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

# بتن خود متراکم

**علیرضا شاهجوئی- دانشجوی کارشناسی عمران دانشکده عمران دانشگاه علم و صنعت ایران**[1]
**حامد زادمهر- دانشجوی کارشناسی عمران دانشکده عمران دانشگاه علم و صنعت ایران**[2]
**استاد راهنما: دکتر هرمز فامیلی**

## چکیده

***بتن خود متراکم (S.C.C) یکی از دستاوردهای نوین تکنولوژی بتن بوده است که سالها است در اروپا ، آمریکا و ژاپن مورد استفاده قرارگرفته و روز به روز کاربرد خویش را بین مهندسین پیدا می کند. متاسفانه به دلایل نامعلوم تا کنون این صنعت در ایران رواج نیافته است. امیداست با آشنایی بیشتر مهندسین عمران با این تکنولوژی ، این صنعت جای خویش را در ایران باز کرده و مشکلات اجرایی کارگاهی ایران را کاهش دهد. دلایل اقتصادی پیشرفت روزافزون کاربردی (S.C.C) به شرح زیر می باشد:***

*1) اجرای سریعتر 2) کاهش نیروی انسانی 3) پرداخت بهتر سطوح 4) قالب ریزی مطلوبتر*
*5) مقاطع نازکتربتنی 6) آزادی بیشتر طراحی 7) کاهش امواج صوتی بدلیل عدم عملیات ویبره*

***کاربردهای عملی این صنعت با تحقیقات بیشتر برروی خواص S.C.C همره است. در این مقاله دامنه وسیعی از اطلاعات حاصله و آزمایشات انجام شده و تعدادی از روش های آزمایش آن مورد بررسی قرارگرفته است.***

**واژه های کلیدی**: *بتن خود متراکم (S.C.C) ، قابلیت روانی ، قابلیت عبور ، قابلیت پرکنندگی ، کارایی*

## 1. مقدمه:

صنعت S.C.C ابتدا در ژاپن تولید و هم اینک در بسیاری از کشورهای جهان مورد استفاده، آزمایش و بررسی می باشد. این صنعت هم به صورت بتن درجا و هم به صورت بتن پیش ساخته کاربرد وسیعی دارد در اشکال 1-(a تا c) کاربرد S.C.C مشاهده می شود.

نمودار گسترش کاربرد S.C.C در سالهای اخیر ، در ژاپن ، دلیلی بر اقتصادی بودن آن می باشد[*]

این مقاله با ترجمه منابع نوین و جمع بندی آنها و با استفاده از کتب معتبر و نتایج آزمایشگاهی تدوین شده است.

## تعاریف:

- قابلیت روانی : توانایی S.C.C برای جاری شدن و عبور از بین فضاهای کوچک شبکه آدماتور بودن توقف و یا جداشدگی.
- قابلیت پراکندگی : توانایی S.C.C برای جریان و پرکردن تمام فضاهای قالب تحت اثر وزن خود.

[1] : Email: pb_ali365@yahoo.com
[2] : Email: hamed15480@yahoo.com
[*] masahiro-ouchi" application of S.C.C in japan , Europe & the united italy"

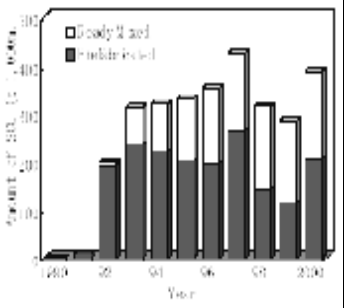
**(a) بتن در جا**

**(b) بتن پیش ساخته**

**(c) بتن پیش ساخته در طراحی**

**شکل(1) : کاربرد بتن S.C.C در ژاپن**

- مقاومت در برابر جدا شدگی دانه بندی : توانایی S.C.C برای یکنواخت و هموژن ماندن در طول حمل، قالب ریزی و ... .
- کارایی: میزان راحتی بتن تازه برای قالب ریزی و فشرده شدن . این موضوع وجوه مختلف چسبندگی ، انتقال و فشردگی را در می گیرد.
- بتن خود متراکم (S.C.C) : بتنی است که توانایی جریان تحت اثر وزن خویش را دارد و به طور کامل و بدون نیاز به ویبره و حتی در مجاورت تراکم شدید آرماتور در قالب جای گرفته به طوریکه در کلیه مراحل یکنواختی خود را حفظ کند.



**(d) نمودار پیشرفت کاربرد S.C.C در ژاپن**

## 2. مصالح و ویژگی آنها:[*]

2-1) **سنگدانه ها**: حداکثر اندازه سنگدانه به کاررفته در این نوع بتن بستگی به کاربرد عملی آن دارد ولی عموما حداکثر اندازه آن به 20 mm محدود می شود. سنگدانه ها به 2 دسته تقسیم می شوند:

- ماسه : تمامی ماسه های متداول در تولید بتن معمولی در این صنعت نیز به کار می رود. هردو نوع ماسه شکسته و یا گرد گوشه اعم از سلیسی و یا آهکی می تواند مورد استفاده قرار گیرد. ذرات ریزتر از 0.125 mm که به عنوان "پودر" تلقی میشوند برخواص روانی S.C.C بسیار موثر بوده و به منظور تولید بتن یکنواخت، رطوبت آن باید دقیقا کنترل شود.حداقل میزان ریزدانه ها ( از ماسه تا موا دچسباننده پودری) به منظور جلوگیری از جداشدگی دانه بندی ضروری است.
- شن (درشت دانه ها) : تمامی انواع درشت دانه در اینجا به کار می رود ولی حداکثر اندازه معمولی دانه ها (20 – 16) میلی متر می باشد. به هر حال سنگدانه های تا حدود 40mm نیز می تواند در S.C.C به کار رود.استفاده از سنگدانه های شکسته سبب افزایش مقاومت S.C.C( بدلیل افزایش قفل و بست بین ذرات)، می شود در حالیکه سنگدانه های گرد گوشه بدلیل کاهش اصطکاک داخلی روانی آن را اصلاح می کنند استفاده از دانه بندی گسسته بطور معمول به دلیل کاهش اصطکاک داخلی و افزایش روانی نسبت به دانه بندی پیوسته مطلوب تر می باشد.

[*] : ۱- تکنولوژی بتن – رمضانیان 2- خواص بتن – دکتر فامیلی

2-2) **سیمان** : به طور کلی تمامی انواع سیمان های استاندارد می تواند در S.C.C به کار رود. انتخاب نوع سیمان بستگی به پارامترهای مورد انتظار بتن مثل مقاومت، دوام و... دارد.

دامنه عمومی میزان مصرف سیمان در اینجا (450-350) کیلوگرم بر متر مکعب می باشد. میزان بیشتر از 500 $kg/m^3$ می تواند سبب افزایش خطر جمع شدگی شود. میزان کمتر از 350 $kg/m^3$ نیز فقط در صورتی قابل قبول می باشد که به همراه مواد پزولانی، خاکسترهای بادی، دوده سیمی و... به کار رود.

حضور بیش از 10% میزان $c_3A$ در سیمان می تواند سبب کاهش نگهداشت کارایی بتن گردد.

3-2) **مواد مضاف** : مصالح بسیار ریز غیرآلی هستند که به منظور بهبود و یا ایجاد خواص مشخص در بتن به آن افزوده می شوند و بر اساس عملکرد خود به 2 دسته تقسیم می شوند :

- *مواد مضاف نیمه فعال (نوع I)* : شامل ریزدانه ها و رنگدانه ها می باشد.
- *مواد مضاف فعال (نوع II)* : شامل خاکستر بادی، دوده سیلیسی، سرباره دانه ای غیر کریستالی کوره ذوب آهن می باشد.

بدلیل خواص ویژه S.C.C استفاده از هر 2 نوع ماده مضاف به منظور بهبود کارایی ضروری است. از طرفی استفاده از مواد مضاف باعث کاهش حرارت هیدراتاسیون می شود. مواد مضاف نوع II می تواند عملکرد دراز مدت بتن را بهبود بخشد. مواد مضاف عمومی مورد استفاده عبارتند از :

- *پودر سنگ* : ذرات شکسته بسیار ریز ( کوچکتر از 0.125 mm ) سنگ آهک، دولومیت و یا گرانیت 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.
- *پر کننده های شیشه ای*[*] : این پرکننده ها از بازیافت شیشه های پودر شده بدست می آیند. اندازه ذرات آن باید کمتر از 0.1 mm بوده و سطح مخصوص آن باید کمتر از $2500\frac{cm^2}{gr}$ باشد. ذرات بزرگترمی تواند باعث ایجاد واکنش های سیلیکاتی – قلیائی شود.
- *خاکسترهای بادی*
- دوده سیلیسی
- رنگدانه ها
- سرباره های دانه ای غیر کریستالی کوره ذوب آهن

4-2) **فیبر**: فیبرهای رایج مصرفی عموما پلیمری یا فلزی می باشند.نحوه کاربرد آن در S.C.C همانند بتن معمولی است. فیبرهای فلزی به منظور افزایش مقاومت مکانیکی بتن مانند افزایش مقاومت *"خمشی" و یا "سختی"* به کارمی رود.

فیبرهای پلیمری ممکن است به منظور کاهش جداشدگی دانه بندی و کاهش انقباض خمیری و یا به منظور افزایش مقاومت در برابر آتش به کار روند.

به طور کلی فیبرهای بسیار ریز مصنوعی ممکن است مانع از روانی بتن شوند لذا مقدار آن نباید از $1\frac{kg}{m^3}$ تجاوز کند.

5-2) **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 می شوند. استفاده از فوق روان کننده ها برای تولید S.C.C به منظور ایجاد کارایی لازم

[*] Ref: "specification of guidelines for S.C.C "-EFNARC 2002

، ضروری می باشد . از انواع دیگر مواد افزودنی می توان به عامل اصلاح لزجت (V.M.A) به منظور اصلاح پایداری ، مواد افزودنی حباب زا (A.E.A) به منظور بهبود مقاومت ودر 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 جداشدگی 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.

2-6) **آب مخلوط**: مطابق استاندارد بتن های معمولی به کار می رود.

## 3. ویژگی ها و پارامترهای خاص بتن خود متراکم(S.C.C):*

این بتن می تواند برای ساخت هر نوع سازه با ویژگی های 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 curing در S.C.C یک امر ضروری است. کارایی S.C.C(workability) با 3 پارامتر زیر تعریف می شود:

*1- قابلیت پرکنندگی* *2- قابلیت عبور (عدم توقف)* *3- مقاومت در برابر جداشدگی*

دانه بندی بتنی را فقط می توان S.C.C نامید که هر سه پارامتر فوق را ارضاء نماید

روانیS.C.C عمدتا توسط فوق روان کننده ها کنترل می شود ولی استفاده بیش از حد آنها می تواند منجر به خطر جدا شدگی دانه بندی و یا توقف بتن شود. بدلیل خواص روانی زیاد S.C.C خطر جداشدگی دانه بندی و توقف زیاد بوده و توجهات خاصی را می طلبد. این خطر می تواند با استفاده مناسب و کافی از ریز دانه ها (ذرات کوچکتر از 0.125mm و V.M.A کاهش یابد. مکانیزم توقف بتن در شکل 2 نمایش داده شده است.

| | |
|---|---|
| زمان آزاد (free time) زمانی است که S.C.C بتواند خواص روانی خود را حفظ نماید. زمان آزاد می تواند با استفاده مناسب از فوق روان کننده ها،کندگیر کننده ها و ... متناسب با نوع سیمان مصرفی ، به منظورحفظ قابلیت روانی و کارایی در انتقال و قالب ریزی بتن تغییرنماید. | (I |

## 4. روش های آزمایش بتن S.C.C:

روش های متعددی برای مشخص کردن خواص S.C.C وجود دارد ولی تاکنون هیچ روش و یا ترکیب روش هائی که بتواند به طور کامل و جامع تمامی پارامترها را معرفی نماید شناخته نشده است.

ترکیب2 روش رایج شامل آزمایش اسلامپ وقیف V شکل و یا جریان اسلامپ و حلقه J می تواند در کارگاهها کافی باشد . روش های مختلف آزمایش و تاثیر آن بر کارایی و میزان قابل قبول بودن پارامترها برای حداکثر اندازه دانه 20mm

در جدول 1 آمده است . متاسفانه بدلیل محدودیت حجم مطالب روش های آزمایش S.C.C بیان نشده است ولی در فهرست منابع موجود می باشد.*

* : Ref: Dr Wallevik "Rheology of S.C.C" 2002

* : Ref: "specification of guidelines for S.C.C"-EFNARC 2002

مقادیرمندرج در جدول بر مبنای آزمایش های گوناگون بوده و در حال توسعه می باشد و مقادیر غیر مندرج نیز می تواند در صورتی قابل قبول باشد که تولید کنندگان آن ، عملکرد مطلوب آن را به اثبات برسانند ، به طور مثال با افزایش فضای بین آرماتورها ، فاصله های کمتر جریان از محل تخلیه، موانع کمتر عبور و ... می توان دامنه مقادیر مندرج در جدول را افزایش داد.

شایان ذکر است هیچ روش مطمئنی تا کنون برای بررسی دقیق مقاومت در برابر جداشدگی دانه بندی وجودندارد.

| ردیف | روش | واحد | نمایانگر پارامتر | دامنه قابل قبول نتایج | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | min | max |
| ۱ | جریان اسلامپ | mm | قابلیت پر کنندگی | ۶۵۰ | ۸۰۰ |
| ۲ | اسلامپ در T50cm | sec | قابلیت پر کنندگی | ۲ | ۵ |
| ۳ | حلقه J | mm | قابلیت عبور | ۰ | ۱۰ |
| ۴ | قیف V شکل | sec | قابلیت پر کنندگی | ۶ | ۱۲ |
| ۵ | قیف V شکل در T5min | sec | جدا شدگی دانه بندی | ۰ | ۳ |
| ۶ | جعبه U شکل (h2-h1) | mm | قابلیت عبور | ۰ | ۳۰ |
| ۷ | جعبه L شکل (h2/h1) | % | قابلیت عبور | ۸۰ | ۱۰۰ |

**جدول 1 : روش ها و مقادیر مطلوب آزمایش های S.C.C**

## 5)طرح اختلاط:*

5-1) آزمایشات نشان می دهد که استفاده از نسبت های حجمی دقیق تر از نسبت های جرمی می باشد. دامنه عمومی مقادیر تجربی مصالح برای تولید S.C.C در زیر آمده است:

- میزان محتوای مواد پودری $(400-600\frac{kg}{m^3})(160-240)\frac{lit}{m^3}$ می باشد.
- میزان نسبت $0.8 < \frac{\text{آب}}{\text{پودر}} < 1.0$
- میزان سنگدانه درشت در حدود %(28-35) کل حجم مخلوط می باشد (باید کمتر از 50% کل حجم مخلوط باشد)
- نسبت $\frac{\text{آب}}{\text{سیمان}}$ می تواند هر مقدار عملی باشد ولی به طور عمومی نباید از $200\frac{lit}{m^3}$ بیشتر باشد.
- میزان مواد چسباننده در مخلوط بیش از 40% حجم مخلوط می باشد.
- میزان ماسه باید کمتراز50% حجم مواد چسباننده و بیش از50% وزن کل سنگدانه وبیشتر از40% حجم مخلوط باشد.

در مواردی که عملکردهای رضایت بخش بدست نیاید متناسب با مشکل ظاهرشده عکس العمل های زیر بکار می رود:

- استفاده از مواد مضاف و یا مواد دیگر پرکننده
- اصلاح نسبت ماسه و سنگدانه درشت در مخلوط
- استفاده از V.M.A در صورت عدم استفاده از آن

* : Ref: "specification of guidelines for S.C.C "-EFNARC 2002

- تعدیل میزان و یا استفاده از نوع دیگری از فوق روان کننده ها، V.M.A ، با شرط سازگاری با مصالح موجود.
- استفاده از افزودنی دیگر به منظوراصلاح نسبت آب به سیمان

در جدول 2 برخی مشکلات اجرائی و تاثیر عکس العمل های ممکن برکارایی به منظور ارائه یک راهنمای کارگشای کارگاهی ارائه شده است.

**2-5)مسیر طراحی** [**]:

در زیر نمونه مسیر طراحی که توسط Okamura 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 (عموما 2%) : ممکن است به سبب نیاز به مقاومت بیشتر در برابر یخ زدگی مقدار بیشتر لحاظ شود.

**جدول 2 : راهنمای کارگشای کارگاهی در برخورد با مشکلات**

| ردیف | پارامتر | مشاهدات آزمایشگاهی | | | عکس العمل ممکن | موثر بر | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | آزمایش | واحد | مقدار | | پر کنندگی | عبور | جدا شدگی | مقاومت | جمع شدگی | خزش |
| ۱ | لزجت خیلی زیاد | جریان اسلامپ | mm | ۶۵۰< | افزایش آب | + | + | - | - | - | - |
| | | اسلامپ در T50cm | sec | ۵< | افزایش حجم چسباننده | + | + | + | + | - | - |
| | | حلقه J | mm | ۱۰> | افزایش فوق روان کننده | + | + | + | + | ۰ | ۰ |
| | | جعبه U شکل (h2-h1) | mm | ۳۰< | * | | | | | | |
| | | قیف V شکل | sec | ۱۲< | * | | | | | | |
| ۲ | لزجت خیلی کم | جریان اسلامپ | mm | ۷۵۰< | کاهش آب | - | - | + | + | + | + |
| | | اسلامپ در T50cm | sec | ۲> | کاهش حجم چسباننده | - | - | - | - | + | + |
| | | قیف V شکل | sec | ۸> | کاهش فوق روان کننده | - | - | + | - | ۰ | ۰ |
| | | * | * | * | افزایش V.M.A | - | - | + | ۰ | ۰ | ۰ |
| | | * | * | * | استفاده از پودرها | + | + | + | ۰ | - | - |
| | | * | * | * | استفاده ازماسه های ریز | + | + | + | ۰ | - | - |
| ۳ | جداشدگی دانه بندی | حلقه J | mm | ۱۰> | افزایش حجم چسباننده | + | + | + | + | - | - |
| | | جریان اسلامپ | mm | ۷۵۰< | افزایش حجم ملات | + | + | + | + | - | - |
| | | * | * | * | کاهش آب | - | - | - | + | + | + |
| | | * | * | * | استفاده از پودرها | + | + | + | ۰ | - | - |
| | | * | * | * | * | | | | | | |

[**] : Ref: Okamurah "Mix design for S.C.C", June 1995

| | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۴ | توقف | قیف V شکل | sec | ۱۲> | کاهش حداکثر اندازه سنگدانه | + | + | + | - | - | - |
| | | حلقه J | mm | ۱۰> | افزایش حجم چسباننده | + | + | + | + | - | - |
| | | جعبه U شکل (h2-h1) | mm | ۳۰< | افزایش حجم ملات | + | + | + | + | - | - |
| | | جعبه L شکل (h2/h1) | % | ۸۰> | * | | | | | | |

| | | |
|---|---|---|
| 0 : تاثیر ندارد | '-' : تاثیر منفی دارد | '+':تاثیر مطلوب دارد |

- محاسبه مقادیرحجمی درشت دانه: این میزان بدلیل برخورد سنگدانه ها و خطر توقف بتن نباید بیش از 60% حجم مخلوط شود.لذا میزان بهینه درشت دانه ها بر اساس 2 پارامتر حداکثر اندازه سنگدانه و شکسته یا گردگوشه بودن آن بدست می آید. کاهش حداکثر اندازه سنگدانه و یا استفاده از گردگوشه ها سبب افزایش سهم های نسبی درشت دانه می شود.
- محاسبه میزان ماسه: میزان بهینه ماسه در حدود (50-40)% کل مخلوط می باشد.
- محاسبه میزان نسبت آب به پودر و فوق روان کننده ها: باآزمایشهای مختلف اسلامپ و قیف V شکل میزان بهینه آب به مواد پودری (0.9-0.8) می باشد.

با آزمایشات متعدد می توان میزان بهینه فوق روان کننده را نیز متناسب با کارایی مطلوب بدست آورد.
در صورت عدم ارضاء مشخصات مورد نیاز اولین گام تغییر ترکیب مصالح خواهد بود در مرحله بعد می توان از افزودنی دیگر در نهایت می توان با تغییر نوع سیمان به هدف مطلوب رسید.

## 6. انتقال – قالب ریزی – عمل آوری*:

متناسب با اندازه سازه بتنی برای تولید S.C.C ظرفیت ، تولید و زمان انتقال ، "زمان آزاد" تعیین می شود. هرگونه توقف ناخواسته تولید می تواند در ایجاد غیر یکنواختی تاثیر زیاد داشته باشد. در زیر به برخی نکات اجرایی اشاره می شود:

- برای قالبهای با عمق بیش از 3 متر ، ارتفاع هیدروستاتیکی به منظور ایجاد قالب مناسب و طرح اختلاط مطلوب لحاظ شود.
- به منظور کاهش خطر جداشدگی دانه بندی ارتفاع آزاد 5.0 متر و فاصله افقی مجاز 10.0 متر می تواند مطلوب باشد.
- به لحاظ اتصالات سرد (پیوند بتن تازه با بتن تخت شده) ، اتصال سرد S.C.C همچون سایر بتن ها مطلوب بوده و با آنها تفاوتی ندارد. در ضمن با اجرای عملیات ویبره مشکل اتصالات سرد برطرف نمی شود.
- به لحاظ پرداخت سطحی همچون بتن های معمولی باید قبل از سخت شدن این عملیات انجام شود.
- عمل آوری (curing) : بدلیل تمایل شدید S.C.C به خشک شدن زودتر(بدلیل آب انداختگی سطحی کمتر) لازم است بلافاصله بعد از قالب ریزی عملیات curing انجام شود و تا حدالامکان از ترک خوردگی ناشی از جمع شدگی (انقباض خمیری) اجتناب شود.

* :Ref: 1)"Specification & guidelines for S.C.C"-EFNARC 2002
2) Timo Wastholt " Fresh Properties of S.C.C"2003

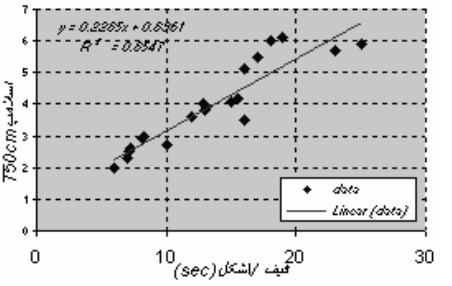
## 7. نتایج حاصل آزمایشگاهی:

نتایج آزمایشگاهی تاثیر پارامترهای مندرج در جدول 2 را تائید می کند. در جدول 3 تعداری از آزمـایش هـا و نتـایج حاصله آورده شده است.نمودراهایی که در ادامه خواهد آمد نتایج آزمایشات متعدد به منظور ایجاد روابـط بـین نتـایج مختلف جهت سهولت و سرعت عملیات کارگاهی می باشد.

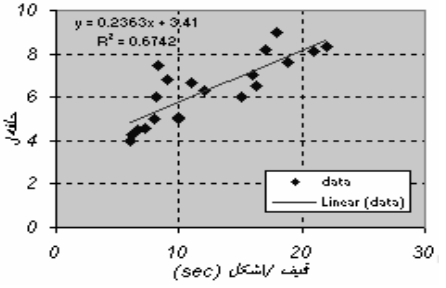
**جدول 3 : نتایج آزمایشگاهی** ( $S/A$ : نسبت ماسه به کل سنگ دانه و $W/C$ : نسبت آب به سیمان)

| ردیف | W/C | S/A | V.M.A (ml/kg( | اسلامپ (mm) | قیف V شکل(sec) | جعبه U شکل (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۰,۳۳ | ۰,۴۳ | ۰ | ۲۷۵ | ۱۱۰ | ۳۵,۱ |
| ۲ | ۰,۴۳ | ۰,۵ | ۵,۳ | ۲۷۵ | ۱۹۰ | ۶,۷ |
| ۳ | ۰,۴۳ | ۰,۴۳ | ۵,۳ | ۲۶۰ | ۳۸ | ۲۴,۳ |
| ۴ | ۰,۳۸ | ۰,۵ | ۰ | ۲۷۵ | ۱۰۳ | ۷۶,۹ |
| ۵ | ۰,۴۳ | ۰,۵۷ | ۵,۳ | ۲۸۵ | ۲۶۰ | ۸,۲ |
| ۶ | ۰,۳۴ | ۰,۵۷ | ۰ | ۲۷۵ | ۲۵ | ۳۵,۱ |
| ۷ | ۰,۷۱ | ۰,۵۷ | ۸,۶ | ۲۳۵ | ۷۰ | ۲۵,۹ |
| ۸ | ۰,۲۸ | ۰,۴۳ | ۰ | ۲۶۰ | ۶۵ | ۱۹۰,۲ |
| ۹ | ۰,۲۸ | ۰,۵۷ | ۰ | ۲۷۵ | ۱۲۵ | ۷۵,۱ |
| ۱۰ | ۰,۳۵ | ۰,۴۳ | ۵,۳ | ۲۷۵ | ۱۰۸ | ۳۷,۲ |
| ۱۱ | ۰,۳۵ | ۰,۵۷ | ۵,۳ | ۲۷۵ | ۲۷۰ | ۱۳,۳ |
| ۱۲ | ۰,۷۱ | ۰,۵۷ | ۸,۶ | ۲۵۰ | ۴۸ | ۴۸,۳ |

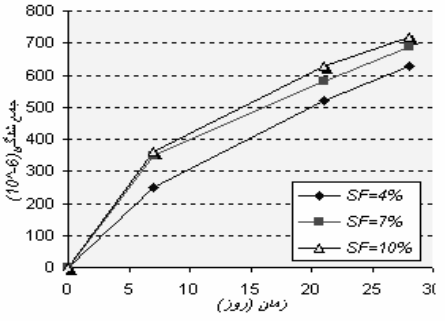
**نمودارها:**




**نمودار 1: رابطه بین قیف V شکل و اسلامپ T50**




**نمودار 2: رابطه بین آزمایش حلقه J و قیف Vشکل**




**نمودار 3 : بررسی تاثیر میزان میکروسیلیس بر روی جمع شدگی در طول زمان**

*( میزان میکرو سیلیس :SF , سیمان* $300\ \frac{kg}{m^3}$ *, (میزان آب به کل چسباننده* $(\frac{W}{b} = 0.6$

## 8. خلاصه و نتیجه گیری:

کاربرد تکنولوژی بتن خود متراکم به لحاظ ملاحظات اقتصادی و سهولت اجرائی ارجحیت دارد. بدلیل عدم نیاز به ویبره و به سبب روانی زیاد استفاده از آن می تواند ضعف سازه های بتنی را در ایران که تا حدود زیادی متاثر از عدم ویبره مناسب (بخصوص در تراکم شدید آرماتور) و غیر یکنواختی بتن است کاهش دهد ولی باید در استفاده از آن ملاحظات خاصی را به کاربرد تمامی فرمولها و پارامترهای مورد استفاده در ساخت و طراحی سازه های بتن آرمه در اینجا نیز عینا به کار می رود. متاسفانه بدلیل محدودیت حجم مطالب روش های آزمایش S.C.C بیان نگردید و جهت مطالعه بیشتر می توان به مراجع مراجعه نمود.

## 9. منابع و مواخذ:


- رمضانیان پور علی اکبر و شاه نظری محمد رضا (ترجمه) – "تکنولوژی بتن" تالیف نویل-چاپ نهم 1381
- فامیلی – هرمز(ترجمه) "خواص بتن" تالیف نویل – چاپ اول 1378
- Okamura .h , "Mix design for self compacting concrete" , library of JSCE , No 25 , pp.107-120 , June 1995
- Paper in internet:
  - Masahiro Ouchi "Application of S.C.C in Japan , Europe and the United states " 2003 [www.fhwa.bot.gov/bridg/scc.pdf]
  - "Specification & guidelines for S.C.C" February 2002 , EFNARC. [www.efnarc.org EFNARC/sand G for S.C.C pdf]
  - Dr Wallevik "Rheology of S.C.C" 2002 [www.nel.ac.uk/rheology conference/concrete.html]
  - Timo wast