نباشد آب دریا را می توان برای ساختن بتن آرمه بکار گرفت.
- استفاده از آب دریا ممکن است خطر خردگی را افزایش دهد اما اگر میلگرد ها به مقدار پوشش داشته باشند وبتن آب بند باشد و مقدار کافی حباب های هوا در بر گیرد این خطر کاهش می یابد.
- سازه های بتن آرمه ای که با آب در یا ساخته می شوند ودر مجاورت محیط های دریایی قرار میگیرند باید نسبت $w/c < ۰,٤٥$ و حد اقل پوشش میلگرد ها ۷۵ mm باشد .
- آب دریا را برای ساختن بتن پیش تنیده ای که فولاد های پیش تنیده ان در تماس با بتن است نباید مصرف کرد .

فصل چهارم

دانه های بتن

- برای بهترین استفاده مهندسی ، مصالح سنگی بر طبق استانداردهای زیر می باشد :
۱) تمیز ۲) سخت ۳) مقاومت ٤) با دوام ٥) عاری از مواد شیمیایی جذب شده و پوششهای رسی وریز باشد .

- دانه های متداول در تولید بتن معمولی ($۲۱۵۰\sim۲۵۵۰ kg/m^3$= وزن) : ماسه ، شن ، سنگ شکسته ، روبا ره اهنگدازی خنک شده در هوا .
- دانه های متداول در تولید بتن سبک : ($۱۳۵۰\sim۱۸۵۰ kg/m^3$= وزن) : شیل منبسط شده ،رس ، اسلیت ، روباره
- دانه های سبک متداول در تولید بتن عایق بندی : ($۲۵۰\sim۱٤۵۰ kg/m^3$= وزن) : پومیس ، اسکوریا ، پرلیت ، ورمیکولیت ویا ترمیت
- مصالح سنگین در تولید بتن سنگین : باریت ،لیمونیت ، ایلمنیت ،هماتیت ، آهن و تکه های فولادی .

خواص دانه های سنگی و آزمایش های آنها :

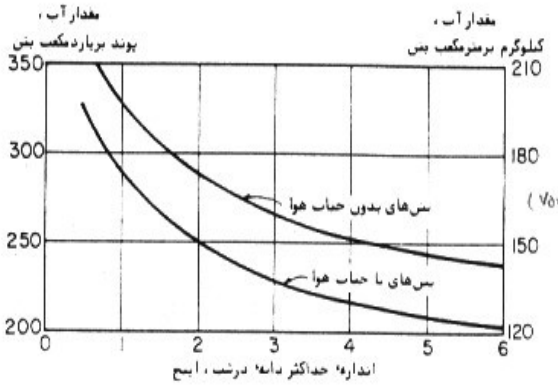
۱) مقاومت در برابر سایش و سر خوردن : اهمیت : شاخص کیفیت دانه ها ، مقاومت در برابر سایش کنها و رو یه ها .
عمومی ترین آزمایش ، آزمایش سایش لو آنجلس ← تعیین درصد سایش مصالح ← حد اکثر درصد افت وزن برای ایجاد مقاومت خوب در برابر سر خوردن روی جاده ها ، مقدار دانه های سیلیسی مصالح ریز باید حد اقل ۲٥% باشد .
۲) مقاومت در برابر یخ زدن و آب شدن : اهمیت : پوسته شدن سطح ، زبری ، از بین رفتن مقطع ونمای بد این مقاومت بستگی به تخلخل ، جذب آب ، نفوذ پذیری و ساختمان حفره دانه ها
آزمایشی برای پیش بینی این خاصیت در دسترس نیست .
۳) شکل وبافت سطحی دانه : اهمیت ، کار ایی بتن تازه
- دانه های زبر ، گوشه ای و سوزنی در مقایسه با دانه های صاف ، گرد و متراکم آب بیشتری را برای تولید بتن کارآ نیاز دارند .
- مصالح سنگی باید نسبتا عاری از دانه های سوزنی وپولکی باشند .(تاثیر گذار روی مقاومت بتن ، بویژه درخمش)
٤) دانه بندی : اهمیت : کارایی بتن تازه ،جنبه های اقتصادی بودن در صورت یکنواختی منحنی دانه بندی
- دانه بندی ،عبارتست از توزیع دانه ها در اندازه های گوناگون که معمولا بر حسب مجموع در صد بزرگتر یا کوچکتر از هر یک از اندازه های الک یا در صد ما بین برخی از اندازه های الک بیان می شود .
- اندازه دانه ها به وسیله الکها ی سیمی با سوراخهای مربعی معین می شود .
- دانه های ریز با الکهای مقابل دانه بندی می شود (۳/۸in,No٤,No۸,No۱٦,No۳۰,No٥۰,No۱۰۰)

٥) دانه بندی مصالح سنگی ریز دانه :
- دانه بندی مطلوب برای مصالح ریز دانه بستگی به : ۱) نوع کار ۲) پر مایه بودن مخلوط ۳) اندازه حد اکثر درشت دانه
- مقادیردانه های ریزی که از دو الک آخر پایینی رد می شوند اثرگذاردر: کارایي ، چگونگی سطح ،آب انداختن بتن
- اکثر مشخصات ، مقدار دانه های رد شده از الک شماره ٥۰ را بین ۱۰ الی ۳۰ درصد مجاز می دانند .
- در مواردی که سطح صاف مورد نظر باشد دانه های ریز مورد استفاده باید حد اقل ۱٥% از الک شماره ٥۰ و۳۰% یا بیشتر از الک شماره ۱۰۰ رد شوند
- مقررات AstmC۳۳ عبارتند از :
۱) نباید بیشتر از ٤٥% دانه های ریز ، بین الک استاندارد متوالی باقی بماند .
۲) مدول نرمی= $\frac{\sum(*)}{100}$ ۳,۱<مدول نرمی (بیانگر ریزی دانه ها)≤ ۲,۳
(*=درصد باقیمانده وزنی)

* هر اندازه مدول نرمی ، بیشتر باشد : دانه ها درشت تر خواهند بود .

- کنترل کیفیت و خواص دانه های ریز با آزمایش جریان از قیف صورت می گیرد .

٦) دانه بندی مصالح درشت دانه :
- دانه بندی مصالح سنگی درشت دانه ، با حد اکثر اندازه داده شده می تواند در محدوده نسبتا وسیعی تغییر کند .
- برای دانه های کوچکتر ، آب بیشتری نسبت به دانه های بزرگتر ، مورد نیاز است .(مطابق شکل ٤-٦)



شکل ۴ـ۶: آب مورد نیاز برای بتن با روانی معین با افزایش اندازهٔ حداکثر دانه ، کاهش می‌یابد .

- مقدار سیمان مورد نیاز ، با افزایش اندازه حد اکثر دانه های درشت ، کاهش می یابد .
*.- حد اکثر اندازه های دانه که می توان به کار برد ،عموما به اندازه و شکل اعضای بتنی و مقدار و توزیع میلگرد ها ی فولادی بستگی دارد .
لذا اندازه حداکثر دانه ها نباید از مقادیر زیر تجاوز کند :

١) یک پنجم کوچکترین بعد اعضاء
٢) ٣/٤ فاصله ازاد میان میلگردها
٣) ١/٣ عمق دالها

٧) مصالح سنگی با دانه بندی گسسته:
- برای بتن در جا ، مصالح با دانه بندی گسسته ، شامل فقط یک اندازه از دانه درشت و تمامی اندازه های دانه ها ی ماسه می باشد .
برای دانه های با اندازه حد اکثر (١٩mm) ”¾ ← حذف دانه هاي شماره ٤ تا (٤,٧٥~٩,٥mm) ”٣/٨
برای دانه های با اندازه حد اکثر (٣٨,١mm)”١ ½ ← حذف دانه هاي شماره ٤ تا (٤,٧٥~١٩mm)”¾
- ماسه معمولا ٣٥% تا ٢٥ حجم کل دانه ها را تشکیل می دهد . درصد کمتر ، برای دانه های گرد ، و درصد بیشتر ، برای مصالح شکسته .
- نظر به اینکه مخلوطهای با اسلامپ کم و دانه بندی‌گسسته ، در صد ماسه کمتری را مصرف کرده و مخلوطهای خنثی تولید می کنند ، معمولا به حبابهای هوا برای ایجاد کارایی ، نیاز دارند
٨) وزن مخصوص ظاهری : عبارتست از وزن دانه لازم برای پر کردن ظرفی با حجم واحد .
- واژه ظاهری به این علت بکار می رود که حجم مورد نظر ، هم با دانه و هم با فضای های خالی ،اشغال می شود
- دانسیته ظاهری دانه هایی که عموما در بتن معمولی مصرف می شوند ، حدود (١٢٠٠ ~ ١٧٥٠Kg/m^3) است .
- سه روش برای تعیین دانسیته ظاهری دانه ها : میله زدن ، لرزاندن ، بیلچه زدن (در حالت متراکم)
٩) چگالی : (دانسیته نسبی) (٢,٤<p<٢,٩→اکثردانه ها← وزن هم حجم دانه/ وزن دانه = چگالی دانه)
- کار بردی در برخی محاسبات طرح مخلوط و کنترل (مانند حجم مطلق اشغالی توسط دانه ها)
- چگالی برای اندازه گیری کیفیت دانه بکار نمی رود
- عموما درمحاسبات بتن ، چگالی ظاهری دانه های اشباع با سطح خشک استفاده می شود .

جذب آب و رطوبت سطحی دانه ها :
- شرایط رطوبت دانه ها :

۱) خشک شده در کوره – کاملا آب جذب میکند
۲) خشک شده در هوا – سطح دانه خشک بوده ، اما حاوی مقداری رطوبت داخلی است .لذا تا حدودی آب جذب می کند.
۳) اشباع با سطح خشک – آبی از مخلوط بتن جذب نمی کند و آبی نیز بدان پس نمی دهد .(متداول براي مصرف در آزمایشگاه)
٤) خیس یا تر – شامل مقداری رطوبت اضافی روی سطح است .

- اهمیت موضوع در کنترل کیفیت بتن موثر است .

مصالح زیان آورو واکنش قلیایی :

- مصالح مضر و اثرات آنها روی بتن به طور خلاصه در جدول ٤-۳ آمده است .

جدول٤-۳ : مصالح مضر

عناصر	اثر روي بتن
ناخالصيهاي آلي	روي گيرش وسخت شدن اثر ميگذارند. ممكن است سبب خرابي شوند.
مصالح ريزتر از الك شماره ۲۰۰(۸۰ميكرومتر)	روي چسبندگي اثر ميگذارند، آب مورد لزوم را افزايش ميدهند.
زغال سنگ ، ليگنيت، يا ساير مصالح سبك	روي دوام اثر دارند ، ممكن است سبب لكه دار شدن يا بيرون پريدگي قسمتهايي از بتن شوند.
ذرات نرم	روي دوام اثر دارند .
كلوخه هاي رسي و ذرات شكننده	روي كارايي ودوام اثر دارند، ممكن است سبب بيرون پريدگي قسمتهايي از بتن شوند.
چرت با چگالي كمتر از ۲,٤	روي دوام اثر دارند ، ممكن است سبب بيرون پريدگي قسمتهايي از بتن شوند.
دانه ها با واكنش قليايي	انبساط غير عادي، تركهاي ريز سطحي ، بيرون پريدگي قسمتهايي از بتن.

- افزودن برخی مواد پوزولانی در بتنی که تحت تاثیر واکنش قلیایی دانه ها ست ، سودمند خواهد بود

اصلاح دانه ها :
تهیه دانه ها شامل مراحل :
۱) خرد کردن ، سرند کردن، شستن و طبقه بندی کردن با آب برای حصول دانه بندی صحیح و تمیز
۲) بالا بردن کیفیت دانه ها شامل – جدا کردن در محیط غلیظ ، لرزاندن ، طبقه بندی با جریان بالا رونده و خرد نمودن که همه مراحل بر مبنای چگالی دانه ها استوار است .

فصل ٥

بتن با حباب هوا

- ایجاد حباب های هوا در بتن به منظور بهبود مقاومت بتن در برابر یخ و آب شدن انجام می گیرد .
- بتن با حباب هوا با استفاده از یک سیمان حباب زا یا اضافه کردن یک ماده افزودنی حباب زا در حین اختلاط ، تولید می شود .
- بر خلاف حفره های هوای محبوس که در تماس بتن ها پدید می آیند وبه مقدار زیادی تابعی از صفات مشخصه دانه می باشد ، حبابهای هوای عمدی ، از نظر اندازه ، بسیار کو چکند و حبابها با یکدیگر مر تبط نیستند ، بلکه در سر تا سر خمیر به خوبی توزیع شده اند .
- قطر ٩٠% حبابها برابر یا کوچکتر از ١٠٠ mm و ٦٠% آنها قطری کمتر از ٢٠mm دارند .
- فاصله واندازه حفره های هوا عوامل مهمی است که بر موثر بودن حبابها ی هوا در بتن کمک می کند .

خواص بتن با حباب هوا :

١) کارایی :

- حباب هوا کارایی بتن را بهبود می بخشد .(بویژه در مخلوطهای کم مایه (مقدار سیمان کم)).
- مقدار آب و ماسه به طور قابل توجهی کاهش می یابد .
- جدایی و آب انداختگی در بتن تازه مخلوط شده کاهش می یابد .

٢) مقاومت در برابر یخ زدن وآب شدن :

- با استفاده از حبابهای هوای عمدی ، حتی هنگامیکه یخ زده های گو ناگون مورد مصرف قرار گیرد ، مقاومت بتن سخت شده در برابر یخ زدن و آب شدن ، به گونه ای چشمگیر بهبود می یابد .
- همچنان که آب در بتن یخ می زند ، منبسط شده و فشاری ایجاد می کند که می تواند بتن را گسیخته سازد حبابها ی هوا همانند مخازن عمل می کنند که آب اضافی ، به درون آنها با فشار راه پیدا میکند و بنابراین فشار ، آزاد گشته و مانع خرابی بتن می شود .
- حفره ها باید به اندازه کافی به هم نزدیک باشند تا فشار ایجاد شده از مقاومت کششی بتن تجاوز نکند .

٣) مقاومت در برابر یخزداها :

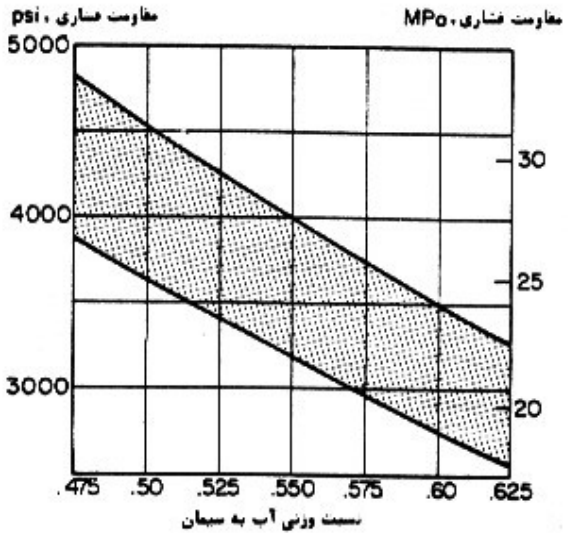
- مواد شیمیایی یخزدا که برای از بین بردن یخ و برف به کار می روند ، می توانند باعث پوسته شدگی سطح شوند (مانند کلرورکلسیم)
- خرابی عمدتا یک عمل فیزیکی است و متاثر از واکنشهای شیمیایی یا فشارهای کریستالی نیست و گمان می رود که به علت تشکیل فشارهای اسمزی متقابلی است که علاوه بر فشارهای هیدرولیکی معمولی در هنگام یخ زدن آب در بتن تولید می شود .
- ایجاد حبابهای هوا در بتن ، باعث جلوگیری از پوسته شدن سطح بتن می شود
- اگر پوسته شدن سطح در اولین فصل یخبندان گسترش یابد ، برای محافظت بتن در مقابل خرابی بیشتر ، می توان سطوح را تر میم کرد . این راه علاج ، شامل پوششی است که معمولا با روغن بزرک یا روغن نفت خنثی انجام می گیرد .

٤) مقاومت در برابر سولفات :

- مقاومت بتن در برابر سولفات با ایجاد حبابهای هوا در آن بهبود می یابد .

٥) مقاومت :

- زمانیکه مقدار هوا ثابت نگهداشته شود ، مقاومت بطور معکوس با نسبت w/c تغییر می کند شکل ٥-٥ (رابطه بین مقاومت فشاری ٢٨ روزه و نسبت w/c روی بتن با حباب هوا با سیمان نوع ١)



شکل ۵ـ۵: نمونه‌ای از رابطهٔ بین مقاومت فشاری ۲۸ روزه و نسبت آب به سیمان روی بتن با حباب هوا با استفاده از سیمان نوع ۱.

٦) مقاومت در برابر سایش :

- مقاومت سایشی بتن با حباب هوا ، مقاومت سایشی بتن بدون حباب هوا با همان مقاومت فشاری ، تقریبا برابر است.
- مقاومت فشاری مهمترین عامل تعیین کننده مقاومت سایشی بتن است . یعنی با افزایش مقاومت فشاری با مقاومت در برابر سایش نیز زیاد می شود .

٧) آب بندی :

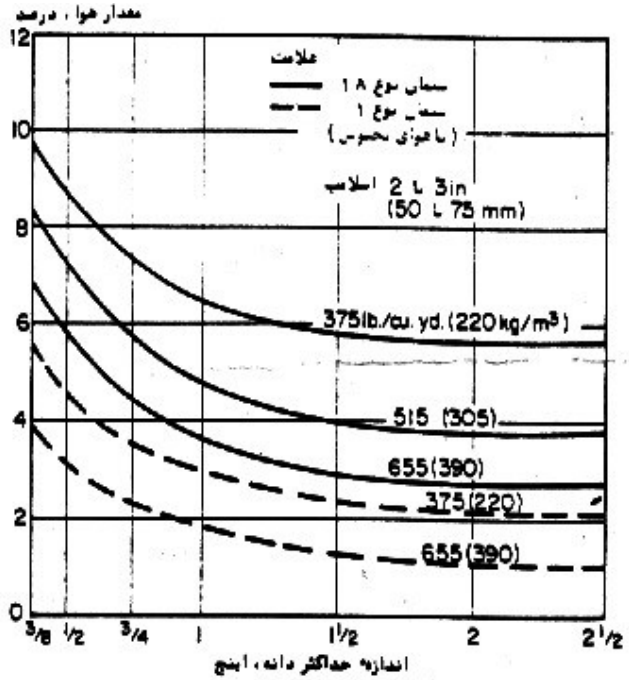
- برای مقدار سیمان معین ، بتن با حباب هوا عموما نسبت w/c کمتری دارد و بنابراین غیر قابل نفوذ تر است .

مصالح حباب زا :
استفاده از سیمان حباب زا : این سیمانها امکان اشتباه دستی یا مکانیکی را که با اضافه کردن یک ماده افزونی حین ساختن بتن رخ می دهد از بین خواهند برد

- وقتی که حبابهای هوا بیش از اندازه باشند ، با استفاده از یکی ازچند ماده حباب زا میتوان انها را کاهش داد .

عوامل موثر در مقدار هوا :

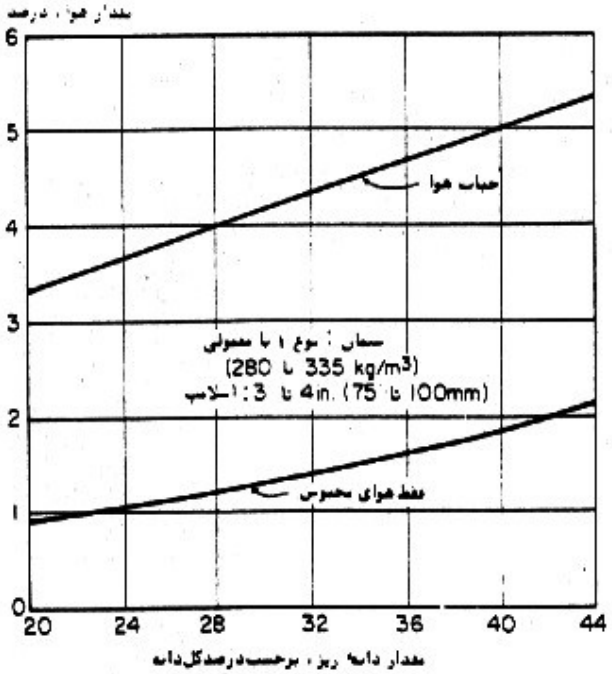
١) دانه درشت مطابق شکل ٥-٦ : رابطه بین اندازه دانه، مقدار سیمان، و مقدار هواي بتن



شکل ۵ــ۶: رابطهٔ بین اندازه دانه ، مقدار سیمان ، و مقدار هوای بتن .

الف) افزایش مقدار هوا > اگر اندازه حد اکثر دانه ها از "½ ۱ > تغییرات کم در مقدار هوا
ب) با افزایش مقدار سیمان از مقدار هوا کاسته می شود

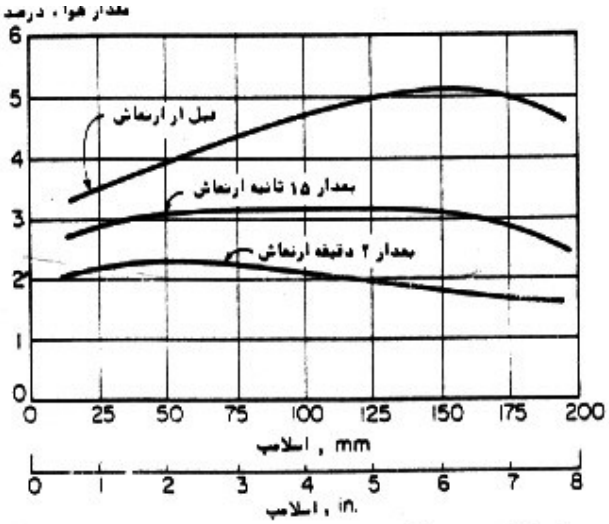
۲) دانه ریز مطابق شکل ۵ـ۷ : رابطه بین درصد دانه ریز و مقار هواي بتن



شکل ۵ــ۷: رابطهٔ بین درصد دانهٔ ریز و مقدار هوای بتن .

- افزایش مقدار دانه ریز مجب می شود که برای مقدار معینی سیمان یا ماده افزونی حباب دار مقدار بیشتری حباب هوا ایجاد شود .
- همچنین در بتن بدون حباب هوا ، هوای محبوس بیشتر است .
- دانه های ریزی که از الک های شماره ۱۰۰ تا ۳۰ می گذرند ، نسبت به دانه های خیلی ریز یا خیلی درشت حبابهای هوای بیشتری را ایجاد می کند .

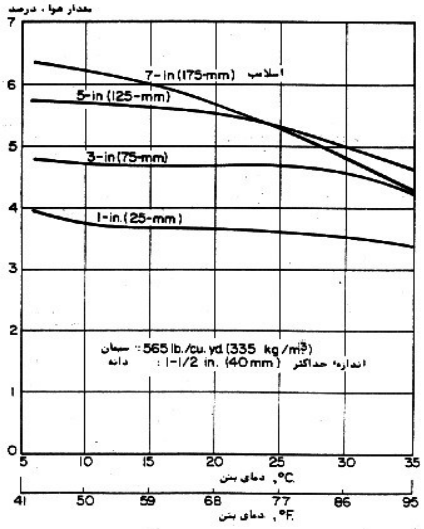
۳) اسلامپ و ارتعاش مطابق شکل ۵-۸ : رابطه بین اسلامپ ، مدت زمان ارتعاش ، و مقدار هوای بتن



شکل ۵-۸: رابطهٔ بین اسلامپ ، مدت زمان ارتعاش ، و مقدار هوای بتن .

- مقدار هوا با افزایش اسلامپ تا حدود ۱۵۰ mm ازدیاد می یابد وبا افزایش بیشتر اسلامپ کاهش می یابد
- در تمامی اسلامپ ها حتی ارتعاش به مدت ۱۵ sec ، موجب کاهش قابل ملاحظه ای در مقدار هوا خواهد شد
- از ارتعاش بتن به مدت طولانی باید اجتناب کرد .
- برای اکثر بتن ها ، تراکم مورد نظر با ۵ ~ ۵ sec ارتعاش به دست خواهد آمد

٤) دمای بتن مطابق شکل ۵-۹ : رابطه بین دما ،اسلامپ ، و مقدار هوای بتن



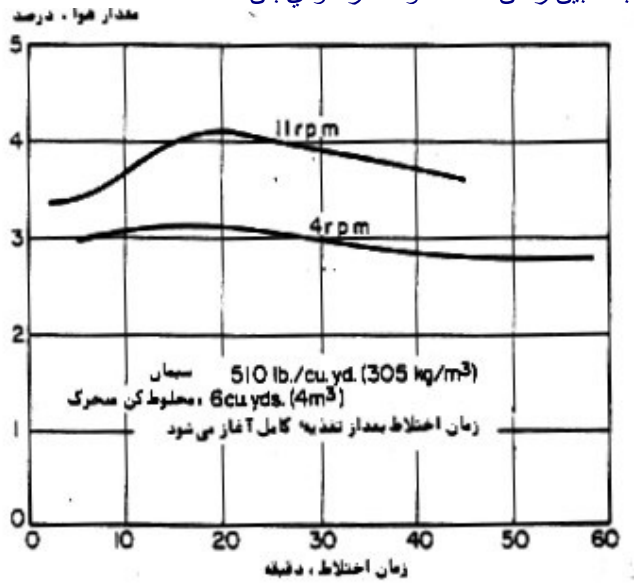
شکل ۵-۹: رابطهٔ بین دما ، اسلامپ ، و مقدار هوای بتن .

- زمانیکه دمای بتن افزایش می یابد ، حبابهای هوای کمتری ایجاد می شود
- با افزایش اسلامپ ، اثر دما ملموس تر می شود .
- در بتن ریزی در هوای سرد ، ماده افزودنی حباب زا مقداری از تاثیر خود را به دلیل استفاده از آب گرم از دست می دهند برای جبران این افت ، مواد فوق باید وقتی ریخته شوند که دمای مصالح ، فرصت رسیدن به تعادل را داشته باشد .

۵) عمل اختلاط

- مهمترین عامل تولید حبابها ی هوا در بتن عمل اختلاط می باشد .
- در تولید بتن آماده ، حفظ اختلاط کافی در تمام مدت ، از اهمیت ویژه ای بر خوردار است .
- اگر مخلوط کنها کمتر از ظر فیت اسمی خود پرشوند ، ممکن است افزایش در مقدار هوا ، واگر بیشتر پر شود کاهش در مقدار هوا رخ دهد .

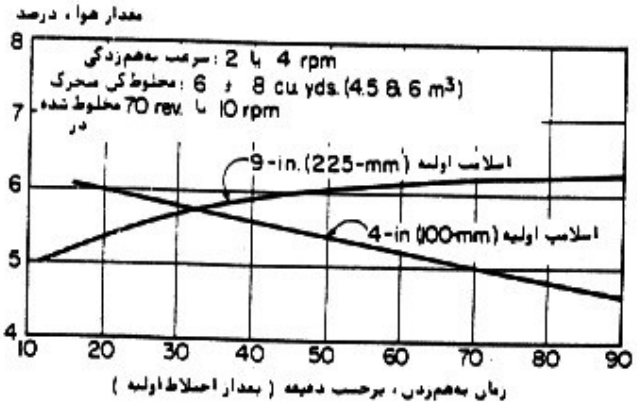
مطابق شکل ۵-۱۰ رابطه بین زمان اختلاط و مقدار هواي بتن



شکل ۵ــ۱۰ : رابطهٔ بین زمان اختلاط و مقدار هوای بتن .

- با افزایش سرعت اختلاط ،حباب هوای بیشتری در بتن ایجاد می شود .
- مقدار هوا حین اختلاط به حد بالایی می رسد و با طولانی کردن زمان اختلاط ، کاهش تدریجی در مقدار هوا به وقوع می پیوندد.

مطابق شکل ۵-۱۱



شکل ۵ــ۱۱ : رابطهٔ بین زمان بهم‌زدن ، مقدار هوا ، و اسلامپ بتن .

- تغییرات در مقدار هوا با طولانی کردن زمان به هم زدن می تواند با رابطه بین اسلامپ و مقدار هوا بیان شود
- برای بتن های با اسلامپ زیاد ، مقدار هوا با ادامه بهم زدگی افزایش می یابد .
- به هم زدن به مدت طولانی ، اسلامپ را کاهش بیشتری می دهد و مقدار هوا نیز کاهش می یابد .و برای باز گرداندن اسلامپ اولیه اگر هم آب اضافه شود ، مقدار هوا به مقدار قبلی خود باز نمی گردد.

٦) مواد افزودنی و مواد رنگی :

- خاکستر بادی ، دوده کربن ، برای مقدار معینی از یک ماده افزودنی ، معمولا مقدار حبابها ی هوا را کاهش می دهند .
- مواد افزودنی کاهنده آب و مواد افزودنی کند گیر کننده کار آمد مواد افزودنی حباب را ١٠٠ ~ ٥٠ درصد افزایش می دهند لذا مقادیر کمتری‌مواد افزودنی حباب زا معمولا مقدار هوای مورد نظر را تامین می کند
- زمان اضافه کردن این مواد افزودنی به داخل مخلوط ، در ظرفیت حباب زایی آنها تاثیر دارد .
- مقدار کمی کلرورکلسیم گاهی برای تسریع در سخت شدن بتن در هوای سرد استفاده می شود اگر این ماده به شکل محلول جدا گانه به مخلوط اضافه شود می تواند به گونه ای موفقیت آمیز ، با مواد افزودنی حباب زا استفاده شود .

٧) پرداخت قبل از موقع : باعث آب انداختن در سطح بالای بتن←افزایش نسبت w/c در سطح ← افت حبابهای هوا ← بتن پوسته می زند .

آزمایشهای مقدار هوا :

- سه روش :

روش فشاری
روش حجمی
روش وزنی

- روش بسیار ساده برای کنترل تقریبی مقدار هوای بتن تازه مخلوط شده ، بوسیله هوا سنج جیبی است . مقداری ملات با الکل داخل ظرف ریخته و تکان می دهیم تا هوا از ملات جدا شود ، مقدار تقریبی هوا با مقایسه پایین آمدن الکل ، توسط نمودار های کالیبره شده تعیین می شود .

مقادیر هوای توصیه شده :

- مقدار هوایی که در بتن با حباب هوا باید مصرف شود بستگی دارد به :

١) نوع سازه
٢) شرایط آب هوایی
٣) تعداد سیکل های یخ زدن و اب شدن
٤) مدت زمان مجاورت با یخزداها و خاکها یا آبهای مهاجم
٥) تا حدودی به مقاومت مقرر بتن

- بتنی که در معرض دماهای یخبندان بوده و ما دامیکه بعد از عمل آوردن ، مرطوب باشد ، حبابهای هوای آن باید در حدود مقادیر جدول ٥-١ باشد زمانیکه حبابها ی هوا در برابر یخزدن وآب شدن یا یخزداها مورد نیاز باشند ، مقادیر هوای داده شده در جدول ٥-١ می تواند حدود ١/٣ کاهش یابد .

جدول ٥-١ : مقادیر هواي توصيه شده

کل مقدار هوا، بر حسب درصد حجم بتن	اندازه حداکثر اسمي دانه درشت	
	mm	In.
٦ ~ ١٠	١٠	٣/٨
٥ ~ ٩	١٢,٥	½
٤ ~ ٨	١٩	¾
٣ ½ ~ ٦ ½	٢٥	١
٣ ~ ٦	٣٧,٥	١ ½
٢ ½ ~٥ ½	٥٠	٢
١ ½ ~٤ ½	٧٥	٣

*لازم به ذکر است که ACI۳۱۸ - ۹۵ جدول ٤-۲-۱ برای شرایط محیطی شدید و معتدل ، مقادیر مختلفی را برای حبابهای هوا تولید می کند .

جدول ٤-۲-۱)مقدار کل هوا براي بتن مقاوم در برابر يخ زدگي

بزرگترين اندازه اسمي دانه ها(cm)	درصد هوا	
	محيط با شرايط سخت	محيط با شرايط معتدل
۰,۹۵	۷,۵	٦
۱,۲۵	۷,۰	۵,۵
۱,۹۰	٦,۰	۵,۰
۲,۵۰	٦,۰	٤,۵
۳,۸۰	۵,۵	٤,۵
۵,۰۰	۵,۰	٤,۰
۷,۵۰	٤,۵	۳,۵

فصل ٦

مواد افزودنی بتن

مواد افزودنی بتن موادی هستند به غیر از سیمان پرتلند ، آب و دانه ها که به مخلوط بتن اندکی قبل از اختلاط یا حین اختلاط افزوده می شود و عبارتند از :

١) مواد افزودنی حباب زا
٢) مواد افزودنی کاهنده آب
٣) مواد افزودنی کند گیر کننده
٤) مواد افزودنی تسریع کننده
٥) پوزولانها
٦) مواد کارایی ساز ، شامل روان سازهای اعلا
٧) مواد متفرقه مانند پیوند ساز ، ضد رطوبت ، کاهنده نفوذ پذیری ، دوغاب ساز و گاز ساز

جدول٦-١: رده بندي پوزولانها

پوزولان، رده N	پوزولانهاي طبيعي خام يا كلسينه شده شامل: خاكهاي ديانمه چرت هاي اپالين و شيل ها توف ها و خاكسترهاي آتشفشاني يا پوميسيت ها بعضي شيلها و رسهاي كلسينه شده
پوزولان، رده F	خاكستر بادي ، با منشا زغال سنگ قيري*
پوزولان، رده C	خاكستر بادي ، خاكستر ليگنيت، با منشا زغال سنگ قيري
پوزولان، رده S	هرنوع مواد ديگر شامل: پوميست هاي پروسه شده بعضي ديانوميت ها، رسها، وشيلهاي كلسينه شده و آسياب شده

*. زغال سنگ قيري: نوعي زغال سنگ كه در اثر حرارت مقدار قابل توجهي مواد قيري فرار توليد ميكند و زغال سنگ نرم نيز ناميده ميشود.

مواد افزودنی به طور خلاصه در جدول ٦-٢ همراه با تاثیرات خود و مصالح کاربردی آورده شده است

جدول٦-٢: دسته بندي مواد افزودني

تاثير مورد نظر	نوع ماده افزودني	مصالح
بهبود دوام بتن در معرض رطوبت ويخ زدن وآب شدنهاي مكرر،پوسته شدن سطح، بهبود كارايي، كاهش جدا شدن دانه ها وآب انداختن بتن	حباب زا قبل يا حين اختلاط مستقيما" به بتن اضافه ميشود.	نمكهاي صمغ هاي چوب بعضي پاك كننده هي مصنوعي نمكهاي ليگنين سولفوناته نمكهاي مواد پروتئيني اسيدهاي چرب و صمغي و نمكهاي آنها سولفاتهاي آلكين بنزين←ماده فعال اصلي سيمان حباب زا
كاهش آب لازم براي رواني معين يا افزايش اسلامپ بتن	كاهنده آب	ليگنو سولفونات ها اسيد هاي كربوسيل هيدروكسيلي (همچنين تمايل به تعويق گيرش دارند لذا تسريع كننده اضافه ميشود)
تعويق زمان گيرش جهت جبران اثر تسريع كنندگي هواي گرم كاهش مقاومت در سنين اوليه (١تا٣ روز)	كندگير كننده← در بعضي شرايط موجب افزايش آبرفتگي حين خشك شدن بتن ميشوند	ليگنين براكس شكرها اسيد تارتاريك ونمكها
تسريع درگيرش و كسب مقاومت اوليه	تسريع كننده	كلوركلسيم←بصورت محلول به عنوان جزئي از آب اختلاط> ٢ درصد وزن سيمان تري اتانولامين سيمان نوع ٣ ، افزايش سيمان براي كاهش w/c وعمل آوري بتن در درجات حرارت بالاتر
كاهش آب و تعويق گيرش	كاهنده آب و كند گير كننده	(به كاهنده آب، نوعA ، در بالا مراجعه شود)
كاهش آب و تسريع گيرش	كاهنده آب و تسريع كننده	(به كاهنده آب، نوعA ، در بالا مراجعه شود تسريع كننده بيشتري اضافه شود)
بهبود كارايي و خميري كمك در كاهش درجات حرارت داخلي بتن كاهش مقاومت ٢٨ روزه	پوزولان	پوزولان طبيعي (رده N) خاكستربادي(رده F و C) ساير مواد (رده S) * رده بندي پوزولانها در جدول ٦-١
ايجاد انبساط حين گيرش	گازساز	پودر آلومينيوم صابون رزين و چسبهاي نباتي يا حيواني، ساپونين، پروتئين هيدروليز شده
كاهش نفوذپذيري	مواد ضد رطوبت و ضد آب	استرات كلسيم، آلومينيوم،آمونيم،يا بوتيل- روغنها يا گريسهاي نفتي كلرورهاي محلول
بهبود قابليت پمپاژ كاهش مقدار هوا	آسان كننده پمپاژ كاهنده هوا	پوزولانها، پليمرهاي آلي، فسفات تري بوتيل
رواني زياد	روان سازهاي اعلا	تغليظ شده هاي ملامين فرمالدئيد سولفوناته ، تغليظ شده هاي نفتالين فرمالدئيد سولفوناته

*. کلرورکلسیم که به عنوان تسریع کننده استفاده می شود ، یک ماده ضد یخ نیست .

- کلرورکلسیم باید به مخلوط بتن بصورت محلول ، به عنوان جزئی از آب اختلاط ،اضافه شود .
- مقدار کلرورکلسیم نباید از ۲ درصد وزنی سیمان تجاوز کند .
- مصرف کلرورکلسیم به مقدار زیاد ،می تواند باعث سخت شدن سریع افزایش ابرفتگی حین خشک شدن خوردگی میلگردها و باعث افت مقاومت در سنین بعدی شود .
- استفاده از کلرورکلسیم یا مواد افزودنی که شامل کلرورهای محلول باشند تحت شرایط زیر توصیه نمی شود :

۱) در بتن پیشتنیده به علت امکان خطرات خوردگی
۲) در بتنی که الومینیم در ان کار گذاشته شده است (مانند ابگذر)
۳) در بتنی که مواجه با واکنش قلیایی دانه قرار دارد یا در معرض خاک یا آب حاوی سولفاتها باشد
٤) در بتن محافظ تاسیسات اتمی
٥) در دالهای کف که پرداخت فلزی دارند
٦) بطور کلی در هوای گرم

فصل ۷

تعیین نسبت مخلوطهای بتن معمولی

- درک اصول اساسی طرح مخلوطها مهمتر از کار محاسباتی ان به شمار می اید .
- کیفیت بتن در وحله نخست به مقدار w/c بستگی دارد.
- برای حصول نتایج اقتصادی نسبت مخلوط باید به گونه ای تعیین شود که بدون قربانی شدن کیفیت بتن مقدار سیمان لازم به حد اقل رسد برای کاهش مقدار سیمان مورد لزوم مقدار اب باید در حداقل نگهداشته شود .

- سه گام اساسی برای حداقل رساندن مقادیر مورد لزوم سیمان و اب عبارتند از :

۱) سفت ترین مخلوط ممکن
۲) بزرگترین اندازه حد اکثر دانه ممکن
۳) بهترین نسبت دانه های ریز ودرشت

- سه روش برای طرح مخلوط بتن :

۱) روش نسبت w/c
۲) روش وزنی
۳) روش حجم مطلق

نسبت اب به سیمان و مقاومت :

- جامع ترین معیار مورد استفاده برای سنجش کیفیت بتن مقاومت فشاری بتن می باشد .
- در محدوده معمولی مقاومتهای اجرای بتن مقاومت فشاری با نسبت w/c به طور معکوس رابطه دارد .
- مقاومت در هر سن خاصی بستگی زیاد به نسبت w/c ظاهری یا اولیه نداشته بلکه تابعی از شدت سیمان هیدراته شده خواهد بو د.

انتخاب نسبت اب به سیمان :

- نسبت اب به سیمان نسبت وزنی این دوماده است .
- برای شرایط محیطی شدید بهتر است که حداقل مقدار سیمان ۳۳۵kg/m۳ مقررشود .
- برای انتخاب نسبت w/c برای شرایط گوناگون به جدول ۷-۱ رجوع شود .

جدول ۷-۱: نسبتهاي حداكثر آب به سيمان براي شرايط محيطي گوناگون

شرايط محيطي	بتن معمولي،نسبت مطلق وزني آب به سيمان
بتني كه از يخ زدن و آب شدن يا اعمال مواد شيميايي يخزدا محافظت شده است.	نسبت w/c بر اساس نيازهاي مقاومت، كارآيي، و پرداخت انتخاب ميشود.
بتن آب بند* در آب شيرين در آب دريا	 ۰,۵ ۰,٤۵
بتن مقاوم در برابر يخبندان* مقاطع نازك ، مقاطع با كمتر از ۲ اينچ(۵۰mm) پوشش روي ميلگردها و بتن هاي در معرض نمكهاي يخزدا كليه سازه هاي ديگر	 ۰,٤۵ ۰,۵
مجاورت با سولفاتها* متوسط شديد	 ۰,۵ ۰,٤۵
بتن ريزي در زير آب	كمتر از ۳۸٦kg/m۳ نباشد.
كف هاي روي زمين	نسبتw/c براي مقاومت ونيز براي حداقل سيمان مقرر انتخاب شود، به جدول ۷-۵ مراجعه شود.

*.داراي حباب هوا در محدوده مقادير جدول۷-۲ ميباشد.

جدول ۷-۲: مقدار هواي بتن براي اندازه هاي گوناگون دانه درشت

مقدار هواي كل، درصد حجمي	حداكثر اندازه اسمي دانه درشت، ميليمتر
٦~١٠	٩,٥
٥~٩	١٢,٥
٤~٨	١٩,٠
٣,٥~٦,٥	٢٥,٠
٣~٦	٣٧,٥
٢,٥~٥,٥	٥٠,٠
١,٥~٤,٥	٧٥,٠

- به منظور تعيين رابطه بين نسبت اب به سيمان و مقاومت به جدول ۷-۳ رجوع شود .

جدول ۷-۳: حداكثر نسبت w/c مجاز براي بتن هنگاميكه اطلاعات مربوط به مقاومت از پيمانه هاي آزمايشي يا تجربيات كارگاهي در دسترس نباشد.

حداكثر مجاز نسبت مطلق وزني w/c		مقاومت فشاري مقرر f'c مگاپاسكال*
بتن با حباب هوا	بتن بدون حباب هوا	
٠,٥٤	٠,٦٧	١٧,٥
٠,٤٦	٠,٥٨	٢١,٠
٠,٤٠	٠,٥١	٢٤,٥
٠,٣٥	٠,٤٤	٢٨,٠
-	٠,٣٨	٣١,٥
-	-	٣٥,٠

*. براي مقاومت ۲۸ روزه با اكثر مصالح نسبت هاي w/c نشان داده شده ، مقاومت هاي ميانگين بزرگتر از مقدار لازم را فراهم ميسازند.
**. براي مقاومت هاي بالاتر از ٣١,٥ مگاپاسكال (بتن بدون حباب هوا) و ٢٨ مگاپاسكال (بتن با حباب هوا) تعيين نسبتها بايد بر اساس روش پيمانه آزمايشي استوار باشد.

- بتنی كه در معرض غلظتهای متوسط يا شديد سولفات قرار دارد برای تعيين حداكثر نسبت وزنی w/c به جدول٤-۷ رجوع شود .

جدول ۷-٤ : مقررات بتن با دانه هاي معمولي در شرايط سولفاتي

حداكثر نسبت وزني آب به سيمان	حداكثر تري كلسيم ألومينات در سيمان*، درصد	SO٤، شرايط سولفاتي		شرايط سولفاتي
		در محلول، قسمت در ميليون	در خاك، درصد وزني	
٠,٥	٨	١٥٠٠تا١٥٠٠	٠,٢ تا ٠,١	متوسط
٠,٤٥	٥	١٥٠٠بيشتر	٠,٢ بيشتر	شديد

*. حداكثر مقدار تري كلسيم ألومينات سيمان براي بتن در آب دريا ٨ درصد است.

- در صورتيكه به جای مقاومت فشاری مقاومت خمشی اسا س طرح باشد (مثلا در رويه ها و كفهای روی زمين) از رابطه تقريبی بين مقاومت فشاری و خمشی استفاده می شود($MR = k\sqrt{f'c}$)

(MR= مقاومت خمشی(مدول گسيختگی) بر حسب MPa، بار گذاری در نقاط يک سوم
K = يک مقدار ثابت معمولا" ٠,٧<K<٠,٨
f 'c = مقاومت فشاری، بر حسبMpa

حداقل مواد سیمان :

- در مواردی که نظارت کار گاهی ، بازرسی و ازمایش پایین باشند مقرر نمودن یک مقدار حداقل سیمان توصیه می شود مطابق جدول ۷-۵

جدول ۷-۵ : مقررات حداقل سیمان براي بتن مصرفي در سطوح تخت

سیمان، kg/m۳	حداکثر اندازه دانه، mm
۲۸۰	۳۷,۵
۳۱۰	۲۵,۰
۳۲۰	۱۹,۰
۳۵۰	۱۲,۵
۳۶۰	۹,۵

دانه ها :

- دانه بندی از نظر توزیع اندازه دانه ها با استفاده از انالیز الک تعیین می شود.
- عموما اندازه دانه درشت نباید از مقادیر زیر تجاوز کند :

۱) ۱/ ۵ کوچکترین بعد اعضاء
۲) ۳/٤ فاصله از اد میان میلگردها
۳) ۱/۳ عمق دالها (برای دالهای ارمه نشده)

- هر چقدر اندازه حد اکثر دانه ها بزرگتر باشد مقدار اب لازم کمتر است بنابراین توصیه می شود که دانه درشت با بزرگترین اندازه حد اکثر عمل استفاده شود .این امر آب مورد لزوم را به حداقل رسانید ه وباعث می شود که مقدار سیمان نیز کاهش یابد .
- برای بتن با مقاومت فشاری بالاتر و اسلامپ ۱۰۰mm و مقدار سیمان متجاوز از ۳٥٦kg/m۳ بهترین اندازه حداکثر در حدود "۳/٤ (۱۹ mm) است .
- مطلوبترین دانه بندی ماسه به نوع کار پر سیمان بودن مخلوط و اندازه دانه درشت بستگی دارد . برای مخلوطهای کم سیمان تر دانه بندی ریز (یعنی مدول نرمي کمتر) برای کاریی مطلوب است . برای مخلوطهای پر سیمان تر دانه بندی درشت (مدول نرمي بیشتر) از نقطه نظر اقتصادی بیشتر مصرف می شود .

حباب هوا :

- یک سیستم مناسب از هوا بایـد در تمامی بتن هایی که در معرض یخ زدن واب شدن و نیز در معرض اثرات مواد شیمیایی یخ زدا قرار دارند مصرف می شود .
- حباب هوا برای همه رویه ها ی بتنی توصیه می شود .
- ایجاد حبابهای هوا با استفاده از سیمان پرتلند حباب زا یا مواد افزودنی حباب زا میسر می شود توصیه تولید کننده ماده افزودنی در بسیاری حالات مقدار حباب هوای مطلوب را ایجاد خواهد کرد .
- مقادیر کل حباب هوای توصیه شده برای بتن ها ی با حباب هوا در جدول ٦-۷ آمده است که بستگی به اندازه حداکثر دانه و شدت شرایط محیطی دارد .

جدول ۷-٦: میانگین مقدار کل هواي توصیه شده ، درصد بر حسب شرایط محیطي

شرایط محیطي	اندازه حداکر اسمي دانه ها					
	(۹,۵mm)	(۱۲,۵mm)	(۱۹mm)	(۲۵mm)	(۳۷,۵mm)	(۵۰mm)
ملایم	٤,۵	٤,۰	۳,۵	۳,۰	۲,۵	۲,۰
متوسط	٦,۰	۵,۵	۵,۰	٤,۵	٤,۵	٤,۰
شدید	۷,۵	٦,۰	٦,۰	٦,۰	۵,۵	۵,۰

- زمانیکه اب اختلاط ثابت نگهداشته شود ایجاد حبابهای هوا اسلامپ را افزایش می دهد.

- در بتن های کم سیمان اگر مقدار سیمان و اسلامپ ثابت نگهداشته شود ایجاد حباب هوا بدین معنی است که اب اختلاط کمتری مورد نیز است .لذا مقاومت بتن مساوی یا تقریبا مساوی با مقاومت بتن بدون حباب هوا است ودر صورت افزایش سیمان این حبابها باعث کاهش در مقاومت می شود .

اسلامپ :

- سه ویژگی برای توصیف بتن تازه : کارایی ، روانی ، خمیری
- کارایی : میزان سهولت یا دشواری بتن ریزی تراکم و پرداخت بتن در قالب است بدون اینکه جدایی زیان اور ناشی از عوامل : اندازه و شکل عضو ، اندازه و فاصله میلگردها ، حضور وسایل کار گذاشته شده ، ویبراتور .
- روانی : به قابلیت جاری شدن بتن تازه گفته می شود که برای اندازه گیری ان روش معمول اسلامپ بتن است .
- خمیری : خاصیتی از بتن تازه که سهولت در قالب ریزی را بیان می کند .
- معمولا اسلامپ در مشخصات بتن ذکر می شود در غیر این صورت از مقادیر تقریبی جدول ۷-۷ استفاده می شود .

جدول۷-۷: اسلامپ هاي توصيه شده براي انواع گوناگون سازه (براي تركم بتن با ارتعاش مكانيكي)

سازه بتني	اسلامپ،mm	
	حداكثر *	حداقل
شالوده ها ودیوارهاي آرمه شده پي	۸۰	۳۰
شالوده هاي آرمه نشده، شمعها، و ديوارهاي زير سازه	۸۰	۳۰
تيرها و ديوارهاي آرمه شده	۱۰۰	۳۰
ستونهاي ساختمان	۱۰۰	۳۰
رويه ها ودالها	۸۰	۳۰
بتن حجيم	۵۰	۳۰

*. ارقام ممكن است براي تراكم با روشهاي دستي از قبيل ميله كوبي و بيلچه زني به اندازه ۲۰mm افزايش يابد.

تعیین نسبت به وسیله مخلوطهای ازمایشی :

- موارد زیر باید در ابتدا انتخاب شوند :

۱) مقاومت
۲) حداقل مقدار سیمان یا حداکثر نسبتw/c
۳) اندازه حداکثر دانه
٤) مقدار هوا
٥) اسلامپ مطلوب
٦) پیمانه های ازمایشی با تغییرمقادیر نسبی دانه های ریز و درشت ساخته می شوند .

اندازه گیرها و محاسبات :

- وزن مخصوص : تعیین وزن مخصوص بتن تازه مطابق با روش استاندارد ازمایش برای وزن مخصوص بازدهی و مقدار هوا (اندازه گیری وزنی) برای بتن انجام می شود .
- حجم مطلق : حجم مطلق بتن تازه برابر است با مجموع حجم مطلق سیمان ، حجم مطلق دانه های اشباع با سطح خشک حجم اب (منهای انچه که در دانه است) و حجم هوا (عمدی و محبوس)

(چگالی ماده × وزن مخصوص اب)/ وزن ماده حجم مطلق یک ماده

تذکر:چگالی دانه هایی که در محاسبات بکار می رود ،چگالی ظاهری دانه اشباع با سطح خشک است.

چگالی سیمان پرتلند=3.15
چگالی دانه های معمولی=2.4~2.9
وزن مخصوص اب=1000kg/m^3 ($962.4Lb/ft^3$)
حجم هوای بتن=حجم واحد×مقدار هوا%

تعیین حجم مطلق بتن در پیمانه : دو روش:

۱) اگر چگالی دانه ها و سیمان معلوم برای محاسبه حجم بتن کافی است .
۲) اگر چگالی مجهول یا متغیر باشند .

وزن مخصوص بتن/ کل وزن مصالح در مخلوط کل=حجم بتن

توجه : در بعضی حالات به هردو روش محاسبات انجام می شود که یکی به عنوان کنترل دیگری به کار می رود

- رابطه میان حد اقل مقاومت فشاری مقرر در ۲۸ روز و میانگین مقاومت مورد نیاز را می توان با استفاده از اندازه گیری اماری تغییرات مقاومت در ازمایشهای متوالی استوانه های ازمایشی موسوم به انحراف معیار (۵) مقاومت فشاری حدس زد که به صورت MPa بیان می شود.
مقررات ایین نامه ساختمانها ی بتن ارمه ACI بیان می دارد وقتیکه تولید کننده بتن اماده انحراف معیار را بر اساس حد اقل ۳۰ ازمایش متوالی مقاومت تعیین کرده باشد ، نسبتهای اختلاط بتن انتخابی باید مقاومت میانگینی مطابق جدول ۷-۸ تولید نماید .

جدول۷-۸: مقاومت میانگین مورد نیاز

مقاومت میانگین مورد نیاز	انحراف معیار
f'c+۳Mpa	کمتر از ۲Mpa
f'c+٤Mpa	۲-۳
f'c+٥Mpa	۳-۳,٥
f'c+٦Mpa	۳,٥-٤
f'c+۸Mpa	بیشتراز ٤
f'c+۸Mpa	مجهول

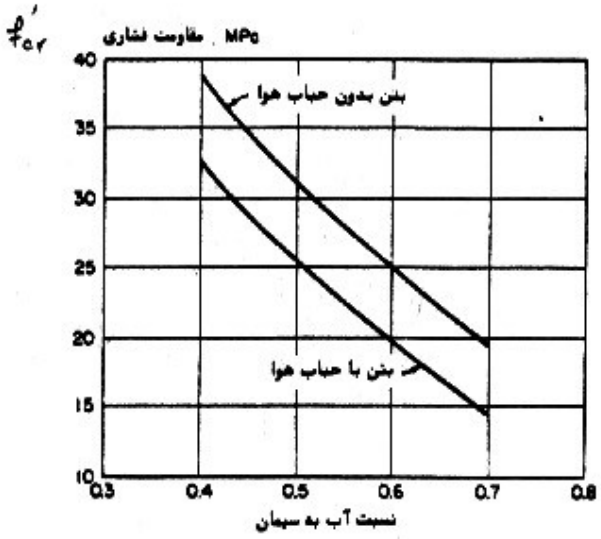
مثال:

دیوار حائل به ضخامت حداقل ۲۵۰میلیمتر و پوشش بتن روی میلگردها ۵۰میلیمتر در معرض اب شیرین قرار دارد (سیمان نوع ۱)

$F'c$=۲۰MPa

از جدول ۷-۱(مقررات محیطی)$\text{Max}\frac{w}{c}$=0.5

از شکل ۷-۲ منحنی رسم شده از تجارب$\frac{w}{c}$=0.52 ← $f'cr=f'c+4=24Mpa$ جدول ۷-۸



شکل ۷ـ۲ : نمونه‌ای از منحنی‌های مقاومت مخلوط‌آزمایشی

← Max $\frac{w}{c}$ متناقض با (لذا مقررات محیطی حاکم است)

$\frac{w}{c}$=0.5

چگالی→2.68= حداکثر اندازه دانه ها با سطح خشک در دسترس =37.5mm

از جدول ۷-۶ میانگین مقدار هوای توصیه شده =5.5%

اسلامپ Min=30

Max=80 از جدول ۷-۷

روش وزنی

تقریبیW=160kg/m^3

C=160/0.5=320Kg/m^3

از جدول ۷-۱۱

مقدار دانه درشت خشک→2.8= با فرض مدول نرمی ماسه =0.71*1600 =1136Kg

وزن خشک میله خورده دانه درشت =1600Kg/m^3

از جدول ۷-۱۲ اولین تخمین وزن بتن تازه =2350Kg/m^3

وزن تخمینی ماسه (خشک) = 2350-(160+320+1136) =734Kg

در نهایت:

آب =160Kg

سیمان C=320Kg
وزن بتن48%≈1136Kg=دانه درشت(خشک)
وزن بتن31%≈734Kg=دانه ریز(خشک)
در عمل دانه ها مقداری رطوبت دارند لذا وزن پیمانه ها ی خشک دانه ها باید افزایش واب اختلاط اضافه شده به پیمانه باید کاهش یابد .
ازمایشها نشان می دهند که مقدار رطوبت دانه درشت ۲%ودانه ریز ٦% می باشد .)
دانه درشت (با۲%رطوبت)G=1136×1.02=1156Kg
دانه ریز (با٦%رطوبت)S=734×1.06=778Kg
اب جذب شده به عنوان بخشی از اب اختلاط محسوب نمی شود و باید از محاسبات مربوط به تنظیم اب ،اب اختلاط حذف شود(جذب اب توسط ذانه درشت ۰,۵%وجذب اب توسط دانه ریز ۰,۷%)
رطوبت سطحی دانه درشت=2%-0.5%=1.5%
رطوبت سطحی دانه ریز=6%-0.7%=5.3%
اب لازمW=160-1136*0.015-734*0.053=104Kg
C=320Kg

فصل ۸

پیمانه کردن ،اختلاط ، و انتقال بتن

پیمانه کردن :

- بطور کلی مشخصات لازم می دارند که مصالح در پیمانه های جداگانه با درصد دقتهای زیر اندازه گیری شوند :

سیمان ۱% ، دانه ها ۲% ، آب ۱% ، مواد افزودنی ۲%

- مواد افزودنی حباب زا کلرورکلسیم و سایر مواد افزودنی شیمیایی باید به صورت مایع به مخلوط تغذیه شوند و این مایع باید به عنوان بخشی از آب اختلاط در نظر گرفته شود .

اختلاط بتن :

- اختلاط ساکن این مخلوط کنها : در اندازه هایی از ۰,۰٦ تا۹ متر مکعب موجودند و ممکن است از نوع کج شونده یا غیر کج شونده بوده یا از نوع تیغ دارگردنده روباز یا پره دار باشند . بسیاری از انها دارای دستگاههای زمان سنج اند .
- معمولا مشخصات برای مخلوط کنها ی ساکن تا ظرفیت ۱m۳ حداقل ۱ دقیقه اختلاط را لازم می دارند وبرای هر متر مکعب اضافه ظرفیت ویا خردهای از ان این زمان را ۱۵ ثانیه افزایش می دهند .
- مدت زمان اختلاط باید از زمانی اندازه گیری شود که تمام سیمان و دانه ها در دیگ مخلوط کن قرار داده می شوند به شرطی که تمام اب قبل از پایان ۱/٤ مدت زمان اختلاط اضافه شود .
- در شرایط معمولی تا حدود ۱۰% آب اختلاط باید پیش از افزودن مصالح جامد در دیگ مخلوط کن ریخته شود سپس آب باید بطور یکنواخت همراه با مصالح جامد اضافه شود بطوریکه حدودا ۱۰% اب نگهداشته شود که پس از قرار گر فتن تمامی مصالح جامد در دیگ مخلوط کن بعدا بدان افزوده شود .
- در هوای سرد هنگامی که از آب گرم شده استفاده می شود برای جلو گیری از سفت شدن احتمالی افزودن سیمان باید تا زمانیکه بیشتر دانه ها و اب در دیگ مخلوط کن به هم آمیخته شوند به تعویق افتد .
- اگر ماده افزودنی کند گیر کننده به کار رود همیشه باید با ترتیب و توالی یکسان در سیکل تغذیه مواد اضافه شود . افزودن ماده کند گیر کننده قبل از پایان ۱ دقیقه پس از اتمام اضافه کردن آب به سیمان یا پیش از شروع ۳/٤ پایانی سیکل اختلاط هر کدام زودتر رخ دهد باید انجام پذیرد

بتن آماده:

- به یکی از رو شهای زیر اختلاط می شود :

۱) اختلاط بطور کامل در یک مخلوط کن ساکن بعد حمل توسط تراک میکسر یا یک کامیون غیر به هم زننده
۲) اختلاط به صورت نیمه یعنی تا حدودی در مخلوط کن ساکن مخلوط شده ودر یک کامیون مخلوط کامل می شود
۳) اختلاط بطور کامل در یک کامیون مخلوط کن ← در فاصله ۱,۵ ساعت (قبل از ۳۰۰ بار دوران) تحویل و تخلیه باید صورت گیرد .سرعت به هم زنندگی معمولا حدود ۲ تا ٦ دور در دقیقه بوده در حالیکه سرعت اختلاط عموما ٦ تا ۸ دور در دقیقه است .
٤) مخلوط کنها با پیمانه سنج متحرک

اختلاط مجدد بتن :

- بتن تازه که در حال بهم زدن در دیگ مخلوط کن باقی بماند پیش از انکه سیمان در مرحله گیرش اولیه خود هیدراته شود تمایل به سفت شدن دارد با یک نظارت دقیق ممکن است مقدار کمی آب برای اختلاط مجدد بتن به مخلوط اضافه شود به شرطی که :

۱) w/c از حد اکثر مجاز تجاوز نکند .
۲) اسلامپ از حداکثر مجاز تجاوز نکند .
۳) مدت زمان اختلاط از حداکثر مجاز تجاوز نکند .
٤) بتن اقلا بمدت نصف حداقل زمان اختلاط لازم یا به اندازه نصف تعداد دوره ها دوباره مخلوط شود

- بتنی که مجاور یا روی بتن دوباره مخلوط شده ریخته شود ممکن است به اتصال سرد انجامد.

فصل ۹

بتن ریزی و پرداخت

- تدارکات پیش از بتن ریزی :

۱) متراکم کردن
۲) درست شکل دادن
۳) مرطوب نمودن سطح زمین
٤) بستن قالبها و قرار دادن آرماتورها

- مرطوب نمودن سطح زمین بویژه در هوای گرم حائز اهمیت است زیرا سطح زمین خشک آب بتن را جذب می کند .
- در هوای سرد سطح زمین نباید یخ زده باشد .
- در جاهایی که بتن روی سطح سنگی ریخته می شود سطح باید از تمام مواد شل پاک سازی شود و سطوح بریده شده باید تقریبا عمودی یا افقی باشند ونه شیبدار .
- قالبهای چوبی باید قبل از بتن ریزی مرطوب شوند در غیر اینصورت آب را جذب نموده و متورم می شوند .
- برای سهولت در برداشتن قالبها باید آنها را با یک ماده رها ساز مانند روغن یا لاک یا نوعی محلول چربی استیرات آغشته کرد تا از لکه دار شدن سطح نیز جلو گیری به عمل آید .

ریختن بتن :

- بتن نباید در انباشته های جدا از هم ریخته شود و سپس با هم تراز شوند همچنین نباید در انباشته های بزرگ ریخته شود و سپس به طور افقی به محل نهایی انتقال یابد چون موجب جدایی ملات از مصالح درشت دانه می شود .
- عموما بتن باید در لایه های افقی با ضخامت یکنواخت ریخته شود وهر لایه باید قبل ریختن لایه بعدی به طور کامل تراکم یابد .
- برای اعضای آرمه شده ضخامت لایه ها باید ۱۵ تا ۵۰ سانتی مترو برای کار های حجیم ٤۰ تا ۵۰ سانتی منر باشد .
- در بتن ریزی دیوارهای جناحی شیبدار یا در زیر باز شوهای دیوار لازم است که بتن به طور افقی در درون قالبها حرکت داده شود اما این مسافت افقی باید در یک مقدار حداقل نگهداشته شود تا بتنی مرغوب و یکنواخت بدست آید .
- در اجرای دالها بتن ریزی باید در امتداد پیرامون در یک انتهای دال آغاز شود وهر پیمانه روی بتن ریخته شده قبلی تخلیه شود .
- پیمانه های نخستین در هر مرحله بتن ریزی در دیوارها ، تیرها ،وتیرهای اصلی باید در دو انتهای عضو ریخته شوند وسپس بتن ریزیهای بعدی به سوی قسمت مرکزی پیش روند .
- در تمام حالات باید از جمع شدن آب در انتهاها در گوشه ها ودر امتداد صور قالبها جلو گیری شود .
- ارتفاع سقوط آزاد بتن ریزی نیازی به محدود شدن ندارد مگر این که جدایی درشت دانه ها رخ دهد که در ان صورت ممکن است حدی از ۰,۹ تا۱,۲ متر کافی باشد .
- هنگامیکه بتن در قالبهای بلند با میزانی نسبتا تند ریخته می شود بویژه اگر از بتن بدون حباب هوا استفاده شود احتمال دارد که مقداری آب انداختن در سطح فوقانی صورت گیرد با استفاده بتن با روانی سفت تر وبا بتن ریزی آهسته تر می توان آب انداختن را کاهش داد در صورت امکان بتن باید تا ترازی تقریبا برابر ۳۰ cm پایین تر از بالای قالبهای بلند ریخته شود وسپس حدود یک ساعت وقت داده شود تا بتن خود را بگیرد . و قبل از سخت شدن سطح بتن بتن ریزی از سر گرفته شود تا از ایجاد اتصالات سرد جلو گیری به عمل آید .
- طریقه دیگر برای کنترل مقدار آب انداختن اینست که همچنانکه عملیات ریختن بتن به بالای لایه مر بوط به همان مرحله بتن ریزی نزدیک می شود مقدار درشت دانه در مخلوط افزایش یابد.
- به منظور جلو گیری از ترکهای ناشی از نشست برای بتن ستونها و دیوارها باید اجازه داد تا قبل از آنکه بتن ریزی تیرها ، تیر های اصلی یا دال هایی که به انها متصل می شوند انجام پذیرد .به مدت حداقل ۲ ساعت و تر جیحا یک شب مکث شود .

ماهیچه ها وسر ستونها به عنوان قسمتی از کف یا بام محسوب می شوند و باید به طور یکپارچه با انها ریخته شوند.

متراکم کردن بتن:

- متراکم کردن عبارتست از فرایند نزدیک ساختن ذرات جامد در بتن تازه و نیز هوای محبوس اتفاقی بتن از بین برود.
- تراکم به دو روش صورت می پزیرد: دستی یا مکانیکی

روش دستی : بوسیله کوبیدن بتن با یک میله فولادی- مناسب برای مخلوتهای خمیری و روان

روش مکانیکی : ارتعاش دهندها (ویبراتورها) کوبندهای موتوری که برای متراکم کردن مخلوتهای خیلی سفت در واحدهای پیش ساخته بکار میروند گریز از مرکزی که برای متراکم کردن بتن های با اسلامپ متوسط یا زیاد در ساخت لوله ها و دیرک ها وشمعها بکار میروند .

میز های سقوط یا شوک که برای متراکم کردن بتن با اسلامپ پایین در تولید واحدهای پیش ساخته نما بکار می روند.

- با عملیاتی شبیه بیل زنی می توان ظاهر سطوح بتنی قالب گیری شده را بهتر کرد یک وسیله بیل مانند سطوح باید مکرر به درون بتن ودر مجاورت قالب فرورفته و بیرون آورده شود این عمل درشت دانه های بزرگتر را وادار می سازد تا قالب رانده و حبابهای هوای محبوس را در حرکت خود به سطح بالایی یاری دهد.

ارتعاش داخلی :

- ویبراتور های داخلی یا غوطه وری که غالبا ویبراتوری های بیلچه ای یا میله اي نامیده می شوند به طور متداول در متراکم کردن بتن در دیوارها ، ستونها ، تیرها و دالها مورد استفاده قرار می گیرد ویبراتور های با بدنه انعطا ف پذیر از یک سر مرتعش کننده که به یک موتور محرک توسط یک میله انعطاف پذیر اتصال دارد تشکیل شده اند .
- در مواقعی که ممکن باشد ویبراتور باید به طور عمودی به درون بتن در فواصل منظم پایین آورده شود وبه ویبراتور اجازه داد تا تحت تاثیر وزن خود نزول کند .
- در دالهای نازک در صورت لزوم ویبراتور باید در یک زاویه یا به طور افقی فرود شود تا سر آن کاملا در درون بتن قرار گیرد .
- فاصله بین نقاطی که ویبراتور در بتن فرود می رود با ید حدودا ½ ۱ برابر شعاع عمل باشد به طور یک سطحی که به طور نمایان تحت تاثیر ویبراتور قرار می گیرد با سطح مجاور مر تعش شده قبلی به اندازه چندین میلی متر مشترک باشد .
- ویبراتور باید به مدت sec ۱۵ ~ ۵ ساکن نگه داشته شود تا تراکم کافی به دست اید سپس به طور آرام خارج شود .
- بتن باید به طرف سوراخی که توسط ویبراتور بر جای مانده است حرکت کرده و آن را پر سازد .چنانچه سوراخ پر نشود فرو کردن مجدد ویبراتور در نقطهای نزدیک به آن مسئله را حل کرد .
- کفایت ارتعاش داخلی از روی تجربه و از روی تغییراتی که در ظاهر سطح هر لایه پدید می آید مورد قضاوت قرار می گیرد تغییراتی که باید بر آنها توجه داشت عبارتنداز :

به درون فرو رفتن دانه های درشت ، تراز شدن سطح فوقانی ، ظاهر شدن غشاء نازکی از خمیر درخشان ، متوقف شدن فرار حبا بهای بزرگ هوای محبوس به سوی سطح

- مدت زمانی که یک ویبراتور در بتن می تواند نگه داشته شود بستگی به اسلامپ بتن ، قدرت ویبراتور و ماهیت مقطع مورد تراکم دارد .
- ویبراتور ها نباید برای حرکت دادن افقی بتن بکار گرفته شود زیرا این کار سبب جدایی می شود .
- ارتعاش مجدد بتن قبلا متراکم شده می تواند به طور عمدی یا غیر عمدی هنگامی رخ دهد که لایه پایین مقداری سخت شده است .ارتعاش مجدد برای بهبود چسبندگی میان بتن و آرماتورها ، آزاد کردن آب محبوس در زیر میلگردهای افقی ، و از بین بردن مقدار بیشتر هوای محبوس مورد استفاده قرار می گیرد . به طور کلی اگر بتن با ار تعاش مجدد به حالت خمیری درآید این حالت نه تنها مضر نخواهد بود بلکه ممکن است سودمند واقع شود .

ارتعاش خارجی :

- ویبراتورهای خارجی به صورتهای زیر می باشد :

۱) ویبراتورهای قالب
۲) میز های ویبره
۳) ویبراتور های سطحی مانند شمشیر های ارتعاش دهنده

٤) ویبراتور های صفحه ای
٥) شمشه های غلتان ارتعاشی
٦) ماله آهنی یا تخته ماله ارتعاشی

ویبراتور های قالب :

- ویبراتور های قالب به طور محکم به بیرون قالبها وصل می شوند و در موارد زیر مفید واقع می شوند :

١) برای متراکم ساختن بتن در اعضایی که بسیار نازک هستند یا ازدحام آرماتور در آنها زیاد است .
٢) به عنوان مکمل ویبراتورهای داخلی مورد استفاده قرار می گیرند.
٣) برای مخلوطهای سفت که امکان استفاده از ویبراتورهای داخلی در آنها میسر نیست .

- اتصال مستقیم یک ویبراتور قالب ، برقالب عموما رضایت بخش نیست بلکه باید به یک صفحه فولادی وصل شود که خود نیز متصل به تیرهای فولادی I یا ناودانی باشد که اینها هم بطور پیوسته در فواصلی معین از میان بست های قالب عبور کند .
- زمان ارتعاش برای ویبراتور های خارجی به طور قابل ملاحظه ای طولانی تر از زمان لازم برای ویبراتور های داخلی بوده عموما بین ١ تا ٢ دقیقه است .
- ویبراتورهای قالب نباید بیش از ٧٥٠ میلیمتر بالایی قالبها ی عمودی اعمال شوند .
- در مقاطع پر آرمه ای که نتوان ویبراتور داخلی را درآنها فرو برد گاهی اوقات اتصال یک ویبراتور قالب به قسمتهای خارج شده میلگرد از بتن ، ودر نتیجه مرتعش ساختن آرماتورها عمل تراکم را یاری می دهد .

میزهای ویبره :

- میزهای ویبره بیشتر در کار گاهای پیش ساخته مورد استفاده قرار می گیرند،آنها باید مجهز به دستگاههای کنترل باشند افزایش فرکانس و کاهش دامنه همچنان که عمل ار تعاش پیشرفت می کند سبب بهبود تراکم می شود .

ویبراتور های سطحی :

- ویبراتور های سطحی مانند شمشه های ار تعاش دهنده برای تراکم بتن در کفها وسایر کارهای بتنی تخت مورد استفاده قرار می گیرد .
- شمشه های ار تعاش دهنده کنترل مثبتی را در عملیات تراز کردن سطح بتن در قالب ارائه می دهند .
- این وسیله نباید برای بتن های با اسلامپ بیش از ٧٥ میلیمتر بکار رود .
- ارتعاش سطحی دالهای بتنی کمترین تاثیرات را در امتداد کناره های دال بر جای می نهد لذا باید از یک ویبراتور میله ای در امتداد قالبهای کناری اندکی پیش از اعمال شمشه ارتعاش دهنده استفاده شود .

شمشه های غلتان ارتعاشی :

- برای متراکم ساختن دالهای به ضخامت تا ١٥٠ میلیمتر توصیه میشود به شرطی که این گونه دالها آرمه نشده باشند یا به مقدار کمی آرمه شده باشند .

*. دالهای آرمه نشده به ضخامت ١٥٠ تا ٢٠٠ میلیمتر رامی توان به وسیله ویبراتورهای داخلی یا شمشه های ار تعاش دهنده متراکم ساخت . ارتعاش داخلی برای تمامی دالهای به ضخامت بیش از ٢٠٠ میلیمتر و هر دالی با ضخامت کمتر که دارای آرماتور ، لوله توصیه می شود .

درزهای اجرایی :

- درزهای اجرایی هنگامی ایجاد می شوند که بتن خمیری تازه در مجاورت با بتن سخت شده موجود قرار می گیرد و چسبندگی و آب بندی بسیار خوبی بین دو بتن ریزی مورد نیاز است .
- کیفیت یک درز بستگی به دو عامل دارد :

١) کیفیت بتن
٢) آماده سازی سطح سخت شده

*. در حالت کلی غالبا بتن نزدیک به سطح بالایی دارای کیفیت پایینی نسبت به بتن زیرین دارد (علت نشست ذرات وآب انداختن)

آماده سازی بتن سخت شده :

- هنگامیکه بتن تازه بر روی بتن سخت شده ریخته می شود برای بدست آوردن یک درز آب بند وبا چسبندگی خوب باید احتیاطات خاصی مبذول شود . بتن سخت شده باید : تمیز ، مرطوب ، نسبتا هم تراز ، و تا حدودی زبر بوده ومقداری از مصالح درشت دانه پدیدار باشد . برای زبر کردن سطح می توان از قلم چکش ، فوران آب یا ماسه پاشی استفاده کرد . (و یا استفاده از برس های سفت صورت کم بودن سن بتن)
- در اجرای برخی از سازه ها مانند سد ، سطح بتن باید جریان سریع هوا و آب برید ه شود تا پیش از آنکه گیرش نهایی در بتن رخ دهد ، سطح تمیزی از یک بتن خوب پدید آید .
- بعد از تمیز کردن کامل سطح بالایی دال زیرین روکشی از دو غاب و در فاصله کمی پیشاپیش لایه بالایی ، به طور محکم به سطح دال مالیده می شود .
- مضرس کردن سطح با ابزار بادی یا سایر تجهیزات مکانیکی ، روشهای رضایت بخشی برای عرضه یک بتن خوب بشمار می آید .
- در اجرای دیوارهای بتنی ، با استفاده از پر کردن قالبها به اندازه ۲۵ تا ۵۰ mm بیش از مقدار معین و با بر داشتن بتن اضافی درست پیش از عمل گیرش ، نتایج خوبی برای درزهای اجرایی افقی عاید می شود .

پیوند بتن تازه به بتن سخت شده :

- در مقاطع دیوارها که بتن ریزی روی بتن سخت شده انجام می پذیرد ، توصیه می شود لایه ای از ملات روی سطح سخت شده ریخته شود تا با لشتکی را فراهم آورد که بتن جدید بتواند روی آن قرار گیرد ملات باید دارای اسلامپی کمتر از ۱۵۰ mm بوده و از همان مصالح بتن مورد نظر ساخته شود (اما فاقد درشت دانه) ضخامت ملات حدود ۱۲ mm باید باشد .

بتن ریزی در زیر آب :

- اسلامپ نباید کمتر از ۱۲۵ mm باشد
- مقدار سیمان $\geq$ ۳۵۰kg/m^3 و مقدار سیمان مصرفی باید حدود ۱۵% ~ ۱۰ بیش از مقدار لازم برای مخلوط مشابه ریخته شده در هوای خشک باشد .
- روشهای مورد استفاده شامل موارد زیرند :

۱) نرمی ← لوله مستقیم صاف که طول آن به کافی بلند است
۲) پمپ بتن
۳) باکت های تخلیه شونده از پایین
٤) تزریق دو غاب به فضاهای خالی بین دانه های از پیش چیده شده ← برای بتن ریزی در آب جاری
٥) کیسه های زود گشا ← به شکل سوسیس اند که با بتن پر شده اند
٦) کیسه های شن که تا نصف پر از بتن خمیری اند ← برای کارهای موقتی وکوچک

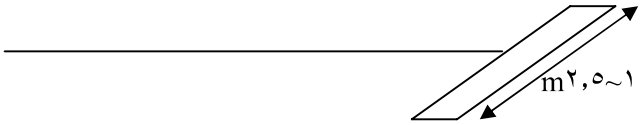
پرداخت دالهای بتنی :

- بتن پیش از عملیات تراز کردن نباید در سطح خیلی وسیعی پخش و پهن شود و نیز پیش از عملیات T کشی یا شمشه کشی نباید سطح وسیعی از بتن تراز شود .
- سطح زمینی که بر روی آن دال ریخته می شود باید به خوبی زهکشی شده باشد ، دارای ظرفیت بار بری یکنواختی بوده و عاری از یخ زدگی باشد .
- پیش از بتن ریزی سطح مورد نظر باید با آب مرطوب شود اما هنگامی که بتن ریزی آغاز می شود باید عاری از نقاط تر ، نرم یا گل آلوده باشد .

(۱) تراز کردن (شمشه کشیدن) : عبارتند از عمل زودودن بتن اضافی از سطح روئین جهت رسیدن به تراز مناسب

- وسیله ای که در روش دستی مورد استفاده قرار می گیرد . یک قطعه چوب یا فلز صلب است که لبه پایینی آن بسته به نوع سطح مقرر ممکن است به صورت یا دارای انحنا باشد .
- شمشه های لبه صاف مجهز به ویبراتور عملیت تراز کردن را کاهش داده وبتن را متراکم می کنند

(۲) T کشی یا شمشه کشی : برای از بین بردن نقاط پست وبلند سطحی ونیز برای فرو کردن دانه های درشت به درون بتن ، باید از T یا شمشه ، بلافاصله پس از عملیات تراز کردن ، بهره جست .



- T کشی در مراحل اولیه عملیات سطح بتن ، پیش از تخته مالی و عملیات پرداخت نهایی سطح مورد استفاده قرار می گیرد .
- برای بتن معمولی ، این ابزار ترجیحا باید از چوب ساخته شوند .
- برای با حباب هوا ، ابزار مزبور ممکن است آلیاژهای آلومینیم یا منیزیم باشند .
- عملیات T کشی پیش از آنکه هر گونه آب اضافی ناشی از آب انداختن روی سطح جمع شود باید پایان پذیرد .
- نباید بیش از اندازه با بتن کار کرد چرا که سطوح کم دوامی را به وجود می آورد .
- پس از T ، یک یا چند عدد از عملیات زیر انجام می گیرد: لبه کشی ، درز کشی ، تخته مالی ، ماله کش وجارو کشی پیش از آغاز هر یک از عملیات مزبور ، بتن باید به مقدار کمی سخت شده باشد.(درخشندگی ناشی از اب انداختن از میان برود)

(۳) لبه کشی و درز کشی : لبه کشی در امتداد تمامی درزهای جدا کننده و اجرایی در کفها ودال های بیرونی ، مانند پیاده روها ، ماشین روها ، ایوانها مورد نیاز است

- لبه کشی ، دال بتنی مجاور قالب را متراکم می سازد که موجب دوام بیشتر شده و آسیب پذیری آن از نظر پوسته شدکی وخرد شدگی کمتر می شود .
- در عملیات لبه کشی ، بتن باید به گودی ۲۵ mm باید ماله بنایی سه گوش باید ماله بند کشی از قالبها بریده شود .سپس یک لبه کش باید به طور تخت روی سطح قرار داده شود ، در حالیکه انتهای جلویی ، برای جلو گیری از فرو رفتن به سطح ، قدری بالا نگهداشته شده حرکت داده شود .
- دال ، درست پس از یا در حین عملیات لبه کشی ، باید درزکشی شود .
- روشهای اجرایی درزکشی مناسب می تواند باعث از بین بردن ترک های تصادفی بد منظره شود.
- درزهای کنترل با استفاده از یک شیار کش دستی ، اره برقی ، یا با کار گذاری نوارهایی از پلاستیک ، چوب ، فلز یا درزگیرهای پیش ساخته در درون بتن خمیری ساخته می شوند.

(٤) تخته مالی :

پس از عملیات لبه کشی و درز کشی ، سطح بتن باید یا به روش دستی با استفاده از ماله های تخته ای یا فلزی ، یا به روش ماشینی با استفاده از ماله های برقی صاف شود .

- اهداف چهار گانه تخته مالی به شرح زیر است :

۱) فرو کردن دانه های اندکی بر سطح بتن
۲) از بین بردن تخلخل سطحی ، بر جستگیها و عیوب و نواقص جزئی
۳) متراکم کردن ملات در سطح برای مهیا سازی عملیات پرداخت بعدی
٤) باز نگهداشتن سطح جهت امکان خروج رطوبت اضافی

(٥) ماله کشی :

- هنگامیکه یک سطح صاف ، سخت و متراکم مورد نظر باشد ، پس از تخته مالی باید از ماله کشی فلزی استفاده شود .
- تخته مالی و ماله کشی زود هنگام می تواند موجب پوسته شدگی موضعی ، ترک خوردگی سطحی ، یا پودر شدگی مصالح سطحی شود و نیز سطحی را ارائه می دهد که مقاومت سایشی آن کاهش یافته است .
- پخش کردن سیمان خشک بر روی یک سطح جهت جذب آب اضافی روش اجرایی بدی است و می تواند موجب ترک خوردگی سطحی شود در صورت امکان بوسیله تنظیم دانه بندی مصالح سنگی ، نسبتهای مخلوط و روانی باید از ایجاد اینگونه مناطق تر جلو گیری به عمل آورد . بااین حال اگر مناطق که بوجود آیند ، عملیات پرداخت باید به تعویق افتد تا در نهایت آب تبخیر شده یا توسط یک پا روی لبه لاستیکی برداشته شود .
- بین ماله کشیهای متوالی باید مدتی بگذرد تا بتن بتواند سخت تر شود .

(٦) جارو کشی

- پیش از آنکه بتن کاملا سخت شود ، یک سطح مقاوم در برابر لغزش را می توان از طریق جارو کشی تولید کرد .(پس از عملیات تخته مالی)
- خطوط در شت زمخت را با استفاده از ابزارهای زیر می توان به دست آورد :
  ١) شن کش ٢) جاروی سیمی ٣) جاروی پلاستیکی با رشته های سفت ودرشت
- دال ها معمولا در جهت عمود بر محور اصلی عبور مرور جارو کشی می شوند .

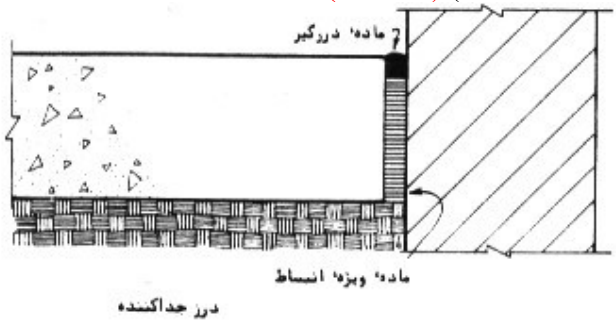
(٧) نقشها و بافتهای سطحی (تولید پرداختهای تزئینی)

- نقشها را درست پیش از سخت شدن بتن می توان با استفاده از ابزارها ی زیر ایجاد کرد :
١) نوارهای تقسیم کننده ٢) بریدگی ٣) مهر زنی سطح
- بافتهای سطحی را با کوشش و هزینه کمی می توان توسط تخته ماله ، ماله ، جارو تولید کرد .
- بافتهای پر کارتر را توسط روشهای ویژه با استفاده از اندود ماسه و سیمان یا پودر سنگ می توان بدست آورد .
- پرداخت بتن با دانه های نما نمایان ، سطح نا هموار جالب توجهی را پدید می آورد .دانه های دست چین شده ، معمولا دارای اندازه های یکنواخت مثلا" ٣/٨ تا "١/٢ (١٢ ~ ١٠ میلیمتر) یا بزرگتر ، بلافاصله پس از T کشی یا شمشه کشی دال باید بطور یکنواخت روی سطح پخش شوند . از دانه های پولکی یا دراز نباید استفاده کرد زیرا هنگام نما سازی ممکن است از جای خود کنده شوند .

درز سازی در کفها و دیوارها :

- سه نوع درز متداول :

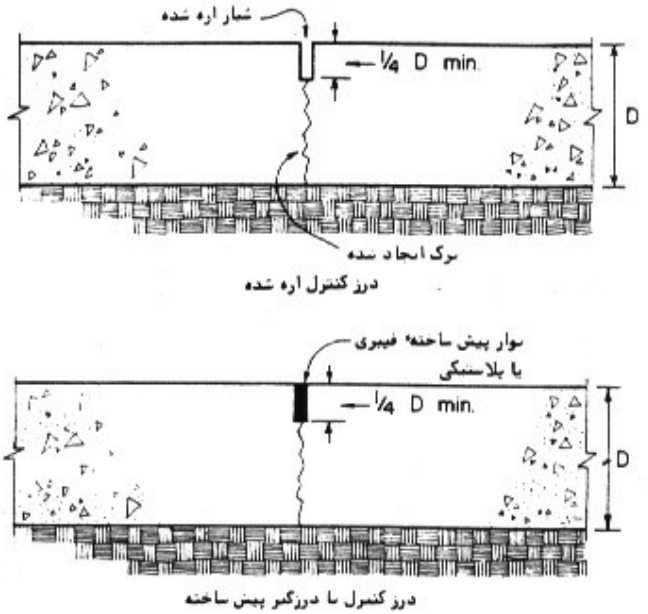
١) درزهای جدا کننده (درزهای انبساط) (شکل ٩-٩)



شکل ٩ـ٩ : درزهای جداکننده حرکتهای افقی و قائم میان صورتهای انتهایی دال و قسمتهای ثابت ساختمان را میسر می‌سازد.

حرکتهای افقی و قائم میان صورتهای انتهایی دال و قسمتهای ثابت ساختمان را میسر می سازد .

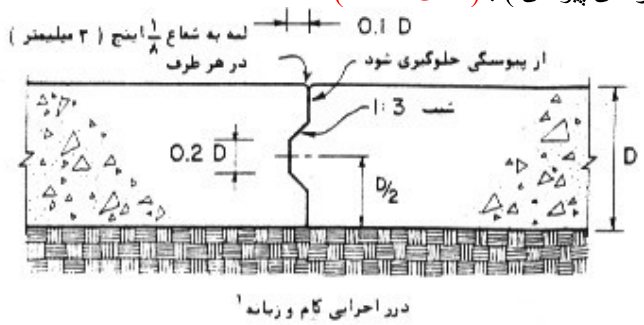
۲) درزهای کنترل (درزهای انقباض یا شیار دار) : (شکل ۹- ۱۰)



شکل ۹ــ۱۰ : درزهای کنترل حرکت افقی یک دال یا دیوار را در صفحهٔ خود امکان‌پذیر می‌سازند و موجب پدیدآمدن ترکهای آبرفتگی ناشی از خشک‌شدن در محلهای از پیش تعیین شده می‌شوند .

حرکت نسبی یک دال یا دیوار را در صفحه خود امکان پذیر می سازد و موجب پدید آمدن ترک های آبرفتگی ناشی از خشک شدن در محل های از پیش تعیین شده می شوند . در صورت عدم استفاده از این درزها ترکهای تصادفی بوجود خواهند آمد .

۳) درزهای اجرایی (درزهای پیوندی) : (شکل ۹-۱۱)



شکل ۹ــ۱۱ : درزهای اجرایی نقاط پایانی در مراحل ساخت به شمار می‌آیند .

- صرفا نقاط پایانی در مراحل ساخت بشمار می آیند .
- یک درز اجرایی خوب باید بتن جدید را به بتن موجود بچسباند و از حرکت افقی یا عمودی جلو گیری بکند.
- در بیشتر سازه ها ، درزهایی مورد نظرند که از زیبایی ظاهری نکاهند .
- در دیوارها ، درزهای اجرایی افقی مستقیم را با میخ زدن یک قطعه نوار چوبی ۱ اینچی (۲۵ mm) به سطح درونی قالب ، نزدیک به بالای آن ، می توان ساخت . سپس بتن باید به ترازی حدود ۱/۲ اینچ (۱۳ mm) بالاتر از سطح پائینی نوار چوبی ریخته شود .بعد از استقرار بتن و قبل از سخت شدن آن ، هر گونه شیره سیمانی که روی سطح بالایی جمع شده است ، باید پاک شود .

نوار چوبی را سپس می توان برداشت و نامنظمیها ی درز را هموار ساخت . قالبها برداشته می شوند و سپس برای بتن ریزی مرحله بعدی در بالای درز اجرایی بار دیگر بسته می شوند روش دیگر ، استفاده از یک نوار شیار ساز است که برای ایجاد شیار در بتن به دلایل معماری می توان بکار برد . نوارهای شیار ساز ممکن است v شکل ، مستطیلی ،یا کمی مورب باشند .

- فواصل درزهای کنترل در کفهای روی زمین بستگی دارد به :

۱) ضخامت دال
۲) استعداد آب گرفتگی بتن
۳) شرایط محیط عمل آوردن

- فواصل پیشنهادی برای درزهای کنترل در جدول ۹-۱ مشاهده می شود .

جدول۹-۱: فواصل پیشنهادي براي درزهاي کنترل*

اسلامپ کمتر از ۱۰۰mm: فاصله بر حسب متر	اسلامپ ۱۰۰mm یا بیشتر		ضخامت دال mm
	دانه بزرگتر یا مساوي ۱۹mm: فاصله بر حسب متر	دانه کوچکتر از ۱۹mm: فاصله بر حسب متر	
۳,٦	۳,۰	۲,٤	۱۰۰
٤,٥	۳,۸	۳,۰	۱۲٥
٥,٤	٤,٥	۳,٦	۱٥۰
٦,۳	٥,۳	٤,۲	۱۷٥
۷,۲	٦,۰	٤,۸	۲۰۰
۸,۱	٦,۸	٥,٤	۲۲٥
۹,۰	۷,٥	٦,۰	۲٥۰

*. فواصل داده شده شامل فاصله درزهاي جداکننده افقي با درزهاي اجرايي افقي از درزهاي کنترل نيز ميشود.

- پانلهای به دست آمده باید تقریبا مربعی باشند . پانلهایی که نسبت طول به عرض آنها زیاد باشد (بیشتر از ۱ ½ به ۱) ، احتمالا ترک بر می دارند .
- ایجاد یک بریدگی ممتد در بالای دال به کمک یک اره برقی ، یکی از اقتصادی ترین روشها برای اجرای درزهای کنترل به شمار می آید .اره کردن دال باید بلافاصله پس از سخت شدن بتن ، به اندازه ای که از کنده شدن دانه ها به وسیله اره جلو گیری کند ، باید آغاز و پیش از آنکه تنشهای آبرفتگی حین خشک شدن به اندازه ای زیاد شود که ایجاد ترک کند ، باید پایان پذیرد .
- درزهای کنترل را می توان با استفاده از شیار کشهای دستی را با قرار دادن نوارهایی از چوب ، فلز یا درز گیرهای پیش ساخته در محل درز ، درون بتن تازه ایجاد کرد لبه بالایی نوارها باید با سطح بتن هم تراز باشد .
- حد اقل عمق درزهای کنترل ۱/٤ ضخامت دال می باشد
- در دیوارهای کم آرمه نیمی از میلگردهای فولادی باید در محل درز به طور یک در میان قطع شوند.
- درز های کنترل در دیوارها نباید بیشتر از ٦ m از یکدیگر فاصله داشته باشند .
- در مناطقی که تغییر نا گهانی در ضخامت یا ارتفاع رخ می دهد ویا در صورت امکان در نزدیکی گوشه ها ، درزهای کنترل باید قرار گیرند که فاصله آنها می تواند به ۱,٥ m نیز برسد .

برداشتن قالبها (باز کردن قالبها) :

- قالبها مادامی که بتن به اندازه کافی مقاومت پیدا نکرده تا بتواند بطور رضایت بخشی تنشهای ناشی از بار مرده و نیز هر گونه بار اجرایی وارده را تحمل کند نباید برداشته شوند .
- جدول ۹-۲ سنهای لازم برای کسب مقاومتهای معینی را تحت شرایط متوسط نشان می دهد این سنها برای بتن با حباب هوا است که دارای نسبت w/c=۰,٥۳ می باشد (رابطه سن – مقاومت) .

جدول ۹-۲: رابطه سن- مقاومت براي بتن با حباب هوا

سن		مقاومت Psi(Mpa)
نوع ۳ یا سیمان با مقاومت زودرس	نوع ۱ یا سیمان معمولي	
۱۲ ساعت	۲٤ ساعت	٥۰۰(۳,٥)
۱۸ ساعت	۱ ½ روز	۷٥۰(٥,۲٥)
۱ ½ روز	۳ ½ روز	۱٥۰۰(۱۰,٥)
۲ ½ روز	٥ ½ روز	۲۰۰۰(۱٤)

- یادآوری این نکته ضروری است که مقاومتها تحت تاثیر مصالح بکار رفته ، دما وسایر شرایط نیز قرار دارد .
- جهت شل کردن قالبها ، تمام بر جستگیها و خطوط نشت و پیش آمدگیهای کوچک باید بوسیله قلم زنی یا دیگر ابزار فلزی دیگر استفاده شود و در صورت نیاز باید از گوه های چوبی استفاده کرد .

لکه گیری ، پاک کردن ، وپرداخت سطوح قالب گیری شده :

- پس از برداشتن قالبها ،تمام بر جستگیها و خطوط نشت و پیش آمدگیها ی کوچک باید بوسیله قلم زنی یا دیگر ابزار از بین برده شوند . سطح بتن سپس باید سابیده یا مالیده شود . هر گونه سوراخ میله ای بست ، باید پر شود .
- سطوح کرمو باید مرمت شده و تمام لکه ها پاک شوند واین کار باید زودتر و بلافاصله پس از برداشتن قالبها انجام شود .

(۱) سوراخها ونقصها :

- سوراخ پیچها ، سوراخ میله های بست و سایر حفره هایی که دارای سطح کوچک اما نسبتا گود اند ، باید با ملات بسیار سفت و متراکم پر شوند .
- نسبتهای مخلوط به ان شرح است :

۱ قسمت سیمان پر تلند
۲ ½ قسمت ماسه که از الک شماره ۱٦ رد می شود.
آب به اندازهای که ملات حاصل را با دست بتوان به صورت گلوله در آورد

- ملات در لایه ای به ضخامت ۱/۲ (۱۳ mm) باید با فشار به درون حفره کوبیده شود و هر لایه به صورت مفرس پرداخت شود تا پیوند لایه ها بهتر باشد .
- قبل از مرمت بتن (به هر دلیلی نظیر کرمو بودن و...) باید قسمتهای معیوب کرمو کنده تا به مرور زمان عوامل جوی موجب کنده شدن بتن مرمت شده شود .
- پیش از اعمال بتن لکه گیری ، بتن اطراف باید برای چندین ساعت خیس نگهداشته شود . تمام سطوحی که بتن جدید به آنها پیوند داده می شود ، باید بوسیله برس دو غاب زده شوند . این دو غاب دارای نسبتهای زیر است : ۱ قسمت سیمان پر تلند ، ۱ قسمت ماسه ریز که از الک شماره ۳۰ (٦۰۰mm) رد می شود وآب اختلاط به اندازه کافی برای کسب یک روانی چرب . هنگام دو غاب ریزی ، سطح باید مر طوب بوده ،اما خیس نباشد .

(۲) عمل آوردن تکه های لکه گیری شده :

- عمل آوردن خوب برای لکه گیری موفقیت آمیز یک امر ضروری است . تکه لکه گیری شدهای که دیده می شود با نایلون پوشیده شده و به خوبی ایزوله شده است تا برای هیدراسیون و کسب مقاومت سریع ، رطوبت و حرارت آن حفظ شود کرباستر ، ماسه خیس ، نایلون ، یا که کرباس ضد آب را می توان به کار برد .

(۳) پاک کردن سطوح بتنی جدید : (از ماده رها ساز ، لکه های ملات ناشی از نشت ، لکه های زنگ زدگی)

برای پاک کردن سطوح بتنی ، سه روش وجود دارد :
آبی ، شیمیایی ، و مکانیکی (سا یشی)
* آ ب ← لکه های کثیف را حل می کند و آنها را از سطح می شوید .

** شیمیایی ← پاک کننده های شیمیایی ، که معمولا با آب مخلوط می شوند ، با ذرات چرک ، واکنش انجام داده و آنها را از سطح جدا می سازند
*** مکانیکی ← ماسه پاشی متداولترین آنهاست .
* روشهای پاک کردن با آب شامل موارد زیر است :
۱) شستشو با فشار کم ۲) آب پاشی با فشار متوسط تا زیاد ۳) بخار

- مسائل مر بوطه در روش آبی :
۱) آسیب در اثر دمای یخ زدگی
۲) آوردن نمکهای محلول به سطح بتن
۳) شوره زدگی

** پاک کننده های شیمیایی معمولا به صورت محلول برای مصالح مشخصی مانند آجر ، سنگ و بتن تنظیم می شوند .
یکی از ترکیبات آلی که ماده فعال سطحی نامیده می شود اسید کلریدریک می باشد .
*** روشهای پاک کردن مکانیکی شامل عملیات سایشی (ماسه پاشی) و قلم زنی و سمباده برقی است
پاک کردن مکانیکی ، شیره سیمان ، پوسته شدگی سطحی ، چرکها را از بین برده و بتنی تمیز ، خوب ، ومقاوم نمایان می سازد .

(٤) پرداخت سطوح قالب گیری شده :
- سطوح قالب گیری شده به دو دسته عمومی تقسیم می شوند :
۱) سطوح صاف
۲) سطوح بافت دار یا نقش دار

- سطوح صاف با استفاده از قالبهای زیر تولید می شوند :
قالبهای با پوشش پلاستیکی
قالبهای فولادی
قالبهای پلاستیکی آرمه شده با شیشه الیافی
قالبهای پلاستیکی چند لا
قالبهای فیبری آب داده

- سطوح با فت دار یا نقش دار را با گونه های زیر می توان بدست آورد :
الوارزبراره شده
انواع ویژه تخته چند لا
پوششهای درون قالبی
شکستن پیش آمدگیهای سطوح شیار دار

- پرداخت صافي كه با ساييدن سطح بتن تازه سخت شده بدست مي آيد ، نبايد ديرتر از يك روز بعد از قالب برداري انجام گيرد. پس از خيس شدن سطح مورد نظر ، با يك آجر سمباده اي يا با سابنده ديگري ماليده مي شود تا بافت و رنگ يكنواخت رضايت بخشي پديد آيد.
- پرداخت با دوغاب براي به دست آوردن رنگي يكنواخت و ظاهري صاف ، ميتواند مورد استفاده قرار گيرد.
- دوغابي كه داراي ۱ قسمت سيمان پرتلند و ½ ۱ تا ۲ قسمت ماسه ريز است ، با استفاده از يك برس ، يا يك ماله پلاستر سيمانكاري و يا يك ماله لاستيكي بايد بطور يكنواختي اعمال شود تا حفره ها و حباب هاي هوا را كاملا" پر كند.
- تمام يا قسمتي از سيمان مصرفي در دوغاب ممكن است از سيمان پرتلند سفيد تشكيل يابد تا با رنگ بتن موجود هماهنگ باشد.
- بلافاصله پس از اعمال دوغاب ، سطح بايد به خوبي با يك تخته ماله ، ماله لاستيكي اسفنجي ، يا ماله چوب پنبه اي صاف شود تا حفره هاي ريز هوا را كه باقي مانده پر كرده و نيز دوغاب اضافي را تا اندازه اي بزدايد. با يك حركت رفت و برگشتي ماله ، دوغاب از حفره ها بيرون كشيده نمي شود.

عمل آوردن و حفاظت:

- عمل آوردن به دليل زير ضروري است:
نگهداري بتن تحت دماي نسبتا" ثابت و جلوگيري از افت رطوبت براي مدت زماني كه براي هيدراسيون مطلوب سيمان و براي كسب مقاومت بتن مورد نياز است.
- عمل آوردن بايد تا حد امكان بلافاصله پس از پايان كار بتني آغاز شود.

پرداختهاي سطحي ويژه:

- روشهاي نمايياندن دانه ها در بتن درجا:
١) استفاده از كندگيركننده ها و سابيدن
٢) سايش ماشيني
٣) چكش كاري
٤) شستن و برس زني
٥) سمباده زني

*. در روش استفاده از كند گيركننده ها ، بطوركلي بايد از نوع نامحلول در آب استفاده كرد. با استفاده از يك برس و آب پاشي ملايم، كند گير كننده سفت مالش داده شده و پاك ميشود. هنگاميكه بتن آنقدر سخت شود كه با سابيدن عادي پرداخت مطلوب ممكن نباشد ، از اسيد كلريدريك رقيق ميتوان استفاده كرد.
**. سايش ماشيني براي بتن هاي با دانه بندي گسسته مناسبتر است.افشانك دستگاه بايد عمود بر سطح نگهداشته شود و سطح حداكثر به مقدار تقريبا" ١/٣ اندازه درشت دانه ، برداشته شود.تنها يكبار شايش ماشيني ، ميتواند سطحي زبر و يكنواخت توليد كند.
***.با استفاده از چكش دندانه دار يا ابزارهاي ديگر ، لايه اي از بتن سخت شده برداشته ميشود ودانه هاي سطحي شكسته ميشوند.سطح بدست آمده ميتواند از يك تراشيدگي ضعيف تا يك كنده شدگي شديد تغيير كند.
****.در شستن و برس زني ، با استفاده از آب پاشي ملايم ، لايه سطحي ملات بايد به دقت شسته شده و پاك شود، و تا رسيدن به نماي مطلوب عمل برس زدن ادامه يابد.(مناسب براي دال هاي افقي)
*****. سمباده زني سطوح بتني بايد در چندين گام متوالي صورت گيرد. به طوريكه گرانول ماسه سنگ در هر گام بايد ريزتر از گرانول قبلي باشد . سپس با اعمال يك ماده صيقل دهنده ميتوان سطح پرداخت شده صافي را بدست آورد.

رنگها و روكشهاي روشن:

- برخي از رنگهاي عمده مورد استفاده عبارتند از:
١) رنگهاي آستري سيمان پرتلند
٢) سيمان پرتلند اصلاح شده با ليتكس
٣) رنگهاي ليتكس(استات پلي وينيل و اكلريليك)

١) رنگهاي آستري سيمان پرتلند را ميتوان هم براي نماهاي داخلي و هم خارجي بكاربرد.سطح بتن بايد در هنگام اعمال آن مرطوب باشد، وهر لايه بايد تا حد امكان بلافاصله مرطوب شود بدون آنكه آشفتگي در رنگ پديد آيد.رنگ كردن اعضاي بتني كه داراي بافت سطحي بازاند بايد با برس هايي كه رشته هاي سفت دارند انجام گيرد. براي بتني كه داراي سطحي صاف يا ماسه اي است ، استفاده از برس هاي اعمال دوغاب سفيد يا برس هاي كلسيمين نوع هلندي بهترين روش بشمار مي آيد.
٢) تركيبات ليتكس كه در رنگهاي سيمان پرتلند اصلاح شده با ليتكس بكار ميروند ، سبب كند شدن تبخير آب شده و بنابراين آب مورد نياز براي هيدراسيون سيمان پرتلند را نگه ميدارند .عمل آوردن مرطوب براي رنگهاي اصلاح شده با ليتكس غير ضروري است.
٣) رنگهاي ليتكس در برابر قلياييي ها مقاومند، و مي توانند پس از ١٠ روز در هوايي كه داراي شرايط مساعدي از نظر خشك شدن است ، اعمال شوند.رنگها بايد روي سطوح مرطوب اعمال شوند، نه روي سطوح خيس.

- روكش هاي روشن غالبا" به دلايل زير روي سطوح بتني مورد استفاده قرار ميگيرند:
١) براي جلوگيري از كثيف شدن يا تغيير رنگ بتن در اثر آلودگي
٢) براي آساني در تميز كردن سطح در صورت چرك شدن
٣) جهت روشن نمودن رنگ دانه ها
٤) براي ارائه يك سطح دافع آب كه از تغييرات رنگي ناشي از جذب آب جلوگيري ميكند

- روكشهاي بهتر، غالبا" متشكل از نوعي تركيبات رزين اكريليك موسوم به متيل متا كريلات است . روكشهاي حاوي متيل متا كريلات هنگاميكه روي بتن صاف بكار ميرود ، بايد داراي اجسام جامد بيشتر و غلظت بالاتر باشد، زيرا نگهداري نماي اصلي بتن صاف مشكلتر از نگهداري نماي اصلي بتن يا دانه هاي نمايان است.

فصل ۱۰

عمل آوردن بتن

هدف هاي عمل آوردن بتن:

۱) جلوگيري از كاهش رطوبت در روزهاي نخست پس از بتن ريزي(يا فراهم ساختن مجدد آن)
۲) كنترل دماي بتن براي يك مدت معلوم

مصالح وروشهاي عمل آوردن: (در شرايط مرطوب)

(۱) روشهايي كه حضور آب اختلاط در بتن را در دوره سخت شدن اوليه حفظ مي كنند: (سودمند در هواي گرم)
۱) ايجاد بركه يا غوطه وري
۲) آب پاشي و ايجاد مه
۳) پوشش هاي خيس اشباع شده
(۲) روشهايي كه از كاهش آب اختلاط بوسيله اندود كردن سطح جلوگيري ميكنند:
۱) پوشاندن با كاغذهاي نفوذ نا پذير يا نايلون
۲) اعمال مواد محافظ غشا ساز
(۳) روشهايي كه كسب مقاومت را با ايجاد گرما و رطوبت به بتن تسريع مي كنند:
۱) بخار زنده
۲) سيم پيچ هاي گرمازا
۳) بالشتكها
٤) قالب هايي كه بطور الكتريكي گرم ميشوند

ايجاد بركه يا غوطه وري:

- عمل آوردن سطوح تخت مانند جاده ها ، پياده رو ها، و كف ها با ايجاد بركه (ديواره هايي از ماسه يا خاك نفوذ نا پذير در پيرامون بتن) صورت ميگيرد
- آب عمل آوردن ، نبايد بيش از حدود ۱۱°c خنك تر از بتن باشد تا از تنش هاي حرارتي جلوگيري شود.
- كاملترين روش عمل آوردن با آب از طريق غوطه وري كامل عضو بتن انجام ميگيرد (نمونه هاي آزمايشي)

آب پاشي يا ايجاد مه:

- هنگاميكه دماي محيط به اندازه كافي بالاتر از حد يخ زدگي باشد اين روش براي عمل آوردن مناسب است.
- شلنگ هاي آب با جريان مداوم براي سطوح قائم يا تقريبا" قائم سودمند است.
- معايب روش فوق: هزينه آب پاشي-- فرسايش سطح -- ايجاد تركهاي سطحي ناشي از آب رفتگي به دليل سيكل هاي متناوب تر و خشك شدن

پوشش هاي خيس:

- كرباس خيس، سفره هاي كتاني ضخيم، موكت خيس، لايه اي خيس از خاك، ماسه يا خاك اره به ضخامت حدود ٥cm كاه يا علف خيس در لايه اي به ضخامت .۱٥cm
- يكي از نقاط ضعف اصلي در استفاده از پوشش هاي خيس خاك ، ماسه، خاك اره، علف وكاه امكان تغيير رنگ بتن است.

كاغذ نفوذ ناپذير: تركيبي از دو لايه كاغذ كرافت كه بوسيله ماده قيري به يكديگر چسبانده شده و مجهز به رشته هاي نازك تقويتي است.

- با اين روش، مرطوب كردن مرتب ، مورد نياز نيست.
- روش موثر براي عمل آوردن سطح افقي بشمار ميرود.

پوششهاي نايلوني:

- پوشش هاي نايلني مانند ورق پلي اتيلن مصالح ضد رطوبت موثري هستند كه براحتي براي اشكال پيچيده و ساده مورد استفاده قرار ميگيرند.
- ورق هاي پلي اتيلن بايد ضخامتي برابر ٤ ميل(٠,١mm) دارا باشند.(هر ١Mil =١/١٠٠٠ inch)

مواد محافظ غشا ساز:

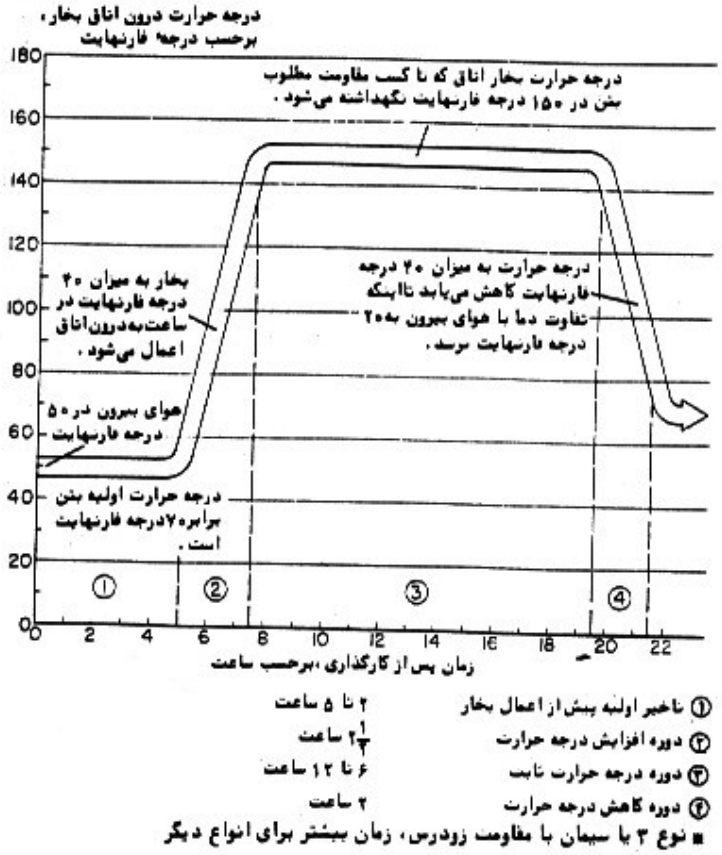
- تركيبات غشا ساز مايع: موم، رزين، لاستيك كلرينه شده، وحلالهاي بسيار فرار
- مواد محافظ غشا ساز از دو نوع كلي تشكيل يافته اند : ١) روشن يا نيم شفاف
  ٢) سفيد رنگ
- مواد محافظ بايد بلا فاصله پس از پرداخت نهايي بتن با دستگاه هاي اسپري دستي يا برقي اعمال شوند تا به گونه اي صاف و يكنواخت تمامي سطح را بپوشانند.

قالب هاي درجا نگاه داشته شده:

- قالب هاي نفوذ ناپذير ، حفاظ رضايت بخشي بشمار ميروند.
- قالب هاي چوبي كه درجا نگاه داشته ميشوند ، با استفاده از آب پاشي باي مرطوب نگهداشته شوند، بويژه هنگاميكه هوا گرم و خشك است.

عمل آوردن با بخار:

- اين روش هنگامي سودمند است كه كسب مقاومت اوليه بتن حائز اهميت بوده يا موقعي كه به گرماي بيشتري از نظر هيدراسيون ، مثلا" در هواي سرد، نياز باشد.
- دو روش عمل آوردن با بخار جهت كسب مقاومت اوليه بتن:
  ١) عمل آوردن با بخار زنده در فشار اتمسفري (براي سازه هاي بتني درجا كه در محيط بسته ((كرباس ضد آب)) قرار داده شده اند و واحدهاي پيش ساخته)
  ٢) عمل آوردن با اتوكلاو در بخار با فشار بالا(براي واحد هاي توليدي كوچك)
- نمونه اي از سيكل عمل آوردن با بخار در فشار اتمسفري در شكل ١٠-٦



شكل ١٠ـ٦: نمونه‌ای از سیکل عمل‌آوردن با بخار در فشار اتمسفری (به‌طور ایده‌آل)

پوششها يا پتوهاي عايق:

- هنگاميكه دما به پايين تر از ۳۲°F (۰°C) ميرسد، لايه هايي از مواد خشك خلل و فرج دار مانند كاه يا علف ممكن است براي عايق ساختن بتن در برابر يخ زدن بكار روند.
- پوششها شامل: پشم شيشه ، لاستيك اسفنجي، الياف سلولز، پشم معدني، كف وينيل، و كف پلي اورتال غير زنجيره اي
- با محفظه هاي قاب بندي شده اي از كرباس ، ورقه هاي پلي اتيلن تقويت شده ، يا ساير مصالح ميتوان دورتادور سازه را پوشانيد وبوسيله بخاري هاي بزرگ يا بخار گرم كرد.

مدت عمل آوردن:

- مدت عمل أوردن بستگي به عوامل زير دارد:

۱) نوع سيمان
۲) مقاومت لازم
۳) نسبت سطح نمايان بتن به حجم أن
٤) هوا

- براي بتن هابي كم سيمان با ماده پوزولاني (كه در سازه هاي حجيم مانند سدها بكار ميرود)، مدت مزبور ممكن است ۳ هفته يا بيشتر باشد.
- براي مخلوط هاي پر سيمان ، بويژه اگر سيمان نوع ۳ مصرف شود، اين دوره ممكن است فقط چند روز باشد.
- دوره هاي عمل اوردن با بخار معمولا" بسيار كوتاهترند.
- چون همه خواص مطلوب بتن با عمل اوردن بهبود مي يابد، بر اين اساس دوره عمل اوردن در همه شرايط بايد تا انجا كه امكان دارد طولاني باشد.
- براي دالهاي بتني روي زمين (مانند كف ها،رويه ها ، ايوانها ، پاركينگ ها ، ماشين روها ، پياده روها) وبراي بتن هاي سازه اي درجا (مانند ديوارها، ستون ها، دالها، تيرها، شالوده هاي كوچك، پايه هاي پل، ديوارهاي حائل ، كف پلها)، مدت زمان عمل آوردن در دماي محيطي بالاتر از c ° ٤ حداقل ۷ روز يا مقدار زمان لازم براي كسب ٪۷۰ مقاومت خمشي يا فشاري مقرر است.
- براي بتن هاي حجيم كه مصالح سيمان آنها فاقد پوزولان است ، عمل آوردن مقاطع آرمه نشده بايد حداقل بمدت ۲ هفته بطول انجامد. اگر بتن حجيم داراي پوزولان باشد ، حداقل زمان عمل آوردن براي مقاطع آرمه نشده بايد به ۳ هفته برسد.
- مقاطع بتني حجيم پر آرمه بايد به مدت حداقل ۷ روز عمل آورده شوند.
- در هواي سرد ، براي حفظ درجات حرارت۲۰°c~۱۰ جهت عمل آوردن بتن ، گرماي بيشتري مورد نياز است.اين گرما با استفاده از بخاري هاي نفتي يا گازي با هواكش ، سيم پيچ هاي گرما زا ، يا بخار زنده فراهم ميشود.
- براي تسريع زمان گيرش و كسب مقاومت در هواي سرد ، مي توان از بتن با مقاومت زودرس استفاده كرد.استفاده از آن ميتواند دوره عمل آوردن را از ۷ روز به ۳ روز كاهش دهد. اما درجه حرارت برابر با ۱۰°c براي هر ۳ روز بايد در بتن حفظ شود.
- براي اينكه بتن در برابر مواد شيميايي يخ زدا مقاومت كافي از نظر پوسته شدگي داشته باشد، حداقل دوره عمل آوردن عموما" بايد معادل زمان لازم براي كسب مقاومت طراحي بتن باشد.

فصل ١١

بتن ريزي در هواي گرم

- هواي گرم اشكالات زير را در بتن تازه ايجاد مي نمايد:

١) افزايش نياز به آب
٢) افت سريعتر و شديدتر اسلامپ
٣) افزايش سرعت گيرش(زمان گيرش كاهش مي يابد)
٤) افزايش امكان تركهاي پلاستيك
٥) اشكالات در كنترل مقدار حباب هاي هوا (افزايش مواد حباب زا)
٦) نياز شديد به عمل آوردن سري

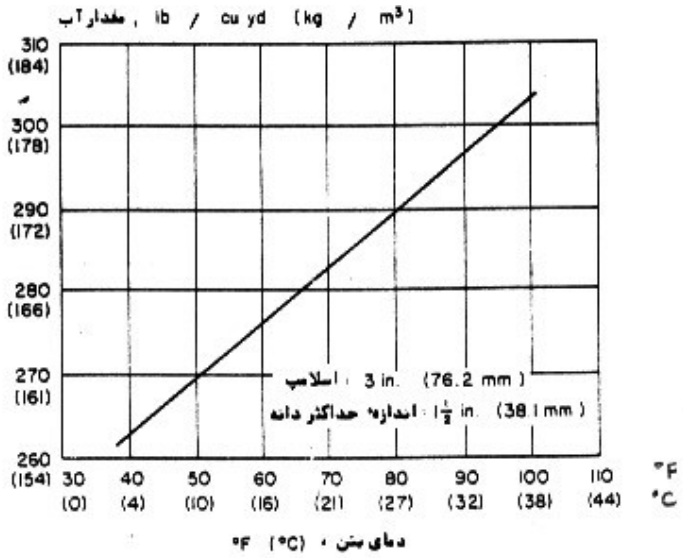
- تاثير افزايش آب در كارگاه:

١) كاهش مقاومت
٢) كاهش دوام و آب بندي
٣) ظاهر سطح غير يكنواخت
٤) افزايش تمايل به آبرفتگي در حين خشك شدن و ترك خوردگي ناشي از اختلاف دما

- دماي مطلوب بتن١٠~١٦°c است، ليكن هميشه مقدور نيست. بسياري از مشخصات فقط مقرر ميدارند هنگاميكه بتن ريخته ميشود بايد دمايي كمتر از ٢٩~٣٢°c داشته باشد.

اثرات دماي بالاي بتن:

- با افزايش دماي بتن ، افتي در اسلامپ بوجود مي آيد كه براي ثابت نگهداشتن اسلامپ مقدار آب بيشتري مورد نياز خواهد بود. افزودن آب بدون افزودن سيمان، نسبت w/c بيشتري را ارائه ميدهد. كه در نتيجه مقاومت در سنين بعدي پايين آمده و روي ساير خواص مطلوب بتن سخت شده بطور معكوس اثر ميگذارد.
- آب مورد نياز يك مخلوط بتن با افزايش دما ، مطابق شكل ١١-١ ازدياد ميابد.
-



شكل ١١-١: آب مورد نياز يک مخلوط بتن با افزايش دما ، ازدياد مي‌يابد .

خنك كردن مصالح بتن:

- دماي بتن تازه به دماي اجزاي متشكله آن بستگي دارد.
- دماي بتن عمدتا" به دماي دانه ها بستگي دارد، ليكن دماي بتن ممكن است بطور موثري با آب اختلاط خنك پايين آورده شود.
- دماي تقريبي بتن را ميتوان از دماي اجزاي متشكله آن بوسيله فرمول (١) محاسبه كرد . و در صورت استفاده از يخ به عنوان قسمتي از آب اختلاط از فرمول(٢) استفاده ميشود.

فرمول ۱)

$$T= (0.22(TaWa+TcWc)+TwWw+TwaWwa) /(0.22(Wa+Wc)+Ww+Wwa)$$

فرمول ۲)

$$T= (0.22(TaWa+TcWc)+TwWw+TwaWwa-112Wt) /(0.22(Wa+Wc)+Ww+Wwa+Wt)$$

- مثال محاسباتي براي دماي اوليه بتن در جدول ۱۱-۱ نشان داده شده است(متريك)

جدول ۱۱-۱:

الف- اثر دماي مصالح روي دماي اوليه بتن

مصالح	وزن M Kg/m۳	گرماي ويژه Kj/kg.k	ژول براي تغيير درجه سيلسيوس دما	دماي اوليه مصالح T °C	كل ژول در مصالح
	(۱)	(۲)	(۳) ستون ۱×ستون۲	(٤)	(٥) ستون ۳×ستون٤
سيمان	۳٥٥(Mc)	۰,۹۲	۳۰۸	٦٦(Tc)	۲۰,۳۲۸
آب	۱٦۷(Mw)	٤,۱۸٤	٦۹۹	۲۷(Tw)	۱۸,۸۷۳
كل دانه	۱۸۳۹(Ma)	۰,۹۲	۱٦۹۲	۲۷(Ta)	٤٥,٦۸٤
			۲٦۹۹		۸٤,۸۸٥

دماي اوليه بتن= 84.885/2699=31.4 °c

براي رسيدن به ۱ درجه سيلسيوس كاهش در دماي اوليه بتن:

دماي سيمان بايد به مقدار ۲٦۹۹/۳۰۸=۸,۸°c كاهش يابد

يا دماي آب به مقدار ۲٦۹۹/٦۹۹=۳,۹°c نزول كند

يا دماي دانه به مقدار ۲٦۹۹/۱٦۹۲=۱,٦°c خنك شود

ب-اثر يخ (۳٤kg) روي دماي بتن

	(۱)	(۲)	(۳)	(٤)	(٥)
سيمان	۳۳٥(Mc)	۰,۹۲	۳۰۸	٦٦(Tc)	۲۰,۳۲۸
آب	۱۲۳(Mw)	٤,۱۸٤	٥۱٥	۲۷(Tw)	۱۳,۹۰٥
دانه	۱۸۳۹(Ma)	۰,۹۲	۱٦۹۲	۲۷(Ta)	٤٥,٦۸٤
يخ	٤٤(Mt)	٤,۱۸٤	۱۸٤	۰(Tt)	۰
منهاي	٤٤(Mt)*	گرماي ذوب	۳۳٥kj/kg=۲٦۹۹		-۱٤,۷٤۰
					٦٥,۱۷۷

دماي بتن =65.177/2699=24.1°c

- از ميان مصالح موجود در بتن ، آب آسانتر از بقيه خنك ميشود براي رسيدن به اين هدف آب بايد در منابعي ذخيره شود كه در معرض اشعه مستقيم خورشيد قرار ندارند.
- آب بوسيله يخچال ، نيتروژن مايع ، يا يخ خردشده ممكن است خنك شود.
- دانه ها اثر قابل توجهي روي دماي بتن تازه دارند زيرا آنها نمايانگر ٪۸۰~٦۰ كل وزن بتن اند.(براي رسيدن به اين منظور مصالح بايد در سايه دپو و آب پاشي شوند)
- دماي سيمان اثر كمي روي دماي مخلوط بتن تازه دارد زيرا گرماي ويژه سيمان پايين است.

تداركات پيش از بتن ريزي به منظور حفظ يا كاهش دماي بتن در هواي گرم:

- مخلوط كنها ، شوت ها ، تسمه ها ، قيفها، خطوط پمپاژ و ساير وسايل حمل بتن به منظور كاهش گرماي خورشيد بايد در سايه قرار گيرند، سفيد رنگ شوند، يا با كرباس مرطوب پوشيده شوند.
- قالبها، ميلگردها، و كف زمين بايد درست قبل از ريختن بتن با اب خنك نمناك شوند.

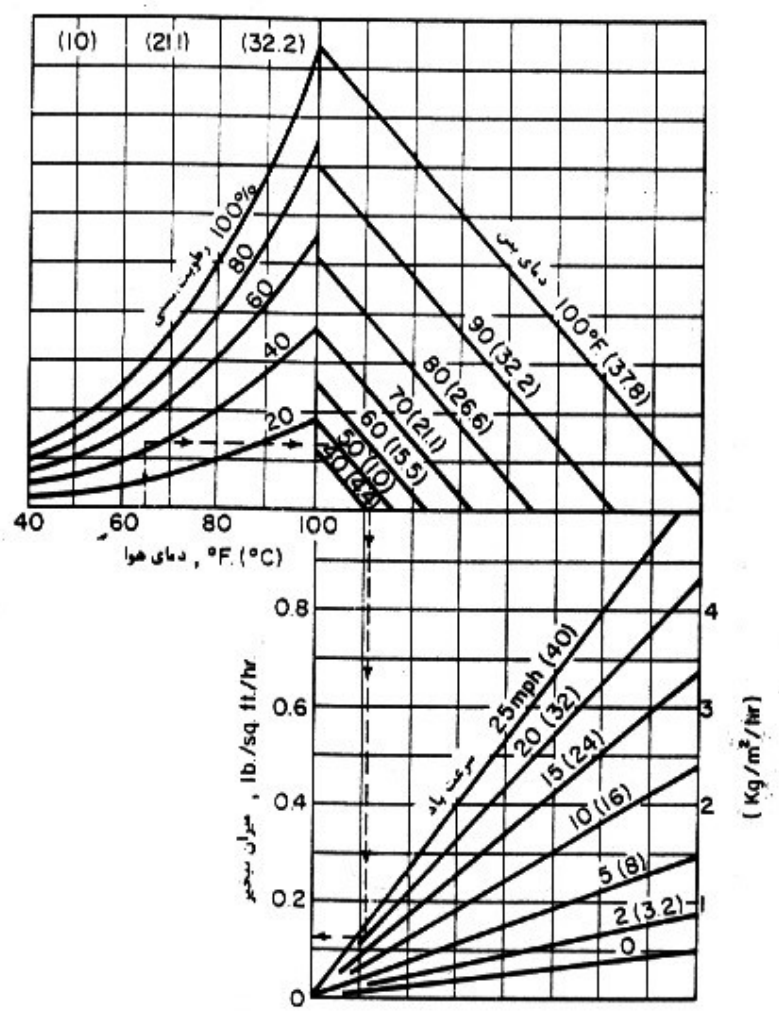
- براي دال هاي روي زمين ، خيس كردن كف زمين عصر روز قبل از بتن ريزي ، رويه خوبي است.
- بايد دقت كرد تا آب راكد يا گودال آب در هنگام ريختن بتن روي كف زمين وجود نداشته باشد.
- در روزهاي داغ ، بويژه در آب و هواي خشك ، با محدود كردن بتن ريزي در صبح زود ، عصر ، يا شب هنگام ، نتايج بهتري عايد ميشود. اين عمل آب رفتگي حرارتي وترك هاي كمتري را در دالها و رويه هاي ضخيم نتيجه داده است.

حمل، بتن ريزي ، پرداخت:

- حمل و ريختن بتن در هواي گرم بايد تا حد امكان، سريعتر انجام گيرد.
- مشخصات بتن آماده مقرر ميدارند كه تخليه بتن در خلال ½ ۱ ساعت يا قبل از پايان ۳۰۰ دور مخلوط كن ، هركدام كه اول رخ دهد، بايد پايان يابد. در هواي گرم ، اين محدوديت در زمان را ميتوان بطور معقولي به ۱ ساعت يا حتي ٤٥ دقيقه كاهش داد.
- ماله كشي و پرداخت بتن بايد بلافاصله پس از ناپديد شدن درخشندگي ناشي از آب انداختن انجام گيرد يا پس از هنگاميكه بتن بتواند وزن يك انسان را تحمل كند.

ترك هاي پلاستيك:

- شرايط زير بصورت تنها يا با هم ، تبخير رطوبت سطح را افزايش داده و امكان ترك هاي پلاستيك را زياد ميكنند:
  ۱) دماي بالاي بتن
  ۲) رطوبت كم
  ۳) باد زياد
- شكل ۱۱-٦ به منظور تعيين زمانيكه تدابير احتياطي بايد اتخاذ شود ، مفيد است.



شكل ١١ـ٦: اثر دماهاى بتن و هوا ، رطوبت نسبى ، و سرعت باد روى ميزان تبخير رطوبت سطحى از بتن .

وقتيكه ميزان تبخير از ١kg/m٢/hr تجاوز كند ، تدابير احتياطي تقريبا" اجباري است.
چنانكه ميزان تبخير از ٠,٥kg/m٢/hr تجاوز كند ، امكان ترك وجود دارد.

تدابير احتياطي براي به حداقل رساندن تركهاي پلاستيك:

١) كف زمين و قالب ها مرطوب شوند.
٢) دانه هاي خشك و جاذب آب خيس شوند.
٣) به منظور كاهش سرعت باد روي سطح بتن ، باد شكن هاي موقتي برپا شوند.
٤) به منظور كاهش دماي سطح ساييانهاي موقتي بر پا شوند.
٥) با خنك كردن دانه ها و آب اختلاط ، دماي بتن تازه پايين نگهداشته شود.
٦) در هنگام بروز وقفه قابل ملاحظه بين عمليات بتن ريزي و پرداخت ، بتن با پوشش هاي موقتي مانند نايلون محافظت شود.
٧) با از بين بردن وقفه هاي حين اجرا، زمان بين بتن ريزي و آغاز عمل آوردن كاهش يابد.
٨) اعمال رطوبت به سطح توسط آب پاش جهت جلوگيري از تبخير بتن بلافاصله پس از پرداخت.

عمل آوردن و محافظت نمودن در هواي گرم:

- قالبهاي محافظ درجا نميتوانند به عنوان جايگزين مناسبي براي عمل آوردن در هواي گرم در نظر گرفته شوند. اين قالبها بايد تا حد امكان هر چه سريعتر بدون اينكه خسارتي به بتن وارد آيد ، شل شوند. سپس آب بايد در سطوح نمايان بالايي بتن اعمال شود و اجازه داده شود تا از درون قالبها به پايين ريخته شود.

- براي بتن سخت شده و بويژه سطوح بتني هم كف ، آب عمل آوردن نبايد بيش از اندازه خنك تر از بتن باشد . اين امر ترك خوردگي به علت تنشهاي ناشي از تغييرات دما بين بتن و آب عمل آوردن را به حداقل خواهد رسانيد.
- به منظور جلوگيري از خشك شدن سطوح بتن نمايان ، عمل آوردن مرطوب بايد بلافاصله پس از پرداخت سطوح آغاز شود و حداقل ٢٤ ساعت ادامه يابد.
- چنانچه عمل آوردن مرطوب بعداز ٢٤ ساعت ادامه نيابد، سطوح بتن بايد از جريان آزاد هواي خشك توسط كاغذ محافظ، ورقه هاي پلاستيكي منعكس كننده گرما ، يا مواد محافظ غشا ساز ، مادامیكه سطوح هنوز نم دارند ، محافظت شوند.

مواد افزودني:

- براي موارد غير عادي در هواي گرم و در مواقعيكه نظارت دقيق حكم فرماست ، يك ماده افزودني كندگير كننده ممكن است به عقب انداختن زمان گيرش كمك كند، در حاليكه قدري افزايش در ميزان افت اسلامپ پديد آورد.

فصل ۱۲

بتن ريزي در هواي سرد

- بتن در دماهاي پايين مقاومت بسيار كمي كسب ميكند
- بتني را كه فقط يكبار در سنين اوليه يخ زده است ، با فراهم ساختن شرايط عمل آوردن مطلوبي مي توان تقريبا به مقاومت معمولي برگردانيد.ليكن در مقايسه با بتني كه يخ نزده باشد، در برابر شرايط جوي ، به همان اندازه مقاوم نبوده و به همان ميزان نيز اب بند نيست.
- استعداد أسيب پذيري بتن با حباب هوا در برابر يخ زدگي اوليه ، نسبت به بتن بدون هوا كمتر است.

كسب مقاومت بتن در دماي پايين:

- دما روي شدت هيدراسيون سيمان اثر دارد: دماي پايين هيدراسيون را به تعويق انداخته و بنابراين سخت شدن و كسب مقاومت بتن به تاخير مي افتد.
- در دماي پايين تر از ۱۰- درجه سيلسيوس (۱٤ °F) ، هيدراسيون سيمان با مقاومت بتن متوقف ميشود.
- با استفاده از سيمان نوع ۳ يا با مقاومت زودرس ، مقاومت هاي اوليه بالا تري را ميتوان بدست أورد.(در كمتر از ۷ روز)

حرارت هيدراسيون:

- توليد حرارت و افزايش أن تحت تاثير موارد زير قرار دارد:

۱) ابعاد بتن
۲) دماي هواي محيط
۳) نسبت W/C
٤) ريزي و تركيبات سيمان
٥) مقدار سيمان
٦) مواد افزودني

- حرارت هيدراسيون براي بتن ريزي در زمستان مفيد است، لذا به منظور حفظ حرارت هيدراسيون پوشاندن بتن پس از بتن ريزي با برزنت لازم به نظر ميرسد وبا استفاده از يك دماسنج ميتوان به كافي بودن پوشش پي برد.

مخلوطهاي بتني ويژه:

- مقاومت زودرس را با استفاده از يك يا تركيبي از موارد زير مي توان بدست أورد:

۱) سيمان با مقاومت زودرس : نوع ۳ يا نوع ۳A
۲) سيمان پرتلند اضافي
۳) تسريع كننده هاي شيميايي (كلرو كلسيم به ميزان حداكثر ۲٪ وزن سيمان پرتلند) : خطر خوردگي براي بتن پيش تنيده ويا اقلام كارگذاشته شده آلومينيومي يا گالوانيزه

- براي كاهش نقطه انجماد بتن ، از تركيبات به اصطلاح ضد يخ يا مصالح ديگر نبايد استفاده شود كه متاسفانه در ايران اين مساله به خوبي درك نشده است. چون روي مقاومت و خواص ديگر بتن به شدت تاثير مي گذارد.
- بتن با اسلامپ كم بويژه براي انجام سطوح بتني تخت در هواي سرد مطلوب است.

بتن با حباب هوا:

- ايجاد حباب هاي هوا بويژه در هر كار بتني كه در هواي يخبندان انجام ميگيرد ، مطلوب است.

- ايجاد حباب هاي هوا باعث مي شود كه ظرفيتي براي بتن در برابر جذب نيروهاي ناشي از انبساط يخهاي تشكيل شده در درون بتن فراهم شود.

دماي بتن:

(۱) دماي بتن در حين اختلاط:

- دماي بتن تازه در حين نبايد كمتر از مقادير نشان داده شده در رديف هاي ۱ ، ۲ يا ۳ از جدول ۱۲-۱ باشد.

جدول ۱۲-۱: دماي توصيه شده بتن معمولي براي كارهاي اجرايي در هواي سرد – بتن با حباب هوا

رديف	شرايط		مقاطع با ضخامت كمتر از ۱۲ اينچ (۳۰۰mm)		مقاطع با ضخامت ۱۲ تا ۳۶ اينچ (۳۶mm~۰,۹ m)		مقاطع با ضخامت ۳۶ تا ۷۲ اينچ (۰,۹m~۱, ۸m)		مقاطع با ضخامت بيشتر از ۷۲ اينچ(۱,۸m)	
			°F	°C	°F	°C	°F	°C	°F	°C
۱	حداقل دماي بتن تازه در حين اختلاط در هواي مشخص شده،°F(°C)	بالاتر از ۳۰°F(-۱°C)	٦۰	۱٦	٥٥	۱۳	٥۰	۱۰	٤٥	۷
۲		۰°F~۳۰°F (-۱۸°~-۱°C)	٦٥	۱۸	٦۰	۱٦	٥٥	۱۳	٥۰	۱۰
۳		پايينتر از ۰°F(-۱۸°C)	۷۰	۲۱	٦٥	۱۸	٦۰	۱٦	٥٥	۱۳
٤	حداقل دماي بتن تازه در هنگام بتن ريزي و دوره نگهداري		٥٥	۱۳	٥۰	۱۰	٤٥	۷	٤۰	٥
٥	حداكثر كاهش تدريجي مجاز دما در ۲٤ ساعت اول بعد از خاتمه حفاظت		٥۰	۲۸	٤۰	۲۲	۳۰	۱۷	۲۰	۱۱

- كمتر لازم ميشود تا بتن تازه با دمايي بسيار بالاتر از ۷۰°F (۲۱°C) تهيه شود.
- دماهاي بالاتر بتن نا مطلوبند زيرا:

۱) آنها آبرفتگي حرارتي را افزايش ميدهند.
۲) براي اسلامپ يكسان اب اختلاط بيشتري را لازم ميدارند.
۳) در ايجاد ترك خوردگي ابرفتگي پلاستيك مشاركت ميكنند.(زيرا افت رطوبت از طريق تبخير بيشتر است)

(۲) دماي دانه:

- دماي دانه بر حسب هوا و نوع انبار كردن تغيير ميكند.
- هنگاميكه دما زير نقطه انجماد است، دانه هاي يخزده بايد باز شوند.(اغلب دانه هاي ريز نياز به گرم شدن دارند)
- در دماهاي بالاتر از دماي انجماد، نياز كمي به گرم كردن كردن دانه ها پيدا ميشود.
- اگر دماي دانه ها بالاتر از دماي انجماد باشد ، باگرم كردن اب اختلاط به تنهايي معمولا ميتوان به دماي مطلوب بتن رسيد.

- روش هاي گرم كردن دانه ها:

١) جريان دادن بخار از ميان لوله هايي كه در بالاي انها دانه ها دپو شده اند.
٢) دپو كردن دانه ها روي لوله هاي فلز ابرو كه درون انها اتش روشن است.

(٣) دماي اب اختلاط:

- آب اختلاط آسان ترين و عملي ترين ماده براي گرم كردن بشمار مي ايد.
- وزن دانه ها و سيمان بسيار بيشتر از اب است، ولي با اين وجود ، مقدار گرمايي كه اب در مقايسه با مقدار هم وزني از سيمان و مصالح سنگي مي تواند در خود حفظ كند ، حدود پنج برابر بيشتر است.

* گرماي ويژه يعني مقدار گرماي لازم براي بالا بردن دماي يك كيلوگرم از مصالح به اندازه ١°C .

متوسط گرماي ويژه براي سيمان و دانه هاي سنگي = ٩٢١ J/Kg. °c

متوسط گرماي ويژه براي اب = ٤١٨٧ J/Kg. °c

(٤) فرمول دماي بتن: (در سيستم متريك)

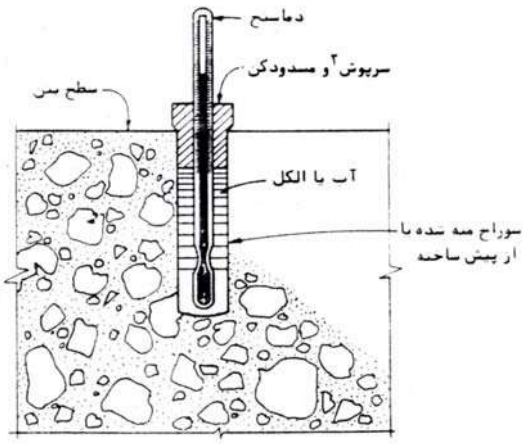
$$T= (0.22(TaWa+TcWc)+TwWw+TwaWwa) /(0.22(Wa+Wc)+Ww+Wwa)$$

T: دماي بتن تازه بر حسب درجه سيلسيوس
Twa,Tw,Tc,Ta: به ترتيب ، دماي دانه ها، سيمان ، اب اختلاط، و رطوبت آزاد روي دانه هابر حسب درجه سيلسيوس; عموما" Ta=Tw
Wwa,Ww,Wc,Wa: : به ترتيب ، وزن دانه ها، سيمان ، اب اختلاط، و رطوبت آزاد روي دانه ها بر حسب كيلوگرم

* دماي نهايي دانه ها و اب اختلاط بايد در نهايت بيشتر از ٣٨°C نباشد.

آزمايش هاي كنترل:

- يك روش ساده براي كنترل دماي زير سطح بتن در شكل ١٢-١٢ نشان داده شده است.



شكل ١٢-١٢: روشي براي اندازه‌گيري دماي بتن در زير سطح با يك دماسنج شيشه‌اي.

بتن ريزي روي زمين:

- اجراي زمستاني در روي زمين شامل مراحل متفاوتي نسبت به اجرا در طبقات بالاتر است:
  ١) يخ زمين بايد آب شده باشد.
  ٢) هيدراسيون سيمان بسياري از گرما را فراهم مي كند.
  ٣) استقرار و اجراي پوششها بسيار ساده تر است.
  ٤) براي اجراي يك دال روي زمين استفاده از يك بخاري با دودكش الزامي است.

- بتن ريزي هرگز نبايد روي يك زمين يخ زده انجام گيرد زيرا وقتي زمين باز ميشود، نشست غير يكنواخت ممكن است رخ دهد كه منجر به ترك خوردگي شود. همچنين روي يك زمين يخ زده ، گرما از پايين بتن از دست ميرود و روند سخت شدن به تعويق مي افتد.
- اگر زمين فقط به عمق تقريبي ٧٥mm يخ زده باشد ، يخ زدگي سطح را ميتوان با روش هاي زير از بين برد:
  ١) بخار دادن
  ٢) پخش كردن لايه اي گرم از ماسه، شن يا ساير مصالح دانه اي، در جايي كه تراز زمين اجازه ميدهد.
  ٣) سوزاندن كاه يا علف هاي خشك
  ٤) پوشاندن با عايق براي چند روز

بتن ريزي در بالاتر از سطح زمين:

١) جهت توليد گرماي بيشتر ، مخلوط بتن الزاما نبايد تغيير كند، زيرا براي ايجاد گرما ، بخاري هاي قابل حمل را مي توان در زير سقف ها و بام ها بكار برد. با وجود اين ، تهيه مخلوطي كه مقاومت بالايي را در سنين اوليه توليد مي كند، داراي مزيت است چرا كه گرما دهي مصنوعي را ميتوان زودتر خاتمه داد. (به جدول ١٢-٢ مراجعه شود)
٢) براي حفظ گرما در زير سقف ها و بامها ، پوششهايي بايد ساخته شود.
٣) بخاري قابل حمل كه قسمتهاي زيرين بتن را گرم ميكند ، مي تواند از نوع بخاري با شعله مستقيم باشد.(بدون دودكش)

* پيش از بتن ريزي ، بخاري هايي را كه در زير يك سقف قالب بندي شده قرار دارند بايد روشن كرد تا قالب ها قبلا گرم شده و هرگونه يخ و برفي كه در بالاي قالبها باقيمانده است ، ذوب شوند.
* ستونها وديوارها نبايد روي پي هاي يخزده ريخته شوند، زيرا سرمازدگي پايين ستون يا ديوار بتن ضعيفي را موجب خواهد شد.

جدول۲-۱۲

الف: مدت زمان توصيه شده براي دماي توصيه شده بتن در هواي سرد-بتن با حباب هوا

از نقطه نظر حصول مقاومت كافي براي باز كردن قالب ها		از نقطه نظر دوام		رده بهره برداري دائمي
بتن با مقاومت زود رس**، تعداد روزها	بتن عادي*، تعداد روز ها	بتن با مقاومت زود رس**، تعداد روزها	بتن عادي*، تعداد روز ها	
۱	۲	۱	۲	بتن تحت تنشهاي كمي است، در معرض شرايط محيطي نيست+،عمل آوردن با رطوبت نحو مطلوبي انجام مي گيرد.
۲	۳	۲	۳	تحت تنش هاي كم، در معرض شرايط محيطي+، اما بعدا" تحت عمل آوردن مرطوب مناسبي قرار ميگيرد.
٤	٦	۲	۳	تحت تنشهاي متوسط، در معرض شرايط محيطي+.
به قسمت ب مراجعه شود.		۲	۳	كاملا" تحت تنش، در معرض شرايط محيطي+.

ب: مدت زمان توصيه شده براي دماي توصيه شده بتن براي بتن كاملا" تحت تنش، در معرض شرايط محيطي، با حباب هوا

تعداد روزها در دماي ۷۰°F (۲۱°C)			تعداد روزها در دماي ۵۰°F (۱۰°C)			درصد مقاومت طراحي مقرر، f'c
نوع سيمان پرتلند			نوع سيمان پرتلند			
III	II	I	III	II	I	
۳	٦	٤	۳	۹	٦	۵۰
٤	۱۰	۸	۵	۱٤	۱۱	٦۵
۱۲	۱۸	۱٦	۱٦	۲۸	۲۱	۸۵
۲۰	۲٤	۲۳	۲٦	۳۵	۲۹	۹۵

ماخوذ از " بتن ريزي در هواي سرد" ، موسسه بتن امريكا، هواي سرد طبق تعريف هوايي است كه در آن دماي ميانگين روزانه كمتر از ٤۰ درجه فارنهايت(۵ درجه سيلسيوس) باشد مگر اينكه حداقل به مدت ۱۲ ساعت در هر روز دما بالاتر از ۵۰ درجه فارنهايت(۱۰ درجه سلسيوس) باشد، كه در اين صورت عمليات بتن ديگر زمستاني محسوب نميشود و روشهاي اجرايي عمل أوردن عادي بايد اعمال شود. براي دماهاي توصيه شده بتن به جدول ۱۲- ۱ مراجعه شود.

قسمت ب : مقادير نشان داده شده تقريبي بوده و بر حسب ضخامت بتن ، نسبتهاي مخلوط، و غيره تغيير خواهند كرد. اين مقادير بيان كننده سني هستند كه قالبهاي نگهدارنده ميتوانند برداشته شوند. براي دماهاي توصيه شده بتن به جدول ۱۲-۱ مراجعه شود.

توجه: براي بتن بدون حباب هوا ، جهت حفاظت از نقطه نظر دوام تعداد روزها بايد حداقل دو برابر مقادير ذكر شده باشد.

* . ساخته شده با سيمان پرتلند نوع ۱و۲
**. ساخته شده با سيمان پرتلند نوع ۳، با يك تسريع كننده، يا به مقدار ۲۰ درصد سيمان اضافي
+. در معرض شرايط محيطي بودن به معني" قرار گرفتن در معرض يخ زدن و اب شدن" است.

پوششها:

انواع پوششها: ۱) چوب ۲) كرباس ضدآب ۳) ورقه هاي پلي اتيلن ٤)پوششهاي پيش ساخته از مواد پلاستيكي صلب ٥) نوع متداول: پوششهاي نايلوني كه نور را از خود عبور ميدهند.

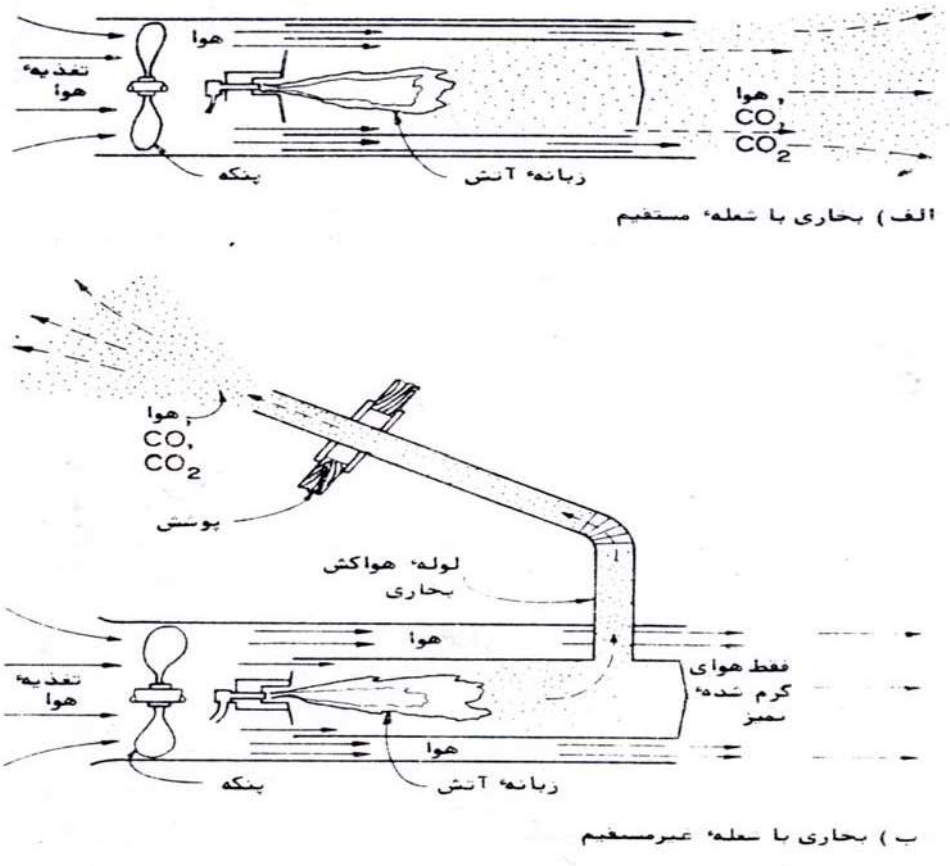
مصالح عايقبندي:

- با استفاده از پتوهاي عايقبندي تجارتي يا پوشينه هاي عايق كاري ، گرما را ميتوان در بتن محفوظ نگاهداشت و براي كارآيي بيشتر ، مصالح فوق بايد خشك ودر تماس نزديك با بتن يا قالب قرار گيرند.
- درجه تاثير اين عايقها را ميتوان با قراردادن دماسنج در زير پوشش كه در تماس با بتن باشد، تعيين كرد.
- گوشه ها ولبه هاي بتن ، مستعدتري محل براي يخ زدن است كه بايد دماي آنها كنترل شود.
- براي عايق بندي ، رويه هاي بتني را با پخش ۳۰cm يا بيشتر از كاه يا علف خشك بر روي آنها ميتوان در برابر هواي سرد محافظت كرد و براي اينكه عايقكاري فوق موثر تر بوده و باد آنها را نبرد ميتوان از انواع پوشش ها نيز استفاده كرد.

بخاري ها:

مطابق شكل ۱۲-۲۰ دو نوع :

۱) بخاري با شعله مستقيم : مورد استفاده در محفظه هاي پوشش دار زير سقف يا دال بام
۲) بخاري با شعله غير مستقيم : داراي هواكش : در مواردي كه گرما بايد به بالاي بتن تازه برسد.



شكل ۱۲ــ۲۰ : دو نوع عمده از بخاريها .

* براي گرمسازي هوا هنگام بتن ريزي نبايد از بخاري هاي با شعله مستقيم استفاده كرد مگر آنكه حداقل ٢٤ ساعت از زمان بتن ريزي سپري شود. زيرا CO_2 با هيدرواكسيد كلسيم موجود در روي سطح بتن تازه تركيب و لايه ضعيفي را از كربنات كلسيم به وجود مي أورند كه مزاحم هيدراسيون سيمان ميشود. در نتيجه يك سطح نرم سفيد ك زدهاي پديد مي أيد كه در اثر عبور و مرور پودر مي شود.

- از الكتريسيته نيز مي توان براي عمل أوردن بتن در زمستان استفاده كرد. (پتوهاي برقي بزرگ و مجهز به دما پاي)
- سيمهاي مقاومت الكتريكي كه در داخل بتن كار گذاشته ميشوند ، شيوه ديگري است. ولتاژ برق كمتر از ٥٠V است كه برحسب شرايط گوناگون ، از ١,٥ تا ٥ كيلو وات ساعت برق در يارد مكعب بتن (٧٠٠٠ الي ٢٤٠٠٠Kj/m^3)مصرف ميشود.
- بخار منبع ديگر ايجاد گرما براي بتن ريزي زمستاني است.

دوره گرمسازي :

- دوره هاي توصيه شده گرمادهي در جدول ١٢-٢ داده شده است. در ستون هايي كه با عنوان " از نقطه نظر دوام " مشخص شده اند ، طول مدت براي فراهم سازي دوام كافي در برابر يخ زدن و آب شدن ذكر شده است.

در ستونهايي كه با عنوان " از نقطه نظر حصول مقاومت كافي براي باز كردن قاب ها " مشخص شده اند ، سني كه قالب هاي پايين يا شمع هاي مجدد ميتوانند برداشته شوند ، آورده شده است. اين جدول بر اين فرض استوار است كه بارهاي اجرايي از بارهاي طراحي كمتر است و نيز ، تحت شرايط عادي عمل آوردن ، بتن خواهد توانست كه به مقاومت كامل طراحي خود قبل از زمان بهره برداري برسد.

عمل آوردن مرطوب:

- در فصل زمستان از محفظه هاي گرم شده استفاده ميشود ، براي جبران خشك شدگي ، بخار زنده اي به محفظه اطراف بتن بايد تخليه نمود. (روش عالي براي عمل آوردن)
- مواد غشاساز مايع براي عمل آوردن زود هنگام سطوح بتني در محفظه هاي گرم شده مي توانند بكار آيند. اين مواد براي كاهش كربناسيون سطحي ناشي از بخاري هاي بدون هواكش مفيداند.

اختتام دوره گرمادهي :

- از خنك سازي سريع بتن در انتهاي دوره گرمادهي بايد اجتناب ورزيد. چرا كه منجر به تركخوردگي بتن ميشود. حداكثر افت يكنواخت دما در سرتاسر ٢٤ ساعت اوليه نبايد بيشتر از مقدار داده شده در سطر ٥ از جدول ١٢-١ باشد.

باز كردن قالبها و شمع زدن مجدد:

- براي طول مدت زماني كه نگهدارنده عمودي قالبها بايد در محل باقي بماند . جدول ١٢-٢(الف) مي تواند مورداستفاده قرار گيرد.
- جدول ١٢-٢(ب) طول مدت زمان گرما دهي وشمع گذاري نخست يا مجدد اعضاي كاملا تحت تنش را ذكر ميكند.

فصل ١٣

تغييرات حجمي بتن

- تغييرات حجمي بتن عموما" به انبساط و انقباض ناشي از سيكل هاي دما و رطوبت مربوط ميشود، تغييرات حجمي ، از آبرفتگي كربناتي و انبساط مخرب ناشي از واكنش هاي قليايي دانه نيز حاصل ميشود.
- مطالب مربوط به تغييرات حجمي بتن معمولا" شامل مبحث خزش نيز هست . خزش عبارت از تغيير شكلي است كه از تنش يا بار مداوم ناشي ميشود.
- براي راحتي، مقدار تغييرات حجمي عموما" بر حسب واحدهاي طولي بيان ميشود، نه بر حسب واحدهاي حجمي. تغييرات طولي اغلب به صورت ضريبي از طول بر حسب قسمت در ميليون يا بطور ساده تر بر حسب ميليونيم بيان ميشود.
-
- مثال: يك ميليونيم به معني ٠,٠٠٠٠٠١
  ٦٠٠ ميليونيم به معني ٠,٠٠٠٦٠٠
  ٠,٠٦ درصد همان ٠,٠٠٠٦٠٠ : ٦mm در ١٠m

تغييرات دما:

- مقدار ميانگين ضريب انبساط بتن حدود ١٠ ميليونيم بر درجه سيلسيوس است. اين مقدار معادل تغيير طولي به اندازه ٥mm براي مقطعي به طول ١٠m تحت تاثير افزايش يا كاهش ٥٠°C است.
- انبساط و انقباض حرارتي بتن با عواملي مانند نوع دانه ، پر مايه بودن مخلوط ، نسبت W/C ، محدوده دما، سن بتن و رطوبت نسبي تغيير ميكند. ازميان عوامل فوق نوع دانه بيشترين اثر را دارد.
- ضريب انبساط حرارتي فولاد حدود ١٢ ميليونيم بر درجه سيلسيوس است كه با مقدار ضريب انبساط حرارتي بتن قابل مقايسه است.
- ضريب انبساط بتن أرمه را ميتوان ١١ ميليونيم بر درجه سيلسيوس فرض كرد.

آبرفتگي حين خشك شدن:

- بتن با كسب رطوبت منبسط و با افت رطوبت منقبض ميشود.
- مهمترين عامل قابل كنترل كه روي أبرفتگي تاثير ميگذارد، مقدار اب در واحد حجم بتن است.
- ابرفتگي را با نگهداشتن مقدار اب بتن در پايين ترين حد ممكن ميتوان به حداقل رسانيد. اين امر با نگهداشتن مقدار كل دانه هاي بتن در بالاترين حد ممكن بدست مي ايد.بنابراين استفاده از اسلامپ هاي پايين و روشهاي بتن ريزي كه مقادير آب مورد نياز را به حداقل ميرسانند، عوامل اصلي در كنترل آبرفتگي به شمار مي آيند.
- بطور كلي عوامل موثر براي كاهش ميزان آبرفتگي در بتن عبارتند از:

١) استفاده از اسلامپ پايين.
٢) دماي پايين بتن تازه.
٣) افزايش دانه درشت و استفاده از دانه هاي سخت تر.
٤) ممانعت از ورود دانه اي حاوي مقادير بيش اندازه رس.
٥) عمل آوردن بتن با بخار

- ميزان و مقدار نهايي آبرفتگي براي توده هاي بزرگ كمتر از توده هاي كوچك است، اگرچه آبرفتگي براي توده هاي بزرگ بيشتر ادامه مي يابد.
- آبرفتگي بتن آرمه شده از بتن آرمه نشده كمتر است كه اين اختلاف بستگي به مقدار ميلگرد دارد.

(در سازه هاي بتن آرمه ، آبرفتگي حين خشك شدن به طور متعارف ٣٠٠~٢٠٠ ميليونيم فرض ميشود، ولي براي نمونه هاي بتن آرمه نشده كوچك در حدود ٨٠٠~٤٠٠ ميليونيم است)

- بسياري از مواد افزودني لازم ميدارند كه مقدار واحد آب بتن افزايش يابد، و بدين دليل ميتوان از آنها انتظار داشت كه آبرفتگي را افزايش دهند. تسريع كننده هايي مانند كلرور كلسيم و تري اتانولامين باعث افزايش آبرفتگي حين خشك شدن بتن ميشوند. برخي مواد افزودني شيميايي از نوع كاهنده آب ، عليرغم كاهش در مقدار آب ، ممكن است به مقدار زيادي آبرفتگي حين خشك شدن را افزايش دهند.

تغيير شكل الاستيكي:

- با نسبتهاي وزني w/c =٠,٥ يا كمتر تاتغيير طول نسبي ١٥٠٠ ميليونيم ، تغيير طول نسبي تقريبا" متناسب با فشار يا تنش مي باشد يعني تقريبا" الاستيك.

خزش:

- هنگاميكه بتن بارگذاري مي شود ، تغيير شكل ايجاد شده توسط بار ممكن است به دو قسمت تقسيم شود:
١) تغيير شكلي كه بلافاصله رخ ميدهد (مانند تغيير طول نسبي الاستيكي)
٢) تغيير شكل وابسته به زمان كه بيدرنگ آغاز ميشود. (خزش)

- مقدار خزش بستگي دارد به :
١) اندازه تنش.
٢) سن و مقاومت بتن در هنگام اعمال تنش.
٣) طول مدت زمانيكه بتن تحت تنش است.
٤) كيفيت بتن و شرايط محيطي از نظر رطوبت ودما و عمل آوردن

- در محدوده تنش هاي معمولي ، خزش متناسب با تنش است. در بتن تازه ريخته شده ، تغييرات حجمي يا طولي ناشي از خزش بيشتر برگشت ناپذير است اما خزش در بتن كهنه يا خشك بيشتر برگشت پذير است.
- با كاهش مقاومت بتن ، خزش افزايش ميابد.
- براي بتني كه در بخار با فشار زياد (اتوكلاو) عمل آورده ميشود ، خزش بسيار كمي رخ ميدهد.

فصل ١٤

آزمايشهاي كنترل كيفيت بتن

رده بندي آزمايشها:

- آزمايش سيمانهاي پرتلند ، به منظور جلوگيري از رفتار غير عادي مانند سخت شدن زود هنگام ، گيرش دير هنگام ، يا مقاومتهاي پايين بتن .
- آزمايش دانه ها دو منظور اصلي دارد:

دسته اول : آزمايشهايي است كه به منظور تعيين مناسب بودن خود مصالح براي استفاده در بتن مورد استفاده قرار ميگيرند كه شامل آزمايش هاي سايش ، سلامت ، چگالي، آناليز شيميايي و سنگ شناسي است.

دسته دوم : آزمايشهايي است كه براي اطمينان از يكنواختي مانند آزمايشهاي كنترل رطوبت و دانه بندي مصالح سنگي بكار ميرود.

- آزمايشهاي بتن :

اول آزمايشهايي است كه به منظور ارزيابي رفتار مصالح در دسترس و به منظور تعيين نسبت مخلوط بكار ميروند. شامل آزمايشهاي وزن مخصوص ، مقاومت و كارآيي.
دوم آزمايشهايي كه عموما" براي كنترل بكار مروند . شامل آزمايشهاي اسلامپ ، مقدار هوا ، وزن مخصوص ، ومقاومت.

تكرر آزمايشها:

- آزمايش رطوبت : يك يا دو بار در صبح
- آزمايشهاي اسلامپ در كارگاه : روي نمونه هاي مخلوطي انجام ميگيرد
- آزمايشهاي مقدار هوا : در صورت تغيير دما و دانه بندي مصالح سنگي
- تعداد آزمايشهاي مقاومت (طبق ACI) : نبايد كمتر از يكبار در روز براي هر بتني كه در هر روز ريخته ميشود ، نبايد كمتر از يكبار براي هر ١٢٥ m^3 بتن و يا نبايد كمتر از يكبار براي هر ٤٦٥ m^2 سطح بتن ريزي دالها يا ديوارها باشد. براي هر آزمايش مقاومت ميانگين دو استوانه مورد نياز است.

دانه ها:

* نمونه گيري از دانه ها:
- براي دانه هاي درشت ، كاهش نمونه هاي بزرگ به مقادير كوچك با روش ¼ كردن انجام ميگيرد: نمونه كاملا" مخلوط ميشود، وروي تكه اي كرباس در يك لايه ٧٥ تا ١٠٠mm پخش ميشود.نمونه به ٤ قسمت متساوي تقسيم ميشود. دو قسمت مقابل سپس دور ريخته ميشوند. اين عمل تا زمانيكه اندازه مطلوب نمونه باقي بماند ، تكرار ميشود.
- براي دانه هاي ريز و خشك از يك دستگاه دو نيم كننده ميتوان استفاده نمود ، ويا روش ¼ كردن.

* آزمايشهاي تعيين ناخالصي هاي آلي :
- نمونه اي از ماسه در محلول هيدرواكسيد سديم ريخته شده و تكان داده ميشود. روز بعد رنگ محلول با رنگ محلول استاندارد مقايسه ميشود. در صورتيكه رنگ تيره تر از رنگ استاندارد باشد، ماسه نبايد بدون تحقيق و بررسي بيشتر براي كارهاي مهم مصرف شود.

* آزمايشهاي تعيين مصالح ريز نا مطلوب :
- مقادير زياد رس و لاي در دانه هاي سنگي ميتوانند روي دوام اثر گذاشته ، آبرفتگي را افزايش داده و به جدا شدن از دانه هاي ديگر تمايل داشته باشند.مشخصات معمولا" مقدار مصالح رد شده از الك شماره ٢٠٠ (٧٥ µm) را در ماسه به ٢ يا ٣ درصد در دانه درشت به كمتر از ١٪ محدود ميسازند.

* آزمايشهاي دانه بندي : (آزمايش آناليز الك)

- نتايج آزمايش الك در سه مورد بكار ميوند:
(١) براي تعيين تطابق مصالح با مشخصات
(٢) براي انتخاب مناسبترين مصالح در صورتيكه چندين دانه در دسترس باشند
(٣) براي تشخيص تغييرات در دانه بندي به منظور از آگاهي از خطر آميختن اندازه هاي انتخابي يا تصحيح نسبتهاي مخلوط بتن.
- از بكار بردن مصالحي كه حاوي مقادير بسيار زياد يا كم اندازه اي هستند، اجتناب كرد.
- اگر ميانگين مدول نرمي دانه هاي ريز بيشتر از ٠,٢ تغيير كند ، نسبتهاي اختلاط بايد تصحيح شوند.
- اگر مقدار باقيمانده روي هر دو الك متوالي بيشتر از ١٠٪ وزن كل نمونه ماسه تغيير كند، تصحيح نسبتهاي اختلاط بايد انجام بگيرد.
- مقدار كل ذرات ماسه ريز تميز كه از الك شماره ١٠٠ گذشته ، اما روي الك شماره ٢٠٠ باقي بماند ، براي كارآيي بهتر است .(١٠٪)

* آزمايشهاي تعيين رطوبت سطحي دانه ها:
- مقدار مقدار مشخصي از نمونه مرطوب، در اجاق يا روي يك ورق داغ يا آتش خشك ميشود. با با دانستن وزنهاي دانه قبل و بعد از خشك شدن ، درصد رطوبت را ميتوان محاسبه كرد. روش ديگر ، تبخير رطوبت بوسيله سوزاندن الكل است.
- وقتي روشهاي خشك براي تعيين مقدار رطوبت آزاد مورد استفاده قرار ميگيرد ، براي مقدار آب جذبي توسط دانه ها بايد تصحيحاتي را انجام داد. مثالي از تصحيح وزن پيمانه بعلت رطوبت دانه ها در جدول ١٤-١ آورده شده است.

جدول ١٤-١: مثالي از تصحيح وزن پيمانه بعلت رطوبت دانه ها

مواد متشكله بتن	وزن پيمانه(دانه ها در شرايط ssd)* kg	مقدار رطوبت دانه ها، بر حسب درصد بالايssd	تصحيح به علت رطوبت دانه ها kg	وزن تصحيح شده پيمانه kg
سيمان	٣٥٠	-	-	٣٥٠
دانه ريز	٧٠٠	٦	+٤٢	٧٤٢
دانه درشت	١١٠٠	١	+١١	١١١١
آب	١٧٥	-	-٥٣	١٢٢
مقدار كل	٢٣٢٥			٢٣٢٥

*. دانه در شرايط اشباع با سطح خشك(ssd) دانه اي است كه حفره هاي نفوذ پذير آن از آب پر شده و آبي در سطح آن موجود نباشد.

بتن تازه:

* نمونه گيري از بتن تازه :
- حجم نمونه حداقل بايد ٠,٠٣m^3 باشد. از آن گذشته ، نمونه بايد در مدت ١٥ دقيقه پس از زمان برداشتن از پيمانه مورد استفاده قرار گيرد و بايد از تابش آفتاب ، باد محافظت شود.

* آزمايشهاي تعيين رواني : (آزمايش اسلامپ و آزمايش نفوذ وزنه)
- مخروط اسلامپ بايد در سه لايه با حجم تقريبا" مساوي پر شود ، اين كار با پر كردن مخروط تا عمقي در حدود ٦٥mm (بعد از ميله كوبيدن) براي اولين لايه و حدود نصف ارتفاع مخروط براي لايه دوم انجام ميشود.
- در آزمايش نفوذ وزنه عمقي كه يك نيمكره با وزن ١٣,٦Kg و با قطر ١٥ cm به داخل بتن تازه كه در ظرفي به ابعاد عرضي حداقل حدود ٤٥ cm و عمق ٢٠cm، فرو خواهد رفت اندازه گيري ميشود.

* اندازه گيري دما:
- استفاده از دماسنجهاي حفاظ دار كه داراي دقتي برابر ١°C± است.

* آزمايشهاي تعيين وزن مخصوص:
- اين أزمايش ميتواند بيانگر مقدار هوا نيز باشد.
- استفاده از دستگاه توزين يا ترازويي كه تا ۰,۰۵Kg دقت دارد.

* آزمايشهاي تعيين مقدار هوا:
- استاندارد ASTM روشهاي زير را در بر ميگيرد:
۱) روش فشاري ۲) روش حجمي ۳) روش وزني

(۱) روش فشاري : بر اساس قانون بويل استوار است كه فشار را به حجم مرتبط ميسازد . نامناسب براي بتن هاي ساخته شده از دانه هاي سبك و متخلخل.
(۲) روش حجمي : از حجم معلومي از بتن بوسيله بهم زدن بتن در مقدار اضافه اي از اب ،هوا خارج شود. مناسب براي هر نوع دانه.
(۳) روش وزني : از همان روش اندازه گيري وزن مخصوص بتن استفاده ميشود وزن مخصوص اندازه گيري، از وزن مخصوص نظري محاسبه شده ، كه از حجمهاي مطلق مواد متشكله بدون احتساب هواي موجود بدست مي ايد، كم ميشود. اين اختلاف كه بصورت درصدي از وزن مخصوص نظري بيان ميشود ، همان مقدار هواست.

* آزمايشهاي تعيين مقدار سيمان :
- براي تعيين مقدار سيمان ، آزمايش ويليس-هايم (Willis-Hime) ميتواند روي بتن تازه انجام گيرد ومقدار سيمان را مستقيما" اندازگيري كند.
- براي انااليز سريع بتن تازه ، ازمايش كلي- ويل (Kelly-Vail) مقدار اب وسيمان بتن تازه را در مدت ۱۵ دقيقه تعيين ميكنند.

* آزمايش تعيين مقاومت :
- نمونه ازمايشي استاندارد براي مقاومت فشاري بتن با اندازه حداكثر دانه ۵۰mm يا كوچكتر ، استوانه اي به قطر ۱۵mm و به ارتفاع ۲۰cm است. براي دانه هاي بزرگتر ، قطر استوانه بايد حداقل ۳ برابر اندازه حداكثر دانه بوده و ارتفاع استوانه بايد دو برابر ان باشد.
- براي دانه هاي تا ۵۰mm ، سطح مقطع تير هاي ازمايش مقاومت خمشي بايد ۱۵*۱۵cm باشد. براي دانه هاي بزرگتر ، حداقل بعد مقطع نبايد كمتر از ۳ برابر اندازه حداكثر دانه باشد. طول دهانه بايد ۳ برابر ارتفاع تير يا ۴۵cm باشد. و نمونه بايد حداقل ۵۰mm بلند تر بوده يعني براي تير ۱۵۰*۱۵۰mm طول كل ان كمتر از ۵۰cm نباشد.
-استوانه هاي آزمايشي كه ميله كوبي ميشوند بايد در سه لايه تقريبا" متساوي پر شوند. نمونه هاي تير و استوانه هاي آزمايشي كه ويبره ميشوند ممكن است در دو لايه پر شوند. بتن بايد يا با ميله كوبي يا با ارتعاش متراكم شود: بتن با اسلامپ بيشتر از ۷۵mm بايد ميله كوبي شود، بتن با اسلامپ كمتر از ۲۵mm بايد ويبره شود.
بلافاصله بعد از قالب ريزي ، بايد روي نمونه ها را با يك صفحه فلزي يا شيشه روغن مالي شده ، يا دو لايه كرباس مرطوب كه در تماس با بتن نباشد ، پوشانيد.

بتن سخت شده:

* آزمايشهاي مقاومت بتن سخت شده :
- آزمايشهاي مقاومت بتن سخت شده را ميتوان روي نمونه هاي قالب گيري شده از نمونه بتن كه مورد استفاده قرار گرفته است روي نمونه هاي اره شده بتن سخت شده انجام داد.
- انتها هاي استوانه ها و نمونه هاي بريده شده بايد صاف شده و كلاهك گذاري شوند.

* آزمايش بتن سخت شده با روشهاي غير تخريبي : (به منظور ارزيابي مقاومت و دوام بتن سخت شده)

(١) روش بازگشتي : چكش بازگشتي اشميت اساسا" يك وسيله آزمايشي سختي سطوح است. اين وسيله فاصله بازگشت يك ميله ضربه زن را پس از برخورد به يك سطح صاف بتني اندازه ميگيرد. قرائت نتايج را ميتوان به مقاومت فشاري بتن مرتبط ساخت.
(٢) روش نفوذ: ميله نازك وين زر ژ، مانند چكش بازگشتي اساسا" يك وسيله آزمايشي سختي است كه به گونه سريعي ميتواند مقاومت نسبي بتن را معين سازد. اين وسيله شامل يك تپانچه است ، كه با استفاده از نيروي باروت ، يك ميله نازك (سوزن) با آلياژ سخت را به داخل بتن شليك مي كند. طول قسمت فرو نرفته اين ميله توسط يك عمق سنج اندازه گيري و توسط يك جدول كاليبره شده به مقاومت فشاري بتن ربط پيدا ميكند.
(٣) آزمايش در آوردن: (توسط دستگاه Lok-Test) شامل قرار دادن انتهاي بزرگ شده يك ميله فولادي در بتن مورد آزمايش بوده و سپس اندازه گيري نيروي لازم براي كشيدن اين ميله فولادي مي باشد. آزمايش مزبور مقاومت نسبي بتن را اندازه ميگيرد. مقاومت اندازه گيري شده در واقع همان آزمايش مستقيم مقاومت برشي بتن است.
(٤) آزمايشهاي ديناميكي يا ارتعاشي: بر اين اصل استوار است كه سرعت صوت در يك جسم جامد را ميتوان با روشهاي زير اندازه گيري كرد:
١) تعيين فركانس تشديد يك نمونه
٢) ثبت زمان حركت پالسهاي ارتعاشي كوتاه از درون يك نمونه

سرعت هاي بسيار بالا بيانگر يك بت بسيار خوب و سرعت هاي بسيار كم بيانگر يك بتن ضعيف است.
روشهاي ميكرو زلزله (Micro Seismic) با استفاده از انرژي مكانيكي در فركانس هاي پايين براي شناسايي ، تعين محل ، و ثبت به طريق عكسبرداري از ناپيوستگيهاي مكانيكي و فيزيكي درون جامدات بكار ميرود. در اين آزمايشها ميتوان مقاومت و مدول بتن و نيز وجود و جهت تركهاي سطحي و داخلي بتن را معين كرد.
(٥) آزمايشهاي ديگر:
١) اشعه X : براي أزمايش خواص بتن
٢) دستگاه پرتو نگاري گاما: براي تعيين محل ميلگرد ها، دانسيته و احتمالا" كرمو بودن بتن در سازه ها
٣) روش هسته اي : براي اندازه گيري بعضي خواص بتن (تعيين رطوبت و مقدار سيمان بتن)
٤) دستگاههاي شناسايي مغناطيسي (پاوكومتر Pachometer): براي اندازه گيري ضخامت پوشش بتني ميلگردها و شناسايي محل ميلگردها
٥) روش جذب ميكرو ويو : تعيين مقدار رطوبت مصالح ساختماني متخلخل مانند بتن
٦) روش انتشار امواج صوتي: مطالعه مقدار بار در سازه ها و نيز تعيين منشا ترك خوردگي

* ارزيابي نتايج آزمايشهاي فشاري:
- ACI در صورتي مقاومت فشاري بتن را قابل قبول ميداند كه ميانگين تمامي مجموعه هاي سه ازمايش متوالي مقاومت برابر يا بيشتر از مقاومت ٢٨ روزه مقرر بوده و هيچيك از ازمايشهاي مقاومت (ميانگين دو استوانه) بيشتر از ٣,٥MPa پايين تر از مقاومت مقرر نباشد.

فصل ۱۵

انواع ویژه بتن

- ۹۵ نوع بتن در جدول زیر که با سیمان پرتلند ساخته شده ، ارائه شده است:

انواع بتن ساخته شده با سیمان پرتلند	

Fair face concrete	بتن با نماي خوب	Grouted-aggregate concrete	بتن با دوغاب تزريق شده
Fat concrete	بتن پر مايه	Hardened concrete	بتن سخت شده
Fiber-reinforced concrete	بتن آرمه شده با الياف	Heat- resistant concrete	بتن ضد حرارت
Fibrous concrete	بتن الياف دار	Heavy concrete	بتن سنگين
Field concrete	بتن كارگاهي	Heavy-duty floor topping concrete	بتن رويه براي كفهاي پرتردد
Foamed concrete	بتن كفي	Heavyweight concrete	بتن سنگين
Gap-graded concrete	بتن با دانه بندي گسسته	High-density concrete	بتن با دانسيته بالا
Gas concrete	بتن گازي	High-early-strength	بتن با مقاومت زود رس
Granolithic concrete	بتن با دانه هاي گرانيتي	Hot-weather concrete	بتن هواي گرم
Green concrete	بتن تازه گرفته	In-situ concrete	بتن درجا
Grout	دوغاب	Insulating concrete	بتن عايقبندي
Shrink-mixed concrete	بتن نيمه آماده	Insulating lightweight concrete	بتن سبك عايقبندي
Spun concrete	بتن متراكم شده با نيروي گريز از مركز	Internally sealed concrete	بتن بدون درز
Structural concrete	بتن سازه اي، بتن ساختماني	Latex concrete	بتن ليتكس
Structural lightweight concrete	بتن سازه هاي سبك، بتن ساختماني سبك	Lean concrete	بتن كم سيمان، بتن مگر
Sulfate-resistant concrete	بتن ضد سولفات	Light colloidal concrete	بتن كلوئيدي سبك
Sulfur-impregnated concrete	بتن گوگرد دار	Lightweight concrete	بتن سبك
Terrazzo concrete/terrazzo	بتن موزائيكي	Low-density concrete	بتن با دانسيته پايين
Transit-mixed concrete	بتن در كاميون مخلوط شده	Mass concrete	بتن حجيم
Translucent concrete	بتن شيشه دار	Monolithic concrete	بتن يكپارچه
Tremie concrete	بتن زيرآب	Mortar	ملات
Truck-mixed concrete	بتن در كاميون مخلوط شده	Nailable concrete	بتن قابل ميخكوبي
Vacuum concrete	بتن واكيمي	No-fines concrete	بتن بدون ريزدانه
Vermiculite concrete	بتن با دانه هاي ورميكوليتي	No-slump concrete	بتن بدون اسلامپ
Vibrated concrete	بتن مرتعش شده	Normal-weight concrete	بتن معمولي
Visual concrete	بتن نما	Packaged concrete	بتن بسته بندي شده
Watertight concrete	بتن آب بند	Plain concrete	بتن ساده
White concrete	بتن سفيد	Plaster	پلاستر
Zero-slump concrete	بتن با اسلامپ صفر	Plastic concrete	بتن خميري
Polymer-impregnated concrete	بتن با پليمر	Aerated concrete	بتن اسفنجي
Popcorn concrete	بتن متخلخل	Air-entrained concrete	بتن با حباب هوا
Porous concrete	بتن خلل فرج دار	Architectural concrete	بتن معماري
Portland cement concrete	بتن با سيمان پرتلند	Backfill concrete	بتن پركننده
Precast concrete	بتن پيش ساخته	Born-loaded concrete	بتن سنگين برن دار

بتن درجا Cast-in-place concrete	بتن با دانه هاي از پيش چيده شده Preplaced aggregate concrete
بتن درج Cast-in-situ concrete	بتن با دانه هاي از پيش چيده شده Prepacked concrete
بتن متخلخل Cellular concrete	بتن نيمه آماده ، بتن با آبرفتگي پايين Preshrunk concrete
بتن آماده Centrally mixed concrete	بتن پيش تنيده Prestressed concrete
بتن متراكم شده با نيروي گريز از مركز Centrifugally cast concrete	بتن پمپاژ Pumped concrete
بتن هواي سرد Cold-weather concrete	بتن آماده Ready mixed concrete
بتن كلوئيدي Colloidal concrete	بتن آرمه Reinforced concrete
بتن رنگي Colored concrete	بتن پر سيمان Rich concrete
بتن محبوس Confined concrete	بتن متراكم شده با غلتك Roller-compacted concrete
بتن با سنگهاي بزرگ Cyclopean concrete	بتن لاشه سنگي Rubble concrete
بتن توپر Dense concrete	بتن خاك اره اي Sawdust concrete
بتن سفت Dry-packed concrete	بتن حفاظي Shielding concrete
بتن نما Exposed concrete	بتن پاشيده Shotcrete
بتن با دانه هاي نمايان Exposed aggregate conc.	

انواع بتن فاقد سيمان پرتلند

بتن عايقبندي نسوز Refractorty insulating concrete	بتن آسفالتي Asphalt concrete
بتن رزين دار Resin concrete	بتن بطور شيميايي پيش تنيده Chemically-prestressed concrete
بتن خود تنيده Self-stressing concrete	بتن اپوكسي Epoxy concrete
بتن جبران كننده آبرفتگي Shrinkage-compenstated concrete	بتن پليمري Polymer concrete
بتن گوگردي Sulfur concrete	بتن پليمري با سيمان Polymer-cement concrete
بتن با سيمان آلومياتي Aluminate concrete	بتن نسوز Refractory concrete

بتن سبك ساختماني:

- بتني است متشكل از دانه هاي سبك كه دانسيته آن در محدوده ۱۸۵۰~۱٤٤۰Kg/m۳ بوده و مقاومت فشاري ۲۸ روزه آن متجاوز از ۱۷,۵Mp است.
- دانه هاي سبك به روشهاي گوناگوني توليد ميشوند: شيل ، رس ، اسليت در يك كوره دوار يا روي شبكه هاي آهني تحت گرما منبسط مي شود، توده به هم چسبيده خاكستر بادي با گلوله كردن و پختن آن روي شبكه هاي آهني توليد مي شود.
- حدود تغييرات دانسيته دانه ها بين ۱۱۲۰~٥٦۰Kg/m۳ است. اين نوع دانه ها ممكن است ۲۰٪~٥ وزني مصالح خشك آب جذب كنند.
- بتن سبك داراي اسلامپ كمتري است، چون دانسيته دانه ها پايين تر است.
- ايجاد حباب هاي هوا در تمامي بتن هاي سبك توصيه مي شود.
- عمليات صاف كردن و ماله كشي بايد حداقل بوده و با ابزار آلومينيومي يا منيزي استفاده شود.

بتن سبك عايقبندي:

- مورد استفاده در : بامها، ديوارهاي آتشبند، پر كردن كف ها، پوشش حرارتي آبگذرهاي زيرزميني.
- حدود تغييرات دانسيته اين بتن در شرايط خشك در كوره :۱٤٤۰~۲٤۰Kg/m۳ . وممكن است مطابق زير گروه بندي شود:

گروه ۱ : بتن با دانه هاي متشكل از مصالح منبسط شده مانند پرليت ، ورميكوليت ، يا پوكه هاي منبسط شده پلي استرين. وزن مخصوص آنها در حالت خشك شده در كوره عموما" بين ۲٤۰~۸۰۰Kg/m۳ .
گروه ۲ : بتن ساخته شده با دانه هايي كه بوسيله انبساط ، تكليس، يا پختن مصالحي مانند روباره آهنگدازي، رس، دياتوميت، خاكستر بادي، شيل يا اسليت توليد شده اند. يا با انجام فرايند هايي روي مصالح طبيعي مانند پوميس ، اسكوريا، يا توف.
وزن مخصوص آنها در حالت خشك شده در كوره عموما" بين ۸۰۰~۱٤٤۰Kg/m۳.
گروه ۳ : بتن است كه با ايجاد يك ساختمان متخلخل يكنواخت از حفره هاي هوا در خمير سيمان يا ملات ماسه سيمان با استفاده از كف پيش ساخته يا درجا ساخته ميشود.
وزن مخصوص آنها در حالت خشك شده در كوره عموما" بين ۲٤۰~۱٤٤۰Kg/m۳.

- روش ديگر طبقه بندي بتن بر اساس دانسيته و مقاومت است:

* بتن با دانسيته پايين وزن مخصوص كمتر از ۸۰۰Kg/m۳ دارد كه مطابق با گروه ۱ است.
** بتن با مقاومت متوسط وزن مخصوصي بين ۸۰۰~۱٤٤۰Kg/m۳ دارد كه با گروه ۲ مطابقت دارد.
*** وزن مخصوص بتن ساختماني از ۱٤٤۰~۲٥٦۰Kg/m۳ است. گروه ۳ شامل بتن هاي با دانسيته پايين و مقاومت متوسط است.

نسبتهاي اختلاط:

- مثال هايي از نسبتهاي اختلاط براي گروه ۱و۳ در جدول ۱۵-۱ نشان داده شده است.

جدول ۱۵-۱: مثالهايي از مخلوط هاي بتن عايقبندي سبك

نوع بتن	نسبت حجمي سيمان پرتلند به دانه	دانسيته در حالت خشك شده در كوره pcf	سيمان پرتلند نوع ۱ pcf	نسبت وزني w/c	مقاومت فشاري ۲۸ روزه استوانه هاي ۱۲×٦ اينچ،psi
متخلخل (سيمان خالص)	-	۳۹	۸۸٤	۰,٥۷	۳٥۰
	-	۳٤	۷۹۰	۰,٥٦	۲۱۰
	-	۲۸	٦٦۸	۰,٥۷	۱۳۰
	-	۲۳	٥۳٥	۰,٦٥	٥۰
متخلخل (ماسه دار)++	۱:۱	٥۸	۷۲٤	۰,٤۰	٤٦۰
	۱:۲	۷۸	٦۳۰	۰,٤۱	۸۲۰
	۱:۳	۱۰۰	٦۰۲	۰,٥۱	۲۱۹۰
پرليت	۱:٤	۳۰to۳۸	٦۱۰	۰,۹٤	٤۰۰
	۱:٥	۲٦to۳٦	٥۱٦	۱,۱۲	۳۲٥
	۱:٦	۲۲to۳٤	٤۱٤	۱,۲٤	۲۲۰
	۱:۸	۲۰to۳۲	۳۹٥	۱,۷۲	۲۰۰
ورميكوليت	۱:٤	۳۱to۳۷	٦٤۰	۰,۹۸	۳۰۰
	۱:٥	۲۸to۳۱	٤۹۸	۱,۳۰	۱۷۰
	۱:٦	۲۳to۲۹	٤۱٤	۱,٦۰	۱۳۰
	۱:۸	۲۰to۲۱	۳۰۰	۲,۰۸	۸۰
پلي استرين+ ۰ پوند ماسه	۱:۳,٤	۳٤+++	۷٥۰	۰,٤	۳۲٥
۱۲٤ پوند ماسه در يارد مكعب	۱:۳,۱	۳۹+++	۷٥۰	۰,٤	٤۰۰
۲٦۱ پوند ماسه در يارد مكعب	۱:۲,۹	٤٤+++	۷٥۰	۰,٤	٤۷٥
۳۳۸پوند ماسه در يارد مكعب	۱:۲,٥	٤۸+++	۸۰۰	۰,٤	٥٥۰

+. مخلوط همچنين شامل حباب هوا و يك ماده كاهنده آب بود.
++. وزن مخصوص ماسه خشك ميله خورده ۱۰۰ پوند بر فوت مكعب است.
+++. دانسيته در حالت خشك شده در هوا در ۲۸ روز، ٥۰ درصد رطوبت نسبي.
در گروه ۱ مقادير هوا ممكن است حتي ٪۳۰~۲٥ باشد.

- در مواردي كه فولاد گالوانيزه در تماس دائمي بتن خواهد ماند، نبايد از تسريع كننده هاي حاوي كلوركلسيم استفاده شود.(بدليل مسائل خوردگي)

كارآيي:

- بتن هاي عايقبندي با وزن مخصوص كمتر از ۸۰۰Kg/m۳ ، بعلت دارا بودن مقدار هواي زياد، عموما" از كارآيي عالي برخوردارند.
- اسلامپ هاي تا ۲۵cm معمولا" براي گروه هاي ۱و۳ رضايت بخش است.

اختلاط بتن ريزي:

- ارجح آن است كه نخست مقدار آب مورد نياز به داخل مخلوط كن ريخته شود، وسپس سيمان ، مواد حبابزا يا كفزا ،دانه ها ، كف پيش ساخته و ديگر افزودني ها اضافه شود.
- از جابجايي و اختلاط زيادي بتن بايد اجتناب كرد زيرا به شكسته شدن دانه هاي مصالح سنگي كمك كرده و دانسيته و رواني را تغيير ميدهد.
- بعلت مقادير نسبتا" زياد حبابهاي هوا، جدايي معمولا" مساله آفرين نيست.
- عمليات پرداخت بايد در حداقل نگهداشته شود، صاف كردن با شمشه معمولا" كافي است.

هدايت حرارتي:

- قابليت هدايت حرارتي بتن تحت تاثير مقدار رطوبت آن قرار دارد. براي بتن هاي عايق بندي، باراي ۱٪ افزايش دانسيته در اثر رطوبت آزاد، قابليت هدايت حرارتي حدودا" ۵٪ افزايش مي يابد.

مقاومت در برابر يخ زدن و آب شدن:

- بتن عايق بندي سبك عموما" مقرر نمي شود كه در برابر يخ زدن و آب شدن در شرايط اشباع مقاومت كند.

آبرفتگي در حين خشك شدن :

- بتن هاي متخلخل اتوكلاو شده آبرفتگي بسيار اندكي دارند.
- بتن هاي عايقبندي كه با دانه هاي پرليتي و پوميسي ساخته شده اند، ممكن است در مدت ٦ ماه تحت رطبت نسبي ۵۰٪ به مقدار ۰,۳٪~۰,۱٪ آبرفتگي داشته باشند.
- بتن هاي ورميكوليتي در ظرف ٦ ماه به مقدار ۰,٤۵٪~۰,۲٪ آبرفتگي دارند.
- بتن هاي عايق بندي كه با روباره منبسط شده يا شيل منبسط شده ساخته شده باشند ، در مدت ٦ ماه تقريبا" در محدوده ۰,۱۱٪~۰,۰٦٪ قرار دارد.

درزهاي انبساط براي عايق كاري بام:

- ايجاد درز انبساط۲۵mm اغلب در محلهاي جان پناه و پيشامدگي هاي بام مقرر ميشود.(براي انبساط ناشي از گرماي خورشيد)
- براي انبساط حرارتي به مقدار ۲۵mm در هر ۳۰m پيمايش خطي ، درزهاي انبساط عرضي بايد در هر جهت به فواصل حداكثر ۳۰m ايجاد شوند.

بتن سنگين:

- بتن هاي سنگين با دانه هاي سنگين ويژه اي توليد ميشوند و دانسيته آنها حدودا" به ٦٤۰۰Kg/m۳ ميرسد.
- اساسا" براي حفاظت در برابر تشعشعات بكار ميرود.(اشعه x ، گاما ، نوتروني)
- اگر فضا محدود باشد ، از بتن سنگين بايد براي حفاظت در برابر اشعه استفاده كرد در غير اينصورت با بتن معمولي ميتوان همان حفاظ را با ضخامتي بيشتر استفاده كرد.

- نوع وشدت تشعشع معمولا" تعيين كننده مقدار آب و دانسيته مقرر بتن است.

١) دانه هاي سنگين :
- خواص فيزيكي نمونه هايي از بتن و دانه هاي سنگين در جدول ١٥-٢ آورده شده است.

جدول ١٥-٢: خواص فيزيكي نمونه هايي از بتن و دانه هاي سنگين

نوع دانه	آب ثابت* بر حسب درصد وزني	چگالي دانه	دانسيته ظاهري دانه		دانسيته بتن	
			pcf	Kg/m٣	pcf	Kg/m٣
گوئتيت	١٠-١١	٣,٤-٣,٧	١٣٠-١٤٠	٢٠٨٠-٢٢٤٠	١٨٠-٢٠٠	٢٨٨٠-٣٢٠٠
ليمونيت	٨-٩	٣,٤-٤,٠	١٣٠-١٥٠	٢٠٨٠-٢٤٠٠	١٨٠-٢١٠	٢٨٨٠-٣٣٦٠
باريت	٠	٤,٠-٤,٦	١٤٥-١٦٠	٢٣٢٠-٢٥٦٠	٢١٠-٢٣٠	٣٣٦٠-٣٦٨٠
ايلمنيت	-	٤,٣-٤,٨	١٦٠-١٧٠	٢٥٦٠-٢٧٠٠	٢٢٠-٢٤٠	٣٥٢٠-٣٨٥٠
هماتيت	-	٤,٩-٥,٣	١٨٠-٢٠٠	٢٨٨٠-٣٢٠٠	٢٤٠-٢٦٠	٣٨٥٠-٤١٧٠
مانيتيت	-	٤,٢-٥,٢	١٥٠-١٩٠	٢٤٠٠-٣٠٤٠	٢١٠-٢٦٠	٣٣٦٠-٤١٧٠
فروفسفر	٠	٥,٨-٦,٨	٢٠٠-٢٦٠	٣٢٠٠-٤١٦٠	٢٥٥-٣٣٠	٤٠٨٠-٥٢٩٠
گلوله ها و تكه هاي فولادي	٠	٦,٢-٧,٨	٢٣٠-٢٩٠	٣٦٨٠-٤٦٥٠	٢٩٠-٣٨٠	٤٦٥٠-٦٠٩٠

*. آب نگهداشته شده يا بطور شيميايي پيوند شده در دانه ها.
در مواردي كه مقدار آب ثابت بالايي مورد نظر باشد ، از سرپنتين يا بوكسيت ميتوان استفاده كرد.

٢) مواد اضافي:
- براي بهبود خواص حفاظت نوتروني از مواد اضافي حاوي برن(Born) مانند كلمنيت ، مواد تكليس شده برن دار و بروكلسيت استفاده ميشود. اين مواد روي گيرش و مقاومت اوليه تاثير معكوس دارند.

٣) خواص بتن سنگين:
- خواص فيزيكي بتن سنگين عموما" در همه موارد به استثناي دانسيته ، مشابه با بتن معمولي است.

٤) اختلاط وبتن ريزي:
- متداولترين روشهاي اختلاط و بتن ريزي بتن سنگين:

١) روشهاي معمول و متداول غالبا" براي اختلاط وبتن ريزي بكار ميروند. از پر كردن بيش از اندازه مخلوط كن، بويژه با دانه هاي بسيار بايد اجتناب كرد. پيمانه ها بايد تا حدود ٥٠٪ ظرفيت اسمي مخلوط كن كاهش يابند.از اختلاط زياد به منظور جلوگيري از شكسته شدن دانه ها كه منجر به اثرات زيان بخشي روي كارآيي و آب انداختن ميشود، بايد اجتناب ورزيد.
٢) روشهاي از پيش چيده شده: دانه هاي درشت يا تركيبي از چندين نوع دانه ، از پيش در قالب ها چيده ميشوند. سپس دوغاب تهيه شده از سيمان ، ماسه ، وآب از درون لوله ها با فشار جريان مي يابد تا حفره هاي ميان دانه ها پر شود.
٣) روش پمپاژ براي بتن سنگين با خطوط لوله در محل هايي كه فضا محدود است ، ميتواند سودمند باشد.
٤) روش غوطه وري روشي است كه بيشتر از ٥٠mm ملات در قالب ها ريخته ميشود و سپس با لايه اي از دانه هاي مربوطه پوشيده مي شود. و در اثر كوبيدن با ميله يا ارتعاش داخلي، دانه ها بدرون ملات هدايت مي شوند.

بتن هاي سفيد ورنگي:

١) بتن سفيد:
- سيمان پرتلند سفيد براي توليد بتن سفيد بكار ميرود.
- از مصرف مصالح لازم براي عمل آوردن كه ممكن است منجر به لكه دار شدن بتن بشود ، بايد اجتناب ورزيد.

- دال ها بايد با كاغذ ضد آب كه نتواند بتن را لكه دار سازد عمل آورده شوند.

۲) بتن رنگي:
- بتن رنگي را ميتوان با استفاده از دانه هاي رنگي يا با افزودن مواد رنگي ، يا هر دو ، توليد كرد.
- دانه هاي رنگي ممكن است از دانه هاي طبيعي مانند كوارتز، مرمر ، گرانيت بوده ، يا ممكن است از مصالح سراميكي باشند.
- مقدار مواد رنگي كه به يك مخلوط اضافه مي شود نبايد بيشتر از ۱۰٪ وزن سيمان باشد.
- سيمان پرتلند سفيد، رنگهاي تميزتر و شفاف تري را توليد ميكند.
- سيمان خشك و ماده رنگي پيش از آنكه به مخلوط اضافه شوند، بايد با هم كاملا" در آميزند تا از رگه هاي رنگي غير يكنواخت جلوگيري به عمل آيد. به منظور حصول اطمينان از يكنواختي ، بايد زمان اختلاط ، طولاني تر از معمول باشد.
- رنگين كردن دال ها يا پانل هاي پيش ساخته اي را كه بطور افقي ريخته ميشوند، ميتوان با روش رنگ پاشي انجام داد.
مصالح رنگي خشك متشكل از: الف) مواد اكسيدي معدني
ب) سيمان پرتلند سفيد
پ) ماسه سيليسي با دانه بندي ويژه يا ريز دانه هاي ديگر
پس از تخته مالي دال ، ۲/۳ مصالح رنگي خشك بايد بطور يكنواخت با دست روي سطح پاشيده شود. پس از آنكه اين ماده ، آب بتن تازه را جذب كرد، با استفاده از تخته مالي ، بايد آنرا به سطح بتن تلقيح كرد. بلافاصله بعد از آن ، بقيه مصالح بايد بدقت روي سطح بصورت عمود بر جهت اعمال رنگ اوليه پاشيده شود به گونه اي كه رنگ يكنواختي بدست آيد.

بتن بدون اسلامپ:

- رواني اين نوع بتن معادل۲۵mm اسلامپ يا كمتر مي باشد.
- كاربرد اين نوع بتن در صنعت پيش ساخته مي باشد. نظير:
۱) لوله ها
۲) دالهاي توخالي
۳) بستهاي راه آهن
٤) بلوك بتني
٥) آجر بتني

- اندازه گيري رواني بتن بدون اسلامپ با بتن خميري تفاوت دارد زيرا مخروط اسلامپ براي رواني خشك تر غير عملي است.
- سه وسيله براي اندازه گيري بتن بدون اسلامپ: ۱) دستگاه وي. بي
۲) دستگاه ضريب تراكم
۳) ميز سقوط تالو
- در مواردي كه دوام مورد نياز است، حباب هاي هواي عمدي توصيه ميشوند.
مقدار ماده حبابزاي مورد نياز در واحد سيمان براي تامين مقدار هواي مطلوب در مخلوط خميري همان مقداري است كه بايد در مخلوط فاقد خميري مصرف شود. به عنوان راهي ديگر ، ميتوان از سيمان حباب زا استفاده كرد.

مقدار سيمان در انواع ملاتها:

- ملات باتارد و ملات ماسه سيمان جزو ملات هاي دير گير به حساب مي أيند.
- جدول زير مقدار سيمان مورد استفاده در انواع ملات ها را مشخص مينمايد.

جدول مقدار سيمان در ملات ها بر حسب كيلوگرم در متر مكعب ملات

شرح	ملات ماسه سيمان ١:٦	ملات ماسه سيمان ١:٥	ملات ماسه سيمان ١:٤	ملات ماسه سيمان ١:٣
مقدار سيمان	٢٠٠	٢٢٥	٢٨٥	٣٦٠
شرح	ملات ماسه بادي و سيمان ١:٤	ملات ماسه بادي و سيمان ١:٣	ملات باتارد ١:٢:٨	ملات باتارد ١:٢:١٠
مقدار سيمان	٢٨٥	٣٦٠	١٣٠	١١٠
شرح	ملات سيمان پودر سنگ خاك سنگ ١:١:٣	دوغاب سيمان سفيد پودر سنگ ١:٤ براي بند كشي سنگ پلاك و كاشي سراميك	دوغاب سيمان سفيد پودر سنگ ١:٦ براي بند كشي موزاييك فرنگي	ملات موزاييك ١:٢,٥:٢,٥
مقدار سيمان	٣٠٠	٤٠٠	٢٢٥	٣٥٠
شرح	ملات موزاييك ١:١,٥:٢	دوغاب سيمان معمولي		
مقدار سيمان	٤٥٠	٤٣٠		

مراجع:

١) طرح و كنترل مخلوطهاي بتن " ابراهيم طسوجي"
٢) فهرست بهاي واحد پايه رشته ابنيه رسته ساختمان سال ١٣٨٣ " سازمان مديريت و برنامه ريزي كشور"
٣) ايين نامه سازه هاي بتني " مهندس مجيد رضانقيه"

مولف: مهندس سيامك عليزاد
تهيه و تنظيم از: مهندس سيامك عليزاد ومهندس بابك نوبهار
سال: اسفند ١٣٨٣
ادرس: ALIZAD_SIAMAK@YAHOO.COM

همه حقوق براي مولف محفوظ است.