# بتن بدون ویبره

**ضیاءالدین ایدی، دانشجوی کارشناسی عمران، دانشگاه صنعت آب و برق شهید عبّاسپور تهران**
آدرس: تهران، تهرانپارس، فلکه دوّم، دانشگاه صنعت آب و برق شهید عبّاسپور
تلفن: ۰۲۱ ۷۳۹۳۲۲۶۴
E-Mail: www.z_aidi2000@Yahoo.com

## چکیده

اجرای بتن ریزی بستگی خاصّی به کارایی و ویژگی هایی از جمله همگنی و عدم حضور پدیده جدایی دانه ها دارد. کاربرد های بخصوص مثل بتن ریزی زیر آب همواره به بتنی جدید نیاز داشته که بدون نیاز به ویبره به راحتی داخل قالب جای گیرد، ویبره در چنین شرایطی به راحتی امکان پذیر نیست.

امروزه اهمیّت کارایی بتن به طور گسترده ای پذیرفته شده و تأثیر عواملی همچون نسبت آب به سیمان و یا میزان افزودنیها، کاملاً شناخته شده اند. در این راستا اگرچه بتن خود متراکم، نقطه عطفی در صنعت بتن محسوب میشود، لیکن با اطلاعات موجود هنوز رفتار روانی این نوع بتن و ارزیابی کارایی آن بر مهندسین کاملاً روشن نگردیده است.

این مقاله به بررسی این نوع بتن اختصاص دارد و در آن به موضوعاتی چون منافع این بتن، افزودنیها، طرح اختلاط و خواصّ بتن تازه و سخت شده پرداخته شده است.

کلمات کلیدی: بتن خود متراکم، کارایی، فوق روان کننده، پرکننده ها، روانی اسلامپ

## Abstract

Placing of concrete has special dependence to workability and some characteristics such as homogenity and being free of segregation. Special applications such as underwater concreting always required fresh concrete, witch could be placed without the need to compaction; in such circumstances vibration had been simply impossible. Now a day, the importance of concrete workability is widely accepted and the effects of factors such as water-cement ratio and amount of admixtures, is completely known. However, although the self-compacting concrete is a turning point in concrete technology, but according to available information, the consistency and workability of this kind of concrete hasn't become so clear for engineers, by now. This article discusses about this kind of concrete and addresses issues such as: advantages of this kind of concrete, admixtures, mixdesign and properties of hardened and fresh concrete.

Key words: self-compacting concrete, workability, superplasticizer, fillers, slump flow

**۱-مقدمه**

بتن بدون ویبره یا بتن خود متراکم شونده پدیده جدیدی در علم مصالح ساختمانی است که امکانات جدیدی را در اختیار قرار داده است و با استفاده از آن می توان بر مشکلاتی که از عدم تراکم کافی ناشی می شود فائق آمده، کیفیت و دوام بتن را افزایش داد.(عراقیان، ۱۳۸۲)

بتن خود متراکم SCC انقلابی در زمینه تکنولوژی بتن به حساب می آید. نظریه بتن خود متراکم توسط پروفسور حجیم اکامورا(Hajim Okamura) از دانشگاه کوچی(Kochi University) ژاپن در سال ۱۹۸۶ به عنوان راه حلّی برای رشد دوام کارایی در سازه های بتنی که مورد توجّه دولت بود، پیشنهاد گردید. اکامورا در خلال تحقیقات خود دریافت که علّت اصلی ضعف دوام کارایی بتن در سازه های ژاپن، عدم یکپارچگی بتن در هنگام بتن ریزی می باشد. با توسعه بتنی که خودش متراکم می گردید، اکامورا دلیل اصلی ضعف دوام کارایی بتن را در ژاپن برطرف نمود. در سال ۱۹۸۸، این نظریه گسترش یافته برای اوّلین آزمایش با مقیاس واقعی تهیه گردید.(کوچکعلی، ۱۳۸۲)

اغلب، هزینه های مواد SCC بیشتر از هزینه مواد معادل یک بتن ویبره شده معمولی می باشد. با این حال وقتی SCC به طور معقول بکار برده می شود کاهش هزینه های در نتیجه تولید بهتر، کوتاهی زمان ساخت و بهبود وضعیت کار جبران هزینه بالای مواد را می کند و در خیلی موارد ممکن است هزینه ها در آخر پروژه نیز کمتر شوند.( Holschemacher, 2002)

به سرعت در ابتدای دهه ۱۹۹۰، تنها، دانش عمومی محدودی در مورد SCC وجود داشت که عمدتاً در دست ژاپنی ها بود. فوت و فن های پایه ای و کاربردی به طور سرّی توسط شرکتهای بزرگ به خاطر سود بازرگانی حفظ شده بود. در این سالها SCC تحت نامهای بازرگانی مانند NVC (بتن بدون ویبره) یا SQC (بتن فوق روان) استفاده میشد.(Bartos،2000)

**۲-منافع بتن SCC**

بتن خود تراکم باید دارای سیّالیتی باشد که باعث خود متراکم شوندگی بدون انرژی خارجی گردد و در حین و پس از بتن ریزی به صورت یکپارچه باقی بماند و به آسانی و در خلال آرماتوربندی جریان یابد.(کوچکعلی، ۱۳۸۲)

برخی ممکن است تصور کنند بتنی که توسط وزن خود و بدون استفاده از ویبره متراکم گردد، سالهاست که در ساختمان سازی مورد استفاده قرار می گیرد، اما در آن بتن، سیّالیت با افزایش آب، فوق روان کننده و یا ترکیبی از هر دوی آنها بدست می آید. بعلاوه این نوع بتن، در سازه های ساختمانی با دوام مورد نیاز معمولی بدلیل محتوی بسیار زیاد آب و عدم پایداری و ناهمگونی ناشی از آن در سازه استفاده نمی شود.(کوچکعلی، ۱۳۸۲)

علل اصلی کاربرد بتن SCC به جای بتن معمولی را می توان بدلیل کاهش دوره ساخت سازه بتنی، اطمینان از تراکم سازه بخصوص در نقاطی که کاربرد ویبراتور دشوار است و کاهش سر و صدای مزاحم ناشی از لرزش بخصوص در کارخانجات تولید قطعات بتنی با دوام می توان نام برد.(عراقیان، ۱۳۸۲)

دیگر منافع SCC در بهبود همگنی بتن تولیدی و کیفیت عالی سطح بدون سوراخهای سطحی یا دیگر اثرات منفی سطحی می باشد.(Holschemacher، 2002)

**۳-افزودنیهای جدید**

افزودنیهای جدید توان تولید بتن بسیار سیّال و روان که مخلوطی همگن است، یعنی همان بتن خود متراکم SCC را ایجاد می نماید.

مصرف افزودنی شیمیایی فوق روان کننده بر پایه کربوکسیلیک(AMV)، جهت تولید بتن خود تراکم SCC میباشد.

از آنجا که ساخت افزودنی های شیمیایی بر مبنای PCE جهت کاربردهای خاص و مختلف بسیار مناسب میباشد، توسعه افزودنی نوین با مقاومت دهی زودرس برای مخلوط های بتن خود تراکم را امکان پذیر نموده است.(احمدوند، ۱۳۸۲)

سیستم توسعه یافته نوین افزودنی ها در تولید بتن خود تراکم شامل ترکیبی از افزودنی های فوق روان کننده میباشد که دارای خاصیّت جانبی افزایش مقاومت زودرس و افزایش دوام می باشد. ترکیب نسبت های طرح اختلاط و افزودنی های نوین تولید بتن خود تراکم SCC با روانی و سیّالیت و با نرخ اسلامپ بیش از ۶۹۰mm بدون جداشدگی را امکان پذیر می کند.(احمدوند، ۱۳۸۲)

از یک چشم انداز عملی، افزودنی های روان کننده آب معمولی در تولید بتن هایی با اسلامپ در حدود ۱۰۰ تا ۱۲۵ میلی متر ایده آل می باشند. در حالیکه فوق روان کننده ها (MRWR) در اسلامپهای ۲۰۰ میلی متر یا بیشتر به بهترین وجه عمل می کنند.(احمدوند، ۱۳۸۲)

تأثیر تغییر جزیی مقدار فوق روان کننده ها در روانی بتن قابل ملاحظه می باشد. در صورت تمرکز افزودنی ها از یک مقدار مشخص، تأثیر معکوس بر خواص جدایی دانه های بتن گذاشته می شود. به عبارت دیگر مقدار زیاد افزودنی باعث تولید مخلوط ناپایدار و مستعد به عارض شدن پدیده جدایی دانه ها می گردد.(رامشت، ۱۳۸۳)

**۴-طرح اختلاط**

به منظور دستیابی به خواصّ مورد نیاز بتن خود تراکم اکامورا فرایند طرح اختلاط بتن را مورد ارزیابی مجدد قرار داد روال طرح اختلاط اکامورا بر روی چهار موضوع تکیه می کرد:

- کاهش محتوی سنگدانه درشت به جهت کاهش اصطکاک، یا زیادی چسبندگی بین آنها، افزایش سیّالیت کلّی بتن.
- افزایش محتوی خمیری به منظور افزایش سیّالیت.

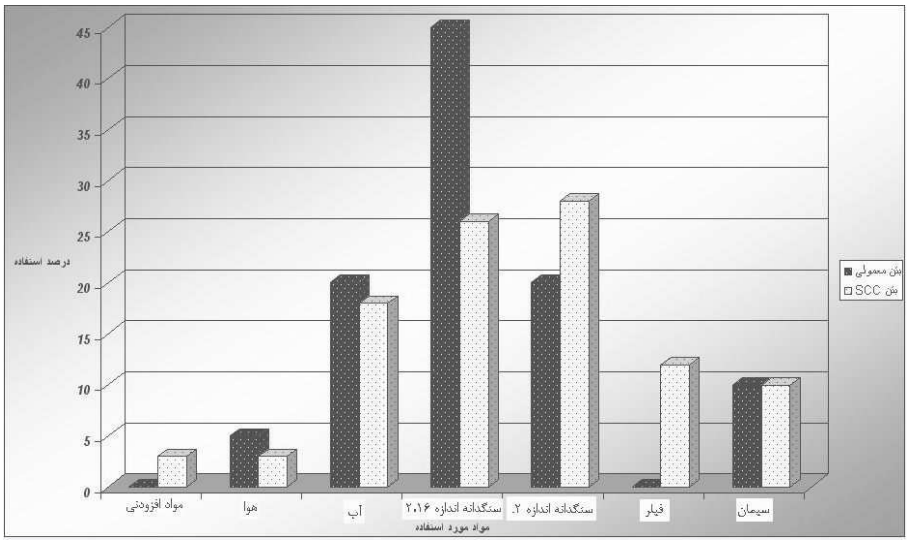
- ترتیب دادن ویسکوزیته خمیر به ترتیبی که موجب کاهش ریسک بلوکه شدن سنگدانه به هنگام ریختن بتن در میان موانع گردد.
- بدلیل اینکه بتن معمولی با استفاده از انرژی خارجی ریخته می شود، احتیاجی به خواصّ روان شناسی خاصّی نمی باشد. در حقیقت، شدت انرژی بکار برده شده در فرایند تراکم مطابق با جبران نمودن خاصّیت پلاستیک ویبره کردن می شود.(کوچکعلی، ۱۳۸۲)

بتن خود تراکم از همان طرح مخلوط بتن معمولی برخوردار است که شامل سیمان، سنگدانه ها، آب،مواد افزودنی و مواد مضاف می باشد. البته مقدار زیادی فوق روان کننده برای کاهش حد مایع بتن و کارایی بهتر آن، مقدار زیادی پر کننده بعنوان عامل روغن کاری برای درشت دانه ها و استفاده از عامل لزج کننده (VMA) برای زیاد کردن لزجت بتن را نیز باید به حساب آورد.(عراقیان، ۱۳۸۲)

مواد پرکننده معمولی و تأیید شده عبارتند از فلی اش، تفاله کوره آهن گدازی، پودر آهک، دوده سیلیکا و پودر کوارتزی می باشند.

مقایسه یک نوع طرح اختلاط SCC و بتن معمولی در نمودار(۱) آمده است.(Holschemacher،2002)

جدول ۱: مقایسه یک نوع طرح اختلاط SCC و بتن معمولی




**۵-خواصّ بتن تازه**

رفتار مخلوطهای SCC تازه از بتن با کارایی بالای معمولی بسیار متفاوت است. در حال حاضر، هیچ آزمایشی برای تعیین کارایی این بتن در استانداردهای اروپایی و سایر ملیّت ها وجود ندارد. و همچنین از آنجا که روش اجرای بتن خود متراکم با بتن معمولی متفاوت است بنابراین تعیین اینکه بتن خود متراکم است یا خیر ضرورت می یابد. در مورد اجرای آزمایشات نیز باید دقّت نمود که وسایل تست محکم، قابل اعتماد، به راحتی قابل حمل و ارزان باشند. اجرای آزمایش باید توسط یک اپراتور مخصوص انجام گیرد.

برخی آزمایشات در استانداردهای ملی نظیر BS 1881 وجود دارد که خواص کارایی بتن تازه را بررسی می کنند. امّا هیچ کدام از این آزمایشات برای بتن SCC تازه مناسب نیستند. یک نمونه از این آزمایشات، اسلامپ می باشد که معمولی ترین روش بررسی کارایی بتن تازه در کارگاه می باشد. این آزمایش برای بتن با کارایی متوسط مناسب است. به خاطر تراکم بتن SCC تحت وزن خود، نتیجه آزمایش، اسلامپ فروریختگی می باشد. اغلب مخلوطهای تازه SCC تمایل به قالب گیری آهسته تحت وزن خود دارند که می تواند تا ۱۰ دقیقه طول بکشد و در نتیجه اسلامپ نهایی به سرعت اتفاق نمی افتد. بنابراین این آزمایش در مورد خواص بتن SCC تازه چیزی نشان نمیدهد.(Bartos،2000)

آزمایشات زیادی روی SCC جوابهای تقریباً موفقی داده اند که البته هنوز عمومیّت لازم را کسب نکرده اند. در زیر خلاصه ای از معمولی ترین آزمایشات کنونی مورد استفاده برای ارزیابی خواص SCC تازه آمده است:

**آزمایش جریان اسلامپ(روانی اسلامپ)**

این آزمایش توانایی بتن را برای تغییر شکل تحت اثر وزن خود و غلبه بر اصطکاک داخلی آن مشخص مینماید. اگرچه این آزمایش نمی تواند ارزیابی کند که آیا بتن از داخل فضای بین آرماتورها رد خواهد شد یا نه، لیکن بعنوان آزمایش کنترلی قابل قبول است که تمایل دوغاب را به جدایی از سنگدانه ها مشخص می نماید.(عراقیان، ۱۳۸۲)

در این آزمایش بعد از برداشتن مخروط قطر پخش نمونه اندازه گیری می شود به عبارت دیگر یک فاصله افقی بجای فاصله قائم در اسلامپ معمولی مشخص می شود. ابزار انجام این آزمایش در شکل(الف-۱) آمده است.(Bartos،2000)

از اشکالات دیگر این آزمایش این است که آزمایش آنقدر حساس نیست که فرق بین مخلوطهای SCC و سیّال فوق روان را آشکار کند نه فقط بتن های SCC بلکه بتن هایی که به جداشدگی میل دارند نیز به قطرهای بین ۵۵ تا ۷۵ می رسند.(Bartos،2000)

**آزمایش جریان اسلامپ اصلاح شده**

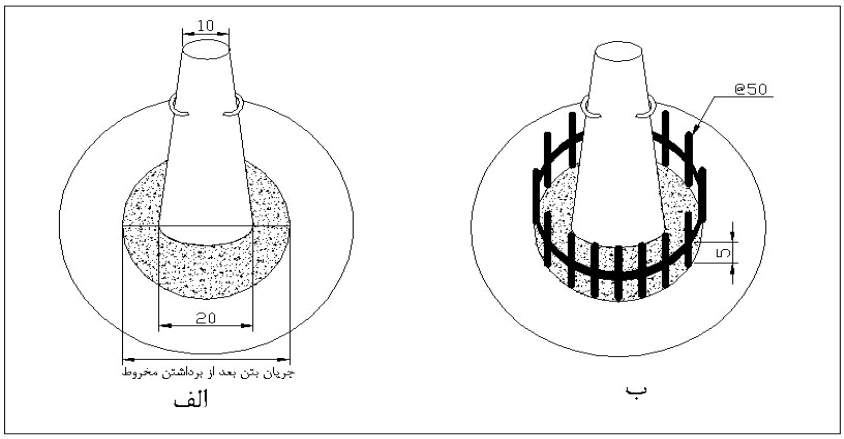
آزمایش جریان اسلامپ اصلاح شده روش آسان و مناسبی برای اندازه گیری مقاومت جدا شدگی دانه ها در بتن SCC می باشد. از آنجا که آزمایش جریان اسلامپ معمولی نمی تواند کارایی و خواص تجزیه بتن را در مواقعی که باز دارنده ای مانند آرماتور در قالب وجود دارد ارزیابی نماید، لذا برای مطالعه تجزیه بتن قبل از برداشت مخروط آرماتورهایی به صورت حلقوی و به حالت ستون، روی صفحه فلزی اسلامپ قرار می دهند. ابزار انجام این آزمایش در شکل(۱-ب) آمده است. پس از برداشتن مخروط، قطر بتن پخش شده را اندازه میگیرند و به روانی اسلامپ اصلاح شده نامگذاری می کنند. سپس بتن داخل و بیرون حلقه جمع آوری و پس از توزین، کاملاً شسته شده و از الک (۳۶ mm-۲) عبور داده می شود. نمونه های شسته شده را خشک نموده و

سپس از الکهای (۵ mm و ۱۰) عبور داده تا بتوان دانه هـای بـاقی مانـده روی هـر الـک را بدسـت آورده و وزن نمود.(رامشت، ۱۳۸۳)

با دانستن نسبتهای دانه های از الک گذشته مربوط به هر مخلوط بتن خواص تجزیه هر مخلوط از رابطه زیـر قابـل محاسبه است:(رامشت، ۱۳۸۳)

$SI_o=[W_b/(W_b+W_s)]*100$

SI=شاخص تجزیه ، $_o$=معرف قسمت خارجی حلقه ، $W_s$ و $W_b$= بترتیب وزن دانه های (۲۰-۱۰) و (۱۰-۵)




شکل ۱: ابزار آزمایش روانی اسلامپ(الف) و ابزار آزمایش روانی اسلامپ اصلاح شده(ب)

**آزمایش جعبه L**

وسیله این آزمایش به شکل حرف L می باشد فضایی قائم دارد که بتن را داخـل آن مـی ریزنـد و سـپس دریچـه آنرا باز می کنند تا بتن وارد مقطع افقی شود.

با باز کردن دریچه بتن از مقطع قائم به مقطع افقی جریان می یابد، در این حالت زمانی که طول می کـشد تـا بـتن به مقدار ۲۰ و ۴۰ سانتی متر داخل مقطع افقی پیش برود اندازه گیری می شود. ارتفاع بتن ریزی در این دو مقطـع اندازه گیری می شود. این مقادیر میزان مقاومت جداشدگی استاتیکی و دینامیکی SCC و قابلیت جریان از میـان میلگردهـا را مـشخص مـی کنـد ایـن آزمـایش بـه کـرّات در کارگـاه بـه عنـوان آزمـایش مـورد قبـول اسـتفاده میگردد.(Bartos،2000)

**پایایی الک**

این شیوه به منظور ارزیابی مقاومت استاتیکی جداشدگی SCC مورد استفاده قرار می گیرد. یک نمونه از بـتن از بالای یک الک ۵ mm ریخته شده و مقدار ملات عبور کرده از خلال الک در یـک پریـود دو دقیقـه ای انـدازه گیری می گردد.(کوچکعلی، ۱۳۸۲)

**آزمایش خود متراکم شوندگی لوله U**

برای تشخیص اینکه آیا بتن خود متراکم است یا خیر از این آزمایش استفاده می شود. با توجّه به سیّالات میـدانیم هرچه یک جسم سیّالتر باشد، اختلاف سطوح آن در یک لوله U شکل کمتر خواهد بـود از ایـن خاصیّت بـرای

تعیین قابلیت تراکم خودبخودی بتن استفاده می شود. برای اندازه گیری بهتر این قابلیت بتن در سر راه خود از داخل مانعی نیز عبور می کند.

این آزمایش بسیار مناسب بتن SCC می باشد. و اگر بتن در سمت دیگر لوله U شکل بیش از ۳۰۰ mm بالا برود بتن خود متراکم شونده به شمار می آید.(عراقیان، ۱۳۸۲)

**آزمایش تعیین قابلیت خود متراکم شوندگی در کارگاه**

از آنجا که درجه تراکم بتن در یک سازه به قابلیت خود متراکم شوندگی آن بستگی دارد و تراکم پذیری ضعیف نمیتواند در جریان عملیات ساختمانی جبران شود بنابراین در طول عملیات بتن ریزی باید برای تمام حجم بتن این آزمایش انجام گیرد. روشهای معمولی آزمایش نیاز به نمونه گیری دائم دارد که می تواند کار زمان بر و بیهوده ای باشد. یک روش مناسب برای پذیرش قابلیت خود متراکم شوندگی بتن این آزمایش است.(عراقیان، ۱۳۸۲)

دستگاه آزمایش بین کامیون مخلوط کن و پمپ در سایت قرار می گیرد. کل حجم بتن در داخل دستگاه ریخته میشود. اگر بتن به سهولت از داخل این وسیله جریان یابد بتن خود متراکم شونده دانسته شده و اجرا می گردد. اگر بتن در داخل دستگاه متوقف شود، بتن دارای قابلیت تراکم کافی نبوده و باید نسبت های اختلاط آن اصلاح شود.(عراقیان، ۱۳۸۲)

**۶-خواصّ بتن سخت شده**

از آنجا که بتن خود متراکم SCC دارای تراکم بهتری نسبت به بتن های معمولی می باشد، لذا خواص آن در حالت بتن سخت شده(نظیر مقاومت فشاری، نفوذپذیری، جذب آب و ...) نیز نسبت به بتن معمولی بهبود قابل ملاحظه ای دارد.

دلیل عمده تفاوت بین خواصّ بتن سخت شده SCC و بتن معمولی همگنی این بتن و مقدار بیشتر مواد ریز میباشد. مقاومت فشاری بتن، بعنوان یکی از مهمترین خصوصیات بتن سخت شده، عموماً فاکتوری برای تقسیم بندی در کدهای عمومی و بین المللی می باشد.(Holschemacher،2002)

مقاومت فشاری ۲۸ روزه بتن SCC و بتن ویبره شده معمولی با ترکیب یکسان در اکثر نتایج آزمایشات منتشر شده تفاوت زیادی با هم نداشتند.

برای بتن معمولی نسبت بین نیروی فشاری مکعب به استوانه تقریباً برابر ۱/۲ ($f_{c,cube(150mm)}/f_{c,cy(150,300)}$) میباشد این نسبت برای SCC اساساً کمتر می باشد و بین ۱/۱ تا ۱ است. بنابراین نیروی فشاری نسبت به نمونه های لاغر کمتر است.

در مقایسه با اعضای سازه ای ساخته شده از بتن ویبره شده معمولی بتن SCC از پراکندگی نتایج کمتری برخوردار است. این حقیقت همگن بودن مواد ساختمانی SCC را اثبات می کند.(Holschemacher،2002)

مدول ارتجایی بتن به مقدار مدول یانگ اجزا منفرد و درصد آنها در حجم بستگی دارد. بنابراین، مدول های ارتجایی بتن برای مقدار زیاد سنگدانه های با سختی بالا افزایش می یابد در حالیکه با افزایش خمیر سیمان سخت شده و افزایش تخلخل کاهش می یابد. در بتن SCC به خاطر مقدار زیاد مواد خیلی ریز و افزودنی ها بعنوان فاکتور اختصاصی، یک مدول به نسبت کوچک ارتجایی مورد انتظار است. و نشان داده شده که مدول ارتجایی SCC به مقدار ۲۰ درصد از بتن نرمال ویبره شده که دارای همان مقاومت فشاری و ساخته شده از همان سنگدانه می باشد پایین تر است.(Holschemacher،2002)

**۷-نتیجه گیری**

بتن خود تراکم بدلیل قوام و کارایی زیاد نه تنها شرایط کار و سرعت فعالیت را بهبود می بخشد بلکه کیفیت محصول نهایی را نیز افزایش می دهد. این بتن می تواند سیستم های ساختمانی را که بر پایه تراکم لرزه ای بوده اند، بهبود دهد. این نوع از تراکم که به سهولت باعث جداشدگی می گردد مانعی بر سر راه بهبود سیستم های ساخت و ساز گردیده است. زمانی که این مانع مرتفع گردد کارهای بتنی بهبود یافته و سیستم جدید ساخت و ساز شامل، قالب، آرماتوربندی و طراحی سازه ای می تواند توسعه یابد. یک مثال از این دست، سازه های ساندویچی هستند که بتن در یک پوسته فولادی محصور می شود.

از دیگر کاربردهای این نوع بتن می توان به استفاده از آن برای ساخت سدهای بتن غلطکی اشاره نمود، در این نوع سدها تراکم بتن بسیار هزینه بر می باشد.

امروزه در ژاپن، تلاشهایی در جهت در دسترس قرار دادن SCC تحت عنوان بتن ویژه و عمومی کردن آن به عنوان تولید روزانه صنعت بتن در حال انجام است. با این وجود فروش SCC همچنان پایین است. در کشور ما نیز لزوم افزایش شناخت پیمانکاران نسبت به منافع این نوع بتن برای کاربردی کردن آن ضروری به نظر می رسد.البتّه هنوز برای کاربرد این بتن محدودیتهای زیادی وجود دارد. به عنوان مثال مواد اولیه آن ممکن است به سهولت در دسترس نباشد.

**۸-فهرست مراجع**


- احمدوند، مصطفی، "تازه های افزودنی های بتن"، مجله تکنولوژی بتن، سال نخست، شماره ۲، مرداد ۱۳۸۲، صفحات ۲۴ تا ۲۶.
- رامشت، محمد حسن و مصطفی خانزادی، "خواص رئولوژی بتن های فوق روان"، نشریه داخلی انجمن بتن ایران، شماره ۱۴، سال چهارم، تابستان ۸۳، صفحات ۲۶ تا ۳۰.
- عراقیان، حمیدرضا، "بتن خود تراکم SCC "، مجله تکنولوژی بتن، سال نخست، شماره ۲، مرداد ۱۳۸۲، صفحات ۲۷ تا ۲۹.
- کوچکعلی، امیر عبّاس و حسین صدارت، "بتن خود تراکم و کاربرد نانو ذرات سیلیس"، مجله تکنولوژی بتن، سال نخست، شماره ۳، آذر ۱۳۸۲، صفحات ۳۷ تا ۴۰.

- Bartos, Peter JM, "Measurement of Key Properties of Fresh Self-compacting Concrete", Joune 2000, pp.1-6.

- Holshemacher, Klaus & Yvette klug,"A Database for the Evaluvation of Hardened Properties of SCC", LACER NO.7, 2002, pp.123-134.