بررسی تاثیر الیاف بر مقاومت فشاری و کششی بتن های خودتراکم الیافی(کد E-ردیف۱۵۷-کد۲۴۳)

حمیدرضا توکلی[۱]، مسعود فلاح تبار شیاده[۲*]

[۱]- استادیار دانشکده مهندسی عمران،دانشکده مهندسی عمران،دانشگاه صنعتی بابل

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی زلزله، دانشگاه صنعتی بابل

1- Email:Tavakoli@nit.ac.ir

2- Email:m_falah_tsh@yahoo.com

چکیده:

مقاومت فشاری به عنوان یکی از مهمترین ویژگیهای بتن سخت شده بطور کلی برای طبقه بندی بتن در آیین نامه های بین المللی می‌باشد. در محاسبات بتن‌آرمه از ظرفیت کششی بتن به دلیل ناچیزبودن آن صرفنظر شده اما در بعضی از محاسبات مانند محاسبه خیز یا محاسبه ترک خوردگی یا تغییر مکان تیرهای بتن آرمه این مسأله را دخالت می‌دهند. بنابراین دانستن میزان آن حائز اهمیت می‌باشد. بتن از نظر حجم مصالح سازه ای با تولید سالانه بیش از دو هزار و پانصد میلیون مترمکعب در سطح جهانی در رتبه اول قرار دارد. به دلائل مختلف، مقدار قابل توجهی از این بتن ترک می‌خورد. دلیل ترک‌خوردگی می‌تواند سازه‌ای یا غیرسازه‌ای باشد، لیکن عمده ترکها ناشی از ضعف ذاتی این ماده در کشش است. شایان ذکر است که در موارد متعددی جهت این نیروهای کششی بطور دقیق معلوم نیست. در چند دهه اخیر استفاده از الیاف نازک و نسبتاً طویل که در تمام حجم بتن پراکنده می‌شود، متداول شده است. خواص مکانیکی بتن الیافی تحت تأثیر نوع، درصد، نسبت طول به قطر معادل، مقاومت زمینه، اندازه، شکل و نحوه تهیه نمونه‌ها و اندازه و شکل مصالح سنگدانه‌ای قرار دارد.الیاف مقاومت کششی و شکل‌پذیری بتن را به نحو قابل توجهی افزایش داده و رفتار بتن را از حالت ترد به حالت نرم و شکل‌پذیر تغییر می دهد. بتن خود تراکم به عنوان یک پیشرفت در ساخت بتن در دو دهه اخیر معرفی شده است. بدین منظور ۹ طرح اختلاط شامل ۲ نوع الیاف (فلزی:۰/۱، ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴ درصد حجمی و PPS :۰/۱، ۰/۲، ۰/۳ و ۰/۴درصد حجمی) و طرح بدون الیاف به عنوان بتن مرجع مورد آزمایش و مقایسه قرار گرفته است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می دهد تاثیر حضور الیاف روی مقاومت فشاری نامحسوس بوده ولی موجب بهبود مقاومت کششی بتن خودتراکم می شود.

واژه های کلیدی:بتن خودتراکم، خصوصیات مکانیکی، مقاومت کششی، مقاومت فشاری،بتن الیافی

*Corresponding author

Effect of fiber on compressive and tensile strength of fiber reinforced self- compacting concretes

H.R. Tavakoli[1]and M. Falahtabar shiade[21]

1-Assistant professor; Department of Civil Engineering,
Babol University of Technology, Babol, Iran

2-Student of E.Q Engineering; Department of Civil Engineering,
Babol University of Technology, Babol, Iran

1- Email:Tavakoli@nit.ac.ir Tel:01113231703

2- Email:m_falah_tsh@yahoo.com Tel:09119150499

Abstract

Self-compacting concrete (SCC) is a new class of high performance concrete that can spread readily into place under its own weight and fill restricted sections as well as congested reinforcement structures without the need of mechanical consolidation and without under going any significant separation of material constituents. The use of SCC can improve productivity in structural applications such as repair, and facilitate the filling of restricted sections. Such concrete has been widely used to facilitate construction operations, especially in sections presenting special difficulties to casting and vibration, such as bottom sides of beams, girders, and slabs. Workability requirements for successful casting of SCC include high deformability, passing ability, and proper resistance to segregation.

Generally, compressive strength is as one of the most important properties of hardened concrete for classification of concrete in bylaws of the International. In the calculations of reinforced concrete ignored tensile capacity due to insignificance tensile, but this issue intervene in some calculations such as estimating leap or calculating cracking or reinforced concrete beams displacement. Therefore it is important to know its amount. To reduce brittleness of the concrete and to increase the residual post cracking resistance, reinforcement in terms of randomly distributed fibers have been successfully used and resulting composite is known as fiber reinforced concrete (FRC). In this research, the effect fibers type (steel, PPS) on compressive strength and tensile strength, rheological behavior (L-box, slump flow and T50) of Self-Compacting concrete were evaluated. For this propose, 9 mixture designs containing 2 types of fibers (steel: 0.1, 0.2, 0.3 , 0.4% by volume and PPS: 0.1, 0.2, 0.3 , 0.4% by volume) and design without fibers as reference concrete have been tested and compared. The results of this study show that the presence effect of fibers on compressive strength were intangible but the tensile strength of self-compacting concretes is improved.

Keywords: Self-compacting concrete, Fibers, mechanical properties, compressive strength, tensile strength.

[1]Corresponding author

۱. مقدمه

بتن به عنوان محصولی شناخته می شود که از اجزای مختلف جهت رسیدن به خصوصیات نهایی طراحی می شود.بتن پرمصرف‌ترین مصالح شناخته شده در مهندسی عمران است که روز به روز بر استفاده از آن افزوده می‌شود. در این میان از یک سو، با پیشرفت علم و تکنولوژی و پیدایش سیستم‌های پیچیده‌تر ساختمانی و از سوی دیگر با روند رو به گسترش ساخت و سازهای عمرانی در سطح کلان، نیاز به بکارگیری مصالح ساختمانی جدیدتر با کارآیی بیشتر، بسیار محسوس می‌باشد[۱].

بتن خود تراکم اولین بار برای دستیابی به ساختار بتن پایدار در سال ۱۹۸۸ مطرح گردید و مطالعات اولیه پیرامون کارایی بتن خود تراکم، توسط ozawa (۱۹۸۹) و okamura (۱۹۹۳) در دانشگاه توکیو انجام گرفت [۲، ۳، ۴] طبق نظریه‌ای، بتن خود تراکم بتنی است که دارای سیالیتی باشد که تراکم، بدون نیاز به انرژی خارجی انجام شود و علاوه بر آن در حین و پس از اتمام بتن‌ریزی بصورت یکپارچه باقی بماند و به راحتی در خلال آرماتورهای متراکم حرکت کند [۵الی۸].بتن خود تراکم[۱]به عنوان یک پیشرفت در ساخت بتن در دو دهه اخیر معرفی شد. ژاپنی ها از سال ۱۹۹۰ به بعد از بتن خود تراکم که نیاز به هیچ ویبره ای نداشت و به تراکم کامل می رسید در ساخت پل ها، تونل ها و ساختمان‌ها استفاده کرده اند[۹و۱۰].

انهدام و زوال بتن به شدت به تشکیل ترک‌ها و ریزترک‌ها در اثر بارگذاری و یا تأثیرات محیطی وابسته است. تغییرات گرمایی و رطوبتی در خمیر سیمان باعث ایجاد ریزترک‌ها می‌شوند و چنین ریزترک‌هایی در سطح دانه‌های درشت متمرکز می‌شوند. با تأثیر بیشتر بارگذاری و نیز سایر مسائل محیطی، ریزترکها در جسم بتن منتشر می‌شود [۱۱]. استفاده از الیاف مختلف در بتن وساخت بتن الیافی[۲]به عنوان یک گام موثر در جلوگیری از انتشار ریزترکها و تر کها و جبران ضعف مقاومت کششی بتن محسوب می‌شود [۱۲].

الیاف برای کنترل ترک در اثر تغییرات حجمی ناشی از انقباض و انبساط و تنش‌های حرارتی و نیز جهت افزایش مقاومت کششی، نرمی و قابلیت جذب انرژی و فراهم‌آوری یک سیستم یکپارچه استفاده می‌شود. در حال حاضر صدها نوع الیاف تولید می‌شوند که فقط تعدادی از آنها برای استفاده در بتن مناسب می‌باشند[۱۳].خواص مکانیکی بتن الیافی تحت تأثیر نوع، درصد، نسبت طول به قطر معادل، مقاومت زمینه، اندازه، شکل و نحوه تهیه نمونه‌ها و اندازه و شکل مصالح سنگدانه‌ای قرار دارد[۱۴].

مقاومت فشاری بطور کلی به عنوان یکی ازمهمترین ویژگیهای بتن سخت شده برای طبقه بندی بتن در آیین نامه های بین المللی می باشد[۱۵]. مقاومت در حقیقت بوسیله نوع و نسبت پودر به علاوه نسبت آب به پودر، تعیین می‌شود. از طرف دیگر شکل نمونه آزمایش (استوانه ای یا مکعبی) و نوع سنگدانه‌ها (شکسته یا غیرشکسته) بر روی مقاومت فشاری بتن‌های خود تراکم تأثیر گذار می‌باشد[۱۶].

الیاف ، درنسبت های کم استفاده می شوند و تأثیر قابل توجهی روی مقاومت فشاری ماتریس بتن ندارند[۱۷]. مقاومت فشاری نهایی بااضافه کردن الیاف فلزی درمحدوده ۰ تا ۱۵ درصد برای ۱,۵ درصد حجمی الیاف افزایش می یابد[۱۸].اضافه کردن الیاف نه تنها بر مقاومت فشاری نهایی بلکه بر رفتار بعد از اوج بتن نیز تأثیرگذار است. الیاف، مصالح را محبوس کرده و انتشار ترک را به تأخیر می اندازد. در نتیجه یک افزایش در کرنش اوج و شکل پذیری بعد ازاوج تولید می کند[۱۹].

الیاف در همه حالات گسیختگی[۳] به خصوص آنهایی که مانند کشش مستقیم، خمش، ضربه و برش، موجب خستگی[۴] و کشیدگی می‌شوند، بر خواص مکانیکی بتن و ملات اثر می‌گذارد. تقویت بتن توسط الیاف، به شکل انتقال تنش، از زمینه به الیاف توسط برش سطحی است ولی اگر سطح الیاف آجدار باشد روند مزبور به صورت درگیری میان الیاف و زمینه خواهد بود. با ترک خوردن زمینه تنش میان الیاف و زمینه تقسیم می‌گردد و از آن پس کل تنش به طور افزاینده‌ای به الیاف انتقال می‌یابد[۲۰و۲۱].

در برخی برنامه های کاربردی، مقاومت کششی کم بتن را می توان با ترکیب بتن با الیاف دارای قطر کم جبران کرد. بعد از ترک خوردن بتن الیاف سبب پل زدن در ترکها می شوند[۲۲]. مطالعه ای که توسطZongjin[۲۳] انجام شد نشان دهنده این مطلب است که درصدهای بالای الیاف منجر به افزایش بهتر خواص کششیFRC،مخصوصا برای الیاف فولادی می شود.

---

[۱] Self Compacting Concrete(SCC)

[۲] Fiber Reinforced Concrete(FRC)

[۳] Failure

[۴] Fatigue

مطالعه توسط Bencardino[۲۴] نشان داد بتنی که با مقدار متوسط الیاف (٪۱ =V_f) تقویت شده بود، تنها یک بهبود خنیف در شاخه نزولی یا نرم شدگی منحنی تنش–کرنش درمقایسه با بتن معمولی دارد. ازسوی دیگر بتن با مقدار بالاتر الیاف (٪۳ ,V_f=۱,۶) شاخه نزولی طولانی تری دارد.

۲. برنامه آزمایشگاهی

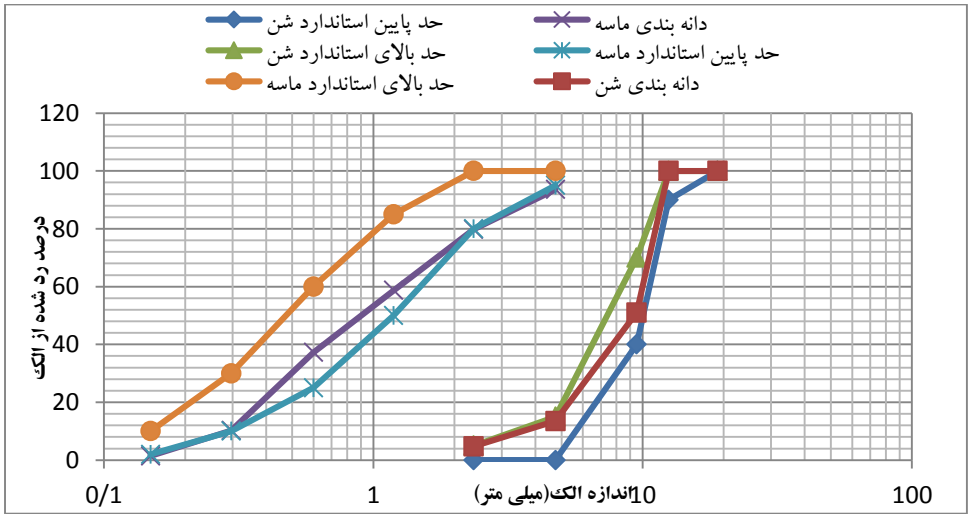
۱,۲ مصالح مصرفی

در این تحقیق از فوق روان کننده (SP) نسل سوم بر پایه پلی‌کربوکسیلیک اتر با نام تجاری P10-3R، استفاده شده است، این ماده، کدر بوده و در دمای ۲۰ درجه سانتیگراد، وزن مخصوص آن ۱/۱ گرم بر سانتیمتر مکعب می‌باشد. الیاف های مصرفی شامل دو نوع فولادی و PPS[1] می باشد که مشخصات آنها را می توان در جدول.(۱) مشاهده کرد.

جدول (۱): مشخصات فیزیکی و مکانیکی الیاف های مصرفی

الیاف	شکل	مدول الاستیسیته *GPa*	طول (mm)	قطر (mm)	نسبت منظر
ST		۱۶۰	۳۶	۰/۷	۵۰
PPS		۳,۵	۵۰	۰/۰۷	۷۰۰

شن مصرفی با حداکثر ابعاد ۱۲/۵ میلیمتر و منحنی دانه بندی آن در محدوده استاندارد ASTM بوده و ماسه مصرف شده زیر الک ۴/۷۵ میلیمتر انتخاب شد که دارای هم ارز ماسه‌ای به میزان 80 درصد بوده است.منحنی دانه بندی سنگدانه ها در شکل(۱) آمده است. از سیمان پرتلند تیپ ۲ و پودر سنگ با وزن مخصوص۲/۶ گرم بر سانتیمتر مکعب استفاده شده است.خصوصیات سیمان و پودر سنگ مصرفی در جدول(۲) آمده است.



شکل(۱):منحنی دانه بندی سنگدانه ها

۲,۲ طرح اختلاط

در این تحقیق، ۹ طرح اختلاط شامل ۲ نوع الیاف (فلزی: ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴ درصد حجمی، PPS: ۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴ درصد حجمی) در آزمایشگاه بتن دانشگاه صنعتی بابل مورد بررسی و آزمایش قرار گرفتند. در تمام 9 طرح اختلاط که در جدول(۳) آمده است به غیر از نوع ومقدار الیاف ،تمامی اجزای تشکیل دهنده بتن ثابت در نظر گرفته شدند. نسبت آب به مصالح سیمانی(W/C) برابر است با ۰/۳۹ و طرح contکه بتن خود تراکم فاقد الیاف است به عنوان طرح شاهد در نظر گرفته شد.(V_f ٪) موجود در جدول(۳) همان درصد حجمی الیاف یعنی نسبت حجم الیاف به حجم بتن می باشد.)

[1]Polyphenylene Sulfide(PPS)

جدول(۲): خصوصیات شیمیایی سیمان و پودر سنگ(wt%)

نام مواد	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	$CaCO_3$	L.O.I
سیمان	21.9	4.86	3.3	63.33	1.15	2.1	-	2.4
پودر سنگ	0.45	0.33	0.02	52.35	0.02	52.35	99.3	-

جدول (۳): طرح اختلاط بتن(بر حسب kg/m^3)

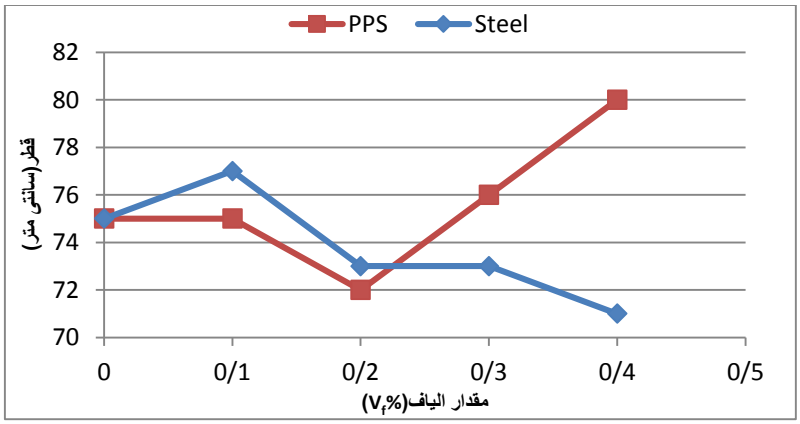
شماره طرح	الیاف $V_f(\%)$		شن	ماسه	پودر سنگ	سیمان	آب	فوق روان کننده
cont	-		722	826	288.9	413.1	162	7
ST_10	ST	0.1	722	826	288.9	413.1	162	7
ST 20		0.2	722	826	288.9	413.1	162	7
ST 30		0.3	722	826	288.9	413.1	162	7
ST 40		0.4	722	826	288.9	413.1	162	7
PPS10	PPS	0.1	722	826	288.9	413.1	162	7
PPS20		0.2	722	826	288.9	413.1	162	7
PPS30		0.3	722	826	288.9	413.1	162	7
PPS40		0.4	722	826	288.9	413.1	162	7

3.2نگهداری و عمل آوری نمونه ها

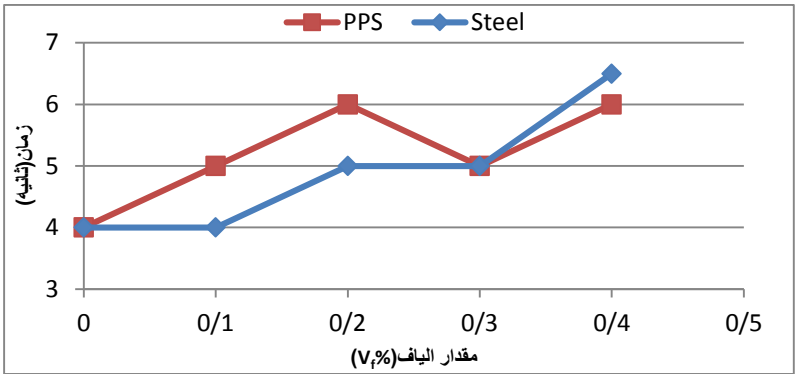
با اتمامپروسه اختلاط ، بتن در داخل قالب ها ریخته شده و تا ۲۴ ساعت در شرایط آزمایشگاهی نگهداری شد. نمونه ها پس از این مدت از قالب ها جدا شده و در استخر آب با دمای ۲۲-۲۵ در جه سانتیگراد قرار داده شد تا زمان آزمایش فرا برسد(نمونه ها در سن ۲۸ روزه مورد آزمایش قرار گرفتند). هر طرح اختلاط شامل ۳ نمونه مکعبی 100x100x100 mm برای آزمایش مقاومت فشاری و ۳ نمونه استوانه ای 150x300 mm برای آزمایش مقاومت کششی بود.در کل ۵۴ نمونه برای ۹ طرح اختلاط وجود داشت.

۴،۲ بررسی خواص فیزیکی (رئولوژی) بتن خود تراکم تازه

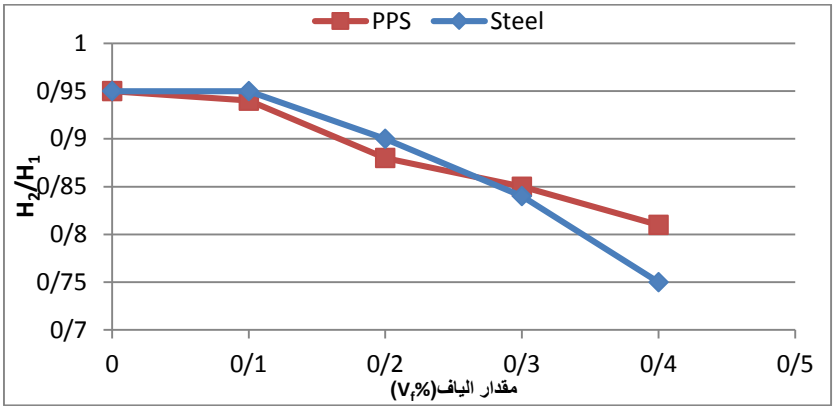
در این تحقیق از طرح اختلاطی استفاده شد که با وجود استفاده از الیاف در بتن، بتن خواص خودتراکمی scc راداشته باشد،لذا برای سنجش کارایی بتن خودتراکم الیافی ازپارامترهای سنجش بتن خودتراکم استفاده نمودیم. جهت بررسی خواص متفاوتی از قبیل قابلیت عبور و پایداری بتن خودتراکم در برابر جداشدگی از آزمایش L-BOX وجهت ارزیابی تغییر شکلپذیری یا روانی بتن خودتراکم از آزمایش اسلامپ استفاده گردید که دراین آزمایش پس از جاری شدن بتن بر روی میز اسلامپ دو قطر عمود برهم اندازه گیری می‌شوند و میانگین آنها بیانگر روانی بتن مذکور می‌باشد.همچنین زمان رسیدن به قطر ۵۰۰ میلیمتر (بر حسب ثانیه) با توجه به علامت گذاری در داخل صفحه آزمایش اسلامپ ثبت می شود که بیانگر نرخ تغییر شکل با تعریف یک فاصله روانی است. با آزمایش L-BOX ارتفاع SCC تازه را پس از عبور از میان فواصل مشخص شده بین آرماتورهای فلزی و جریان در یک مسیر در نظر گرفته شده، اندازه گیری می گردد و با این مقدار که حداقل ۰/۸می باشد، قدرت عبور و انسداد آن تخمین زده می شود. نتایج حاصل از این آزمایشات در شکل(۲) الی (۴) ارائه شده است.



شکل(۲): آزمایش جریان اسلامپ



شکل(۳): آزمایش جریان اسلامپ (T50)



شکل(۴):آزمایش L-BOX

۵,۲ آزمایشات بتن سخت شده

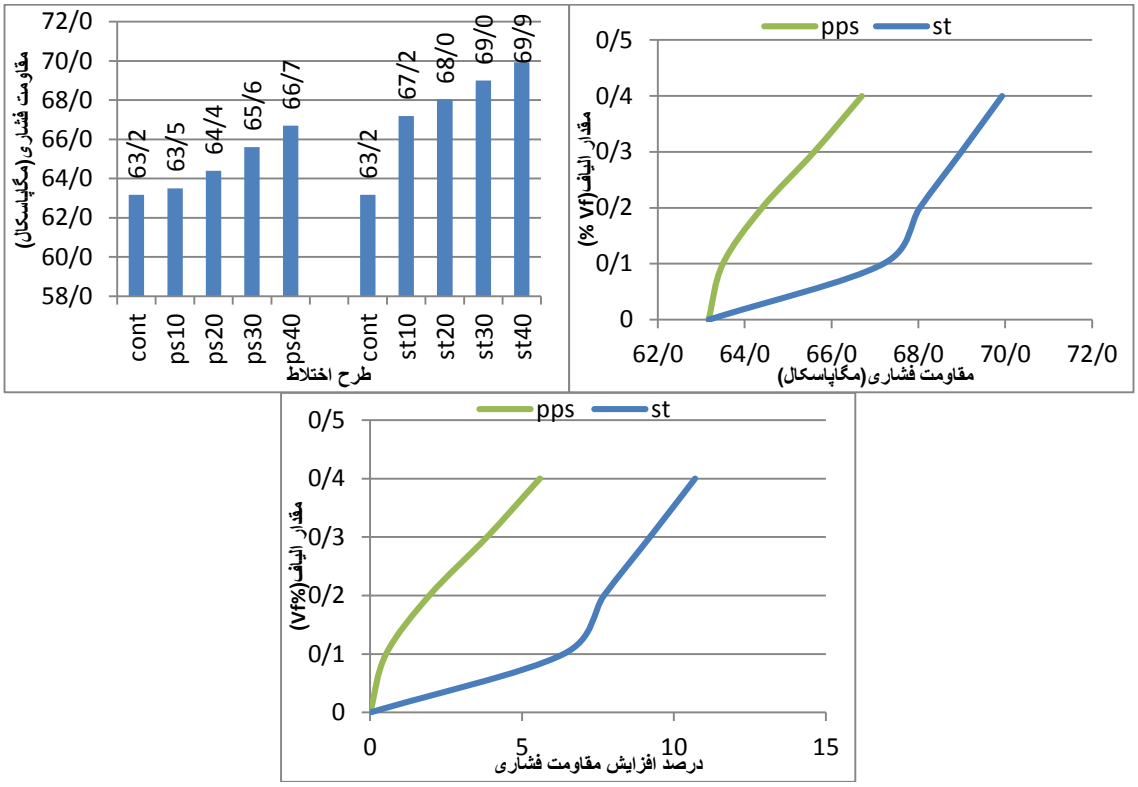
آزمایش مقاومت فشاری براساس استاندارد ASTM C 39با استفاده از دستگاه جک فشاری شرکت ELE (شکل۵)انجام شده است.نتایج این ارزیابی در جدول(۴)ارائه شده است.آزمایش مقاومت کششی دو نیم شدن براساس استاندارد ASTM C 496 با استفاده از دستگاه جک فشاری شرکت ELE (شکل۵) در آزمایشگاه بتن دانشگاه صنعتی بابل انجام شده است و نتایج آن در جدول(۴)آمده است.

شکل (۵): دستگاه اندازه‌گیری مقاومت فشاری و کششی

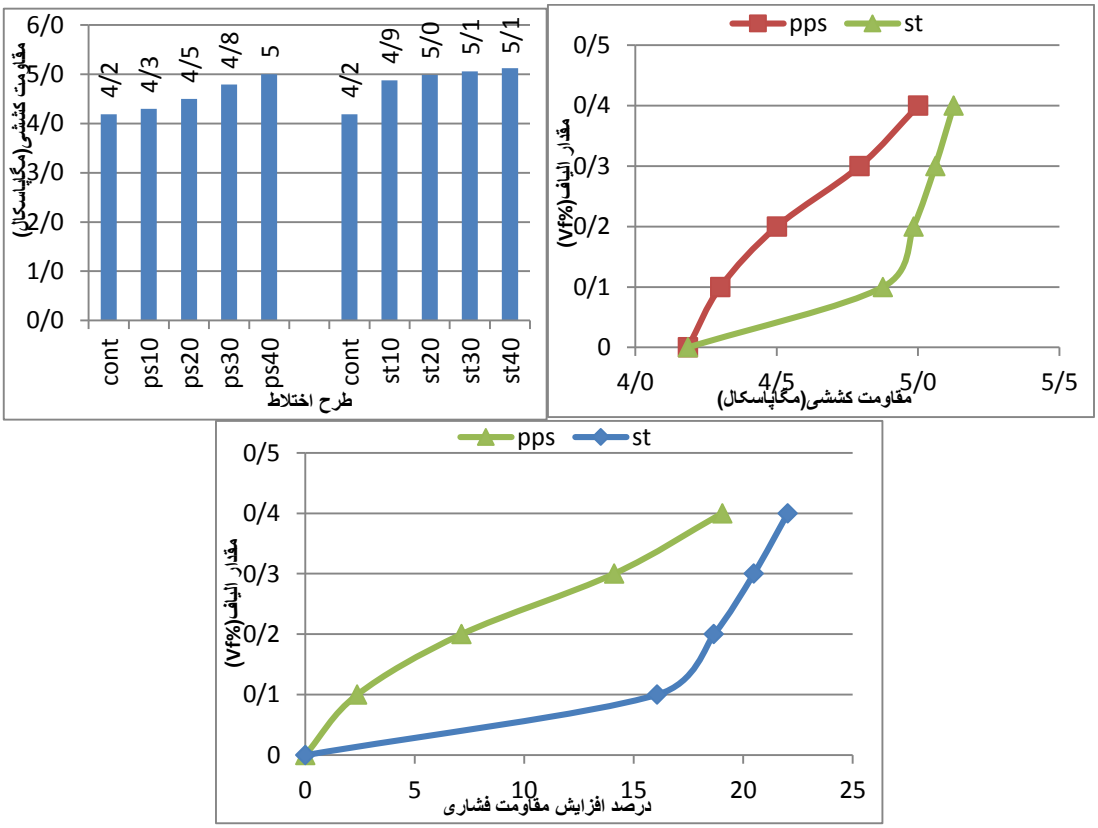
۳. بررسی نتایج

با بررسی نتایج شکل (۶) می‌توان دریافت که با افزایش درصد الیاف با افزایش مقاومت فشاری مواجه هستیم و در این شکل شاهد روند صعودی مقاومت فشاری با افزایش درصد الیاف برای هردو الیاف هستیم البته این افزایش برای الیاف فلزی بیشتر از

الیافPPSاست. در این شکل همچنین درصد افزایش مقاومت فشاری نسبت به بتن شاهد در برابر مقدار الیاف نیز نشان داده شده است که حداکثر مقدار برای الیاف فلزی برابر ۱۰/۷ درصد و برای الیاف PPSبرابر ۵/۶ بوده است.

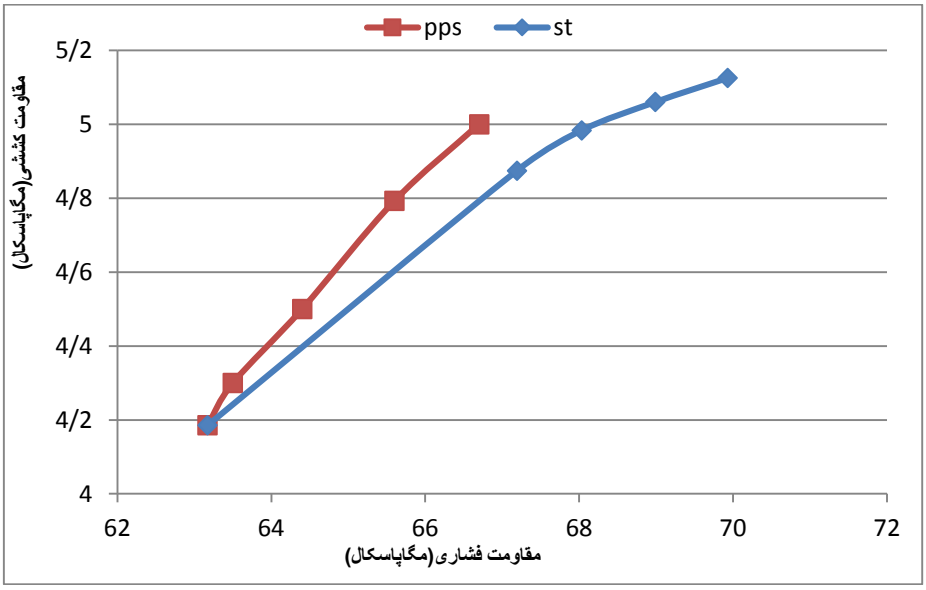


شکل(۶):نتایج مربوط به مقاومت فشاری

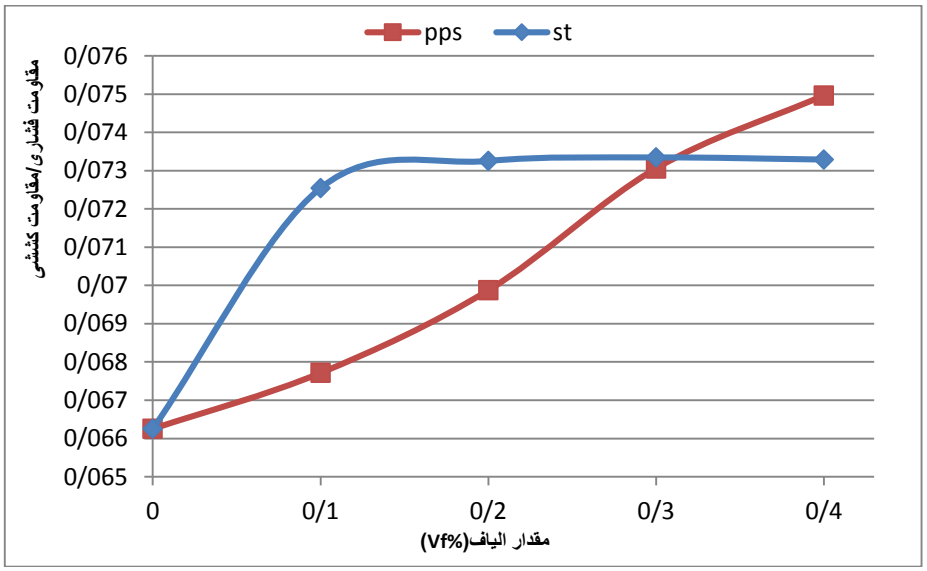


شکل(۷):نتایج مربوط به مقاومت کششی

در طرح اختلاط‌های بتن خود تراکم حاوی الیاف، افزایش مقاومت فشاری ناشی از افزایش درصد الیاف را می‌توان به علتجای‌گیری مناسب الیاف ها و توزیع یکنواخت آنها در ماتریس سیمان یا به عبارتی میزان بهینه الیاف مورد نظر در بتن خود تراکم دانست.
منحنی های ارائه شده در شکل (۷) روند مطلوبی از تأثیر افزایش درصد الیاف بر مقاومت کششی را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل(۷) مشخص است با افزایش درصد الیاف فلزی ۰ تا ۰/۴ درصد، با روند صعودی مقاومت کششی مواجه بوده به طوری که در ۰/۴ درصد الیاف فلزی، مقاومت کششی حدود ۲۲ درصد نسبت به مقاومت کششی نمونه شاهد افزایش می‌یابدو این افزایش برای الیافPPS برابر ۱۹ درصد است .
ارتباط بین مقاومت کششی غیر مستقیم و فشاری برای بتن های خود تراکم حاوی الیاف های فلزی و PPS در شکل (۸) ارائه شده و همچنین می توان نسبت مقاومت کششی به فشاری برای بتن های خود تراکم حاوی را می توان به ترتیب در شکل (۹) مشاهده نمود.می توان مشاهده کرد که این نسبت برای بتن های حاوی الیاف فلزی تقریبا یک عددثابت است در حالیکه برای الیافPPS با شیب صعودی افزایش می یابد.



شکل(۸):منحنی مقاومت فشاری در مقابل مقاومت کششی



شکل(۹):منحنی نسبت مقاومت کششی به مقاومت فشاری در برابر مقدار الیاف

جدول(۴): مقاومت فشاری و کششی بتن سخت شده(۲۸روزه)

نام طرح	الیاف Vf(%)		مقاومت فشاری (Mpa)	مقاومت کششی (Mpa)
cont	-		**63**	**4**
St10	**steel**	**0.1**	**67.2**	**4.8**
St20		**0.2**	**68.1**	**5**
St30		**0.3**	**69**	**5.1**
St40		**0.4**	**70**	**5.2**
PPS10	**PPS**	**0.1**	**63.2**	**4.3**
PPS20		**0.2**	**64.4**	**4.5**
PPS30		**0.3**	**65.6**	**4.8**
PPS40		**0.4**	**66.7**	**5**

۴. نتیجه گیری

- با توجه به نتایج آزمایشات کارایی بتن خود تراکم، مشاهده گردید که استفاده از انواع الیاف، اثرات منفی بر خواص رئولوژی بتن خود تراکم تازه دارند.
- در طرح اختلاط‌های بتن خود تراکم حاوی الیاف، افزایش مقدار الیاف باعث افزایش مقاومت فشاری گردید ، افزایش مقاومت فشاری ناشی از افزایش درصد الیاف را می‌توان به علت جایگیری مناسب الیاف ها و توزیع یکنواخت آنها در ماتریس سیمان یا به عبارتی میزان بهینه الیاف مورد نظر در بتن خود تراکم دانست.
- با در نظر گرفتن این حقیقت که الیاف‌ها به طور ذاتی تحت کشش ، عملکرد قابل قبولی از خود نشان می‌دهند، نتایج آزمایش نیز مشخص می‌کند که با افزایش مقدار الیاف این مقاومت افزایش می‌یابند و به تبع آن شکل‌پذیری بیشتری قبل از شکست در نمونه‌ها رخ می‌دهد.
- در این تحقیق آزمایشگاهی بتن با الیاف مختلف،خصوصیات مکانیکی مختلف از خود نشان داد. نسبت مقاومت کششی به مقاومت فشاری برای بتن های حاوی الیاف فلزی تقریبا یک عددثابت است در حالیکه برای الیافPPS با شیب صعودی افزایش می یابد.

۵. مراجع

[1] M. Rashid HAMEED, ‘Contribution of metallic fibers on the performance of reinforced concrete structures for the seismic application’, these for P.H.D, University of Toulouse, pp19, 2010.

[2] Ozawa K, Maekawa K, Okamura H. "Self-Compacting high performance concrete", Collected Papers (University of Tokyo: Department of Civil Engineering), 34, pp135-149, 1996.

[3] Okamura H. "Self Compacting High-Performance Concrete", Concrete International, PP 50-54,1997.

[4] Okamura H, Ozawa K. "Self-Compactable high performance concrete in japan", International Workshop on High Performance Concrete, SP 169, American Concrete Institute, Farmington Hills, MI, pp 31-44,1994.

[5] Ouchi M, Hibino M, Okamura H. "Effect of super plasticizer on self-compact ability of fresh concrete", TRR 1574, pp 37-40, 1996.

[6] Nehdi M, El-Chabib H, El-Naggar H. "Cost-effective SCC for deep foundations".ConcrInt 2003;25(3):95–103.

[7] KhayatKH."Workability, testing, and performance of self-consolidating Concrete". ACI Mater J 1999;96(3):346–5.

[8] Md. Safiuddin, J.S. West, K.A. Soudki. " Flowing ability of the mortars formulated from self-compacting concretes incorporating rice husk ash" . Construction and Building Materials ,25 ,(2011) 973–978.

[9] یاسر ملاح " بررسی تجربی مشخصات مکانیکی بتن خود تحکیم ورفتار خمشی تیر های بتن آرمه ساخته شده از SCC " ، پایان نامه کارشناسی ارشد ، دانشگاه علم و صنعت ایران ۱۳۸۴.

[10] skarendahl , A ; petersson , O : self compacting concrete . state of the Arteport of RILEM Technical committee174. RILEM Report No 23 ,2000.

[11] soroushian p. "Secondary reinforcemrnt adding cellulose fibers", ACI, Concrete International, pp 28-38, 1986.

[12]Seung Hun Park, Dong Joo Kim, Gum Sung Ryu, Kyung TaekKoh. "Tensile behavior of Ultra High Performance Hybrid Fiber Reinforced Concrete", Cement & Concrete Composites, 34, (2012) 172–184.
[13] Fiber Reinforced Concrete, PCA Publication, p47, 1991.
[14] امید لطفی عمران، بررسی خصوصیات مکانیکی بتن خودتراکم الیافی حاوی ذرات نانوسیلیس،، پایان نامه کارشناسی ارشد ، دانشگاه صنعتی بابل،صفحه 79، ۱۳۹۰.
[15] امید لطفی عمران، بررسی خصوصیات مکانیکی بتن خودتراکم الیافی حاوی ذرات نانوسیلیس،، پایان نامه کارشناسی ارشد ، دانشگاه صنعتی بابل،صفحه 40، ۱۳۹۰.

[16] Domone .P. L , " A review of the hardened mechanical properties of self compacting concrete " cem and con composites vol29 Issue1 Jun 2007 pp 1-12
[17] Rossi P., Acker P. and Mailer Y., 1987,"*Effect of steel fibers at two different stages: the material and structure*", Materials and Structures, V. 20, pp. 436-439
[18] ACI Committee 544, 1997, "*State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete*", ACI 544.1R-96, American Concrete Institute, Farmington Hills, Michigan
[19] M. Rashid HAMEED, 'Contribution of metallic fibers on the performance of reinforced concrete structures for the seismic application', these for P.H.D, University of Toulouse, pp32, 2010.
[20] ACI Committee 544, "State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete," Concrete International, ACI, V. 4, No. 5, pp 9-30, 1982.
[21] علیرضا خالو و کامیار بیات ماکو، "خواص بتن مسلح به الیاف فولادی تحت بارگذاری ضربه ای"، کنفرانس بین المللی بتن، صـفحات ۱۵-۲۵، ۱۳۶۹.
[22] S.P. Shah, 1991, "*Do fibers increase the tensile strength of cement-based matrixes?*" ACI Material Journal, V. 88, No. 6, pp 595-602
[23]Zongjin Li, Faming Li, T.Y. Paul Chang, and Yiu-Wing Mai, 1998, "*Uniaxial tensile behaviour of concrete reinforced with randomly distributed short fibers*", ACI Material Journal, V. 95, No. 5, pp 564-574
[24] F. Bencardino; L. Rizzuti; G. Spadea and R. Swamy, 2008, "*Stress-Strain behaviour of Steel Fiber-Reinforced Concrete in Compression*", Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 20, No.3, pp 255-263