

## بررسی تاثیر الیاف فولادی و نسبت سنگدانه های درشت بر خواص بتن خود تراکم

ساسان معتقد \*

استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیا(ص) بهبهان، بهبهان، ایران  
محمد رضا حلاوت

کارشناسی ارشد، مهندسی سازه، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیا(ص) بهبهان، بهبهان، ایران  
محمد صالحی ویسی

استادیار، گروه آمار و ریاضی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیا(ص) بهبهان، بهبهان، ایران

### چکیده

هدف نهایی استفاده از بتن به عنوان مهمترین و پرکاربردترین مصالح ساختمانی ایجاد خواص مقاومتی دراز مدت پایدار می باشد. بتن خود تراکم به عنوان گزینه ای که مشکلات عمده بتن تازه در آن حل شده است، به دلیل استفاده از مواد افزودنی خاص و درشت دانه کمتر هزینه تمام شده بیشتری دارد. همچنین وجود ریز دانه بیشتر پتانسیل ترک خوردگی این بتن را افزایش داده است. در این پژوهش تاثیر استفاده از سنگدانه ها با دانه بندی های مختلف و الیاف فولادی بر خواص تازه و سخت شده بتن خود تراکم سنجیده می شود. به این منظور از مجموع ۳۳ طرح مخلوط ساخته شده، ۱۸ طرح مقدماتی بوده و در ۹ طرح نسبت مقدار درشت دانه به کل سنگدانه به صورت ۰/۷۰، ۰/۶۵، ۰/۶۰، ۰/۵۵، ۰/۵۰، ۰/۴۵، ۰/۴۰، ۰/۳۵ و ۰/۳۰ تغییر کرده است. در ۶ طرح دیگر، مخلوط با درصدهای الیاف صفر درصد، ۰/۵۰ درصد، ۱/۰۰ درصد، ۱/۵۰ درصد، ۲/۰۰ درصد و ۲/۵۰ درصد وزن سیمان ساخته شده است. بر اساس نتایج این پژوهش بتن با ۵۰٪ درشت دانه با حفظ خواص خود تراکمی، خصوصیات سخت شده خوبی نیز از خود نشان می دهد. همچنین افزودن الیاف فولادی جریان پذیری بتن و به طور کلی کارایی بتن را کاهش می دهد، تا جایی که با افزایش درصد الیاف بتن خاصیت خود تراکمی خود را از دست می دهد. افزودن الیاف می تواند باعث کاهش ترک های انقباضی بتن و بهبود مقاومت کششی شود. در مورد مقاومت فشاری تاثیر چندان مطلوبی مشاهده نگردید بطوری که مقدار مقاومت فشاری بتن خود تراکم بدون الیاف بیشتر از مقاومت فشاری بتن خود تراکم الیافی گردید. بر اساس نتایج این پژوهش، بهترین درصد الیاف فولادی قلابدار که می توان برای بتن خود تراکم الیافی، هم از لحاظ خواص تازه و هم از حیث خواص سخت شده توصیه کرد میزان ۱/۵ درصد (وزن سیمان) می باشد.

واژه های کلیدی: آزمایشات بتن تازه، ترک خوردگی، نسبت شن به کل سنگدانه.

## ۱- مقدمه

خوردگی، افزودن الیاف فولادی است که باعث کاهش قابلیت های بتن تازه و کم شدن میزان ترک های انقباضی می گردد [۱۰ و ۹]. اما از سوی دیگر خواص بتن تازه خصوصاً روانی را دچار مشکل می کند [۱۱ و ۱۲].

حذف و بیره استفاده از الیاف در بتن خود تراکم را مساله ای چالش برانگیز کرده است که نتیجه غلبه بر این چالش، رسیدن به بتنی ایده آل است [۱۳]. استفاده از الیاف می تواند کاربرد بتن خود تراکم را توسعه دهد. اما الیاف جریان پذیری و کارایی بتن را تحت تاثیر قرار می دهند. پخش یکنواخت بتن با حجم بالای الیاف را دشوار ساخته است [۱۴]. رامبو و همکاران خواص رئولوژیکی بتن خود تراکم حاوی دو نوع الیاف فولادی با تنه های ساده و قلابدار را بررسی کرده اند. آنها جریان اسلامپ را بین ۶۲۰ تا ۷۲۰ میلی متر گارش داده اند. آنها حداکثر درصد الیاف قابل استفاده را ۱٪ و بلوکه شدگی مجرای V را ۱،۵٪ الیاف گزارش کرده اند [۱۵]. گزارش شرممان و یامان از بتن خود تراکم حاوی الیاف فولادی قلابدار، جریان اسلامپ ۵۶۰ تا ۷۰۰ میلی متر و مجرای V ۲،۴ تا ۲،۷ ثانیه است. همه بتن های آنها تا خود تراکم باقی مانده و هیچ گونه بلوکه شدگی یا جداسازی گزارش نشده است [۱۶]. آکی و تاسدمیر با بررسی پنج مخلوط بتن خود تراکم حاوی الیاف فولادی، هندسه الیاف را مهم ترین عامل در خواص بتن تازه دانسته اند. آنها حداکثر ۱،۵٪ الیاف در بتن استفاده کرده اند. همه مخلوط های آنها الزامات افنارک [۱] را برآورده کرده است [۱۷]. خالو و همکاران درصد الیاف بین ۰،۵ تا ۲ درصد را در بتن خود تراکم مورد آزمون قرار داده اند. آنها کاهش مقاومت فشاری را با افزایش درصد الیاف گزارش داده اند. علت کاهش مقاومت را کاهش کارایی و در نتیجه کاهش تراکم دانسته اند. مقدار کاهش در مقاومت فشاری تا ۳۰٪ نیز گزارش شده است [۱۸]. الیویرا و همکاران درصد الیاف را در مقاومت فشاری موثر نمی دانند [۱۹]. آیدین مقاومت فشاری بتن خود تراکم را تابع درصد الیاف دانسته و حداکثر مقاومت را در ۲٪ الیاف گزارش داده است [۲۰]. هدف این پژوهش توسعه کاربرد بتن خود تراکم با یافتن شرایط مناسب کاربرد سنگدانه های درشت تر در کنار استفاده از الیاف فولادی به منظور کاهش هزینه تمام شده و اصلاح خواص بتن سخت شده در عین حفظ خصوصیات خود تراکمی بتن تازه می باشد.

بتن خود تراکم بتنی است که بدون اعمال هیچگونه انرژی خارجی و تحت اثر وزن خود تراکم گردد. این بتن که ماده ای بسیار سیال و روان و مخلوطی همگن و پایدار است، بسیاری از مشکلات بتن معمولی نظیر جدا شدگی و آب انداختن را ندارد [۱]. این بتن به راحتی توانایی پر کردن قالب را، حتی در محل شبکه های آرماتور فشرده، دارا می باشد. از مهمترین مزایای این بتن می توان به اطمینان از تراکم بخصوص در مقاطعی که کاربرد لرزاننده دشوار است، جاگیری آسانتر در قالب، سطح تمام شده بهتر، کاهش نیاز به نیروی انسانی و آزادی عمل بیشتر در طراحی (امکان ایجاد مقاطع نازک تر) اشاره کرد [۲].

در کنار مزایای فراوان یکی از مهمترین مشکلات بتن خود تراکم، که کاربرد آنرا با مشکلاتی مواجه کرده است، هزینه بالای تولید برای حفظ خواص تازه در کنار ویژگی های مقاومتی و دوام می باشد. به منظور حصول مشخصات ویژه در این بتن، لازم است در تولید آن تمهیدات خاصی مد نظر قرار گیرد. زیاد بودن حجم خمیر و بالا بودن ویسکوزیته خمیر در کنار حفظ روانی یکی از نکات مهم در تولید این بتن است [۳]. افزایش میزان ریزدانه، کاهش درشت دانه، استفاده بیشتر از پودرها (مواد سیمانی و انواع پرکننده ها) از دیگر الزامات این بتن است. برای ایجاد روانی در خمیر، افزایش نسبت آب به مواد سیمانی پذیرفته نیست، زیرا باعث کاهش ویسکوزیته و شکل پذیری آن می شود [۴]. کاهش ویسکوزیته در بتن خود تراکم قابل قبول نیست. به همین جهت از مواد فوق روان کننده در آن استفاده می شود. بتن خود تراکم باید بدون جدا شدگی روان و شکل پذیر باشد. تمهید دیگر برای حفظ پایداری و جلوگیری از جداسازی و آب انداختگی بتن خود تراکم کاهش اندازه درشت دانه ها است [۵]. در اغلب طرح اختلاط های ارائه شده حداکثر اندازه سنگدانه به ۱۹ میلی متر و حداکثر مقدار شن به ۰،۴۵ کل سنگدانه ها محدود شده است [۶ و ۷]. همه این اقدامات باعث افزایش پتانسیل ترک خوردگی و افزایش هزینه تولید هستند. دامنه وسیعی از سنگدانه ها با دانه بندی های متفاوت را می توان در ساخت بتن خود تراکم به کاربرد. افزایش سنگدانه درشت باعث تقویت استخوان بندی، کاهش پتانسیل ترک خوردگی و بهبود خواص بتن سخت شده می شود اما کاهش قابلیت های مثبت بتن خود تراکم تازه را نیز به دنبال دارد [۸]. راه دیگر کاهش ترک

## ۲- برنامه آزمایشگاهی

### ۱-۲- مصالح و طرح های اختلاط

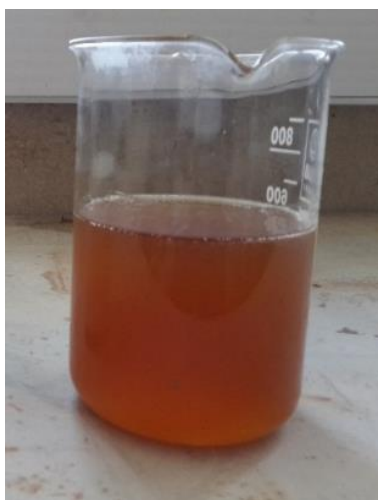
برای تولید یک مخلوط بتن خودتراکم از Starch ether به عنوان اصلاح کننده لزجت استفاده شده است. این افزودنی شیمیایی دارای وزن مخصوص  $1.07 \text{ gr/cm}^3$ ، گرانیوی ۵۵۰۰-۳۰۰۰ پوآز pH ۱۱-۱۲ است. شکل ۳ و شکل ۴ به ترتیب ابر روان کننده و عامل اصلاح لزجت را نشان می دهد. در جدول ۹، خصوصیات ابر روان کننده و عامل اصلاح لزجت آمده است.

### ۲-۲- آماده سازی و روش انجام آزمایش ها

با توجه به حساسیت بالای بتن خود تراکم، لازم است در همه مراحل ساخت بتن ها دقت کافی مد نظر باشد. سعی گردید مراحل ساخت برای کلیه بتن ها تا جای ممکن به طور یکسان انجام شود.



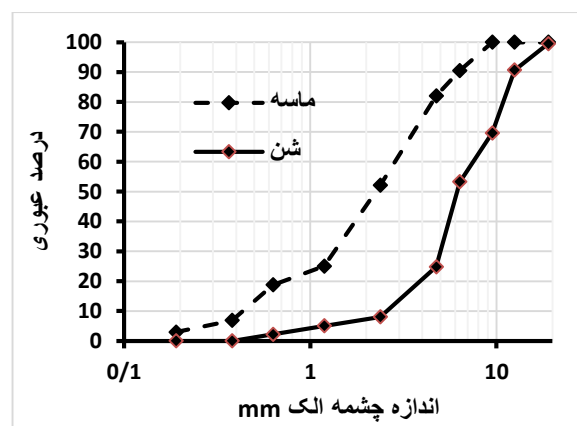
شکل ۲- نمونه الیاف فولادی قلاب دار



شکل ۳- ابر روان کننده

در این تحقیق در مجموع ۳۳ طرح مخلوط بر اساس یک مخلوط پایه طراحی گردید. ابتدا ۱۷ طرح به صورت سعی و خطا بر اساس طرح پیشنهادی ایکار (جدول ۱) [۲۱] برای ارضاء شرایط افنارک (جدول ۲) ساخته شد (جدول ۳). بر اساس مشخصات طرح حاصل از مرحله سعی و خطا، در ۹ مورد از طرح مخلوط ها (طرح C1) سایز سنگدانه ها و نسبت مقدار درشت دانه به کل سنگدانه (C/T) به صورت ۰/۷۰، ۰/۶۵، ۰/۶۰، ۰/۵۵، ۰/۵۰، ۰/۴۵، ۰/۴۰، ۰/۳۵ و ۰/۳۰ تغییر کرده است. مشخصات دقیق این طرح ها در جداول ۴ و ۵ داده شده است. در ۶ طرح دیگر (طرح C2)، طرح مخلوط با درصد های الیاف صفر درصد، ۰/۵۰ درصد، ۱/۰۰ درصد، ۱/۵۰ درصد، ۲/۰۰ درصد و ۲/۵۰ درصد وزن سیمان ساخته شده است. مشخصات این طرح اختلاط ها در جداول ۶ و ۷ آورده شده است. سیمان مورد استفاده سیمان تیپ ۵ کارخانه سیمان بهبهان است. شن و ماسه از معادن خیرآباد بهبهان استخراج شده است. شن با حداکثر اندازه ۱۹.۵ میلی متر می باشد. شکل ۱ دانه بندی شن و ماسه را نشان می دهد.

شکل ۲ الیاف مورد استفاده را نشان می دهد. در جدول ۸ مشخصات الیاف داده شده است. پودرسنگ سیلیس رد شده از الک ۱۲۰، در ساخت بتن مورد استفاده قرار گرفته است. فوق-روان کننده بر پایه پلی کربوکسیلات با نام تجاری PC 5000 با وزن مخصوص  $1100 \text{ kg/m}^3$  و غلظت ۲۰ درصد مطابق با استاندارد اروپایی EN-934-2 است.



شکل ۱- نمودار دانه بندی سنگدانه ها

جدول ۲- حدود قابل قبول افنارک [۱]

محدوده مجاز		آزمایش
حداقل	حداکثر	
۸۰۰	۶۵۰	جریان اسلامپ (میلیمتر)
۵	۲	T50cm (ثانیه)
۱۰	۰	حلقه J (میلیمتر)
۱۲	۶	قیف V (ثانیه)
۱	۸/۰	جعبه L (h2/h1)



شکل ۴- پودر VMA

با توجه به اینکه طرح مخلوط ایکار برای مصالح در دسترس از نظر استاندارد ذکر شده قابل قبول نبود، بنابراین بهترین بتن خودمتراکم را با سعی و خطا مطابق با جدول ۳ پیدا شده و در مراحل بعدی مورد استفاده قرار گرفت. شکل ۵ الف حالتی را نشان می دهد که بتن خاصیت خود تراکمی ندارد. نسبت آب به سیمان کم عامل این پدیده است. با اضافه کردن ابر روان کننده روانی بالا رفته اما چنانچه در شکل ۵ ب دیده می شود، بتن دچار آب انداختگی شدید است. برای حل این مشکل عامل اصلاح لزجت اضافه شده است که در شکل ۵ پ بتن با خاصیت خود تراکمی دیده می شود.

در این تحقیق دو دسته مخلوط ساخته شده است. در فاز اول با استفاده از طرح بدست آمده از سعی و خطای اولیه، ۲۷ نمونه بتن (۶ تایی) خودتراکم معمولی با ۹ سطح متفاوت شن ساخته شد و آزمایشات تازه و سخت شده بر روی آنها انجام گرفت. در فاز دوم ۱۲ نمونه بتن (۶ تایی)، که ۲ نمونه آن مربوط به نمونه شاهد و ۱۰ نمونه دیگر آن مربوط به ۵ درصد متفاوت از الیاف فولادی است، ساخته و آزمایشات تازه و سخت شده و همچنین ترک خوردگی بر روی آنها انجام شد.

در آزمایشات تازه بتن خودمتراکم بر روی نمونه های مختلف انجام گردید مشاهده گردید که بتن شماره ۱۷ (scc17) نتایج قابل قبولی را بدست می دهد بنابراین در فاز اول از آن به عنوان پایه و اساسی برای تغییر ساینز سنگدانه ها و همچنین در فاز دوم جهت نمونه شاهد آزمایش بر روی دوزهای مختلف الیاف فولادی قلاب دار به کار می رود

ساخت و آزمون بتن های هر سری در فواصل زمانی نسبتاً کوتاه، دانه بندی رطوبت یکسان مصالح سنگی و نیز رعایت مراحل ساخت و انجام آزمایش ها برای هر بتن از جمله این مسائل است. برای ساخت بتن، ابتدا سیمان و پودر سنگ به مدت ۳۰ ثانیه درون میکسر مخلوط می شود سپس الیاف باز شده را همراه با سنگدانه درون همزن دیگ ثابت ریخته، بعد از گذشت ۳ دقیقه  $\frac{1}{3}$  وزنی آب به همراه روان کننده به مخلوط اضافه شد.  $\frac{1}{3}$  دیگر از آب بعد از سپری شدن ۲ دقیقه به مخلوط اضافه شد. مقدار آب باقی مانده را همراه با عامل اصلاح لزجت بعد از گذشت ۲ دقیقه به درون میکسر اضافه کرده و به بتن اجازه می دهیم تا به مدت ۵/۵ دقیقه مخلوط شود. بلافاصله پس از پایان یافتن فرآیند مخلوط کردن بتن، آزمایش های بتن تازه که در ادامه به شرح آنها پرداخته خواهد شد، روی مخلوط ها انجام می گیرد. به منظور رسیدن به طرح اختلاط مناسب، نمونه های زیادی ساخته شده که نتایج آنها را به طور خلاصه نشان می دهد. در مرحله مقدماتی این تحقیق سعی می شود با توجه به طرح اختلاطی که از ایکار [۲۱] گرفته شده است (جدول ۱) و با استفاده از مصالح موجود بتن خود تراکمی ساخته شود که در چهارچوب استاندارد افنارک [۱] باشد (جدول ۲) و حدود مورد قبول در آزمایشات را رعایت کند.

جدول ۱- طرح اختلاط پیشنهادی ایکار [۲۱]

جزء	Kg/m <sup>3</sup>
سیمان	۴۰۰
ماسه	۸۹۳
شن	۷۳۱
آب	۲۰۰
پودر سنگ	۱۷۵
روان کننده (۱/۵٪ جرم سیمان)	۶

جدول ۳- طرح های اختلاط بتن خودتراکم برای رسیدن به حدود قابل قبول افتارک

شماره آزمایش	W/C	سیمان kg/m3	آب kg/m3	پودر سنگ kg/m3	فوق روان کننده kg/m3	VMA kg/m3	شن kg/m3		ماسه -۰ kg/m3
							نوع اول ۴- ۹,۵	نوع دوم ۱۹-۹,۵	
SCC1	۰/۵	۴۰۰	۲۰۰	۱۷۵	۴/۶۶۰	-	۲۱۴	۵۱۷	۴,۷۵
SCC2	۰/۵	۴۰۰	۲۰۰	۱۷۵	۲	-	-	۴۸۳,۷	۱۱۳۹,۳
SCC3	۰,۵	۴۰۰	۲۰۰	۱۷۵	۳,۱۷۰	-	-	۷۶۱,۹	۸۶۲,۱
SCC4	۰,۴۶	۴۰۰	۱۸۴	۱۷۵	۴	۰,۹۲۵	۲۷۹,۷	۳۴۷,۵	۹۴۰,۸
SCC5	۰,۴۶	۴۰۰	۱۸۴	۱۷۵	۴	۰,۳۵۲	۲۸۰	۳۴۸	۹۴۰
SCC6	۰,۴۶	۴۰۰	۱۸۴	۱۷۵	۴	۰,۶۰۰	۴۸۰	۳۶۰	۸۰۰
SCC7	۰,۴۶	۴۰۰	۱۸۴	۱۷۵	۴	۰,۳۵۲	۳۶۰	۴۴۰	۸۰۰
SCC8	۰,۴۶	۴۰۰	۱۸۴	۱۷۵	۲	۰,۸۴۰	۴۸۰	۳۶۰	۸۰۰
SCC9	۰,۴۶	۴۰۰	۱۸۴	۱۷۵	۳,۹۲	۰,۵۲۰	۴۸۰	۳۲۰	۸۰۰
SCC10	۰,۴۶	۴۰۰	۱۸۴	۱۷۵	۴	۰,۱۶۰	۴۸۰	۳۲۰	۸۰۰
SCC11	۰,۴۶	۴۰۰	۱۸۴	۱۷۵	۴	۰,۴۴۰	۳۷۶,۳	۲۵۰,۹	۹۴۰,۹
SCC12	۰,۳۶	۴۰۰	۱۴۴	۱۷۵	۹	۰,۲۰۰	۶۵۸,۵	۲۸۲,۲	۶۲۷
SCC13	۰,۴۶	۴۰۰	۱۸۴	۱۷۵	۴	۰,۲۱۷	۵۹۴,۷	۱۹۸,۲۵	۷۹۳
SCC14	۰,۳۹	۴۰۰	۱۵۶	۱۷۵	۴,۸	۰,۳۰۰	۷۶۸,۳	۳۲۹,۲۸	۴۷۰,۴
SCC15	۰,۳۹	۴۰۰	۱۵۶	۱۷۵	۵,۸	۰,۳	۷۱۳,۴	۳۰۵,۷۶	۵۴۸,۸
SCC16	۰,۳۹	۴۰۰	۱۵۶	۱۷۵	۱۰,۳۳	۰,۳	۶۵۳,۳	۲۸۲	۶۲۷,۲
SCC17	۰,۳۹	۴۰۰	۱۵۶	۱۷۵	۱۱	۰,۱۶۶	۴۹۹,۳	۲۱۴	۸۷۲,۳



الف: بتن بدون خاصیت خودتراکمی؛ ب: بتن آب انداخته؛ پ: بتن با خاصیت خودتراکمی

شکل ۵- الف: بتن بدون خاصیت خودتراکمی؛ ب: بتن آب انداخته؛ پ: بتن با خاصیت خودتراکمی

جدول ۴- طرح اختلاط بتن c1، تغییر (C/T) (نسبت وزنی شن به کل سنگدانه)

مقدار (کیلوگرم)	جزء
۴۰۰	سیمان
متغیر <sup>۱</sup>	ماسه
متغیر <sup>۲</sup>	شن
۱۵۶	آب
۱۷۵	پودر سنگ
۰,۰۱۱	روان کننده
۰,۰۱۶۶	VMA

<sup>۱</sup> مجموع وزن شن و ماسه ۱۵۸۵ کیلوگرم

جدول ۵- طرح اختلاط بتن C1، تغییر (C/T) (نسبت وزنی شن به کل سنگدانه)

طرح	C/T (%)	شن	ماسه	کل سنگدانه
C1-70	۷۰	۱۱۰۹,۵	۴۷۵,۵	۱۵۸۵
C1-65	۶۵	۱۰۳۰,۲۵	۵۵۴,۷۵	۱۵۸۵
C1-60	۶۰	۹۵۱	۶۳۴	۱۵۸۵
C1-55	۵۵	۸۷۱,۷۵	۷۱۳,۲۵	۱۵۸۵
C1-50	۵۰	۷۹۲,۵	۷۹۲,۵	۱۵۸۵
C1-45	۴۵	۷۱۳,۲۵	۸۷۱,۷۵	۱۵۸۵
C1-40	۴۰	۶۳۴	۹۵۱	۱۵۸۵
C1-35	۳۵	۵۵۴,۷۵	۱۰۳۰,۲۵	۱۵۸۵
C1-30	۳۰	۴۷۵,۵	۱۱۰۹,۵	۱۵۸۵

جدول ۹- خصوصیات ابر روان کننده و عامل اصلاح لزجت

افزودنی شیمیایی	وزن مخصوص (gr/cm <sup>3</sup> )	گرانروی (پوآز)	PH خلوص (%)	غلظت
ابروان کننده	۱/۱۰	-	-	۲۰
VMA	۱/۰۷	۴۰۰۰	۱۰	-

#### ۴- آزمایشات و نتایج

به منظور سنجش خواص بتن تازه آزمایشات جریان اسلامپ و T50، قیف V، جعبه L و حلقه J انجام شده است. خواص بتن سخت شده با آزمایشات مقاومت فشاری، مقاومت کششی مستقیم (دو نیم شدن) و ترک خوردگی سنجیده شده است.

آزمایش جریان اسلامپ و T50 از پرکاربردترین آزمایشات بتن خودتراکم و روشی برای سنجش قابلیت جریان بتن خود تراکم است. در این آزمایش، مخروط اسلامپ را در مرکز صفحه‌ای مسطح قرار داده سپس بتن بدون هیچ گونه ضربه یا تراکم داخلی و خارجی درون مخروط ریخته می شود. پس از پر شدن مخروط سطح آن را صاف کرده و آنرا به آرامی و با سرعتی ثابت بالا کشیده و به بتن اجازه داده می شود که تحت اثر وزن خود حرکت کند و پخش شود. زمانی که قطر بتن به ۵۰۰ میلی متر می رسد به عنوان زمان T50 ثبت می شود. بعد از اینکه بتن از حرکت ایستاد، دو قطر عمود بر هم را اندازه گیری کرده و میانگین آن به عنوان نتیجه آزمایش جریان اسلامپ گزارش می شود. لازم به ذکر است که در حین انجام آزمایش هرگونه جداشدگی و آب انداختگی باید بررسی شود.

آزمایش قیف V روشی برای سنجش توانایی پرکنندگی بتن خود تراکم می باشد. در این آزمایش زمان از عوامل مهمی است که می بایست به دقت به آن توجه داشت. پخش شدگی در این آزمایش درجه وابستگی تا چسبناکی مخلوط بتن را نشان می دهد. روش آزمایش به این صورت است که ابتدا قیف را در جای تمیز و صاف به صورت عمودی و حدوداً در فاصله ۵۰۰ میلی متر بالاتر از سطح زمین قرار می دهند. سطح داخلی قیف را باید مرطوب باشد. درپچه‌ی انتهایی قیف را بسته و ۱۲ لیتر بتن بدون اعمال هیچگونه ضربه درون قیف ریخته می شود تا قیف کاملاً پر شود. سطح قیف را صاف کرده، درپچه‌ی زیرین قیف را باز کرده و زمان تخلیه‌ی

جدول ۶- طرح اختلاط C2، تغییر درصدالیاف فولادی قلاب دار

جزء	مقدار (کیلوگرم)
سیمان	۴۰۰
ماسه	۸۷۲,۶۶
شن	۷۱۳,۳۳
آب	۱۵۶
پودر سنگ	۱۷۵
روان کننده	۰,۰۱۱
VMA	۰,۰۰۱۶۶
الیاف	متغیر

جدول ۷- درصد الیاف در طرح اختلاط C2

طرح	St 2.5	St 2.0	St 1.5	St 1.0	St 0.5	SCC	درصد الیاف
	۲,۵	۲,۰	۱,۵	۱,۰	۰,۵	۰	

جدول ۸- مشخصات مکانیکی و هندسی الیاف فولادی قلاب دار

مشخصه	مقدار	واحد
مدول الاستیسیته	۳۳۰۰	(MPa)
مقاومت کششی	۸۰۹	(MPa)
وزن مخصوص	۱,۵	(gr/cm <sup>3</sup> )
طول	۵۰	(mm)

مصرفی ۳۰ و ۳۵ درصد شن خواص بتن تازه از نظر عددی قابل قبول می‌باشد؛ اما با توجه به آب‌انداختگی بتن نمی‌توان این بتن را پذیرفت. آب‌انداختگی در بتن خودتراکم پایداری را در بتن پایین می‌آورد به این معنا که باعث جدایی و ته نشین شدن سنگدانه ها از مخلوط آب و سیمان شده که لایه بسیار ضعیفی را در سطح به وجود آورده و چسبندگی بین ذرات بتن را کاهش می‌دهد، بنابراین چنین بتنی قابل قبول نیست. بتنی که دچار پدیده‌ی آب-انداختگی است را نمی‌توان در نقاطی از سازه که تراکم آرماتورها در آنجا زیاد است، به کار برد. در سطوح ۷۰ و ۶۵ و ۶۵ درصد به علت ثابت بودن آب مصرفی قابلیت های بتن خودتراکم وجود ندارد؛ زیرا هر چقدر میزان درشت دانه در بتن بالا رود مخلوط خشن تری خواهیم داشت.

کامل بتن ثبت می‌شود. دقت در نحوه تخلیه‌ی بتن بسیار حائز اهمیت است. آزمایش جعبه‌ی L برای سنجش توانایی عبور بتن خود تراکم انجام می‌شود. در این آزمایش جداسازی یا عدم جداسازی قابل ارزیابی است. برای انجام این آزمایش ابتدا جعبه تراز و دریچه جعبه بسته می‌شود. سپس قسمت عمودی جعبه با حدود ۱۲ لیتر بتن بدون هیچ‌گونه تراکمی پر می‌شود، سطح بتن صاف شده، دریچه را بالا کشیده و به بتن اجازه داده می‌شود که تحت اثر وزن خود حرکت کند. بعد از توقف بتن ارتفاع بتن را در قسمت افقی در سه نقطه اندازه‌گیری کرده و متوسط آن را  $\Delta H$  می‌نامیم. ارتفاع بتن مانده در قسمت عمودی ( $H_1$ ) را اندازه‌گیری کرده و از رابطه‌ی  $(\Delta H / H_1)$  عدد آزمایش جعبه L به دست می‌آید. جدول ۱۰ نتایج آزمایشات بتن را نشان می‌دهد. در سطوح

جدول ۱۰- نتایج آزمایشات بتن تازه و سخت شده بر حسب درصد درشت دانه به کل سنگدانه

مقاومت کششی	مقاومت فشاری	مقاومت فشاری	مقاومت فشاری	حلقه z (cm)	جعبه L $(\Delta H/H_1)$	قیف V (ثانیه)	T <sub>50</sub> (ثانیه)	جریان اسلامپ (cm)	(C/T) (%)
۲۸ روزه MPa	۵۰/۶۶۶	۴۵/۶۵	۳۸/۹۰	۲/۳۰	۰/۱۱	۳۷/۳۳	۱۲/۶۷	۶۹/۳۳	۷۰
۲/۸۸	۵۱/۶۵	۴۹/۱۱	۴۰/۷۳۴	۱/۷۶۶	۰/۲۷	۳۰/۶۷	۹/۶۷	۷۰/۸۳	۶۵
۲/۸۲	۵۷/۱۳۳	۵۰/۵۱	۴۵/۳۸۶	۱/۴۰	۰/۶۲	۳۰/۶۷	۹/۶۷	۷۲/۸۳	۶۰
۳/۰۴	۵۸/۴۶۶	۵۰/۹۳۳	۴۳/۰۶۷	۰/۸۶۶	۰/۷۴	۲۵/۶۷	۷/۳۳	۷۵/۵۰	۵۵
۳/۴۱	۵۷/۹۳۳	۵۰/۸۰	۴۱/۲۰	۰/۶۰	۰/۷۷	۲۰/۶۷	۵/۶۷	۷۷/۳۳	۵۰
۳/۱۷	۵۵/۶۰	۵۰/۰۶۶	۴۳/۲۰	۰/۸۰	۰/۸۲	۲۱/۶۷	۸/۰۰	۷۳/۸۳	۴۵
۳/۱۱	۵۵/۷۳۳	۵۰/۲۸	۴۰/۴۰	۰/۶۳۳	۰/۸۶	۱۸/۳۳	۷/۶۷	۷۳/۱۷	۴۰
۳/۰۱	۵۳/۸۰۳	۴۷/۱۱	۳۹/۸۶۶	۰/۵۰	۰/۸۹	۱۴/۰۰	۶/۶۷	۷۶/۰۰	۳۵
۲/۹۶	۵۲/۴۶	۴۴/۷۱۶	۳۸/۹۰	۰/۴۳۳	۰/۹۲	۱۱/۶۷	۵/۳۳	۷۷/۱۷	۳۰

برای انجام آزمایش‌های مقاومت فشاری و کششی دو نیم شدن و تعیین میزان ترک‌ها، بتن خودتراکم بدون هیچ‌گونه عملیات لرزش در داخل قالب‌های مورد نظر که قبلاً به روغن قالب مناسب آغشته شده بودند، ریخته می‌شوند. مقاومت فشاری بتن‌ها بر اساس استاندارد BS 1881:PART 116 با استفاده از ۳ نمونه مکعبی ۱۵۰ میلی‌متری انجام شد. این نمونه‌گیری بدون اعمال هرگونه انرژی انجام شده و نمونه‌ها پس از ۴۸ ساعت از قالب خارج شده

به منظور صحت سنجی، نتایج آزمایشات بتن تازه با نتایج مرجع [۲۱] مقایسه شده است. شکل ۶، الف، ب و پ به ترتیب مقایسه مقادیر جریان اسلامپ، T<sub>50</sub> و مجرای V را نشان می‌دهد. همخوانی مناسب بین نتایج دیده می‌شود.

در اکثر آزمایش‌های انجام شده سطوح ۵۰ و ۴۵ و ۴۰ درصد شن نتایج قابل قبولی را ارائه کردند و از نظر آب‌انداختگی هم مشکلی در آنها دیده نشد.



شکل ۷- حوضچه عمل آوری نمونه های بتن

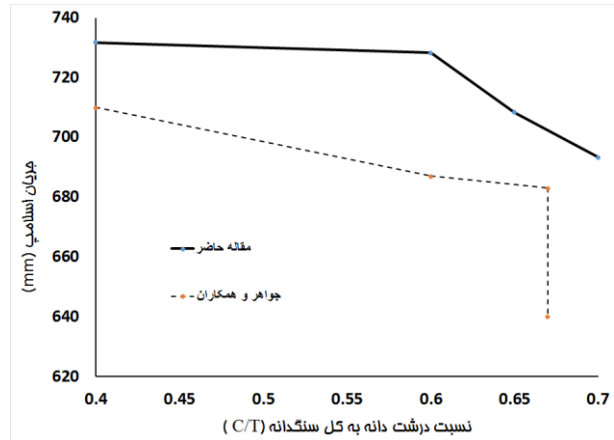


شکل ۸- آزمایش مقاومت فشاری

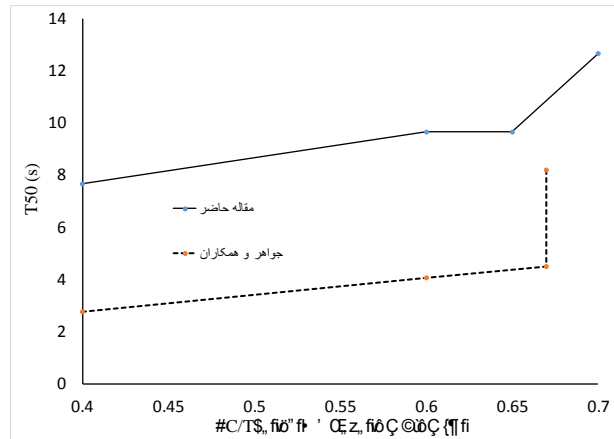
آزمایش مقاومت کششی با استفاده از نمونه‌های استوانه‌ای ۱۵۰\*۳۰۰ میلی‌متری که به مدت ۴۸ ساعت در داخل قالب بوده و سپس به مخزن عمل آوری آب منتقل گردیده و تا سن انجام آزمایش در این وضعیت نگهداری شده‌اند، بر اساس استاندارد ASTM C496 انجام شده است. شکل ۹ آزمایش مقاومت کششی را نشان می‌دهد. نتایج آزمایشات بتن سخت شده در جدول ۱۰ داده شده است. با توجه به نتایج آزمایشات بتن سخت شده و حفظ خواص خود تراکمی، می‌توان بتن با ۵۰ درصد شن را بهترین طرح دانست.

برای بررسی ترک خوردگی، از قالب ارائه شده در مرجع [۲۳] استفاده شده است. این قالب دالی به ابعاد ۵۰×۶۰×۹۰ میلی‌متر است. در طول این آزمایش شرایط محیطی مانند دما و رطوبت ثابت نگه‌داشته شد و بعد از بتن‌ریزی در دال، بتن به مدت ۶ ساعت در معرض باد با سرعت ۷,۵±۰,۵ km/h قرار گرفت [۲۴]. مساحت ترک‌ها با ضرب طول در عرض ترک بعد از گذشت هفت روز اندازه‌گیری شد. طول ترک به وسیله‌ی نوار اندازه‌گیری با دقت ۱ میلی‌متر و عرض ترک با ذره‌بین مدرج با دقت ۰,۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. شکل ۱۰ قالب دال [۲۳] و شکل ۱۱ ذره بین مدرج را نشان می‌دهد.

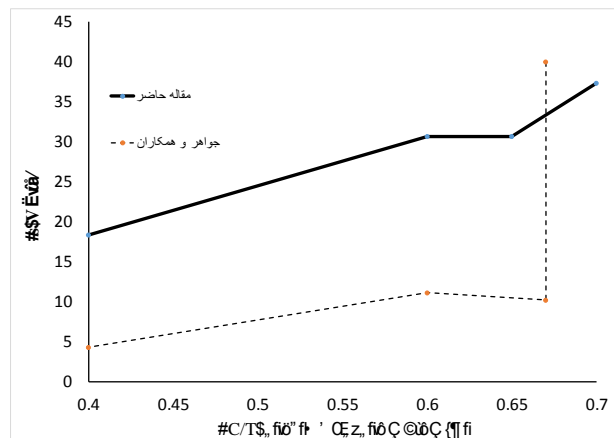
و تا زمان انجام آزمایش مطابق استاندارد تحت عمل آوری قرار گرفتند. شکل ۷ عمل آوری نمونه‌ها و شکل ۸ نحوه‌ی آزمایش مقاومت فشاری را نشان می‌دهد.



الف



ب



پ

شکل ۶- صحت سنجی نتایج: الف- آزمایش جریان جریان اسلامپ؛

ب- آزمایش T50؛ پ- آزمایش معراج V





شکل ۱۱- ذره بین مدرج برای اندازه گیری عرض ترک



شکل ۹- آزمایش کشش مستقیم (دو نیم شدن)

شکل ۱۲ تاثیر مثبت الیاف بر مقاومت کششی بتن را نشان می دهد. با توجه به شکل ۱۳، مشاهده می شود که مساحت ترک های انقباضی ابتدا با افزایش درصد الیاف فولادی، رفتاری نزولی دارد و در ۱/۵ درصد به حداقل خود می رسد. اما پس از آن که مقدار الیاف از ۱/۵ درصد فراتر می رود بر خلاف انتظار مشاهده می شود که مساحت ترک ها افزایش می یابند. به طوری که در مقادیر ۲ و ۲/۵ درصد الیاف فولادی، مساحت ترک ها از مجموع مساحت ترک های انقباضی در نمونه بدون الیاف هم بیشتر می شود.



شکل ۱۰- قالب دال [۲۲]

جدول ۱۱- نتایج آزمایشات بتن تازه و سخت شده بر حسب درصد الیاف

الیاف (%)	جریان اسلامپ (cm)	T 50 (ثانیه)	قیف V (ثانیه)	جعبه L (ΔH/H <sub>1</sub> )	مقاومت فشاری (MPa)	مقاومت فشاری (MPa)	مقاومت فشاری (MPa)	مقاومت کششی (MPa)
					فشاری ۷ روزه	۲۸ روزه	۹۰ روزه	۲۸ روزه
۰	۸۱/۵۰	۴/۵۰	۱۶/۵۰	۰/۹۷	۳۹/۳۵	۴۸/۶۰	۳۹/۳۵	۱/۹۹
۰/۵	۷۶/۵۰	۵/۵۰	۱۹	۰/۹۱	۳۷/۶۰	۴۲/۷۰	۴۷/۹۰	۲/۴۴
۱	۷۵/۵۰	۷/۵۰	۲۳/۰۰	۰/۸۲	۳۴/۱۰	۳۸/۱۲	۴۵/۰۰	۲/۶۵
۱/۵	۷۳/۵۰	۷/۵۰	۲۱/۰۰	۰/۷۶	۳۴/۰۰	۴۰/۶۰	۴۸/۶۰	۲/۷۵
۲	۷۰/۵۰	۱۰/۰۰	۲۴/۰۰	۰/۷۵	۳۲/۵۰	۳۸/۸۰	۴۵/۸۰	۲/۹۵
۲/۵	۶۷/۵۰	۱۳/۰۰	۲۸/۵۰	۰/۶۴	۲۹/۷۵	۳۶/۹۰	۴۳/۳۰	۳/۳۲

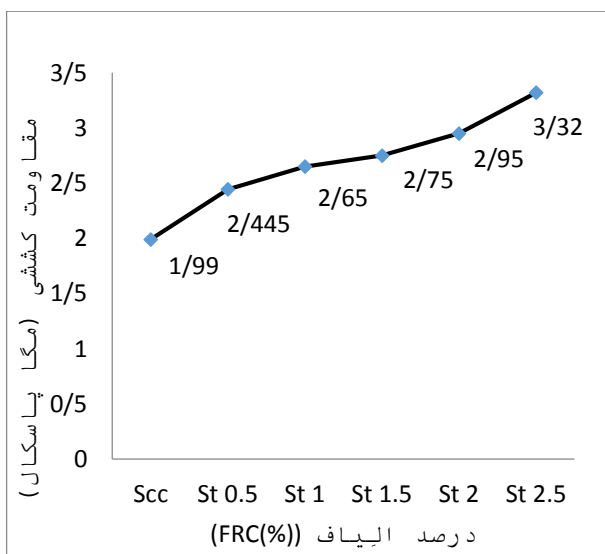
## ۵- نتایج و بحث

میزان درشت دانه حدود ۴۰٪ حجم بتن و میزان کل سنگدانه حدود ۷۰٪ حجم کل بتن است. یعنی، نسبت سنگدانه درشت به کل سنگدانه ها (C/T) حدود ۶۰٪ است. این نسبت اختلاط برای حداکثر کردن انباشتگی سنگدانه ها به عنوان ارزان ترین جزء بتن می باشند. اما، نسبت های ترکیب بتن خودتراکم کاملاً با

برای دستیابی به بتن خودتراکم علاوه بر ایجاد به شکل پذیری خمیر یا ملات، باید مقاومت در برابر جداشدگی میان درشت دانه و خمیر، زمانی که بتن از نقاط پرازدحام عبور می کند، وجود داشته باشد. در نسبت های اختلاط بتن معمولی، بطور متوسط،

نظر استاندارد و آیین نامه‌ها مورد قبول واقع نشود. از طرفی نتایج حاکی از آن است که افزودن الیاف می‌تواند تاثیر قابل توجهی بر کاهش ترک‌های انقباضی بتن داشته باشد. الیاف مورد استفاده در بتن از دو مکانیزیم بهره می‌برند: مکانیزیم فاصله و مکانیزیم پل زدن ترک‌ها. مکانیزیم فاصله نیازمند حجم بالای الیاف خوب توزیع شده در ماتریس بتن است تا بتواند همه ترک‌ها را پوشش دهد. در مکانیزیم پل زدن لازم است طول الیاف و چسبندگی آن به مورد توجه قرار گیرد.

در این مطالعه مشاهده شد که با اضافه شدن الیاف، ترک‌ها دوباره سیر صعودی پیدا کردند که دلیل این امر احتمالاً پخش نشدن یکنواخت و کامل الیاف در دال و بیشتر شدن ناحیه انتقال در بتن است. همچنین نتایج آزمایش‌های سخت شده بتن حاکی از آن است که وجود الیاف مقاومت کششی را بهبود می‌بخشد. در مورد مقاومت فشاری تاثیر چندان مطلوبی مشاهده نگردید بطوری که مقدار مقاومت فشاری بتن خودتراکم بدون الیاف بیشتر از مقاومت فشاری بتن خودتراکم الیافی گردید. این نتیجه با برخی پژوهش‌های اساسی در این زمینه همخوانی دارد [۲۵ و ۸] اما نتایج متضادی نیز در ادبیات دیده می‌شود [۱۸]. بر اساس نتایج این پژوهش، بهترین درصد الیافی که می‌توان برای بتن خودتراکم الیافی، هم از لحاظ خواص تازه و هم از حیث خواص سخت شده توصیه کرد میزان ۱/۵ درصد (وزن سیمان) می‌باشد.



شکل ۱۲- متوسط مقاومت کششی دو نیم شدن در سن ۲۸ روزه با تغییرات درصد الیاف (مگاپاسکال)

نسبت‌های بتن معمولی متفاوت است. بر پایه یک تحقیق مدت دار، بر روی ۶۸ مخلوط بتن مورد استفاده در طی بازه زمانی بین ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۳، مقدار متوسط حجم درشت‌دانه و حجم خمیر بترتیب ۳۱/۲٪ و ۳۴/۸٪ حجم کل بتن خودتراکم می‌باشد. علاوه بر این، مقدار میانه نسبت  $C/T$  مقدار نسبتاً بالای ۵۱٪ می‌باشد. مقایسه نسبی نسبت‌های ترکیب بتن معمولی با بتن خودتراکم نشان می‌دهد که بطور کلی مخلوط بتن خودتراکم شامل میزان سنگدانه درشت پایین‌تر می‌باشد [۶].

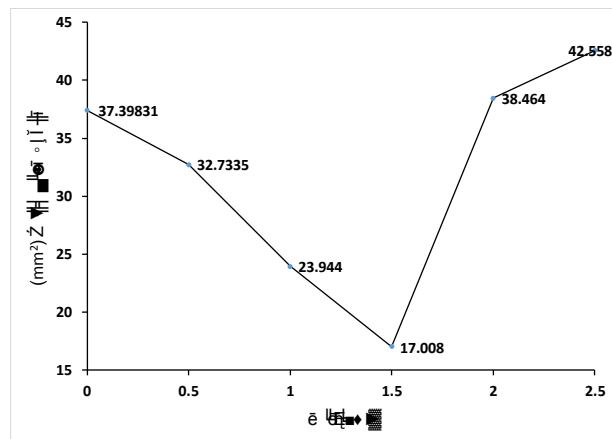
در این پژوهش، نتایج مربوط به تأثیر سنگدانه، حاکی از آن است که بالا رفتن مقدار شن مصرفی باعث کاهش کارایی می‌شود تا جایی که استفاده‌ی از ۶۰، ۶۵ و ۷۰ درصد شن در بتن باعث از میان رفتن قابلیت‌های خودتراکمی بتن شود. اگر چه در مقادیر ۳۰ و ۳۵ درصد شن شاهد بیشترین کارایی بوده ایم ولی در این نمونه‌های بتن آب انداختگی و جداسدگی مشاهده گردید که باعث افت مقاومت می‌شود و نیاز به VMA را افزایش می‌دهد. نتیجه قابل توجهی که در این مرحله بدست آمده است خصوصیات خودتراکمی مربوط به بتن با مقدار ۵۰ درصد شن بوده است. این نمونه‌ی بتنی نه تنها از لحاظ خصوصیات تازه مورد پذیرش بوده و آب انداختگی نداشته است، بلکه ویژگی‌های سخت شده آن نیز در نقطه مطلوبی قرار داشته است. توصیه می‌شود برای رسیدن به بتن خودتراکمی که بدون آب انداختگی و جداسدگی باشد و خصوصیات سخت شده آن نیز در حد مطلوبی باشد از بتنی که ۵۰ درصد از وزن کل سنگدانه، را شن تشکیل دهد استفاده شود.

خواص مناسب الیاف فولادی فولادی چسبندگی کافی با ماتریس بتن، سازگاری مدوا الاستیسته، سازگاری با خمیر از نظر دوام، قیمت قابل قبول، سازگاری اندازه به نحوی که قابلیت انتقال، جریان بتن و جایگذاری را مختل نکند، سختی کافی برای حفظ شرایط اجرا و مقاومت کافی برای ایجاد خواص کششی مناسب می‌باشد. الیاف فولادی اغلب این خواص مفید را دارند و مساله‌ای که نیازمند بررسی تعیین درصدی از الیاف است که بتواند خواص مفید بتن تازه و سخت شده را بوجود آورد. اطلاعات مربوط به فاز دوم تحقیق نشانگر این موضوع هست که افزودن الیاف فولادی جریان پذیری بتن و به طور کلی کارایی بتن را کاهش می‌دهد، تا جایی که با افزایش درصد الیاف بتن خودتراکم از

کاهش ترک های انقباضی بتن داشته باشد. زیاد شدن الیاف به دلیل این امر پخش نشدن یکنواخت و کامل الیاف در دال و می تواند باعث افزایش ترک ها شود. وجود الیاف مقاومت کششی را بهبود می بخشد. در مورد مقاومت فشاری تاثیر چندان مطلوبی مشاهده نگردید. در برخی موارد مقدار مقاومت فشاری بتن خودتراکم بدون الیاف بیشتر از مقاومت فشاری بتن خودتراکم الیافی ثبت شده است. لزوم عدم ویرنه بتن خود تراکم دلیل اصلی کاهش مقاومت فشاری و کششی با افزایش میزان الیاف است. بهترین درصد الیافی فولادی قلاب دار مورد نظر که می توان برای بتن خودتراکم الیافی، هم از لحاظ خواص تازه و هم از حیث خواص سخت شده توصیه کرد میزان ۱/۵ درصد (وزن سیمان) می باشد.

## ۷- مراجع

- [1] EFNARC, 2005. Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete
- [2] Okamura, H., Ozawa, K., & Ouchi, M. (2000). Self-compacting concrete. Structural Concrete, 1(1), 3-17.
- [۳] قدوسی، پرویز، منیرعباسی، آرمن. (۱۳۹۲). روش طرح اختلاط بتن خود متراکم بر اساس حداقل حجم خمیر سیمان. نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، ۴۱(۲)، ۹-۱. doi: 10.22060/ceej.2014.226
- [۴] رنجبر، ملک محمد، قاسم زاده موسوی نژاد، سید حسین، چرختاب، شاهین، ذاکری، محمد ابراهیم، آرایشگر، محمد، عیسی پور، سروش. (۱۳۹۴). بررسی تأثیر الیاف فولادی بر خواص تازه و سخت شده ی بتن خودتراکم حاوی اسکوریا. تحقیقات بتن، ۸(۱)، ۴۱-۵۴.
- [5] Su, J. K., Cho, S. W., Yang, C. C., & Huang, R. (2002). Effect of sand ration on the elastic modulus of self-compacting concrete. Journal of Marine Science and Technology, 10(1), 8-13.
- [6] Domone, P. L. (2006). Self-compacting concrete: An analysis of 11 years of case studies. Cement and Concrete Composites, 28(2), 197-208.
- [۷] باقری، امیره فرخی، فرهنگ، مهدیخانی، مهدی، فرخزاد، رضا، بغدادی، جمشید. (۱۳۹۴). ارائه محدودۀ دانه بندی مناسب برای ساخت بتن خودتراکم با استفاده از پارامترهای طبقه بندی خاک. تحقیقات بتن، ۷(۲)، ۳۱-۴۶.
- [8] Geiker, M. R., Brandl, M., Thrane, L. N., & Nielsen, L. F. (2002). On the effect of coarse



شکل ۱۳- ترک خوردگی دال های مختلف با تغییرات درصد الیاف (میلی متر مربع)

با توجه به استاندارد انفارک حداقل جریان اسلامپ قابل قبول ۶۰۰ میلی متر و حداکثر زمان T50، ۱۲ ثانیه است. بنابراین همه درصد های مصرفی قابل قبول هستند. استاندارد انفارک حداکثر مدت زمان تخلیه ی کامل (قیف V) بتن را ۳۰ ثانیه عنوان می کند پس می توان همه نمونه های بتن الیافی شرایط خودتراکمی را دارد. حداقل عدد قابل قبول قابلیت عبور (جعبه L) طبق استاندارد ۰/۷۰ است که بتن با الیاف ۲/۵ درصد این شرط را ندارد. از لحاظ انداختگی هم تقریباً همه نمونه ها شرایط بهتری نسبت به حالت بدون الیاف داشتند.

## ۶- نتیجه گیری

نتایج این پژوهش مبتنی بر مصالح محلی شهرستان بهبهان نشان می دهد که تولید بتن خود تراکم با درصد بالای شن (حدود ۶۰ درصد و بالاتر) در شرایط معمول امکان پذیر نیست. از سوی دیگر میزان پایین شن (زیر ۳۵ درصد)، باعث افزایش هزینه می شود. نتیجه مطلوب خصوصیات خودتراکمی مربوط به بتن با ۵۰ درصد شن بوده است. این بتن از لحاظ خصوصیات تازه مورد پذیرش بوده و آب انداختگی نداشته است. همچنین ویژگی های سخت شده آن نیز در حد مطلوبی قرار دارد. توصیه می شود برای رسیدن به بتن خودتراکمی که بدون آب انداختگی و جداسدگی باشد و خصوصیات سخت شده آن نیز در حد مطلوبی باشد از بتنی که میزان شن آن حدود ۵۰ درصد از وزن کل سنگدانه است، استفاده شود. افزودن الیاف فولادی جریان پذیری بتن و به طور کلی کارایی بتن را کاهش می دهد الیاف می تواند تاثیر قابل توجهی بر

- L.F.A., Ramos, M.M.M. (2013) Evaluation of dry mortar ratio as mix design parameters for steel fiber reinforced self compacting concrete. *Const. and Building aterials* Vol. 40, pp. 642-649.
- [20] Aydin, A.C. (2007) Self Compactibility of high volume hybrid hybrid fiber reinforced concrete. *Const. and Building Materials* Vol. 21, pp. 1149-1154.
- [21] Koehler, E. P., & Fowler, D. W. (2007). ICAR mixture proportioning procedure for self-consolidating concrete.
- [22] Carlswärd, J. (2006). Shrinkage cracking of steel fiber reinforced self-compacting concrete overlays: test methods and theoretical modelling: test methods and theoretical modelling (Doctoral dissertation, Luleå tekniska universitet).
- [۲۳] معتقد، ساسان، قبادی، مهدی، میرزایی علی آبادی، محبوبه، غرایبی، یدالله. (۱۳۹۷). بررسی خواص تازه و سخت شده بتن خود تراکم الیافی. نشریه مهندسی سازه و ساخت، (۱)، - . doi: 10.22065/jsce.2018.102143.1366
- [24] Newlands, M. D., Paine, K. A., Vemuri, N. A., & Dhir, R. K. (2008). A linear test method for determining early-age shrinkage of concrete. *Magazine of Concrete Research*, 60(10), 747-757.
- [25] Madandoust, R., Ranjbar, M. M., Ghavidel, R., & Shahabi, S. F. (2015). Assessment of factors influencing mechanical properties of steel fiber reinforced self-compacting concrete. *Materials & Design*, 83, 284-294.
- aggregate fraction and shape on the rheological properties of self-compacting concrete. *Cement, concrete and aggregates*, 24(1), 3-6.
- [9] Facconi, L., Minelli, F., & Plizzari, G. (2016). Steel fiber reinforced self-compacting concrete thin slabs—Experimental study and verification against Model Code 2010 provisions. *Engineering Structures*, 122, 226-237.
- [۱۰] نقیب دهی، میثم قاسمی، نقی پور، مرتضی، ربیعی، محمود. (۱۳۹۴). بررسی تجربی دال‌های بتنی الیافی چند لایه با تغییر درصد الیاف در لایه‌ها در برابر بار ضربه ناشی از وزنه افتان. تحقیقات بتن، (۱)، ۲۳-۳۴.
- [11] Grünewald, S., & Walraven, J. C. (2001). Parameter-study on the influence of steel fibers and coarse aggregate content on the fresh properties of self-compacting concrete. *Cement and Concrete Research*, 31(12), 1793-1798.
- [۱۲] صدر ممتازی، علی، کهنی خشکیجاری، رضا، لطفی عمران، امید. (۱۳۹۴). خواص مهندسی و دوام بتن خود تراکم حاوی ذرات نانو سیلیس با رویکرد دستیابی به درصد‌های بهینه الیاف. تحقیقات بتن، (۲)، ۱۹-۳۴.
- [13] Torrijos, Barragán, B.E. & Zerbino, R.L., (2007) Physical–mechanical properties, and meso structure of plain and fiber reinforced self-compacting concrete. *Construction and Building Materials*, pp. 1780 - 1788.
- [14] Grunewald, S., Walraven, J.C. (2001) Parameter study on the influence of steel fiber and coarse aggregate content on fresh properties of Self-compacting concrete. *Cement and Concrete Research* Vol. 31, pp. 1793-98.
- [15] Rambo, D.A.S., Silva, F.D.A., Filho, R.D.T. (2010) Effect of Steel fiber hyberdization on fracture behavior of SCC. *Const. and Concrete Composites* Vol. 54, pp. 100-109.
- [16] Sahmaran, M., Yaman, I.O. (2007) Hybrid fiber reinforced self compacting concrete with high volume coarse Fly ash. *Const. Building Materials* Vol. 21, pp. 150-6.
- [17] Akcay, B., Tasdemir, M.A. (2012) Mechanical behaviour and fiber dispersion of hybrid steel fiber reinforced self-compacting concrete. *Const. and Building Materials* Vol. 28, pp. 287-293.
- [18] Khaloo, A., Raisi, E. M., Hosseini, P., & Tahsiri, H. (2014). Mechanical performance of self-compacting concrete reinforced with steel fibers. *Construction and Building Materials*, 51, 179-186.
- [19] Oliveira, L.P.P.D., Gomes, J.P.C., Bernardo,

## Investigation the effect of steel fibers and coarse aggregate ratio on self-compacting concrete properties

Sasan Motaghed \*

Assistant Prof., Civil Engineering, Faculty of Engineering, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran

Mohammad Reza Halavat

M.Sc., Civil Engineering, Faculty of Engineering, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran

Mohammad Salehi Vaysi

Assistant Prof., Department of Mathematics, Faculty of science, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran

### Abstract

The ultimate goal of concrete as the most important and most used building material is the durable resistance properties. Self-compacting Concrete, as an option to solve the major problems of conventional concretes, has a higher cost due to the use of special additives and aggregates size. Also, the presence of fine grains increases the cracking potential of the concrete. The aim of this paper is to assess the effect of coarse aggregate ratio and steel fibers on the properties of self-compacting concrete (SCC). For this purpose, 27 SCC mixtures with C/T (coarse aggregates as a fraction of the total combined aggregate mass) for 70%, 65%, 60%, 55%, 50%, 45%, 40%, 35% and 30% and 12 SCC mixtures containing hook end steel fibers with volume fractions of 0%, 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0% and 2.5% were prepared. The effect of C/T ratio on the fresh properties and mechanical properties of SCC was studied. The test results indicated that aggregate with C/T ratio for 50% has the best fresh and hardened properties. With the change in fiber ratio from 0% to 2.5%, the slump flow, blocking and segregation ratio are increasing, while in the fiber ratio above 2%, the self-consolidation property is lost. Fibers increase the tensile strength above than 40 % and decrease shrinkage cracking more than 50%. Fiber has no positive effects on compressive strength. According to the results, the best percentage of hook end steel fibers which can be recommended for self-compacting concrete is 1.5%.

**Keywords:** fresh concrete tests, cracking, coarse to total aggregates ratio.

---

\* Corresponding Author: sasanmotaghed1@yahoo.com

