بررسی تاثیر نسبت طول به قطر(L/D) الیاف پلی پروپیلن بر کارایی و خواص مکانیکی بتن خودتراکم سبک حاوی سبکدانه های معدنی پومیس

سعید بزرگمهرنیا[۱]، لیلا اکبری نسب[۲]

۱- مدیر تحقیق و توسعه شرکت آپتوس ایران

۲- کارشناس ارشد تحقیق و توسعه شرکت آپتوس ایران

Saeed.Bozorgmehr@gmail.com

چکیده

بتن سبک بتنی است که وزن مخصوص آن به طور محسوسی کمتر از وزن مخصوص بتنی است که با سنگدانه های طبیعی یا شکسته ساخته می شود بتن سبک در سه نوع بتن سبک غیرسازه ای،بتن سبک سازه ای و بتن سبک متوسط طبقه بندی می شود. بتن سبک اغلب به عنوان جایگزین مناسب و مکمل بتن معمولی در جهت سبک سازی سازه به کار می رود. استفاده از سبکدانه ها در ساخت بتن امکان کسب مقاومت سازه ای و همچنین مقاومت های بالا در کنار کاهش قابل ملاحظه در وزن مخصوص بتن را فراهم می کند. این مزیت در بتن های سبک سازه ای، موجب کاهش بار مرده ی ساختمان ها و به تبع آن کاهش در ابعاد مقاطع سازه ای می شود.. بتن های ساخته شده با استفاده از مصالح سبکدانه علی رغم مزایای مذکور به دلیل ساختار متخلخل سنگدانه ها ، دارای مقاومت کمتری از بتن های معمولی می باشند . محققین جهت بهبود عملکرد بتن سبکدانه ، استفاده از الیاف پلیمری و فولادی را مورد مطالعه قرار داده و به کار بسته اند. از طرفی استفاده از الیاف در بتن های خودتراکم به طور قابل ملاحظه ای از کارایی بتن ها می کاهد . خواص ظاهری و میزان مصرف الیاف پارامترهایی هستند که علاوه بر خواص بتن تازه ، خصوصیات بتن سخت شده را نیز تحت تاثیر قرار می دهند. در این تحقیق ابتدا ساخت بتن خودتراکم سبک سازه ای با استفاده از سبکدانه های پومیس انجام گرفت و سپس با اضافه کردن الیاف با نسبت های طول به قطر ۳۰۰، ۶۰۰ و ۹۵۰ در میزان های ۰٫۱و ۰٫۲ درصد حجم بتن به مخلوط بتن مورد نظر ، اثر آن بر خواص بتن تازه و سخت شده بررسی گردید. آزمایشات بتن تازه شامل اسلامپ، T۵۰، قیف v شکل و جعبه ی L شکل و آزمایشات بتن سخت شده شامل مقاومت فشاری، مقاومت کششی، مقاومت خمشی مورد بررسی قرار گرفته است. نمونه ها در شرایط مناسب عمل آوری شده و نتایج آزمایشات بتن سخت شده در سنین ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه ارائه شده است. نتایج نشان می دهد با افزایش نسبت طول به قطر به ازای هر یک از مقادیر الیاف از کارایی بتن تازه کاسته شده است. اضافه کردن الیاف سبب افزایش مقاومت کششی و خمشی نسبت به طرح شاهد شده و بیشترین افزایش در طرح حاوی ۰٫۲ درصد الیاف با نسبت طول به قطر ۶۰۰ مشاهده شد.

کلمات کلیدی: بتن خودتراکم سبک، خواص بتن تازه ، خواص مکانیکی ، سبکدانه پومیس، الیاف پلی پرو پیلن، نسبت طول به قطر الیاف

۱- مقدمه

بتن سبکدانه ی سازه ای از مصالح پرکاربرد در ساخت و ساز مدرن است که می توان کاربردهای زیاد و متنوعی از جمله در ساخت ساختمان های چندین طبقه، کف ها، دیوارهای جدا کننده، سقف های پوسته ای، پلها، اعضای پیش تنیده یا انواع قطعات پیش ساخته و .... را در این خصوص نام برد. [۱] بتن های سبک سازه ای با کاربرد سنگدانه های ریز و درشت سبک ساخته می شوند، اما برای مقاومت های بیشتر معمول است که قسمتی یا همه سنگدانه های ریز سبک با ماسه با وزن معمول جایگزین شود.[۲]. بتن سبک اغلب به عنوان جایگزینی مناسب و مکمل برای بتن معمولی و به منظور کاهش وزن سازه به کار می رود، هر چند مقاومت فشاری نهایی آن در مقایسه با بتن های معمولی مقدار کمتری است.[۱] .یکی از راه حل های متداول جهت مقاوم سازی ساختمان های بتن مسلح قدیمی، قراردادن غلاف هایی در دورتادور اعضای سازه ای است که با استفاده از بتن، اعضای فولادی و ورقه های FRP ساخته می شود [۳]. این گونه فعالیت های ساختمانی اغلب در شرایط مرزی بسیار محدود انجام می شود. افزایش قابل ملاحظه ی بار وارده در این موارد به ندرت مجاز است، در نتیجه استفاده از بتن سبک دانه ترجیح داده می شود. همچنین یکی دیگر از معیار های تعیین کننده برای انتخاب مواد برای مقاوم سازی، خواص آن در حالت تازه می باشد. در پروژه های مقاوم سازی به دلیل محدودیت های موجود در دسترسی به سازه ی ساختمان ها، بتن را نمی توان با روش های سنتی همچون باکت گذاری انتقال داد، بلکه بتن به محل پمپ می شودکه بدین منظور مخلوطی با کارایی زیاد برای سهولت در ریختن و تراکم مناسب مورد نیاز است برای تامین این الزامات بتن خود تراکم سبک (SCLC) قابل استفاده است[۴]. بتن خودتراکم نوع جدیدی از بتن های با عملکرد بالا است که می تواند بدون جداشدگی و انسداد، تحت وزن خود و بدون نیاز به لرزاندن خارجی به محل مورد نظر جریان یابد و قالب را پر کند. پایداری بتن تازه به وسیله ی مقاومت در برابر آب انداختگی، ته نشینی و جداشدگی توصیف می شود و به چسبندگی و گرانروی مخلوط وابسته است [۶،۵].

۲- تاثیر چگالی سبک دانه ها بر خواص بتن:

خواص فیزیکی و مکانیکی بتن سبک دانه به شدت به سنگدانه های مورد استفاده به ویژه به چگالی آن ها وابسته است. عموما چگالی بیشتر سنگدانه ها مقاومت مواد را بهبود می بخشد اگر چه موجب افزایش وزن آن ها می شود. به هرصورت آشکارترین محدودیت در استفاده سازه ای این مواد شکنندگی آن هاست که بسیار تاثیر گذار است.[۷]. مقاومت فشاری بالاتر، شکنندگی بیشتری را به همراه دارد [۸] . ضعف و شکنندگی سنگدانه های سبک نقایصی را در خواص مکانیکی بتن سبک دانه ی سخت شده همچون کاهش در مقاومت خمشی و کششی به وجود می آورد.[۱۰]. بنابراین بهبود در شکنندگی نکته ای کلیدی در گسترش کاربردهای بتن سبک است. [۸] استفاده از الیاف در بتن می تواند راه حل مناسبی جهت بهبود شکل پذیری باشد[۹].

۲-۱- تاثیر اندازه ی الیاف:

در بتن های الیافی ، هزاران الیاف کوتاه بطور تصادفی در بتن در طول اختلاط پراکنده و توزیع می شوند و خواص بتن را در همه ی راستاها بهبود می بخشند.[۱۱] افزایش استفاده از بتن الیافی در سازه های ساختمانی به این دلیل است که تقویت بتن با الیاف، چقرمگی، مقاومت خمشی، مقاومت کششی، مقاومت ضربه ای، مواد شکست بتن و عمر مفید ساختمان را بهبود می بخشد [۱۲،۱۳]. خواص اصلی موثر بر چقرمگی و حداکثر مقاومت در بتن های الیافی به نوع الیاف مورد استفاده، حجم مصرفی الیاف، نسبت طول به قطر الیاف و جهت الیاف در ماتریس بتن وابسته است [۱۴]. مطالعات پیرامون استفاده از الیاف پلی پروپیلن در بتن سبک دانه ی معمولی و خودتراکم نشان داده است که این الیاف تاثیر قابل توجهی بر مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته ی بتن سبک نداشته اما مقاومت کششی و مدول گسیختگی بتن را بهبود می بخشد.[۱۲و۱۵و۱۶]. همچنین کاهش شدید در کارایی بتن تازه خودتراکم در اثر افزودن این الیاف در بتن ساخته شده با سنگدانه های طبیعی و سبک گزارش شده است. [۱۲و۱۷]. El-Dieb و همکارش علاوه بر الیاف پلی پروپیلن به مطالعه ی اثر الیاف فولادی بر خواص بتن

تازه ی خودتراکم پرداختند. بدین منظور الیاف فولادی با نسبت های طول به قطر متفاوت را با سه درصد حجمی مختلف به طرح شاهد اضافه کردند. به جهت مقایسه ی نتایج طرح های اختلاط، ضریبی تعریف نمودند که از حاصل ضرب درصد حجمی در نسبت طول به قطر الیاف به دست می آمد و آن را ضریب الیاف نامیدند. افزایش در ضریب الیاف، افزایش در زمان تخلیه ی قیف Vو کاهش در جریان اسلامپ و درصد پرکنندگی جعبه را موجب شد[۱۷] . در پژوهش حاضر به بررسی اثر نسبت طول به قطر الیاف پلی پروپیلن بر خواص تازه و سخت شده ی بتن خودتراکم سبک حاوی سبکدانه های پومیس پرداخته شده است.

۳- برنامه آزمایشگاهی:

در بخش آزمایشگاهی این مقاله نخست به ساخت بتن خودتراکمی که محدوده های تعیین شده ی EFNARK برای پارامترهای بتن تازه را تامین کند پرداخته شد و سپس با آزمون های مکرر طرح اختلاط با وزن مورد قبول در آیین نامه ی ACI ۲۱۳R-۸۷ برای بتن سبک انتخاب گردید. وزن مخصوص اندازه گیری شده برای نمونه های ساخته شده برای طرح اختلاط شاهد پس از بازکردن قالب ۱۶۵۰ -۱۷۵۰ Kg/m^3 اندازه گیری شده است که طبق تقسیم بندی ACI۲۱۳R در رده بتن سبک سازه ای قرار می گیرد.

۳-۱- مصالح مورد استفاده:

سیمان مورد استفاده در این تحقیق از نوع پرتلند نوع ۲ تولید شده در کاخانه ی سیمان آبیک بوده که دارای توده ی ویژه ی ۳۱۵۰ Kg/m^3 و سطح مخصوص ۲۹۵۰ cm^2/gr می باشد. همچنین از میکروسیلیس تولید شده در کارخانه ی فروسیلیس سمنان به عنوان مواد پوزولانی در همه ی طرح ها استفاده شده است. توده ی ویژه ی میکروسیلیس استفاده شده ۲۱۲۰ Kg/m^3 می باشدکه مشخصات شیمیایی سیمان و میکروسیلیس در جدول (۱) و الیاف در جدول (۲) آمده است. آب مصرفی جهت ساخت بتن و همچنین عمل آوری نمونه ها، آب شرب کرج بوده که ضوابط ASTM D ۱۱۲۹ را بر آورده می نماید. همچنین ماسه مصرفی با قطر ذرات بین۰ تا ۴,۷۵ و از نوع رودخانه ای (طبیعی) بوده که وزن مخصوص ظاهری در حالت SSD و جذب آب آن به ترتیب ۲,۶۵ و ۲,۲ درصد می باشد. به منظور کسب روانی مطلوب جهت ساخت بتن خودتراکم از فوق روان کننده ی P۱۰-۳R استفاده شده است که مشخصات آن در جدول (۳) آمده است.

جدول (۱): آنالیز شیمیایی سیمان ومیکرو سیلیس

	SiO_2	CaO	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	SO_3	K_2O
سیمان	۲۰,۷۹	۶۳,۱۰	٤,۷٦	۳,۸٦	۳,۲۲	۱,۸۹	۰,٦۸
میکرو سیلیس	۹۵	۱	۱,۵	۱	۰,۹۷	۰,۱۱	۰,٤

جدول (۲): مشخصات الیاف

نام	الیاف پلی پروپیلن
طول(mm)	٦ ،۱۲ ،۱۹
قطر (µm)	۲۰
وزن مخصوص(g/cm۳)	۰,۹
دمای ذوب	۱٦۰ ˚C
مقاومت کششی (Mpa)	۳۵۰
ظاهر	سفید

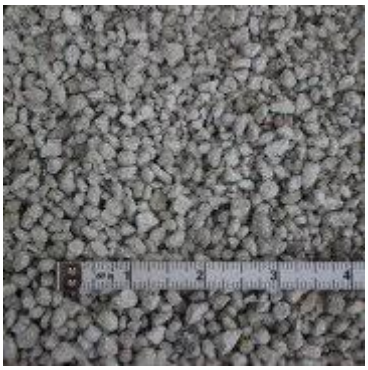
جدول (۳): مشخصات فوق روان کننده

نام	P۱۰-۳R
نوع	پلی کربوکسیلات
ظاهر	مایع غلیظ قهوه ای رنگ عسلی
وزن مخصوص(g/cm۳)	۱,۰۸ تا ۱,۱ در دمای ۲۰ c
ph	٦,۸
میزان مصرف	۰,۵ تا ۱ درصد وزنی سیمان

در این مطالعه به منظور ساخت بتن سبک از سبک دانه سازه ای پومیس تولیدی بستان آباد استفاده شده که مشخصات آن در جدول (۴) و شکل ظاهری آن (۱) آمده است. پومیس مصرفی در دو دانه بندی ریزدانه و درشت دانه در طرح اختلاط بتن سبک بکار گرفته شدند که دانه بندی دانه های ریز و درشت به ترتیب در محدوده ی ۰-۴,۷۵ و۴,۷۵-۱۲,۵ که در محدوده ی اسمی(۰-۴) و (۴-۱۲) قرار می گیرند.

جدول (۴)- مشخصات فیزیکی پومیس

نوع مصالح	وزن مخصوص kg/m^3		درصد جذب آب ۴۸ ساعته (%)
	انبوهی	SSD	
درشت دانه سبک پومیس(۱۲-۴)	۶۵۰	۱۴۸۰	۲۰
ریزدانه سبک پومیس(۴-۰)	۷۹۰	۱۶۳۴	۱۷



شکل (۱)- الف)شکل ظاهری درشت دانه سبک پومیس بستان آباد- ب) شکل ظاهری ریز دانه سبک پومیس بستان آباد

۳-۲- طرح های اختلاط و آماده سازی نمونه ها:

در این پروژه نسبت آب به مواد سیمانی در همه ی طرح ها ثابت و برابر ۰,۳۵ در نظر گرفته شده و به میزان ۱۰ درصد از مواد سیمانی با میکروسیلیس جایگزین شده است. پس از دستیابی به بتن خودتراکم شاهد با استفاده از سبکدانه های پومیس، الیاف پلی پروپیلن با طول های ۶، ۱۲ و ۱۹ میلی متر یکبار به میزان ۰,۱ درصد حجمی (طرح اختلاط های A، C وF) و بار دیگر به مقدار ۰,۲ درصد (طرح اختلاط های B، D وE) به طرح اختلاط شاهد اضافه شد. برای هر یک از طرح های سری ۱ (A۱، B۱، C۱، D۱، E۱، F۱) پس از اضافه کردن الیاف با طول و درصد های متفاوت، میزان فوق روان کننده نسبت به طرح شاهد بدون تغییر باقی مانده اما در طرح های سری ۲ (A۲، B۲، C۲، D۲، E۲، F۲) میزان فوق روان کننده در جهت جبران کاهش کارایی ناشی از افزودن الیاف افزایش یافت. در طرح های اختلاط A۲,B۲,C۲,D۲,E۲,F۲ با افزایش میزان فوق روان کننده جهت رساندن جریان اسلامپ تمامی طرح ها به عددی بالاتر از ۶۰ cm پرداخته شد. مصالح برای ساخت بتن ها این گونه بود که ابتدا سبکدانه های خشک با قسمتی از آب اختلاط مخلوط گردید. سپس مواد سیمانی که شامل سیمان و میکروسیلیس می باشد به مخلوط اضافه شده و بعد از آن مقدار دیگری از آب به همراه فوق روان کننده به مخلوط اضافه گردید. در نهایت ماسه و پودر سنگ به داخل مخلوط کن ریخته شد و باقیمانده ی آب در حین اختلاط مصالح اضافه شد. در طرح های حاوی الیاف پلی پروپیلن، این الیاف به آرامی به مخلوط در حال چرخش پاشیده شد تا پراکندگی و یکنواختی مطلوب الیاف در کل بتن به دست آید. عملیات اختلاط به گونه ای انجام گرفت که پس از گذشت حدود ۳۰ دقیقه از مرطوب شدن سبکدانه ها و آب معادل جذب آب نیم ساعته ی مصالح که قبلا اندازه گیری شده است، جذب مصالح گردد.

آزمون های بتن تازه ی خودتراکم بلا فاصله پس از این مرحله برای هر یک از طرح های اختلاط انجام گرفت. پس از ساخت بتن مطابق الگوی فوق، عملیات نمونه گیری جهت بررسی خواص مکانیکی انجام شده و پس از پر کردن قالب ها، نمونه ها براساس استاندارد شماره ۱۷۰۴۰ در دمای ۲۳±۲ °C در محیط آزمایشگاه به مدت ۲۴ ساعت نگهداری و بعد از گذشت این زمان و باز نمودن قالب ها نمونه ها تا زمان آزمایش تحت عمل آوری مناسب در دمای آزمایشگاه قرار گرفت

جدول (۵): طرح های اختلاط

mix code	cement	Silica fume	Lime stone powder	Pumice coarse	pumice fine	Fine aggregate	water	Super plasticizer	pp fiber	Fiber length
	(Kg/m۳)	(Kg/m۳)	(Kg/m۳)	(Kg/m۳)	(Kg/m۳)	(Kg/m۳)	(Kg/m۳)	(Kg/m۳)	(Kg/m۳)	(mm)
Control	٤٥٠	٥٠	١٥٠	٣٥٠	١٥٠	٤٥٠	١٧٥	٣,٦	٠	_
A١	٤٥٠	٥٠	١٥٠	٣٥٠	١٥٠	٤٥٠	١٧٥	٣,٦	٠,٩	٦
A٢	٤٥٠	٥٠	١٥٠	٣٥٠	١٥٠	٤٥٠	١٧٥	٤	٠,٩	٦
B١	٤٥٠	٥٠	١٥٠	٣٥٠	١٥٠	٤٥٠	١٧٥	٣,٦	١,٨	٦
B٢	٤٥٠	٥٠	١٥٠	٣٥٠	١٥٠	٤٥٠	١٧٥	٤,٨	١,٨	٦
C١	٤٥٠	٥٠	١٥٠	٣٥٠	١٥٠	٤٥٠	١٧٥	٣,٦	٠,٩	١٢
C٢	٤٥٠	٥٠	١٥٠	٣٥٠	١٥٠	٤٥٠	١٧٥	٤,٨	٠,٩	١٢
D١	٤٥٠	٥٠	١٥٠	٣٥٠	١٥٠	٤٥٠	١٧٥	٣,٦	١,٨	١٢
D٢	٤٥٠	٥٠	١٥٠	٣٥٠	١٥٠	٤٥٠	١٧٥	٥,٤	١,٨	١٢
E١	٤٥٠	٥٠	١٥٠	٣٥٠	١٥٠	٤٥٠	١٧٥	٣,٦	٠,٩	١٩
E٢	٤٥٠	٥٠	١٥٠	٣٥٠	١٥٠	٤٥٠	١٧٥	٥,١	٠,٩	١٩
F١	٤٥٠	٥٠	١٥٠	٣٥٠	١٥٠	٤٥٠	١٧٥	٣,٦	١,٨	١٩
F٢	٤٥٠	٥٠	١٥٠	٣٥٠	١٥٠	٤٥٠	١٧٥	٦,٣	١,٨	١٩

۴– نمونه ها و آزمایش های انجام شده:

۴–۱– خواص بتن تازه:

آزمایش های بتن تازه ی خودتراکم شامل جریان اسلامپ، زمان رسیدن به قطر ۵۰۰ mm، قیف v، جعبه ی L (H۲/H۱، T۲۰، T۴۰) بر روی طرح های اختلاط A۲,B۲,C۲,D۲,E۲,F۲ بلافاصله پس از پایان مراحل اختلاط انجام گرفت و همچنین برای طرح های اختلاط A۱,B۱,C۱,D۱,E۱,F۱ تنها آزمایش اسلامپ انجام شد.

۴–۲– خواص بتن سخت شده:

جهت بررسی خواص مکانیکی طرح های اختلاط ارائه شده آزمایش های مقاومت فشاری، مقاومت خمشی و مقاومت کششی به روش دو نیم شدن برزیلی بر روی نمونه های عمل آوری شده در شرایط مرطوب انجام گرفت. آزمایش ها با استفاده از دستگاه آزمایش فشاری با حداکثر توان ۳۰۰ KN و با سرعت ۰,۲۵ N/mm^2S بر روی نمونه ها صورت گرفت. نمونه های منشوری جهت بررسی مقاومت خمشی بر روی دستگاه سنجش خیز با سرعت ۰,۰۵ mm/min و به صورت دو سر ساده و با طول دهانهٔ ۳۰ سانتیمتر بارگذاری شده اند. خلاصه ای از نوع، ابعاد نمونه ها و روش های آزمایش در جدول(۶) و شکل (۲) نشان داده شده است.

جدول (۶): آزمایشات انجام شده بر روی بتن سخت شده

نوع آزمون	ابعاد نمونه (cm)	تعداد نمونه	عنوان طرح	سن آزمایش
مقاومت فشاری	۱۰×۱۰×۱۰	۳	A۲,B۲,C۲,D۲,E۲,F۲	۷، ۱٤، ۲۸ روزه
مقاومت خمشی	۱۰×۱۰×٤٥	۳	A۲,B۲,C۲,D۲,E۲,F۲	۷، ۱٤، ۲۸ روزه
مقاومت کششی(برزیلی)	Φ۱٥×۳۰	۲	A۲,B۲,C۲,D۲,E۲,F۲	۷، ۱٤، ۲۸ روزه

شکل (۲)- الف) آزمونه فشاری ب) آزمونه کششی ج) آزمونه خمشی

۵- نتایج آزمایش ها:

به جهت مقایسه ی نتایج طرح های اختلاط حاوی الیاف با نسبت های طول به قطر و درصد های حجمی متفاوت از ضریب Vf *L/D که ادیب و همکارش در مطالعه ی اثر الیاف فولادی بر خواص تازه ی بتن خودتراکم از آن استفاده کرده است، بهره گرفته ایم. عدد این ضریب برای هر یک از مقادیر و انواع الیاف در جدول (۷) مشخص است.

جدول (۷):مقادیر ضریب الیاف به ازای نسبت طول به قطر و درصد حجمی متفاوت الیاف

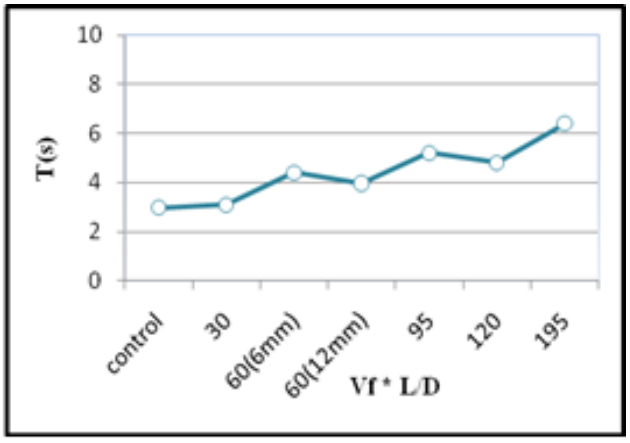
vf	۰,۱۰٪	۰,۲۰٪	۰,۱۰٪	۰,۲۰٪	۰,۱۰٪	۰,۲۰٪
L/D	۳۰۰	۳۰۰	٦۰۰	٦۰۰	۹٥۰	۹٥۰
Vf*L/D	۳۰	٦۰(٦mm)	٦۰(۱۲mm)	۱۲۰	۹٥	۱۹۰
mix code	A۱,A۲	B۱,B۲	C۱,C۲	D۱,D۲	E۱,E۲	F۱,F۲

۵-۱- نتایج آزمایش های بتن تازه:

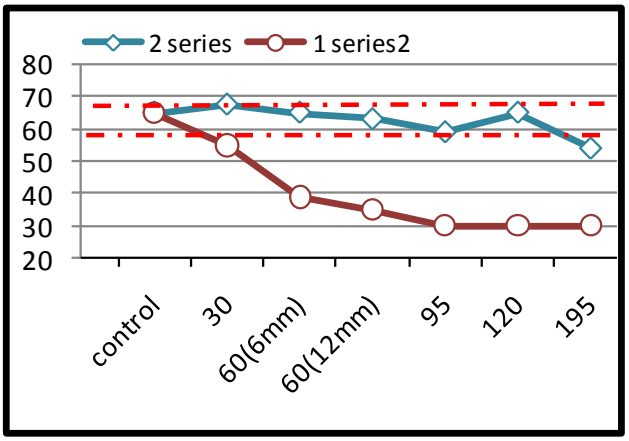
در این قسمست نتایج بدست آمده در آزمایش های بتن تازه ی خودتراکم ارائه شده است

شکل (۳) روند تغییرات در جریان اسلامپ را، برای طرح اختلاط های بتن خودتراکم سبک با افزایش در ضریب Vf ×L/D را نشان می دهد. همانطور که مشخص است، در طرح های اختلاط A۱، B۱، C۱، D۱، E۱، F۱ که میزان افزودنی فوق روان کننده نسبت طرح شاهد بدون تغییر ماند، با افزایش Vf × L/D الیاف میزان جریان اسلامپ، کاهش یافته است تا جایی که به عدد حداقل یعنی ۳۰ cm که معادل با قطر قاعده ی مخروط اسلامپ می رسد. نتایج نشان می دهد که با افزایش میزان فوق روان کننده نسبت به طرح شاهد جریان اسلامپ در طرح های حاوی ۰,۱ و ۰,۲ درصد حجمی الیاف ۶ میلی متر به ترتیب از ۵۵ و ۳۹ سانتی متر به اعداد ۶۷ و۶۵ سانتی متر ارتقا یافتند به همین صورت بتن های حاوی الیاف ۱۲ میلی متر با مصرف فوق روان کننده ی بیشتری نسبت به طرح های A۲و B۲ از ۳۵ و ۳۰ سانتی متر به ۶۳ و ۶۵ افزایش یافتند. در طرح های حاوی ۰,۱ و ۰,۲ درصد از الیاف با طول mm ۱۹ که جریان اسلامپ با قطر ۳۰ سانتی متر را سبب شده بودند، افزایش

فوق روان کننده تا میزان ۱،۵و ۲ درصد موفق به افزایش درجریان اسلامپ تا قطر ۵۹ و ۵۴ سانتی متر شد. مشاهدات چشمی نشان داد که افزودن مقادیر بیشتر فوق روان کننده به این طرح ها منجر به پدیده ی آب انداختگی در سطح بتن می شود که به همین علت از استفاده ی مقادیر بیشتر افزودنی و رساندن جریان اسلامپ به محدوده ی مورد نظر صرف نظر گردید.



شکل (۳) :آزمایش جریان اسلامپ

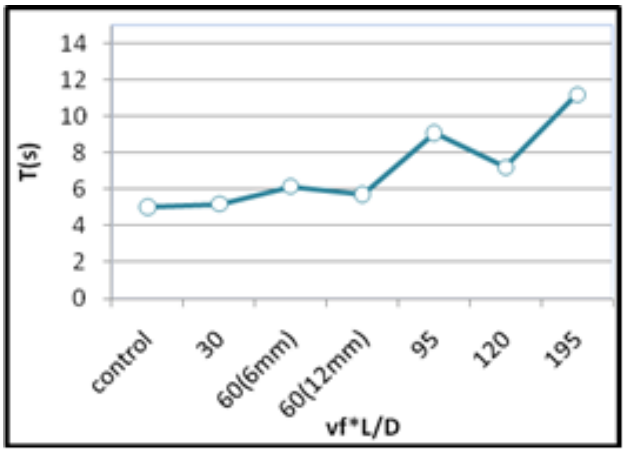


شکل (۴): آزمایش T۵۰۰

با توجه به شکل (۴) قابل مشاهده است که اضافه کردن الیاف سبب افزایش در زمان رسیدن بتن به قطرcm ۵۰ در آزمایش جریان اسلامپ نسبت به طرح شاهد می شود. این افزایش حتی در طرح های A۲,B۲,C۲,D۲ که جریان اسلامپی تقریبا مشابه با بتن شاهد دارند نیز دیده می شود. همچنین قابل ذکر است که بیشترین زمان نیز به بتن های حاوی الیاف ۱۹ میلی متر اختصاص دارد. افزایش زمان با افزایش در ضریب الیاف در این آزمایش صادق نیست و صرفا در طرح های حاوی درصد حجمی الیاف یکسان، زمان با افزایش طول الیاف افزایش یافته و در طرح های محتوی الیاف هم اندازه، با افزایش درصد الیاف، زمان هم زیاد می شود.

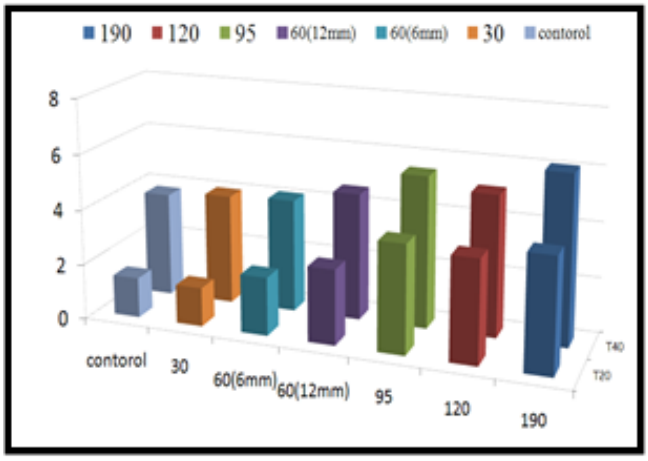
جدول (۸): طرح اختلاط مخلوط ها

Mix code	slump	T۵۰۰	Slump flow	L-box	T۲۰	T۴۰	vfunnel
Control	۲۸	۱,۹۸	۶۵	۱	۱,۴۵	۳,۸۰	۵,۰۴
A۱	۲۷		۵۵	_	_	_	_
A۲	۲۸,۵	۲,۰۹	۶۷,۵	۱	۱,۴۰	۴	۵,۲
B۱	۲۵	_	۳۹	_	_	_	_
B۲	۲۸	۳,۴۱	۶۵	۰,۹۷	۲,۱	۴,۱	۶,۱۶
C۱	۲۴	-	۳۵	_	_	_	_
C۲	۲۸	۲,۹۶	۶۳	۰,۹۵	۲,۷	۴,۶	۵,۷۲
D۱	۱۹	-	۳۰	_	_	_	_
D۲	۲۸	۳,۸۰	۶۵	۰,۹۱	۳,۷	۵,۱	۷,۲۱
E۱	۱۹	-	۳۰	_	_	_	_
E۲	۲۷,۵	۴,۲	۵۹	۰,۸۱	۳,۹	۵,۵	۹,۱
F۱	۱۴	_	۳۰	_	_	_	_
F۲	۲۷	۵,۴	۵۴	۰,۷۵	۴,۱	۶,۱	۱۱,۲

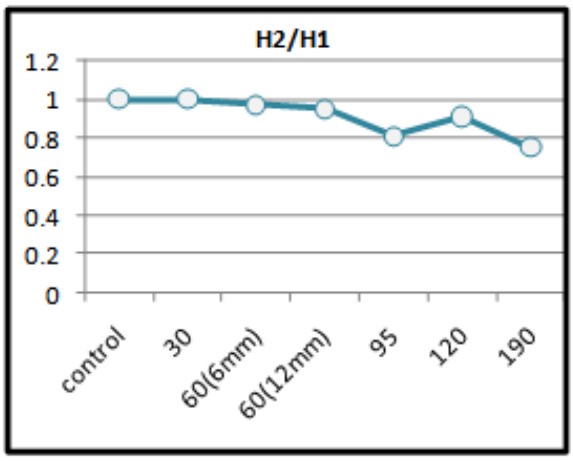


شکل (۵): آزمایش قیف V

نتایج آزمایش قیف V نیز مشابه با آزمایش T۵۰ است (شکل۵). بیشترین زمان برای طرح های حاوی الیاف ۱۹ میلی متر ثبت شده است. و افزایش زمان در طرح های با الیاف هم اندازه با افزایش درصد الیاف پدید آمده و در طرح های با درصد های یکسان از الیاف، افزایش طول الیاف افزایش زمان را سبب می شود.



شکل(۷):T۲۰ و T٤٠



شکل (۶): نسبت انسداد در آزمایش L-box

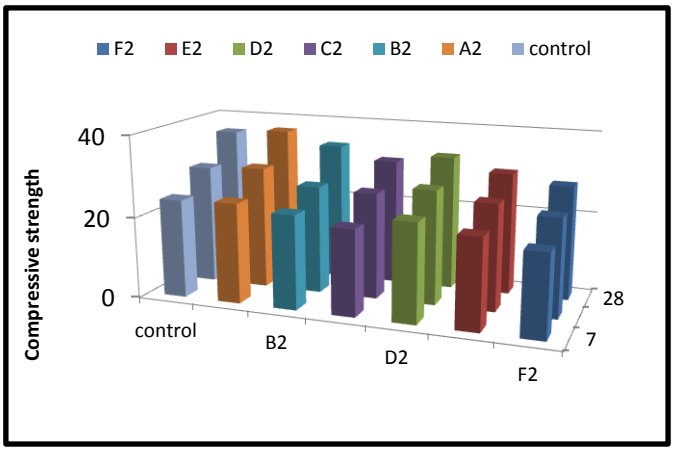
در شکل (۶ و ۷) که نتایج ثبت شده از آزمایش L-Box را نشان می دهد، با افزایش در ضریب الیاف، روند نزولی در نسبت H۲/H۱ قابل مشاهده است . این روند تنها در ضریب ۱۲۰ که متعلق به طرح حاوی ۰٫۲٪ حجمی الیاف با طول ۱۲mm است، نقض شده است که نسبت به طرح حاوی ۰٫۱٪ الیاف با طول ۱۲mm علی رغم ضریب الیاف کمتر، کارایی کمتری دارد. این نکته در شکل (۶) که زمان رسیدن بتن در عضو افقی جعبه ی L شکل، به فاصله ی ۲۰cm و ۴۰cm بعد از میلگرد ها را نشان می دهد، قابل مشاهده است. عدد H۲/H۱ در همه ی طرح ها به جز طرح F۲ بالاتر از ۰٫۸ بوده و در محدوده ی مطلوب EFNARK قرار می گیرد.

۵-۲- نتایج آزمون های بتن سخت شده:

جدول (۹): نتایج آزمایشهای بتن سخت شده

	Compressive strength(MPa)			split tensile strength(MPa)			Flexural strength(MPa)		
day	۷	۱٤	۲۸	۷	۱٤	۲۸	۷	۱٤	۲۸
Control	۲٤,۱	۲۹,۲	۳٦	۱,٥۷	۲,۱۲	۳,٤٤	۳,۱	٤,۳۹	٥,۰۳
A۲	۲٤,٥	۳۰	۳۷	۱,٦۱	۲,۲٥	۳,٥۱	۳,۳٥	٤,۹	٥,۹٤
B۲	۲۳	۲٦,٥	۳٤	۱,۷	۲,۲۸	۳,٥٤	۳,٦۱	٥,۲۹	٦,٥۸
C۲	۲۱	۲٦	۳۱	۱٦,٦	۲,۳٥	۳,۸۲	۳,۸۷	٥,۰۳	٦,۱۹
D۲	۲٤	۲۸	۳۳	۲,۸	۳,۲۱	٤,۳۸	٤,٦٤	٦,۱۹	۷,۲۳
E۲	۲۲	۲٦	۳۰	۲,٥٤	۲,۸۹	۳,۹۹	۳,۷٤	٤,۷۷	٥,۹٤
F۲	۲۰	۲٤	۲۸	۲,٦٤	۲,۹۸	٤,۱٦	٤,۳۹	٥,۸۱	٦,٥۸

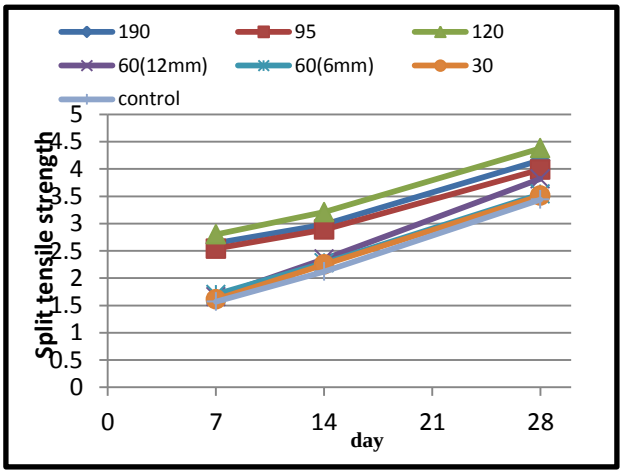
نتایج آزمایش مقاومت فشاری در همه ی طرح ها با افزایش در طول سنین ۷ تا ۲۸ روز همراه بوده است (شکل۸). نتایج نشان می دهد که افزودن مقادیر ۰,۱ و ۰,۲ درصد حجمی الیاف با طول ۶mm اثری بر مقاومت فشاری نداشته اما اضافه کرد میزان ۰,۱ درصد از الیاف ۱۲mm و هر دو مقدار از الیاف ۱۹mm کاهش در مقاومت فشاری نمونه ها را نسبت به طرح شاهد سبب می شوند. عدم تاثیر مقادیر مشابه الیاف پلی پروپیلن بر مقاومت فشاری بتن توسط سایر محققین نیز گزارش شده است. [۱۲،۱۶].همچنین Kayali و همکاران با اضافه کردن ۱٪ حجمی الیاف کاهش در مقاومت فشاری را مشاهده کرده اند که با نتایج این مطالعه هم سو است.[۱۵]



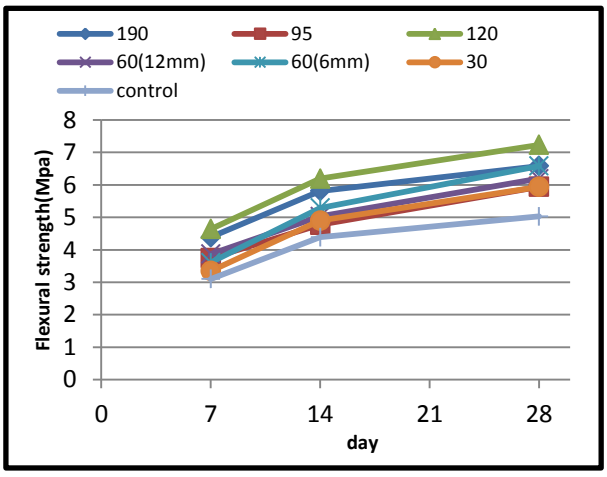
شکل (۸): نتایج آزمایش مقاومت فشاری

با توجه به شکل (۹) مقاومت کششی همه ی طرح های حاوی الیاف از طرح شاهد بیشتر است. بیشترین مقاومت کششی متعلق به طرح حاوی ۰,۲٪ الیاف ۱۲ mm است که نسبت به طرح شاهد ۲۰٪ بیشتر است. بدون در نظر گرفتن طرح حاوی ۰,۲ ٪ الیاف ۱۹mm، با افزایش ضریب الیاف (Vf *L/D) مقاومت کششی نیز افزایش یافته است. میزان ۰,۱٪ الیاف ۱۹mm مقاومت بیشتری را نسبت به میزان مشابه از الیاف ۱۲mm نتیجه می دهد در حالیکه ۰,۲٪ الیاف ۱۹mm مقاومت کششی کمتری را در مقایسه با همین مقدار از الیاف ۱۲mm را سبب می شود.این کاهش در حالیست که ضریب الیاف در مورد اخیر از

۱۲۰ به ۱۹۰ افزایش داشته است. دلیل این کاهش مقاومت در نمونه ی حاوی ۰٫۲٪ ۱۲mm را می توان در نتیجه ی خواص خودتراکمی ضعیف تر به موجب حضور الیاف با طول بیشتر دانست.



شکل (۹): نتایج آزمایش مقاومت کششی



شکل (۱۰): نتایج آزمایش مقاومت خمشی

شکل (۱۰) نشان می دهد که مشابه با نتایج مقاومت کششی، طرح حاوی ۰٫۲٪ الیاف ۱۲ mm بیشترین مقاومت خمشی و طرح شاهد کمترین مقاومت را به دست می دهد. ۰٫۲٪ الیاف ۱۲mm سبب افزایش ۴۴ درصدی مقاومت خمشی نسبت به طرح شاهد است. افزایش مقاومت در طول زمان برای نمونه ی کنترل پس از ۷ روز عمل آوری معادل ۶۲٪ و پس از ۱۴ روز به ۸۷٪ مقاومت ۲۸ روزه می باشد که این روند در رشد مقاومت سایر طرح ها نیز تقریبا مشابه است.

۶- نتیجه گیری:

- نتایج آزمایش های بتن تازه ی خودتراکم نشان می دهد که در طرح های با درصد الیاف برابر، با افزایش طول الیاف و در طرح های حاوی الیاف با طول برابر، با افزایش درصد الیاف، جریان اسلامپ و درصد H۲/H۱ کاهش یافته و مقادیر T۵۰، زمان خروج کامل بتن از قیف V، T۲۰و T۴۰ افزایش می یابد .
- رابطه ی افزایش در جریان اسلامپ و درصد H۲/H۱ و کاهش در T۵۰۰، زمان خروج کامل بتن از قیف V، T۲۰و T٤٠ با افزایش ضریب Vf *L/D همیشه برقرار نیست و در مقایسه ی خواص بتن تازه ی ارائه شده در این مقاله افزایش در هر کدام از پارامترهای L/D و Vf بر افزایش در ضریب Vf *L/D ارجحیت دارد.
- افزودن مقدار ۰٫۱ درصد از الیاف ۱۲ mm و هر دو درصد از الیاف ۱۹mm سبب کاهش در مقاومت فشاری شده اما در سایر طرح ها اثر محسوسی مشاهده نمی شود.
- ۰٫۲درصد حجمی از الیاف ۱۲mm بیشترین افزایش را در نتایج مقاومت کششی و خمشی نتیجه می دهد.
- ۰٫۲ ٪ الیاف ۱۹mm مقاومت کششی و خمشی کمتری را در مقایسه با همین مقدار از الیاف ۱۲mm به دست می دهد که می تواند ناشی از خواص خودتراکمی ضعیف تر این طرح اختلاط باشد که در نتیجه ی حضور الیاف با طول بیشتر پدید آمده است.
- نمونه های بتن سبک خودتراکم در حین بارگذاری فشاری، از شکست ترد (ناگهانی) به شکست نرم و تدریجی تغییر ماهیت پیدا می کنند. علت این امر را می توان در چند علت جستجو نمود ماتریس سیمان و سنگدانه بعلت خاصیت شکل پذیری کم در هنگام بهره برداری با ایجاد کرنش خیلی کم تا

- حد گسیختگی بار را تحمل می کند و پس از گسیختگی ناگهانی مسئولیت الیاف نگه داشتن تکه های بتن در کنار هم است شکست را از حالت ناگهانی به حالت ترد تبدیل می کنند.

۷- مراجع

[۱]. ACI ۲۱۳R-۸۷,'' Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete'',۱۹۹۹
[۲].Andrew short, William Kiniburgh,''Lightweight concrete",Third Edition
[۳]. Konstantinos G. Vandoros, Stephanos E. Dritsos,'' Concrete jacket construction detail effectiveness when strengthening RC columns" Construction and Building Materials , March ۲۰۰۸, Pages ۲٦٤-۲۷٦
[٤]. Michael Haist, Victor Mechtcherine, Hararld Beitzel, Harald S.Muller.; Retrofitting of building structures using pumpable self-compacting lightweight concrete, ۳rd International RILEM Symposium on self-Compacting concrete, ۱۷-۲۰ August ۲۰۰۳, Reykjavik, Iceland
[٥]. K.H.Khayat, c.Hu and H.Monty,"Stability of self-consolidating concrete, advantages, and potential applications' '۱rd International RILEM Symposium on self-Compacting concrete, ۱۳-۱٤ september, stockholm,Sweden
[٦]. K.H.Khayat, A. Ghezal and M.S. Hadriche,"Utility of statistical models in proportioning self-consolidating concrete''۱rd International RILEM Symposium on self-Compacting concrete, ۱۳-۱٤ september, stockholm,Sweden
[۷]. Giuseppe Campione, Lidia La Mendola, "Behavior in compression of lightweight fiber reinforce concrete confined with transverse steel reinforcement" Cement & Concrete Composites ۲٦ (۲۰۰٤) ٦٤٥–٦٥٦
[۸]. Bing Chena , Juanyu Liu, "Contribution of hybrid fibers on the properties of the high-strength lightweight concrete having good workability", Cement and Concrete Research ۳٥ (۲۰۰٥) ۹۱۳–۹۱۷
[۹].Milad .Ahmadyar, "Ductility in Lightweight Concrete with Fiber", Master Thesis Spring ۲۰۱۱,Universitetet I Stavanger
[۱۰]. Piti Sukontasukkul,'' Toughness Evaluation of Steel and Polypropylene Fibre Reinforced Concrete Beams under Bending", Thammasat Int. J. Sc. Tech.,V ol. ۹, No. ۳, July-September ۲۰۰٤
[۱۱].G.L.vondran, M.nagabhushanam, V.Ramakrishnan," Fatigue Strength of Polypropylene Fiber Reinforced Concretes," pp ٥۳۳-٥٤۳ in Fiber Reinforced Cements and Concretes, Recent Developments., Edited by Swamy, R.N., Barr, B., September۱۹۸۹
[۱۲]. H. Mazaheripour , S. Ghanbarpour, S.H. Mirmoradi, I. Hosseinpour," The effect of polypropylene fibers on the properties of fresh and hardened lightweight self-compacting concrete", Construction and Building Materials ۲٥ (۲۰۱۱) ۳٥۱–۳٥۸
[۱۳]. ACI ٥٤٤,۱R-۹٦," State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete",۲۰۰۲
[۱٤]. R. Brown, A. Shukla and K.R. Natarajan," FIBER REINFORCEMENT OF CONCRETE STRUCTURES", UNIVERSITY OF RHODE ISLAND TRANSPORTATION CENTER, September ۲۰۰۲
[۱٥]. O. Kayali *, M.N. Haque, B. Zhu," Some characteristics of high strength fiber reinforced lightweight aggregate concrete", Cement & Concrete Composites ۲٥ (۲۰۰۳) ۲۰۷–۲۱۳
[۱٦]. Nicolas Ali Libre, Mohammad Shekarchi, Mehrdad Mahoutian, Parviz Soroushian," Mechanical properties of hybrid fiber reinforced lightweight aggregate concrete made with natural pumice", Construction and Building Materials ۲٥ (۲۰۱۱) ۲٤٥۸–۲٤٦٤
[۱۷]. A.S. El-Dieb, , M.M. Reda Taha ,"Flow characteristics and acceptance criteria of fiber-reinforced self-compacted concrete (FR-SCC)", Construction and Building Materials ۲۷ (۲۰۱۲) ٥۸٥–٥۹٦