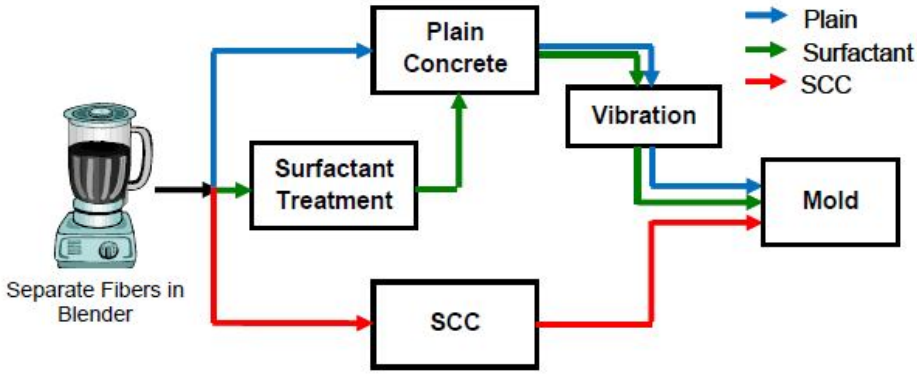
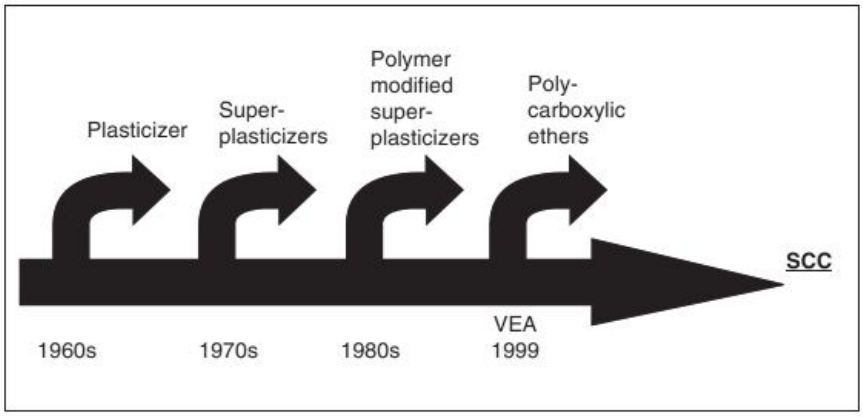
سیرتکاملی تولید بتن خود تراکم

ایمان الیاسیان،کارشناس ارشدعمران گرایش سازه، i.elyasian@gmail.com

سازه های بتن آرمه یکی از پر کاربردترین نوع سازه ها و صنعت بتن امروزه نقش بسیار مهمی در ساخت وساز جوامع بشری بازی می کند در این میان توجه به خصوصیات بتن و انتظارات در سازه مورد مصرف محققان ،آزمایشگاهها و دست اندرکاران تولید بتن را نسبت به تغییر بتن معمولی تهیه شده از سیمان پرتلند جهت بهبود کارایی و رسیدن به عملکرد مورد نظر ترغیب نمود ه است یکی از بتنهای توانمند و با عملکرد بالا بتن خود تراکم میباشد که شامل بازه گسترده ای از طرح های اختلاط می باشد که خواص بتن تازه و سخت شده لازم برای کاربری های خاص دارا می باشند . اگرچه مقاومت هم چنان معیار اصلی موفقیت این بتن می باشند اما ویژگی های بتن تازه آن ، بسیار گسترده تر از بتن معمولی و متراکم شده توسط لرزاننده ها می باشد . این خواص مطلوب باید در زمان ، محل و بتن ریزی حفظ شوند . بتن خود تراکم در مواردی که شبکه بندی آرماتور ها فشرده است ، گزینه ای مطلوب می باشد . هم چنین عدم نیاز به لرزاننده ،آلودگی صوتی محیط را به نحو قابل ملاحظه ای کاهش می دهد.علی رغم ویژگی های مطلوب، طرح اختلاط و اجرای این نوع بتن به عوامل متعددی از قبیل دانه بندی مصالح سنگی ، نوع مواد افزودنی و همچنین فیلرهای مورد استفاده بستگی دارد. برای سالیان متمادی دست یابی به بتنی با قابلیت خودترازی (خود تراکمی) بدون افت در مقاومت ، روانی و یا جداشدگی ، آرزوی مهندسین در کشورهای مختلف بوده است در اوایل قرن بیستم به دلیل خشک بودن مخلوط بتنی ، تراکم بتن تنها از طریق اعمال ضربه های سنگین در مقاطع وسیع و در دسترس ممکن بود . با شیوع استفاده از بتن های مسلح و آشکار شدن مشکلات اجرایی کاربرد مخلوطهای خشک ، گرایش به استفاده از مخلوطهای مرطوب تر گسترش یافت اما شناسایی تاثیر نسبت آب به سیمان در دهه ۱۹۲۰ نشان داد که افزایش این نسبت می تواند موجب افت در مقاومت بتن گردد . در سالهای بعد ، توجه به مسئله دوام بتن همچنین تاثیر مخرب افزایش نسبت آب به سیمان را به نفوذ پذیری و کاهش دوام بتن آشکار ساخت . این همه باعث گردید تا توجه ویژه ای بر خواص کارایی و رئولوژی بتن و نیز روشهای تراکم ، با هدف بهبود خواص مقاومت و دوام آن صورت گیرد . این تحقیقات در نهایت منجر به معرفی بتن خود متراکم در ژاپن گردید. بتن خود تراکم نخست در سال ۱۹۸۶ توسط H.Okamura در ژاپن پیشنهاد گردید و در سال ۱۹۸۸ این نوع بتن در کارگاه ساخته شد و نتایج قابل قبولی را از نظر خواص فیزیکی و مکانیکی بتن ارائه داد. بتنی با قابلیت جریان زیاد که می تواند تنها تحت تاثیر نیروی ثقل و بدون نیاز به انجام هرگونه فرآیند دیگری تمامی زوایای قالب را پر کرده و آرماتور ها دربرگیرد، بدون آنکه جداشدگی یا آب انداختن ایجاد گردد



Schematic of Divergences in Concrete Mixing Procedure



پیشینه و تاریخچه تولید بتن خود تراکم

۱ - سازه های بتنی معماری – هنری که نیاز به ظرافت خاص با میلگرد گذاری فشرده دارند .

۲ - پل های با دهانه بزرگ که به دلیل طولانی بودن خط انتقال بتن اجرای آن ها با بتن معمولی امکان پذیر نمی باشد

۳ - تونل های شهری و آبی که در آنها مسافت طولانی انتقال بتن معمولی و حفظ کیفیت و تراکم آن از مشکلات اجرایی است.

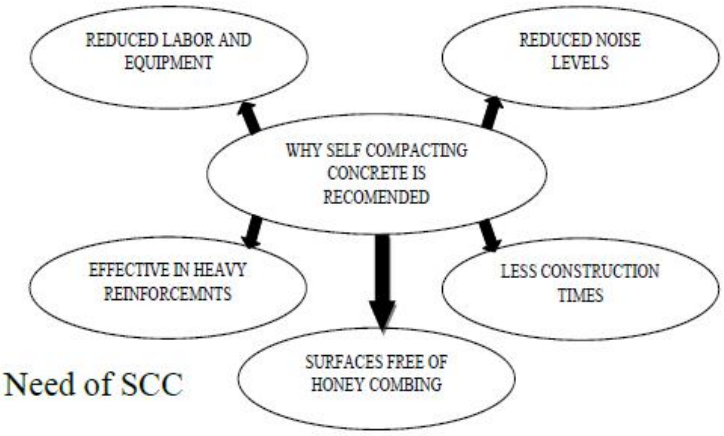
۴ - ساختمان های بلند و برج ها ۵ - ستونها و دیوارهای بلند یا میلگردهای متراکم

۶- ستونهای بتن ریزی شده با پمپ ۷- بتن ریزی بلوک های بتنی ۸- بتن ریزی کف ها و سطوح افقی

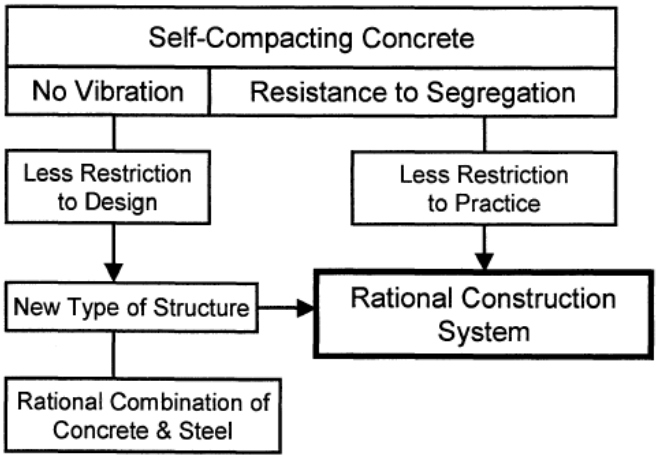
۹ - بتن ریزی در سازه های زیر آبی

مزایای مهم بتن خودتراکم

۱- توسعه سازه های بتنی در دنیا و نیاز به بتن های با خواص ویژه ۲ -کمبود کارگران ماهر بتن ریزی بویژه کارگران ویبره زن ۳ -افزایش سرعت اجرای سازه های بتنی در سهولت بتن ریزی ۴ -امکان بهبود کیفیت مکانیکی بتن و اطمینان ازتراکم بتن ۵- امکان اجرای سازه های بتنی ظریف ، نازک و سنگین و انتخاب مقاطع کوچک یا میلگردهای فشرده ۶- توسعه صنایع پیش ساخته بتنی ۷- صرفه جویی اقتصادی با توجه به کاهش نیروی انسانی لازم و زمان ساخت ۸-توجه به سطوح تمام شده زیبا و مرغوب سازه های بتنی ۹- کاهش سر و صدا و آلودگی صوتی محیط کارناشی از ویبره و بویژه در صنایع پیش ساخته بتنی ۱۰- کاهش هزینه اجزای بتن ریزی در محل ۱۱- پوشش سطحی بهتربتن ۱۲-جاگیری راحت درقالب۱۳-دوام بهتر۱۴- قدرت آزادی و سهولت برای طراحان ۱۵- صرف انرژی کمتر برای تولید بتن ۱۶-محیط کار امن تر و ایمنی بالا

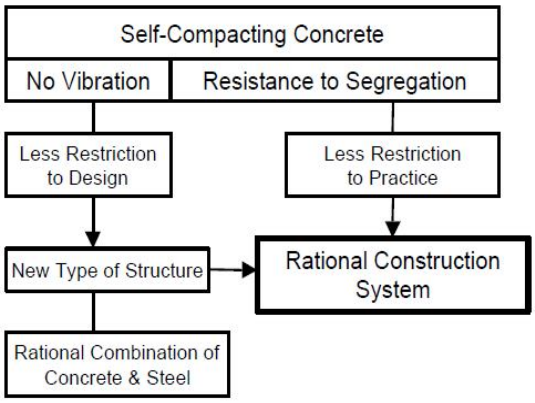


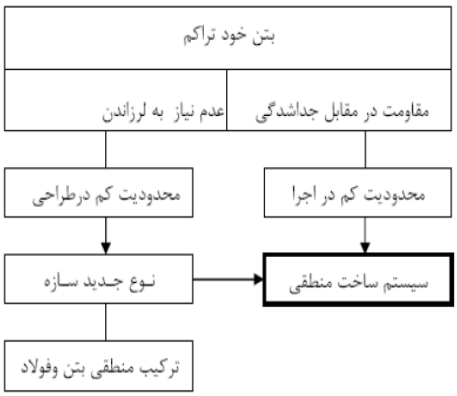
Need of SCC

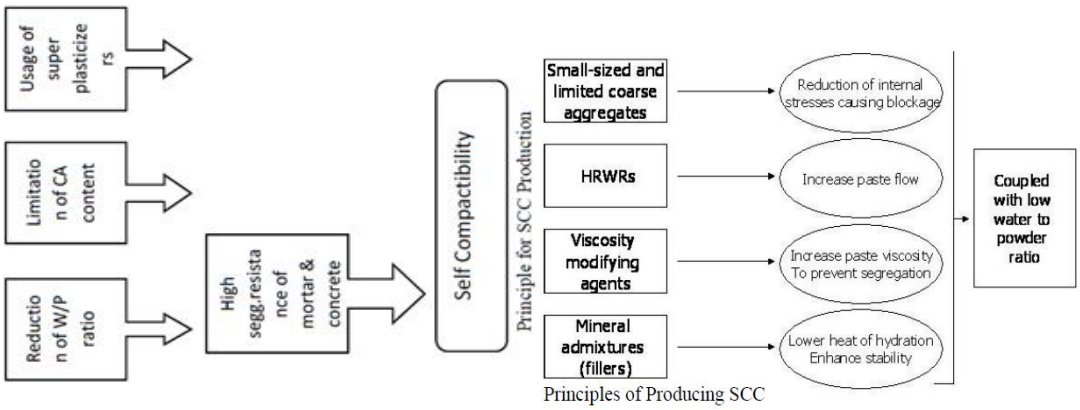


New construction system achieved by making full performance of SCC

مزایای بتن خودتراکم



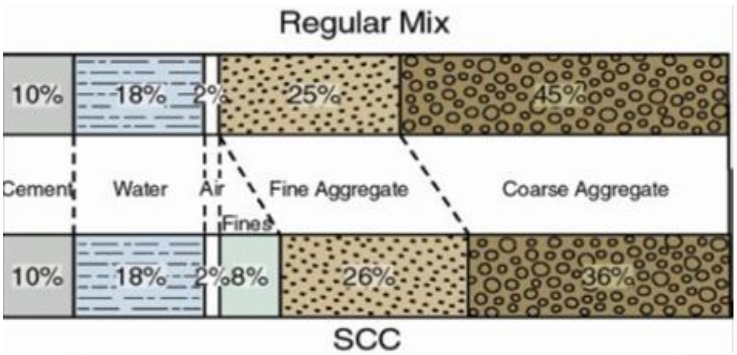


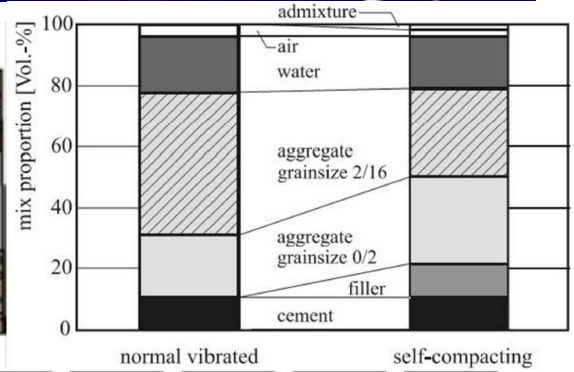


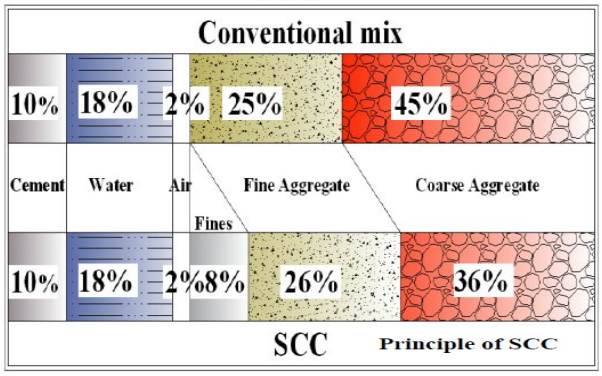
Principles of Producing SCC

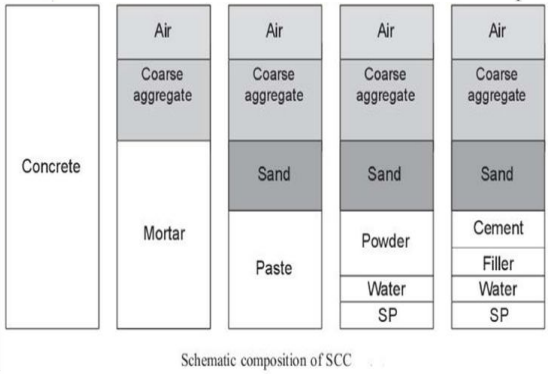
مواد تشکیل دهنده بتن خود تراکم

۱- افزودنی ها ۲-فوق روان کننده ها ۳-پودرسنگ ۴- میکروسیلیس ۵- نانوسیلیس ۶-خاکستربادی





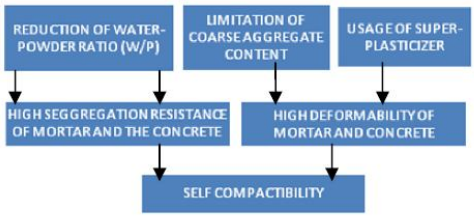




Schematic composition of SCC

خواص بتن خودتراکم

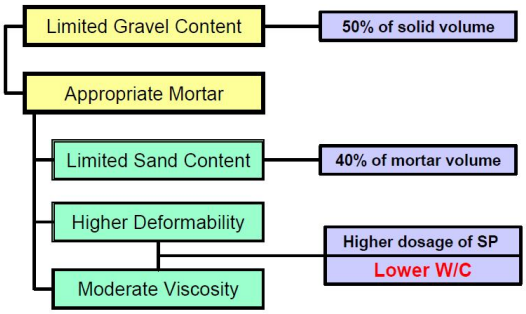
۱-توانایی پرکنندگی Filling ability ۲-مقاومت در برابرجداشدگی Resistance to segregation
۳-توانایی عبورو جریان (قابلیت پمپاژ) passing ability ۴-کارایی مناسب workability ۵- پایداری مناسب stability(مقاومت در برابر آب انداختگی،جداشدگی دانه هاوحفظ همگنی بتن) ۶- قابلیت پرداخت سطح مناسب flat work ۷-استقرار بدون ویبره

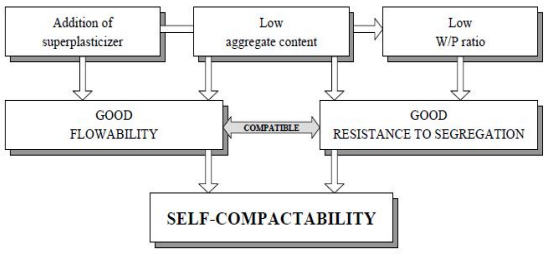


Basic principles for production of self-compacting concrete

انواع پوزولان های مورد استفاده بتن خود تراکم

۱- پودر سنگ آهک Lime Stone Powder ۲- خاکستربادی Fly ash ۳- میکروسیلیس یا دود سیلیس Silica Fume
۴- پودرسرباره Blast Furnace Slag ۵- متاکوئلین Meta kaoline ۶- زئولیت Zeolite





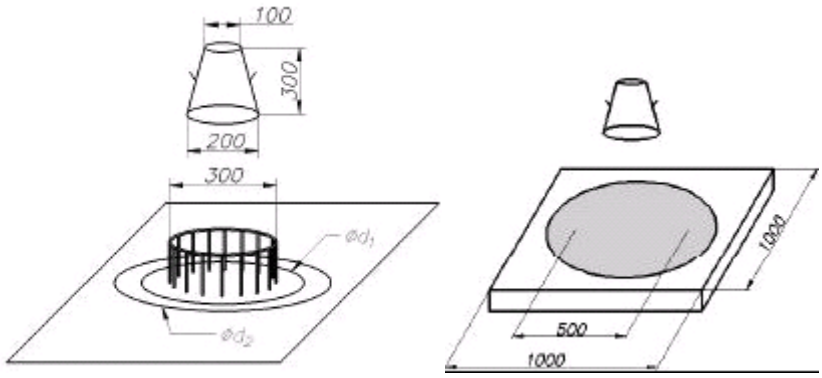
General Japanese mix design approach for achieving self-compactability.

1جریان اسلامپ (Slump Flow):

آزمایش جریان اسلامپ به منظور تعیین آزادی حرکتSCC

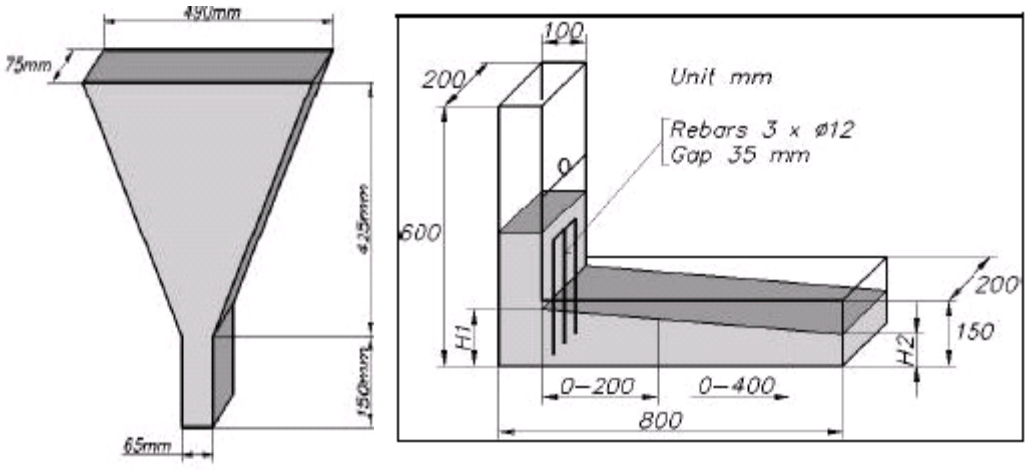
روش انجام آزمایش: حدود 6 لیتر بتن مورد نیاز است. ابتدا صفحه ی فلزی بدنه ی داخلی مخروط اسلامپ را تر کنید. سپس صفحه فلزی را روی سطح متعادلی محکم کنید. استوانه در مرکز صفحه قرار گرفته و داخل آنرا بهکمک پیمانه از بتن پر کنید. هیچ ضربه ای نباید به بدنه ی استوانه زده شود. مواد زائد را از اطراف آن بزدائید،سپس مخروط را بصورت عمودی بالاکشیده 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 جریانc اسلامپT50m 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 – حلقهJ (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 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 300میلیمتر و ارتفاع میلگردها 100 میلیمتر می باشد. نتایج آزمایش حلقه ی J می تواند مکمل مناسبی برای آزمایش های جریان اسلامپ، اریمت و قیفV باشد. این آزمایشهای ترکیبی،توانائی جریانیابی و گذرندگی بتن را کنترل می کنند پس از اتمام آزمایش، اختلاف ارتفاع بتن درون و بیرون حلقه Jاندازه 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 یJرا 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

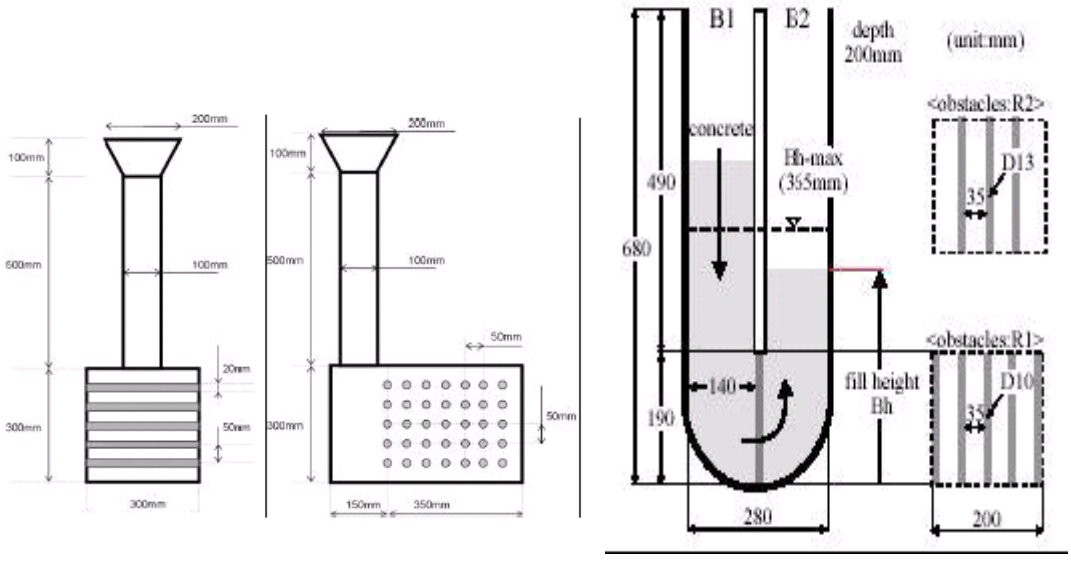
روش انجام آزمایش قیف V: حدود 12 لیتر بتن برای انجام آزمایش لازم است. قیف Vرا بصورت متعادل روی زمین قرار داده و محکم کنید. سطح درونی قیف را تر کنید. درب زانویی دستگاه را باز کنید تا هرگونه آب مازاد تخلیه شود. درب زانویی را بسته و سطلی زیر آن قرار دهید. دستگاه را کاملاً از بتن پر کنید. هیچگونه فشرده کردن، پر کردن حفره ها یا ضربه زدنی به بدنه ی دستگاه به وسیله ی بیلچه نباید صورت گیرد. 10ثانیه 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 Vمی 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 Funnel :

سطح داخلی دستگاه راV 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، همانV5min خواهد بود. برایSCC 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 T20 ، T40 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، مقادیرH1 (ارتفاع بتن در انتهای قسمت افقی دستگاه) و H2 (ارتفاع بتن در پشت دریچه) را اندازه گیری نمایید. H2/H1نسبت انسداد را نشان می دهد. تمام آزمایش باید در 5 دقیقه انجام گیرد. مقادیر T20و T40می 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 H1 بنامید. ارتفاع بتن را در قسمت دیگر به همین روش بنامید. H2اندازه گیری کرده و آن را ارتفاع پرکنندگی ، H1-H2اختلاف ارتفاع لقب دارد. تمام آزمایش باید در 5 دقیقه انجام شود.

6جعبه پرکننده(Fill box):

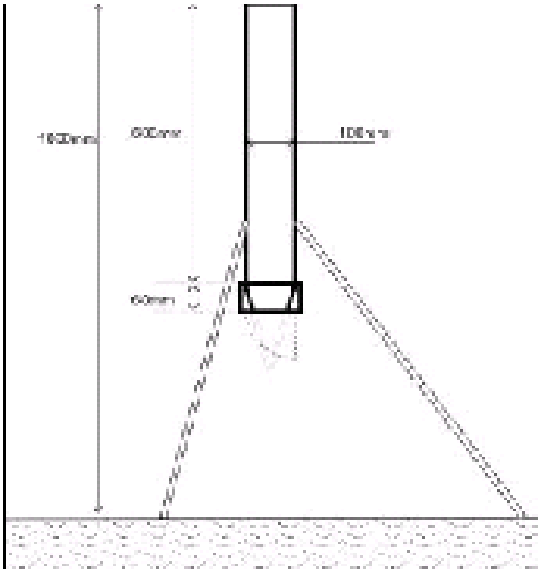
از نتایج این آزمایش به منظور ارزیابی قابلیت پرکنندگی بتن خودتراکم با حداکثر اندازه ی دانه ی 20 میلیمتر استفاد می شود. ابعاد و اندازه ی دستگاه در شکل مقابل قابل دسترسی است. ظرف از طریق لوله پرکننده پرمی شود و اختلاف ارتفاع بین دو طرف ظرف معیار سنجش قابلیت پرکنندگیSCC خواهد بود.

1تا 2 لیتر بتن تازه به داخل قیف ریخته می شود. این عمل تا زمانی که بتن موانع ردیف اول / یک پیمانه حاوی5 بالایی را پوشش می دهد ادامه می یابد. پس از به سکون رسیدن بتن اندازه گیری ارتفاع در دو نقطه از آن در طرفی ازظرف که پر شده است صورت گیرد و میانگین محاسبه شود(H1) این اندازه گیری در سمت دیگر ظرف نیز صورت می گیرد(H2) درصد پرکنندگی میانگین بدین شکل تعیین می گردد:

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.

GTM-7 (Screen stability test):

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 از بتن داخل سطل را در ظرف دیگری بریزید. ظرف حاوی بتن را وزن کنید. 4/kg تا 0/2kgکنید. بیش از 2 لیتر یا 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(Ma) 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 محاسبهپ 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.

(Mb/Ma)*100 :درصد جداشدگی

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):

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

افت یا انقباض خودبخود (Autogenously shrinkage)

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

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 سازه های بتنی است که نادیده گرفتن آن اثرات مخربی را به همراه دارد.اطلاعات رایج پیرامون خزش SCC محدود بوده و تحقیقات وسی عتری را م یطلبد.

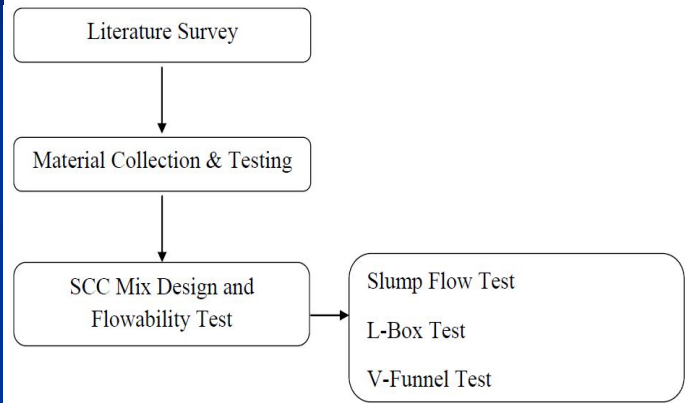
انتقال – قالب ریزی – عمل آوری

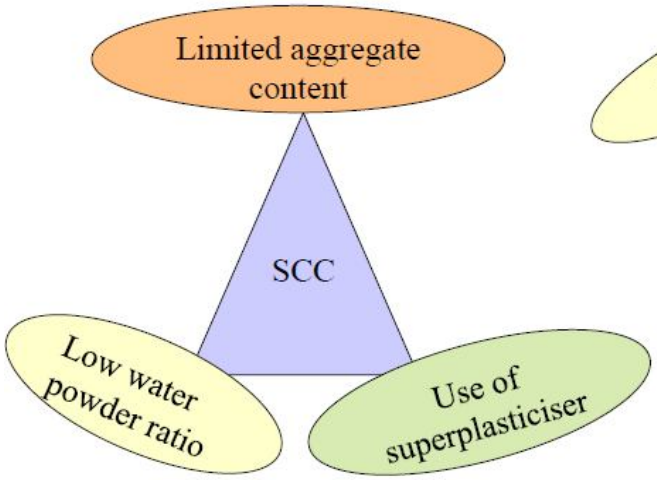
متناسب با اندازه سازه بتنی برای تولیدS.C.C ظرفیت ، تولید و زمان انتقال ،" زمان آزاد "تعیین می شود. هرگونه توقف ناخواسته تولید می تواند در ایجاد غیر یکنواختی تاثیر زیاد داشته باشد. در زیر به برخی نکات اجرایی اشاره می شود:

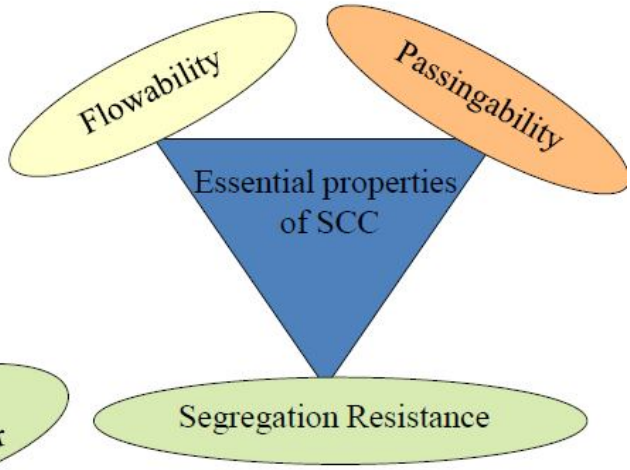
- برای قالبهای با عمق بیش از 3 متر ، ارتفاع هیدروستاتیکی به منظور ایجاد قالب مناسب و طرح اختلاط مطلوب لحاظ شود.
- به منظور کاهش خطر جداشدگی دانه بندی ارتفاع آزاد 5 متر و فاصله افقی مجاز 10 متر می تواندمطلوب باشد.

- به لحاظ اتصالات سرد(پیوند بتن تازه با بتن تخت شده) ، اتصال سردS.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 شدیدS.C.C به خشک شدن زو دتر)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.

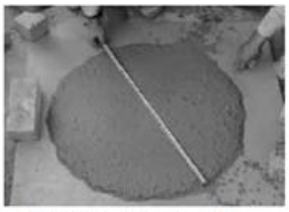






آزمایش قیف V-شکل بتن خودمتراکم

آزمایش جعبه L-شکل بتن خودمتراکم



آزمایش جریان اسلامپ بتن خودمتراکم

آزمایش جعبه L

آزمایش حلقه J

Table A.1 – Slump-Flow classes

Class	Slump-flow in mm
SF1	550 to 650
SF2	660 to 750
SF3	760 to 850

Table A.2 –Viscosity classes

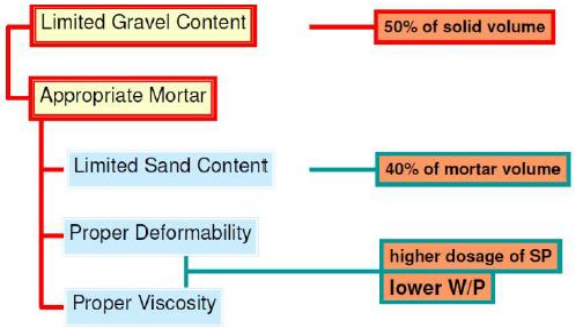
Class	T_{500}, s	V-funnel time in s
VS1/ VF1	≤ 2	≤ 8
VS2/ VF2	> 2	9 to 25

Table A.3 – Passing ability classes (L-box)

Class	Passing ability
PA1	≥ 0,80 with 2 rebars
PA2	≥ 0,80 with 3 rebars

Typical Mixture Proportioning Values Suggested by EFNARC (2001)

Parameter	Typical Values
Water/powder (volume)	0.80-1.10
Total powder content	160-240 l/m^3
Coarse aggregate volume	28-35%
Water content	<200 l/m^3



Rational mix Design Proposed by Okamura and Ozawa

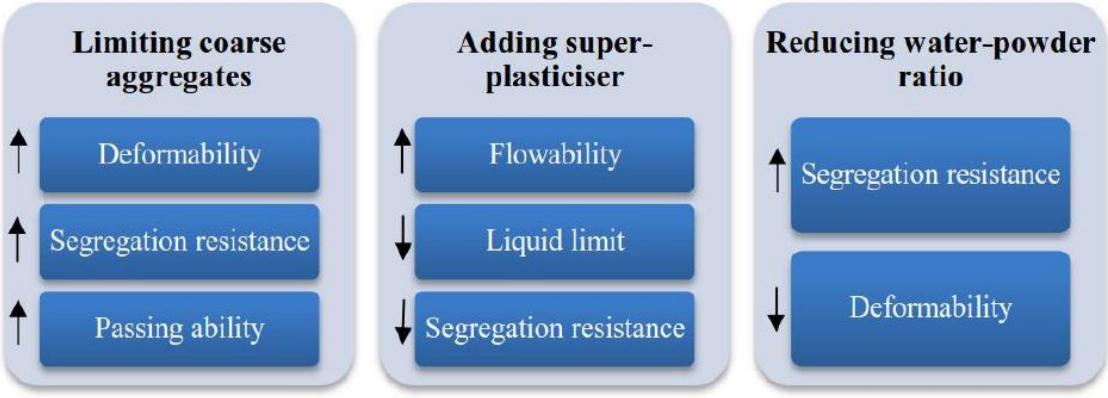
Empirical mixture proportioning methods for SCC

Proposed by	Max CA volume ratio	Maximum proportion of sand in mortar, percent	Paste composition (w/p ratio)	Remarks
Okamura and Ozawa	0.5	40 (empirical)	Mortar flow and V-funnel tests	Originally developed using moderate heat or belite rich cement
Edamatsu et al.	0.5	Determined by V-funnel test using standardised coarse aggregate	Mortar flow and V-funnel tests	Enables determination of stress transferability of mortar
EFNARC	0.5 – 0.6	40 – 50 percent (empirical)	Mortar flow and V-funnel tests	Allows more freedom in coarse aggregate content

Typical Powder Contents of SCC Types Based on JSCE Recommendations (1999)

Parameter	Powder Content	Mass* (kg/m^3)	Mass* (lb/yd^3)
Powder-Type	16-19%	500-600	850-1000
VMA-Type	9.5-16%	300-500	500-850
Combination-Type	>13%	>410	>690

*Based on portland cement only



Mechanisms of achieving self-compactability. ↑ increases, ↓ decreases

روش ها و مقادیر مطلوب آزمایش های S.C.C

ردیف	روش	واحد	نمایانگر پارامتر	دامنه قابل قبول نتایج	
				min	max
1	جریان اسلامپ	mm	قابلیت پر کنندگی	650	800
2	اسلامپ در T50cm	sec	قابلیت پر کنندگی	2	5
3	حلقه J	mm	قابلیت عبور	0	10
4	قیف V شکل	sec	قابلیت پر کنندگی	6	12
5	قیف V شکل در T5min	sec	جدا شدگی دانه بندی	0	3
6	جعبه U شکل (h2-h1)	mm	قابلیت عبور	0	30
7	جعبه L شکل (h2/h1)	%	قابلیت عبور	80	100

Ingredients (For 1 m^3 of concrete)		Japan	Europe
Water, kg		175	190
Portland cement, kg		530	280
Fly ash, kg	Other cementitious and filler materials	70	0
Ground granulated blast furnace slag, kg			0
Silica fume, kg			0
Limestone powder, kg			245
Fine aggregate, kg		751	865
Coarse aggregate, kg		789	750
Superplasticizer, kg		9	4.2
Viscosity modifying admixture, kg		0	0
Total weight, kg		2324	2334
Slump flow test, dia (mm)		625	600-750

Testing methods and limiting test values for SCC

Property	Test method	Material	Recommended values
Flowability / Filling ability	Slump flow	Concrete	650 – 800 mm Average flow diameter
	V – funnel	Concrete	6 – 12 sec Time for emptying of funnel
Passing ability	L – box	Concrete	0.8 – 1.0 Ratio of heights at the beginning and end of flow
	J - ring	Concrete	0 – 10 mm Difference in heights at beginning and end of flow

Proportioning for SCC Workability

Property	Aggregate	Paste Volume	Paste Composition
Filling Ability	Improve shape and angularity to reduce interparticle friction, use finer grading to reduce harshness or coarser grading to reduce viscosity	Ensure sufficient minimum paste volume to fill voids between aggregates and reduce interparticle friction between aggregates	Ensure viscosity is not too high (sticky) or too low (instability); increase HRWRA dosage to increase slump flow
Passing Ability	Reduce amount of larger particles by reducing coarseness of grading or maximum aggregate size, improve shape and angularity to reduce interparticle friction	Increase paste volume to reduce aggregate volume and interparticle friction between aggregates	Reduce paste viscosity or increase HRWRA dosage to increase slump flow
Segregation Resistance	Use more uniform grading (avoid gap gradings), reduce coarseness of aggregate grading or maximum aggregate size	Increase paste volume	Ensure paste viscosity not too high or too low, reduce slump flow (lower HRWRA dosage), optimize workability retention (accelerate loss of slump flow in formwork), use VMA

Suggested Target Properties and Specification for SCC Workability for Precast Concrete

General Guidelines (Not for Specifications)			Specification Requirements	
			Mixture Qualification	Production QC
Slump Flow (in.)	21-24	Appropriate for members with light or no reinforcement, short lateral flow distances, or high placement energy	24-30 in. at the expected time of placement (lower slump flows permissible in lightly reinforced or unreinforced members)	24-30 in. at the time of placement (lower slump flows permissible in lightly reinforced or unreinforced members)
	24-27	Ideal for most applications		
	27-30	Appropriate for members with highly congested reinforcement, long lateral flow distances, or low placement energy		
	30-33	Possible, but a high risk of segregation		
T_{50} (s)	<2	Poor stability	>2 s (inverted cone orientation)	>2 s (inverted cone orientation)
	2-7	Acceptable, should not vary over range of 3 s between batches		
	>7	Possible if needed due to limits on hardened properties; may reduce placeability		
J-Ring Δheight (in.)	<0.5	Appropriate for members with highly congested reinforcement	<0.5 for highly congested reinforcement <1.0 for moderately congested reinforcement None for unreinforced or light reinforcement	None
	0.5-1.0	Appropriate for members with moderately congested reinforcement		
	>1.0	Appropriate for unreinforced or lightly reinforced members		
Column Segregation (%)	<5	Highly segregation resistant	<15%	None
	5-10	Segregation resistant		
	10-15	Borderline segregation resistant		
	>15	Not segregation resistant		

Target Workability Properties

Property	Test Method	Requirement
Filling Ability	Slump Flow	Achieve a slump flow of 28-30 inches with VSI≤1.0 and 3 s<T_{50}<7 s; maintain a 23-inch slump flow 20 minutes after mixing.
Passing Ability	J-Ring	For an AASHTO Type IV beam, strands ~1.5-inch clear spacing. J-Ring ΔH<0.50 inches
Segregation Resistance	Column Segregation	Exhibit minimal segregation and top bar effect. Static segregation≤15%.

مقایسه هزینه تولید واجرای بتن خود تراکم و بتن معمولی

هزینه (مترمکعب)	بتن معمولی		بتن خود تراکم	
	تعداد کارگر	هزینه(پوند)	تعداد کارگر	هزینه (پوند)
بتن		۳۶/۹۰		۳۸/۵۳
مواد افزودنی		۳/۵۳		۸/۳۸
قالب و مونتاژ	۲	۵/۰۴	۲	۵/۰۴
قالب گیری و تراکم	۴	۸/۴۰	۱	۳/۰۳
قالب برداری	۲	۷/۵۶	۲	۵/۰۴
پرداخت	۴	۱۸/۴۸	–	۰/۰۰
تعمیرو نگهداری وییره ها		۱/۰۰		۰/۰۰
قیمت کل		۸۰/۹۱		۶۰/۰۲
درصد کاهش هزینه	٪ ۳۴/۸			

طرح اختلاط بتن خود متراکم برای یک متر مکعب

نوع بتن	فوق روان ساز	سیمان	میکرو سیلیس	پودر سنگ	آب	ماسه	شن
طرح اصلی	۸	۴۵۰	۵۰	۷۳	۲۲۵	۶۵۷	۸۵۲

جدول – مقایسه هزینه مصالح بتن خود تراکم و بتن معمولی(با مقاومت حدود ۴۰MPa)

مصالح		بتن معمولی	بتن خودتراکم	قیمت/ تن	تفاوت هزینه
		مقدار	مقدار	(روپیه)	(روپیه)
سیمان	(kg)	۳۹۵	۳۰۰	۳۰۰۰	-۲۸۵
خاکستر بادی	(kg)	۱۳۰	۱۷۰	۱۵۰۰	+ ۶۰
سنگدانه (۲۰mm)	(kg)	۶۳۹	۸۴۲	۳۷۰	+ ۷۵/۱۱
سنگدانه (۱۰mm)	(kg)	۴۶۲	۰	۳۷۰	-۱۷۰/۹۴
ماسه شکسته	(kg)	۰	۲۳۵	۸۵۰	+۱۹۹/۷۵
ماسه معمولی	(kg)	۶۶۰	۷۴۵	۹۰۰	+۷۶/۵
ماده افزودنی (PCE)	(lit)	–	۴/۲۳	۱۴۰	+ ۵۹۲/۲
ماده افزودنی (VMA)	(lit)	–	۱/۴۱	۴۰	+ ۵۶/۴
ماده افزودنی (SNF)	(lit)	۵/۲۵	–	۳۳	-۱۷۳/۲۵
کل تفاوت قیمت					+٤٣٠/٧٧
در صد افزایش هزینه					٪١٦/٨

طرح اختلاط SCC

	واحد	مقدار
نسبت آب به مصالح سیمانی	درصد	۳۰/۵
نسبت Fly Ash به مصالح سیمانی	درصد	۲۰/۰
آب	کیلوگرم در متر مکعب	۱۷۵
سیمان	کیلوگرم در متر مکعب	٤٥٧
Fly Ash	کیلوگرم در متر مکعب	۱۱۸
ماسه	کیلوگرم در متر مکعب	۸٤۰
شن	کیلوگرم در متر مکعب	۷٤٤
روان کننده	درصد	۱/۰

ترکیب‌های پیشنهادی آزمایش‌ها

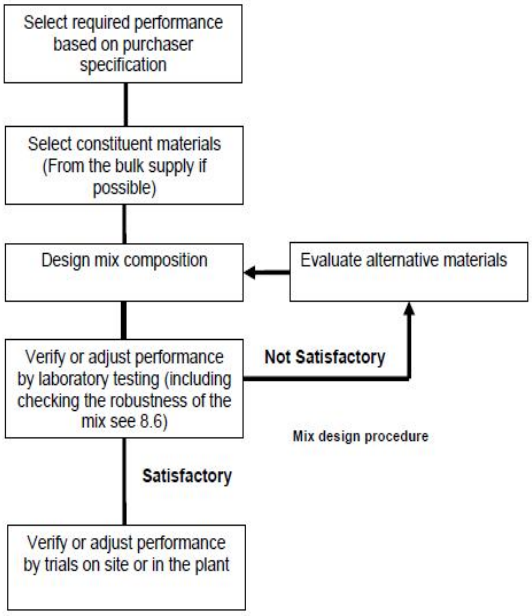
روشهای آزمایش			ویژگی
اصلاح روش آزمایش براساس حداکثر اندازه سنگدانه	کارگاه	آزمایشگاه	
حداکثر اندازه دانه ۲۰ میلی‌متر	۱ـ جریان اسلامپ ۲ـ جریان اسلامپ T50cm ۳ـ قیف V ۴ـ اُریمت	۱ـ جریان اسلامپ ۲ـ جریان اسلامپ T50cm ۳ـ قیف V ۴ـ اُریمت	قابلیت پرکنندگی
تغییر اندازه دهانه در آزمایش‌های جعبه L جعبه U و حلقه J	۱ـ حلقه J	۱ـ جعبه L ۲ـ جعبه U ۳ـ جعبه Fill	قابلیت گذرندگی
————	۱ـ آزمایش GTM ۲ـ قیف T5min V	۱ـ آزمایش GTM ۲ـ قیف T5min V	مقاوت در برابر جداشدگی

روشهای سنجش خواص کارآیی SCC

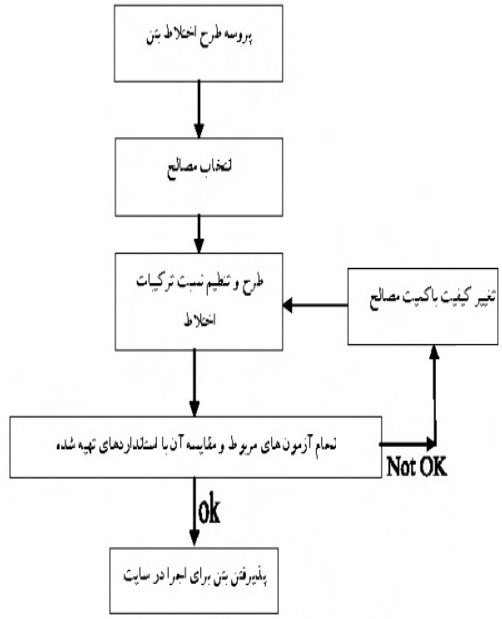
ردیف	روش	ویژگی مورد سنجش
۱	جریان اسلامپ	قابلیت پرکنندگی
۲	جریان اسلامپ T50cm	قابلیت پرکنندگی
۳	حلقه J	قابلیت گذرندگی
۴	قیف V	قابلیت پرکنندگی
۵	قیف T5min V	مقاوت در برابر جداشدگی
۶	جعبه L	قابلیت گذرندگی
۷	جعبه U	قابلیت گذرندگی
۸	جعبه Fill	قابلیت گذرندگی
۹	غربال سنجش پایداری GTM	مقاوت در برابر جداشدگی
۱۰	اُریمت	قابلیت پرکنندگی

شرایط ضوابط پذیرش برای بتن خودتراکم

ردیف	روش آزمایش	واحد	حدود تغییرات اندازه‌ها	
			حداقل	حداکثر
۱	جریان اسلامپ	mm	۶۵۰	۸۰۰
۲	جریان اسلامپ T50cm	sec	۲	۵
۳	حلقه J	mm	۰	۱۰
۴	قیف V	sec	۶	۱۲
۵	قیف V T5min	sec	۰	+۳
۶	جعبه L	$(\frac{h2}{h1})$	۰/۸	۱
۷	جعبه U	(h2-h1)mm	۰	۳۰
۸	جعبه Fill	٪	۹۰	۱۰۰
۹	غربال شدن پایداری GTM	٪	۰	۱۵
۱۰	اُریمت	sec	۰	۵



Mix design procedure



جدول ۸ – محاسبه هزینه و سود نهایی (دلار)

	بتن عادی	بتن SCC
قیمت فروش	۲۰۰۰۰	۲۰۰۰۰
هزینه بتن	۸۹۶	۹۵۱۳
هزینه پمپ	۱۰۹۰	۸۲۰
ریختن و تسطیح	۱۲۰۹	۳۰۷
مصالح و سایر عوامل	۷۵۰۰	۸۰۰۰
سود ناخالص	۱۲۴۱	۱۳۶۰
سود ناخالص بتن عادی	۱۲۴۱ دلار	
سود ناخالص بتن SCC	۱۳۶۰ دلار	
اختلاف سود	۱۱۹ دلار	

جدول ۱ – مقایسه تولید بتن

نرخ تولید	٤ یارد در ساعت
بارگیری در روز	٦
روز در هفته	٥
حجم هر بارگیری	۹/۵ یارد
تخلیه بتن عادی	۲۰ دقیقه
تخلیه بتن SCC	۲ دقیقه
سود در دقیقه	۲۷ سنت
زمان صرفه جویی شده	۱۸ دقیقه
سود در هر بارگیری	۱۲/۰۰ دلار
سود معادل هر یارد	۱/۲٦ دلار

جدول ۲ – مقایسه اجرای بتن

قیمت فروش	٥٤دلار در هر فوت مربع
مساحت بتن ریزی	۵۰۰۰فوت مربع
حجم بتن مورد نیاز	۱۲۰ یارد

جدول ۳- هزینه پرسنل

اپراتور ماشین	۱۲/۵۰ دلار در ساعت
پرداخت کار	۱۰/۵۰ دلار در ساعت
کمک پرداخت کار	۹/۰۰ دلار در ساعت
کارگر	۷/۵۰ دلار در ساعت

جدول ۵ : پرسنل لازم برای بتن SCC

الف – ریختن بتن

	تعداد	ساعت
اپراتور ماشین	۱	٤
پرداخت کار	۱	٤
کمک پرداخت کار	۱	٤
کارگر	۲	٤

ب – تسطیح بتن

	تعداد	ساعت
اپراتور ماشین	۲	۲
پرداخت کار	۱	۲
کمک پرداخت کار	۱	۲
کارگر	۲	۲

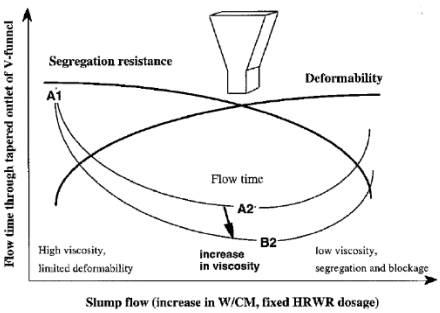
جدول ٦ : پرسنل لازم برای بتن عادی

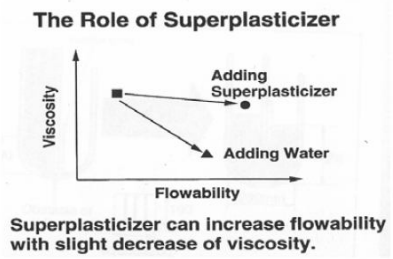
الف – ریختن بتن

	تعداد	ساعت
اپراتور ماشین	۲	٦
پرداخت کار	٤	٦
کمک پرداخت کار	۱	٦
کارگر	٦	٦

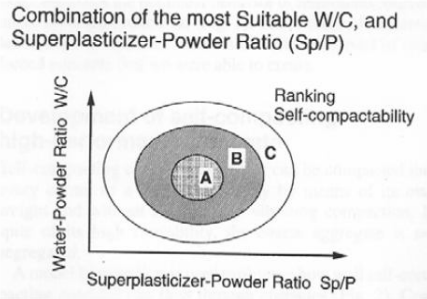
ب – تسطیح بتن

	تعداد	ساعت
اپراتور ماشین	۲	٦
پرداخت کار	۳	٦
کمک پرداخت کار	۱	٦
کارگر	۲	٦

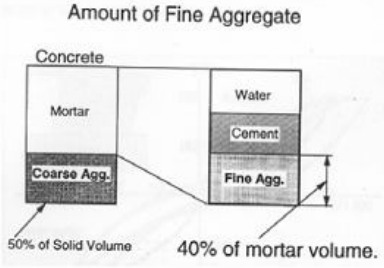




Effects of superplasticizer. (Okamura)



Optimum combination of superplasticizer and w/c ratio. (Okamura)



Proper fine aggregate content for SCC as recommended by Okamura.

شاخص پایداری ظاهری (VSI)

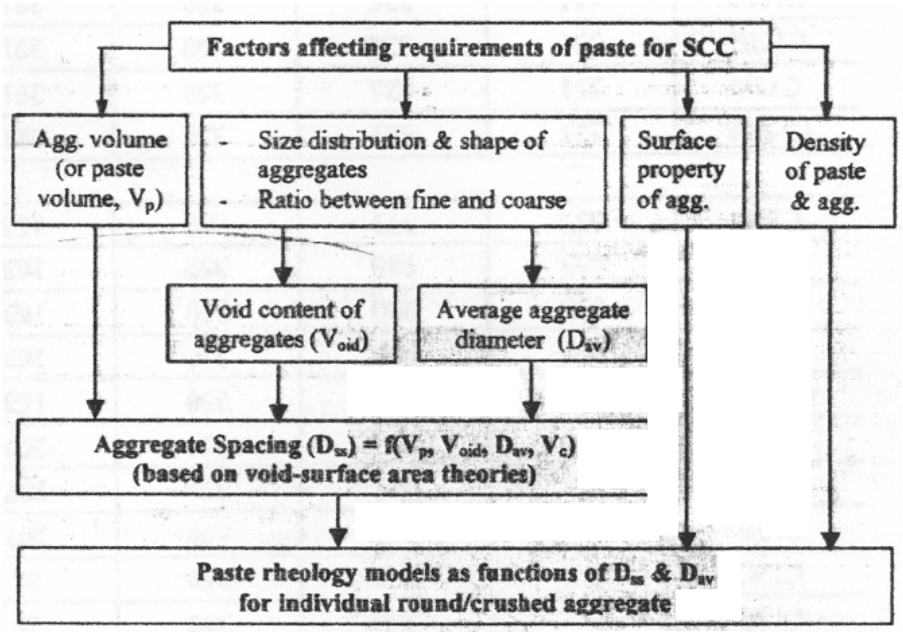
عدد VSI	معیار
۰	هیچ نشانه‌ای از جداشدگی و حباب هوا در آزمایش، مخلوط‌کن و یا فرغون مشاهده نمی‌شود.
۱	هیچ نشانه‌ای از تمرکز سنگدانه‌ها یا ملات مشاهده نمی‌شود، ولی مقداری آب انداختگی و حباب هوا بر سطح بتن در آزمایش، مخلوط‌کن و یا فرغون مشاهده می‌شود.
۲	اندکی تمرکز سنگدانه و یا ملات مشاهده می‌شود و آب انداختگی قابل توجه در فرغون و مخلوط‌کن وجود دارد. همچنین در آزمایش، میزان آب انداختگی پیرامون دایره بتن کمتر از ۲۰mm است.
۳	جدا شدگی ملات و سنگدانه کاملا مشهود است و تمرکز سنگدانه در مرکز دایره بتن دیده می‌شود. میزان آب انداختگی پیرامون دایره بتن بیشتر از ۲۰mm است.

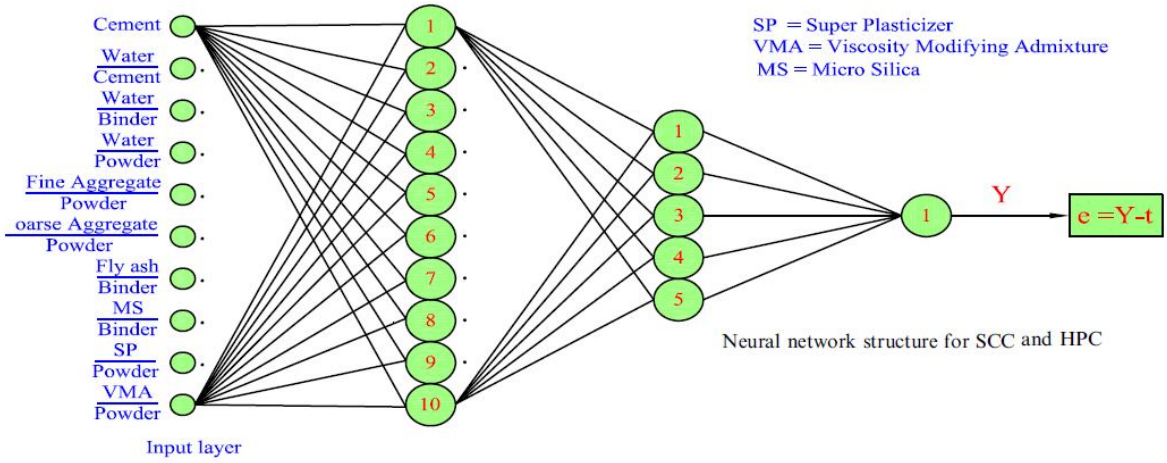
Visual Stability Index Ratings (ASTM C 1611)

VSI	Criteria
0 = Highly Stable	No evidence of segregation or bleeding.
1 = Stable	No evidence of segregation and slight bleeding observed as a sheen on the concrete mass.
2 = Unstable	A slight mortar halo ≤0.5 in. (≤10 mm) and/or aggregate pile in the center of the concrete mass.
3 = Highly Unstable	Clearly segregating by evidence of a large mortar halo >0.5 in. (>10 mm) and/or a large aggregate pile in the center of the concrete mass.

Visual Block Index Ratings (Daczko 2003)

VBI	Description
0	No evidence of blocking resulting in a pile of coarse aggregate in the middle of the patty and no evidence of bleed streaking behind the rebar obstacles.
1	A slight pile of coarse aggregate in the middle of the patty and slight evidence of bleed streaking behind the rebar obstacles.
2	A clear pile of coarse aggregate in the middle of the patty and significant bleed streaking.
3	Significant blocking of aggregate behind the rebar obstacles, will usually result in a significant decrease in flow value.





کاربرد شبکه عصبی برای بهینه کردن طرح اختلاط بتن خودتراکم

Static stability	Maximum surface settlement ≤ 0.5% Column segregation index (Iseg) ≤ 5% Percent static segregation (S) ≤ 15
Viscosity	Plastic viscosity ≤ 0.073 psi.s (500 Pa.s) *(Modified Tattersall two-point rheometer with vane device)*
Mechanical properties	Core-to-cylinder compressive strength ≥ 90% (similar curing conditions) Bond strength modification factor ≤ 1.4

برای بدست آوردن مخلوط همگن

حجم درشت دانه نسبت به حجم مخلوط بتن	28-32%
حجم خمیر (Paste) نسبت به حجم مخلوط بتن	34-40%
حجم ملات (Mortar) نسبت به حجم مخلوط بتن	68-72%
W/C	0.32-0.45
مقدار مواد سیمانی	385-475 kg/m^3

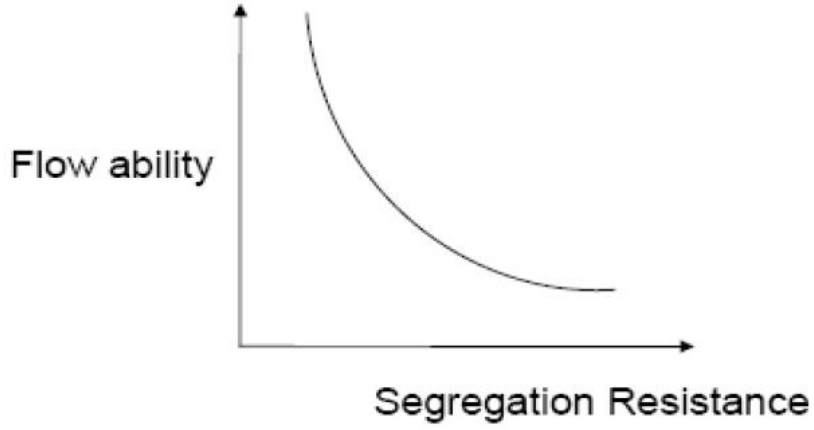
معرفی نمونه ها

ردیف	نوع بتن	نام اختصاری
۱	بتن پایه معمولی	**BNC**
۲	بتن تعمیری معمولی	**RNC**
۳	بتن خودمتراکم با پودر	**SP**
۴	بتن خودمتراکم با لاتکس	**SL**
۵	بتن خودمتراکم با ۱۲٪ میکروسیلیس	**SM_12**
۶	بتن خودمتراکم با لاتکس و ۸٪ میکروسیلیس	**SLM_8**
۷	بتن خودمتراکم با لاتکس و ۱۲٪ میکروسیلیس	**SLM_12**
۸	بتن خودمتراکم با لاتکس و ۸٪ میکروسیلیس و الیاف پلی پروپیلن	**SLMP**

ID	Notes	Mixture Proportions (lb/yd^3)					HRWRA (oz/cwt)	Slump Flow (inches)	Air Content (%)
		Cement	Fly Ash	Coarse	Fine	Water			
1	Cement only	710.0	0.0	1776.1	1266.8	248.5	13.0	26.5	2.0
2	30% treated fly ash	490.0	210.0	1751.1	1249.0	245.0	9.5	27.5	8.0
3	30% untreated fly ash	490.0	210.0	1751.1	1249.0	245.0	10	29.0	1.9
4	30% treated fly ash; higher w/cm	470.5	201.7	1681.5	1199.4	302.4	--	--	2.7
HR-C used in mixtures 1-3									

Comparison of Effects of Fly Ash on Air Content

روانی فوق العاده زیاد ⟸ افزایش احتمال ناپایداری



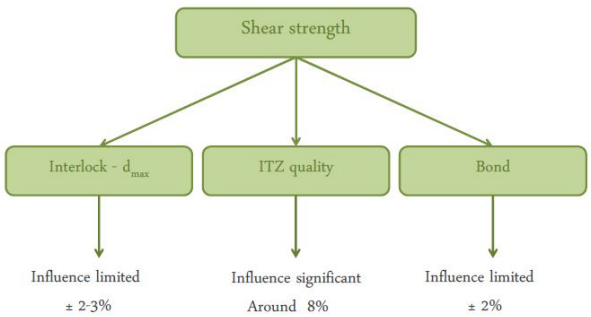
برای سازه های با تراکم کم آرماتورها ---------- ۵۵۰ تا ۶۵۰ میلیمتر

برای کاربردهای متداول ---------- ۶۶۰ تا ۷۵۰ میلیمتر

- برای بتن ریزی در راستای قائم یا مقاطع پرآرماتور---------- ۷۶۰ تا ۸۵۰ میلیمتر

– Low coarse aggregate (CA) content.
– High cement content (typically).
– Cement replacement with fly ash or slag cement.
– High range water reducer and plasticizers.
– Viscosity Modifying Admixture (VMA)

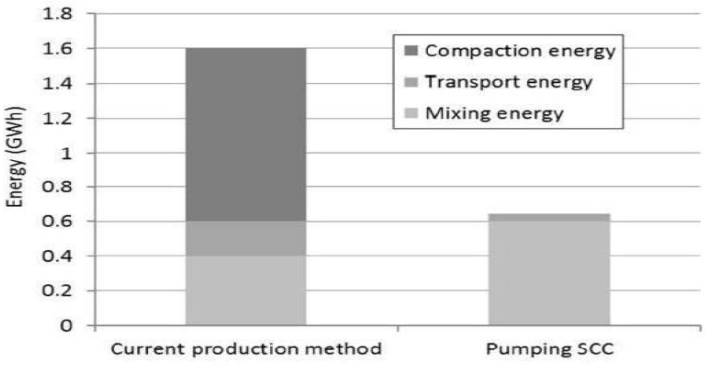
Mechanical properties



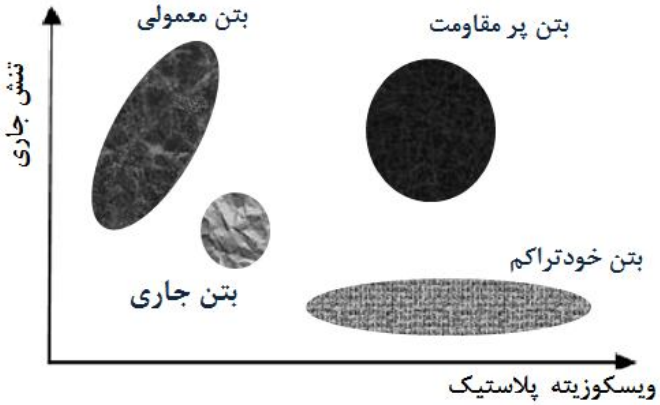
Estimated energy saving

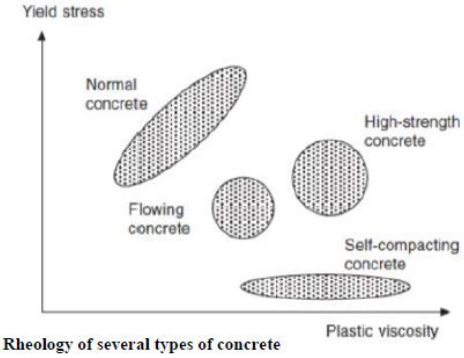
	Current production method	Pumping SCC
Mixing Energy	0.4 GWh	0.6 GWh
Transport Energy	0.2 GWh	0.042 GWh
Compaction Energy	1.0 GWh	0.0 GWh
Finishing Energy	Neglected	Neglected
Total Energy	1.6 GWh	0.642 GWh

Energy saving: about 60% of actual energy consumption

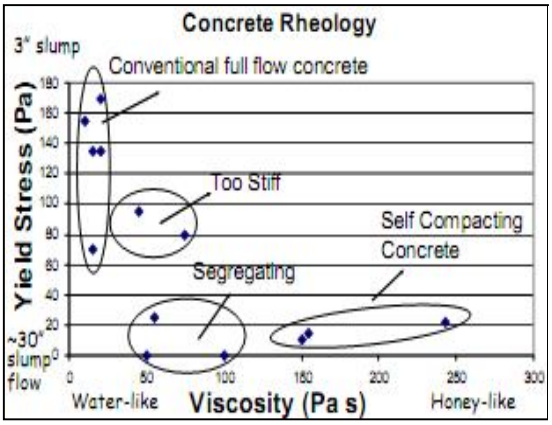


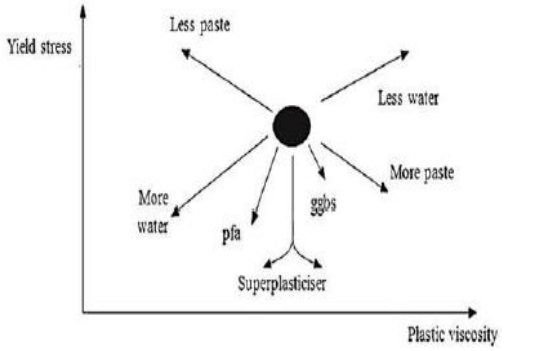
Energy demand for producing and placing concrete



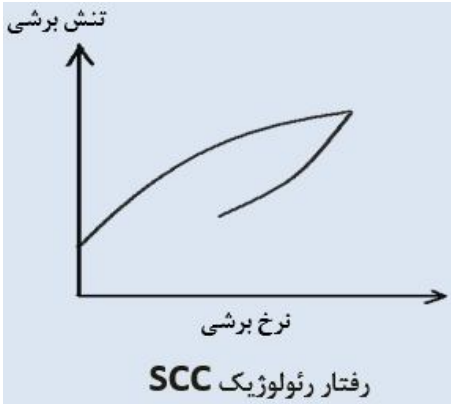


Rheology of several types of concrete





General effects of concrete constituents on the Bingham parameters



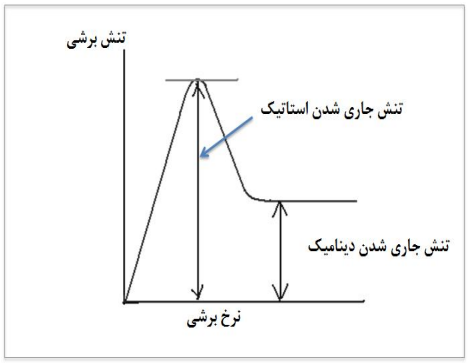
رفتار رئولوژیک **SCC**

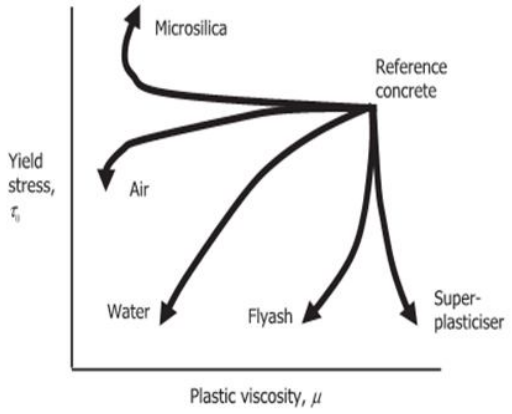
انواع رئومتر

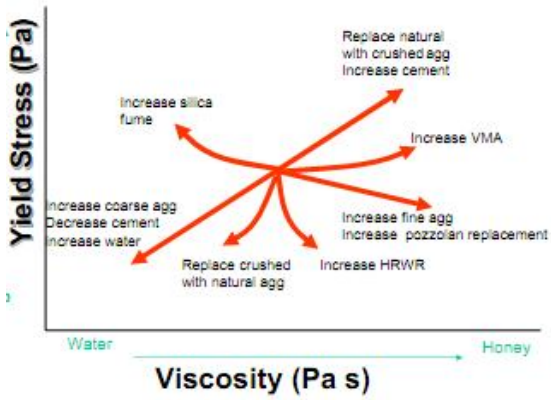
- ویسکومتر **BML**
- رئومتر **BTRHEON**
- رئومتر **MKI**
- ویسکومتر **ConTec 5**
- رئومتر **ICAR**

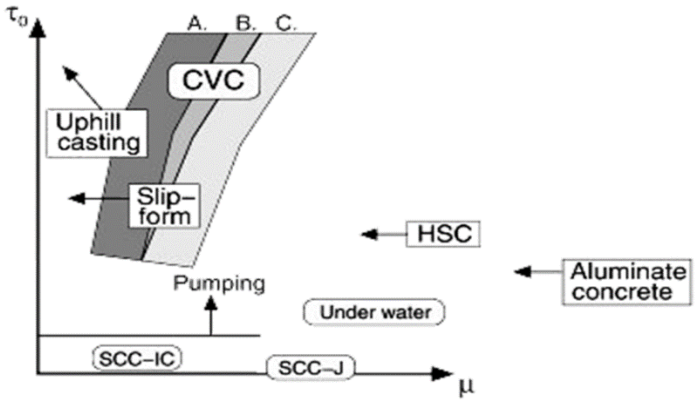
رئوگراف

- اثر مواد مخلوط در رئولوژی
- ارتباط رئولوژی و کاربردهای مختلف آن
- اثر اسلامپ جاری در رئولوژی
- ارتباط رئولوژی و انواع بتن
- تعیین وضعیت کشورها از نظر رئولوژی









معیارهای قابل پذیرش ارتباط آزمایش ها وپارامترهای رئولوژی

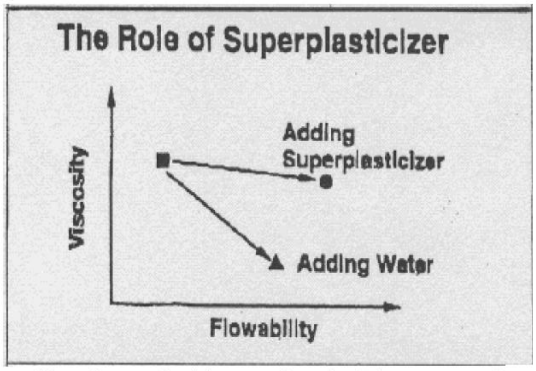
روش آزمایش	واحد	محدوده مقادیر	
		حداقل	حداکثر
جریان اسلامپ	mm	۶۵۰	۸۰۰
جریان اسلامپ T50	sec	۲	۵
حلقه J	mm	۰	۱۰
جعبه L	h2/h1	۰/۸	۱/۰
قیف V	sec	۶	۱۲

ارتباط آزمایش ها وپارامترهای رئولوژی

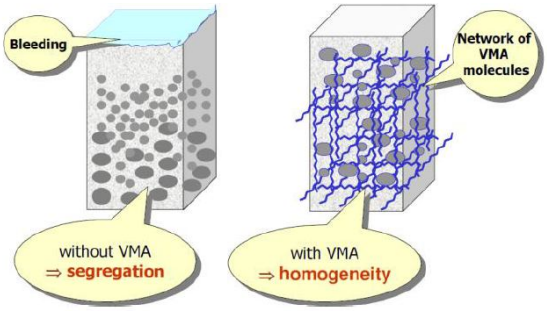
روش آزمایش	نتیجه	دلیل احتمالی
جریان اسلامپ	کمتر از ۶۵۰	•ویسکوزیته خیلی زیاد •تنش جاری خیلی زی
جریان اسلامپ T50	کمتر از ۲	•ویسکوزیته خیلی کم
حلقه J	بیشتر از ۱۰	•ویسکوزیته خیلی زیاد •تنش جاری خیلی زیاد •جداشدگی ذرات •مسدود شدگی
جعبه L	کمتر از ۰/۸	•ویسکوزیته خیلی زیاد •تنش جاری خیلی زیاد •مسدود شدگی
قیف V	کمتر از ۸	•ویسکوزیته خیلی کم

Limiting values for SCC

Tests	Range of values
Gas (Oxygen) permeability	0.3 to 0.6 × 10^{-12} m^2
RCPT (Charge passed)	100 to1000 coulombs
RCMT	5 to15 × 10^{-12} m^2/s
Water absorption	4 to 6 %
Sorptivity	0.06 to 0.12 $mm/min^{0.5}$
Water Penetration (depth)	5 to 10 mm
Accelerated Carbonation Test	5 to 10 mm



Effect of superplasticizer on viscosity (Okamura, 1997)

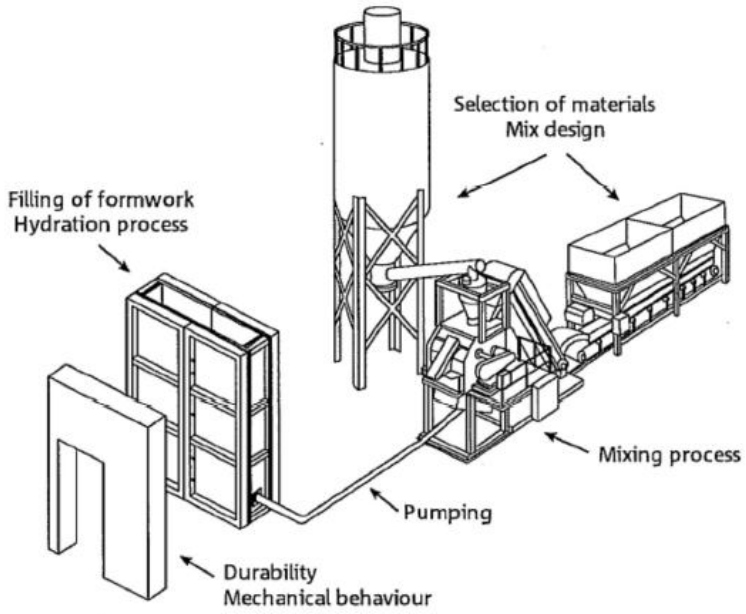


Effects of the Viscosity Modifying Admixture on the Stability and Homogeneity of the concrete

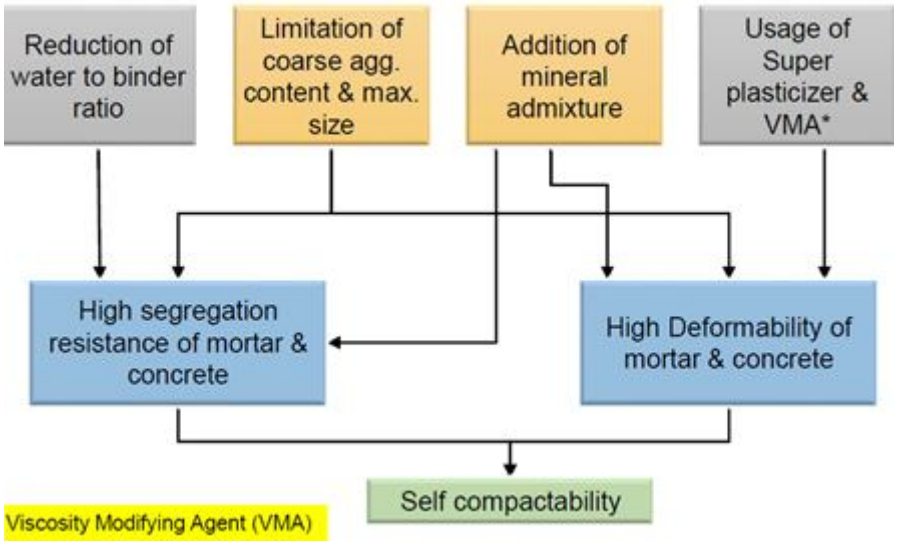
Examples of Water-Soluble Polymers Used as VMA (Khayat 1998)

Natural	Semi-Synthetic	Synthetic
• starches • guar gum • locust bean gum • alginates • agar • gum arabic • welan gum • xanthan gum • rhamsan gum • gellan gum • plant protein	• decomposed starch and its derivatives • cellulose-ether derivatives o hydroxypropyl methyl cellulose (HPMC) o hydroxyethyl cellulose (HEC) o carboxy methyl cellulose (CMC) • electrolytes o sodium alginate • propyleneglycol alginate	• polymers based on ethylene o polyethylene oxide o polyacrylamide o polyacrylate • polymers based on vinyl o polyvinyl alcohol

روشهای طرح اختلاط بتن عبارت است از ۱- روش حجمی ماسه ثابت fixed sand volume method
۲- روش محاسبه کامل Full calculation method ۳ – روش محاسبه عاملی Parametric calculation method ۴- روش مساحت سطحی دانه بندی aggregate surface area method ۵- روش طرح اختلاط طراحی ساده simple mix design ۶- روش طراحی براساس فاکتور تاثیرگذار factorial design method ۷- روش آزمایش orthogonal test



Mechanism for achieving Self compactability



(a) Fine Limestone powder

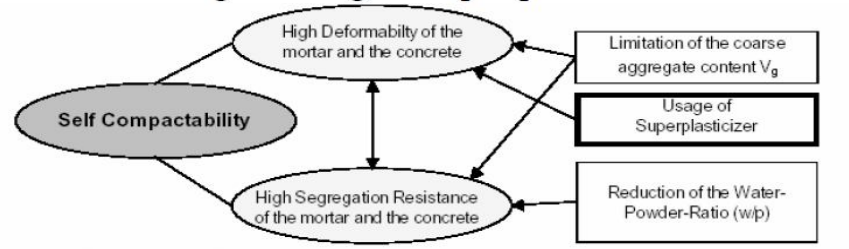
(b) Fly ash

Additives used in the mixture.

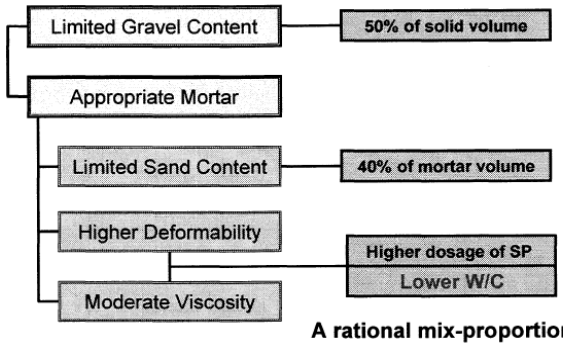
(c) Silica fume

(d) Raw rice husk ash

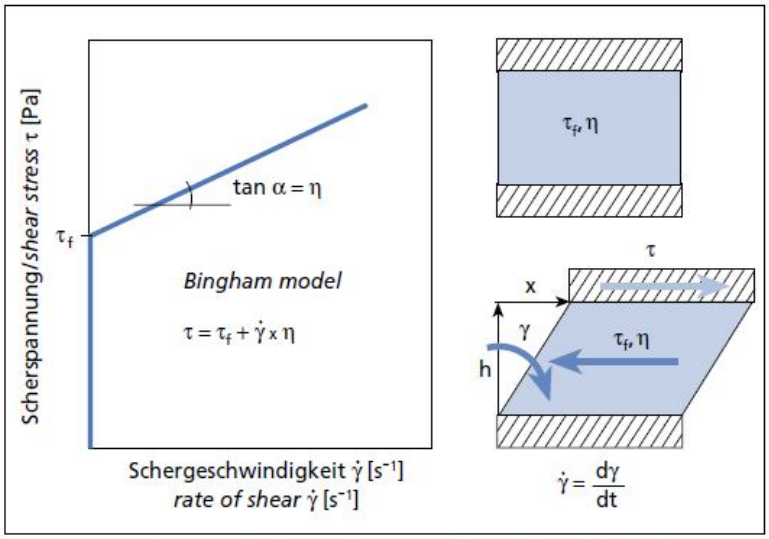
- Limited aggregate content (coarse aggregate 50% of the concrete volume and sand
- 40% of the mortar volume
- Low water/powder ratio and
- Use of higher dosage of super-plasticizer



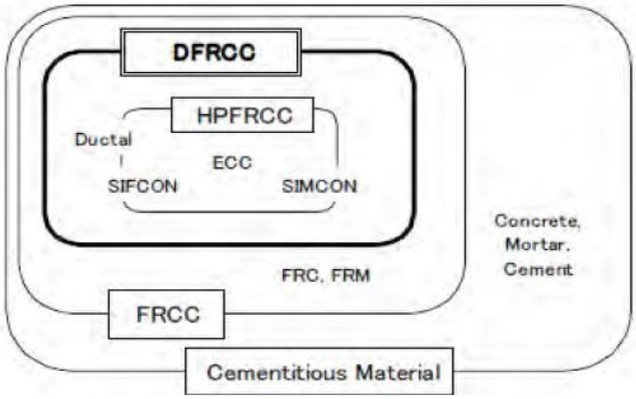
Basic Principles for the Production of SCC



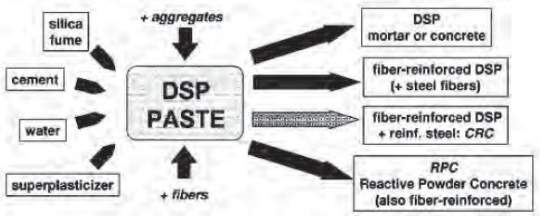
A rational mix-proportioning method



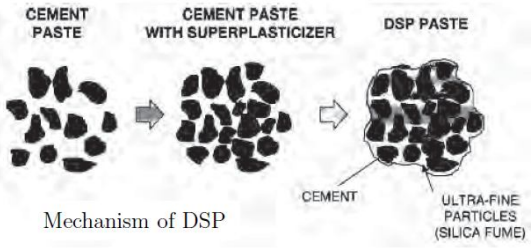
Bingham model for describing the deformation behaviour of suspensions with the parameters of yield value τ_f and viscosity η



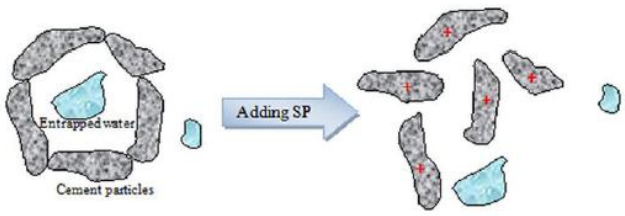
Classification of cement Composites



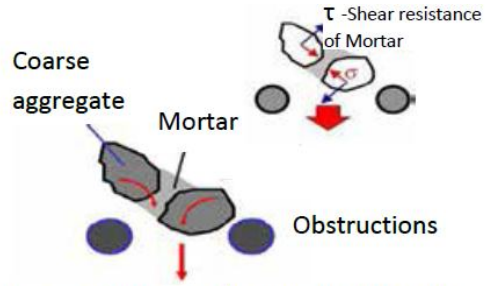
Principle of UHPFRC



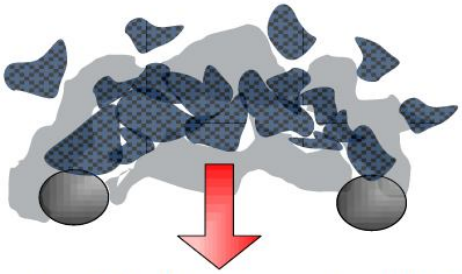
Mechanism of DSP



Method of deflocculation and water liberation with use of Super-plasticiser.



Forces acting on the coarse aggregate



Aggregate arch blocking the passing ability in SCC

Properties of concrete

- Strength
- Elasticity
- Cracking
- Shrinkage cracking
- Tension cracking

Special Concretes

- High Strength or High Performance Concrete
- Fibre Reinforced Concrete
- Lightweight Concrete
- Shotcrete
- Self Compacting Concrete

Deterioration due to Physical Effects

- Frost (Freeze-Thaw) Attack
- Fire Damage
- Thermal Cycles
- Shrinkage Stresses

Increasing the Durability of Concrete

- Proper mix design
- Reduction of cracking
- Optimum cover thickness
- Adequate compaction and curing
- Quality of construction
- Correct maintenance

Chemical composition of the pozzolanic additions (%)

Composition (%)	**Silica fume (SF)**	**Ground granulated blast furnace slag (GGBFS)**	**Fly ash (FA)**	**Clinoptilolite type zeolite (CZ)**
SiO_2	95.24	41.24	52.75	71.42
Fe_2O_3	1.95	0.28	7.69	2.73
Al_2O_3	0.34	36.37	22.60	12.61
CaO	0.58	1.30	7.02	2.73
MgO	0.56	9.83	1.89	0.67
Na_2O	0.37	0.41	1.05	0.53
K_2O	1.64	0.79	3.24	4.13

Preparing the mix composition of the reference mortar

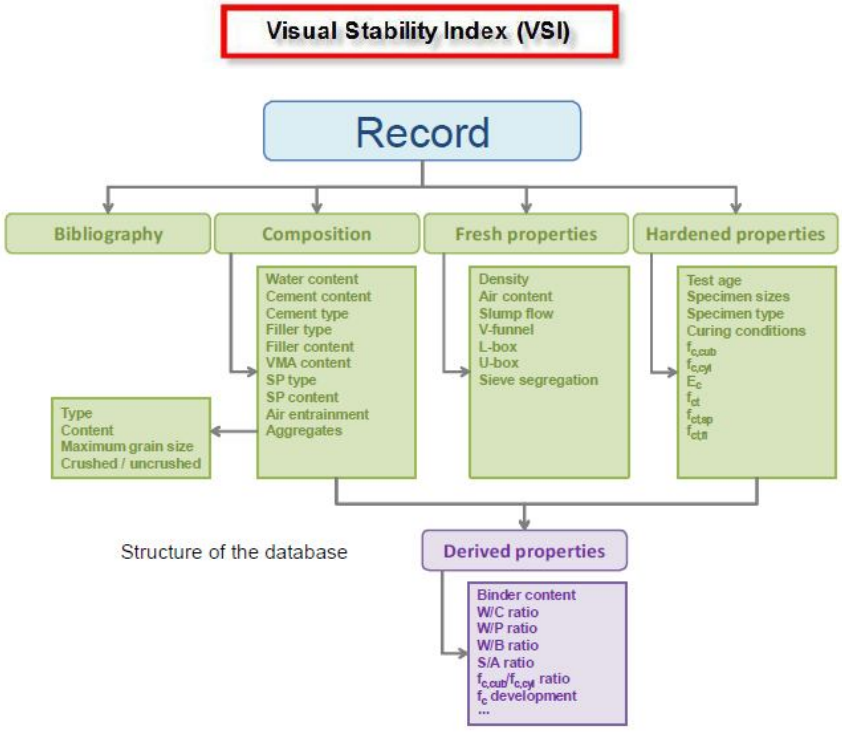
Mix composition:	Reference concrete mix (con1)	More robust concrete mix (con2)	Concrete equivalent mortar of (eqm1)	Concrete equivalent mortar of (eqm2)
Sand 0/5 [kg/m³]	910	853	1313	1221
Gravel 2/8 [kg/m³]	280	263	0	0
Gravel 8/16 [kg/m³]	462	434	0	0
CEM I 52.5 N [kg/m³]	300	300	416	413
Limestone filler [kg/m³]	225	300	312	413
Water [kg/m³]	165	165	229	227
PCE superplasticizer [ml/m³]	2.5	3.5	3.47	4.81

The mix composition of the mixes with pozzolanic materials

Mix composition:	Silica fume (SF)	Ground granulated blast furnace slag (GGBFS)	Fly ash (FA)	Clinoptilolite type zeolite (CZ)
Sand 0/5 [kg/m³]	1310	1311	1310	1311
CEM I 52.5 N [kg/m³]	415	415	415	415
Limestone filler [kg/m³]	311	312	311	312
Addition	4.15	4.15	4.15	4.15
Water [kg/m³]	228	228	228	228
PCE superplasticizer [ml/m³]	3.46	3.46	3.46	3.46

The mix composition of the mixes with purified clays

Mix composition:	Purified attapulgite clay (AC) [21]	Kaolinite clay (KC) [21]	Metakaolin clay (MC) [22]
Sand 0/5 [kg/m³]	1312	1311	1311
CEM I 52.5 N [kg/m³]	416	415	415
Limestone filler [kg/m³]	312	312	311
Addition	0.832	4.15	4.15
Water [kg/m³]	229	228	228
PCE superplasticizer [ml/m³]	3.47	3.46	3.46



For 15 % Neutralized Red Mud and 30% Fly Ash

Table 7.Fresh Property of Concrete

SLUMP TEST	Slump Flow (mm)	690
	T-50 Sec	8.2
J-Ring Test	Slum Flow (mm)	640
	Ht. Inside J-Ring (mm)	266
	Ht. Outside J-Ring (mm)	275
L-Box Test	T-20 Sec.	5.90
	T-40 Sec.	13.10
	H2/H1	1.116
U-Box Test	H1-H2 (mm)	16
V-Funnel Test	T0 Sec.	7.53
	T5 min. Sec.	12.95

For 15 % Neutralized Red Mud and 35% Fly Ash

Table 6.Fresh Property of Concrete

SLUMP TEST	Slump Flow (mm)	635
	T-50 Sec	7.2
J-Ring Test	Slump Flow (mm)	575
	Ht. Inside J-Ring(mm)	270
	Ht. Outside J-Ring (mm)	280
L-Box Test	T-20 Sec.	6.32
	T-40 Sec.	13.4
	H2/H1	0.915
U-Box Test	H1-H2 (mm)	9
V-Funnel Test	T0 Sec.	8.21
	T5 min. Sec.	11.45

For 15 % Neutralized Red Mud and 40% Fly Ash

Table 8.Fresh Property of Concrete

SLUMP TEST	Slump Flow (mm)	650
	T-50 Sec	8.05
J-Ring Test	Slum Flow (mm)	595
	Ht. Inside J-Ring (mm)	272
	Ht. Outside J-Ring (mm)	289
L-Box Test	T-20 Sec.	7.2
	T-40 Sec.	14.23
	H2/H1	0.975
U-Box Test	H1-H2 (mm)	13
V-Funnel Test	T0 Sec.	9.05
	T5 min. Sec.	13.25

Mixture:	[kg/m³]	Tests:	Results
CEM III/A 42.5 LA	363	Slump flow [mm]	800
Limestone filler	260	T50 [s]	1.59
0/5 River sand	831	Funnel time [s]	7.30
4/7 Crushed limestone	209	Funnel time + 5' [s]	2.75
7/10 Crushed limestone	203	J-Ring step [mm]	55
10/14 Crushed limestone	316	J-Ring flow [mm]	760
Water	177	Density [kg/m³] (28d)	2378
SP1	4	Compressive strength [N/mm²] (28d)	67.70
Welan Gum	0.06		
Total:	2361		

Mix Proportion

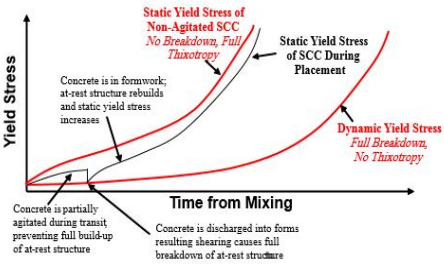
Sr. No	Material	Mass
1	Cementitious Material	556 Kg/m^3
2	Ordinary Portland Cement (85 % of CM)	472.6 Kg/m^3
3	Silica fume (2.5 % of CM)	13.75 Kg/m^3
4	Metakaolin (2.5 %)	13.75 Kg/m^3
5	Fly Ash (10 % of CM)	55.6Kg/m^3
6	Fine Aggregate	702Kg/m^3
7	Coarse Aggregate	1042 Kg/m^3
8	Water	162 Kg/m^3
9	Superplasticizer	18 ml per kg of Cement
10	Water Binder Ratio	0.29

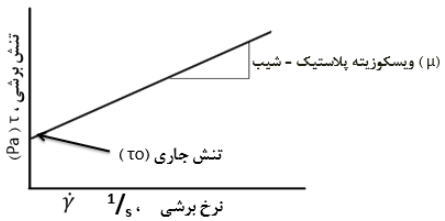
Curing conditions.

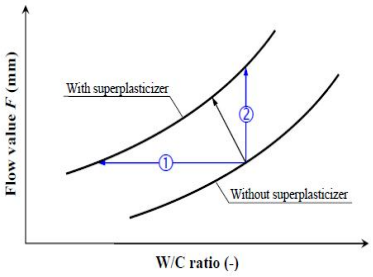
Curing Method	Stage	Detail
Steam-curing	I	Ambient temperature for 2 h after water-cement contact
	II	Temperature raised for 2 h
	III	Concrete temperature maintained for 10 h
	IV	Temperature decreases over 2 h to ambient temperature
	V	Air-curing until age of testing at 18 h
Moist-curing	I	18 h in molds with wet burlap at 23 ± 2 °C
	II	Moist-cured at 23 ± 2 °C until testing age
Air-curing	I	18 h in molds with wet burlap at 23 ± 2 °C
	II	Air-dried at 23 ± 2 °C until testing age

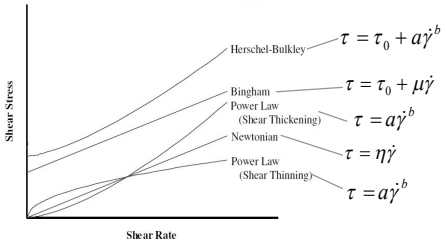
- جاری شونده در حد بالا (Highly _ Fluidised) - خود پخش شونده (Self _ Placeable)

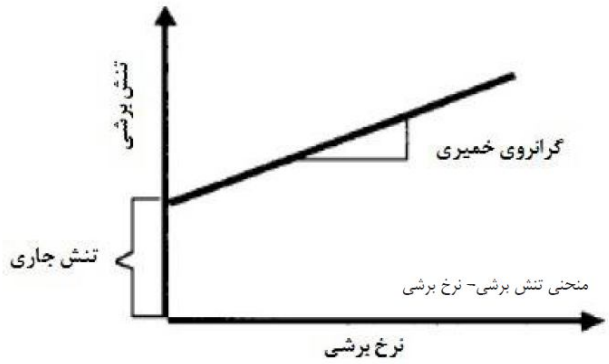
رئولوژی علم حرکت مایعات است

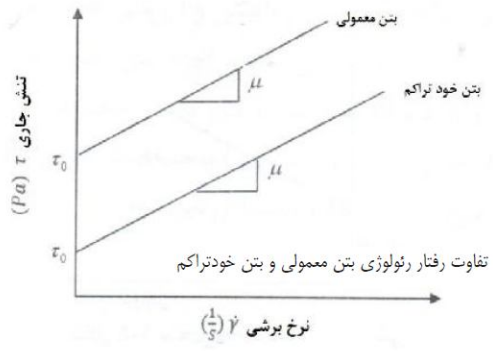




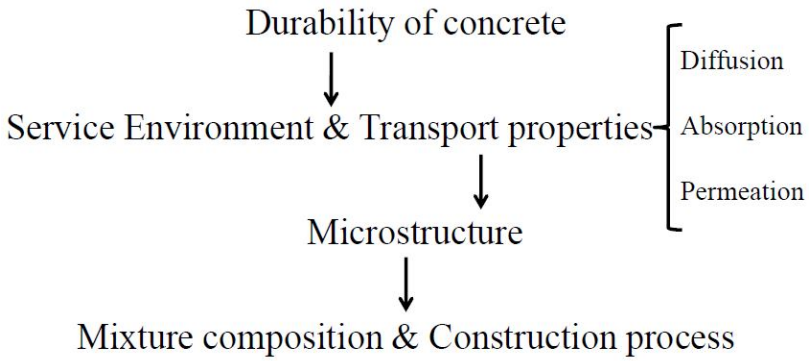






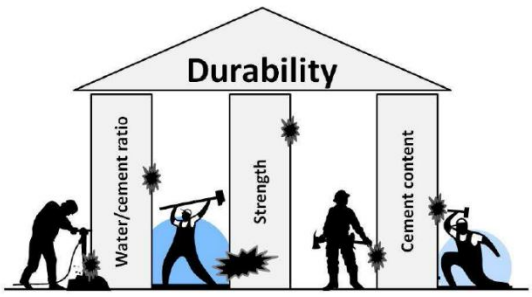


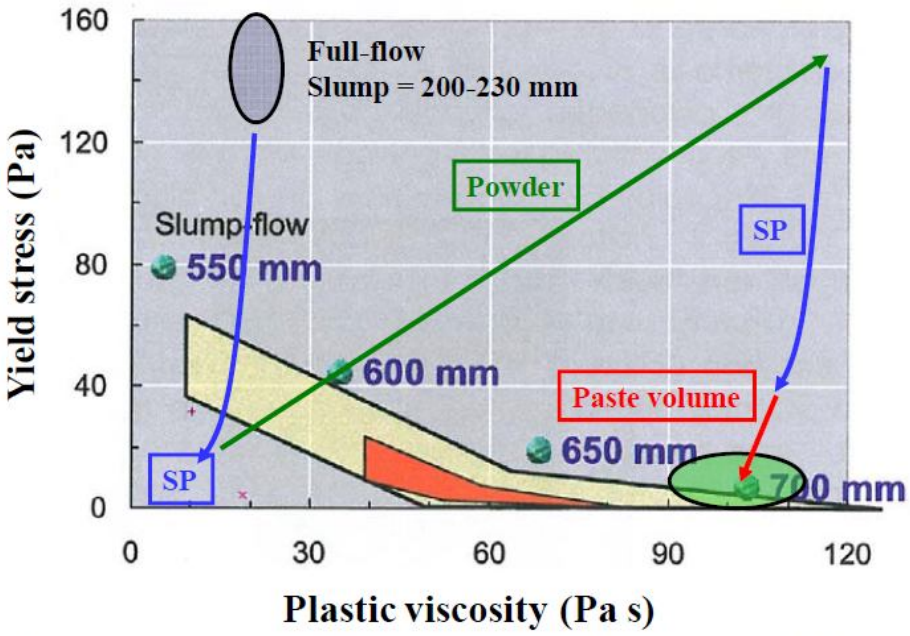
- **تنش جاری استاتیک (Static Yield Stress)**
- حداقل تنش برشی برای شروع جریان از حالت استراحت
- **تنش جاری دینامیک (Dynamic Yield Stress)**
- حداقل تنش برشی برای حفظ جریان پس از شکسته شدن ساختار تغلیظ پذیری
- **ویسکوزیته پلاستیک (Plastic Viscosity)**
- تغییرات تنش برشی با تغییرات نرخ برشی (شیب)
- **تغلیظ پذیری (Thixotropy)**
- کاهش ویسکوزیته بتن تحت برش که غیر قابل برگشت و تابع زمان است.



Durability test methods for SCC

- Gas (Oxygen) permeability
- Rapid Chloride Penetration Test (RCPT)
- Rapid Chloride Migration Test (RCMT)
- Water absorption
- Sorptivity
- Water permeability
- Carbonation

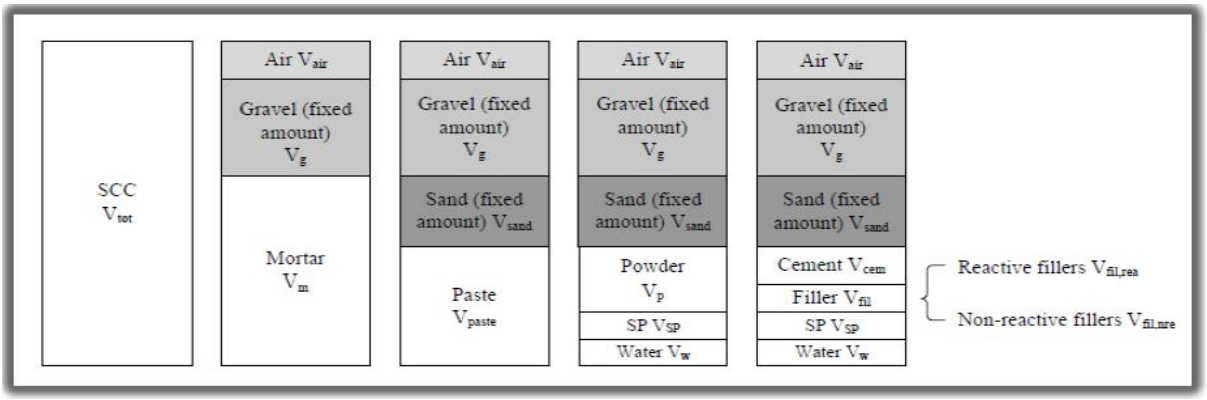




Basic actions to transform a conventional concrete to SCC.

Chemical analysis of Furnace Slag, Expanded Clay, Expanded Shale

Chemical Name	Furnace Slag[1]	Expanded Clay [2]	Expanded Shale[3]
	(%)	(%)	(%)
Silica (SiO_2)	37.1	64.6	67.6
Alumina (Al_2O_3)	8.8	20.6	15.1
Iron Oxide (Fe_2O3)	1.9	6.5	4.1
Titanium Oxide (TiO_2)	-	0.8	0.6
Calcium Oxide (CaO)	40.0	1.5	2.2
Magnesium Oxide (MgO)	11.5	2.9	3.5
Alkalies*	0.8	-	3.7
Sulphur Trioxide (SO_3)	-	0.5	0.24
Manganese Oxide (MnO)	0.6	0.1	0.07
Loss on Ignition	1.99	0.3	3.06



Testing methods and limiting test values for SCC

Property	Test method	Material	Recommended values
Flowability / Filling ability	Slump flow	Concrete	650 – 800 mm Average flow diameter
	V – funnel	Concrete	6 – 12 sec Time for emptying of funnel
Passing ability	L – box	Concrete	0.8 – 1.0 Ratio of heights at the beginning and end of flow
	J - ring	Concrete	0 – 10 mm Difference in heights at beginning and end of flow

پلی کربوکسیلیک اتر PCE

وافزودنی اصلاح کننده قوام AMV

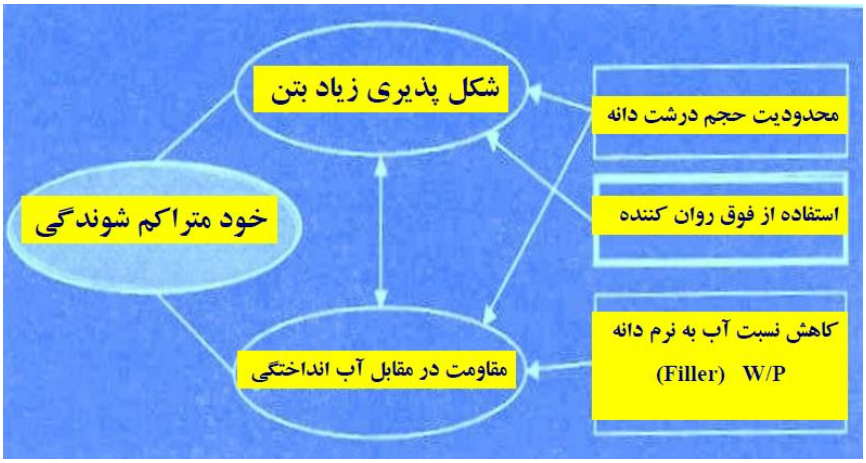
کمبود سیمان

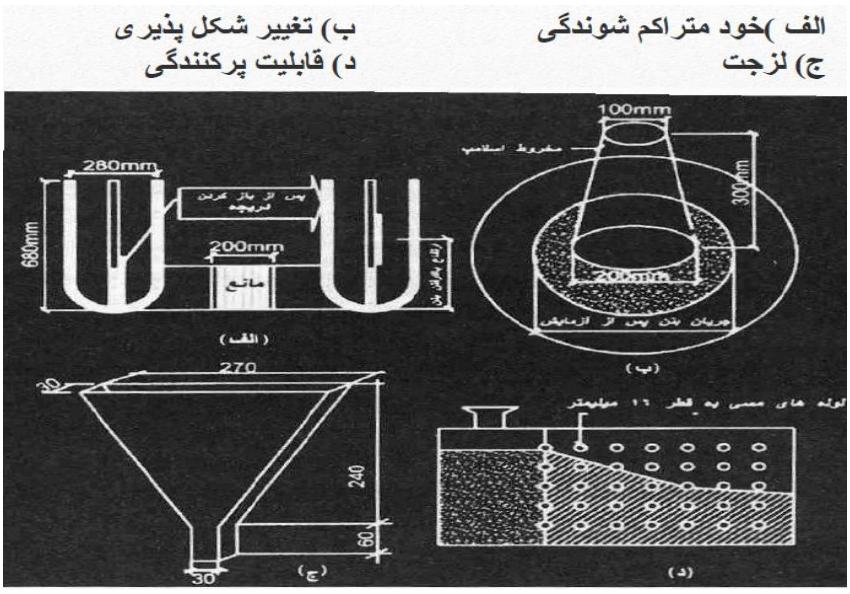
منافع اقتصادی جایگزینی

کارپذیری اصلاح یافته بدون عمل ویبره

گرمای هیدراسیون پائین تر

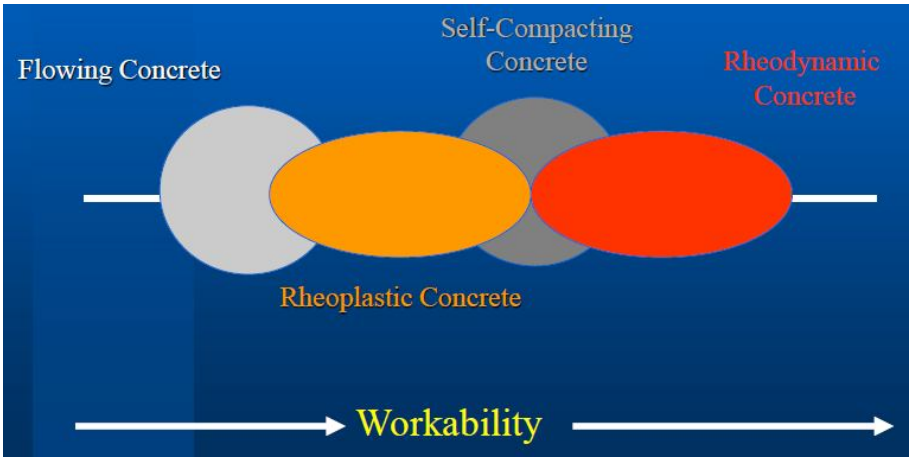
اصلاحاتی در خواص بتن سخت شده ودوام آن نسبت داده شود





شاخص ویسکوزیته

$$G = \frac{((d_m' \; d_r) - \; d_0^2)}{d_0^2} \qquad R_C = \frac{10}{T_{500}}$$



آزمایش‌های بتن خودتراکم تازه [EFNARC, 2002]

نوع آزمایش	ویژگی آزمایش
جریان اسلامپ	قابلیت پرکنندگی
زمان T50 در جریان اسلامپ	قابلیت پرکنندگی
حلقه J	قابلیت عبوری
قیف V	قابلیت پرکنندگی
قیف V پس از ۵ دقیقه (T5)	مقاومت در برابر جداشدگی
جعبه L	قابلیت عبوری
جعبه U	قابلیت عبوری
جعبه FILL	قابلیت عبوری
آزمایش GTM	مقاومت در برابر جداشدگی
اوریمت	قابلیت پرکنندگی

برای سازه‌های با تراکم کم آرماتورها---------- ۵۰۵ تا ۶۵۰ میلی‌متر

برای کاربردهای متداول---------- ۶۶۰ تا ۷۵۰ میلی‌متر

برای بتن‌ریزی در راستای قائم یا مقاطع پر آرماتور---------- ۷۶۰ تا ۸۵۰ میلی‌متر

آزمایش‌های کنترل‌کننده کارایی بتن خودتراکم [EFNARC, 2002]

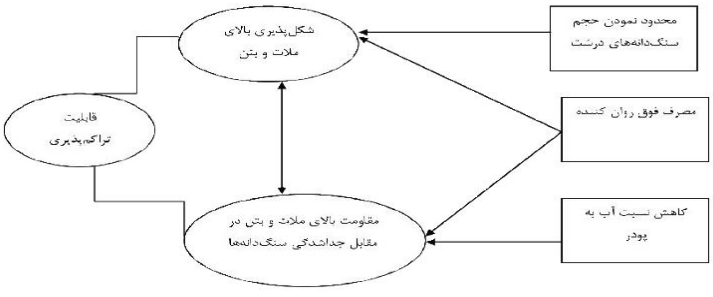
ویژگی بتن خودتراکم	روش‌های آزمایش		
	آزمایشگاه	کارگاه	تعریف نوع آزمایش با توجه به‌اندازه دانه‌ها
قابلیت پرکنندگی	جریان اسلامپ زمان T50 در جریان اسلامپ قیف V اوریمت	جریان اسلامپ زمان T50 در جریان اسلامپ قیف V اوریمت	فرقی ندارد حداکثر اندازه ۲۰ میلی‌متر
قابلیت عبوری	جعبه L جعبه U	حلقه J	بر اساس بازشوهای جعبه L و جعبه U و حلقه J متفاوت است
مقاومت در برابر جداشدگی	آزمایش GTM قیف V پس از ۵ دقیقه (T5)	آزمایش GTM قیف V پس از ۵ دقیقه (T5)	فرقی ندارد

ارتباط مشخصات عضو بتنی با آزمایش‌های کارایی بتن خودتراکم [نشریه ض – ۷۰۶ مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، ۱۳۹۳].

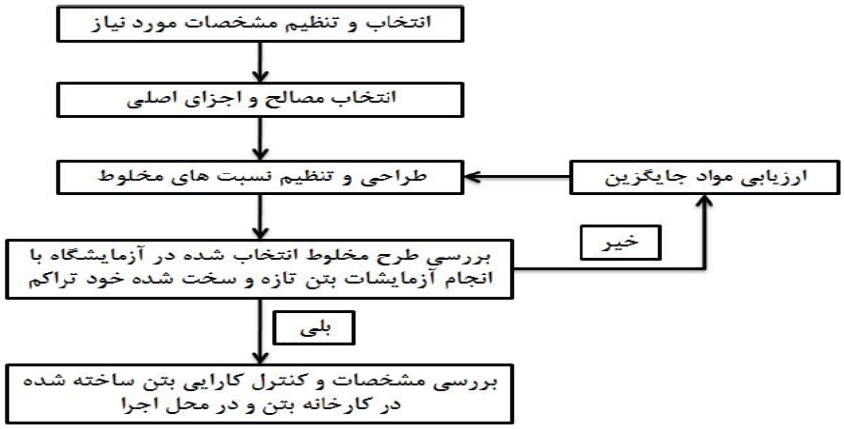
مشخصه	مقدار مجاز نتیجه آزمایش			
	جریان اسلامپ برحسب میلی‌متر	حلقه J برحسب میلی‌متر	جعبه L برحسب نسبت H_2/H_1	قیف V
تراکم بالای میلگرد در مقطع عضو بتنی	بزرگ‌تر از ۶۰۰	کمتر از ۵	بزرگ‌تر از ۰٫۸	بین ۶ تا ۱۰ ثانیه
عضو بتنی با طول زیاد	بزرگ‌تر از ۶۳۰	کمتر از ۵	بزرگ‌تر از ۰٫۸	بین ۶ تا ۱۰ ثانیه

آزمایش‌های مربوط به بررسی خواص مکانیکی بتن خودتراکم سخت شده

نام آزمایش	روش آزمایش	نوع آزمایش	استاندارد مربوطه	توضیحات
آزمایش مقاومت فشاری	دستگاه جک بتن شکن	مخرب	ASTM C39-86	ضرایب تبدیل مقاومت نمونه مکعبی به استوانه در بتن معمولی از مقدار ۰٫۸ تا ۰٫۹ متغیر است. درصورتی‌که در بتن خودتراکم این تغییرات بیشتر و از مقدار ۰٫۸ تا ۱ می‌باشد.
آزمایش مقاومت کششی	به روش دونیم شدن استوانه	مخرب	ASTM C496-90	اعمال بار به‌صورت پیوسته و با سرعت ثابتی در محدوده تنش کششی بتن و بین ۷ تا ۱۴کیلوگرم بر سانتی‌متر تا هنگام شکست نمونه انجام می‌گیرد.
	به روش مدول گسیختگی	مخرب	ASTM C78-94	به دو روش اندازه‌گیری می‌شود: در حالت اول یک منشور بتنی ساده (بدون میلگرد) یا به کار بردن دونقطه بارگذاری متقارن در معرض خمش قرار داده می‌شود تا گسیختگی رخ دهد. در حالت دوم بارگذاری در وسط دهانه صورت می‌گیرد. در این آزمایش وقتی‌که تنش در لایه تحتانی درست زیر نقطه اعمال بار بیش از مقاومت کششی بتن شود، گسیختگی رخ خواهد داد
آزمایش مدول الاستیسیته	استخراج رابطه تنش- کرنش	مخرب و غیر مخرب	ASTM – C469 ASTM – C215	به دو روش اندازه‌گیری می‌شود: مدول الاستیسیته استاتیکی مدول الاستیسیته دینامیکی
آزمایش سنجش جمع‌شدگی	شاخص استاندارد اندازه‌گیری دیمک[1]	غیر مخرب	ASTM C426	برای اندازه‌گیری جمع‌شدگی، پس از خارج کردن نمونه‌ها از قالب، پولک‌های مخصوصی بر روی آن‌ها به فاصله ۱۵۰ میلی‌متر از یکدیگر با استفاده از شاخص استاندارد اندازه‌گیری دیمک، چسبانده شده و بعد از خشک شدن چسب در اتاق بخار قرار داده می‌شوند. سپس در سنین موردنظر، با استفاده از دستگاه مذکور، جمع‌شدگی آن‌ها اندازه‌گیری می‌شود.



اصول بنیادی تولید بتن خودتراکم (SCC) [GruneweLd, 2001]



روش کلی طرح اختلاط بتن خودتراکم [EFNARC, 2005]

بازه مقادیر اجزای تشکیل‌دهنده مخلوط بتن خودتراکم- آیین‌نامه EFNARC [EFNARC, 2005]

اجزای اصلی SCC	مقادیر بر اساس جرم (kg/m3)	مقادیر بر اساس حجم (Lit/m3)
پودر	۳۸۰–۶۰۰	
خمیر		۳۰۰–۳۸۰
آب	۱۵۰–۲۱۰	۱۵۰–۲۱۰
درشت‌دانه (شن)	۷۵۰–۱۰۰۰	۲۷۰–۳۶۰
ریزدانه (ماسه)	حجم متعادل با سایر اجزای تشکیل‌دهنده ٪ ۴۸–۵۵ از وزن کل سنگ‌دانه	
نسبت حجمی آب به پودر	---	۰/۸۵ –۱/۱۰

پیشنهادی [نشریه ض – ۷۰۶ مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، ۱۳۹۳]

موارد کاربرد پیشنهادی مناطق مختلف	توان منحنی پایینی منطقه مطلوب دانه‌بندی	توان منحنی بالایی منطقه مطلوب دانه‌بندی
بتن خودتراکم با جریان اسلامپ کمتر از ۵۶۰ میلی‌متر برای ستون‌ها و شالوده‌ها با حجم میلگرد کم و یا قطعات غیر نازک با طول حرکت کم	۰/۴	۰/۳
بتن خودتراکم با جریان اسلامپ بین ۵۶۰ تا ۶۵۰ میلی‌متر برای ستون‌ها و شالوده‌ها با حجم میلگرد متوسط و یا قطعات نازک با طول حرکت متوسط	۰/۳۵	۰/۲۵
بتن خودتراکم با جریان اسلامپ بیشتر از ۶۵۰ میلی‌متر برای تیر و دال با طول حرکت و حجم میلگرد متوسط	۰/۳	۰/۲
بتن خودتراکم با جریان اسلامپ بیشتر از ۶۵۰ میلی‌متر برای تیر و دال با طول حرکت زیاد و حجم میلگرد بالا و قطعات نازک	۰/۲۵	۰/۱۵
بتن خودتراکم تعمیری-بتن خودتراکم بسیار ریزبافت	۰/۲	۰/۱

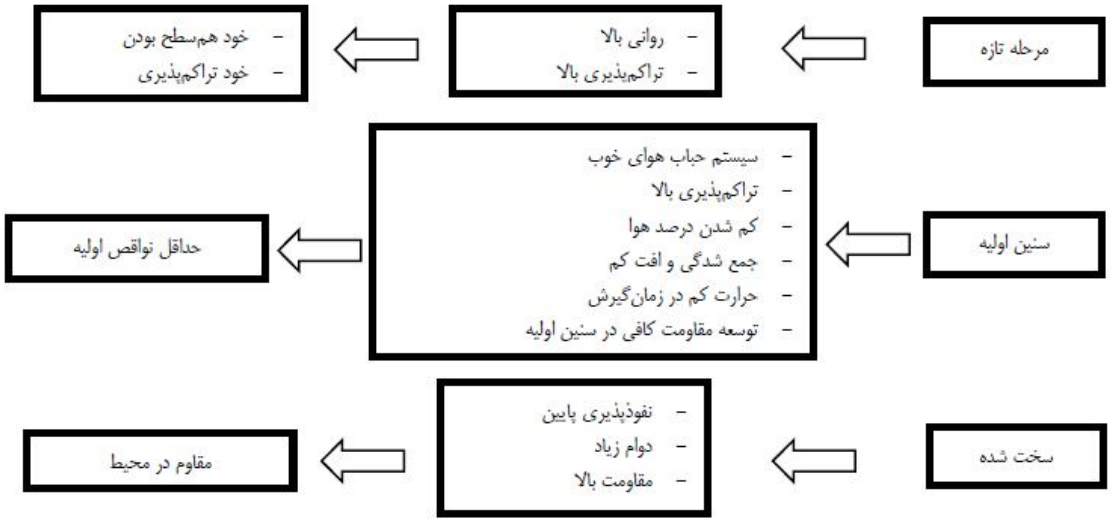
مقدار پودر برحسب جریان اسلامپ هدف طرح [نشریه ض – ۷۰۶ مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، ۱۳۹۳]

	جریان اسلامپ کمتر از ۵۵۰ میلی‌متر	جریان اسلامپ بین ۵۵۰ تا ۶۵۰ میلی‌متر	جریان اسلامپ بیشتر از ۶۵۰ میلی‌متر
مقدار پودر (کیلوگرم بر مترمکعب)	۳۵۰ تا ۴۰۰	۴۰۰ تا ۴۵۰	بیشتر از ۴۵۰

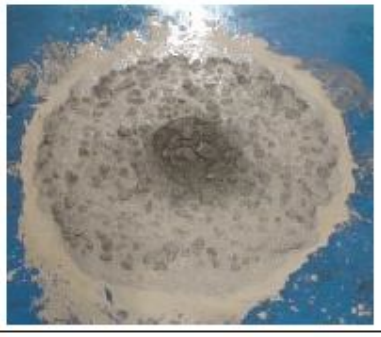
حجم مخلوط سنگ‌دانه اشباع با سطح خشک

$$V_{ASSD} = \left(1000 - \frac{c}{p_c} - \frac{w_f}{p_w} - \frac{F}{p_F} - \frac{SP}{p_{sp}} - V_a\right)$$

تفاوت بتن‌های معمولی و بتن خودتراکم در ویژگی‌های بتن تازه و تشابه در ویژگی‌های بتن سخت شده



ایرادات احتمالی در مشخصات بتن تازه خودتراکم در اثر افزایش روانی

عامل افزایش روانی	تغییرات احتمالی در خواص بتن تازه	
افزایش مقدار آب و نسبت آب به سیمان	• کاهش مقاومت و مشخصات مکانیکی مطلوب بتن • افزایش آب انداختگی سطحی و داخلی • کاهش شدید لزجت و درنتیجه به مخاطره افتادن پایداری • افزایش احتمال قفل‌شدگی و انسداد سنگ‌دانه‌ها در هنگام عبور از مجاری باریک	
افزایش مقدار مواد افزودنی فوق روان کننده	• افزایش آب انداختگی سطحی و داخلی • افزایش احتمال قفل‌شدگی و انسداد سنگ‌دانه‌ها در هنگام عبور از مجاری باریک	
افزایش حجم خمیر	• افزایش میزان خزش و جمع شدگی و ترک‌های ناشی از آن‌ها • افزایش هزینه‌ها	

تغییر مشخصات بتن تازه خودتراکم در اثر عوامل تأثیرگذار در کاهش جداشدگی سنگ‌دانه‌ها

عامل کاهش جداشدگی	تغییرات احتمالی در خواص بتن تازه
استفاده از ماسه با دانه‌بندی مناسب	– عدم دسترسی عمومی و افزایش احتمالی قیمت تمام‌شده
کاهش اندازه حداکثر دانه و افزایش نسبت ماسه به شن	– کاهش جزئی مقاومت – افزایش سطح مخصوص سنگ‌دانه‌ها و افزایش آب موردنیاز برای تأمین کارایی
استفاده از مواد افزودنی قوام آور	– کاهش روانی – افزایش هزینه
کاهش نسبت آب به سیمان و مواد افزودنی	– کاهش روانی

تغییر مشخصات بتن تازه خودتراکم در اثر عوامل تأثیرگذار در کاهش آب انداختگی و کاهش احتمال انسداد سنگ‌دانه‌ها

عامل کاهش جداشدگی	تغییرات احتمالی در خواص بتن تازه
استفاده از ماسه با دانه‌بندی مناسب	– عدم دسترسی عمومی و افزایش احتمالی قیمت تمام‌شده
استفاده از مواد افزودنی قوام آور	– کاهش روانی – افزایش هزینه
استفاده از مواد ریزدانه پودری	– کاهش قابل‌توجه روانی در صورت استفاده از مواد با سطح مخصوص بسیار زیاد – لزوم تعبیه محل انبار و نگهداری و توزین مواد پودری در هنگام استفاده – افزایش هزینه
کاهش اندازه حداکثر دانه و افزایش نسبت ماسه به شن	– کاهش جزئی مقاومت – افزایش سطح مخصوص سنگ‌دانه‌ها و افزایش آب موردنیاز برای تأمین کارایی

طرح اختلاط استفاده‌شده در پروژه ساخت پل Ritto در کشور ژاپن [Ouchi and Nakamura, 2003]

مصالح	وزن (کیلوگرم در مترمکعب)
سیمان	۴۷۰
ماسه	۸۶۸
شن تا ۱۳ میلی‌متر	۳۳۶
شن تا ۲۰ میلی‌متر	۵۰۵
فوق روان‌ساز	۶
آب	۱۵۵
نسبت آب به سیمان	۰,۳۳

طرح اختلاط بتن خودتراکم در اجرای لاینینگ نهایی دیواره‌های تونل رسالت تهران [شاهیدخت و جبروتی، ۱۳۸۵]

مصالح	واحد	وزن (کیلوگرم در مترمکعب)
سیمان	کیلوگرم	۴۰۰
ماسه ۰ – ۶ میلی‌متر	کیلوگرم	۱۲۰۰
شن ۶ – ۱۲ میلی‌متر	کیلوگرم	۱۶۰
شن ۱۲ – ۲۰ میلی‌متر	کیلوگرم	۳۷۰
پودر سنگ	کیلوگرم	۱۰۰
آب	لیتر	۱۶۷
فوق روان‌ساز	لیتر	۳٫۶
مواد اصلاح‌کننده ویسکوزیته (VMA)	لیتر	۲ لیتر
مواد انبساط دهنده	لیتر	۲٫۷ لیتر

طرح اختلاط بتن خودتراکم استفاده شده در پروژه x-Leg های لابی برج میلاد [رمضانیان‌پور و همکاران، ۱۳۹۰]

مصالح	واحد	وزن
سیمان	کیلوگرم در مترمکعب	۴۵۰
ماسه	کیلوگرم در مترمکعب	۱۰۲۹
شن نخودی	کیلوگرم در مترمکعب	۶۵۲
پودر سنگ	کیلوگرم در مترمکعب	۱۲۰
فوق روان‌ساز	کیلوگرم در مترمکعب	۷
نسبت آب به سیمان	---	۰/۴۱

طرح اختلاط‌های بتن خودتراکم استفاده‌شده در پروژه بزرگراه طبقاتی شهید صدر [فلاح و همکاران، ۱۳۹۲]

مصالح	واحد	طرح ۱	طرح ۲
سیمان	کیلوگرم در مترمکعب	۴۰۰	۴۱۰
ماسه	کیلوگرم در مترمکعب	۹۵۵	۹۴۰
شن نخودی	کیلوگرم در مترمکعب	۳۵۴	۷۰۰
شن بادامی	کیلوگرم در مترمکعب	۳۵۴	۰
پودر سنگ	کیلوگرم در مترمکعب	۱۰۶	۱۱۶
نسبت آب به سیمان	---	۰٫۳۹	۰٫۳۸

میانگین نتایج آزمایشگاهی نمونه‌های بتن خودتراکم در طرح بزرگراه طبقاتی شهید صدر [فلاح و همکاران، ۱۳۹۲]

سن آزمونه‌ها	میانگین مقاومت (مگاپاسکال)	انحراف معیار (مگاپاسکال)	درصد رشد مقاومت نسبت به مقاومت ۹۰ روزه
۱ روزه	۱۱	۴	٪۱۸
۳ روزه	۳۳	۶	٪۵۳
۷ روزه	۴۶	۵	٪۷۴
۲۸ روزه	۵۷	۵	٪۹۲
۹۰ روزه	۶۲	۶	٪۱۰۰

طرح اختلاط بتن خودتراکم پروژه تولید قطعات پیش ساخته متروی شیراز [رئیس محمدیان و همکاران، ۱۳۸۵]

مصالح	واحد	وزن
سیمان	کیلوگرم در مترمکعب	۵۰۰
ماسه	کیلوگرم در مترمکعب	۱۰۵۰
شن نخودی	کیلوگرم در مترمکعب	۷۵۰
آب	کیلوگرم در مترمکعب	۱۲۰
فوق روان‌ساز (GeLenium)	کیلوگرم در مترمکعب	۷,۵
نسبت آب به سیمان	---	۰,۴۱

طرح اختلاط بتن خودتراکم استفاده‌شده در پروژه توسعه حرم حضرت معصومه [میردامادی و همکاران، ۱۳۸۵]

مصالح	واحد	وزن
سیمان	کیلوگرم در مترمکعب	۹۰۰
ماسه	کیلوگرم در مترمکعب	۱۲۶۰
فوق روان‌ساز	کیلوگرم در مترمکعب	۱۳,۵
الیاف پلی‌پروپیلن	کیلوگرم در مترمکعب	۲
آب	کیلوگرم در مترمکعب	۲۲۵
نسبت آب به سیمان	---	۰,۲۵

مشکلات و محدودیت‌های پیش رو در خصوص استفاده از بتن خودتراکم در پروژه‌ها

مشکلات و محدودیت‌های بتن خودتراکم در مقایسه با بتن‌های متداول	افزایش هزینه مواد اولیه (شامل دانه‌بندی سنگ‌دانه‌ها، افزودنی‌های خاص و...)
	نیاز به سرمایه‌گذاری درازمدت برای فراهم کردن تجهیزات و نصب آن‌ها
	نیاز به آموزش و تعلیم کارگران
	نیاز به‌دقت بسیار بالا در توزین و یا پیمانه کردن مصالح (عدم توجه به این امر، احتمال تولید بتنی نامناسب و ناکارآمد و همین‌طور افزایش کیفیت بد قطعات تولیدی و حتی کمتر بودن کیفیت بتن تولیدی نسبت به بتن معمولی و سنتی را افزایش می‌دهد.)
	لزوم تلاش بیشتر در حفظ خواص رئولوژی این نوع بتن
	جمع‌شدگی و تنش‌های حرارتی زیاد در بتن‌ریزی‌های حجیم در صورت عدم استفاده از طرح مخلوط مناسب
	نیاز به‌دقت بیشتر در حمل‌ونقل این نوع بتن
	نیاز به برنامه‌ریزی دقیق در تنظیم ظرفیت تولید، زمان حمل و حجم بتن‌ریزی جهت عدم توقف عملیات و ایجاد پیوستگی در اجرا
	امکان فرار بتن از قالب‌های معمولی به دلیل ضعف در آب‌بندی قالب‌ها

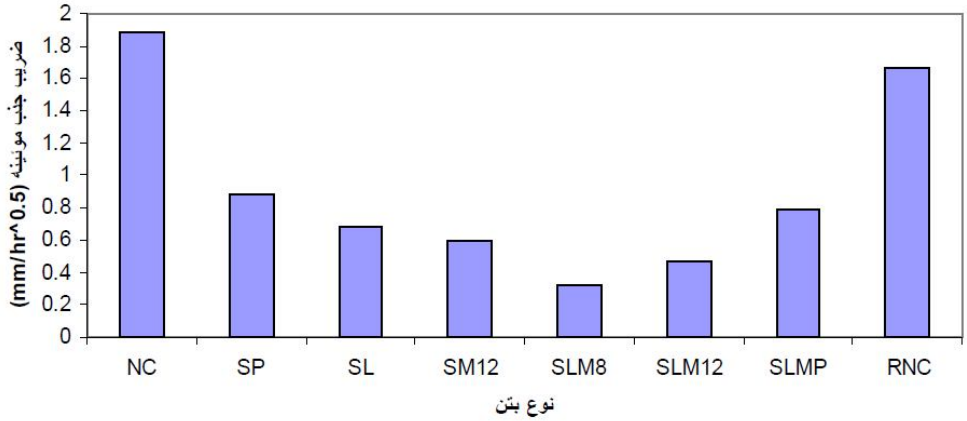
مزیت‌های استفاده از بتن خودتراکم نسبت به بتن‌های متداول در پروژه‌ها

مزایای استفاده از بتن خودتراکم در مقایسه با بتن‌های متداول	حذف مرحله لرزاندن از عملیات بتن‌ریزی
	بهبود کیفیت و امکان تراکم فوق‌العاده (که این امر موجب پوشش کامل آرماتورها و بالا رفتن عمر مفید سازه و کاهش هزینه‌های نگهداری می‌گردد)
	امکان اجرا در مقاطع باوجود شبکه‌های آرماتور متراکم به دلیل روانی مناسب
	امکان استفاده وسیع در صنایع بتن پیش‌ساخته
	سازگاری با منابع طبیعی
	ارتقا خواص مکانیکی و دوام بتن در مقایسه با بتن معمولی
	ایجاد سطح و نمای مطلوب‌تر و بدون تخلخل
	امکان افزایش ارتفاع بتن‌ریزی
	کاهش سیکل‌های بتن‌ریزی
	امکان جایگزینی مواد سیمانی و خاکستر بادی با سیمان جهت صرفه‌جویی سیمان
	حفظ خواص بتن تازه در طول اجرا
	تعویق جداشدگی
	عدم نیاز به اقدامات ویژه برای دستیابی به پایداری

معرفی نمونه ها

ردیف	نوع بتن	نام اختصاری
۱	بتن پایه معمولی	BNC
۲	بتن تعمیری معمولی	RNC
۳	بتن خودمتراکم با پودر	SP
۴	بتن خودمتراکم با لاتکس	SL
۵	بتن خودمتراکم با ۱۲٪ میکروسیلیس	SM_12
۶	بتن خودمتراکم با لاتکس و ۸٪ میکروسیلیس	SLM_8
۷	بتن خودمتراکم با لاتکس و ۱۲٪ میکروسیلیس	SLM_12
۸	بتن خودمتراکم با لاتکس و ۸٪ میکروسیلیس و الیاف پلی پروپیلن	SLMP

نتایج آزمایش بتن تازه	آزمایش های رئولوژی بتن خود متراکم					بتن معمولی
ردیف	نوع بتن	اسلامپ جاری	قیف وی	L-BOX	حلقه j	شاخص پایداری چشمی	اسلامپ
		(cm)	(Sec.)	h1/h2	(mm)	(VSI)	(cm)
۱	NC	—	—	—	—	—	۱۲
۲	SP	۷۳	۴/۱	۰/۹۹	۹	۱	—
۳	SL	۷۲	۳/۵	۰/۹۲	۸	۱	—
۴	SLM-8	۷۶	۳	۰/۹۶	۸/۵	۱	—
۵	SM-12	۶۰	۸	۰/۸۰	۱۵	۲	—
۶	SLM-12	۶۸	۵/۲	۰/۸۸	۸	۱	—
۷	SLMP	۶۵	۶	۰/۸	۷/۵	۲	—
۸	RCN	—	—	—	—	—	۹



- 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

فوق روان‌کننده‌ها

افزودنی‌های فوق روان‌کننده، دارای خاصیت ایجاد زودرس مقاومت و افزایش داوم می‌باشند. افزودنی‌های شیمیایی فوق روان‌کننده بر پایه کربوکلسیکاتو(PCE) و افزودنی اصلاح کننده قوام (VWA) جهت تولید بتن خود متراکم به کار می‌رود. از آنجایی که ساخت افزودنی‌های شیمیایی بر پایه (PCE) جهت کاربردهای خاص و مختلف بسیار مناسب می‌باشد، لذا توسعه افزودنی‌های نوین با خاصیت مقاوم‌دهی زودرس برای مخلوطهای بتن خود متراکم را امکان پذیر نموده است. همچنین در فوق روان کننده‌ها (VWA) میزان درجه ویسکوزیته در همگن بودن و عدم جداشدگی بتن نقشی مهم ایفا می‌کند.

فوق روان‌کننده‌های هوازا (AEA) برای ایجاد مقاومت در برابر سیلک‌های یخ زدگی وذوب آن و دیرگیرکنندگی کاربرد دارد.

فوق روان‌کننده‌های (MRWR) جهت کاهش مصرف آب در حد متوسط بکار می‌روند و قابلیت‌های زیر را به بتن می‌دهند.

- افزایش قابلیت پرداخت
- افزایش قابلیت پمپاژ
- استقرار بدون ویبره
- ایجاد گیرایی کنترل شده
- ایجاد کارایی مناسب
- افزایش گیرش اولیه و نهایی
- افزایش حفظ یکپارچگی

لازم به ذکر است نقش روان کننده‌ها در طرح اختلاط آن است که باعث جدایی دانه‌های سیمان از یکدیگر می‌شود و به این ترتیب باعث پخش شدگی گسترده دانه‌های سیمان در بتن در حین انجام اختلاط شده و نهایتا باعث کم شدن نسبت آب به سیمان می گردد.

لازم به ذکر است روان کننده‌ها اصطکاک بین سنگ دانه‌ها را تغییر نمی‌دهد و اگر از روان کننده‌ها بیشتر از میزان مناسب استفاده شود، باعث از بین رفتن چسبندگی در بتن شده و نهایتا منجربه از بین رفتن گیرایی می گردد.

$$Ec = 0.041 W^{1.5} \sqrt{f'_c}$$

مدول الاستیسیته استاتیکی نمونه های بتن خود متراکم

مدول الاستیسیته استاتیکی (GPa)			
۳ روزه	۷ روزه	۱۴ روزه	۲۸روزه
۱۸.۰۶	۲۱.۵۸	۲۲.۱۰	۲۳.۹۰

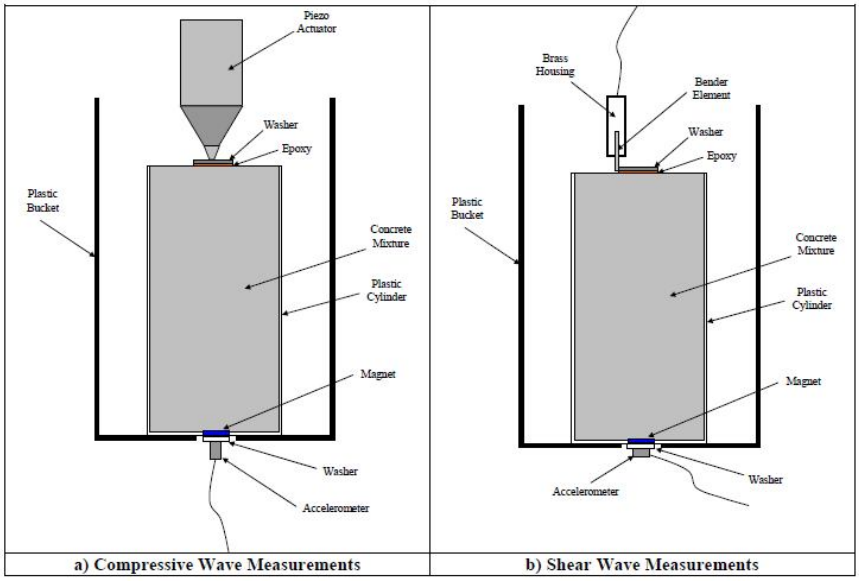
$$Ed = \rho . V^2 \left(\frac{(1+\mu)(1-2\mu)}{(1-\mu)} \right)$$

مدول الاستیسیته دینامیکی نمونه های بتن خود متراکم

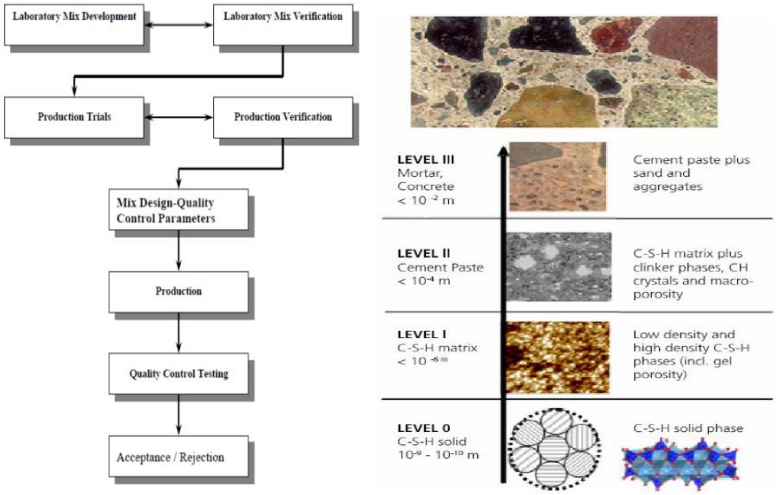
ردیف	مدول الاستیسیته دینامیکی (GPa)			
طرح اختلاط نهایی	۳ روزه	۷ روزه	۱۴ روزه	۲۸روزه
زمان عبور موج (μs)	۱۰۶.۴۸	۱۰۱.۵	۹۸.۸۴	۹۶.۵
سرعت موج $\left(\frac{km}{\mu s}\right)$	۰.۴۲	۰.۴۴	۰.۴۵	۰.۴۶
Ed	۴۴.۲۵	۴۷.۹۶	۵۱.۳۴	۵۳.۸۸

۱- افت شیمیایی بدلیل هیدراتاسیون سیمان

۲- انبساط دمایی بدلیل افزایش دما در بتن

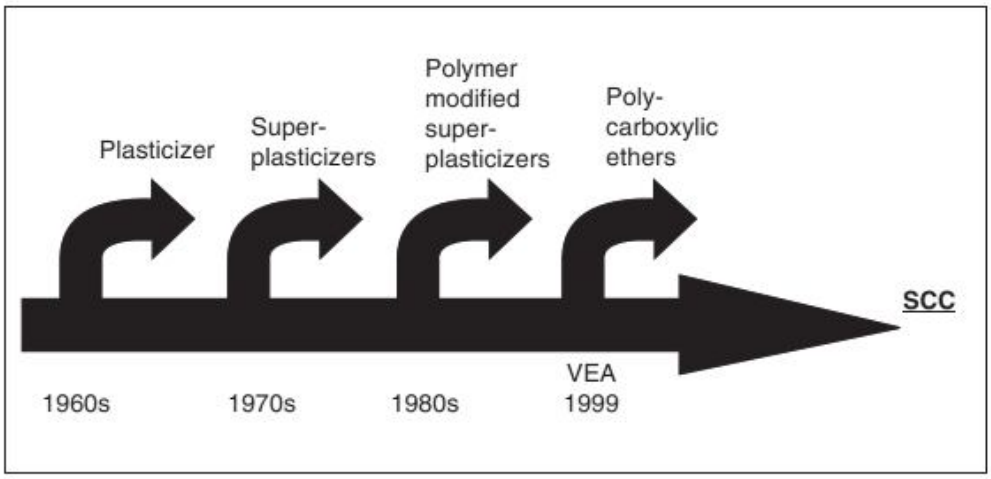


Mounting of Piezo-Transducers and Accelerometers for Dynamic Moduli Measurements



قطعات سگمنت تولید شده برای عرشه اصلی پروژه بزرگراه طبقاتی شهید صدر

سازه های بتن آرمه یکی از پر کاربردترین نوع سازه ها و صنعت بتن امروزه نقش بسیار مهمی در ساخت وساز جوامع بشری بازی می کند در این میان توجه به خصوصیات بتن و انتظارات در سازه مورد مصرف محققان ،آزمایشگاهها و دست اندرکاران تولید بتن را نسبت به تغییر بتن معمولی تهیه شده از سیمان پرتلند جهت بهبود کارایی و رسیدن به عملکرد مورد نظر ترغیب نمود ه است یکی از بتنهای توانمند و با عملکرد بالا بتن خود تراکم میباشد که شامل بازه گسترده ای از طرح های اختلاط می باشد که خواص بتن تازه و سخت شده لازم برای کاربری های خاص دارا می باشند . اگرچه مقاومت هم چنان معیار اصلی موفقیت این بتن می باشند اما ویژگی های بتن تازه آن ، بسیار گسترده تر از بتن معمولی و متراکم شده توسط لرزاننده ها می باشد . این خواص مطلوب باید در زمان ، محل و بتن ریزی حفظ شوند . بتن خود تراکم در مواردی که شبکه بندی آرماتور ها فشرده است ، گزینه ای مطلوب می باشد . هم چنین عدم نیاز به لرزاننده ،آلودگی صوتی محیط را به نحو قابل ملاحظه ای کاهش می دهد.علی رغم ویژگی های مطلوب، طرح اختلاط و اجرای این نوع بتن به عوامل متعددی از قبیل دانه بندی مصالح سنگی ، نوع مواد افزودنی و همچنین فیلرهای مورد استفاده بستگی دارد. برای سالیان متمادی دست یابی به بتنی با قابلیت خودترازی (خود تراکمی) بدون افت در مقاومت ، روانی و یا جداشدگی ، آرزوی مهندسین در کشورهای مختلف بوده است در اوایل قرن بیستم به دلیل خشک بودن مخلوط بتنی ، تراکم بتن تنها از طریق اعمال ضربه های سنگین در مقاطع وسیع و در دسترس ممکن بود . با شیوع استفاده از بتن های مسلح و آشکار شدن مشکلات اجرایی کاربرد مخلوطهای خشک ، گرایش به استفاده از مخلوطهای مرطوب تر گسترش یافت اما شناسایی تاثیر نسبت آب به سیمان در دهه ۱۹۲۰ نشان داد که افزایش این نسبت می تواند موجب افت در مقاومت بتن گردد . در سالهای بعد ، توجه به مسئله دوام بتن همچنین تاثیر مخرب افزایش نسبت آب به سیمان را به نفوذ پذیری و کاهش دوام بتن آشکار ساخت . این همه باعث گردید تا توجه ویژه ای بر خواص کارایی و رئولوژی بتن و نیز روشهای تراکم ، با هدف بهبود خواص مقاومت و دوام آن صورت گیرد . این تحقیقات در نهایت منجر به معرفی بتن خود متراکم در ژاپن گردید. بتن خود تراکم نخست در سال ۱۹۸۶ توسط H.Okamura در ژاپن پیشنهاد گردید و در سال ۱۹۸۸ این نوع بتن در کارگاه ساخته شد و نتایج قابل قبولی را از نظر خواص فیزیکی و مکانیکی بتن ارائه داد. بتنی با قابلیت جریان زیاد که می تواند تنها تحت تاثیر نیروی ثقل و بدون نیاز به انجام هرگونه فرآیند دیگری تمامی زوایای قالب را پر کرده و آرماتور ها دربرگیرد، بدون آنکه جداشدگی یا آب انداختن ایجاد گردد



پیشینه و تاریخچه تولید بتن خود تراکم

۱ - سازه های بتنی معماری – هنری که نیاز به ظرافت خاص با میلگرد گذاری فشرده دارند .

۲ - پل های با دهانه بزرگ که به دلیل طولانی بودن خط انتقال بتن اجرای آن ها با بتن معمولی امکان پذیر نمی باشد

۳ - تونل های شهری و آبی که در آنها مسافت طولانی انتقال بتن معمولی و حفظ کیفیت و تراکم آن از مشکلات اجرایی است.

۴ - ساختمان های بلند و برج ها ۵ - ستونها و دیوارهای بلند یا میلگردهای متراکم

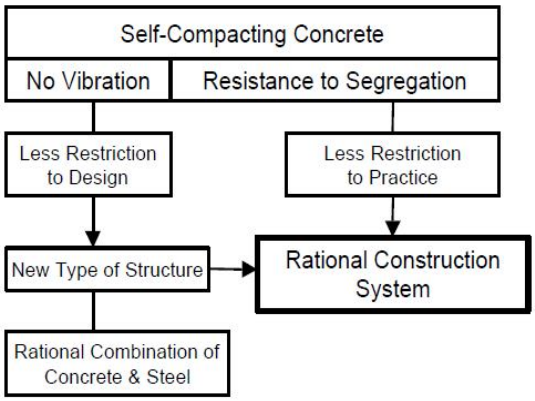
۶- ستونهای بتن ریزی شده با پمپ ۷- بتن ریزی بلوک های بتنی ۸- بتن ریزی کف ها و سطوح افقی

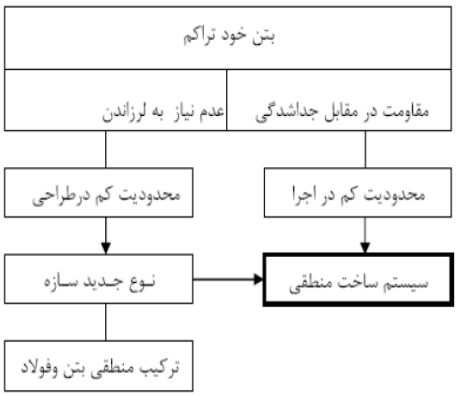
۹ - بتن ریزی در سازه های زیر آبی

مزایای مهم بتن خودتراکم

۱- توسعه سازه های بتنی در دنیا و نیاز به بتن های با خواص ویژه ۲ -کمبود کارگران ماهر بتن ریزی بویژه کارگران ویبره زن ۳ -افزایش سرعت اجرای سازه های بتنی در سهولت بتن ریزی ۴ -امکان بهبود کیفیت مکانیکی بتن و اطمینان ازتراکم بتن ۵- امکان اجرای سازه های بتنی ظریف ، نازک و سنگین و انتخاب مقاطع کوچک یا میلگردهای فشرده ۶- توسعه صنایع پیش ساخته بتنی ۷- صرفه جویی اقتصادی با توجه به کاهش نیروی انسانی لازم و زمان ساخت ۸-توجه به سطوح تمام شده زیبا و مرغوب سازه های بتنی ۹- کاهش سر و صدا و آلودگی صوتی محیط کارناشی از ویبره و بویژه در صنایع پیش ساخته بتنی ۱۰- کاهش هزینه اجزای بتن ریزی در محل ۱۱- پوشش سطحی بهتربتن ۱۲-جاگیری راحت درقالب۱۳-دوام بهتر۱۴- قدرت آزادی و سهولت برای طراحان ۱۵- صرف انرژی کمتر برای تولید بتن ۱۶-محیط کار امن تر و ایمنی بالا

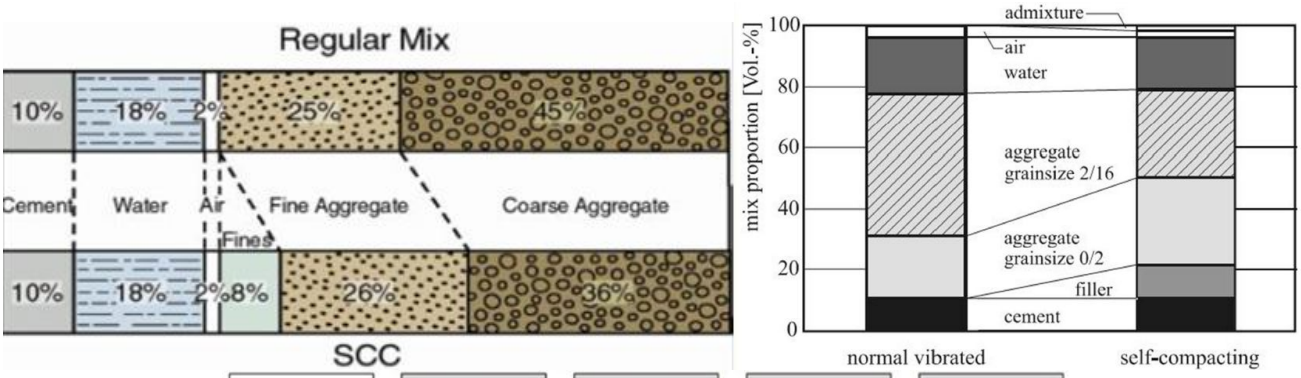
مزایای بتن خودتراکم

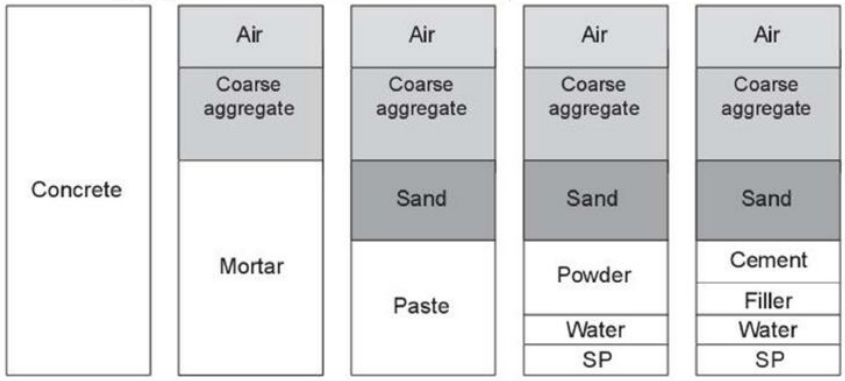




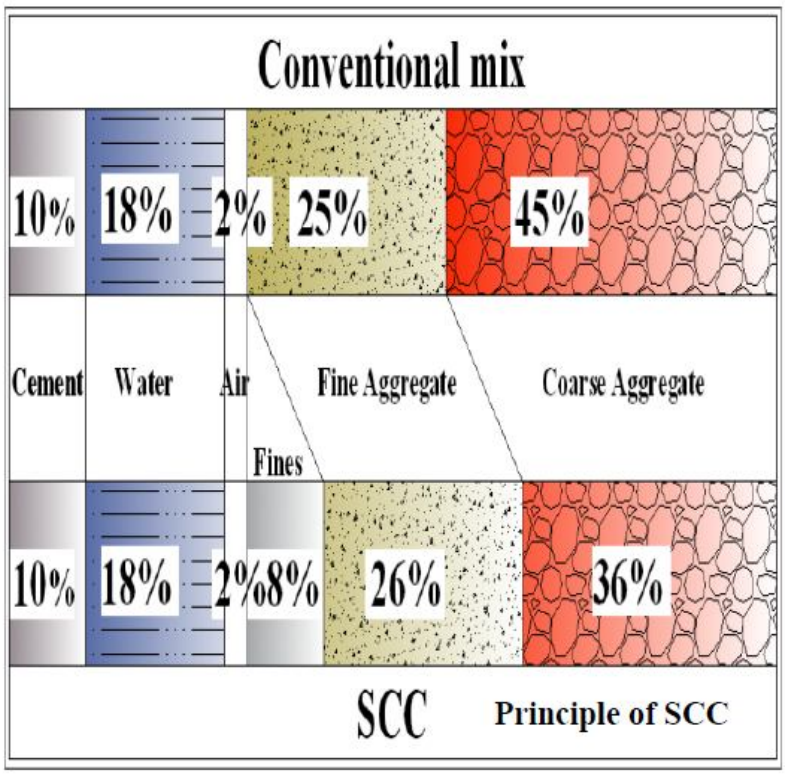
مواد تشکیل دهنده بتن خود تراکم

۲- افزودنی ها ۲-فوق روان کننده ها ۳-پودرسنگ ۴- میکروسیلیس ۵- نانوسیلیس ۶-خاکستربادی





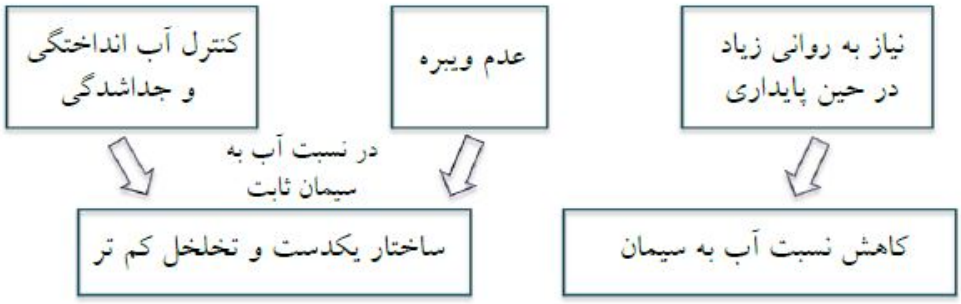
Schematic composition of SCC

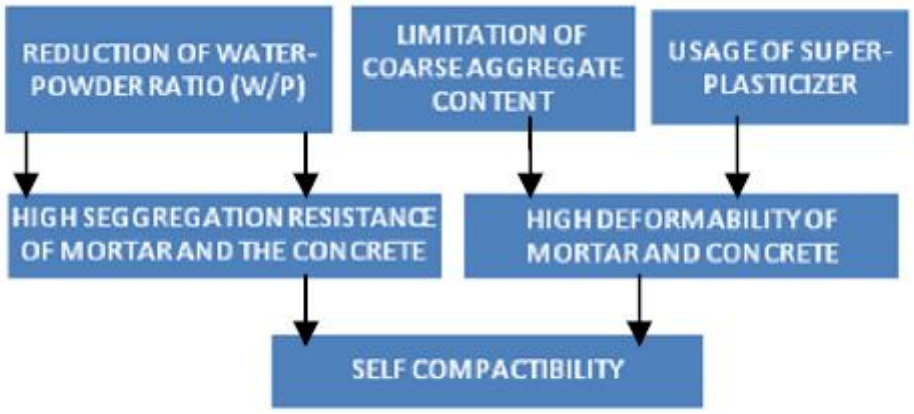


خواص بتن خودتراکم

۱-توانایی پرکنندگی Filling ability ۲-مقاومت در برابرجداشدگی Resistance to segregation

۳-توانایی عبورو جریان (قابلیت پمپاژ) passing ability ۴-کارایی مناسب workability ۵- پایداری مناسب stability(مقاومت در برابر آب انداختگی،جداشدگی دانه هاوحفظ همگنی بتن) ۶- قابلیت پرداخت سطح مناسب flat work ۷-استقرار بدون ویبره

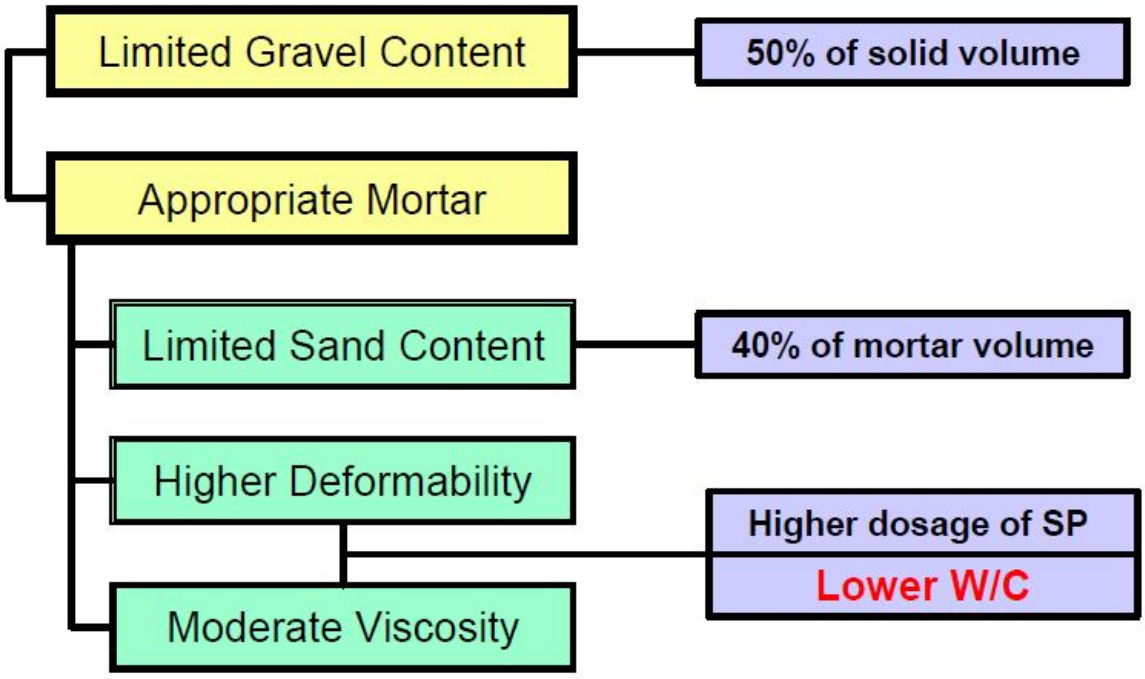


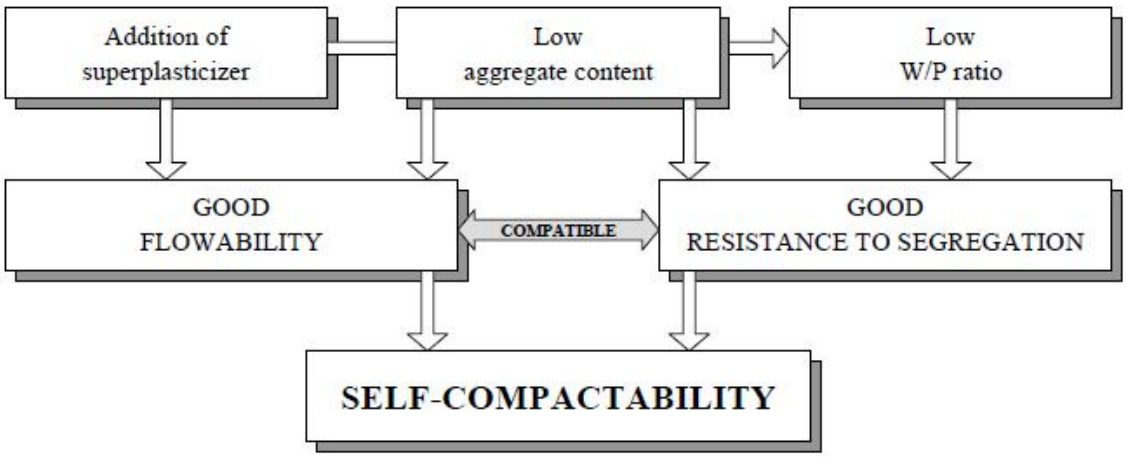


Basic principles for production of self-compacting concrete

انواع پوزولان های مورد استفاده بتن خود تراکم

۲- پودر سنگ آهک Lime Stone Powder ۲- خاکستربادی Fly ash ۳- میکروسیلیس یا دود سیلیس Silica Fume
۵- پودرسرباره Blast Furnace Slag ۵- متاکوئلین Meta kaoline ۶- زئولیت Zeolite





General Japanese mix design approach for achieving self-compactability.

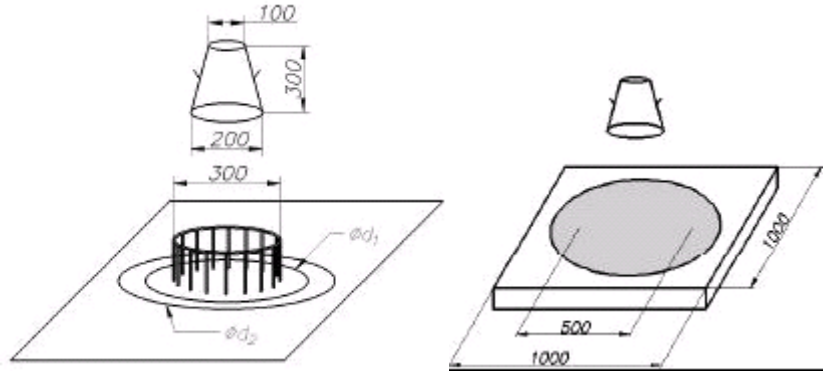
1جریان اسلامپ (Slump Flow):

آزمایش جریان اسلامپ به منظور تعیین آزادی حرکتSCC

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 بهکمک 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 بالاکشیده 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 جریانc اسلامپ T50m 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.

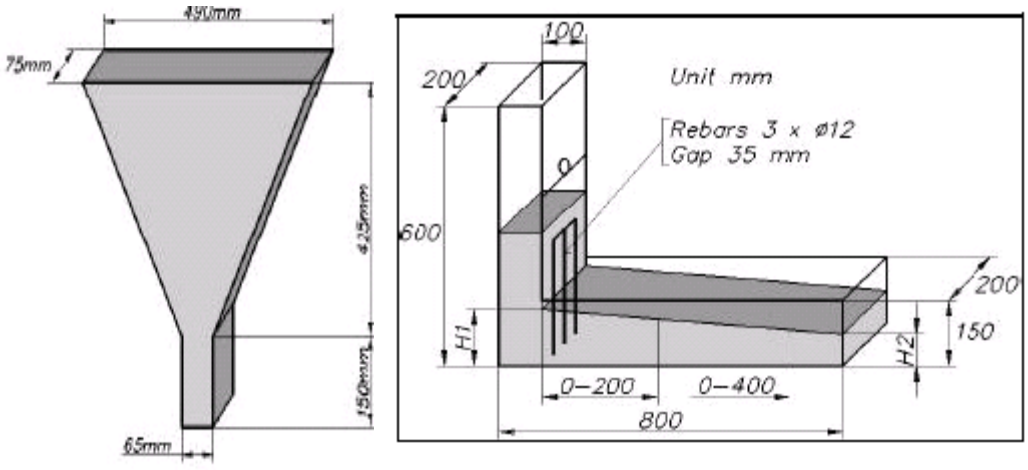


2 – حلقهJ (J Ring):

این آزمایش جهت اندازه گیری قابلیت گذرندگی بتن بکار می رود.در حلقه ی میلگردی نشان داده شده در شکل، قطر و فاصله 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 300میلیمتر و ارتفاع میلگردها 100 میلیمتر می باشد. نتایج آزمایش حلقه ی J می تواند مکمل مناسبی برای آزمایش های جریان اسلامپ، اریمت و قیفV باشد. این آزمایشهای ترکیبی،توانائی جریانیابی و گذرندگی بتن را کنترل می کنند پس از اتمام آزمایش، اختلاف ارتفاع بتن درون و بیرون حلقه Jاندازه 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 یJرا 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 Vرا 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. 10ثانیه 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 Vمی 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 راV 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، همانV5min خواهد بود. برایSCC 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.

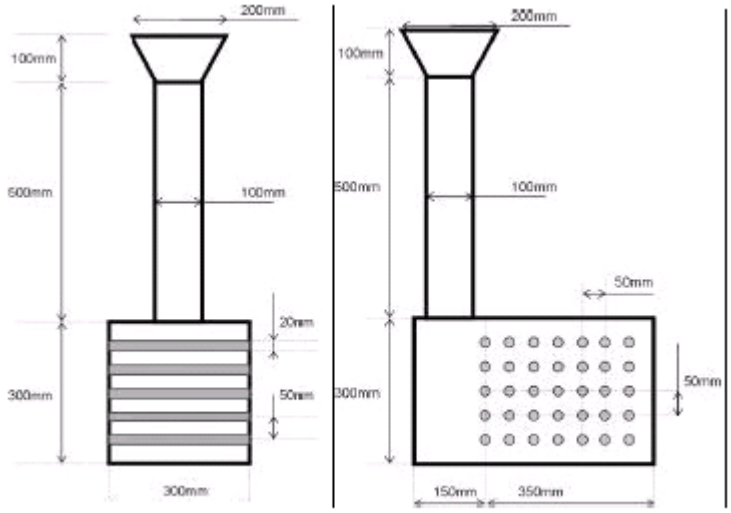
4-جعبهL (L box):

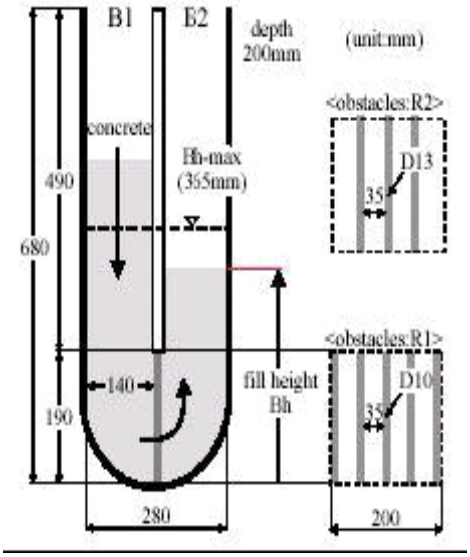
این آزمایش جریان یابی بتن و همچنین انسداد ناشی از فاصله ی میلگردها را تشریح می کند. از نتیجه ی این آزمایش،شیب قرارگیری بتن در حالت استراحت

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 T20 ، T40 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، مقادیرH1 (ارتفاع بتن در انتهای قسمت افقی دستگاه) و H2 (ارتفاع بتن در پشت دریچه) را اندازه گیری نمایید. H2/H1نسبت انسداد را نشان می دهد. تمام آزمایش باید در 5 دقیقه انجام گیرد. مقادیر T20و T40می 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 H1

بنامید. ارتفاع بتن را در قسمت دیگر به همین روش بنامید. H2اندازه گیری کرده و آن را ارتفاع پرکنندگی ، H1-H2اختلاف ارتفاع لقب دارد. تمام آزمایش باید در 5 دقیقه انجام شود.

6جعبه پرکننده(Fill box):

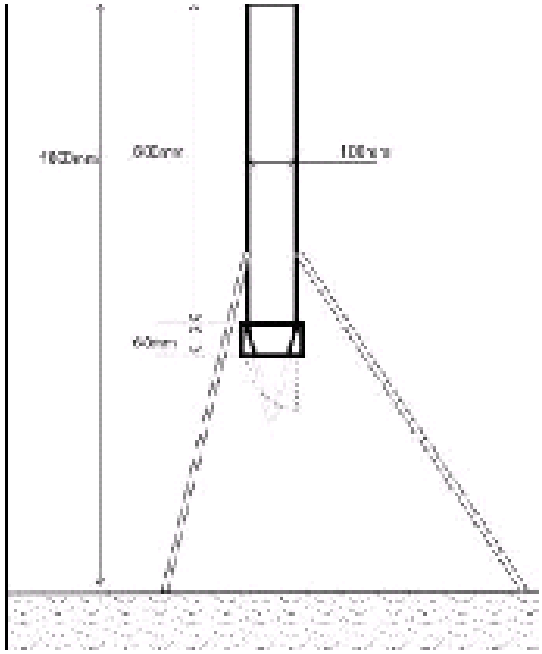
از نتایج این آزمایش به منظور ارزیابی قابلیت پرکنندگی بتن خودتراکم با حداکثر اندازه ی دانه ی 20 میلیمتر استفاد می شود. ابعاد و اندازه ی دستگاه در شکل مقابل قابل دسترسی است. ظرف از طریق لوله پرکننده پرمی شود و اختلاف ارتفاع بین دو طرف ظرف معیار سنجش قابلیت پرکنندگیSCC خواهد بود.

1تا 2 لیتر بتن تازه به داخل قیف ریخته می شود. این عمل تا زمانی که بتن موانع ردیف اول / یک پیمانه حاوی5 بالایی را پوشش می دهد ادامه می یابد. پس از به سکون رسیدن بتن اندازه گیری ارتفاع در دو نقطه از آن در طرفی ازظرف که پر شده است صورت گیرد و میانگین محاسبه شود(H1) این اندازه گیری در سمت دیگر ظرف نیز صورت می گیرد(H2) درصد پرکنندگی میانگین بدین شکل تعیین می گردد:

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.

GTM-7 (Screen stability test):

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 از بتن داخل سطل را در ظرف دیگری بریزید. ظرف حاوی بتن را وزن کنید. 4/kg تا 0/2kgکنید. بیش از 2 لیتر یا 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(Ma) 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 محاسبهپ 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: (Mb/Ma)*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):

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

افت یا انقباض خودبخود (Autogenously shrinkage)

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

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 سازه های بتنی است که نادیده گرفتن آن اثرات مخربی را به همراه دارد.اطلاعات رایج پیرامون خزش SCC محدود بوده و تحقیقات وسی عتری را م یطلبد.

انتقال – قالب ریزی – عمل آوری

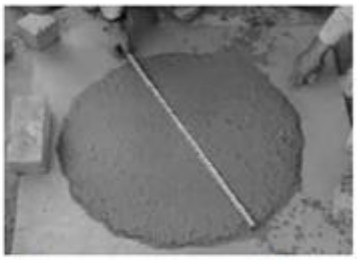
متناسب با اندازه سازه بتنی برای تولیدS.C.C ظرفیت ، تولید و زمان انتقال ،" زمان آزاد "تعیین می شود. هرگونه توقف ناخواسته تولید می تواند در ایجاد غیر یکنواختی تاثیر زیاد داشته باشد. در زیر به برخی نکات اجرایی اشاره می شود:

- 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 متر و فاصله افقی مجاز 10 متر می تواندمطلوب باشد.
- به لحاظ اتصالات سرد(پیوند بتن تازه با بتن تخت شده) ، اتصال سردS.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 شدیدS.C.C به خشک شدن زو دتر)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.

آزمایش قیف **V**-شکل بتن خودمتراکم

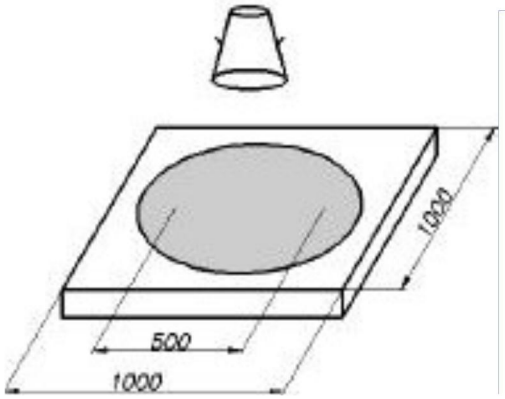
آزمایش جعبه **L**-شکل بتن خودمتراکم

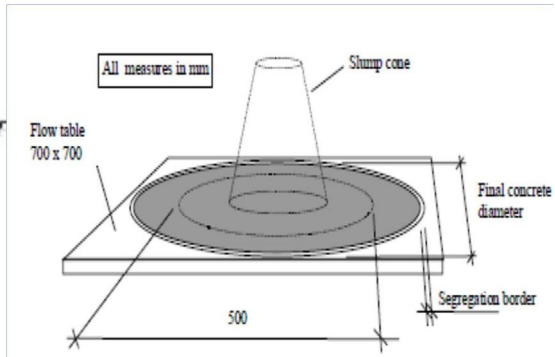


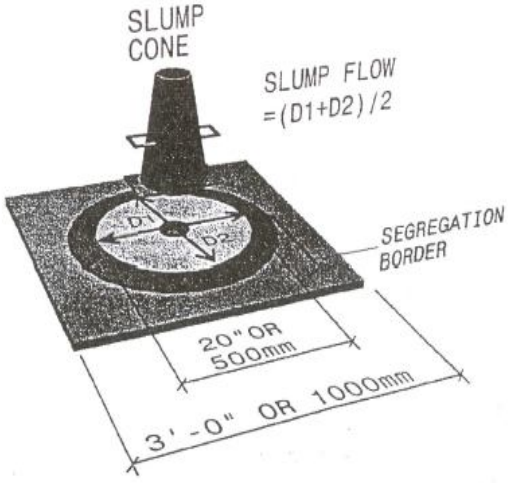
آزمایش جریان اسلامپ بتن خودمتراکم

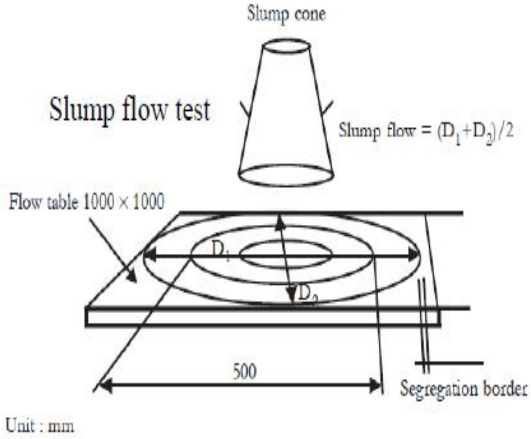
آزمایش جعبه L

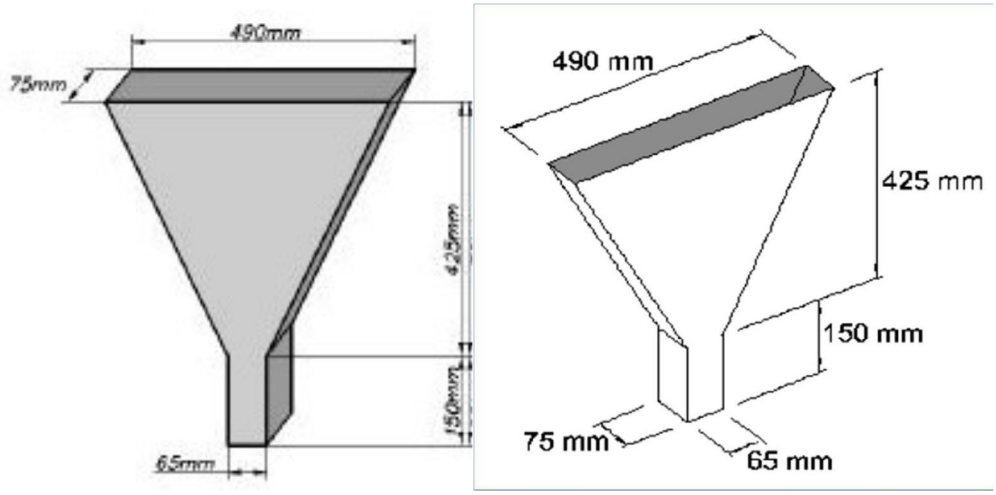
آزمایش حلقه J

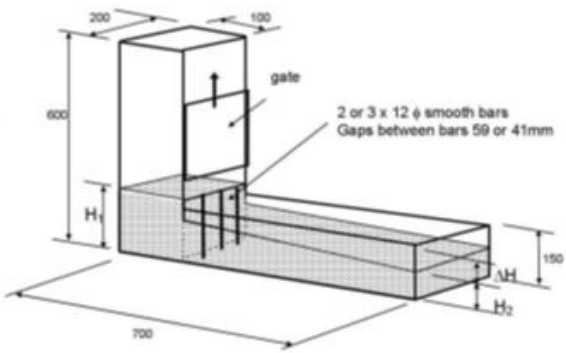


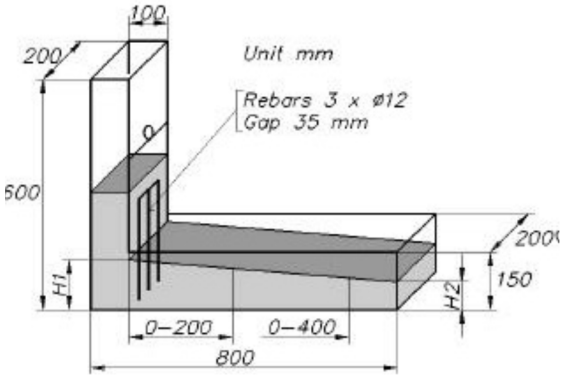


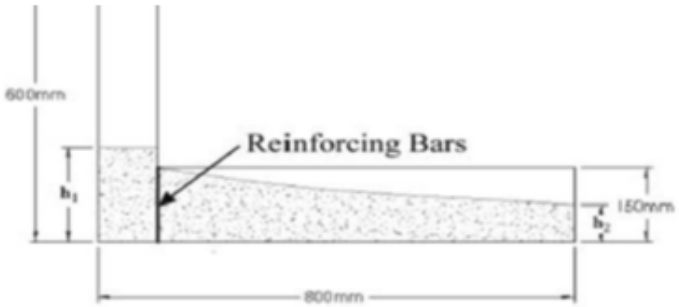




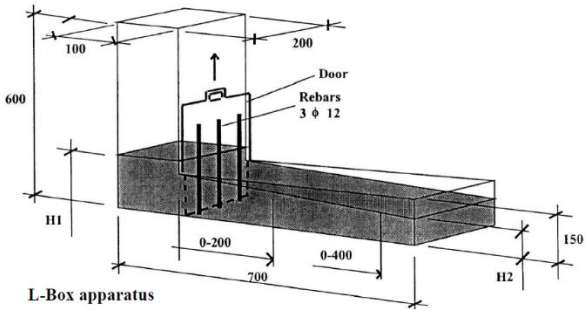




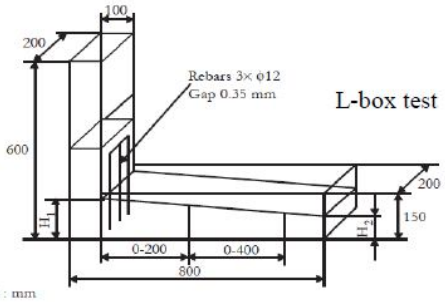




Schematic of L-box

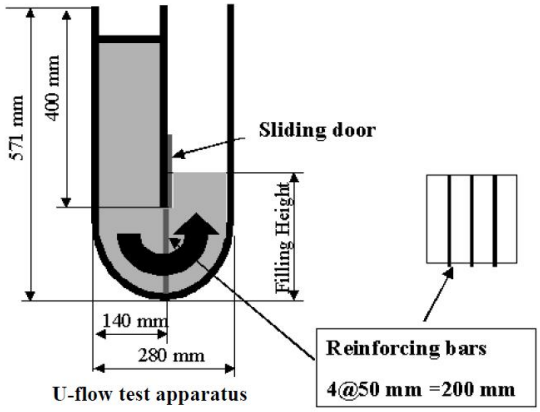


L-Box apparatus

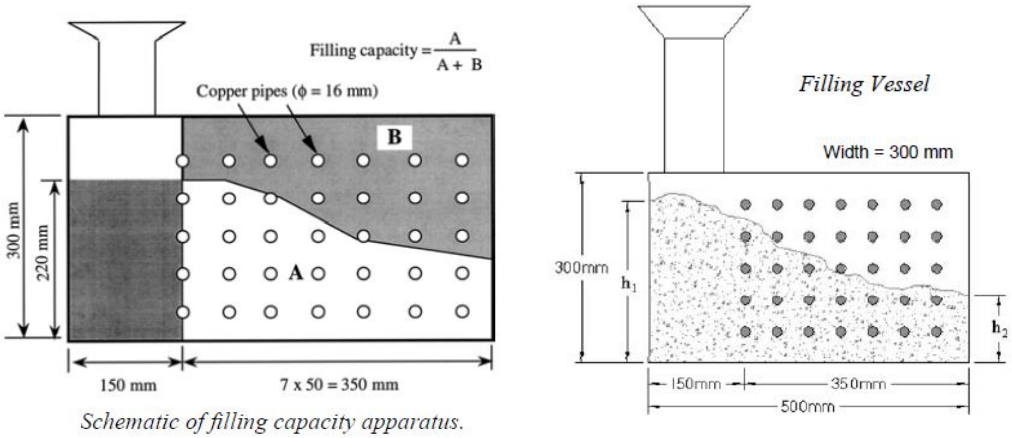


L-box test

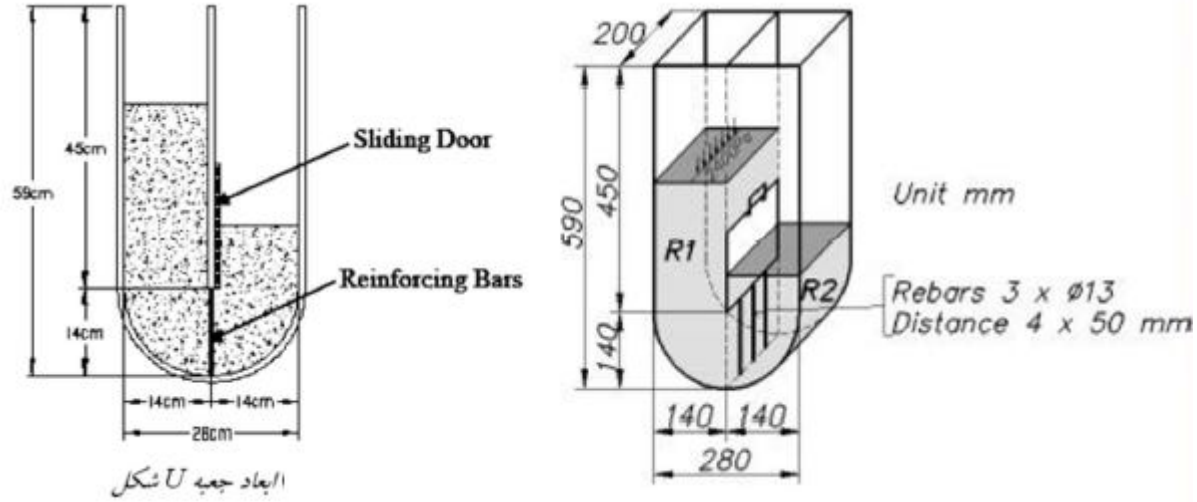
Unit : mm



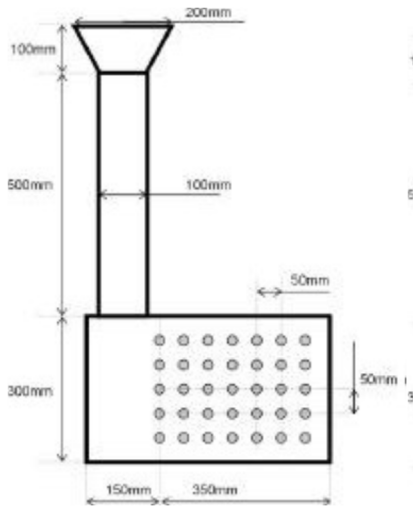
U-flow test apparatus

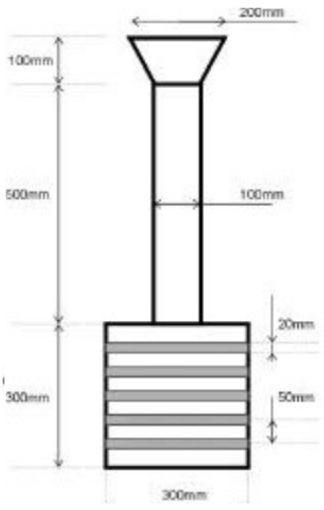


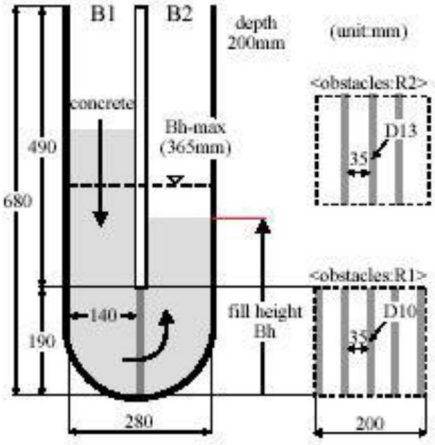
Schematic of filling capacity apparatus.

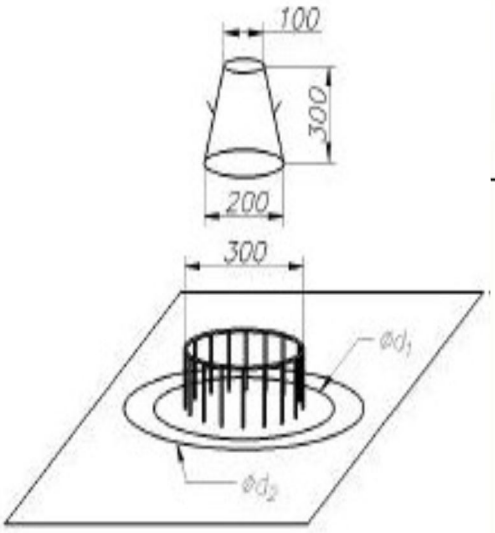


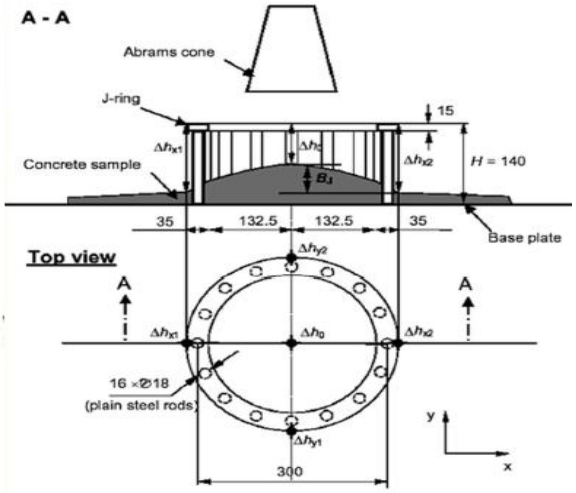
ابعاد جعبه U شکل



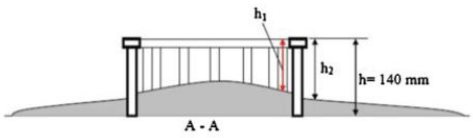


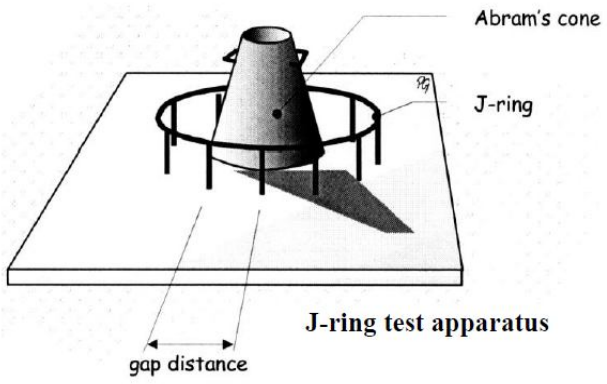




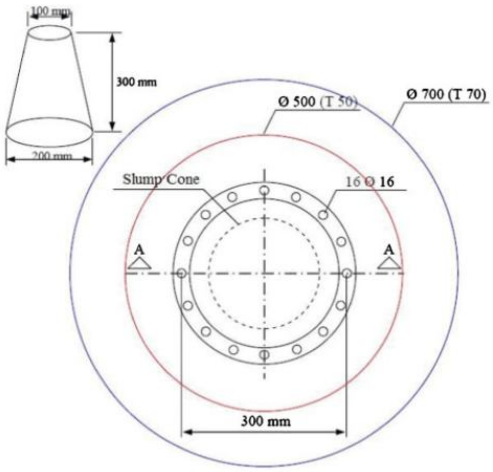


ابعاد دستگاه حلقه j





J-ring test apparatus



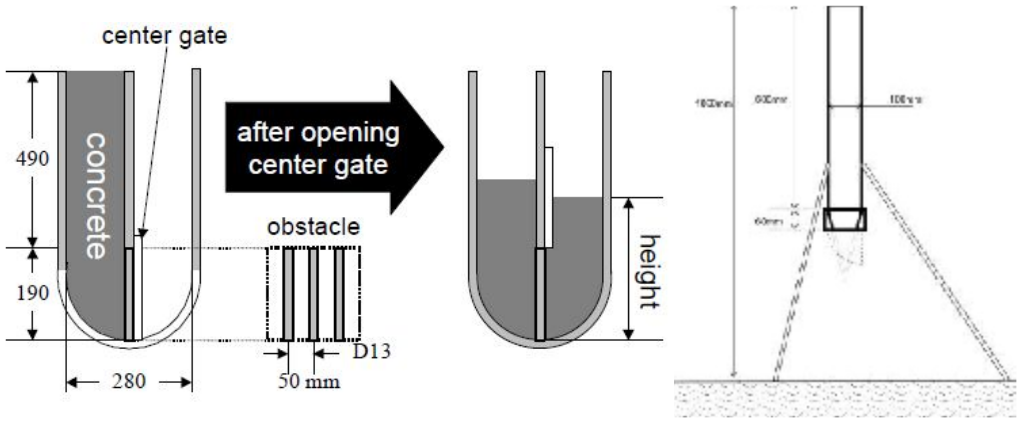


Table A.1 – Slump-Flow classes

Class	Slump-flow in mm
SF1	550 to 650
SF2	660 to 750
SF3	760 to 850

Table A.2 –Viscosity classes

Class	T_{500}, s	V-funnel time in s
VS1/ VF1	≤ 2	≤ 8
VS2/ VF2	> 2	9 to 25

Table A.3 – Passing ability classes (L-box)

Class	Passing ability
PA1	≥ 0,80 with 2 rebars
PA2	≥ 0,80 with 3 rebars

روش ها و مقادیر مطلوب آزمایش های S.C.C

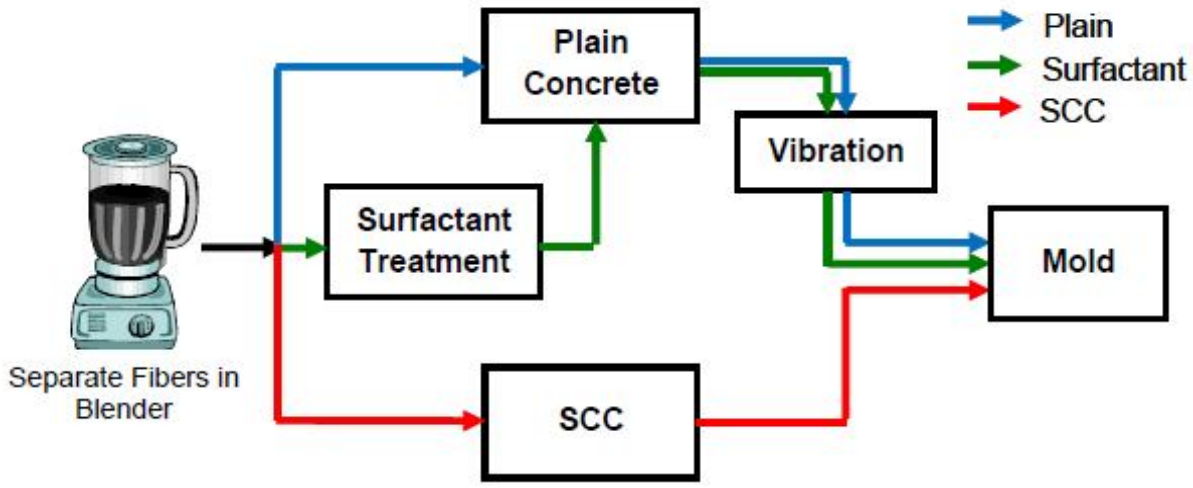
ردیف	روش	واحد	نمایانگر پارامتر	دامنه قابل قبول نتایج	
				min	max
1	جریان اسلامپ	mm	قابلیت پر کنندگی	650	800
2	اسلامپ در T50cm	sec	قابلیت پر کنندگی	2	5
3	حلقه J	mm	قابلیت عبور	0	10
4	قیف V شکل	sec	قابلیت پر کنندگی	6	12
5	قیف V شکل در T5min	sec	جدا شدگی دانه بندی	0	3
6	جعبه U شکل (h2-h1)	mm	قابلیت عبور	0	30
7	جعبه L شکل (h2/h1)	%	قابلیت عبور	80	100

Ingredients (For 1 m^3 of concrete)		Japan	Europe
Water, kg		175	190
Portland cement, kg		530	280
Fly ash, kg	Other cementitious and filler materials	70	0
Ground granulated blast furnace slag, kg			0
Silica fume, kg			0
Limestone powder, kg			245
Fine aggregate, kg		751	865
Coarse aggregate, kg		789	750
Superplasticizer, kg		9	4.2
Viscosity modifying admixture, kg		0	0
Total weight, kg		2324	2334
Slump flow test, dia (mm)		625	600-750

قطعات سگمنت تولید شده برای عرشه اصلی پروژه بزرگراه طبقاتی شهید صدر

مقایسه هزینه تولید واجرای بتن خود تراکم و بتن معمولی

هزینه (مترمکعب)	بتن معمولی		بتن خود تراکم	
	تعداد کارگر	هزینه(پوند)	تعداد کارگر	هزینه (پوند)
بتن		۳۶/۹۰		۳۸/۵۳
مواد افزودنی		۳/۵۳		۸/۳۸
قالب و مونتاژ	۲	۵/۰۴	۲	۵/۰۴
قالب گیری و تراکم	۴	۸/۴۰	۱	۳/۰۳
قالب برداری	۲	۷/۵۶	۲	۵/۰۴
پرداخت	۴	۱۸/۴۸	–	۰/۰۰
تعمیرو نگهداری وییره ها		۱/۰۰		۰/۰۰
قیمت کل		۸۰/۹۱		۶۰/۰۲
درصد کاهش هزینه	٪ ۳۴/۸			



Schematic of Divergences in Concrete Mixing Procedure

ترکیب‌های پیشنهادی آزمایش‌ها

روشهای آزمایش			ویژگی
اصلاح روش آزمایش براساس حداکثر اندازه سنگدانه	کارگاه	آزمایشگاه	
حداکثر اندازه دانه ۲۰ میلی‌متر	۱ـ جریان اسلامپ ۲ـ جریان اسلامپ T50cm ۳ـ قیف V ۴ـ اُریمت	۱ـ جریان اسلامپ ۲ـ جریان اسلامپ T50cm ۳ـ قیف V ۴ـ اُریمت	قابلیت پرکنندگی
تغییر اندازه دهانه در آزمایش‌های جعبه L، جعبه U و حلقه J	۱ـ حلقه J	۱ـ جعبه L ۲ـ جعبه U ۳ـ جعبه Fill	قابلیت گذرندگی
ـــــــــ	۱ـ آزمایش GTM ۲ـ قیف T5min V	۱ـ آزمایش GTM ۲ـ قیف T5min V	مقاوت در برابر جداشدگی

روشهای سنجش خواص کارآیی SCC

ردیف	روش	ویژگی مورد سنجش
۱	جریان اسلامپ	قابلیت پرکنندگی
۲	جریان اسلامپ T50cm	قابلیت پرکنندگی
۳	حلقه J	قابلیت گذرندگی
۴	قیف V	قابلیت پرکنندگی
۵	قیف T5min V	مقاوت در برابر جداشدگی
۶	جعبه L	قابلیت گذرندگی
۷	جعبه U	قابلیت گذرندگی
۸	جعبه Fill	قابلیت گذرندگی
۹	غربال سنجش پایداری GTM	مقاوت در برابر جداشدگی
۱۰	اُریمت	قابلیت پرکنندگی

شرایط ضوابط پذیرش برای بتن خودتراکم

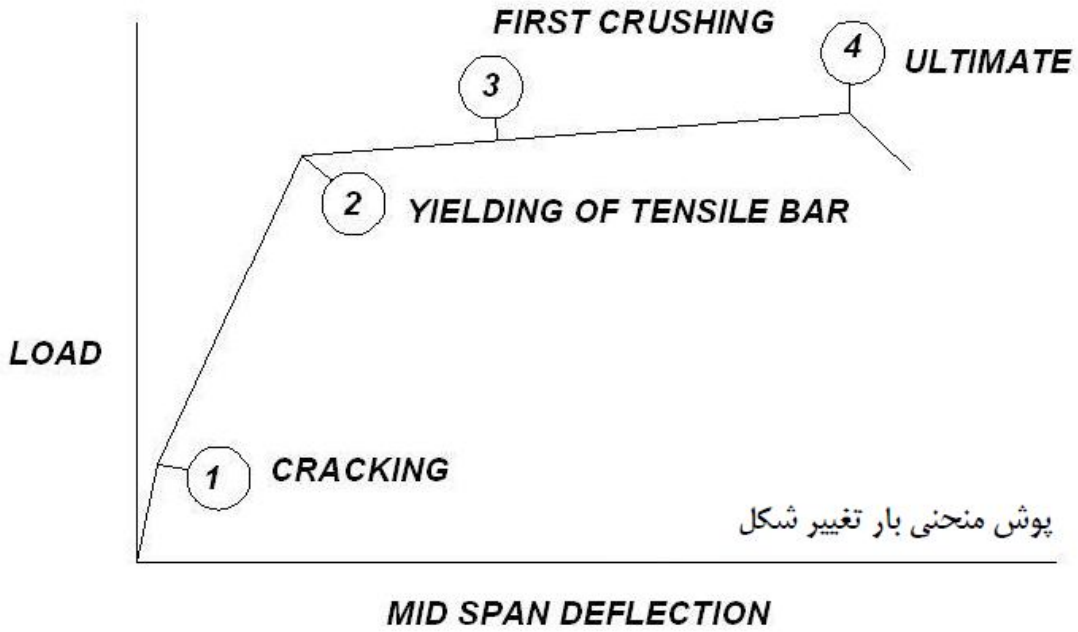
ردیف	روش آزمایش	واحد	حدود تغییرات اندازه‌ها	
			حداقل	حداکثر

۱	جریان اسلامپ	**mm**	۶۵۰	۸۰۰
۲	جریان اسلامپ T50cm	**sec**	۲	۵
۳	حلقه J	**mm**	۰	۱۰
۴	قیف V	**sec**	۶	۱۲
۵	قیف V T5min	**sec**	۰	+۳
۶	جعبه L	$(\frac{h2}{h1})$	۰/۸	۱
۷	جعبه U	**(h2-h1)mm**	۰	۳۰
۸	جعبه Fill	٪	۹۰	۱۰۰
۹	غربال سنجش پایداری GTM	٪	۰	۱۵
۱۰	اُریمت	**sec**	۰	۵

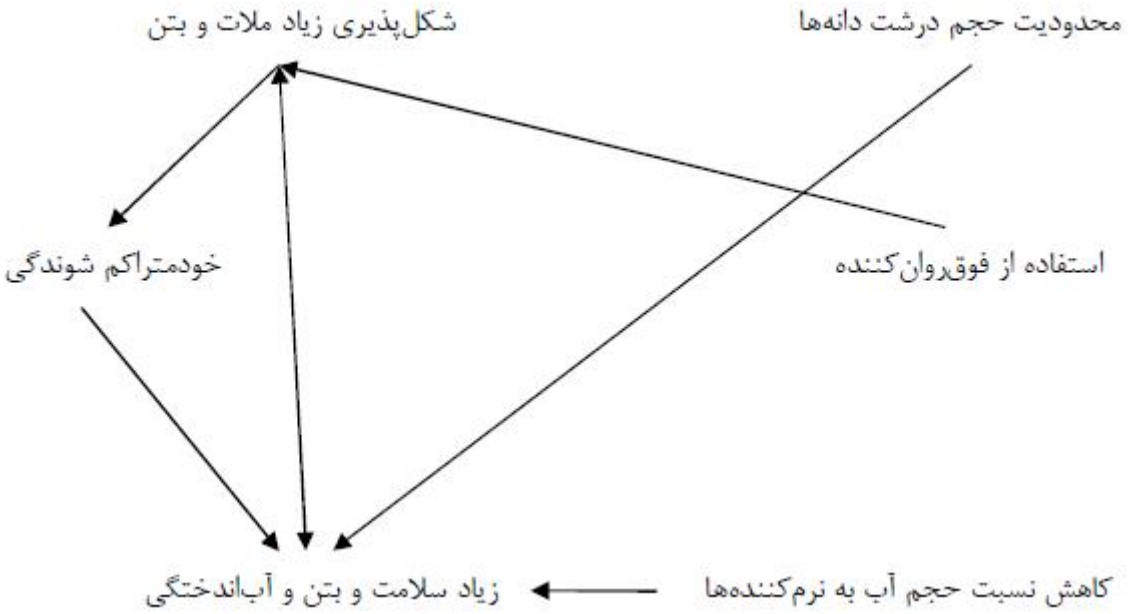
- استفاده از افزودنی یا نوعی دیگر از پرکننده (در صورت در دسترس بودن)
- بازبینی خواص شن و ماسه
- استفاده از یک عامل اصلاح لزجت
- استفاده از نوع دیگری از فوق روان‌کننده که با مصالح محلی سازگارتر باشد.
- تنظیم نسبت افزودنی‌ها به منظور اصلاح مقدار آب و براساس آن اصلاح محتوای پودری

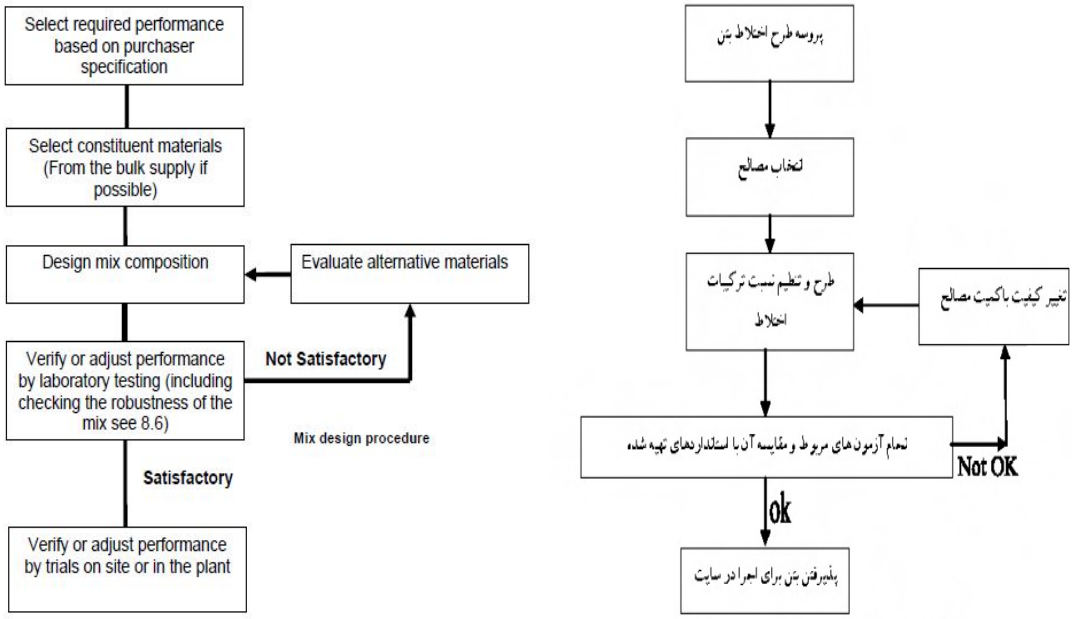
۱- افت شیمیایی بدلیل هیدراتاسیون سیمان

۲- انبساط دمایی بدلیل افزایش دما در بتن



پوش منحنی بار تغییر شکل


شکل‌پذیری زیاد ملات و بتن
محدودیت حجم درشت دانه‌ها
خودمتراکم شوندگی
استفاده از فوق‌روان‌کننده
زیاد سلامت و بتن و آب‌اندختگی
کاهش نسبت حجم آب به نرم‌کننده‌ها


Select required performance based on purchaser specification
Select constituent materials (From the bulk supply if possible)
Design mix composition
Evaluate alternative materials
Verify or adjust performance by laboratory testing (including checking the robustness of the mix see 8.6)
Not Satisfactory
Satisfactory
Verify or adjust performance by trials on site or in the plant
Mix design procedure
پروسه طرح اختلاط بتن
انتخاب مصالح
طرح و تنظیم نسبت ترکیبات اختلاط
تغییر کیفیت یا کمیت مصالح
انجام آزمون های مربوط و مقایسه آن با استانداردهای تهیه شده
Not OK
ok
پذیرفتن بتن برای اجرا در سایت

جدول ۱- *مقایسه هزینه مصالح بتن خود تراکم و بتن معمولی(با مقاومت حدود ۴۰MPa)*

مصالح	بتن معمولی	بتن خودتراکم	قیمت/ تن	تفاوت هزینه
	مقدار	مقدار	(روپیه)	(روپیه)
سیمان (kg)	۳۹۵	۳۰۰	۳۰۰۰	-۲۸۵
خاکستر بادی (kg)	۱۳۰	۱۷۰	۱۵۰۰	+۶۰
سنگدانه (۲۰mm) (kg)	۶۳۹	۸۴۲	۳۷۰	+۷۵/۱۱
سنگدانه (۱۰mm) (kg)	۴۶۲	۰	۳۷۰	-۱۷۰/۹۴
ماسه شکسته (kg)	۰	۲۳۵	۸۵۰	+۱۹۹/۷۵
ماسه معمولی (kg)	۶۶۰	۷۴۵	۹۰۰	+۷۶/۵
ماده افزودنی (PCE) (lit)	-	۴/۲۳	۱۴۰	+۵۹۲/۲
ماده افزودنی (VMA) (lit)	-	۱/۴۱	۴۰	+۵۶/۴
ماده افزودنی (SNF) (lit)	۵/۲۵	-	۳۳	-۱۷۳/۲۵
کل تفاوت قیمت				+٤۳۰/۷۷
در صد افزایش هزینه				٪۱٦/۸

جدول ۱ - مقایسه تولید بتن

نرخ تولید	٤ یارد در ساعت
بارگیری در روز	٦
روز در هفته	٥
حجم هر بارگیری	۹/٥ یارد
تخلیه بتن عادی	۲۰ دقیقه
تخلیه بتن SCC	۲ دقیقه
سود در دقیقه	۲/۷ سنت
زمان صرفه جویی شده	۱۸ دقیقه
سود در هر بارگیری	۱۲/۰۰ دلار
سود معادل هر یارد	۱/۲٦ دلار

جدول ۲ - مقایسه اجرای بتن

قیمت فروش	٤٥دلار در هر فوت مربع
مساحت بتن ریزی	٥۰۰۰فوت مربع
حجم بتن مورد نیاز	۱٦۰ یارد

جدول ۳- هزینه پرسنل

اپراتور ماشین	۱۲/٥۰ دلار در ساعت
پرداخت کار	۱۰/٥۰ دلار در ساعت
کمک پرداخت کار	۹/۰۰ دلار در ساعت
کارگر	۷/٥۰ دلار در ساعت

جدول ٥ : پرسنل لازم برای بتن SCC

الف - ریختن بتن

	تعداد	ساعت
اپراتور ماشین	۱	٤
پرداخت کار	۱	٤
کمک پرداخت کار	۱	٤
کارگر	۲	٤

ب - تسطیح بتن

	تعداد	ساعت
اپراتور ماشین	۲	۲
پرداخت کار	۱	۲
کمک پرداخت کار	۱	۲
کارگر	۲	۲

جدول ٦ : پرسنل لازم برای بتن عادی

الف - ریختن بتن

	تعداد	ساعت
اپراتور ماشین	۲	٦
پرداخت کار	٤	٦
کمک پرداخت کار	۱	٦
کارگر	٦	٦

ب - تسطیح بتن

	تعداد	ساعت
اپراتور ماشین	۲	٦
پرداخت کار	۳	٦
کمک پرداخت کار	۱	٦
کارگر	۲	٦

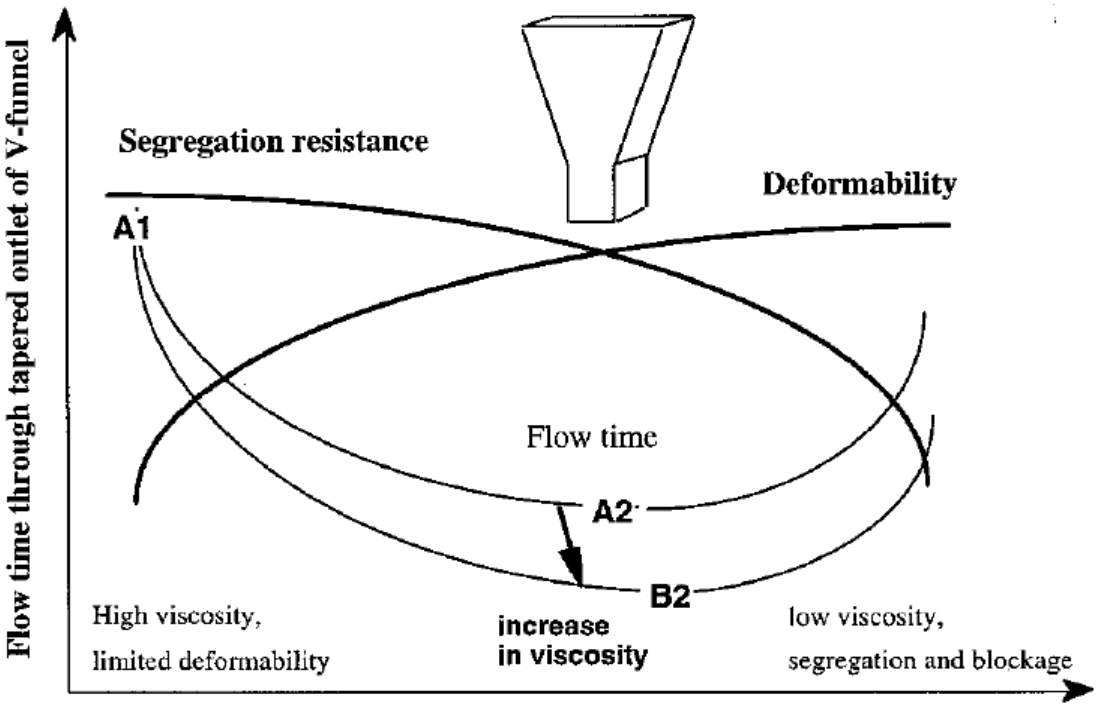
جدول ۸ – محاسبه هزینه و سود نهایی (دلار)

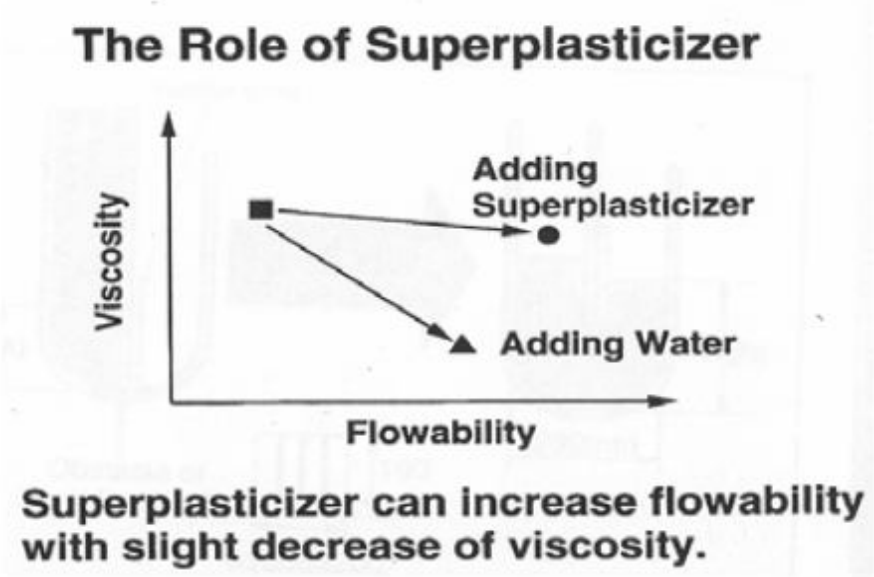
	بتن عادی	بتن SCC
قیمت فروش	۲۰۰۰۰	۲۰۰۰۰
هزینه بتن	۸۹۶	۹۵۱۳
هزینه پمپ	۱۰۹۰	۸۲۰
ریختن و تسطیح	۱۲۰۹	۳۰۷
مصالح و سایر عوامل	۷۵۰۰	۸۰۰۰
سود ناخالص	۱۲۴۱	۱۳۶۰

سود ناخالص بتن عادی	۱۲۴۱ دلار
سود ناخالص بتن SCC	۱۳۶۰ دلار
اختلاف سود	۱۱۹ دلار

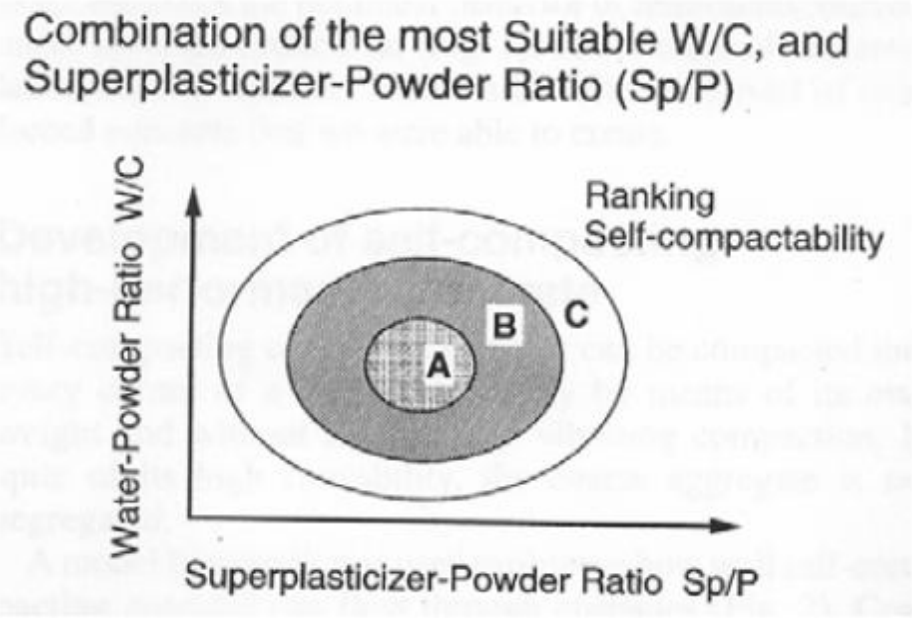
طرح اختلاط SCC

	واحد	مقدار
نسبت آب به مصالح سیمانی	درصد	۳۰/۵
نسبت Fly Ash به مصالح سیمانی	درصد	۲۰/۰
آب	کیلوگرم در متر مکعب	۱۷۵
سیمان	کیلوگرم در متر مکعب	٤٥٧
Fly Ash	کیلوگرم در متر مکعب	۱۱۸
ماسه	کیلوگرم در متر مکعب	۸٤۰
شن	کیلوگرم در متر مکعب	۷٤٤
روان کننده	درصد	۱/۰

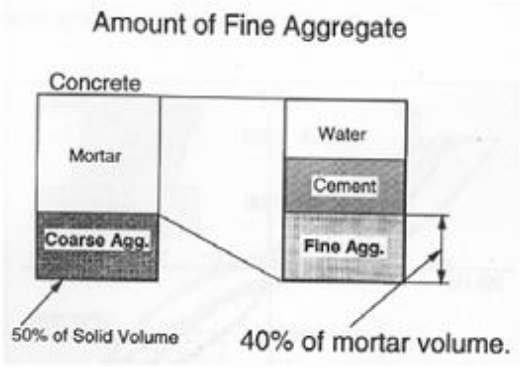




Effects of superplasticizer. (Okamura)



Optimum combination of superplasticizer and w/c ratio. (Okamura)



Proper fine aggregate content for SCC as recommended by Okamura.

شاخص پایداری ظاهری (VSI)

عدد VSI	معیار
۰	هیچ نشانه‌ای از جداشدگی و حباب هوا در آزمایش، مخلوط‌کن و یا فرغون مشاهده نمی‌شود.
۱	هیچ نشانه‌ای از تمرکز سنگدانه‌ها یا ملات مشاهده نمی‌شود، ولی مقداری آب انداختگی و حباب هوا بر سطح بتن در آزمایش، مخلوط‌کن و یا فرغون مشاهده می‌شود.
۲	اندکی تمرکز سنگدانه و یا ملات مشاهده می‌شود و آب انداختگی قابل توجه در فرغون و مخلوط‌کن وجود دارد. همچنین در آزمایش، میزان آب انداختگی پیرامون دایره بتن کمتر از ۲۰mm است.
۳	جدا شدگی ملات و سنگدانه کاملا مشهود است و تمرکز سنگدانه در مرکز دایره بتن دیده می‌شود. میزان آب انداختگی پیرامون دایره بتن بیشتر از ۲۰mm است.

فوق روان‌کننده‌ها

افزودنی‌های فوق روان‌کننده، دارای خاصیت ایجاد زودرس مقاومت و افزایش داوم می‌باشند. افزودنی‌های شیمیایی فوق روان‌کننده بر پایه کربوکلسیکاتو(PCE) و افزودنی اصلاح کننده قوام (VWA) جهت تولید بتن خود متراکم به کار می‌رود. از آنجایی که ساخت افزودنی‌های شیمیایی بر پایه (PCE) جهت کاربردهای خاص و مختلف بسیار مناسب می‌باشد، لذا توسعه افزودنی‌های نوین با خاصیت مقاوم‌دهی زودرس برای مخلوطهای بتن خود متراکم را امکان پذیر نموده است. همچنین در فوق روان کننده‌ها (VWA) میزان درجه ویسکوزیته در همگن بودن و عدم جداشدگی بتن نقشی مهم ایفا می‌کند.

فوق روان‌کننده‌های هوازا (AEA) برای ایجاد مقاومت در برابر سیلک‌های یخ زدگی وذوب آن و دیرگیرکنندگی کاربرد دارد.

فوق روان‌کننده‌های (MRWR) جهت کاهش مصرف آب در حد متوسط بکار می‌روند و قابلیت‌های زیر را به بتن می‌دهند.

- افزایش قابلیت پرداخت
- افزایش قابلیت پمپاژ
- استقرار بدون ویبره
- ایجاد گیرایی کنترل شده
- ایجاد کارایی مناسب
- افزایش گیرش اولیه و نهایی
- افزایش حفظ یکپارچگی

لازم به ذکر است نقش روان کننده‌ها در طرح اختلاط آن است که باعث جدایی دانه‌های سیمان از یکدیگر می‌شود و به این ترتیب باعث پخش شدگی گسترده دانه‌های سیمان در بتن در حین انجام اختلاط شده و نهایتا باعث کم شدن نسبت آب به سیمان می‌گردد.

لازم به ذکر است روان کننده‌ها اصطکاک بین سنگ دانه‌ها را تغییر نمی‌دهد و اگر از روان‌کننده‌ها بیشتر از میزان مناسب استفاده شود، باعث از بین رفتن چسبندگی در بتن شده و نهایتا منجربه از بین رفتن گیرایی می‌گردد.

$$Ec = 0.041 W^{1.5} \sqrt{f'_c}$$

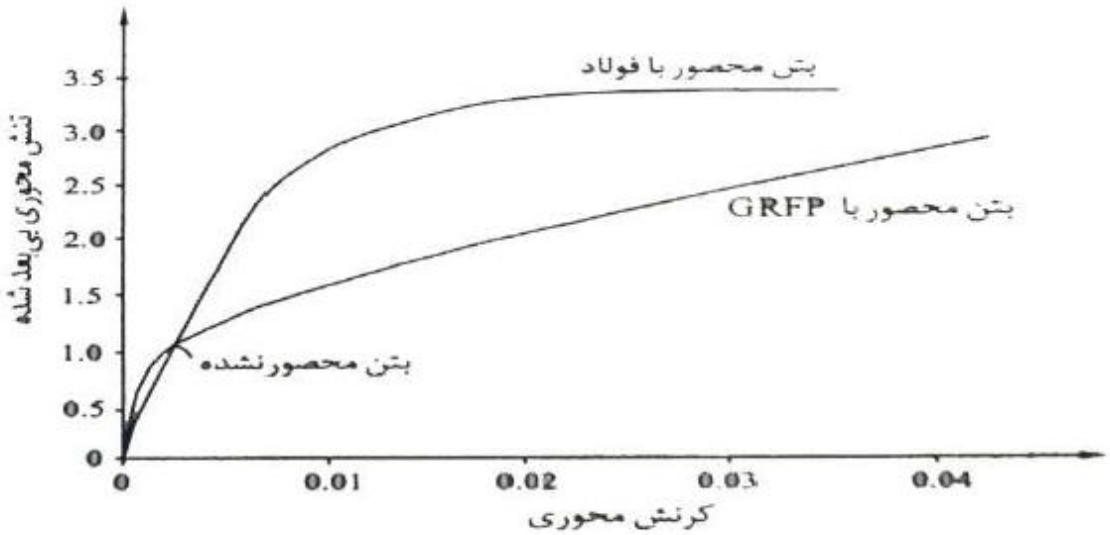
مدول الاستیسیته استاتیکی نمونه های بتن خود متراکم

مدول الاستیسیته استاتیکی (GPa)			
۳ روزه	۷ روزه	۱۴ روزه	۲۸روزه
۱۸.۰۶	۲۱.۵۸	۲۲.۱۰	۲۳.۹۰

$$Ed = \rho_c V^2 \left(\frac{(1+\mu)(1-2\mu)}{(1-\mu)} \right)$$

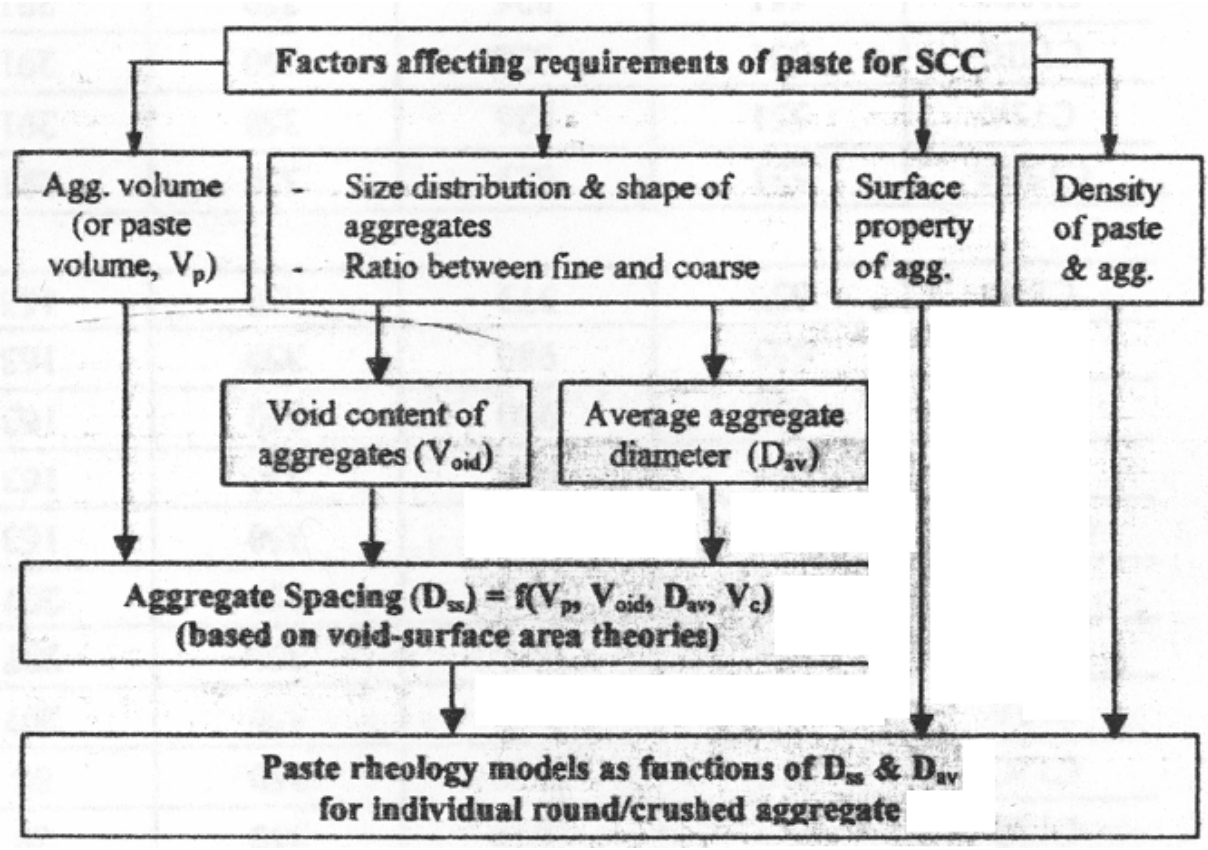
مدول الاستیسیته دینامیکی نمونه های بتن خود متراکم

ردیف	مدول الاستیسیته دینامیکی (GPa)			
طرح اختلاط نهایی	۳ روزه	۷ روزه	۱۴ روزه	۲۸روزه
زمان عبور موج (میکرو ثانیه)	۱۰۶.۴۸	۱۰۱.۵	۹۸.۸۴	۹۶.۵
سرعت موج ($\frac{km}{s}$)	۰.۴۲	۰.۴۴	۰.۴۵	۰.۴۶
Ed	۴۴.۲۵	۴۷.۹۶	۵۱.۳۴	۵۳.۸۸



طرح اختلاط بتن خود متراکم برای یک متر مکعب

نوع بتن	فوق روان ساز	سیمان	میکرو سیلیس	پودر سنگ	آب	ماسه	شن
طرح اصلی	۸	۴۵۰	۵۰	۷۳	۲۲۵	۶۵۷	۸۵۲



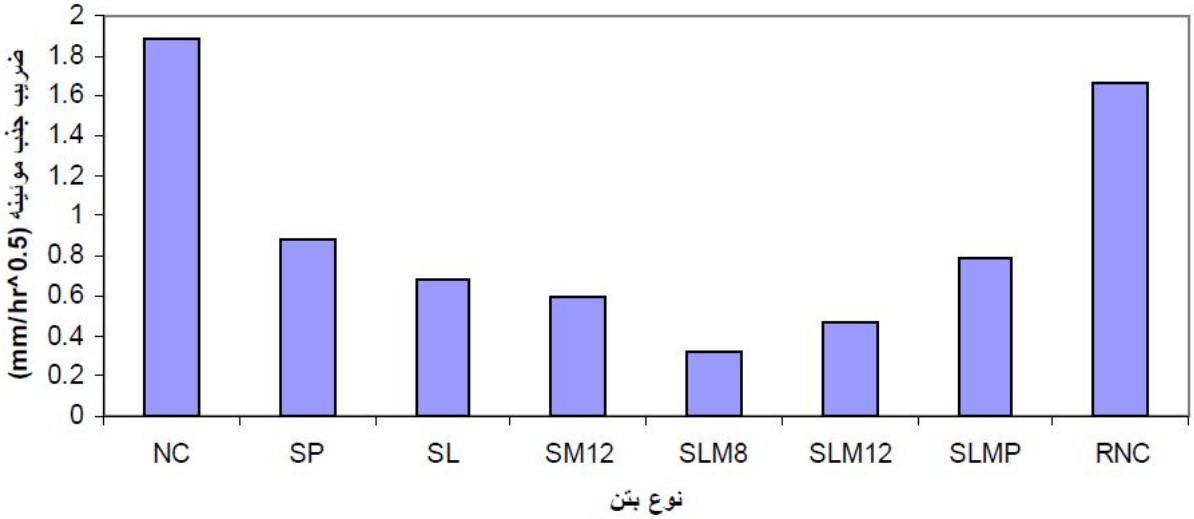
Static stability	Maximum surface settlement ≤ 0.5% Column segregation index (Iseg) ≤ 5% Percent static segregation (S) ≤ 15
Viscosity	Plastic viscosity ≤ 0.073 psi.s (500 Pa.s) *(Modified Tattersall two-point rheometer with vane device)*
Mechanical properties	Core-to-cylinder compressive strength ≥ 90% (similar curing conditions) Bond strength modification factor ≤ 1.4

برای بدست آوردن مخلوط همگن

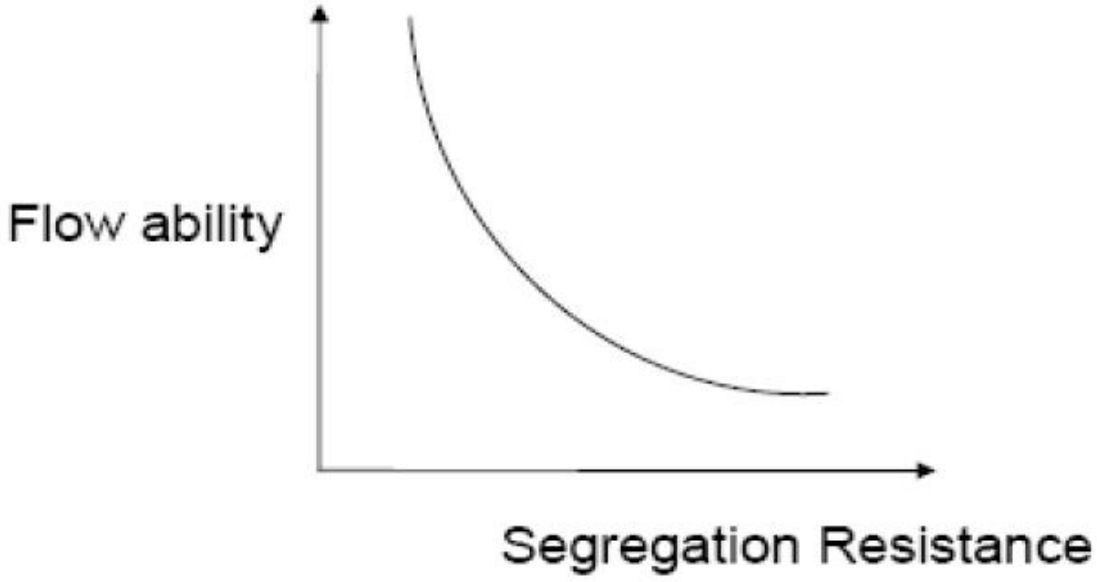
حجم درشت دانه نسبت به حجم مخلوط بتن	28-32%
حجم خمیر (Paste) نسبت به حجم مخلوط بتن	34-40%
حجم ملات (Mortar) نسبت به حجم مخلوط بتن	68-72%
W/C	0.32-0.45
مقدار مواد سیمانی	385-475 kg/m^3

معرفی نمونه ها

ردیف	نوع بتن	نام اختصاری
۱	بتن پایه معمولی	**BNC**
۲	بتن تعمیری معمولی	**RNC**
۳	بتن خودمتراکم با پودر	**SP**
۴	بتن خودمتراکم با لاتکس	**SL**
۵	بتن خودمتراکم با ۱۲٪ میکروسیلیس	**SM_12**
۶	بتن خودمتراکم با لاتکس و ۸٪ میکروسیلیس	**SLM_8**
۷	بتن خودمتراکم با لاتکس و ۱۲٪ میکروسیلیس	**SLM_12**
۸	بتن خودمتراکم با لاتکس و ۸٪ میکروسیلیس و الیاف پلی پروپیلن	**SLMP**



روانی فوق العاده زیاد ⬅ افزایش احتمال ناپایداری



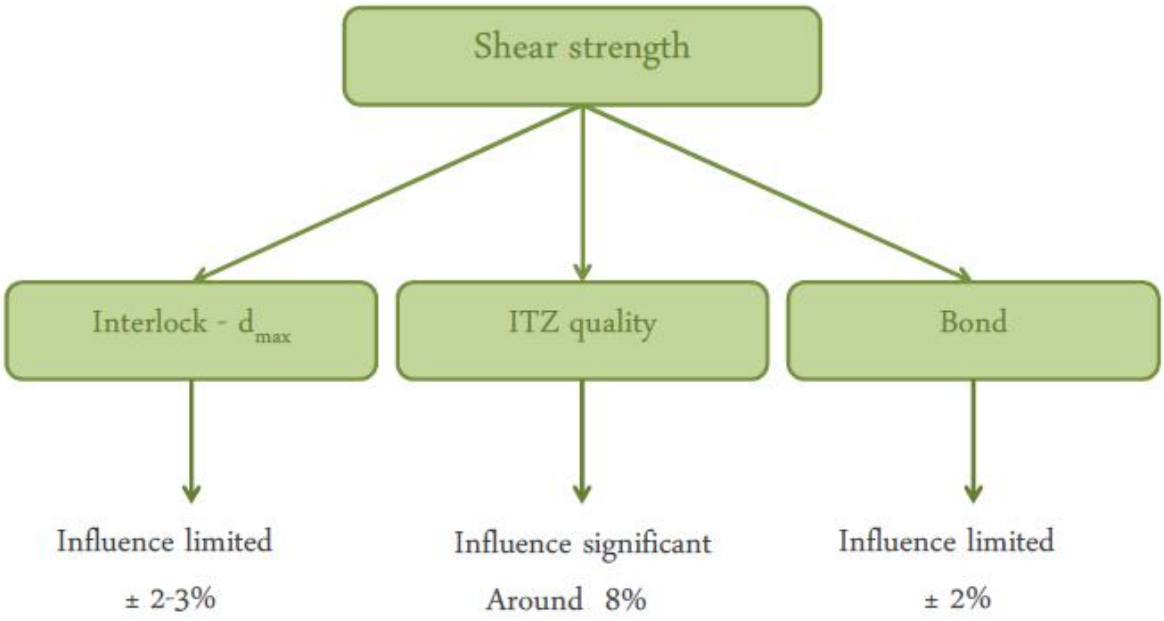
برای سازه های با تراکم کم آرماتورها ---------- ۵۵۰ تا ۶۵۰ میلیمتر
برای کاربردهای متداول ---------- ۶۶۰ تا ۷۵۰ میلیمتر
- - برای بتن ریزی در راستای قائم یا مقاطع پرآرماتور---------- ۷۶۰ تا ۸۵۰ میلیمتر

– Low coarse aggregate (CA) content.
– High cement content (typically).
– Cement replacement with fly ash or slag cement.
– High range water reducer and plasticizers.
– Viscosity Modifying Admixture (VMA)

Mixing process

- Conventional Concrete, SCC, UHPC
- Pore structure / Air void system
- Rheology
- Mechanical properties
- Durability

Mechanical properties



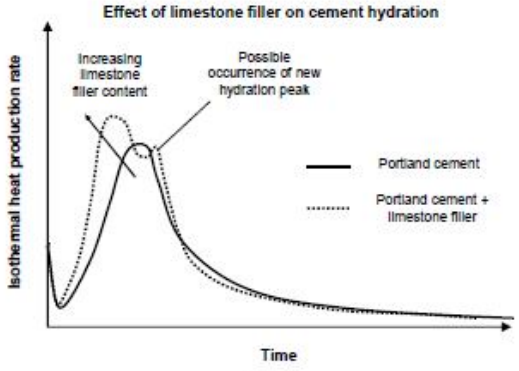
Estimated energy saving

	Current production method	Pumping SCC
Mixing Energy	0.4 GWh	0.6 GWh
Transport Energy	0.2 GWh	0.042 GWh
Compaction Energy	1.0 GWh	0.0 GWh
Finishing Energy	Neglected	Neglected
Total Energy	1.6 GWh	0.642 GWh

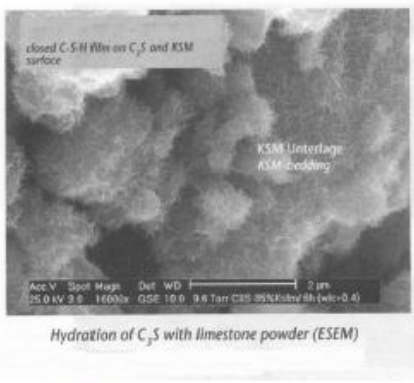
Energy saving: about 60% of actual energy consumption

Selection of materials and mix design

Chemical effect

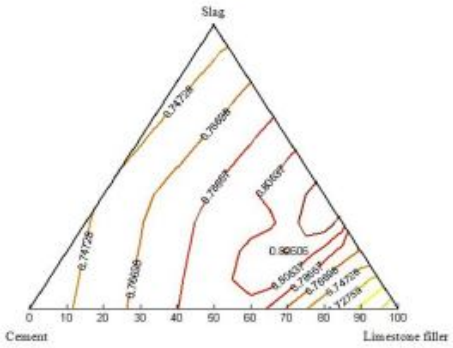


Physical effect

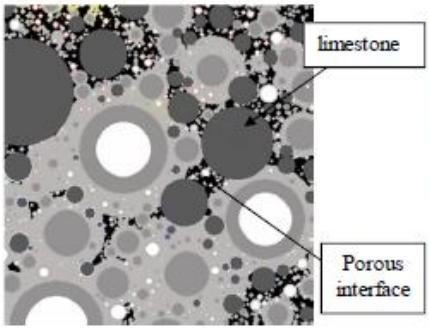


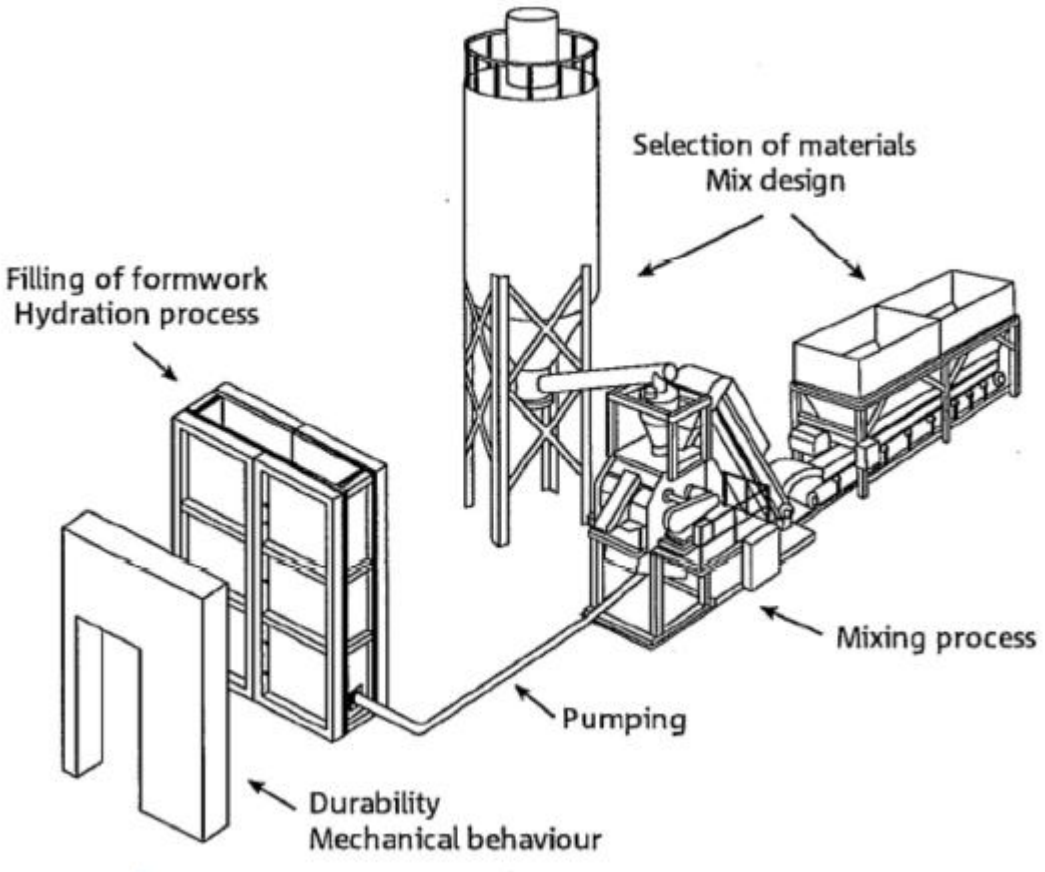
Hydration of C_3S with limestone powder (ESEM)

Filler effect



Dilution effect





Cementitious Materials

Cement

Type I, II, III

Particle size; ~ 25 to 40 microns

Pozzolans,

Fly ash, Class F and C

Ground glass

Rice hull ash

Sugar Cane Ash

Highly reactive pozzolans

Particle size, ~ 0.1 to 50 microns

Slag

GGBFS, grade 100 or 120

Particle size, ~ 20 to 40 microns

Regular Concrete

Cement, Aggregate, and water

Geopolymer (*Green* concrete)

Fly Ash and Regular

Concrete

High Strength Concrete ~<0.35%

Silica Fume

Strong Aggregates

Ultra High Performance Concrete (UHPC)

Cement

Coarse/Fine Aggregate

Air

Silica Fume

Polypropylene Fibers

Factors affecting:

1. **Water Content**
2. **Size of Aggregates**
3. **Shape of Aggregates**
4. **Mix proportions**
5. **Grading of Aggregates**
6. **Surface Texture of Aggregates**

Plastic Shrinkage

Drying Shrinkage

Autogeneous Shrinkage

Carbonation Shrinkage

Types of concrete

- Regular concrete
- High-strength concrete
- Stamped concrete
- High-performance concrete
- Self-consolidating concretes
- Vacuum concretes
- Shotcrete
- Pervious concrete
- Cellular concrete,
- Cork-cement composites
- Roller-compacted concrete
- Glass concrete
- Asphalt concrete
- Rapid strength concrete
- Rubberized concrete
- Polymer concrete
- Geopolymer or green concrete
- Limecrete
- Refractory Cement
- Concrete cloth
- Innovative mixtures
- Gypsum concrete

Physical Properties of Portland Cements

1) Fineness,
2) Soundness
3) Consistency
4) Setting time
5) Compressive strength
6) Heat of hydration
7) Loss of ignition

Properties of concrete

- Strength
- Elasticity
- Cracking
- Shrinkage cracking
- Tension cracking

General test methods

- Compaction Factor Test (Compacting Factor Test, Glanville)
- Compaction Test
- Free Orifice Test (Orimet Test)
- K-Slump Tester
- Free Flow Test Methods
- Slump Test
- Modified Slump Test
- Slump Rate Machine
- Kelly Ball Test
- Ring Penetration Test
- Cone Penetration Test
- Moving Sphere Viscometer
- Flow Trough Test
- Delivery-Chute Torque Meter
- Delivery-Chute Depth Meter
- Surface Settlement Test

Common Concrete Problems

Discoloration
Dusting
Cracking
Plastic shrinkage cracking
Crazing
Scaling
Curling
Blisters
Delamination
Pop Outs

Special Concretes

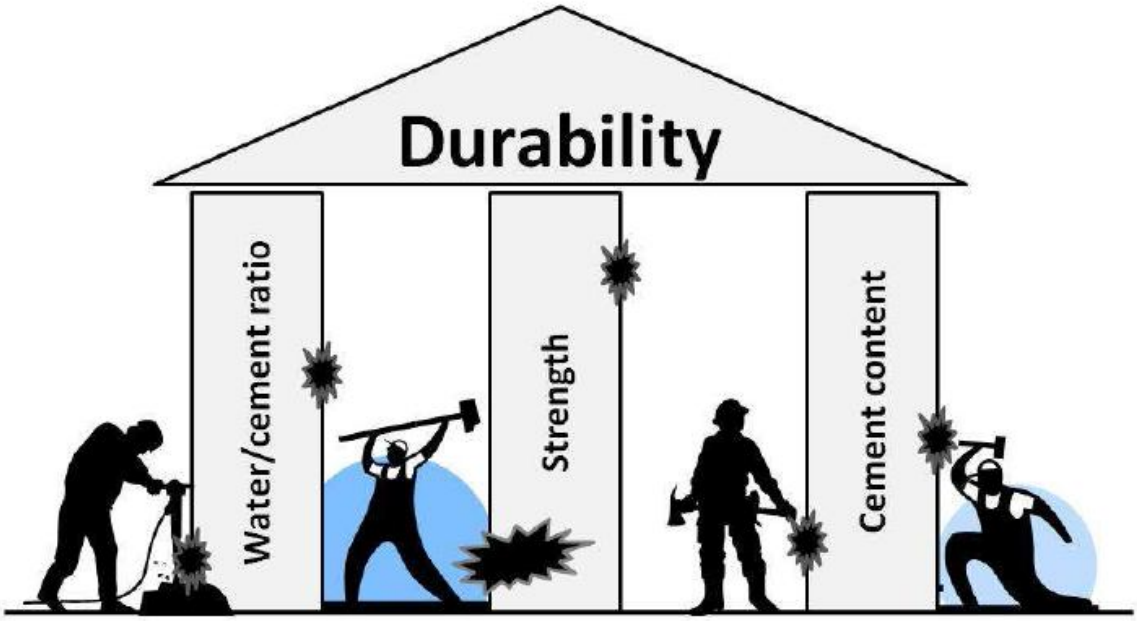
- High Strength or High Performance Concrete
- Fibre Reinforced Concrete
- Lightweight Concrete
- Shotcrete
- Self Compacting Concrete

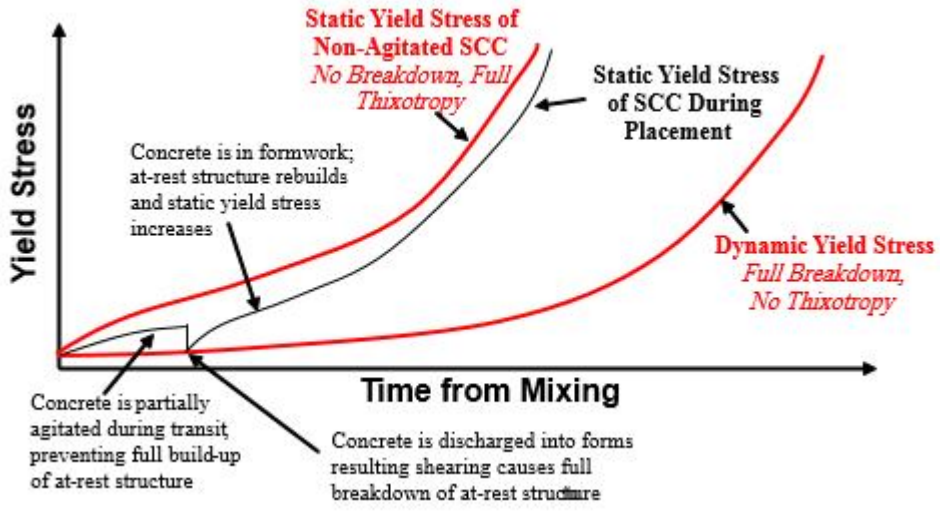
Deterioration due to Physical Effects

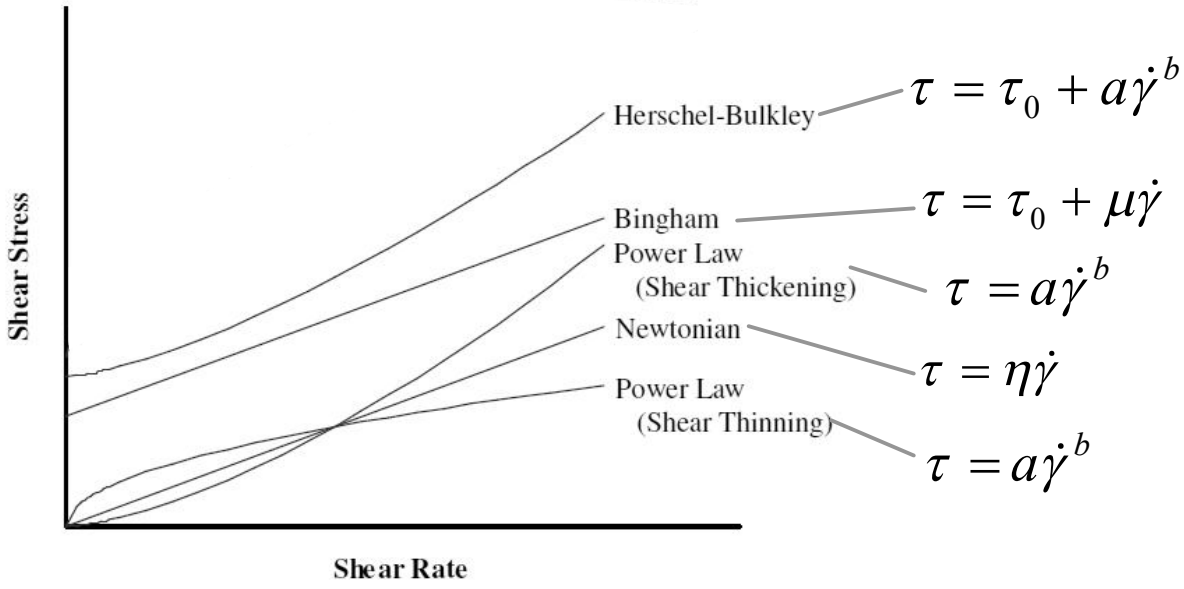
- Frost (Freeze-Thaw) Attack
- Fire Damage
- Thermal Cycles
- Shrinkage Stresses

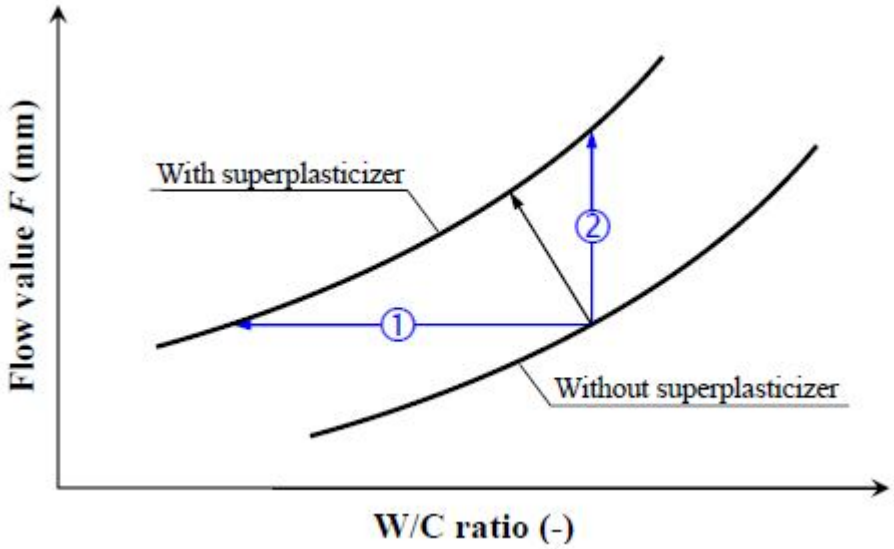
Increasing the Durability of Concrete

- Proper mix design
- Reduction of cracking
- Optimum cover thickness
- Adequate compaction and curing
- Quality of construction
- Correct maintenance









Chemical composition of the pozzolanic additions (%)

Composition (%)	Silica fume (SF)	Ground granulated blast furnace slag (GGBFS)	Fly ash (FA)	Clinoptilolite type zeolite (CZ)
SiO_2	95.24	41.24	52.75	71.42
Fe_2O_3	1.95	0.28	7.69	2.73
Al_2O_3	0.34	36.37	22.60	12.61
CaO	0.58	1.30	7.02	2.73
MgO	0.56	9.83	1.89	0.67
Na_2O	0.37	0.41	1.05	0.53
K_2O	1.64	0.79	3.24	4.13

Preparing the mix composition of the reference mortar

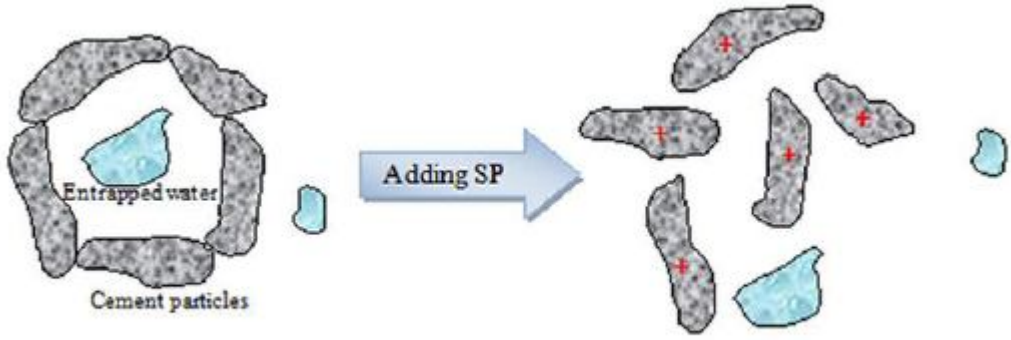
Mix composition:	Reference concrete mix (con1)	More robust concrete mix (con2)	Concrete equivalent mortar of (eqm1)	Concrete equivalent mortar of (eqm2)
Sand 0/5 [kg/m³]	910	853	1313	1221
Gravel 2/8 [kg/m³]	280	263	0	0
Gravel 8/16 [kg/m³]	462	434	0	0
CEM I 52.5 N [kg/m³]	300	300	416	413
Limestone filler [kg/m³]	225	300	312	413
Water [kg/m³]	165	165	229	227
PCE superplasticizer [ml/m³]	2.5	3.5	3.47	4.81

The mix composition of the mixes with pozzolanic materials

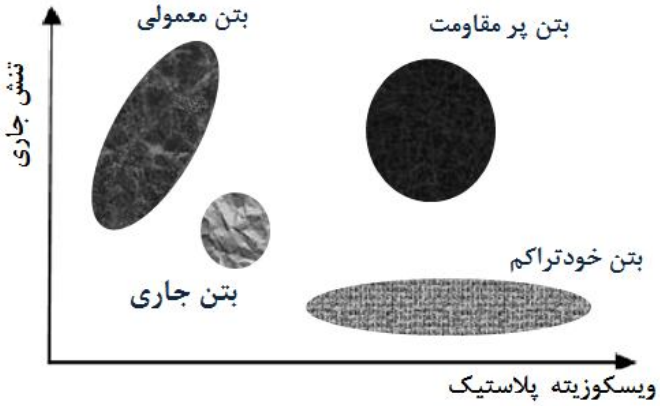
Mix composition:	Silica fume (SF)	Ground granulated blast furnace slag (GGBFS)	Fly ash (FA)	Clinoptilolite type zeolite (CZ)
Sand 0/5 [kg/m³]	1310	1311	1310	1311
CEM I 52.5 N [kg/m³]	415	415	415	415
Limestone filler [kg/m³]	311	312	311	312
Addition	4.15	4.15	4.15	4.15
Water [kg/m³]	228	228	228	228
PCE superplasticizer [ml/m³]	3.46	3.46	3.46	3.46

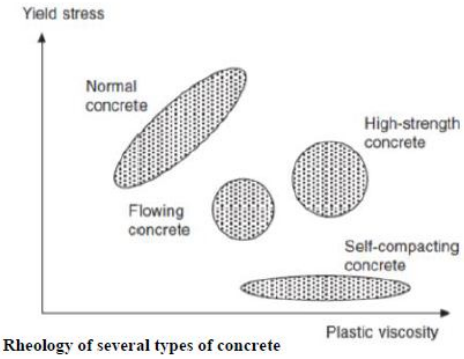
The mix composition of the mixes with purified clays

Mix composition:	Purified attapulgite clay (AC) [21]	Kaolinite clay (KC) [21]	Metakaolin clay (MC) [22]
Sand 0/5 [kg/m³]	1312	1311	1311
CEM I 52.5 N [kg/m³]	416	415	415
Limestone filler [kg/m³]	312	312	311
Addition	0.832	4.15	4.15
Water [kg/m³]	229	228	228
PCE superplasticizer [ml/m³]	3.47	3.46	3.46

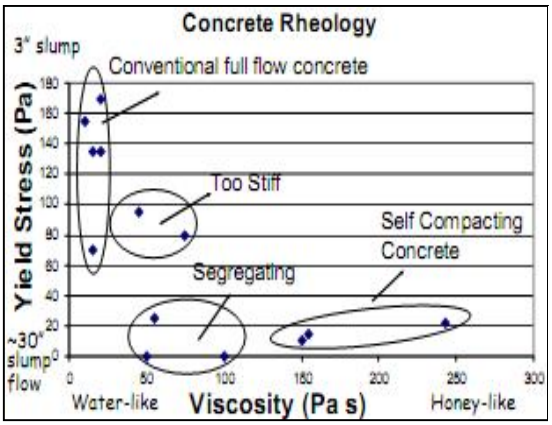


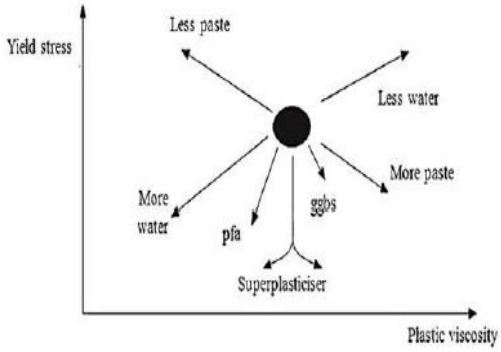
Method of deflocculation and water liberation with use of Super-plasticiser.



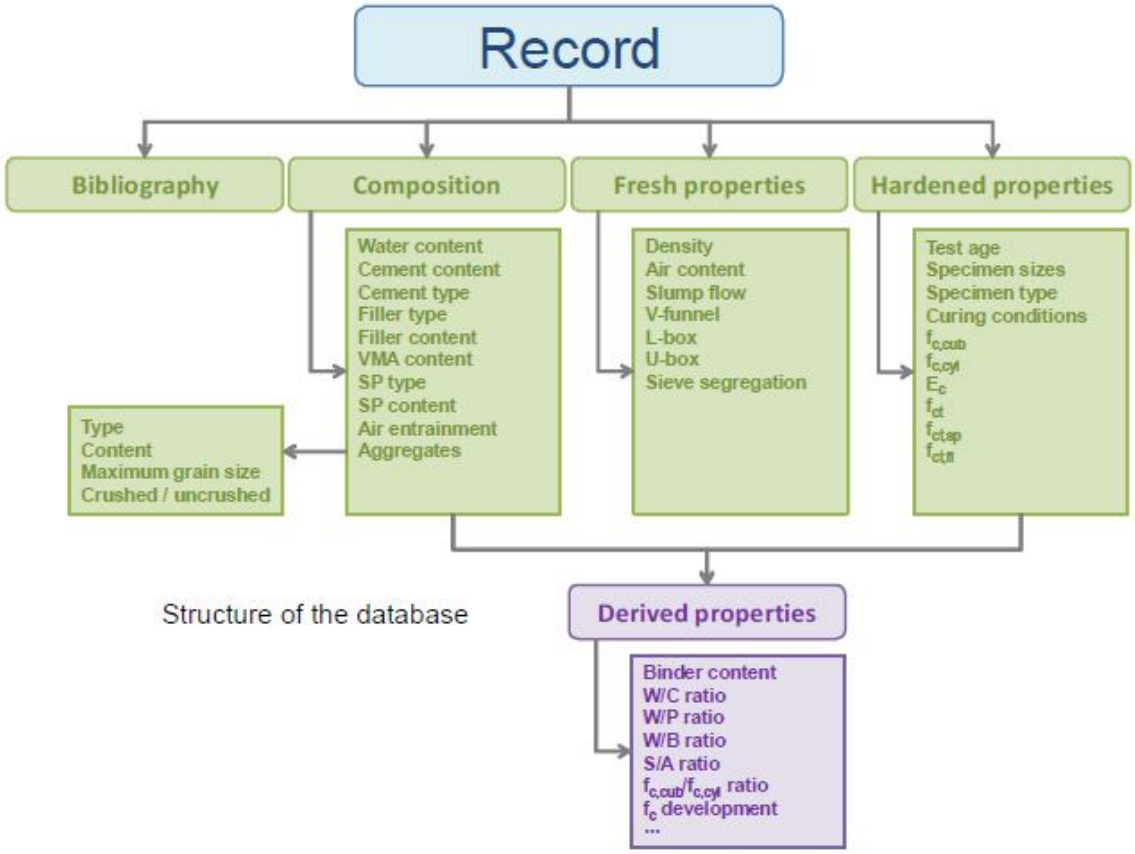


Rheology of several types of concrete





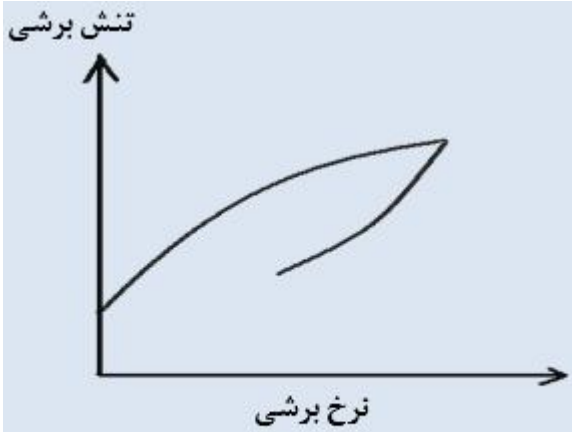
General effects of concrete constituents on the Bingham parameters



Structure of the database

انواع رئومتر

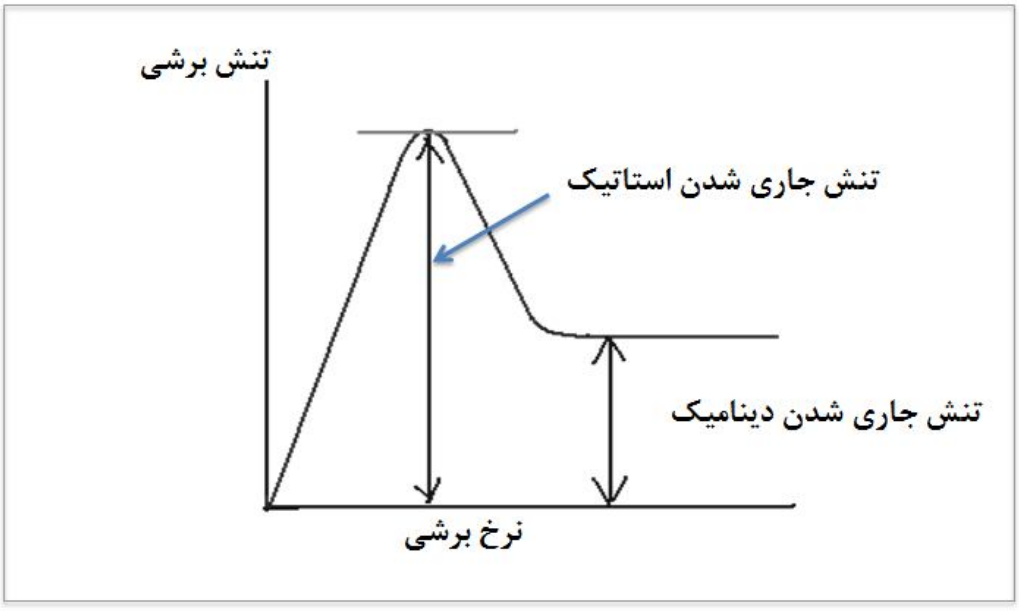
- ویسکومتر BML
- رئومتر BTRHEON
- رئومتر MKI
- ویسکومتر ConTec 5
- رئومتر ICAR

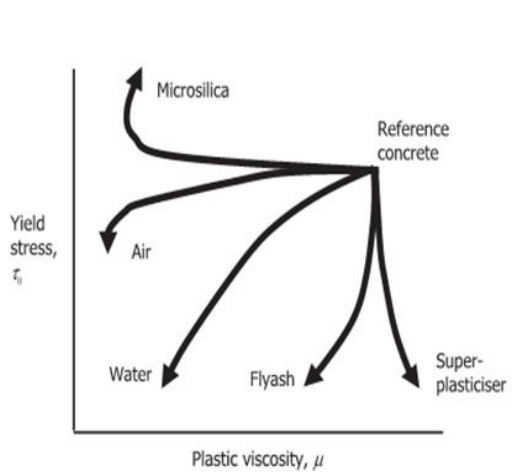


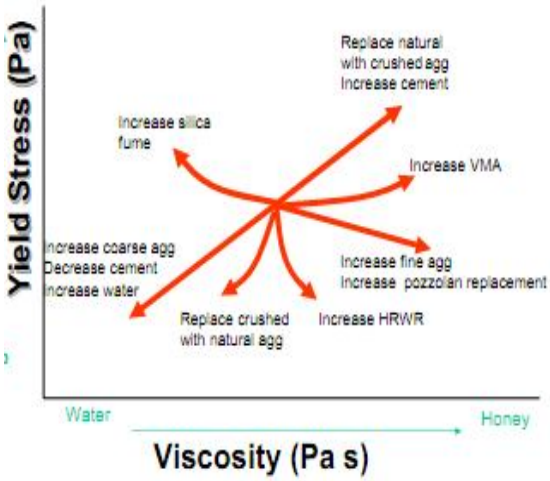
رفتار رئولوژیک SCC

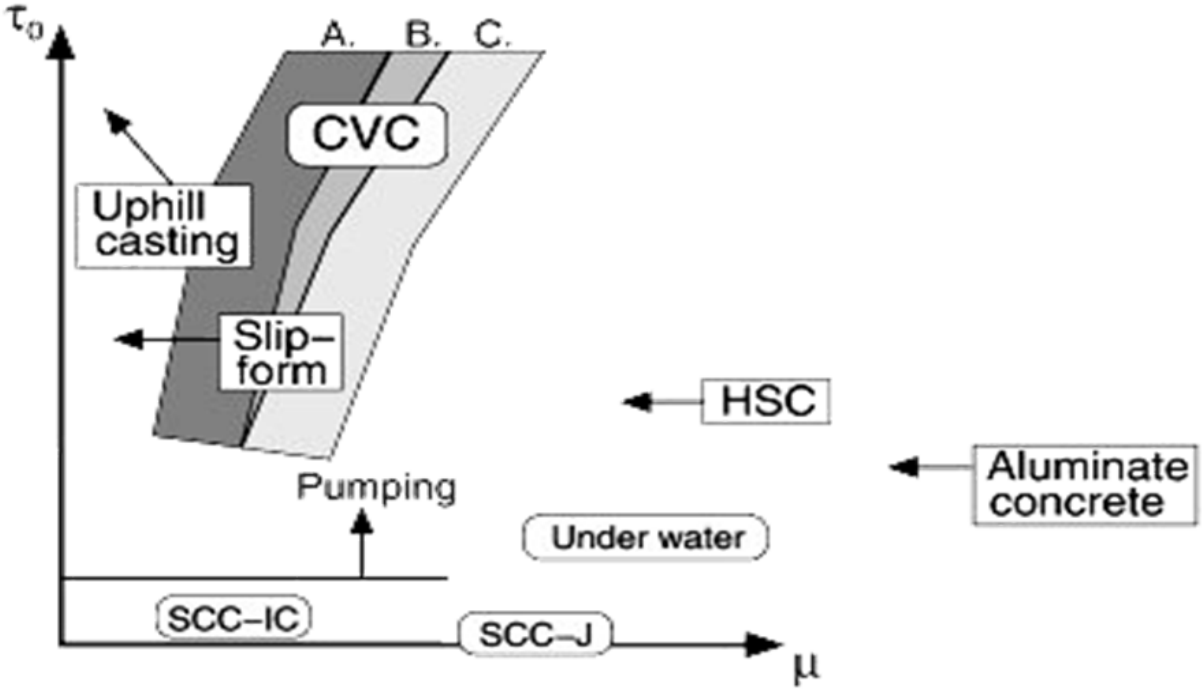
رئوگراف

- اثر مواد مخلوط در رئولوژی
- ارتباط رئولوژی و کاربردهای مختلف آن
- اثر اسلامپ جاری در رئولوژی
- ارتباط رئولوژی و انواع بتن
- تعیین وضعیت کشورها از نظر رئولوژی









معیارهای قابل پذیرش ارتباط آزمایش ها وپارامترهای رئولوژی

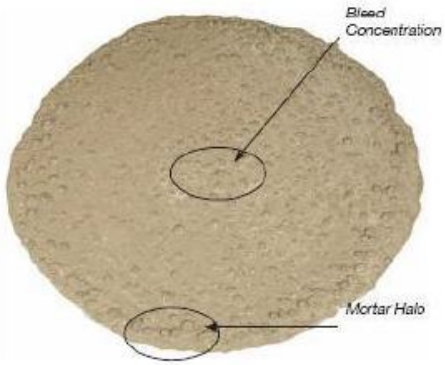
روش آزمایش	واحد	محدوده مقادیر	
		حداقل	حداکثر
جریان اسلامپ	mm	۶۵۰	۸۰۰
جریان اسلامپ T50	sec	۲	۵
حلقه J	mm	۰	۱۰
جعبه L	h2/h1	۰/۸	۱/۰
قیف V	sec	۶	۱۲

ارتباط آزمایش ها وپارامترهای رئولوژی

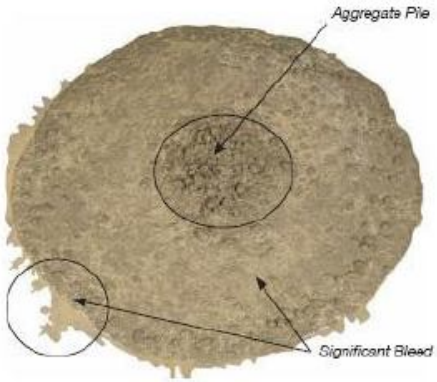
روش آزمایش	نتیجه	دلیل احتمالی
جریان اسلامپ	کمتر از ۶۵۰	•ویسکوزیته خیلی زیاد •تنش جاری خیلی زی
جریان اسلامپ T50	کمتر از ۲	•ویسکوزیته خیلی کم
حلقه J	بیشتر از ۱۰	•ویسکوزیته خیلی زیاد •تنش جاری خیلی زیاد •جداشدگی ذرات •مسدود شدگی
جعبه L	کمتر از ۰/۸	•ویسکوزیته خیلی زیاد •تنش جاری خیلی زیاد •مسدود شدگی
قیف V	کمتر از ۸	•ویسکوزیته خیلی کم

0-Highly Stable

1-Stable

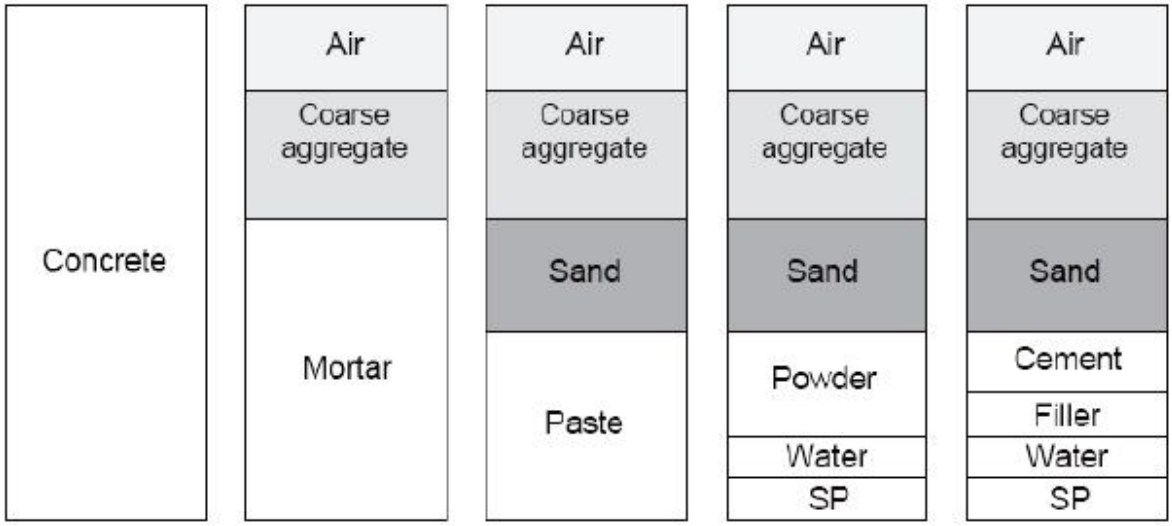


2-Unstable

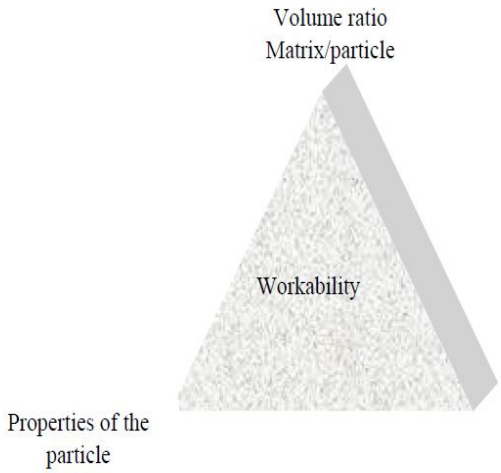


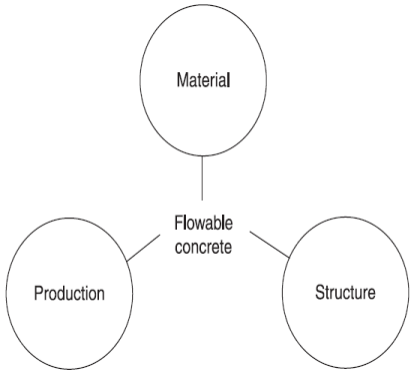
3-Highly Unstable

Visual Stability Index (VSI)



Schematic Composition of SCC





For 15 % Neutralized Red Mud and 30% Fly Ash

Table 7.Fresh Property of Concrete

SLUMP TEST	Slump Flow (mm)	690
	T-50 Sec	8.2
J-Ring Test	Slum Flow (mm)	640
	Ht. Inside J-Ring (mm)	266
	Ht. Outside J-Ring (mm)	275
L-Box Test	T-20 Sec.	5.90
	T-40 Sec.	13.10
	H2/H1	1.116
U-Box Test	H1-H2 (mm)	16
V-Funnel Test	T0 Sec.	7.53
	T5 min. Sec.	12.95

For 15 % Neutralized Red Mud and 35% Fly Ash

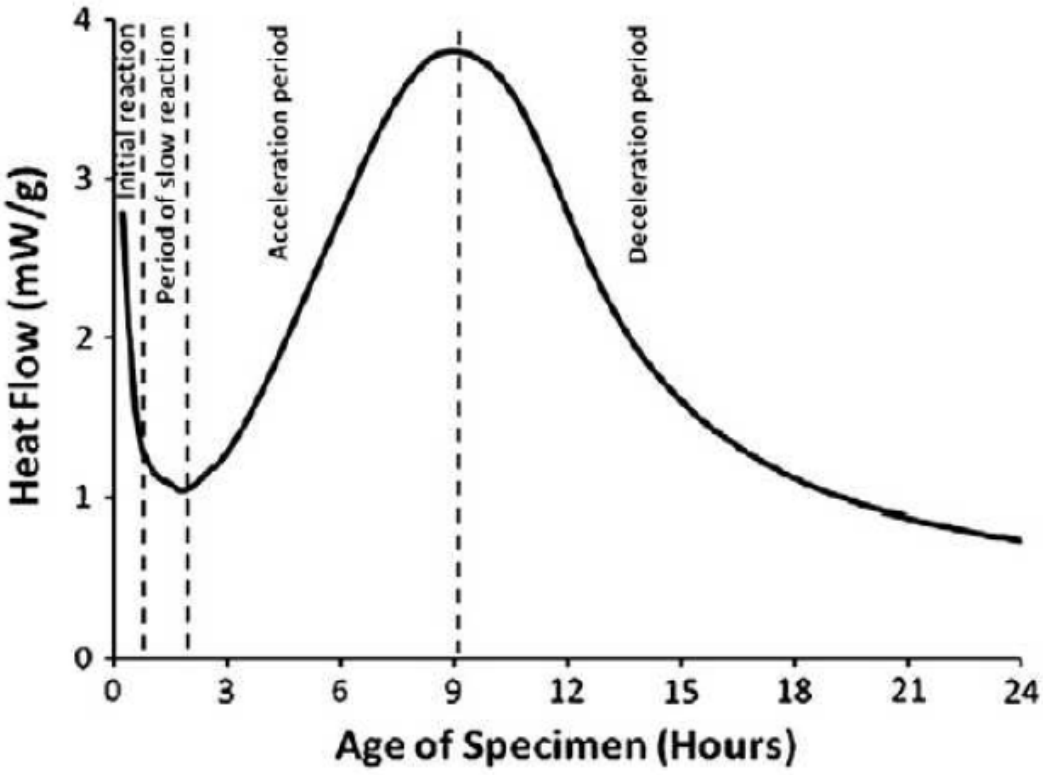
Table 6.Fresh Property of Concrete

SLUMP TEST	Slump Flow (mm)	635
	T-50 Sec	7.2
J-Ring Test	Slump Flow (mm)	575
	Ht. Inside J-Ring(mm)	270
	Ht. Outside J-Ring (mm)	280
L-Box Test	T-20 Sec.	6.32
	T-40 Sec.	13.4
	H2/H1	0.915
U-Box Test	H1-H2 (mm)	9
V-Funnel Test	T0 Sec.	8.21
	T5 min. Sec.	11.45

For 15 % Neutralized Red Mud and 40% Fly Ash

Table 8.Fresh Property of Concrete

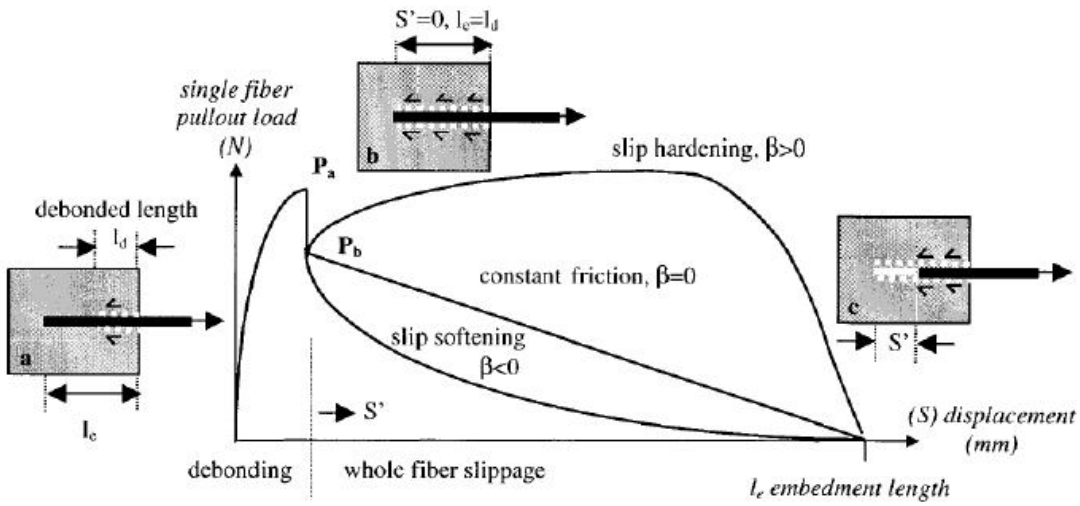
SLUMP TEST	Slump Flow (mm)	650
	T-50 Sec	8.05
J-Ring Test	Slum Flow (mm)	595
	Ht. Inside J-Ring (mm)	272
	Ht. Outside J-Ring (mm)	289
L-Box Test	T-20 Sec.	7.2
	T-40 Sec.	14.23
	H2/H1	0.975
U-Box Test	H1-H2 (mm)	13
V-Funnel Test	T0 Sec.	9.05
	T5 min. Sec.	13.25



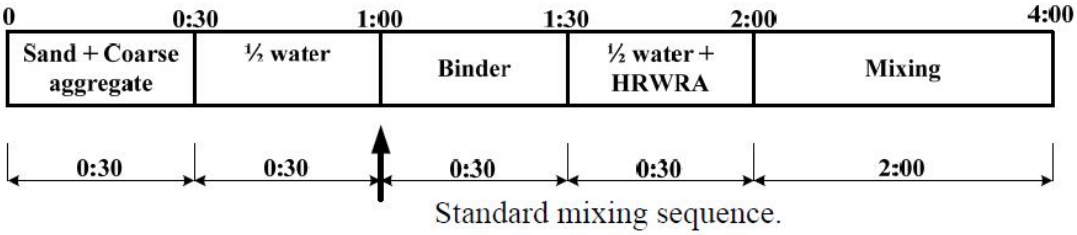
Mixture:	[kg/m³]	Tests:	Results
CEM III/A 42.5 LA	363	Slump flow [mm]	800
Limestone filler	260	T50 [s]	1.59
0/5 River sand	831	Funnel time [s]	7.30
4/7 Crushed limestone	209	Funnel time + 5' [s]	2.75
7/10 Crushed limestone	203	J-Ring step [mm]	55
10/14 Crushed limestone	316	J-Ring flow [mm]	760
Water	177	Density [kg/m³] (28d)	2378
SP1	4	Compressive strength [N/mm²] (28d)	67.70
Welan Gum	0.06		
Total:	2361		

Mix Proportion

Sr. No	Material	Mass
1	Cementitious Material	556 Kg/m^3
2	Ordinary Portland Cement (85 % of CM)	472.6 Kg/m^3
3	Silica fume (2.5 % of CM)	13.75 Kg/m^3
4	Metakaolin (2.5 %)	13.75 Kg/m^3
5	Fly Ash (10 % of CM)	55.6Kg/m^3
6	Fine Aggregate	702Kg/m^3
7	Coarse Aggregate	1042 Kg/m^3
8	Water	162 Kg/m^3
9	Superplasticizer	18 ml per kg of Cement
10	Water Binder Ratio	0.29



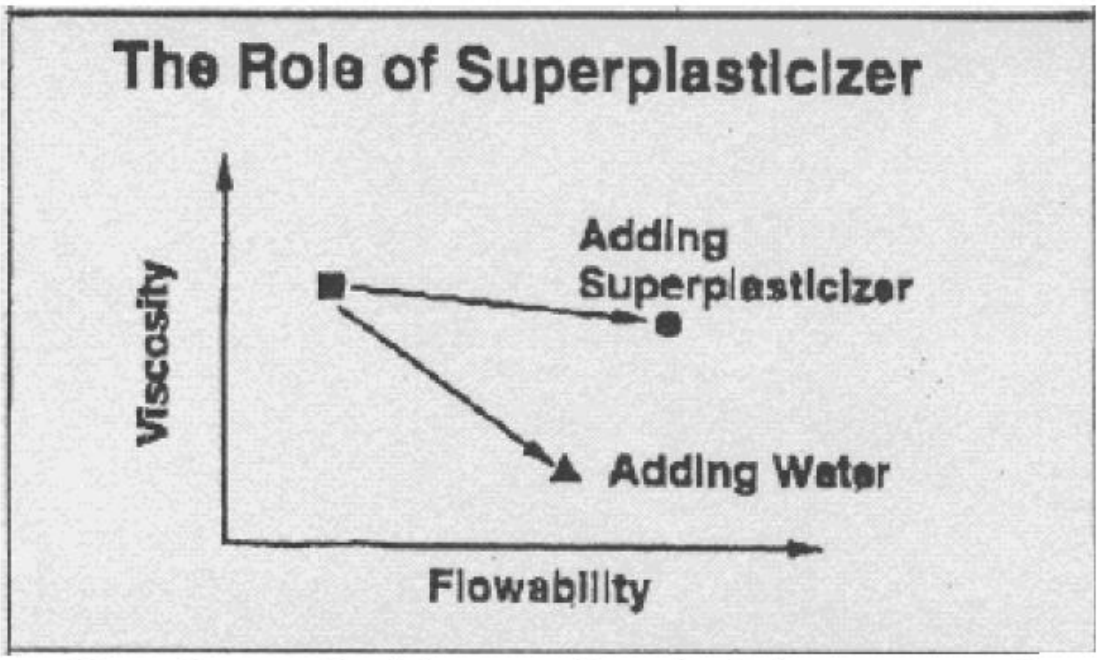
General profile of a single fiber pullout curve (Redon *et al.*, 2001)



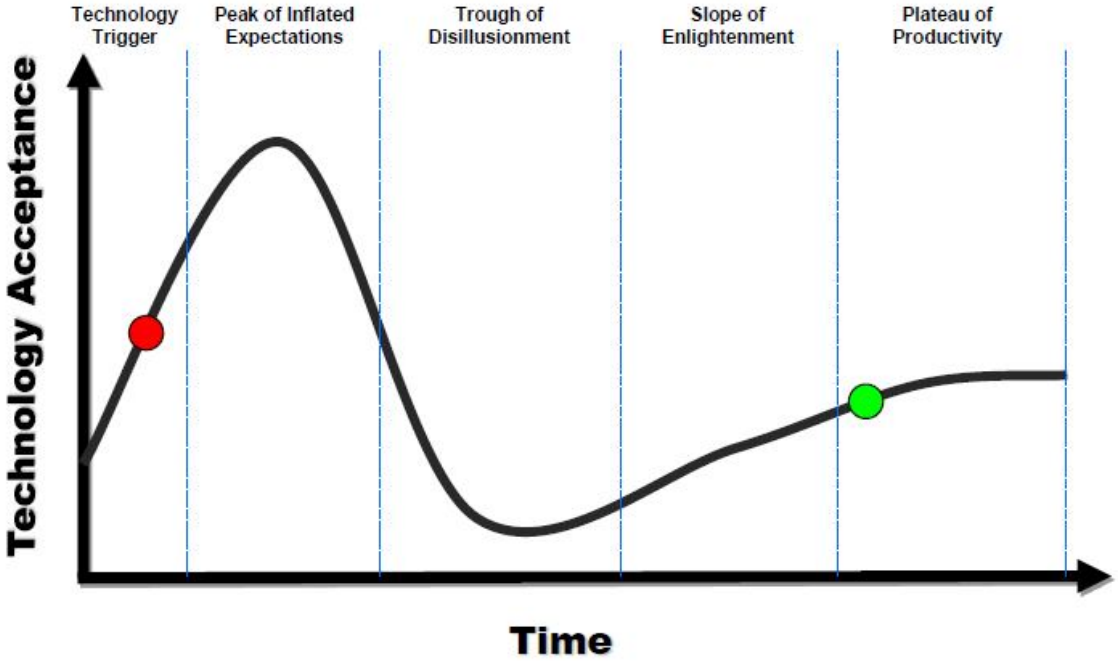
Standard mixing sequence.

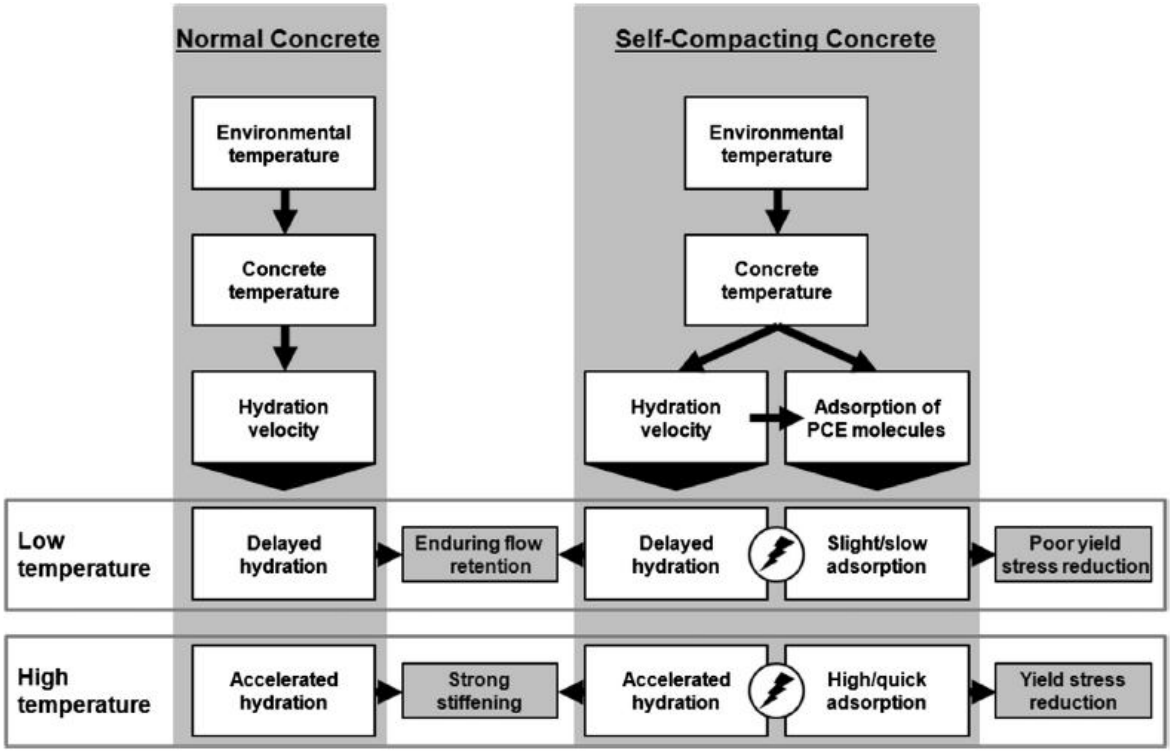
Curing conditions.

Curing Method	Stage	Detail
Steam-curing	I	Ambient temperature for 2 h after water-cement contact
	II	Temperature raised for 2 h
	III	Concrete temperature maintained for 10 h
	IV	Temperature decreases over 2 h to ambient temperature
	V	Air-curing until age of testing at 18 h
Moist-curing	I	18 h in molds with wet burlap at 23 ± 2 °C
	II	Moist-cured at 23 ± 2 °C until testing age
Air-curing	I	18 h in molds with wet burlap at 23 ± 2 °C
	II	Air-dried at 23 ± 2 °C until testing age

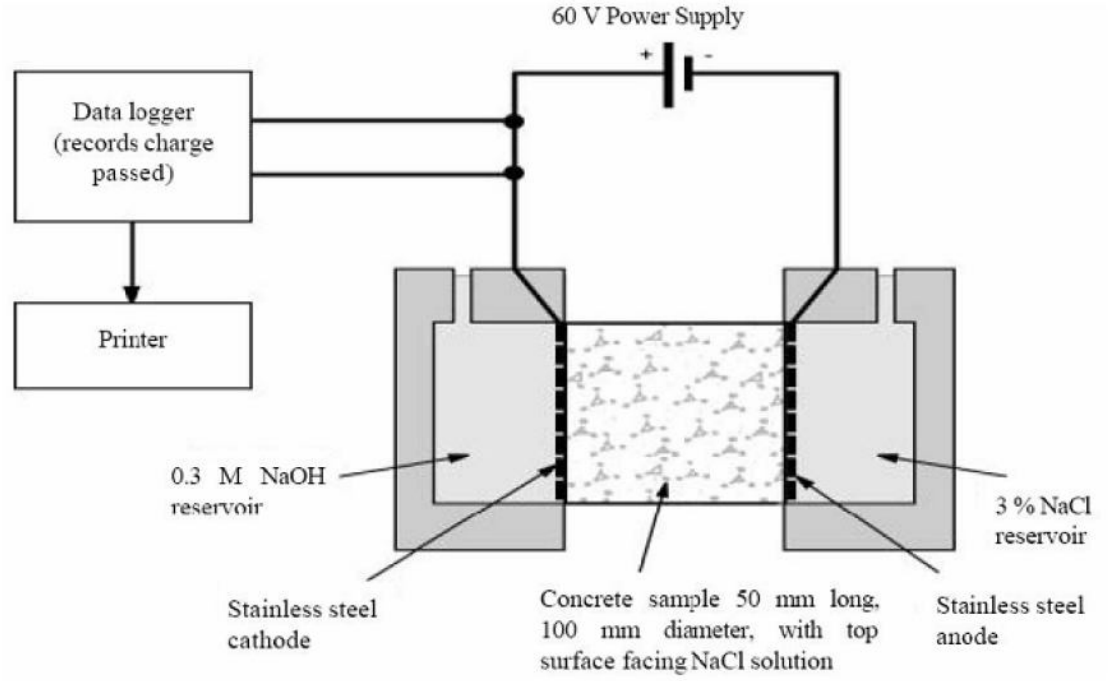


Effect of superplasticizer on viscosity (Okamura, 1997)





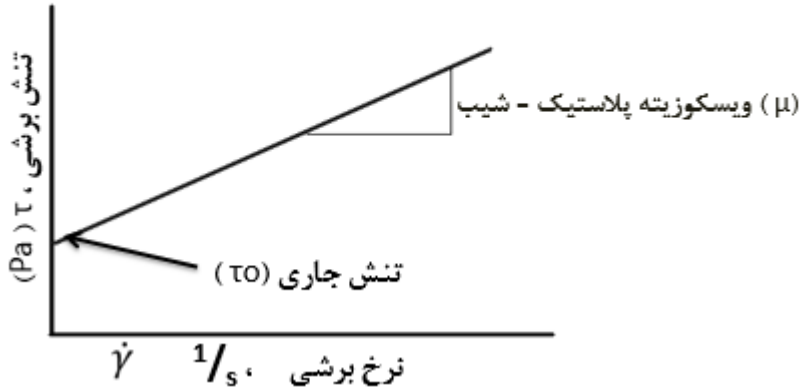
. Difference between normal concrete and SCC at exposure to varying temperatures.



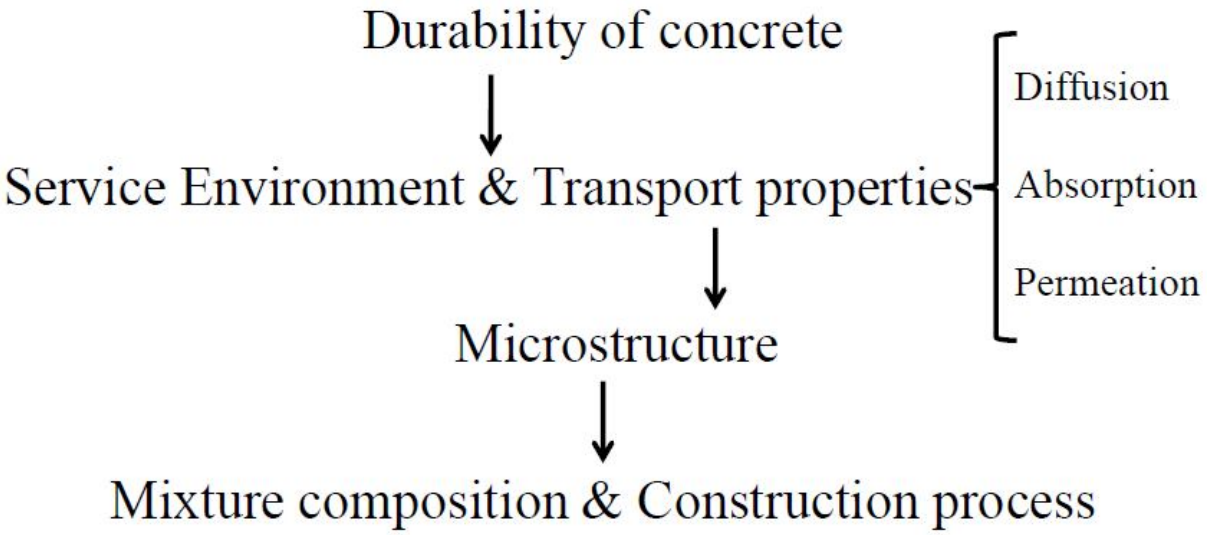
Rapid chloride permeability test setup.

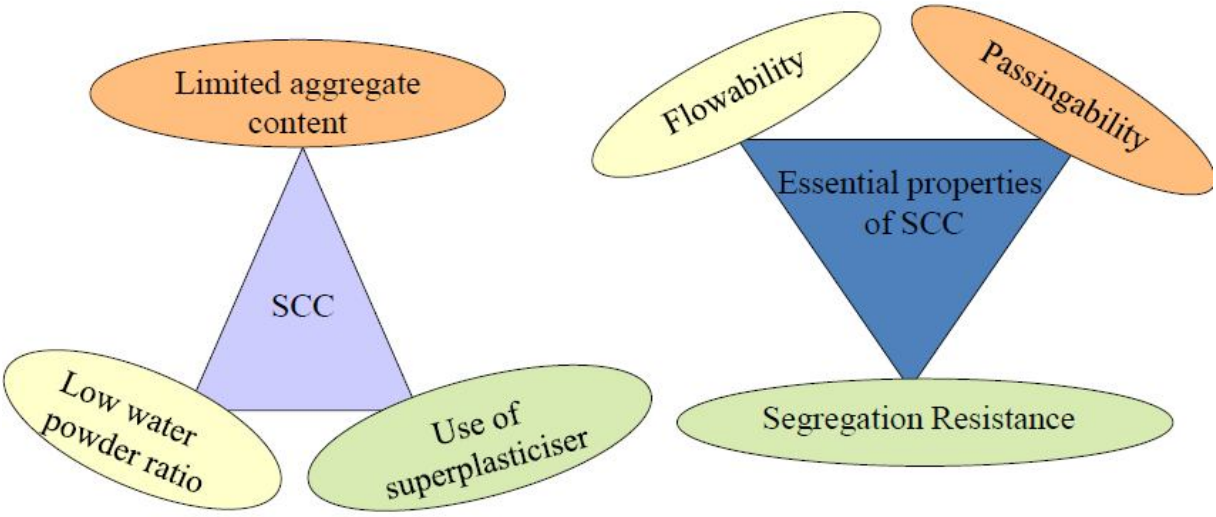
- جاری شونده در حد بالا (Highly _ Fluidised)
- خود پخش شونده (Self _ Placeable)

رئولوژی علم حرکت مایعات است



- **تنش جاری استاتیک (Static Yield Stress)**
- حداقل تنش برشی برای شروع جریان از حالت استراحت
- **تنش جاری دینامیک (Dynamic Yield Stress)**
- حداقل تنش برشی برای حفظ جریان پس از شکسته شدن ساختار تغلیظ پذیری
- **ویسکوزیته پلاستیک (Plastic Viscosity)**
- تغییرات تنش برشی با تغییرات نرخ برشی (شیب)
- **تغلیظ پذیری (Thixotropy)**
- کاهش ویسکوزیته بتن تحت برش که غیر قابل برگشت و تابع زمان است.





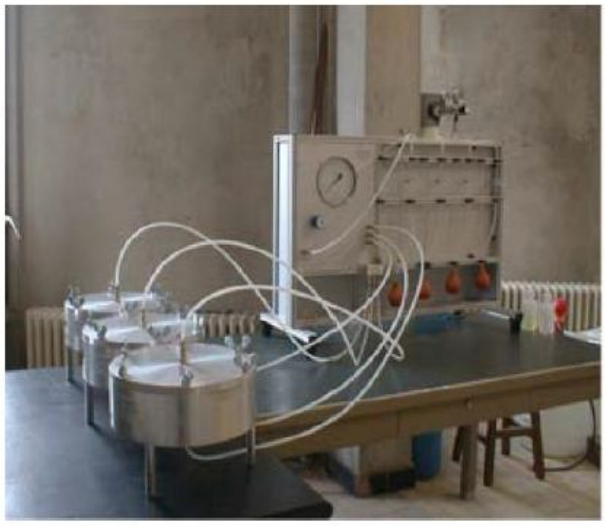
Durability test methods for SCC

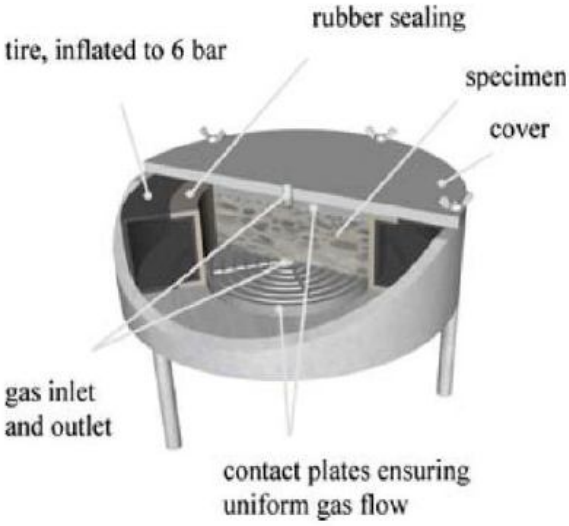
- Gas (Oxygen) permeability
- Rapid Chloride Penetration Test (RCPT)
- Rapid Chloride Migration Test (RCMT)
- Water absorption
- Sorptivity
- Water permeability
- Carbonation

Limiting values for SCC

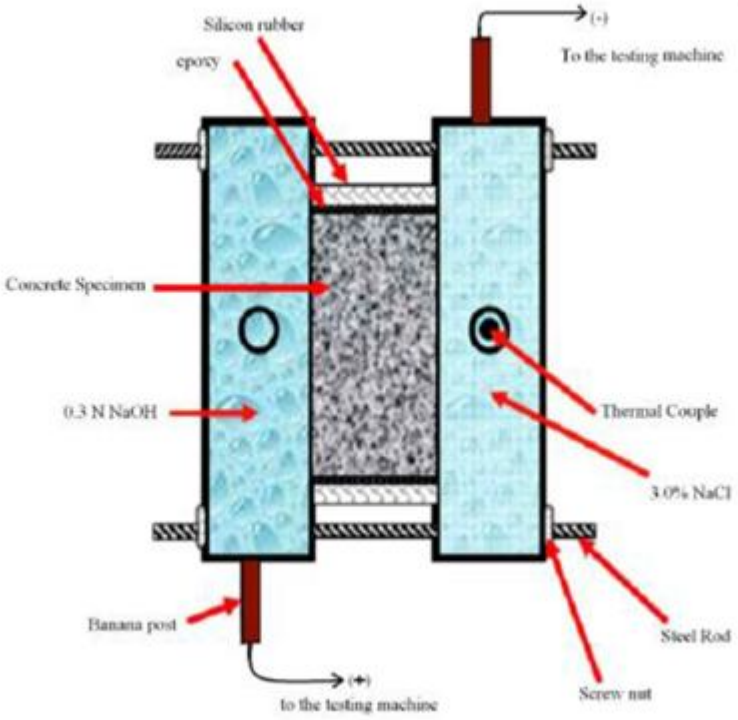
Tests	Range of values
Gas (Oxygen) permeability	0.3 to 0.6 × 10^{-12} m^2
RCPT (Charge passed)	100 to1000 coulombs
RCMT	5 to15 × 10^{-12} m^2/s
Water absorption	4 to 6 %
Sorptivity	0.06 to 0.12 $mm/min^{0.5}$
Water Penetration (depth)	5 to 10 mm
Accelerated Carbonation Test	5 to 10 mm

Gas (Oxygen) permeability

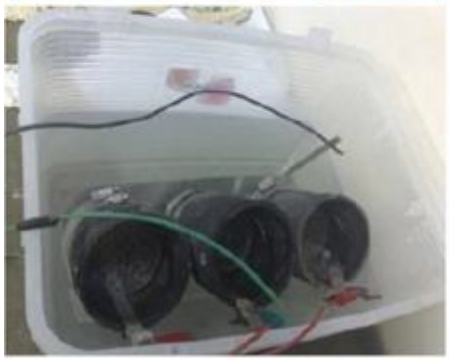


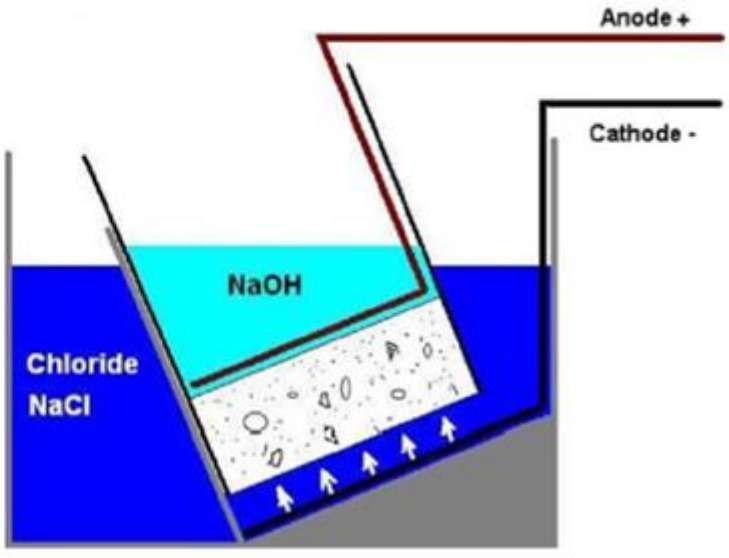


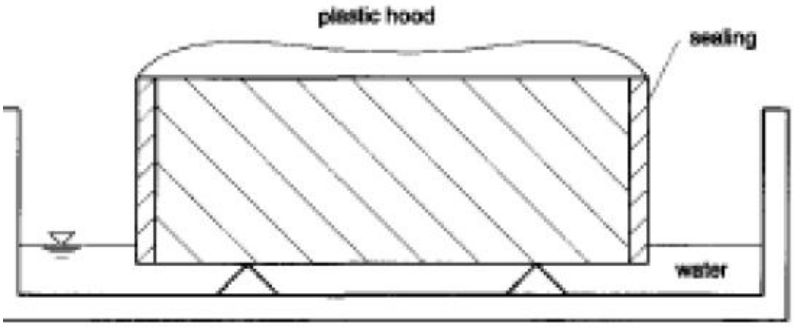
Rapid Chloride Penetration Test (RCPT)



Rapid Chloride Migration Test (RCMT)



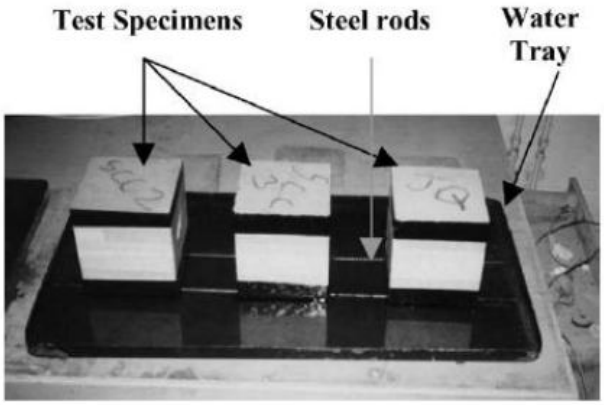


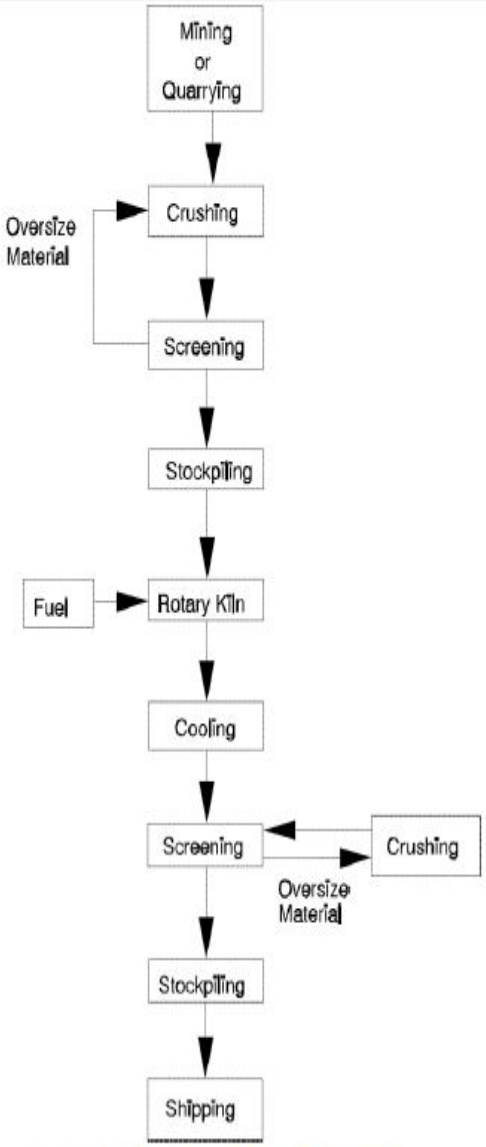


RILEM TC 116-PCD, 1999

Sorptivity

Capillary Water absorption





Process flow diagram for lightweight aggregate manufacturing

1. Select Material

(1) Resoures and Production
(2) Quality and Quality Control
(3) D_{max} of LWA

2. Measure the Minimum Void

Blend Procedure
(1) slag/cement
(2) fly Ash/normal weight sand
(3) fixed fly Ash/normal weight sand
(4) fly Ash/normal weight sand/LWA
(5) the least void, V_V

3. Design Lubricating Paste and Volume of Aggregate

(1) Cement Paste $V_P = n * V_V$
(2) Volume of aggregate $V_a = 1 - V_P$

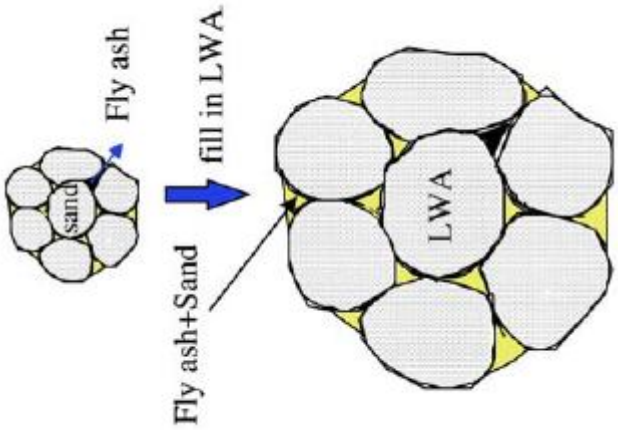
4. Design Workability, Strength and Durability

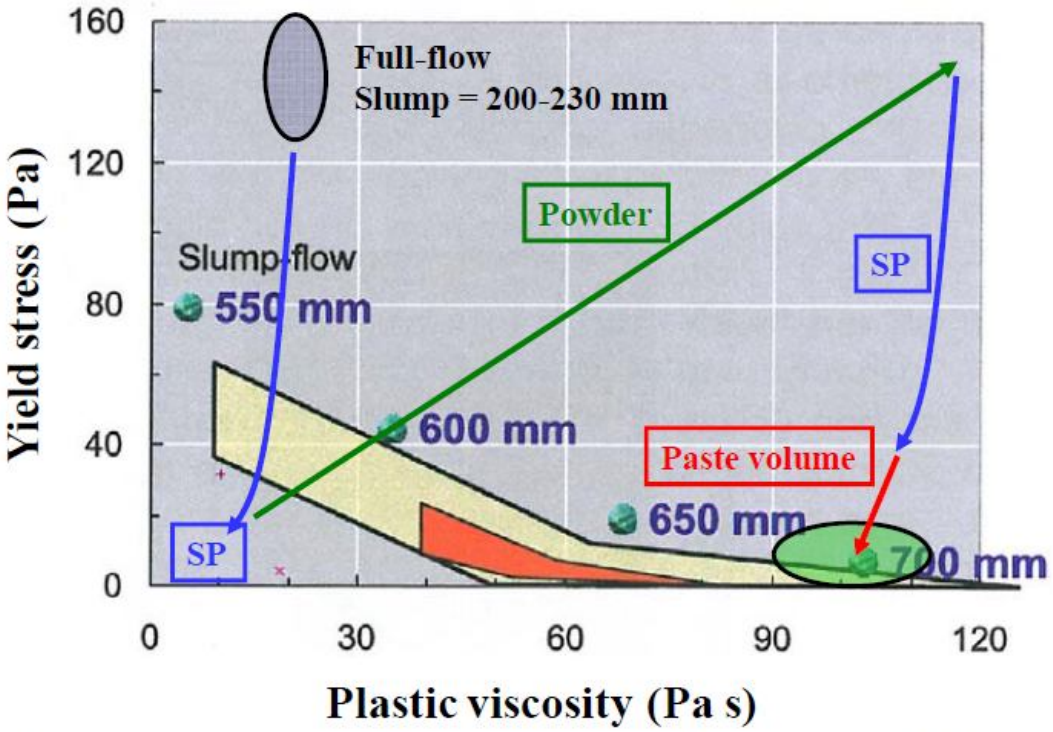
5. Determine the amount of SP and amount of water

(1) Select w/cm ratio by strength and durability
(2) Calculate the amount of cement, slag and mixing water

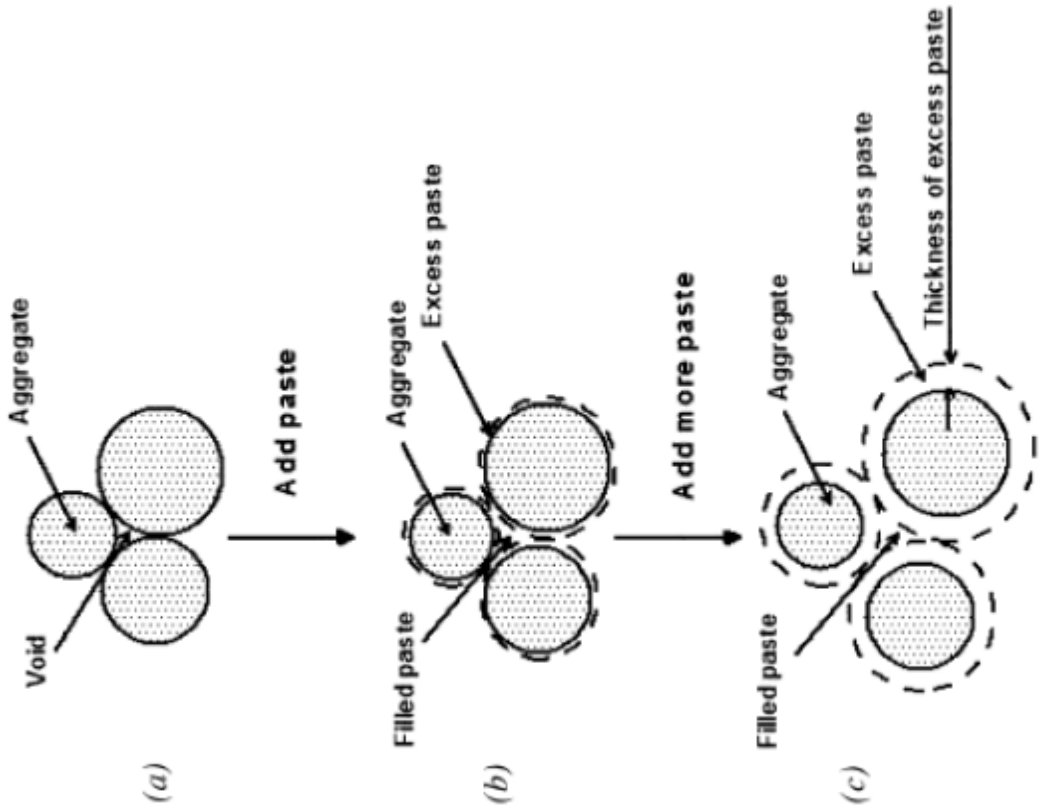
6. Trial Batch

(1) Adjust water cont ent
(2) Adjust Mixture Proportion





Basic actions to transform a conventional concrete to SCC.



10mm Coarse furnace slag (CFS)

Fine furnace slag (FFS)

10mm Coarse expanded clay (CEC)

Fine expanded clay (FEC)

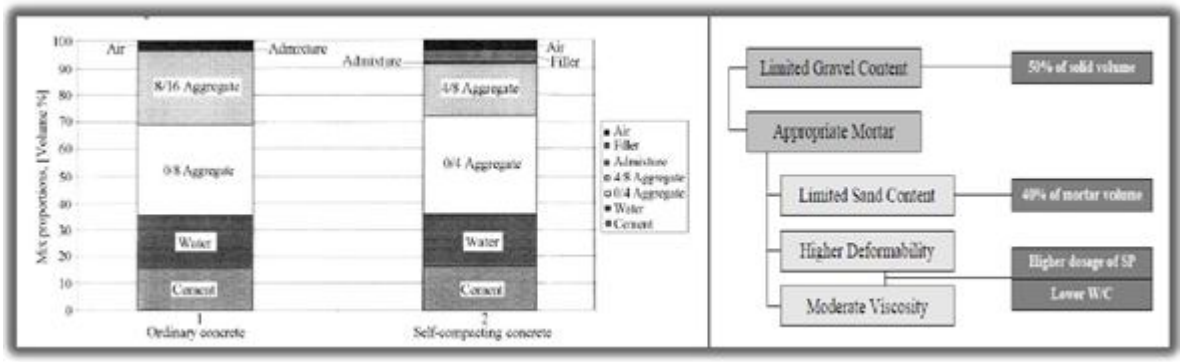
10mm Coarse expanded shale (CES)

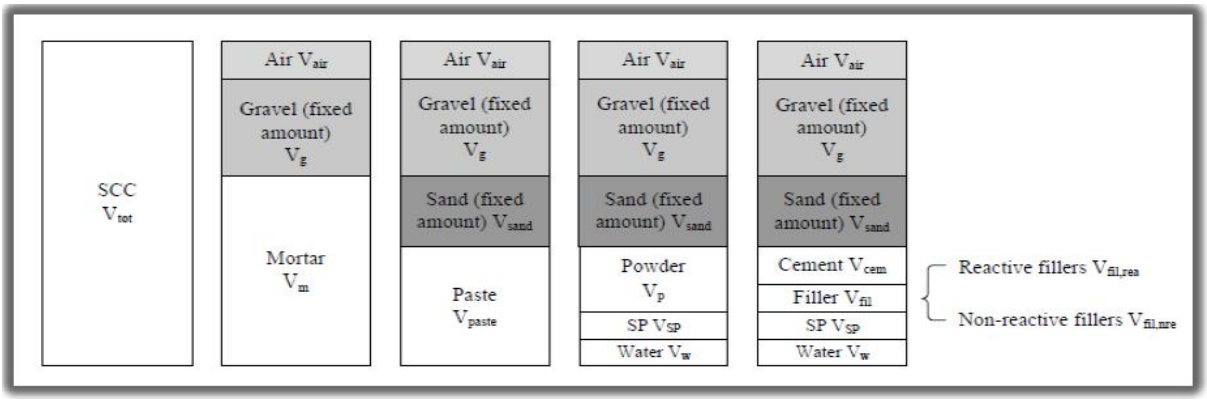
Fine expanded shale (FES)

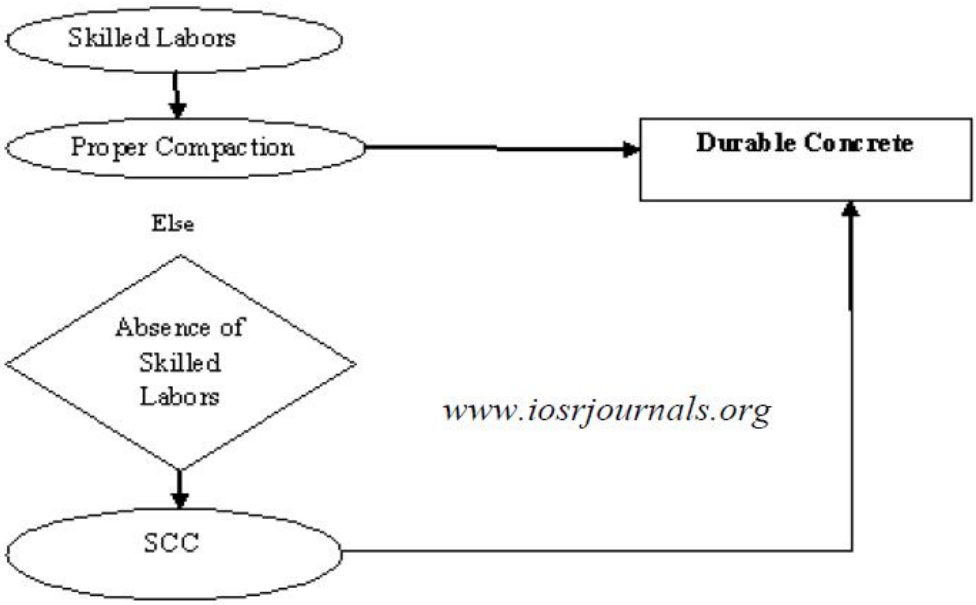
Coarse and fine lightweight aggregates used in the study

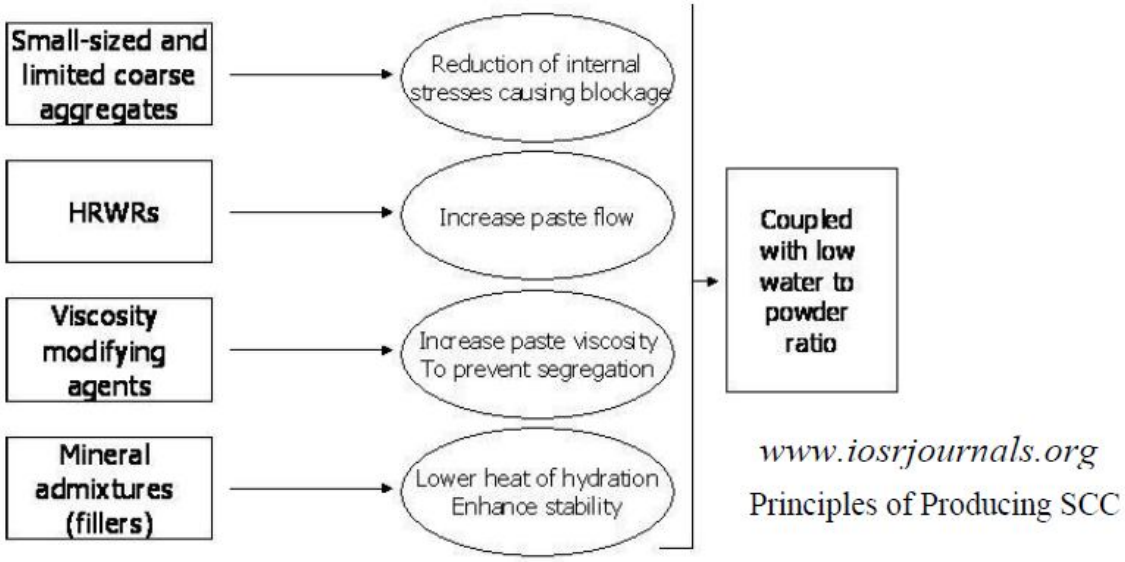
Chemical analysis of Furnace Slag, Expanded Clay, Expanded Shale

Chemical Name	Furnace Slag[1]	Expanded Clay [2]	Expanded Shale[3]
	(%)	(%)	(%)
Silica (SiO_2)	37.1	64.6	67.6
Alumina (Al_2O_3)	8.8	20.6	15.1
Iron Oxide (Fe_2O3)	1.9	6.5	4.1
Titanium Oxide (TiO_2)	-	0.8	0.6
Calcium Oxide (CaO)	40.0	1.5	2.2
Magnesium Oxide (MgO)	11.5	2.9	3.5
Alkalies*	0.8	-	3.7
Sulphur Trioxide (SO_3)	-	0.5	0.24
Manganese Oxide (MnO)	0.6	0.1	0.07
Loss on Ignition	1.99	0.3	3.06









Principles of Producing SCC

Testing methods and limiting test values for SCC

Property	Test method	Material	Recommended values
Flowability / Filling ability	Slump flow	Concrete	650 – 800 mm Average flow diameter
	V – funnel	Concrete	6 – 12 sec Time for emptying of funnel
Passing ability	L – box	Concrete	0.8 – 1.0 Ratio of heights at the beginning and end of flow
	J - ring	Concrete	0 – 10 mm Difference in heights at beginning and end of flow

پلی کربوکسیلیک اتر PCE

وافزودنی اصلاح کننده قوامAMV

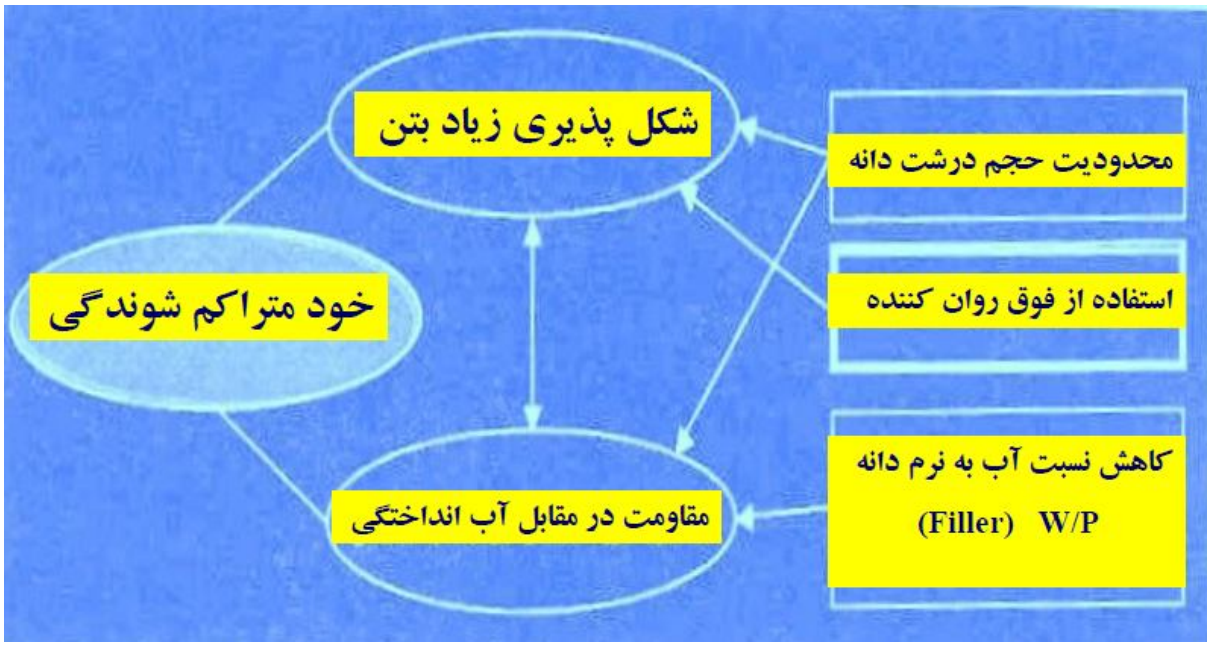
کمبود سیمان

منافع اقتصادی جایگزینی

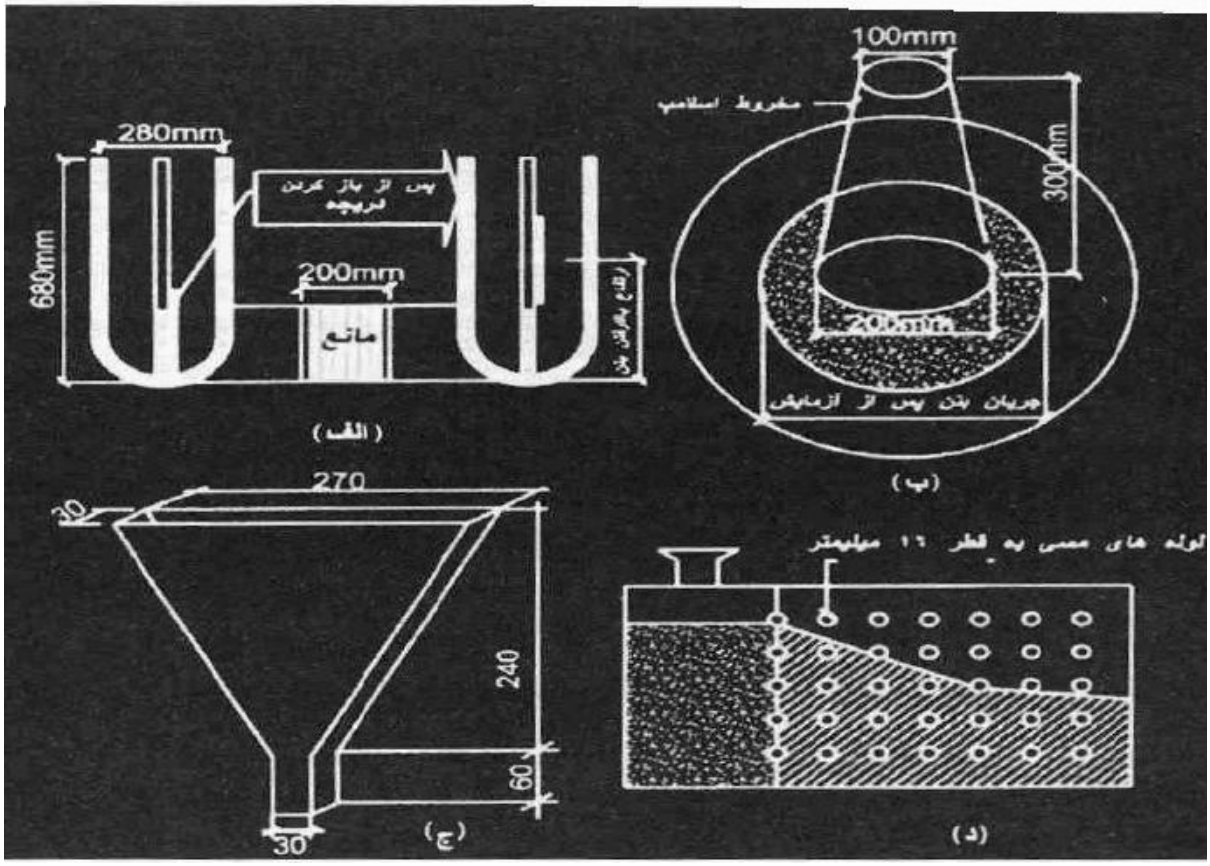
کارپذیری اصلاح یافته بدون عمل ویبره

گرمای هیدراسیون پائین تر

اصلاحاتی در خواص بتن سخت شده ودوام آن نسبت داده شود



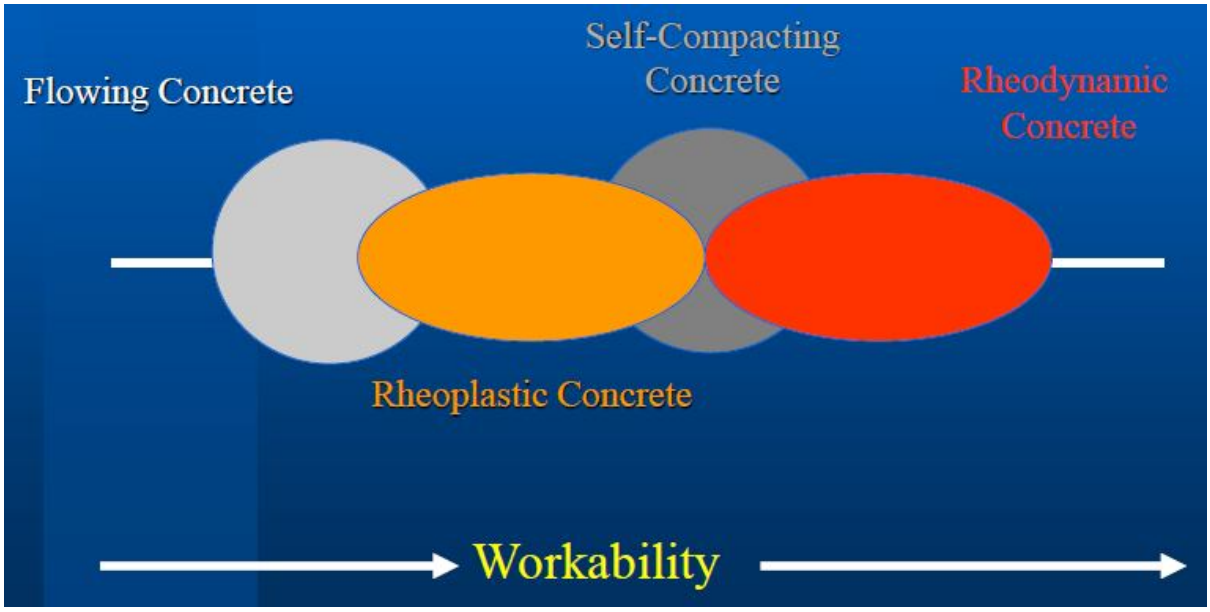
الف)خود متراکم شوندگی
ب) تغییر شکل پذیر ی
ج) لزجت
د) قابلیت پرکنندگی

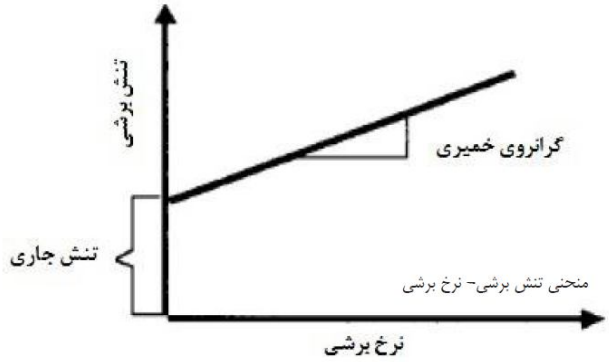


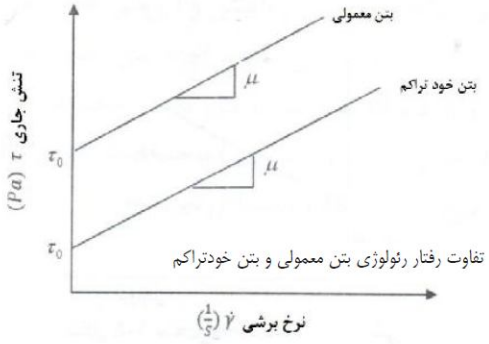
شاخص ویسکوزیته

$$G = \frac{((d_m' - d_r) - d_0^2)}{d_0^2}$$

$$R_C = \frac{10}{T_{500}}$$


Flowing Concrete
Self-Compacting Concrete
Rheodynamic Concrete
Rheoplastic Concrete
Workability


تنش برشی
گرانروی خمیری
تنش جاری
منحنی تنش برشی- نرخ برشی
نرخ برشی


بتن معمولی
بتن خود تراکم
تنش جاری τ (Pa)
μ
τ_0
τ_0
تفاوت رفتار رئولوژی بتن معمولی و بتن خودتراکم
نرخ برشی $\dot{\gamma}$ $(\frac{1}{s})$

آزمایش‌های بتن خودتراکم تازه [EFNARC, 2002]

نوع آزمایش	ویژگی آزمایش
جریان اسلامپ	قابلیت پرکنندگی
زمان T50 در جریان اسلامپ	قابلیت پرکنندگی
حلقه J	قابلیت عبوری
قیف V	قابلیت پرکنندگی
قیف V پس از ۵ دقیقه (T5)	مقاومت در برابر جداشدگی
جعبه L	قابلیت عبوری
جعبه U	قابلیت عبوری
جعبه FILL	قابلیت عبوری
آزمایش GTM	مقاومت در برابر جداشدگی
اوریمت	قابلیت پرکنندگی

آزمایش‌های کنترل‌کننده کارایی بتن خودتراکم [EFNARC, 2002]

ویژگی بتن خودتراکم	روش‌های آزمایش		
	آزمایشگاه	کارگاه	تعریف نوع آزمایش با توجه به‌اندازه دانه‌ها
قابلیت پرکنندگی	جریان اسلامپ زمان T50 در جریان اسلامپ قیف V اوریمت	جریان اسلامپ زمان T50 در جریان اسلامپ قیف V اوریمت	فرقی ندارد حداکثر اندازه ۲۰ میلی‌متر
قابلیت عبوری	جعبه L جعبه U	حلقه J	بر اساس بازشوهای جعبه L و جعبه U و حلقه J متفاوت است
مقاومت در برابر جداشدگی	آزمایش GTM قیف V پس از ۵ دقیقه (T5)	آزمایش GTM قیف V پس از ۵ دقیقه (T5)	فرقی ندارد

برای سازه‌های با تراکم کم آرماتورها---------- ۵۰۵ تا ۶۵۰ میلی‌متر

برای کاربردهای متداول---------- ۶۶۰ تا ۷۵۰ میلی‌متر

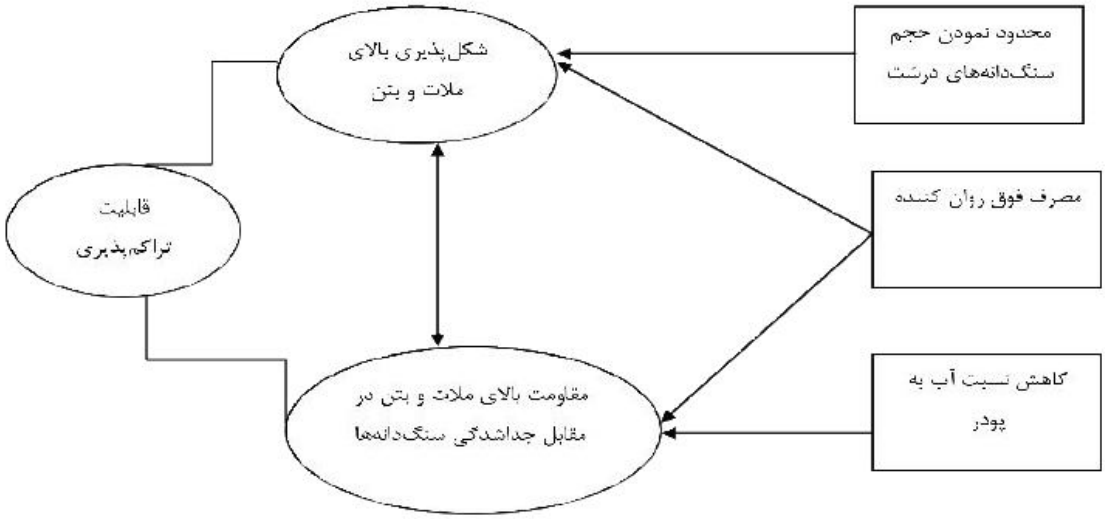
برای بتن‌ریزی در راستای قائم یا مقاطع پر آرماتور---------- ۷۶۰ تا ۸۵۰ میلی‌متر

ارتباط مشخصات عضو بتنی با آزمایش‌های کارایی بتن خودتراکم [نشریه ض – ۷۰۶ مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، ۱۳۹۳].

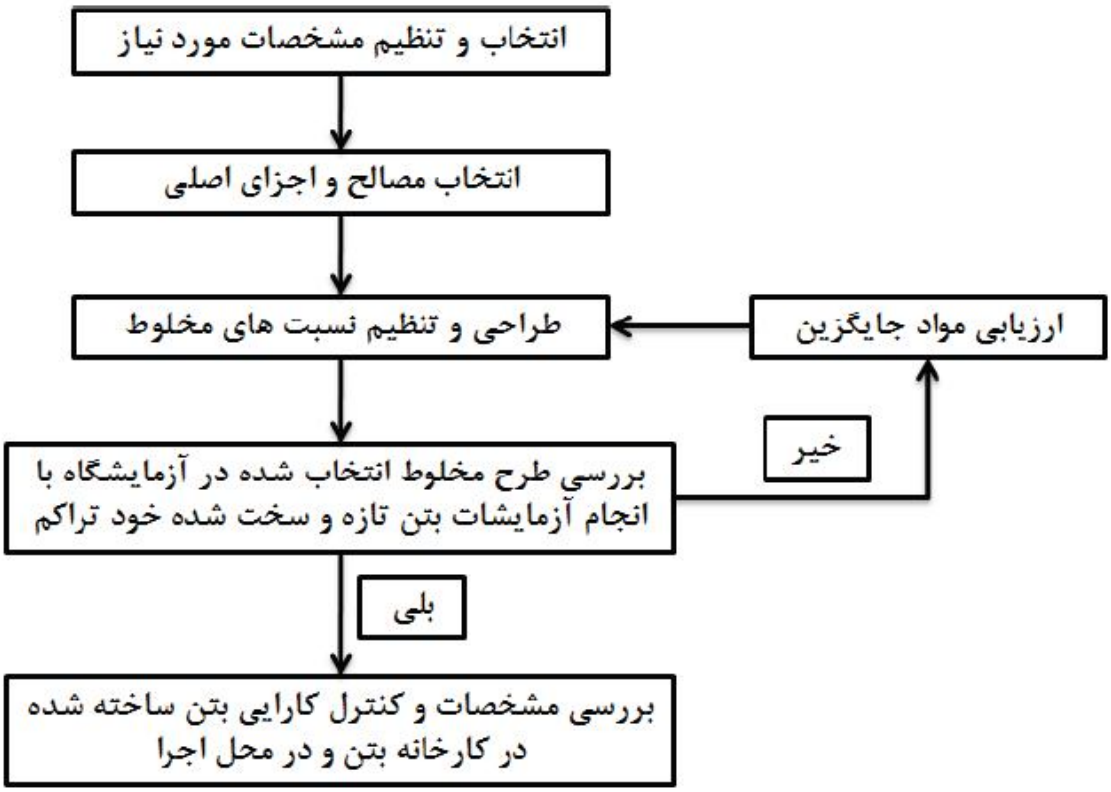
مشخصه	مقدار مجاز نتیجه آزمایش			
	جریان اسلامپ برحسب میلی‌متر	حلقه J برحسب میلی‌متر	جعبه L برحسب نسبت H_2/H_1	قیف V
تراکم بالای میلگرد در مقطع عضو بتنی	بزرگ‌تر از ۶۰۰	کمتر از ۵	بزرگ‌تر از ۰٫۸	بین ۶ تا ۱۰ ثانیه
عضو بتنی با طول زیاد	بزرگ‌تر از ۶۳۰	کمتر از ۵	بزرگ‌تر از ۰٫۸	بین ۶ تا ۱۰ ثانیه

آزمایش‌های مربوط به بررسی خواص مکانیکی بتن خودتراکم سخت شده

نام آزمایش	روش آزمایش	نوع آزمایش	استاندارد مربوطه	توضیحات
آزمایش مقاومت فشاری	دستگاه جک بتن شکن	مخرب	ASTM C39-86	ضرایب تبدیل مقاومت نمونه مکعبی به استوانه در بتن معمولی از مقدار ۰/۸ تا ۰/۹ متغیر است. درصورتی‌که در بتن خودتراکم این تغییرات بیشتر و از مقدار ۰/۸ تا ۱ می‌باشد.
آزمایش مقاومت کششی	به روش دونیم شدن استوانه	مخرب	ASTM C496-90	اعمال بار به‌صورت پیوسته و با سرعت ثابتی در محدوده تنش کششی بتن و بین ۷ تا ۱۴کیلوگرم بر سانتی‌متر تا هنگام شکست نمونه انجام می‌گیرد.
	به روش مدول گسیختگی	مخرب	ASTM C78-94	به دو روش اندازه‌گیری می‌شود: در حالت اول یک منشور بتنی ساده (بدون میلگرد) یا به کار بردن دونقطه بارگذاری متقارن در معرض خمش قرار داده می‌شود تا گسیختگی رخ دهد. در حالت دوم بارگذاری در وسط دهانه صورت می‌گیرد. در این آزمایش وقتی‌که تنش در لایه تحتانی درست زیر نقطه اعمال بار بیش از مقاومت کششی بتن شود، گسیختگی رخ خواهد داد
آزمایش مدول الاستیسیته	استخراج رابطه تنش- کرنش	مخرب و غیر مخرب	ASTM – C469 ASTM – C215	به دو روش اندازه‌گیری می‌شود: مدول الاستیسیته استاتیکی مدول الاستیسیته دینامیکی
آزمایش سنجش جمع‌شدگی	شاخص استاندارد اندازه‌گیری دیمک[1]	غیر مخرب	ASTM C426	برای اندازه‌گیری جمع‌شدگی، پس از خارج کردن نمونه‌ها از قالب، پولک‌های مخصوصی بر روی آن‌ها به فاصله ۱۵۰ میلی‌متر از یکدیگر با استفاده از شاخص استاندارد اندازه‌گیری دیمک، چسبانده شده و بعد از خشک شدن چسب در اتاق بخار قرار داده می‌شوند. سپس در سنین موردنظر، با استفاده از دستگاه مذکور، جمع‌شدگی آن‌ها اندازه‌گیری می‌شود.



اصول بنیادی تولید بتن خودتراکم (GruneweLd, 2001] (SCC]



روش کلی طرح اختلاط بتن خودتراکم [EFNARC, 2005]

بازه مقادیر اجزای تشکیل‌دهنده مخلوط بتن خودتراکم- آیین‌نامه EFNARC [EFNARC, 2005]

اجزای اصلی SCC	مقادیر بر اساس جرم (kg/m3)	مقادیر بر اساس حجم (Lit/m3)
پودر	۳۸۰-۶۰۰	
خمیر		۳۰۰-۳۸۰
آب	۱۵۰-۲۱۰	۱۵۰-۲۱۰
درشت‌دانه (شن)	۷۵۰-۱۰۰۰	۲۷۰-۳۶۰
ریزدانه (ماسه)	حجم متعادل با سایر اجزای تشکیل‌دهنده ٪ ۴۸-۵۵ از وزن کل سنگ‌دانه	
نسبت حجمی آب به پودر	---	۰/۸۵ -۱/۱۰

پیشنهادی [نشریه ض - ۷۰۶ مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، ۱۳۹۳]

موارد کاربرد پیشنهادی مناطق مختلف	توان منحنی پایینی منطقه مطلوب دانه‌بندی	توان منحنی بالایی منطقه مطلوب دانه‌بندی
بتن خودتراکم با جریان اسلامپ کمتر از ۵۶۰ میلی‌متر برای ستون‌ها و شالوده‌ها با حجم میلگرد کم و یا قطعات غیر نازک با طول حرکت کم	۰/۴	۰/۳
بتن خودتراکم با جریان اسلامپ بین ۵۶۰ تا ۶۵۰ میلی‌متر برای ستون‌ها و شالوده‌ها با حجم میلگرد متوسط و یا قطعات نازک با طول حرکت متوسط	۰/۳۵	۰/۲۵
بتن خودتراکم با جریان اسلامپ بیشتر از ۶۵۰ میلی‌متر برای تیر و دال با طول حرکت و حجم میلگرد متوسط	۰/۳	۰/۲
بتن خودتراکم با جریان اسلامپ بیشتر از ۶۵۰ میلی‌متر برای تیر و دال با طول حرکت زیاد و حجم میلگرد بالا و قطعات نازک	۰/۲۵	۰/۱۵
بتن خودتراکم تعمیری-بتن خودتراکم بسیار ریزبافت	۰/۲	۰/۱

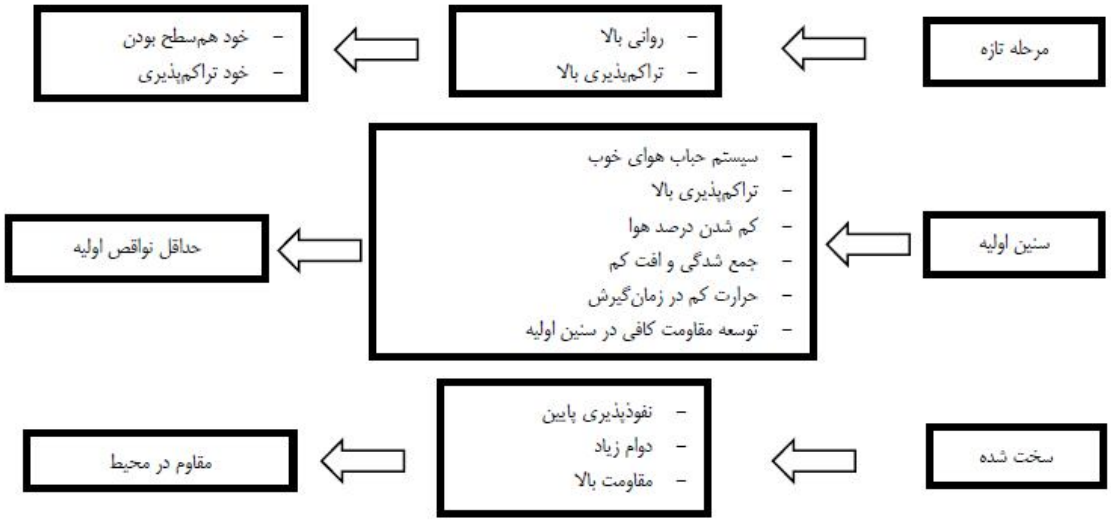
مقدار پودر برحسب جریان اسلامپ هدف طرح [نشریه ض - ۷۰۶ مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، ۱۳۹۳]

	جریان اسلامپ کمتر از ۵۵۰ میلی‌متر	جریان اسلامپ بین ۵۵۰ تا ۶۵۰ میلی‌متر	جریان اسلامپ بیشتر از ۶۵۰ میلی‌متر
مقدار پودر (کیلوگرم بر مترمکعب)	۳۵۰ تا ۴۰۰	۴۰۰ تا ۴۵۰	بیشتر از ۴۵۰

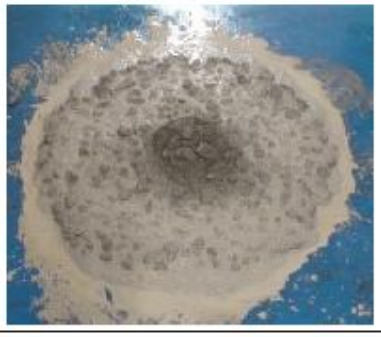
حجم مخلوط سنگ‌دانه اشباع با سطح خشک

$$V_{ASSD} = \left(1000 - \frac{c}{p_c} - \frac{w_f}{p_w} - \frac{F}{p_F} - \frac{SP}{p_{sp}} - V_a\right)$$

تفاوت بتن‌های معمولی و بتن خودتراکم در ویژگی‌های بتن تازه و تشابه در ویژگی‌های بتن سخت شده



ایرادات احتمالی در مشخصات بتن تازه خودتراکم در اثر افزایش روانی

عامل افزایش روانی	تغییرات احتمالی در خواص بتن تازه	
افزایش مقدار آب و نسبت آب به سیمان	• کاهش مقاومت و مشخصات مکانیکی مطلوب بتن • افزایش آب انداختگی سطحی و داخلی • کاهش شدید لزجت و درنتیجه به مخاطره افتادن پایداری • افزایش احتمال قفل‌شدگی و انسداد سنگ‌دانه‌ها در هنگام عبور از مجاری باریک	
افزایش مقدار مواد افزودنی فوق روان کننده	• افزایش آب انداختگی سطحی و داخلی • افزایش احتمال قفل‌شدگی و انسداد سنگ‌دانه‌ها در هنگام عبور از مجاری باریک	
افزایش حجم خمیر	• افزایش میزان خزش و جمع شدگی و ترک‌های ناشی از آن‌ها • افزایش هزینه‌ها	

تغییر مشخصات بتن تازه خودتراکم در اثر عوامل تأثیرگذار در کاهش جداشدگی سنگ‌دانه‌ها

عامل کاهش جداشدگی	تغییرات احتمالی در خواص بتن تازه
استفاده از ماسه با دانه‌بندی مناسب	– عدم دسترسی عمومی و افزایش احتمالی قیمت تمام‌شده
کاهش اندازه حداکثر دانه و افزایش نسبت ماسه به شن	– کاهش جزئی مقاومت – افزایش سطح مخصوص سنگ‌دانه‌ها و افزایش آب موردنیاز برای تأمین کارایی
استفاده از مواد افزودنی قوام آور	– کاهش روانی – افزایش هزینه
کاهش نسبت آب به سیمان و مواد افزودنی	– کاهش روانی

تغییر مشخصات بتن تازه خودتراکم در اثر عوامل تأثیرگذار در کاهش آب انداختگی و کاهش احتمال انسداد سنگ‌دانه‌ها

عامل کاهش جداشدگی	تغییرات احتمالی در خواص بتن تازه
استفاده از ماسه با دانه‌بندی مناسب	– عدم دسترسی عمومی و افزایش احتمالی قیمت تمام‌شده
استفاده از مواد افزودنی قوام آور	– کاهش روانی – افزایش هزینه
استفاده از مواد ریزدانه پودری	– کاهش قابل‌توجه روانی در صورت استفاده از مواد با سطح مخصوص بسیار زیاد – لزوم تعبیه محل انبار و نگهداری و توزین مواد پودری در هنگام استفاده – افزایش هزینه
کاهش اندازه حداکثر دانه و افزایش نسبت ماسه به شن	– کاهش جزئی مقاومت – افزایش سطح مخصوص سنگ‌دانه‌ها و افزایش آب موردنیاز برای تأمین کارایی

طرح اختلاط استفاده‌شده در پروژه ساخت پل Ritto در کشور ژاپن [Ouchi and Nakamura, 2003]

مصالح	وزن (کیلوگرم در مترمکعب)
سیمان	۴۷۰
ماسه	۸۶۸
شن تا ۱۳ میلی‌متر	۳۳۶
شن تا ۲۰ میلی‌متر	۵۰۵
فوق روان‌ساز	۶
آب	۱۵۵
نسبت آب به سیمان	۰,۳۳

طرح اختلاط بتن خودتراکم در اجرای لاینینگ نهایی دیواره‌های تونل رسالت تهران [شاهیدخت و جبروتی، ۱۳۸۵]

مصالح	واحد	وزن (کیلوگرم در مترمکعب)
سیمان	کیلوگرم	۴۰۰
ماسه ۰ – ۶ میلی‌متر	کیلوگرم	۱۲۰۰
شن ۶ – ۱۲ میلی‌متر	کیلوگرم	۱۶۰
شن ۱۲ – ۲۰ میلی‌متر	کیلوگرم	۳۷۰
پودر سنگ	کیلوگرم	۱۰۰
آب	لیتر	۱۶۷
فوق روان‌ساز	لیتر	۳٫۶
مواد اصلاح‌کننده ویسکوزیته (VMA)	لیتر	۲ لیتر
مواد انبساط دهنده	لیتر	۲٫۷ لیتر

طرح اختلاط بتن خودتراکم استفاده شده در پروژه x-Leg های لابی برج میلاد [رمضانیان‌پور و همکاران، ۱۳۹۰]

مصالح	واحد	وزن
سیمان	کیلوگرم در مترمکعب	۴۵۰
ماسه	کیلوگرم در مترمکعب	۱۰۲۹
شن نخودی	کیلوگرم در مترمکعب	۶۵۲
پودر سنگ	کیلوگرم در مترمکعب	۱۲۰
فوق روان‌ساز	کیلوگرم در مترمکعب	۷
نسبت آب به سیمان	---	۰/۴۱

طرح اختلاط‌های بتن خودتراکم استفاده‌شده در پروژه بزرگراه طبقاتی شهید صدر [فلاح و همکاران، ۱۳۹۲]

مصالح	واحد	طرح ۱	طرح ۲
سیمان	کیلوگرم در مترمکعب	۴۰۰	۴۱۰
ماسه	کیلوگرم در مترمکعب	۹۵۵	۹۴۰
شن نخودی	کیلوگرم در مترمکعب	۳۵۴	۷۰۰
شن بادامی	کیلوگرم در مترمکعب	۳۵۴	۰
پودر سنگ	کیلوگرم در مترمکعب	۱۰۶	۱۱۶
نسبت آب به سیمان	---	۰٫۳۹	۰٫۳۸

میانگین نتایج آزمایشگاهی نمونه‌های بتن خودتراکم در طرح بزرگراه طبقاتی شهید صدر [فلاح و همکاران، ۱۳۹۲]

سن آزمونه‌ها	میانگین مقاومت (مگاپاسکال)	انحراف معیار (مگاپاسکال)	درصد رشد مقاومت نسبت به مقاومت ۹۰ روزه
۱ روزه	۱۱	۴	٪۱۸
۳ روزه	۳۳	۶	٪۵۳
۷ روزه	۴۶	۵	٪۷۴
۲۸ روزه	۵۷	۵	٪۹۲
۹۰ روزه	۶۲	۶	٪۱۰۰

منبع -کاربرد بتن خودتراکم در پروژه های عمرانی شهری،گزارش شماره ۲۹۷،اردیبهشت ۹۴،مرکز مطالعات و برنامه ریزی شهر تهران