یازدهمین کنفرانس دانشجویان عمران سراسرکشور CESC 2004
1 تا 4 دیماه 1383- دانشگاه هرمزگان

# بررسی خواص بتن خود تراکم(SCC)

**سعید شرافتی پور[1]، دانشجوی مقطع کارشناسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه گیلان**

**چکیده:**

***امروزه در پی گسترش صنعت ساخت و ساز در کشور و به دنبال زیانهای جانی و مالی گسترده که در اثر حوادث طبیعی همچون زلزله هر از گاهی از گوشه و کنار این سرزمین به گوش میرسد، افزایش دقت و ایمنی در تولید و سپس اجرای سازه های مهندسی امری ضروری میباشد از جمله راهکارهای مناسب میتوان به دستیابی به ترکیبات جدیدی از مصالح ساختمانی جهت تسهیل پروژههای پیچیده به منظور افزایش ضریب اطمینان و ایمنی ساخت آنها از طریق مکانیزه کردن امور و کاهش دخالت نیروی انسانی اشاره نمود و همچمنین به نظر میرسد که در تقلیل هزینه های مالی در طرحهای پرخرج مؤثر واقع گردد. بتن از جمله پرمصرفترین مصالح ساختمانی در دنیا شناخته میشود. با گسترش استفاده از بتن، ویژگیهایی همچون دوام، کیفیت، تراکم و بهینه سازی آن از اهمیت ویژه ای برخوردار میشوند. بتن خودتراکم (SCC )بتنی بسیار سیال و روان و مخلوطی همگن است که بسیاری از مشکلات بتن معمولی نظیر جداشدگی، آب انداختن، جذب آب، نفوذپذیری و ... را مرتفع نموده و علاوه بر آن بدون نیاز به هیچ لرزاننده ی (ویبره) داخلی یا ویبره ی بدنه ی قالب، تحت اثر وزن خود متراکم میشود. این ویژگی کمک شایانی به اجرای اعضای ساختمانی با فشردگی زیاد آرماتور خواهد نمود.***

***این بتن که برای اولین بار توسط محققین و مهندسین ژاپنی ابداع گردید، در طول عمر 13 ساله ی خود، تحت آزمایشهای گوناگونی قرار گرفته است. بتن خود تراکم در طرح اختلاط و ساختارش تفاوت چندانی با بتن معمولی ندارد. البته موادی برای بهبود خواص آن به جهت نیل به خودتراکم شوندگی به آن افزوده میشود،خواص بتن تازه وبتن سخت شده ی خودتراکم بستگی زیادی به طرح اختلاط آن دارد. از آن جهت که امروزه از این بتن در پروژه های مهم عمرانی و در حجم وسیع استفاده میشود، مطالعه و تحقیق پیرامون بتن خودتراکم به جهت رفع نواقص ومشکلات تولید وکاربرد آن وپیشبرد نقاط قوت و تواناییش در آیندهای نه چندان دور ضرورتی آشکار و هدفی دست یافتنی است.***

## 1-مقدمه :

بتن خود تراکم شونده اولین بار برای دستیابی به ساختار بتن پایدار در سال 1988 مطرح گردید. از آن زمان تحقیقات متنوعی برای ارائه یک

طرح اختلاط معقول وروشهای مناسب برای کنترل آزمایش خود تراکمی وبر آوردن ویژگیهای منحصر به فرد بتن خود تراکم به جهت ترویج این بتن همانند بتن معمولی انجام گرفت .ایجاد ساختار پایدار در بتن نیاز به فشردگی کافی توسط کارگر ماهر واستفاده از لرزاننده دارد. کاهش تدریجی کار گرما ماهر در کشور ما ، اغلب موجب نقص وخطا در

[1]Email: sherafatipour@yahoo.com

اجرای سازه ها مختلف بویژه سازه های بتنی شده است یک راه حل مناسب برای کاهش دخالت نیروی انسانی ونیاز به کارگر ماهر در ساختمان جهت دستیابی به پایداری وقوام مناسب که سبب افزایش کیفیت وسرعت کار سازه ای می شود, بکارگیری بتن خود تراکم است که می تواند در هر گوشه قالب نفوذ کرده و متراکم شود.**SCC** این عمل تراکم را تنها با نیروی وزن خود انجام می دهد و نیاز به فشرده سازی با لرزاننده ندارد. بطور کلی عواملی که سبب بکارگیری مناسب‌تر و سیع‌تر **SCC** نسبت به بتن معمولی می‌گردد به قرار زیر است:

- اجرای سریع‌تر ساختمان‌ها
- کاهش نیروی انسانی
- سطح تمام‌شدهی بهتر
- قرارگیری آسان‌تر
- بهبود دوام
- آزادی عمل بیشتر در طراحی
- امکان ایجاد مقاطع نازک‌تر بتنی
- کاهش تراز صدا بدلیل حذف عمل ویبراسیون
- محیط کاری ایمن‌تر

هنوز تعریف رسمی از **SCC** وجود ندارد ولی نظریه ای به شکل زیر مطرح است. بتن خود تراکم شوند بتنی است که :

1- دارای سیالیتی باشد که باعث خودتراکمی بدون نیاز به انرژی خارجی شود.

2- درحین و پس از اتمام بتن ریزی بصورت یکپارچه باقی بماند و براحتی در خلال آرماتورها حرکت کند.

**SCC** بتنی است که مثل عسل جریان می یابد وپس از قرار گیری ، سطحی نزدیک به افق می سازد. در اصل خواص **SCC** تازه و سخت شده به طرح اختلاط بستگی دارد.مطالعات اولیه پیرامون کارایی بتن خودتراکم توسط **Ozawa**(سال 1989) و **Okamura[2]**(سال 1993) در دانشگاه توکیو انجام گرفت .

## 2-مواد تشکیل‌دهندهٔ SCC [1]

با چشم‌اندازی به ترکیبات بتن خود تراکم درمی‌یابیم که این بتن از اجزائی مشابه بتن معمولی که با ویبراسیون متراکم می‌شود نظیر سیمان، سنگدانه، آب به همراه چند ماده‌ی افزودنی و ترکیبی دیگر تشکیل شده است.

مواد سازنده **SCC** باید شرایط پیش‌بینی شده در برخی آیین‌نامه‌ها را برآورده نمایند. ابتدا تعریفی از برخی اصطلاحات رایج در صنعت **SCC** ارائه نموده و سپس به معرفی برخی استانداردهای پذیرش مواد از نگاه آیین‌نامه انگلستان خواهیم پرداخت:

**افزودنی**:مواد غیرآلی (کانی و معدنی) هستند که برای بهبود بخشیدن برخی از ویژگیهای بتن تازه و سخت شده جهت دستیابی به خواص ویژه مورد نظر به آن افزوده می‌شوند. این افزودنی‌ها دو دسته‌اند: 1ـ افزودنیهای نسبتاً خنثی (بی‌اثر) 2ـ افزودنی‌های پوزولانی یا هیدرولیکی نهفته (در مجاورت آب خاصیت خود را آشکار می‌سازند)

**قابلیت پرکنندگی**: قابلیت **SCC** در جریان‌یابی به درون و پر کردن کامل تمام فضاهای خالی میان قالب‌بندی تحت وزن خود.

**خمیر**: بخشی از بتن که شامل پودر، آب و هوا است.

**ملات**: بخشی از بتن که شامل خمیر و اجزاء سنگی کوچکتر از 4 میلی‌متر است.

**قابلیت گذرندگی (روانی نامحدود)**: قابلیت **SCC** برای جریان‌یابی از میان دهانه‌های تنگ و سخت مثل فاصله میان میلگردهای فلزی بدون جداشدگی و انسداد.

**پودر (خاکه)**: موادی که اندازه اجزاء آن کوچکتر از 0.125 میلی‌متر باشد (مثل سنگهای شکسته که در این اندازه باشند)

**مقاومت در برابر جداشدگی (پایداری)**: توانایی **SCC** در همگن باقی ماندن در ترکیب به هنگام نقل و انتقال و قرارگیری و قالب زنی

**کارایی**: اندازه‌گیری سهولت قرارگیری و فشرده شدن **SCC** که عبارتست از بررسی ترکیبی از ویژگیهای مختلف همچون روانی، پیوستگی، قابلیت حمل (ترابرپذیری)، تراکم‌پذیری و چسبندگی.

## 3-شرایط پذیرش اجزاء تشکیل‌دهنده SCC [1]

اجزاء و مواد تشکیل‌دهنده **SCC** باید به صورت عمومی با شرایط EN206 مطابقت نمایند. این مواد باید برای کاربردهای درنظر گرفته شده مناسب بوده و نباید شامل اجزاء مضر به مقداری باشند که به کیفیت یا قوام بتن آسیب برساند یا باعث خردگی میلگردهای مسلح کننده شوند. علاوه بر شرایط عمومی فوق هریک از مواد تشکیل‌دهنده به تنهایی باید مورد بررسی قرار گیرند تا با آیین‌نامه‌های مربوط به خود مطابقت نمایند. استانداردهای مورد استفاده تحت آیین‌نامه انگلستان عبارتند از:

- § سیمان(ترکیبات، خصوصیات، معیارهای انطباقی) EN1197
- § بتن (ویژگیها، اجرا، ساخت، انطباق) EN206
- § افزودن آب به بتن EN1008

- § آزمایش بتن تازه؛ قسمت اول: نمونه‌گیری EN12350-1
- § آزمایش بتن تازه؛ قسمت دوم: آزمایش اسلامپ EN12350-2
- § سنگدانه برای بتن EN12620
- § سیستم مدیریت کیفیت (شرایط) ENISO9001
- § افزودنی‌ها:

الف ـ افزودنی‌های نوع اول (پرکننده‌ها؛ تقریباً خنثی)

1ـ اجزاء سنگی پرکننده EN 12878

2ـ رنگدانه برای رنگ‌آمیزی مصالح ساختمانی با اساس سیمانی EN 12878

ب ـ افزودنیهای نوع دوم (پرکننده‌ها؛ پوزولانی یا هیدرلیکی نهفته)

1ـ خاکستر بادی برای بتن EN 450

2ـ میکروسیلیس PREN 13263

3ـ ذرات سرباره کوره آهن‌گدازی BS 6699

- § **الیاف مصرفی در بتن(استاندارد اروپا ــ ویژگیها)** **EN** XXXX

الیافی که در **SCC** مورد استفاده قرار می‌گیرند عموماً فلزی یا پلیمری می‌باشند. الیاف فلزی بطور طبیعی برای بالا بردن رفتار مکانیکی بتن نظیر مقاومت پیچشی و سختی استفاده می‌شوند. الیاف پلیمری به منظور کاهش جداشدگی و انقباض پلاستیکی و یا افزایش مقاومت در برابر آتش‌سوزی بکار می‌روند.

استفاده از پرکننده ها به جهت پرکردن خلل وفرج بتن وافزایش استحکام ملات است . در آغاز گسترش SCC ، میکروسیلیس اولین ماده ای بود که به عنوان پرکننده مورد استفاده قرار گرفت.میکروسیلیس باعث ایجاد نوعی بهبود در تغییر شکل وهمچنین ویپگیهای شیمیائی و مکانیکی می شود.علاوه بر این دوام بتن را نیز اصلاح میکند.سطح مخصوص میکروسیلیس $300000 cm^2/gr$ بود . استفاده از این مواد درSCC که به مقاومت زیاد در بتن نیاز باشد ، از لحاظ اقتصادی قابل توجیه است . در هنگام تقاضایSCC با مقاومت کمتر، این امکان وجود دارد که از مواد درشت

تری استفاده شود. بنابراین SCC رایج، از خاکستر بادی یا تفاله ریز کوره آهن گدازی ساخته می شود.نتایج خوب در استفاده از سنگ آهک ریز شدهٔ معدنی وپودر سنگ که از فرآیند شکست سنگها سرچشمه می گیرد ، بدست آمد. استفاده از پودر سنگ سبب افزایش درصد جذب آب می شود که با آزمایشات مکرر باید به نسبت بهینه ای از فوق روان کننده وپرکننده دست یافت که با این مقدار افزایش آب سبب جداشدگی بتن نشود.پرکننده ها در سطح مخصوص و بسیاری فاکتورهای دیگر با هم فرق دارند. سوال اصلی در استفاده از پرکننده ها، در نوع ومیزان استفاده از آنها در ترکیب SCC مطرح است.

موادی که می توانند به عنوان پرکننده مورد استفاده قرار گیرند عبارتند از :

1- خاکستر بادی 2- میکروسیلیس 3- سرباره نرم کوره آهن گدازی 4- پودر سنگ 5- خاکستر پوسته برنج 6- ذرات ریز سنگ آهک معدنی 7- پودر شیشه

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 ذغال سنگ به عنوان سوخت کربنی استفاده می شود، به کار بردن خاکستر بادی امری بهینه ومفید است . در کشورهایی که به لحاظ صنعت ذوب آهن در مرحله صنعتی قرار دارد، می توان از تفالهٔ کارخانجات ذوب آهن استفاده نمود. در کشور ما نیز با توجه به دردسترس بودن و همچنین کارایی آن پرکننده باید به دنبال ماده ای مناسب ومقروم به صرفه برای جایگزینی فیلرهای مرسوم در صنعت SCC اروپایی باشیم .

پودر شیشه نیز معمولاً از فرآیند سایش ریز شیشه بدست می‌آید. اندازه اجزاء آن باید کوچکتر از 0.1mm و سطح مخصوص آن نیز بزرگتر از $2500\frac{cm^2}{gr}$ باشد. اجزاء بزرگتر می‌تواند باعث واکنش قلیایی سیلیسی شوند.

## 4-آزمایشهای SCC[1]

### 4-1.آزمایش‌ها

پیش از آغاز اختلاط بتن کلیه اجزاء تشکیل‌دهند **SCC** باید تحت آزمایشهای لازم قرار گرفته و نتایج بدست آمده با حدود و استانداردهایی که در آیین‌نامه‌های مربوط به هر ماده قابل دسترسی است، کنترل شود.

برای تعیین اینکه بتن اساساً خود تراکم است یا خیر و پس از اثبات خودتراکمی، اینکه بتن از لحاظ تغییر شکل‌پذیری، لزجت و پرکنندگی در وضعیت مطلوبی بسر می‌برد، باید آزمایشهای مخصوصی برای **SCC** درنظر گرفت. هیچ روشی به تنهایی یا ترکیبی از روشها نمی‌تواند بطور جامع خواص **SCC** را پوشش دهد و هریک توابع خاص خود را دارد. به بیانی دیگر هیچ روش آزمایشی به تنهایی یافت نشده که تمام جنبه‌های کارآیی مناسب را تأیید نماید. پس هر طرح اختلاط باید با بیش از یک روش آزمایش کنترل شود تا پارامترهای مختلف کارآیی مورد بررسی قرار گیرد. روشهای مختلف پیشنهادی آزمایش **SCC** در جدول 1 آورده شده است.

جدول 1: روشهای سنجش خواص کارآیی SCC

| ردیف | روش | ویژگی مورد سنجش |
|---|---|---|
| 1 | جریان اسلامپ | قابلیت پرکنندگی |
| 2 | جریان اسلامپ T50cm | قابلیت پرکنندگی |
| 3 | حلقه J | قابلیت گذرندگی |
| 4 | قیف V | قابلیت پرکنندگی |
| 5 | قیف T5min V | مقاوت در برابر جداشدگی |
| 6 | جعبه L | قابلیت گذرندگی |

| | | |
|---|---|---|
| 7 | جعبه U | قابلیت گذرندگی |
| 8 | جعبه Fill | قابلیت گذرندگی |
| 9 | غربال سنجش پایداری GTM | مقاوت در برابر جداشدگی |
| 10 | اُریمت | قابلیت پرکنندگی |

**4-2.ترکیب آزمایشها**

کیفیت **SCC** در هر دو مرحله آزمایشگاه و سایت باید توسط آزمایشات لازم کنترل گردد. **[4]**ترکیبی مناسب از روشهای آزمایش می‌تواند کارآیی بتن تولیدی را بررسی نماید. برای مثال ترکیب آزمایش جریان اسلامپ و قیف V یا ترکیب آزمایش جریان اسلامپ و حلقه J.

در صورت استفاده از موادی با کیفیت یکدست، یک آزمایش که بوسیله ی تکنسین ورزیده و با تجربه انجام شود، کافی خواهد بود

جدول 2: ترکیب‌های پیشنهادی آزمایش‌ها

| روشهای آزمایش | | | ویژگی |
|---|---|---|---|
| اصلاح روش آزمایش براساس حداکثر اندازه سنگدانه | کارگاه | آزمایشگاه | |
| حداکثر اندازه دانه 20 میلی‌متر | 1ـ جریان اسلامپ<br>2ـ جریان اسلامپ T50cm<br>3ـ قیف V<br>4ـ اُریمت | 1ـ جریان اسلامپ<br>2ـ جریان اسلامپ T50cm<br>3ـ قیف V<br>4ـ اُریمت | قابلیت پرکنندگی |
| تغییر اندازه دهانه در آزمایش‌های جعبه L، جعبه U و حلقه J | 1ـ حلقه J | 1ـ جعبه L<br>2ـ جعبه U<br>3ـ جعبه Fill | قابلیت گذرندگی |
| ـــــــــ | 1ـ آزمایش GTM<br>2ـ قیف T5min V | 1ـ آزمایش GTM<br>2ـ قیف T5min V | مقاوت در برابر جداشدگی |

**4-3.ضوابط پذیرش آزمایش‌ها**

شرایط و حدود مشخص‌شده برای نتایج آزمایش‌ها چه در زمان تولید و چه در زمان اجرا باید در محدوده‌ی استاندارد قرار گیرد. برای مثال تغییر کارآیی در زمان حمل و نقل باید در محاسبات طرح اختلاط لحاظ شود. اصلی‌ترین ضوابط پذیرش برای بتن خود تراکم با دانه‌هایی کوچکتر از 20 میلی‌متر در جدول 3 آورده شده است.

شرایطی که در مقابل هر آزمایش آورده شده است، براساس اطلاعات و علم جاری و موجود و تجربه بنا نهاده شده است. پیشرفت‌های آینده ممکن است به شرایط و ضوابط متفاوتی ختم شود. مقادیری هم که خارج از این حدود باشند هم ممکن است مورد پذیرش قرار گیرند و این در صورتی است که سازنده بتواند کارایی رضایت‌بخش آن را در شرایط ویژه اثبات نماید. مثلاً فاصله زیاد بین میلگردهای مسلح‌کننده، ضخامت کمتر از 500 میلی‌متر در لایه‌ها، فاصله کوتاه محل جریان‌یابی از نقطه تخلیه، انسدادهای بسیار کوچک برای عبورکردن در قالب، شکل ساده طرح قالب‌بندی و غیره

جدول 3: شرایط ضوابط پذیرش برای بتن خودتراکم

| حدود تغییرات اندازه‌ها | | واحد | روش آزمایش | ردیف |
|---|---|---|---|---|
| حداکثر | حداقل | | | |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | جریان اسلامپ | **mm** | 650 | 800 |
| 2 | جریان اسلامپ T50cm | **sec** | 2 | 5 |
| 3 | حلقه J | **mm** | 0 | 10 |
| 4 | قیف V | **sec** | 6 | 12 |
| 5 | قیف T5min V | **sec** | 0 | +3 |
| 6 | جعبه L | $(\frac{h2}{h1})$ | 0/8 | 1 |
| 7 | جعبه U | **(h2-h1)mm** | 0 | 30 |
| 8 | جعبه Fill | % | 90 | 100 |
| 9 | غربال سنجش پایداری GTM | % | 0 | 15 |
| 10 | اُریمت | **sec** | 0 | 5 |

روش آزمایش‌های فوق در پیوست الف قابل دسترس است.

## 5-طرح اختلاط [1]

### 5-1.طرح اولیه اختلاط

طرح اختلاط **SCC** 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 خودتراکم طبقه‌بندی شود که هر سه فاکتور زیر را بطور کامل تأمین نماید.

- توانایی پرکنندگی
- قابلیت گذر از میان موانع
- مقاومت در برابر جداشدگی

چنانچه طرح اختلاط براساس واحد حجم محاسبه گردد مفیدتر خواهد بود تا براساس جرم، 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 که توصیه گردید.

مراتب دستیابی به یک طرح اختلاط مناسب با طرح نسبتهای اختلاط اولیه براساس حدود تجربی بدست آمده آغاز شده و با بررسی ویژگیهای حاصل به اصلاح نسبتهای اولیه ختم می‌شود.

حدود شاخص‌های **SCC** به قرار زیر است:

- نسبت حجمی پودر/ آب 0/8 تا 1/1
- محتوای پودری 160 تا 240 لیتر (400 تا 600 کیلوگرم) به ازاء هر مترمکعب
- مقدار درشت دانه بطور معمول 28 تا 35 درصد حجمی از مخلوط
- نسبت آب به سیمان براساس شرایط EN 206 انتخاب شود. در نهایت محتوای آب نباید از $200\frac{lit}{m^3}$ تجاوز کند.
- مقدار سنگدانه‌ها بطور کلی باید حجم دیگر اجزاء اصلی را به تعادل برساند. این امر به منظور دستیابی به ویژگیهای مشخص شده‌ی **SCC** در حالت تازه با وجود دگرگونی‌های پیش‌بینی نشده در کیفیت مواد خام می باشد.

اختلاف در مقدار رطوبت سنگدانه‌ها نسبت به اسلوب طرح اختلاط قابل انتظار و در حدود مشخص شده مجاز است.

طبیعتاً لزجت و تغییر شکل‌پذیری حاصل از افزودنی‌های بتن وسیله‌ای مناسب برای جبران نوسانات ناشی از اختلاف دانه‌بندی و مقدار رطوبت سنگدانه‌هاست.

**5-2.اصلاح طرح اختلاط اولیه**

آزمایش‌های لازم در محیط آزمایشگاه برای بازبینی خواص نخستین ترکیب انجام می‌شود. تمامی شرایط از پیش تعیین شده باید تأمین گردد. مخلوط باید در اندازه ی طبیعی در محل کارگاه آزمایش شود. در صورتی که عملکرد رضایت‌بخش بدست نیاید، باید بصورت بنیادی به طراحی مجدد پرداخت. بسته به مشکلات آشکار شده، دوره‌های اصلاحی زیر می‌تواند به طرح اختصاص یابد:

- § استفاده از افزودنی یا نوعی دیگر از پرکننده (در صورت در دسترس بودن)
- § بازبینی خواص شن و ماسه
- § استفاده از یک عامل اصلاح لزجت
- § استفاده از نوع دیگری از فوق روان‌کننده که با مصالح محلی سازگارتر باشد.
- § تنظیم نسبت افزودنی‌ها به منظور اصلاح مقدار آب و براساس آن اصلاح محتوای پودری

## 6- افت یا انقباض خودبخود (Autogenous shinkage) [6]

یکی از پدیده هایی که در بتن شاهد آن میگردد افت یا انقباض خودبخودی بتن است که موجب ترک خوردگی بتن در سن جوانی آن (چندروز اول ) می گردد . روند شکل گیری این افت بدین صورت می باشد:

پس از طی دوران سکون در طول 24 ساعت اول که موجب شکل گیری آثار دیرهنگام فوق روان کننده روی هیدراتاسیون سیمان می شود، بتن شروع به افت (انقباض ) می کند. این انقباض در اثرجمع شدن دونوع تغییرشکل متضاد است :

1- افت شیمیایی بدلیل هیدراتاسیون سیمان
2- انبساط دمایی بدلیل افزایش دما در بتن

پس از گذشت چند ساعت، انبساط دمایی چیره می شود که حاصل آن انبساط ناچیزی است . از این پس دما در بتن کاهش می یابد. در همین زمان انقباض شیمیایی ادامه می یابد . انقباض بدلیل کاهش دما وافت شیمیایی پیشی می گیرد وبتن مجددا کوچک می شود

## 7-خزش(creep)

به دلیل محتوای زیاد پودری، **SCC**، ممکن است افت پلاستیکی یا خزش بیشتری را نسبت به بتن معمولی از خود نشان دهد. بنابراین، مسئله خزش باید در طول طراحی درنظر گرفته شود. خزش از مسائل پراهمیت در اعضاء سازه‌های بتنی است که نادیده گرفتن آن اثرات مخربی را به همراه دارد.اطلاعات رایج پیرامون خزش **SCC** محدود بوده و تحقیقات وسیع‌تری را می‌طلبد.

## 8- نتیجه گیری :

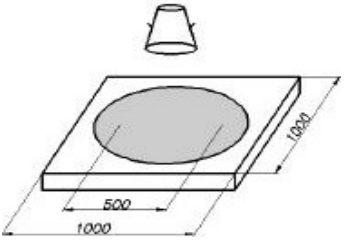
چنانچه به طرح اختلاطی معقول ومتدهای مناسب آزمایش پذیرش در محل کارگاهها دست یابیم وهر دو بوسعت زیاد برای بتن خود تراکم برپا گردند ، موانع اصلی مطرح شده برای گسترش مصرف بتن خود تراکم برداشته می شوند.

تلاش اصلی ، برای ورود بتن خودتراکم به تکنولوژی بتن آماده وبتن پیش ساخته است. هر چند سهم بتن خود تراکم نسبت به این تکنولوژی بسیار کم می باشد ( برای مثال 1 % از کل بتن آماده وپیش ساخته در ژاپن ، 3 % در سوئد در سال 2000 و6 % در سال 2001 درهمین کشور و 6 % در آلمان و هلند) اما با توجه به علاقه صنعتگران ساختمان وتولید کنندگان به این بتن ، نرخ تقاضا برای آن در سالهای آینده افزایش چشم گیری خواهد داشت. با توجه به وجود منابع مناسب ودردسترس در ایران بهتر آن است که با بهره گیری از نتایج آزمایشات انجام شده ،روی این بتن ، ذخایر داخلی را نظیر پودر سنگ ، تفاله کارخانجات آهن گدازی ( سرباره آهن ) وخاکستر پوسته برنج، به ورطه آزمایش کشانده ودرجهت پیشبرد تکنولوژی مصالح ساختمانی وصنعت سازه ای کشورهمگام با تکنولوژی روز دنیا ،به بهره گیری وساخت بتن خود تراکم در داخل کشور بپردازیم ،آنگاه که بتن خود تراکم شونده به گستردگی بتن نرمال وبه عنوان یک بتن استاندارد مورد مصرف قرار گیرد ، ما موفق به خلق بتنی پایدار وقابل اطمینان شده ایم .

**پیوست الف**

## آزمایشهای SCC

### 1-جریان اسلامپ (Slump Flow):

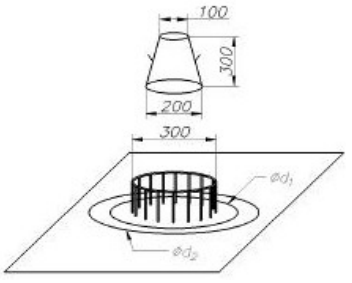



آزمایش جریان اسلامپ به منظور تعیین آزادی حرکت SCC در سطح افق به هنگام نبود مانع صورت می گیرد. .انجمن JSCE آزمایش جریان اسلامپ را برای scc تعریف نمود..[7] اساس آزمایش بر اصولی استوار است که آزمایش اسلامپ معمولی بر آن بنا نهاده شده است. قطر دایره ای که بتن پس از پخش شدن می سازد، معیار سنجش قابلیت پرکنندگی 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 جداشدگی نیز باشد.

**روش انجام آزمایش:**

حدود 6 لیتر بتن مورد نیاز است. ابتدا صفحه ی فلزی 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 پیمانه از بتن پر کنید. هیچ ضربه ای نباید به بدنه ی استوانه زده شود. مواد زائد را از اطراف آن بزدائید، 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 برهم اندازه گیری نموده، میانگین آنها را به عنوان قطر نهایی بتن پهن شده ثبت کنید. این اندازه،جریان اسلامپ برحسب میلیمتر است.

### 2-حلقه J (J Ring):



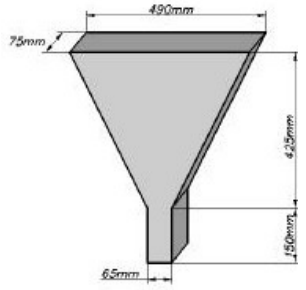

این آزمایش جهت اندازه گیری قابلیت گذرندگی بتن بکار می رود.در حلقه ی میلگردی نشان داده شده در شکل، قطر و فاصله ی میان میلگردهای اختیاری است. طبق توافقات برای آرماتورهای معمولی، 3 برابر بزرگترین اندازه ی دانه ی سنگی برای فاصله ی میان میلگردها منظور می شود. قطر حلقه ی میلگردی عمودی 300 میلیمتر و ارتفاع میلگردها 100 میلیمتر می باشد. نتایج آزمایش حلقه ی J می تواند مکمل مناسبی برای آزمایش های جریان اسلامپ، اریمت و قیف V باشد. این آزمایشهای

ترکیبی،توانائی جریانیابی و گذرندگی بتن را کنترل می کنند پس از اتمام آزمایش، اختلاف ارتفاع بتن درون و بیرون حلقه J اندازه گیری شود. این مقدار نشانه ای برای قابلیت گذرندگی و یا درجه ای است که نشان می دهد چه حدودی از فاصله بین میلگردها برای عبور بتن قابل استفاده است.

**روش انجام آزمایش:**

حدود 6 لیتر بتن برای انجام آزمایش مورد نیاز می باشد. صفحه ی فلزی و درون مخروط را تر کنید. صفحه ی فلزی را روی یک سطح محکم قرار دهید. حلقه ی J را در مرکز صفحه ی فلزی قرار دهید سپس مخروط اسلامپ را در مرکز آن نهاده و محکم کنید. مخروط را با پیمانه از بتن پر کنید. از هرگونه ضربه زدن به مخروط جلوگیری شود. مخروط را بطور عمودی بالا کشیده و اجازه دهید بتن آزادانه خارج شود. قطر بتن پهن شده را در دو جهت عمود برهم اندازه گیری نموده و میانگین آنها را به عنوان قطر نهایی و برحسب میلیمتر ثبت نمایید. اختلاف ارتفاع بیتن را درون و بیرون حلقه ی میلگردها در 4 نقطه اندازه گیری نموده و میانگین آنها را به عنوان اختلاف ارتفاع نهایی ثبت کنید.

**3-قیف V (V Funnel)**:



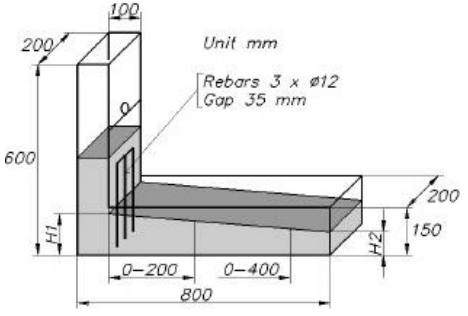

این آزمایش به منظور اندازه گیری قابلیت پرکنندگی بتن با حداکثر اندازه ی دانه ی 20 میلیمتر بکار می رود. زمان لازم برای جریان پیدا کردن بتن از میان دستگاه اندازه گیری می شود. سپس قیف دوباره از بتن پر شده و مدت 5 دقیقه در همان حالت باقی مانده و دوباره آزمایش فوق صورت می گیرد. چنانچه بتن دچار جداشدگی شود، زمان جریان یابی آن بطورمحسوسی 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 فشرده کردن، پر کردن حفره ها یا ضربه زدنی 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 V تمیز یا تر نکنید. درب زانویی را بسته و قیف را بلافاصله پس از اندازه گیری زمان جریان یابی از همان بتن پر نمایید. سطل را در زیر 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 باز کردن درب، زمان سنج را فعال نموده و زمان تخلیه ی کامل را ثبت نمایید. این زمان، همان V5min خواهد بود. برای SCC زمان جریان یابی 10 ثانیه اختصاص یافته است. شکل معکوس مخروطی دستگاه جریان را محدود می کند و زمان جریان یابی را طولانی می کند. این می تواند اشاره ای به حساسیت اختلاط نسبت به انسداد باشد. پس از 5 دقیقه قرارگیری، جداشدگی بتن بطور پیوسته با افزایش زمان جریان یابی خود را نشان خواهد داد.




**4-جعبه L (L box)**:

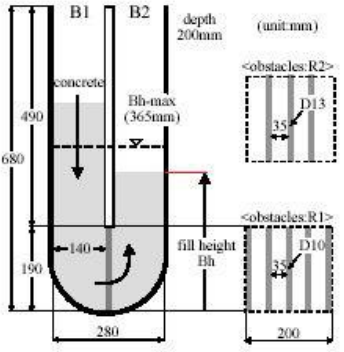
این آزمایش جریان یابی بتن و همچنین انسداد ناشی از فاصله ی میلگردها را تشریح می کند. از نتیجه ی این آزمایش، شیب قرارگیری بتن در حالت استراحت حاصل می شود که معیاری برای قابلیت گذرندگی یا درجه ای از حدود فاصله ی میلگردها برای گذر بتن خواهد بود. قسمت افقی جعبه

می تواند 200 تا 400 میلیمتر از دریچه امتداد داشته باشد. زمان لازم برای پر شدن این فاصله به عنوان $T_{20}$ و $T_{40}$ 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، 3 برابر بزرگترین اندازه ی دانه ی سنگی باید برای فاصله ی میلگردها از هم رعایت 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 آنرا ببندید. سطح داخلی دستگاه را مرطوب نمایید و آبهای اضافی را خارج کنید. قسمت عمودی دستگاه را از بتن پر کنید. به مدت 1 دقیقه آنرا 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 $H_1$ (ارتفاع بتن در انتهای قسمت افقی دستگاه) و $H_2$ (ارتفاع بتن در پشت دریچه) را اندازه گیری نمایید. $\frac{H_2}{H_1}$ نسبت انسداد را نشان می دهد. تمام آزمایش باید در 5 دقیقه انجام گیرد. مقادیر $T_{20}$ و$T_{40}$ می توانند اطلاعاتی پیرامون آسانی حرکت در اختیار گذارند اما هیچ محدوده مناسبی بطور عمومی برای آنها مورد تأیید قرار نگرفته است. انسداد و گیر کردن درشت دانه ها در پشت میلگردهای دستگاه را می توان بصورت شهودی دید.

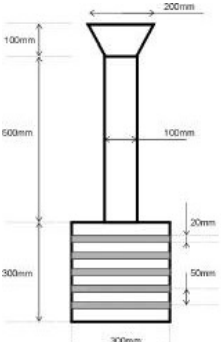
**5-جعبه U (U box)**:

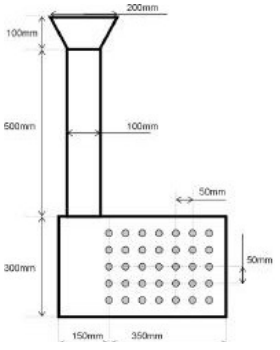



این آزمایش به منظور ارزیابی قابلیت پرکنندگی بتن خود تراکم صورت می گیرد. عموماً در محل دریچه ی میانی دو قسمت، میلگردهایی با قطر 13 میلیمتر با فاصله ی 50 میلیمتر از هم قرار می گیرند.

**روش انجام آزمایش:**

حدود 20 لیتر بتن مورد نیاز است. دستگاه را در حالت متعادل روی یک سطح صاف قرار دهید. اطمینان حاصل کنید که درب کشویی دستگاه براحتی باز و بسته می شود و سپس آنرا ببندید. بدنه ی داخلی دستگاه را مرطوب کنید و هرگونه آب اضافی را خارج نمایید. یکی از دهلیزهای دستگاه را از بتن پر کرده و 1 دقیقه به حال خود رها کنید. حال درب کشویی را کشیده و اجازه دهید بتن آزادانه به قسمت دیگر وارد شود. وقتی بتن به حالت استراحت درآمد، ارتفاع آن را در قسمتی که ابتدا پر شد، در دو نقطه اندازه گیری نمایید و میانگین آن را $H_1$ بنامید. ارتفاع بتن را در قسمت دیگر به همین روش اندازه گیری کرده و آن را $H_2$ بنامید. اختلاف ارتفاع $H_1$-$H_2$، ارتفاع پرکنندگی لقب دارد. تمام آزمایش باید در 5 دقیقه انجام شود.




**6-جعبه پرکننده (Fill box)**:

از نتایج این آزمایش به منظور ارزیابی قابلیت پرکنندگی بتن خودتراکم با حداکثر اندازه ی دانه ی 20 میلیمتر استفاده می شود. ابعاد و اندازه ی دستگاه در شکل مقابل قابل دسترسی است. ظرف از طریق لوله پرکننده پر می شود و اختلاف ارتفاع بین دو طرف ظرف معیار سنجش قابلیت پرکنندگی SCC خواهد بود.

روش انجام آزمایش:

حدود 45 لیتر بتن مورد استفاده می باشد. دستگاه را روی یک سطح هموار قرار دهید. سطح داخلی آن را مرطوب نموده و آب اضافی را خارج کنید. دستگاه را با بتن پر کنید. پر کردن ظرف بدین صورت انجام می گیرد که هر 5 ثانیه یک پیمانه حاوی 1/5 تا 2 لیتر بتن تازه به داخل قیف ریخته می شود. این عمل تا زمانی که بتن موانع ردیف اول بالایی را پوشش می دهد ادامه می یابد. پس از به سکون رسیدن بتن اندازه گیری ارتفاع در دو نقطه از آن در طرفی از ظرف که پر شده است صورت گیرد و میانگین محاسبه شود ($H_1$). این اندازه گیری در سمت دیگر ظرف نیز صورت می گیرد ($H_2$). درصد پرکنندگی میانگین بدین شکل تعیین می گردد:

: درصد پرکنندگی میانگین (%) $F = \{(h_1 + h_2)/2 * h_1\} * 100\%$

تمام آزمایش باید در مدت 8 دقیقه به اتمام برسد. چنانچه بتن به آزادی آب جریان یابد، در حالت سکون به حالت افقی درآمده و درصد درصدپرکنندگی برابر 100 خواهد شد.

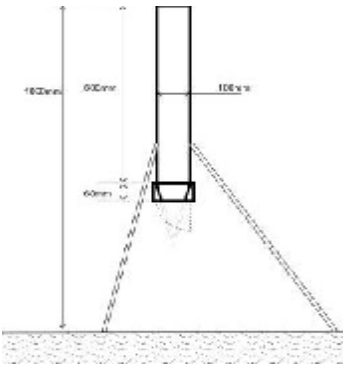
### 7-GTM (Screen stability test): [5]

GTM آزمایش مناسب برای ارزیابی مقاومت در برابر جداشدگی (پایداری) 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 35 میلیمتر 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 بصورت 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 بپوشانید 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 $4/8kg \pm 0/2kg$ 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 ($M_a$). اجازه دهید تا ملات در یک دوره ی زمانی 2 دقیقه ای از خلال الک به داخل ته الک جریان پیدا کند. سپس الک را 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 می دهد.

: درصد جداشدگی $(\frac{Mb}{Ma}) \times 100$



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 شده ی بتن تأثیری می گذارد (سوراخهای هوایی احتمالی). در بیش از 15% و مخصوصاً بیش از 30%، با یک جداشدگی قوی روبرو خواهیم بود.

### 8-اریمت (Orimet):[8]

این روش برای تشخیص کارایی زیاد و روانی بتن تازه مخلوط شده در کارگاه ساختمانی بکار می رود. مراحل این آزمایش به شکل ساده شامل پر کردن اریمت با بتن و سپس باز کردن دریچه و اندازه گیری زمان طی شده تا مرحله دیدن نور از دریچه زیرین لوله در نگاه از بالاست.

**روش انجام آزمایش:**

حدود 8 لیتر بتن برای آزمایش اریمت مورد نیاز است. دستگاه را روی یک سطح هموار قرار دهید. سطح داخلی آن را مرطوب نموده و دریچه خروجی را باز کنید تا آب اضافی خارج شود. دریچه را بسته و سطلی زیر آن قرار دهید. دریچه را 10 ثانیه پس از پر کردن دستگاه از بتن باز کنید تا بتن تحت وزن خود جریان یابد در این هنگام زمان سنج را بکار انداخته و زمان لازم برای تخلیه کامل بتن را ثبت نمایید. به این زمان، زمان جریان یابی اطلاق می شود. همه مراحل آزمایش باید در کمتر از 5 دقیقه انجام گیرد. زمان جریان یابی کوتاهتر نشاندهنده ی کارایی بیشتر است. به طور معمول برای بتن خودتراکم، زمان جریان یابی 5 ثانیه یا کمتر درنظر گرفته شده است.

**منابع** :

[1]EFNARC;Specification and Guidelines for SELF-COMPACTING CONCRETE;february2002

[2] Hajime okamura,Masahiro Ouchi;self_ compacting conerete;Journal of advanced conerete technology ; Vol 1,5-15 , April 2003

[3] Frank Dehn , Klaus Holschemacher , Dirk weiBe ; self compacting conerete (Scc) time development of the material properties and Bond behaviour ; Lacer No . 5 , 2000

[4] Masahiro ouchi ; self - compacting conerete development application and investigation

[5]Takda,k ; self-compacting concrete produced by Japanese method with Duch materials ; collection 12, European congress about central mix concrete ; ERMCO , Lisbon 1998

[6]Jianxin Ma , Jorge Dietz ; ultra high performance self_zompacting concrete ; lacer No.7, 2oo2

[7]S.Subramanianand , D.chattoppadhyay ; Eyperiments for mix proportioning of self-compacting concrete ; the indian conerete Journal ; January 2002, 13-20

[8]Bartos,p.J..M,An appraisal of the orimet test as a method for ON-site assessmentof fresh SCC concrete,proceedings of international workshop on self-compacting concrete,(japan,august 1998)121-13