

بتن خود تراکم از تئوری تا تولید

مهندس جواد مروتی - کارشناس واحد تحقیق و توسعه بنیان بتن
مهندس مرجان محمودی - کارشناس واحد تحقیق و توسعه بنیان بتن

چکیده

تراکم کامل بتن و جاگیری مناسب آن در قالب از مهمترین نکات در اجرای صحیح سازه های بتنی می باشد. متراکم نمودن بتن با استفاده از روشهای معمول یعنی استفاده از ویبراتورها مشکلات متعددی از جمله جداشدگی دانه ها، شن‌نماشدن بعضی نقاط را به همراه دارد.

بتن خودتراکم راه حل بسیار مناسبی برای مقابله با این مشکلات است که اولین بار در دهه گذشته توسط دانشمندان ژاپنی ابداع گردید.

سطح تمام شده بهتر، اطمینان از تراکم بتن بدون استفاده از ویبراتور، افزایش سرعت اجرا و کاهش نیروی انسانی مورد نیاز برای اجرا، از جمله مزایای بتن خودتراکم می باشد.

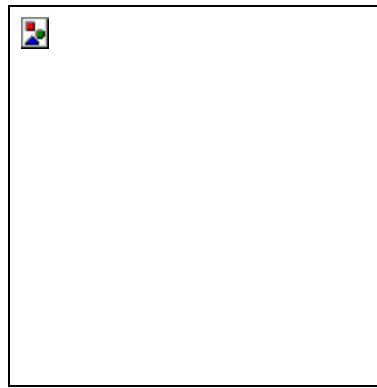
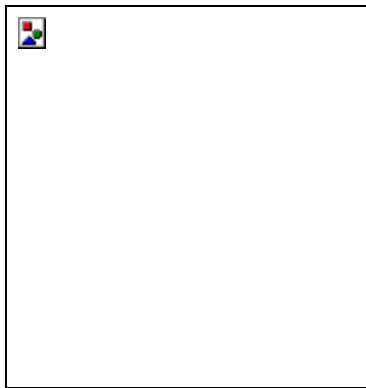
در این مقاله علاوه بر معرفی کلی بتن خودتراکم و خواص آن آزمایشات مربوطه به صورت کامل تشریح گردیده است.

1- مقدمه

یکی از نکات مهم در اجرای صحیح سازه های بتنی تراکم کامل بتن و جا گیری مناسب آن در قالب می باشد. این مسأله در مورد المان هایی همچون دیوار برشی و ستون که در آنها فشردگی آرماتور زیاد و ابعاد مقطع بتن ریزی کوچک می باشد از اهمیت بیشتری برخوردار است.

استفاده از ویبراتور جهت متراکم کردن بتن، مشکلات زیادی به همراه دارد که از جمله آنها می توان به موارد زیر اشاره نمود :

- جداشدگی دانه بندی بتن به علت ویبره زیاد در بعضی مناطق
- تراکم ناهمگن در نقاط مختلف سازه و در نتیجه مقاومت فشاری متفاوت در مقاطع مختلف سازه
- گیر کردن شیلنگ ویبره بین آرماتورها در حین اجرا
- کرمو شدن بعضی مناطق به علت غیرقابل دسترس بودن
- کرمو شدن نقاطی از سطح بتن به علت ویبره بیش از حد و فرار شیره بتن



جاگیری ناقص بتن در قالب

به موارد فوق باید آلودگی صوتی و خطرات جانی عملیات ویبره در مورد دیوارها و ستونهای بتنی را نیز افزود.

بتن خود تراکم راه حلی است که امروزه جهت رفع این مشکلات و همچنین رسیدن به بتنی با کیفیت بالاتر مطرح می باشد .

نظریه بتن خود تراکم که انقلابی در زمینه تکنولوژی بتن نامیده شده است اولین بار توسط پروفیسور حجیم اکامورا از دانشگاه

کوجی ژاپن در سال 1986 مطرح گردید .

در سال 1988 این نظر تکمیل و برای اولین بار بتن خود تراکم ساخته شد .
 در سال 1989 اولین مقاله درباره بتن خود تراکم در دومین کنفرانس مهندسی سازه و ساختمان آسیای شرقی ارائه شد .
 امروزه بتن خود تراکم در پروژه های مختلف عمرانی در سطح دنیا مورد استفاده قرار می گیرد همچنین آزمایشات تحقیقی و پژوهشی در این زمینه ادامه دارد .

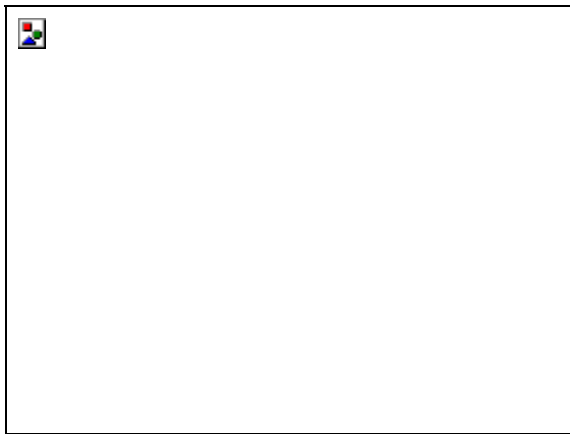
2- آشنایی کلی با بتن خود تراکم

بتن خود تراکم بتنی است که بدون اعمال هیچگونه انرژی خارجی و تحت اثر وزن خود متراکم گردد. این بتن که ماده ای بسیار سیال و روان و مخلوطی همگن است ، بسیاری از مشکلات بتن معمولی نظیر جدا شدگی ، آب انداختن ، جذب آب ، نفوذپذیری و ... را رفع نموده و علاوه بر این بدون نیاز به هیچ لرزاننده (ویبره) داخلی یا ویبره بدنه قالب تحت اثر وزن خود متراکم می شود.
 این بتن به راحتی توانایی پر کردن قالب در محل شبکه های آرماتور فشرده را دارا می باشد و حتی در جاهایی که دسترسی به آنها دشوار است به راحتی عبور می کند .

بتن خود تراکم در طرح اختلاط و ساختارش تفاوت عمده ای با بتن معمولی ندارد . البته مواد خاصی جهت نیل به مشخصات ویژه این بتن در تولید آن مورد مصرف قرار می گیرد. این مواد عمدتاً شامل فوق روان کننده ها، مواد مضاف پوزولانی و فیلرها (پودر سنگ با قطر دانه های ریزتر از 125 میکرون) می باشند. همچنین ملاحظات خاصی در مورد دانه بندی سنگدانه های مورد مصرف در این نوع بتن در نظر گرفته می شود .

مزایای استفاده از بتن خود تراکم به شرح زیر می باشد :

- اطمینان از تراکم بخصوص در مقاطعی که کاربرد لرزاننده دشوار است .
- جاگیری آسانتر در قالب
- سطح تمام شده بهتر
- کاهش نیروی انسانی
- اجرای سریعتر خصوصاً در مورد مقاطع دیوار و ستون
- آزادی عمل بیشتر در طراحی (امکان ایجاد مقاطع نازک تر)



کاهش آلودگی صوتی ناشی از عملیات ویبره

سطح تمام شده بتن خود تراکم در مقایسه با بتن معمولی

3- مواد تشکیل دهنده بتن خود تراکم

3-1- سنگدانه :

سنگدانه ها به دو دسته تقسیم می شوند :

3-1-1- ماسه :

تمامی ماسه های متداول در تولید بتن معمولی در این صنعت نیز به کار می رود . هر دونوع ماسه شکسته و یا گرد گوشه اعم از سیلیسی و یا آهکی می توانند مورد استفاده قرار گیرند . ذرات ریزتر از 125 میکرون که به عنوان " پودر " تلقی میشوند، برخواص روانی بتن خود تراکم بسیار مؤثر بوده و به منظور تولید بتن یکنواخت ،

رطوبت آن باید دقیقاً کنترل شود. حداقل میزان ریزدانه ها (از ماسه تا مواد چسباننده پودری) به منظور جلوگیری از جداسازی دانه بندی از مقدار شخصی نباید کمتر باشد.

3-1-2- شن (درشت دانه ها) :

تمامی انواع درشت دانه در اینجا به کار می رود، ولی حداکثر اندازه معمولی دانه ها 16 تا 20 میلی متر می باشد. به هر حال سنگدانه های تا حدود 40 میلی متر نیز می تواند در بتن خود تراکم به کار رود. استفاده از سنگدانه های شکسته سبب افزایش مقاومت بتن خود تراکم (بدلیل افزایش قفل و بست بین ذرات) می شود در حالیکه سنگدانه های گرد گوشه بدلیل گوشه بدلیل کاهش اصطکاک داخلی روانی آن را بهبود می بخشد.

3-2- سیمان :

به طور کلی تمامی انواع سیمان های استاندارد می تواند در بتن خود تراکم به کار رود. انتخاب نوع سیمان بستگی به پارامترهای مورد انتظار بتن مثل مقاومت، دوام و ... دارد.

دامنه عمومی میزان مصرف سیمان در اینجا 350 تا 450 کیلوگرم در مترمکعب می باشد. میزان بیشتر از 500 می تواند

سبب افزایش خطر جمع شدگی شود. میزان کمتر از 350  نیز فقط در صورتی قابل قبول می باشد که به همراه مواد پوزولانی، خاکسترهای بادی، دوده سیلیسی و ... به کار رود.

حضور بیش از 10% میزان در سیمان می تواند سبب کاهش نگهداشت کارایی بتن گردد.

3-3- مواد مضاف :

مصالح بسیار ریز غیر آلی هستند که به منظور بهبود و یا ایجاد خواص مشخص در بتن به آن افزوده می شوند. این مواد باعث بهبود کارایی، کاهش حرارت هیدراتاسیون و عملکرد بهتر بتن در دراز مدت می گردند. مواد مضاف عمومی مورد استفاده عبارتند از:

3-3-1- پودر سنگ :

ذرات شکسته بسیار ریز (کوچکتر از 125 میکرون) سنگ آهک، دولومیت و یا گرانیست است که به منظور افزایش مواد پودری به کار می رود. استفاده از پودرهای دولومیتی، بدلیل واکنش های کربنات قلیایی می تواند دوام بتن را با مشکل مواجه نماید.

3-3-2- خاکستر بادی :

ماده ای است که از سوختن زغال سنگ حاصل می شود و دارای خصوصیات پوزولانی است که در بهبود خواص بتن خیلی مؤثر می باشد.

3-3-3- میکرو سیلیس

میکرو سیلیس در بتن خود تراکم باعث سیالیت بالای بتن شده و دوام بتن را افزایش می دهد و نقش مهمی در چسبندگی و پرکنندگی بتن با عملکرد بالا دارد. میکروسیلیس دارای حدود 90 درصد دی اکسید سیلیس می باشد.

ذکر این نکته ضروری می نماید که استفاده از پرکننده در هر کشوری با توجه به ذخائر همان کشور تعیین می شود. برای مثال در کشورهای اروپایی که هنوز از زغال سنگ به عنوان سوخت کربنی استفاده می شود به کاربردن خاکستر بادی امری بهینه و مفید است، در کشورهایی که به لحاظ صنعت ذوب آهن در مرحله صنعتی قرار دارند، میتوان از سرباره کارخانجات ذوب آهن استفاده نمود در کشور ما نیز با توجه به در دسترس بودن و همچنین کارایی آن پرکننده، باید به دنبال ماده ای مناسب و مقرون به صرفه برای جایگزینی فیلرهای مرسوم در صنعت بتن خود تراکم اروپایی باشیم.

3-4- مواد افزودنی :

موادی هستند که به منظور ایجاد و یا بهبود خواص مشخصی به بتن تازه و یا سخت شده در حین ساخت بتن به آن افزوده

میشوند. استفاده از فوق روان کننده ها برای تولید بتن خود تراکم به منظور ایجاد کارایی مناسب، ضروری می باشد. از انواع دیگر مواد افزودنی میتوان به عامل اصلاح لزجت (V.M.A) به منظور اصلاح لزجت، مواد افزودنی حباب زا (A.E.A) به منظور بهبود مقاومت در برابر یخ زدگی و آب شدن، کندگیر کننده ها به منظور کنترل گیرش و ... اشاره نمود .
استفاده از V.M.A در حضور پودرها امکان جدا شدگی دانه بندی را کاهش داده و مخلوط را یکنواخت تر می کند ولی در استفاده از آن باید به اثرات آنها بر روی عملکرد بلند مدت بتن توجه داشت.
استفاده از فوق روان کننده ها می تواند تا حدود 20% مصرف آب را کاهش دهند .

3-5- آب مخلوط :

مطابق استاندارد بتن های معمولی به کار می رود .

4- خصوصیات ویژه بتن خود تراکم

این بتن می تواند برای ساخت هر نوع سازه با ویژگیهای مطلوب دوام ، مقاومت و ... به کار رود . به لحاظ مقاومت فشاری ، کششی ، مدول الاستیسیته و ... با بتن های معمولی فرق نمی کند و تمامی پارامترها و فرمول های طراحی بتن معمولی اینجا نیز کاربرد دارد . بدلیل استفاده از مقادیر زیاد مواد پودری ، انقباض خمیری و خزش بیشتری را نسبت به بتن معمولی انتظار داریم لذا سرعت در شروع عملیات عمل آوری در بتن خود تراکم یک امر ضروری است .

جهت بررسی خواص بتن تازه مهمترین فاکتور مطرح، روانی بتن می باشد که عموماً بوسیله آزمایش اسلامپ سنجیده می شود ولی در مورد بتن خود تراکم باید فاکتورهای بیشتری مورد بررسی قرار گیرد تا از توانایی بتن ساخته شده جهت تراکم خودکار اطمینان حاصل شود ، این پارامترها به شرح ذیل می باشد:

- روانی
- توان عبور
- مقاومت در برابر جدا شدگی
- لزجت (ویسکوزیته)

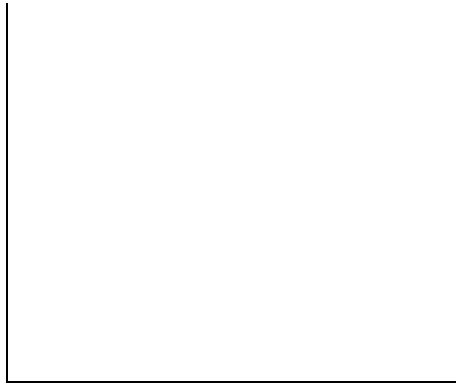
4-1- روانی



به قابلیت جریان یابی روان و آسان بتن تازه وقتی مانعی بر سر راه آن نباشد، روانی گویند این ویژگی با آزمایش جریان اسلامپ سنجیده می شود.

4-2- توان عبور :

به توانایی بتن خود تراکم در جاری شدن و عبور از بین فضای کوچک شبکه آرماتور بدون توقف یا جدا شدگی توان عبور گویند . این ویژگی با آزمایش جعبه L سنجیده می شود .

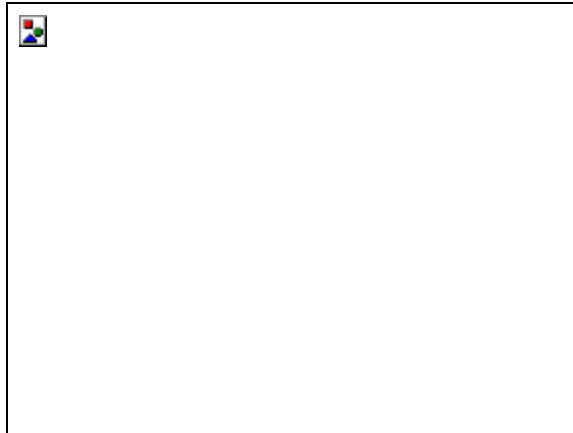


3-4- مقاومت در برابر جدا شدگی :

به توانایی بتن خود تراکم برای یکنواخت و همگن ماندن، طی مراحل حمل و بتن ریزی گویند . مقاومت در برابر جدا شدگی به وسیله آزمایش پایایی الک سنجیده می شود .

4-4- لزجت (ویسکوزیته)

به خاصیتی که باعث مقاومت در برابر جاری شدن سریع بتن می گردد گویند . بتن دارای لزجت پایین به سرعت جریان می یابد و توقف می کند ولی بتن با لزجت زیاد مدت زمان بیشتری حرکت می کند تا متوقف شود .



این ویژگی بوسیله آزمایش قیف V سنجیده می شود .

روش سنجش خواص کارآیی بتن خود تراکم

ردیف	ویژگی مورد سنجش	نام آزمایش
1	روانی	جریان اسلامپ
2	توان عبور	لجعبه
3	مقاومت در برابر جدا شدگی	پایایی الک
4	لزجت (ویسکوزیته)	قیف

5- آزمایشات بتن خود تراکم

در اینجا به اختصار اشاره ای به روش انجام آزمایشات مربوط به خواص بتن خود تراکم می گردد .

1-5- آزمایش جریان اسلامپ

آزمایش جریان اسلامپ به منظور تعیین آزادی حرکت بتن خود تراکم در سطح افق به هنگام نبود مانع صورت می گیرد. اساس آزمایش بر اصولی استوار است که آزمایش اسلامپ معمولی بر آن بنا نهاده شده است . قطر دایره ای که بتن پس از پخش شدن می سازد ، معیار سنجش قابلیت پرکنندگی بتن خواهد بود . نتایج این آزمایش هیچ اشاره ای به توانایی گذشتن بدون انسداد بتن از خلال موانع

ندارد، اما می تواند ملاکی برای ارزیابی مقاومت در برابر جدا شدگی نیز باشد .

روش انجام آزمایش :

حدود 6 لیتر بتن مورد نیاز است . ابتدا بدنه ی داخلی مخروط اسلامپ را تر کنید . سپس صفحه فلزی را روی سطح متعادلی محکم کنید . استوانه در مرکز صفحه قرار گرفته و داخل آنرا به کمک پیماننه از بتن پر کنید . هیچ ضربه ای نباید به بدنه ی استوانه زده شود . مواد زائد را از اطراف آن بزداید ، سپس مخروط را بصورت عمودی بالا کشیده و اجازه دهید بتن آزادانه به بیرون جریان یابد . در همین لحظه ، زمان سنج را فعال نموده و زمانی را که طول می کشد تا بتن به قطر 500 میلیمتر پهن شود ، ثبت نمایید . این همان جریان اسلامپ T50cm است . قطر نهایی بتن پهن شده را در دو جهت عمود بر هم اندازه گیری نموده ، میانگین آنها را به عنوان قطر نهایی بتن پهن شده ثبت کنید . این اندازه جریان اسلامپ بر حسب میلیمتر است .



5-2- آزمایش جعبه L

این آزمایش جریان یابی بتن و همچنین انسداد ناشی از فاصله ی میلگردها را تشریح می کند. از نتیجه ی این آزمایش، شیب قرار گیری بتن در حالت توقف حاصل می شود که معیاری برای قابلیت گذرندگی یا درجه ای از حدود فاصله ی میلگردها برای گذر بتن خواهد بود. قسمت افقی جعبه می تواند 200 تا 400 میلیمتر از دریچه امتداد داشته باشد زمان لازم برای پر شدن این فاصله به عنوان و شناخته شده و معیاری برای قابلیت پرکنندگی است. قطر میلگردها و فاصله آنها از هم اختیاری است. براساس قرارداد، در صورت استفاده از میلگردهای معمولی، فاصله بین آنها به مقدار سه برابر بزرگترین اندازه دانه ی سنگی در نظر گرفته می شود.

روش انجام آزمایش :

حدود 14 لیتر بتن مورد نیاز است. دستگاه را روی یک سطح صاف و محکم قرار دهید از باز شدن راحت دریچه اطمینان حاصل کنید و سپس آن را ببندید. سطح داخلی دستگاه را مرطوب نمایید و آبهای اضافی را خارج کنید قسمت عمودی دستگاه را از بتن پر کنید به مدت یک دقیقه آن را به حال خود رها کنید تا در محل خود قرار گیرد. دریچه را باز کنید تا بتن آزادانه به قسمت افقی دستگاه جریان یابد. همزمان با باز کردن دریچه زمان سنج را فعال نموده و زمان لازم برای پهن شدن بتن در طول 200 یا 400 میلیمتر در قسمت عمودی را ثبت نمایید. وقتی بتن از جریان ایستاد، مقادیر (ارتفاع بتن در انتهای قسمت افقی دستگاه) و (ارتفاع بتن در پشت دریچه) را اندازه گیری نمایید.



نسبت انسداد را نشان میدهد تمام آزمایش باید در 5 دقیقه انجام گیرد مقادیر و می تواند اطلاعاتی پیرامون آسانی حرکت در اختیار گذارد اما هیچ محدوده مناسبی به طور عمومی برای آنها مورد تأیید قرار نگرفته است انسداد و گیر کردن درشت دانه ها در پشت میلگردها دستگاه را می توان به شهودی دید.



3-5- آزمایش پایایی الک :

برای ارزیابی مقاومت در برابر جداشدگی این آزمایش روش مناسبی در بتن خودتراکم است. اساس آزمایش بر آن است که حدود 10 لیتر بتن را به مدت مشخصی، در حالت سکون قرار داده و اجازه می دهیم که تمام جداشدگی درونی آن آشکار شود. سپس نیمی از آن را روی الک 5 میلیمتری به قطر 30 سانتی متر ریخته، روی ته الک قرار داده و مجموعه را روی ترازو قرار می دهیم. پس از دو دقیقه ملاتی که از خلال الک گذشته را وزن نموده و آن را به صورت درصدی از مصالح اولیه روی الک بیان می کنیم.

روش انجام آزمایش :

حدود 10 لیتر بتن برای این آزمایش مورد نیاز است. بتن را در سطلی ریخته و روی سطح آن را به منظور جلوگیری از تبخیر با کلاهکی بیوشانید و به مدت 15 دقیقه در حالت سکون رها کنید. وزن الک و ته الک خالی را تعیین کنید. سطح بتن را پس از گذشت زمان مقرر مورد بررسی قرار دهید و جمع شدگی آب روی آن را در صورت وجود یادداشت کنید. بیش از 2 لیتر یا $kg 8/4 \pm 2/0$ از بتن داخل سطل را در ظرف دیگری بریزید. ظرف حاوی بتن را وزن کنید. تمام بتن موجود در ظرف را از ارتفاع 500 میلیمتری و در یک حرکت پیوسته و مدام روی الک بریزد. ظرف خالی را وزن کنید و وزن بتن خالص ریخته شده روی الک را محاسبه نمایید (m) اجازه دهید تا ملات در یک دوره زمانی 2 دقیقه ای از خلال الک به داخل ته الک جریان پیدا کند. سپس الک ر جدا نموده و وزن ته الک پر شده را محاسبه نمایید. حال با داشتن وزن ته الک خالی و وزن موجود، وزن ملات گذشته از الک را تعیین کنید (mb)، نسبت وزنی ملات جدا شده از بتن، درصد جداشدگی را تشکیل میدهد.

$$\text{درصد جدا شدگی} = \left(\frac{\text{وزن جدا شده}}{\text{وزن بتن}} \right) \times 100 (\%)$$

برای درصد جداشدگی 5 تا 15 درصد وزنی از کل نمونه، مقاومت در برابر جداشدگی بتن مناسب خواهد بود. کمتر از 5% مقاومت بیش از حد را بدنبال دارد و به احتمال زیاد روی سطح تمام شدهی بتن تأثیر می گذارد (سوراخهای هوایی احتمالی). در بیش از 15% و مخصوصاً بیش از 30%، با یک جداشدگی قوی روبرو خواهیم بود.

4-5- آزمایش قیف V :

این آزمایش به منظور اندازه گیری قابلیت پرکنندگی بتن با حداکثر اندازه ی دانه ی 20 میلیمتر بکار می رود. زمان لازم برای جریان پیدا کردن بتن از میان دستگاه اندازه گیری می شود، سپس قیف دوباره از بتن پر شده و مدت 5 دقیقه در همان حالت باقی مانده و دوباره آزمایش فوق صورت می گیرد، چنانچه بتن دچار جداشدگی شود، زمان جریان یابی آن بطور محسوسی افزایش می یابد.

روش انجام آزمایش قیف V :

حدود 12 لیتر بتن برای انجام آزمایش لازم است. قیف V را بصورت متعادل روی زمین قرار داده و محکم کنید. سطح درونی قیف را تر کنید. درب زانویی دستگاه را باز کنید تا هرگونه آب مازاد تخلیه شود. درب زانویی را بسته و سطلی زیر آن قرار دهید. دستگاه را کاملاً از بتن پر کنید. هیچگونه فشردگی، پر کردن حفره ها یا ضربه زدن به بدنه ی دستگاه به وسیله ی بیلچه نباید صورت گیرد. 10 ثانیه پس از پر شدن کامل دستگاه، درب زانویی را باز کنید تا بتن تحت وزن خود به بیرون جریان یابد. زمان سنج را هنگام باز کردن درب زانویی فعال کنید و زمان تخلیه ی کامل را ثبت نمایید. این زمان مربوط به آزمایش قیف V می باشد. زمان سنج هنگامی متوقف می شود که بتوان نور را از بالای دستگاه در دریچه تخلیه دید. همه آزمایش باید در 5 دقیقه انجام گیرد.

روش انجام آزمایش V T5minute :



سطح داخلی دستگاه را تمیز یا تر نکنید. درب زانویی را بسته و قیف را بلافاصله پس از اندازه‌گیری زمان جریان یابی از همان بتن پر نمایید. سطح را در زیر قیف قرار دهید. درب زانویی را 5 دقیقه پس از دومین پر کردن دستگاه بگشایید و اجازه دهید بتن آزادانه و تحت وزن خود جریان یابد. همزمان با بازکردن درب، زمان سنج را فعال نموده و زمان تخلیه ی کامل را ثبت نمایید. این زمان، همان 5min خواهد بود. برای بتن خود تراکم زمان جریان یابی 10 ثانیه اختصاص یافته است. شکل معکوس مخروطی دستگاه، جریان را محدود می‌کند و زمان جریان یابی را طولانی می‌کند. این می‌تواند اشاره ای به حساسیت اختلاط نسبت به انسداد باشد. پس از 5 دقیقه قرارگیری، جداسازی بتن بطور پیوسته با افزایش زمان جریان یابی خود را نشان خواهد داد.

6- طرح اختلاط

1-6- طرح اولیه اختلاط

طرح اختلاط بتن خود تراکم را باید به نحوی تنظیم نمود که تمام خواص و ویژگیهای بتن تازه و سخت شده را برآورده نماید. یک طرح اختلاط زمانی می‌تواند جزء گروه بتن خود تراکم طبقه بندی شود که هر سه فاکتور زیر را بطور کامل تأمین نماید.

- روانی
 - قابلیت گذر از میان موانع
 - مقاومت در برابر جدا شدگی
- محاسبه طرح اختلاط براساس واحد حجم محاسبه بهتر از محاسبه بر اساس جرم می‌باشد. هنوز هیچ طرح اختلاط ثابت و کاملی برای بتن خود تراکم ارائه نشده است و همه ترکیبات و نسبتهای اختلاط به صورت نسبی و تجربی بدست آمده است. مراتب دستیابی به یک طرح اختلاط مناسب، با طرح نسبتهای اختلاط اولیه براساس حدود تجربی بدست آمده، آغاز شده و با بررسی ویژگیهای حاصل اصلاح نسبتهای اولیه ختم می‌شود.

حدود شاخص های بتن خود تراکم به قرار زیر است:

- نسبت حجمی پودر به آب: 0/8 تا 1/1
- محتوای پودری: 160 تا 240 لیتر (400 تا 600 کیلوگرم) به ازای هر مترمکعب
- مقدار درشت دانه: بطور معمول 28 تا 35 درصد حجمی از مخلوط

- نسبت آب به سیمان: می‌تواند هر مقدار عملی باشد ولی در نهایت محتوای آب نباید از 200 تجاوز کند. میزان ماسه باید بیش از 50 درصد وزن کل سنگدانه ها و بیشتر از 40 درصد حجم مخلوط باشد.

2-6- اصلاح طرح اختلاط اولیه :

آزمایش های لازم در محیط آزمایشگاه برای بازبینی خواص اولیه مخلوط انجام می‌شود تمامی شرایط از پیش تعیین شده باید تأمین گردد. مخروط باید به اندازه ی طبیعی در محل کارگاه آزمایش شود در صورتی که عملکرد رضایت بخش به دست نیاید باید بصورت بنیادی به طراحی مجدد پرداخت. بسته به مشکلات پیش آمده، عکس العمل های زیر به کار می‌رود:

- استفاده از مواد مضاف یا موارد دیگر پرکننده
- اصلاح نسبت ماسه و سنگدانه درشت در مخلوط
- V.M.A استفاده از یک عامل اصلاح لزجت ()
- استفاده از نوع دیگری از فوق روان کننده که با مصالح محلی سازگارتر باشد.
- تنظیم نسبت افزودنی ها به منظور اصلاح مقدار آب و براساس آن اصلاح محتوای پودری.

3-6- مسیر طراحی

در زیر نمونه مسیر طراحی که توسط اکمورا در ژاپن ابداع شده ، آورده شده است. نتایج حاصل از روش زیر ممکن است با مقادیر مندرج در قبل به عنوان طرح اختلاط یکسان نباشد .

- تعیین هوای مخلوط (عموماً 2%) ممکن است به سبب نیاز به مقاومت بیشتر در برابر یخ زدگی، مقدار بیشتری لحاظ شود.
- محاسبه مقادیر حجمی درشت دانه : این میزان به دلیل برخورد سنگدانه ها و خطر توقف بتن نباید بیش از 60 درصد حجم، مخلوط شود، لذا میزان بهینه درشت دانه ها براساس دو پارامتر حداکثر اندازه سنگ دانه و شکسته یا گرد گوشه بودن آن بدست می آید. کاهش حداکثر اندازه سنگدانه ها و یا استفاده از گردگوشه ها سبب افزایش سهم نسبی درشت دانه می شود .
- محاسبه میزان ماسه : میزان بهینه ماسه در حدود 40-50 درصد کل مخلوط می باشد .
- ۷ محاسبه میزان نسبت آب به پودر و فوق روان کننده ها : با آزمایشهای مختلف اسلامپ و قیف میزان بهینه آب به مواد پودری 18/0-9/0 می باشد .

با آزمایشات متعدد، می توان میزان بهینه فوق روان کننده را نیز متناسب با کارایی مطلوب بدست آورد.



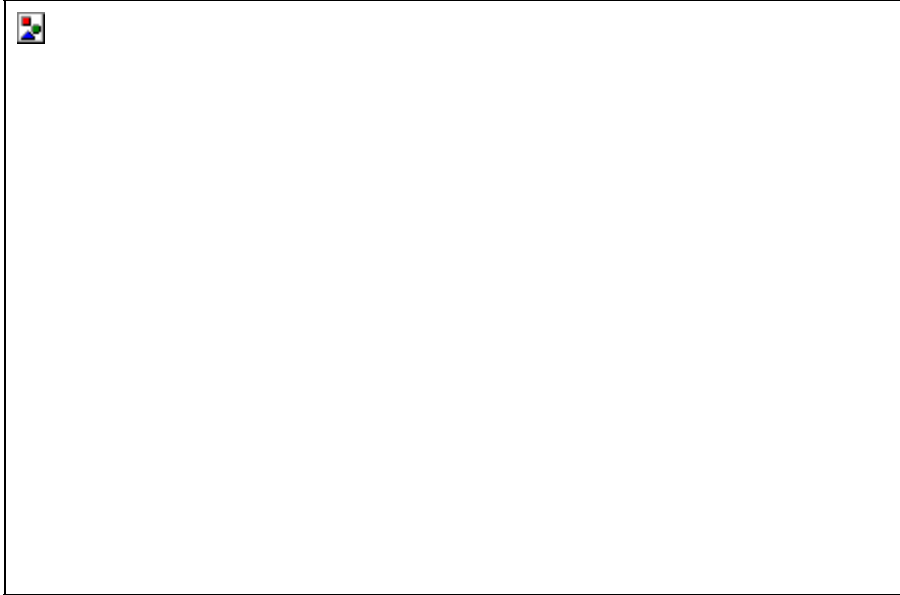
در صورت عدم ارضای مشخصات مورد نیاز، اولین گام، تغییر ترکیب مصالح خواهد بود در مرحله بعد میتوان از افزودنی دیگر استفاده نمود و در نهایت، می توان با تغییر نوع سیمان به هدف مطلوب رسید .



بتن ریزی قطعات پیش ساخته با استفاده از بتن خود تراکم
 قطعات پیش ساخته با استفاده از بتن خود تراکم



بتن ریزی مرکز تجاری در ایتالیا با استفاده از بتن خود تراکم



برج مراقبت فرودگاه شهر استکهلم سوئد اجرا شده با بتن خود تراکم

مراجع :

- [1] The European Guide lines for Self-compacting concrete Specification , production and Use,May 2005
- [2] Specification and Guide lines for Self-compacting concrete Efnarc February 2005
- [3] N.Lachemi Develop ment of cost-Effective Self-compactivy Concrete, Act Materials journal Vol. 100 , No. 5,October 2003
- 4- امیرعباس کوچکعلی ، حسین صدارت ، بتن خود تراکم و کاربرد ذرات سیلیس، تکنولوژی بتن شماره 2 آذر 82
- 5- محسن علی حمزه ، مصطفی شمشیری ، بتن خود تراکم و ویژگیهای آن ، مجموعه مقالات یازدهمین کنفرانس دانشجویی عمران 1383
- 6- علیرضا شاهجوئی – جاهد زاد مهر – بتن خود تراکم ، مجموعه مقالات یازدهمین کنفرانس دانشجویی عمران 1383
- 7- سعید شرافتی پور – بررسی خواص بتن خود تراکم ، مجموعه مقالات یازدهمین کنفرانس دانشجویی عمران 13