

بتن خود تراکم - مزایا و کاربرد

حامد مخدومی درمیان^۱ - محسن راشکی^۲ - وحید گرگیج^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی (واحد زاهدان) ، عضو باشگاه پژوهشگران جوان

شماره تماس: ۰۹۱۵۵۴۳۱۵۲۷ آدرس: زاهدان - خیابان آزادی - میلان ۱۸ - پلاک ۱۲

email:hamyjan7@yahoo.com

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه سیستان و بلوچستان شماره تماس: ۰۹۱۵۵۴۰۲۴۹۹

Gmail:rashki.Mohsen@gmail.com

۳- کارشناس مهندسی عمران شماره تماس: ۰۹۱۵۳۴۱۹۲۶۶

خلاصه

بتن خود متراکم برای اولین بار در سال ۱۹۸۸ بمنظور دستیابی به سازه های بتنی با دوام مورد استفاده قرار گرفت. از آن زمان تحقیقات مختلفی انجام گرفت بتن در سازه های عملی در ژاپن، اساسا بیشتر توسط شرکتهای ساختمانی مورد استفاده قرار گرفت. تحقیقات برای دستیابی به یک روش منطقی و عقلی طرح مخلوط و روشهای آزمایش خود سازگاری برای ساخت بتن با استاندارد ۱ انجام گرفت.

بتن خود متراکم (SCC) نسل جدید بتن است که نیاز به استفاده از لرزاننده ندارد و تحت تاثیر وزن خود متراکم می شود. از این بتن میتوان در محل های با تراکم زیاد آرماتور که و بیره کردن بتن های سنتی در این ناحیه مشکل است ، استفاده کرد که در نتیجه آن شاهد کیفیت بالای محصول نهایی خواهیم بود. و از طرفی کاربرد بتن مقاومت بالا (HSC) در سازه ها موجب کاهش سطح مقطع اعضا و افزایش فضای مفید بیشتر در طرح های معماری می شود ، اما همانگونه که می دانیم با افزایش مقاومت بتن ، سازه دارای شکست تردتری می شود. در این حالت کاربرد بتن خود تراکم که مقاومت قابل قبولی دارد پیشنهاد می شود که در این حالت مقادیر خیز و عرض ترک خوردگی بتن تا مرحله سرویس پایین تر از مقادیر مجاز و کمتر از بتن معمولی می باشد.

واژه های کلیدی: بتن خود تراکم - توسعه - خود سازگاری - طرح مخلوط - روشهای تست خود سازگاری

مقدمه

برای چندین سال آغازین در ۱۹۸۳ مشکل دوام و پایداری سازه های بتنی موضوع اصلی مورد توجه در ژاپن بود. برای ساختن سازه های بتنی با دوام تراکم کافی همراه با کارگران مجرب مورد لزوم می باشد. در حالیکه کاهش تدریجی تعداد کارگران ماهر در صنعت ساخت در ژاپن منجر به کاهش مشابه در کیفیت کار سازه شده بود. یک راه حل برای دستیابی به سازه های بتنی بادوام بدون در نظر گرفتن کیفیت کار ساخت بکارگیری بتن خود تراکم است که می تواند در هر گوشه قالب بوسیله وزن خودش و بدون احتیاج به دستگاه تراکم لرزاننده شود. (شکل ۱)

لزوم استفاده از این بتن بوسیله شخصی به نام OKAMURA در سال ۱۹۸۶ آشکار شد. مطالعات برای توسعه این نوع بتن شامل یک مطالعه اساسی روی کارایی بتن بوسیله MAEKAWA و OZAWA در دانشگاه توکیو انجام گرفته بود.

نخستین نمونه بتن خود تراکم برای اولین بار در سال ۱۹۸۸ با استفاده از مواد نشان داده شده روی شکل (شکل ۲) کامل شد. نمونه مذکور با رعایت خشکی و انقباض ، حرارت هیدراسیون ، بدون تراکم بعد از سختی و خواص دیگر بطور رضایت

بخش اجرا شد. این بتن بتن کارا (با کارایی بالا) نامیده شد و بشرح زیر در ۳ مرحله بتن (مراحل سه گانه بتن) تعریف شد :

۱- تازہ : خود سازگار

۲- با سن کم : اجتناب از نقایص ابتدایی

۳- بعد از سختی : مقاومت در برابر نیروهای خارجی

دراکثر زمانهای مشابه بتن کارا را بعنوان یک بتن با دوام بعلت نسبت آب به سیمان پایین توسط Professor Aitcin تعریف شد. از آن زمان نام (اصطلاح) بتن کارا "با کارایی بالا" در تمام جهان برای نسبت دادن "رجوع" به بتن بادوام استفاده می شود بنابراین OKAMURA نام بتن پیشنهادی مان را به بتن خود متراکم با عملکرد بالا تغییر می دهد.

مکانیسم دستیابی به خود سازگاری

روش دستیابی به خود سازگاری نه تنها شامل تغییر شکل بالای خمیر یا ملات می شود . بلکه همچنین مقاومت در مقابل جداشدگی بین مصالح درشت دانه و ملات را هنگامی که بتن در سرتاسر ناحیه محصور شده میلگردار تقویتی جاری می شود (ریخته می شود) را نیز در بر می گیرد OKAMURA و OZAWA برای دستیابی به خود سازگاری از روشهای ذیل بهره گرفتند .

۱ - مقدار مصالح محدود (محدودیت مقدار مصالح)

۲- نسبت آب به سیمان پایین

۳- استفاده از فوق روان کننده

فراوانی برخورد و تماس بین ذرات مصالح دانه ای هنگامی که فاصله نسبی این ذرات کاهش می یابد، می تواند افزایش یابد و سپس تنشهای داخلی نیز هنگامی که بتن تغییر شکل می دهد، می تواند افزایش یابد بخصوص در نزدیکی موانع. این آشکار شده است که انرژی نیز لازم برای جریان ((جاری شدن)) بوسیله تنشهای داخلی افزایش یافته مصرف می شود و این به انسداد راه ذرات سنگدانه منتج می شود . محدودیت مقدار سنگدانه درشت ((که مخصوصاً مصرف انرژی آنها شدید است)) به یک سطح پایین تر از نسبتهای نرمال در اجتناب از این نوع انسداد راه این ذرات موثر است .

همچنین چسب با ویسکوزیته بالا نیز برای اجتناب از انسداد مصالح درشت دانه هنگامی که بتن در سرتا سر موانع جاری می شود احتیاج است (شکل ۴). همچنین هنگامی که بتن تغییر شکل می دهد خمیر (چسب) با ویسکوزیته بالا از افزایش در تنشهای داخلی (در نتیجه تماس ذرات مصالح درشت دانه) جلوگیری می کند . تغییر شکل بالا تنها از طریق استفاده از یک فوق روان کننده برای آنکه نسبت آب به سیمان را به میزان خیلی زیادی پایین آورده قابل حصول می باشد .

تعیین نسبتهای مخلوط بتن خود متراکم نشان داده و مقایسه شده است با بتن معمولی و بتن RCD (بتن متراکم شده غلتکی سد) (شکل ۵).

مقدار مصالح سنگدانه کمتر از بتن قراردادی است که تراکم لرزنده لازم دارند. نسبتهای حجم مصالح سنگی درشت دانه به حجم جامدش (G/Glim) هر نوع بتن نشان داده می شود (شکل ۶) . درجه فشردگی مصالح سنگی درشت دانه در SCC در حدود 50% می باشد بطوریکه اثر متقابل بین ذرات سنگدانه درشت ممکن است کم شود. هنگامی که بتن تغییر شکل می دهد علاوه بر این نسبتهای حجم سنگهای دانه ای ریز به حجم جامد

شان (S/Slim) در ملات در شکلی مشابه نشان داده شده است . درجه فشردگی سنگدانه های ریز در ملات SCC در حدود 60% است بطوریکه تغییر شکل برشی (هنگامی که بتن تغییر شکل می دهد) ممکن است محدود باشد . از طرف دیگر ویسکوزیته چسب در SCC نسبت به انواع دیگر بتن بالا ترین وابستگی را به نسبت آب به پودر دارد(شکل ۷). و آن در ممانعت از جدایی دانه ها موثر است .

سه هدف برای آزمایشهای خود سازگاری نسبت به اهداف عملی وجود دارد.

۱-چک کردن خود سازگاری یا عدم آن به سازه

۲- تعدیل نسبت های مخلوط هنگامی که خود سازگاری کافی نیست

۳- مشخص کردن مواد

عنوان تست ۱ : نامیده می شود آزمایش U (U-test) یا آزمایش جعبه (Box-test) (شکل های ۸، ۹ و ۱۰) که داشتن مانع با تجهیزات بالا تر توصیه می شود . آزمایش U بوسیله Taisei-group توسعه پیدا کرده در این آزمایش درجه سازگاری توسط ارتفاعی که بتن بعد از جریان از میان یک مانع به آن می رسد را می توان نشان داد . بتن با ارتفاع بالاتر از ۳۰۰mm را می توان بعنوان بتن خود متراکم تلقی کرد .

آزمایش جعبه (U-test) مناسب تر است برای آشکار کردن بتن با امکان پذیری بالاتر جدایی بین مصالح سنگی درشت و ملات اگر بتن برای داشتن خود سازگاری ناکافی با آزمایش ۱ بررسی شود . این دلیل باید بطور کمی آشکار شود بطوریکه نسبت های مخلوط می توان تعدیل شود . آزمایش های فونل (Funnel) و جریان - اسلامپ (شکل ۱۱) به ترتیب برای آزمایش تغییر شکل پذیری و ویسکوزیته پیشنهاد می شده و شاخص ها همچنین تعریف می شوند با علائم R_c , Γ_c

$$\Gamma_c = (Sf1 - Sf2) / Sf1^2$$

قطر جریان اندازه گیری شده: Sf1, Sf2

Sf10: قطر مخروط اسلامپ

$$R_c = 10/t \quad t \text{ (sec): زمان اندازه گیری شده برای بتن برای جریان در قیف (Funnel)}$$

آزمایش های قیف (Funnel) و جریان برای ملات یا چسب به منظور تعیین مواد استفاده شده در بتن خود متراکم مانند مواد پودری ماسه و فوق روان شده پیشنهاد شده است . روش های آزمایش برای خواص ملات همچنین طرح شده است و شاخص ها و نمایه ها برای تغییر شکل و ویسکوزیته بوسیله نمادهای Γ_m و R_m تعریف می شوند. (شکل های ۱۲ و ۱۳)

Γ_m بزرگتر تغییر شکل بیشتر و R_m کوچکتر ویسکوزیته بالاتر را نشان می دهند .

$$\Gamma_m = (d1 - d2) / d0^2$$

d1, d2: قطر جریان اندازه گیری شده

d0: قطر مخروط جریان

$$R_m = 10/t \quad t \text{ (sec): زمان اندازه گیری شده برای ملات برای جریان در Funnel}$$

عوامل خود سازگاری بر حسب نتایج آزمایش

عوامل که باعث خود سازگاری می شوند بر حسب نتایج آزمایش بتن تازه یا ملات در ذیل توصیف می شوند .

۱- تاثیر مصالح سنگی درشت بر اساس اندازه فضای خالی

این همیشه امکانپذیر نیست که پیش بینی کنیم در صد تراکم در یک سازه را بوسیله نتیجه آزمایش تراکم بتن در سازه دیگری را از جایی که اندازه ماکزیمم سنگدانه ها و درشت با مینیمم فضای خالی ما بین میلگرد ها تقویتی سازه درگیر شده است .

برای مثال نسبت بین مقدار سنگدانه درشت در بتن و ارتفاع پر آزمایش جعبه شاخص استاندارد برای خود سازگاری بتن تازه نشان داده شده است (شکل ۱۴ و ۱۵)

نسبت بین ارتفاع پر از میان R_1 و R_2 به مقدار سنگدانه درشت بستگی دارد . آن نتیجه آزمایش نشان می دهد . که تاثیر مصالح سنگدانه درشت روی جریان بتن تازه به اندازه فضای خالی موانع بستگی دارد . می توان گفته شود که خود سازگاری بتن تازه باید بعنوان ذرات جامد علاوه بر ذرات مایع تلقی شود .

۲- نقش ملات بعنوان سیال در توانایی جاری شدن بتن تازه

تغییر شکل پذیری کافی ملات در بتن ضرورت دارد بطوریکه بتن در سازه بوسیله وزن خودش و بدون نیاز به تراکم لرزاننده می تواند متراکم شود . به علاوه ویسکوزیته مناسب به خوبی تغییر شکل پذیری ملات ضرورت دارد بطوریکه تغییر مکان (جابجایی) نسبی بین ذرات مصالح سنگی درشت در جلوی موانع هنگامیکه بتن بطور سراسری جاری میشود می تواند کاهش یابد و سپس از جدایی بین مصالح سنگی درشت و ملات جلوگیری شود . لزوم ویسکوزیته بوسیله آزمایش بصری (Hashimoto's test) تایید شد. شاخصهایی برای تغییر شکل پذیری Γ_m و ویسکوزیته R_m با استفاده از نتایج آزمایش قیف (Funnel) و جریان ملات پیشنهاد شد. نسبت بین تغییر شکل پذیری ملات و ویسکوزیته و خود سازگاری بتن تازه در شرایطی که مقدار مصالح سنگی درشت دانه ثابت است نشان داده شده است . (شکل ۱۵) و این موضوع بدست آمد که ترکیب بهینه تغییر شکل پذیری و ویسکوزیته ملات برای دستیابی خود سازگاری بتن تازه موجود می باشد .

۳- نقش ملات بعنوان ذرات جامد

علاوه بر نقشی به عنوان مایع در بالا ذکر شد ملات یک نقش بعنوان ذرات جامد بازی می کند که این خاصیت قابلیت انتقال فشار نامیده می شود . و هنگامی که ذرات سنگدانه درشت به یکدیگر نزدیک می شوند و ملات بین این ذرات تحت تنش نرمال قرار گیرد ظاهر می شود (شکل ۱۶). درجه کاهش در تغییر شکل پذیری برشی ملات تا حد زیادی به ویژگیهای فیزیکی ذرات جامد در ملات بستگی دارد . (شکل ۱۷)

برای مثال اختلاف در نسبت بین سرعتهای قیف (Funnel) بتن و ملات بعلاوه اختلاف مقدار مصالح ریز دانه در ملات نشان داده شده است (شکل ۱۷). این نتیجه بدست آمد که رابطه (نسبت) بین قابلیت جریان بتن و ملات همواره نمی تواند ثابت باشد بعلاوه اختلاف در ویژگیهای ذرات جامد در ملات حتی اگر مشخصات مصالح سنگی درشت و مقدارش در بتن یکسان باشند .

یک روش ارزیابی سازه برای قابلیت انتقال تنش ملات با استفاده از نسبت سرعت قیف (Funnel) بتن مهره های شیشه ای بعنوان مصالح سنگی درشت استاندارد (RCS) به سرعت ملات پیشنهاد شده . (شکل ۱۹)

قابلیت انتقال تنش بالاتر با مقدار کمتر Rcs/Rm متناسب می باشد . نسبتهای بین مقدار مصالح سنگی ریز در ملات و Rcs/Rm نشان داده می شود. (شکل ۲۰)

اختلاف در مشخصات ذرات جامد در ملات می تواند بوسیله مقدار Rcs/Rm منعکس شود. نسبت بین Rcs/Rm و ارتفاع پر آزمایش جعبه (Box) و شاخص برای خودسازگاری بتن تازه نشان داده می شود (شکل ۲۱). این نتیجه بدست آمد که این نسبت منحصر به فرد بود با وجود اختلاف در مقدار مصالح سنگی ریز در ملات با ویژگیهای ذرات پودر یا ماسه .

۴- تاثیر مصالح سنگی درشت ((شکل ، مقدار ، دانه بندی))

تأثیر مصالح سنگی درشت دانه روی خود سازگاری بتن تازه مخصوصاً قابلیت جریان از میان موانع می تواند یکسان و مساوی باشد با توجه به شکل ذرات مصالح سنگی درشت در شرایطی که نسبت مقدار مصالح سنگی درشت به حجم جامدش در بتن یکسان است . (شکل ۲۲)

در حالیکه تأثیری که دانه بندی ذرات درشت دارند، اگر فضای خالی موانع بوسیله ذرات درشت با اندازه ماکزیمم تا حد زیادی بسته شود ، در نظر گرفته می شود . برای مثال نسبتهای بین اندازه خروجی قیف (Funnel) بتن و سرعت جریان سرتاسری به مدول درشت دانه ها بستگی دارد ، حتی اگر خاصیتهای ملات ثابت (یکنواخت) باشد.

این موضوع پیدا شد که سرعت جریان بتن در Funnel با عرض خروجی ۵۵ mm تا حد زیادی با دانه بندی مصالح سنگی درشت تحت تأثیر قرار گرفت .

ماهیت (طبیعت) درست مسائل کلی محیطی یک نتیجه سیستم های شرکتی اقتصادی نشأت گرفته از انفجار صنعتی شدن در انقلاب صنعتی است . که در آن محصولات جرمی و مصرف این جرم ها را به دنبال دارد .

روش منطقی طراحی مخلوط

خود سازگاری تا حد زیادی به وسیله مشخصات مواد و نسبتهای مخلوط تحت تأثیر قرار می گیرد یک روش منطقی طرح مخلوط برای بتن خود متراکم با استفاده اینکه نوع مواد ضرورت دارد .

Okamura و Ozawa یک سیستم ساده تعیین نسبتهای مخلوط با فرض ملزومات کلی از تجهیزات بتن آماده پیشنهاد کردند .

مقادیر مصالح سنگی درشت و ریز ثابت هستند بطوریکه خود سازگاری می تواند به آسانی با تعدیل نسبت آب به پودر و نسبت سیمان فوق روان کننده بدست آید .

۱- مقدار مصالح سنگی درشت به بتن ((۵۰٪ حجم جامد)) ثابت است .

۲- مقدار مصالح ریز دانه ((۴۰٪ حجم ملات)) ثابت است .

۳- نسبت آب به پودر در حجمی در حدود ۰.۹ تا ۱ بسته به خواص پودر فرض میشود.

۴- نسبت فوق روان کننده و نسبت آب به پودر نهایی برای بدست آمدن خود سازگاری تعیین می شود

در تعیین نسبتهای مخلوط بتن سنتی ، نسبت آب به سیمان در اولین نقطه نظر برای بدست آوردن مقاومت لازم ثابت است .

در بتن خود متراکم نسبت آب به پودر باید تعیین شود در طرح زیرا خود سازگاری در این نسبت خیلی حساس است. حداکثر موارد مقاومت لازم بر نسبت آب به سیمان حکم نمی کند، بعلاوه اینکه نسبت آب به پودر بطورکافی پایین است برای بدست آوردن مقاومت لازم برای سازه های معمولی (عادی) بجز آنهایی که اکثر مواد پودری مورد استفاده در آنها غیر فعال هستند .

ملات یا چسب در بتن خود متراکم ویسکوزیته بالایی احتیاج دارد به همان مقدار که تغییر شکل بالایی نیاز دارد . این موضوع با استفاده از یک روان ساز اعلاء بدست می آید که به یک نسبت آب به پودر برای تغییر شکل پذیر بالا منتج می شود .

مزایا و موارد کاربرد بتن خود متراکم

این نوع بتن به علت مقاومت بالا از یک طرف و از طرف دیگر متراکم شدن بدون نیاز به لرزاننده توسط وزنش در برخی موارد که استفاده از بتن سنتی مشکل می باشد و با این نوع بتن مزیت چندانی بر حسب نوع کاربرد بتن معمولی ، مورد استفاده قرار می گیرد.

چندین مزایای کاربرد بتن خود متراکم بشرح ذیل می باشد:

۱- خدمت پذیری تیرهای بتن مسلح با بتن خود متراکم مقاومت بالا بیشتر از بتن معمولی می باشد به همین دلیل در مواردیکه حجم زیاد آرماتور را داریم به دلیل مشکل استفاده از بتن معمولی از بتن خود متراکم استفاده می شود.

۲- شکل پذیری اتصالات ساخته شده از بتن خود متراکم

۳- مقاوم سازی سازه های بنایی با استفاده از بتن خود متراکم

یکی از مهم ترین کاربردهایی که این نوع بتن (خود متراکم) می تواند در کشور ما داشته باشد مورد فوق الذکر می باشد. ساخت ساختمانهای آجری یا سازه های با مصالح بنایی ((با وجود پیشرفت ساختمان سازی و استفاده از سازه های بتنی و فلزی در جهان به علت مقاوم بودن در برابر زلزله)) در حال حاضر در بسیاری از مناطق ایران رایج است. نگاهی به نقشه لرزه خیزی جهان نشان میدهد که گسلهای فعال و لرزه خیزی در کشور وجود دارد که هدف ما تنها پیش بینی زمان دقیق وقوع زلزله و نجات جان انسانها نیست بلکه آنچه اهمیت دارد تداوم زندگی انسانها در رفاه است که بجز برنامه سازی برای مقاوم سازی شهرها نخواهد داشت. لذا برای جلوگیری از خسارتهای مالی و انسانی در اثر وقوع زلزله به علت کیفیت پایین اجرای ساختمان های بنایی در کشور ، استفاده از بتن خود متراکم که بیش از دو دهه از ساخت و کاربرد آن در جهان می گذرد می تواند بر طرف کننده عیب های اجرایی و بالا بردن کیفیت ساخت و ساز در کشور شود.

نتیجه گیری

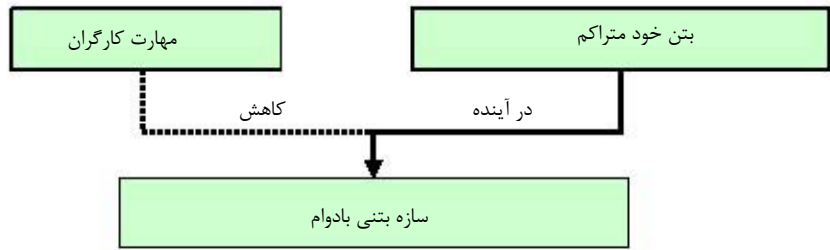
از آنجاییکه هر دو روش منطقی طرح مخلوط و آزمایش پذیرش مختص در محل کار بصورت تقریبی برای بتن خود متراکم منتشر شده است این را باید در نظر گرفت که موانع اصلی استفاده شده برای ساختن بتن خود متراکم حل شده است. وظیفه بعدی ، توزیع تکنیکی برای ساختن بتن خود متراکم می باشد. تحصیل (آموزش) منطقی (گویا) و سیستم های توصیفی باید معرفی می گردد.

هنگامی که بتن خود متراکم تا حد زیادی مورد استفاده قرار میگیرد که در این حالت به نظر می رسد بعنوان بتن استاندارد خواهد بود بیشتر از آنچه که یک بتن مخصوص مورد استفاده است در این صورت ما در ساخت سازه های بتنی با دوام و پایدار و معتبر بدون استفاده به نگهداری زیاد موفق خواهیم بود.

فهرست منابع و مراجع

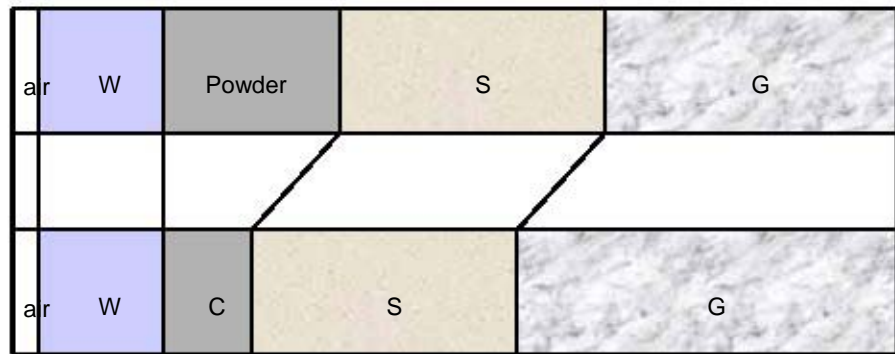
- [1] امیر مسعود کی نیا ، "طراحی سازه های بتن مسلح "، انتشارات جهاد دانشگاهی صنعتی اصفهان ، سال ۱۳۷۸.
- [2] هومن هور نهاد ، طراحی و ساخت بتن خود تراکم . پایان نامه کارشناسی ارشد ، دانشگاه شهید باهنر کرمان ، سال ۱۳۸۴.
- [3] علی اکبر مقصودی ، حمید فرخ قاطع ، حبیب اکبر زاده بنگر، شکل پذیری و حالت نهایی محل اتصال در اعضا ساخته شده از بتن خود متراکم (SCC)، اولین همایش مقاوم سازی لرزه ای تهران ، کد مقاله ۶۰۵ ، ۱۳۸۵.
- [4] طرح پژوهش طراحی ، ساخت و ارزیابی آزمایشگاهی خواص مکانیکی و دوام بتنهای خود تراکم حاوی nano و مقایسه آنها با بتن معمولی ، عباس درب هنزی ، علی اکبر مقصودی ، دانشگاه ولی عصر رفسنجان ۱۳۸۵.
- [5] حمید فرخ قاطع ، بررسی شکل پذیری و حالت نهایی اتصال های بتن مسلح با بتن خود متراکم ، پایان نامه کارشناسی ارشد ، بخش عمران دانشگاه شهید باهنر کرمان ، ۱۳۸۵.

- [6] Ozawa K, Maekawa K, Kunishima M & Okamura H. Development of high performance concrete based on the durability design of concrete structures: Proceedings of the second East-Asia and Pacific Conference on Structural Engineering and Construction (EASEC-2), Vol. 1, pp. 445-450, January 1989.
- [7] Maekawa, K & Ozawa, K. Development of SCC's prototype (written in Japanese), Self-Compacting High performance Concrete, Social System Institute, pp. 20-32, March 1999.
- [8] Gagne R, Pigeon M & Aitcin P C. Decier salt scaling resistance of high performance concrete, Paul Klieger Symposium on Performance of Concrete, SP-122, ACI, November 1989
- [9] Okamura H & Ozawa K. Mix-design for self-compacting concrete, Concrete Library of JSCE, No. 25, pp.107-120, June 1995.
- [10] Hayakawa M, Matsuoka Y & Shindoh T. Development & application of super workable concrete, RILEM International Workshop on Special Concretes: Workability and Mixing, Paisley, 1993.
- [11] Ouchi, M, Hibino, M, Ozawa, K & Okamura, H. A rational mix-design method for mortar in self-compacting concrete, Proceedings of the Sixth East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering & Construction, Taipei, ROC, Vol. 2, pp.1307-1312, January 1998.



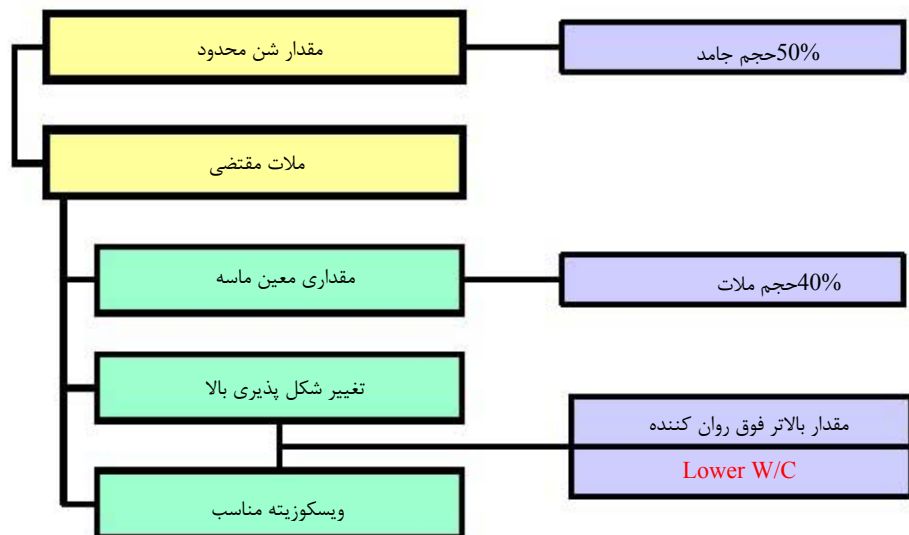
شکل ۱. ضرورت استفاده از بتن خود متراکم

بتن خود متراکم (Admixture: superplasticizer)

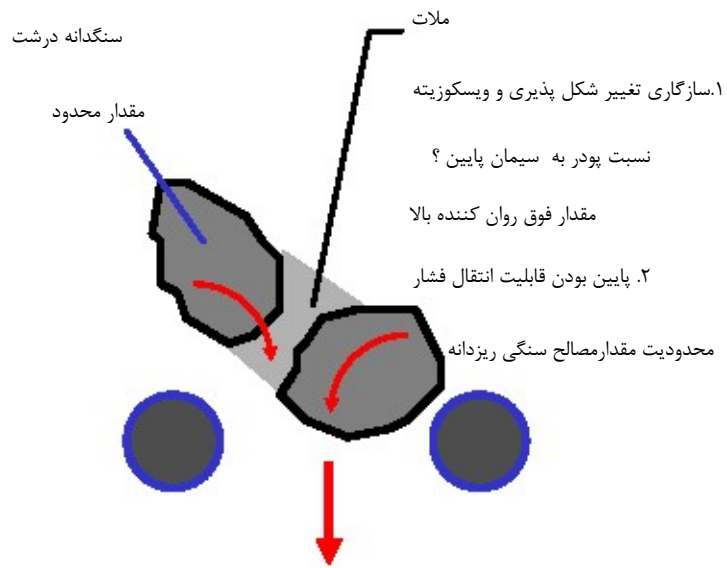


بتن قراردادی

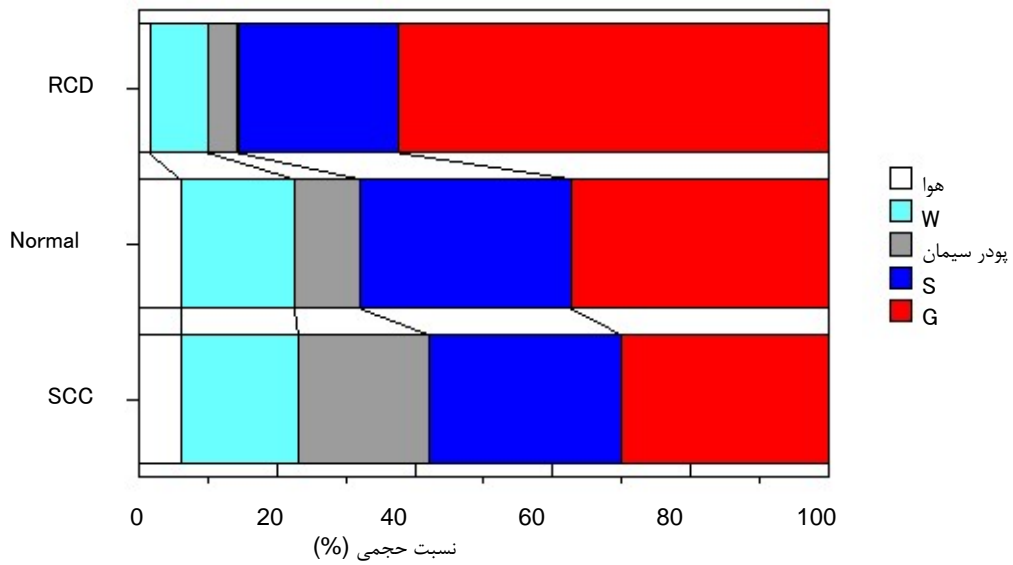
شکل ۲. مقایسه نسبت‌های مخلوط

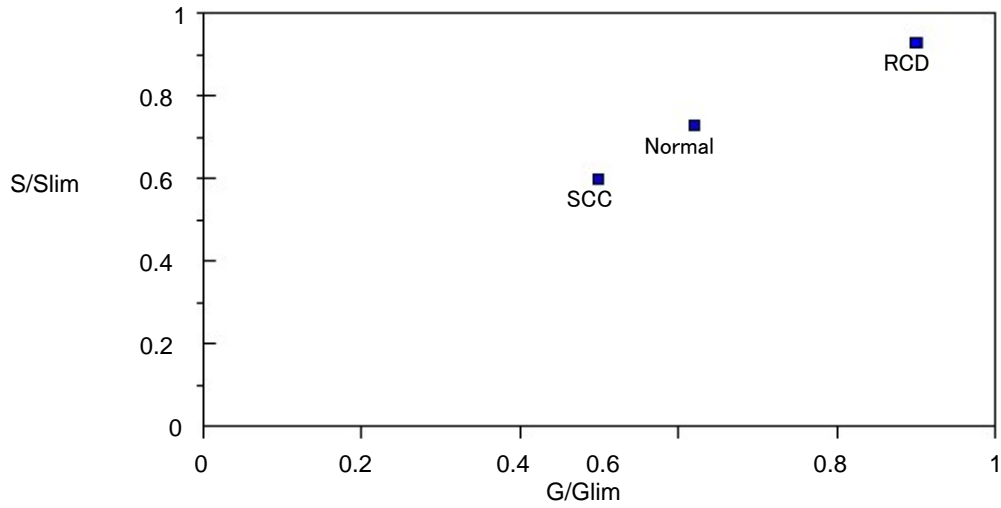


شکل ۳. روشهای دستیابی خودسازگاری بتن تازه

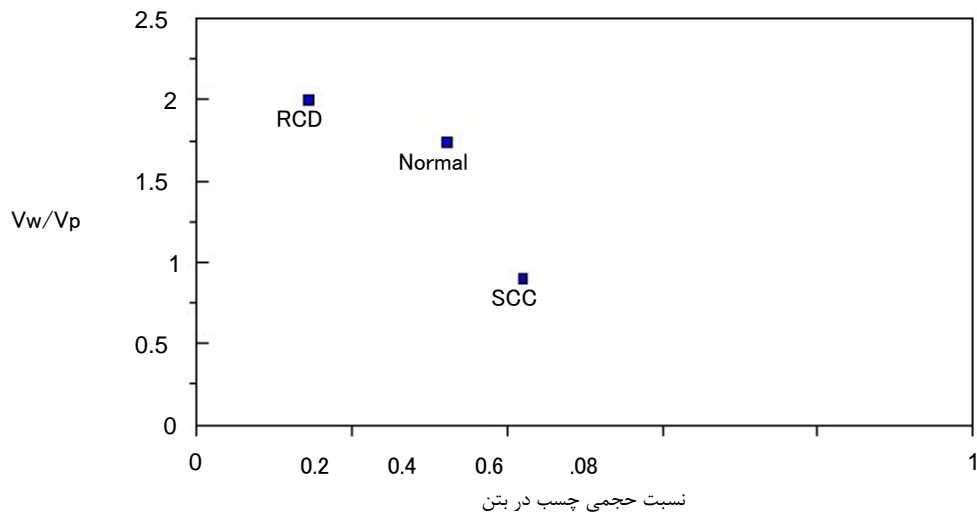


شکل ۴. روشهای دستیابی به خود سازگاری

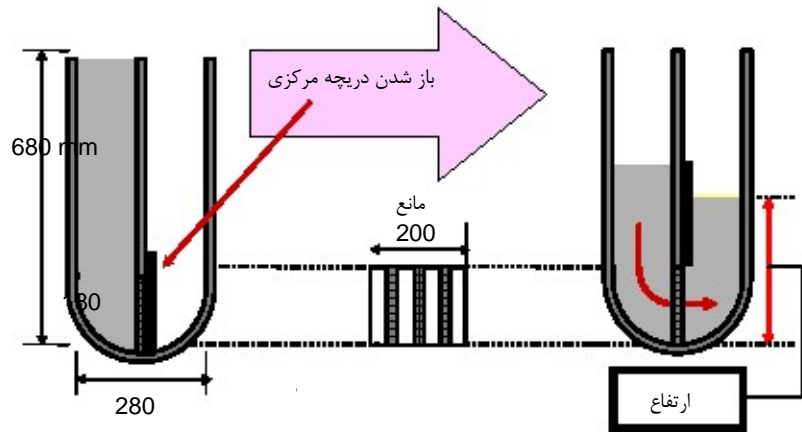




شکل ۶. درصد تراکم مصالح سنگی به مصالح سنگی درشت در بتن یا مصالح سنگی ریز در ملات

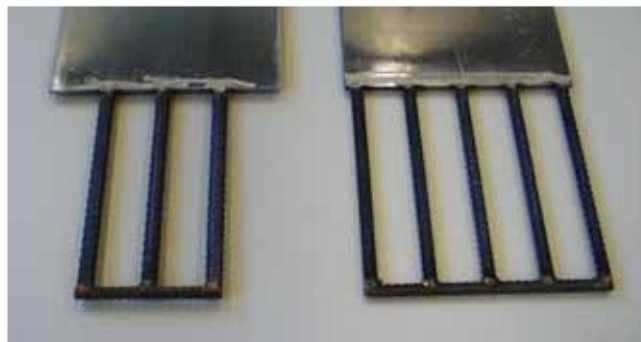


شکل ۷. نسبت بین حجم چسب و نسبت آب به پودر سیمان





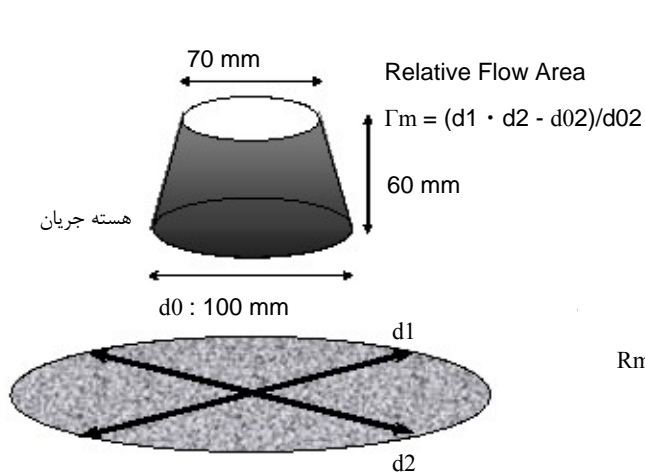
شکل ۹. آزمایش جعبه



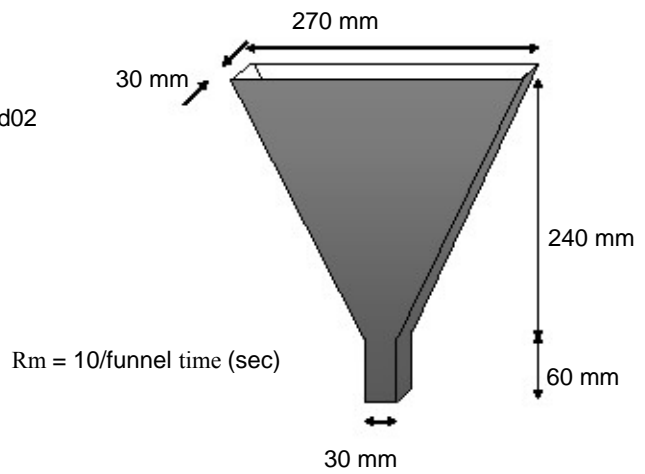
شکل ۹. موانع موجود برای آزمایش جعبه



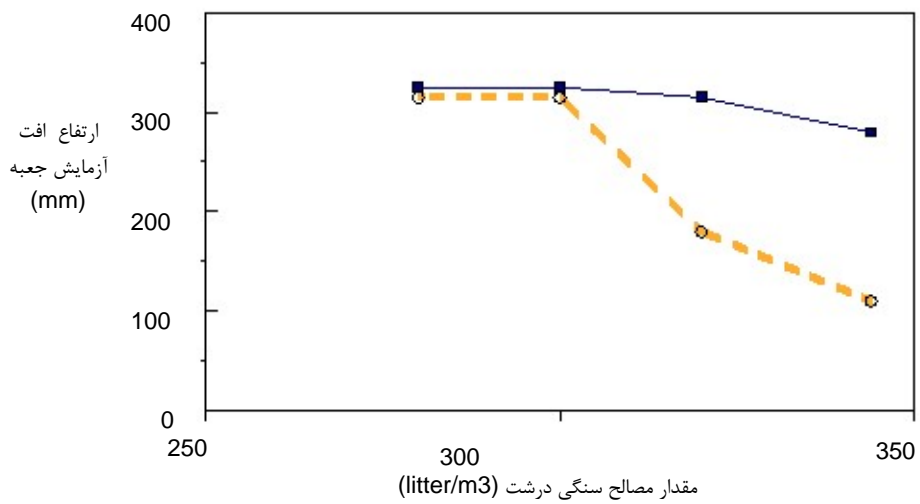
شکل ۱۱. V-funnel



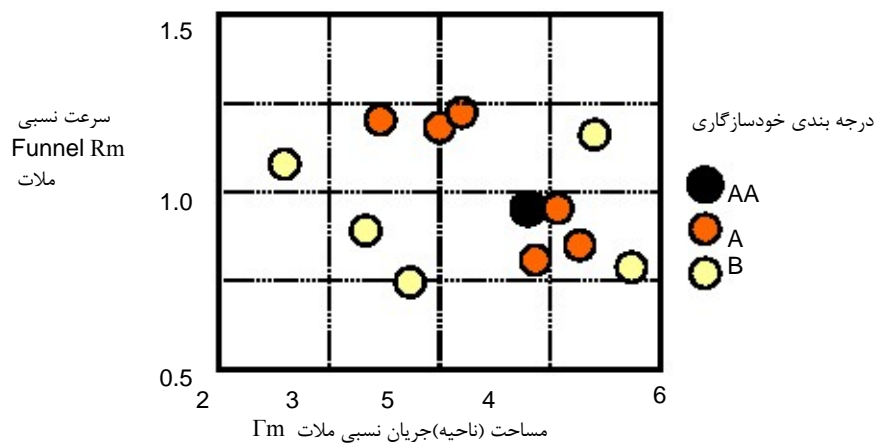
شکل ۱۲. آزمایش Flow برای ملات



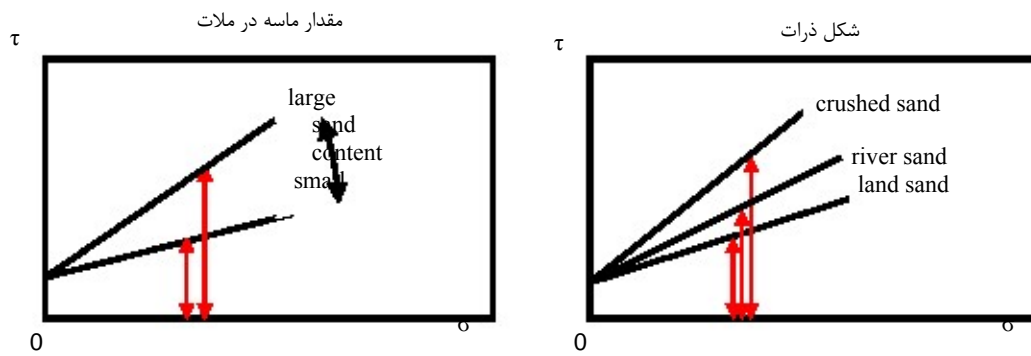
شکل ۱۳. آزمایش Funnel برای ملات



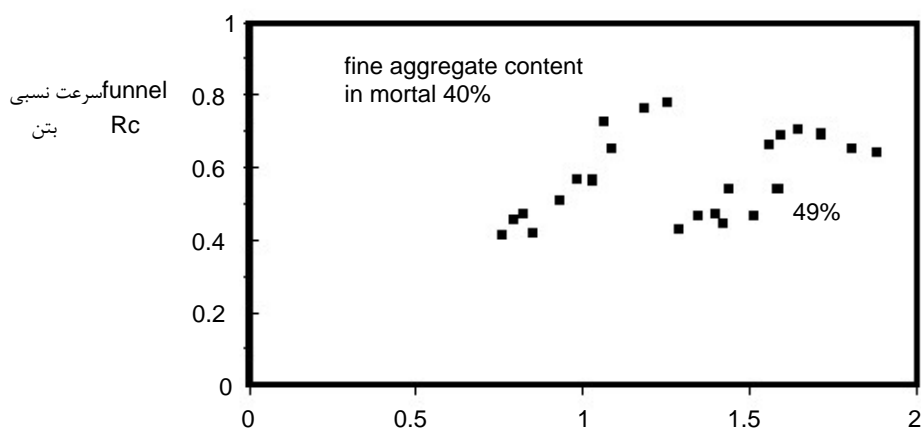
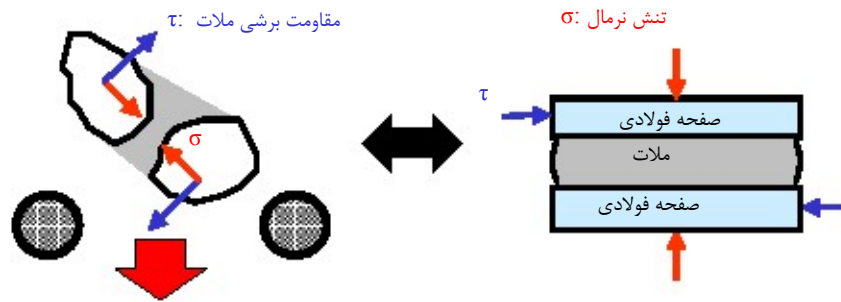
شکل ۱۴. تاثير مقدار مصالح درشت دانه روی خود سازگاری



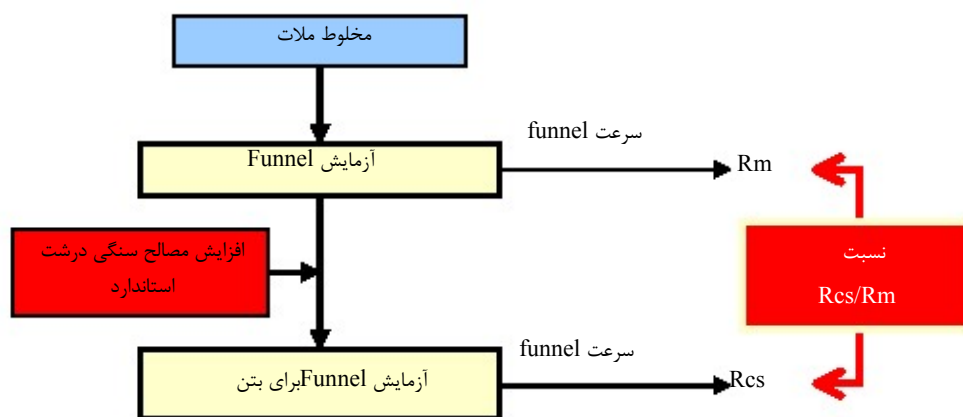
شکل ۱۵. نسبت بین جریان پذیری ملات و خود سازگاری بتن



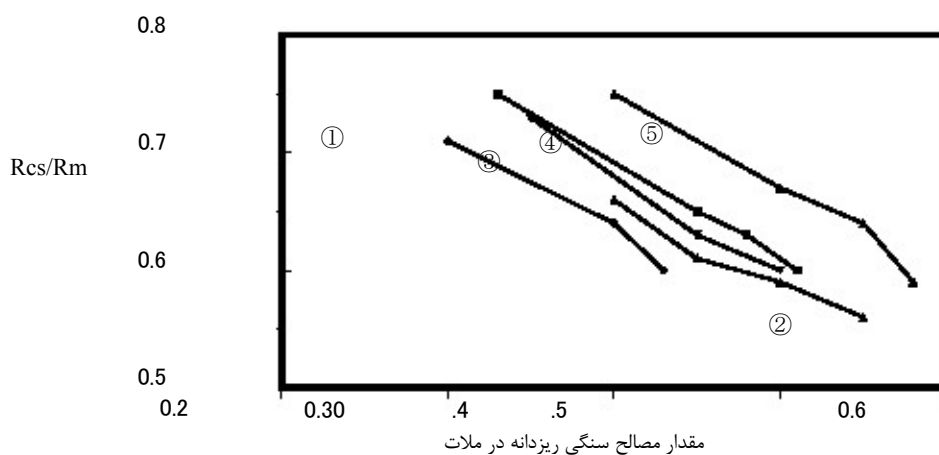
شکل ۱۶. تنش نرمال تولیدی در ملات نشات گرفته از ذرات سنگدانه های درشت



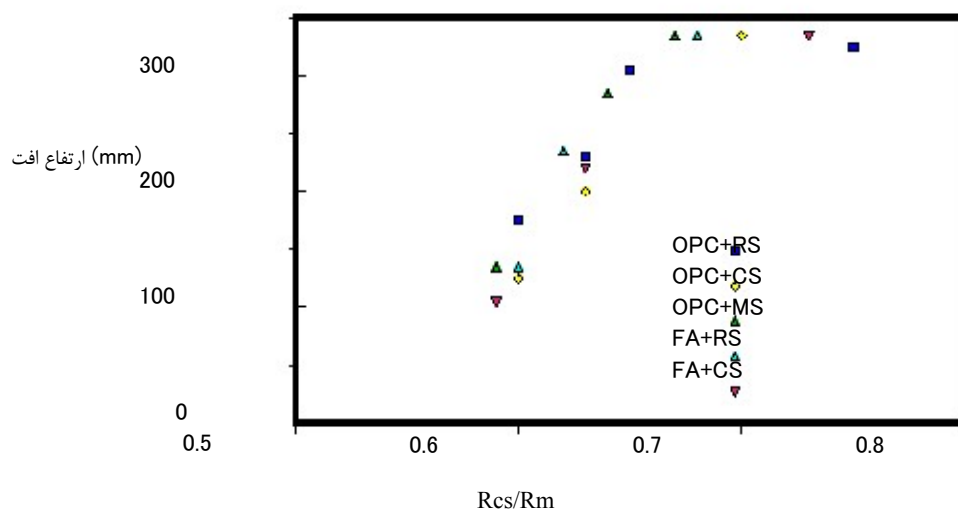
شکل ۱۸. رابطه بین جریان پذیری ملات و بتن (V65 funnel)



شکل ۱۹. یک روش ارزیابی ساده برای انتقال پذیری تنش در ملات تازه



شکل ۲۰. نسبت‌های بین مقدار سنگدانه های ریز در ملات و R_{cs}/R_m
 [1: OPC+Crushed Sand(CS), 2: Fly Ash (FA)+CS, 3: FA+River Sand(RS), 4: OPC + RS, 5: OPC+Land Sand(LS)]



شکل ۲۱. نسبت واحد بین R_{cs}/R_m و درجه خود سازگاری بتن