



کد مقاله: ۱-۱۲۴

بررسی امکان ساخت ستون‌های بتنی خودتراکم با استفاده از الیاف و سبکدانه‌های متفاوت در مقیاس نیمه واقعی

محمد آرایشگر^۱، سید حسین قاسم زاده موسوی نژاد^۲، ملک محمد رنجبر^۳، سروش عیسی پور^۳

۱- کارشناس ارشد سازه، دانشگاه گیلان، mohammad_ar2011@yahoo.com

۲- عضو هیأت علمی، دانشگاه گیلان

۳- کارشناسی مهندسی عمران، دانشگاه گیلان

چکیده

در بعضی از پروژه‌ها به دلیل محدودیت‌هایی مانند عدم دسترسی مناسب به ساختمان و یا وجود مقاطع نازک با تراکم آرماتور زیاد، استفاده از بتن خودتراکم توصیه می‌گردد. بتن‌های خودتراکم سبک حاوی الیاف گزینه‌ی مناسبی جهت ساخت مقاطع نازک از قبیل سگمنت‌های بتنی در تونل‌سازی، بلوک‌های مورد استفاده در نمای بیرونی پل‌های درون‌شهری، اعضای پوسته‌ای و ... می‌باشد. اما استفاده از سبکدانه‌ها در بتن‌های با کارایی زیاد از جمله بتن‌های خودتراکم همواره با خطر جداشدگی و شناوری سبکدانه‌ها به ویژه در اعضای قائم همراه است. از سوی دیگر استفاده از الیاف فولادی از کارایی بتن‌های خودتراکم به شدت کاسته و ضعف در قابلیت پرمکنندگی را موجب می‌گردد. این مطالعه به بررسی امکان ساخت مقاطع در مقیاس نیمه واقعی با استفاده از بتن خودتراکم سبک الیافی با دو سبک دانه‌ی متفاوت و همچنین ارزیابی قابلیت پرمکنندگی و خودتراکمی بتن‌های سبک حاوی مقادیر متفاوت از الیاف فولادی در اعضای قائم و با مقطع نازک می‌پردازد. سبکدانه‌های مورد استفاده در این تحقیق سبکدانه‌ی صنعتی رس منبسط شده (لیکا) و سبکدانه‌ی پلی‌استایرن منبسط شده (EPS) بوده و همچنین در طرح‌های الیافی از الیاف فولادی با طول ۵۰ و ضخامت ۱ میلی‌متر به میزان ۲۰ و ۴۰ کیلوگرم در متر مکعب استفاده شده است. بدین منظور از هر یک از طرح‌های اختلاط بتن خودتراکم سبک بدون الیاف و الیافی، ستون‌های نازکی با مقطع دایره‌ای و با قطر و ارتفاع ۱۰ و ۲۰ سانتی‌متر ساخته شد. ستون‌ها بعد از ۹۰ روز عمل‌آوری در فضای آزاد به ۹ استوانه‌ی با ارتفاع ۲۰ سانتی‌متری بریده شدند و هر قطعه مورد آزمایش قرار گرفتند. جهت مطالعه‌ی نحوه‌ی پراکندگی سبکدانه‌ها در ارتفاع ستون‌ها آزمایش‌های مقاومت فشاری، اندازه‌گیری سرعت عبور امواج التراسونیک، جذب آب و وزن مخصوص بر روی هر قطعه بطور جداگانه انجام گرفت. نتایج آزمایش‌های مورد نظر بر روی قطعات ۱ تا ۹ هر ستون تغییرات غیرخطی قابل ملاحظه‌ای را نسبت به نمونه‌های مکعبی اخذ شده از آن اختلاط نشان می‌دهد. اما این تغییرات رابطه‌ی معنی‌داری با تغییر در ارتفاع ستون‌ها نداشته که از این نکته می‌توان پایداری مخلوط‌ها و عدم وقوع پدیده‌ی جداشدگی که موجب تجمع سبکدانه‌ها در قطعات بالایی و ملات در پایین ستون‌ها می‌شود را دریافت. روند مشابهی در نتایج جذب آب، سرعت عبور امواج التراسونیک و چگالی قطعات نیز مشاهده شد.

کلمات کلیدی: بتن خودتراکم، لیکا، پلی‌استایرن منبسط شده، الیاف فولادی، ستون

۱- مقدمه:

استفاده از بتن سبکدانه ی سازه ای مزایای مختلفی را در مقایسه با بتن معمولی در طراحی و اجرای ساختمان ها به همراه دارد که کاهش ابعاد مقاطع، افزایش طول دهانه ها، ایزولاسیون حرارتی بهتر و کاهش بارهای مرده از این قبیل اند. استفاده از بتن سبکدانه ی سازه ای از سال ۱۹۵۰ در ساختمان های بلند مرتبه، اعضای پیش ساخته و پیش تنیده و سازه های پوسته ای گسترش یافت.

یکی از نگرانی های عمده در اجرای بتن های سبکدانه خطر روزدگی و شناوری سبکدانه ها در پروسه ی حمل، جابجایی و تراکم این بتن هاست که همواره بکارگیری تیم اجرایی با تجربه را ضروری میکند.

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 لرزانندن 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 گرانیروی مخلوط وابسته است [1,2].

ساخت بتن خودتراکم سبک امکان استفاده ی همزمان از مزایای بتن های سبکدانه و خصوصیات خمیری بتن خودتراکم را امکان پذیر میکند. با ارائه ی طرح اختلاط مناسب بتن خودتراکم و حذف مرحله ی تراکم و آسانی انتقال، نیاز به نیروی کار ماهر از بین رفته و گامی در سهولت اجرای بتن های سبک در پروژه ها برداشته خواهد شد.

علی رغم مزایای بیشمار استفاده از بتن سبک، ضعف و شکنندگی سنگدانه های سبک نقایصی را در خواص مکانیکی بتن سبکدانه ی سخت شده همچون کاهش در مقاومت خمشی و کششی به وجود می آورد [3] بنابراین بهبود در این شاخص نکته ای کلیدی در گسترش کاربردهای بتن سبک است [4]. استفاده از الیاف در بتن می تواند راه حل مناسبی جهت بهبود شکل پذیری باشد [5].

در بتن های الیافی، هزاران الیاف کوتاه بطور تصادفی در بتن در طول اختلاط پراکنده و توزیع میشوند و خواص بتن را در همه ی راستاها بهبود می بخشد [6]. 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، مود شکست بتن و عمر مفید ساختمان را بهبود می بخشد [7,8] ACI 544.4R-88. خواص مکانیکی بتن های حاوی الیاف فولادی را متاثر از نوع الیاف، نسبت طول به قطر الیاف، مقدار الیاف، مقاومت ماتریس، اندازه، شکل و روش آماده سازی نمونه ها و اندازه ی سنگدانه ها می داند [9].

مطالعات پیرامون استفاده از الیاف پلی پروپیلن در بتن سبکدانه ی 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 [7] همچنین کاهش شدید در کارایی بتن تازه ی خودتراکم در اثر افزودن این الیاف در بتن ساخته شده با سنگدانه های طبیعی و سبک گزارش شده است [7,10].

Reda Taha و El-Dieb در بررسی اثر الیاف فولادی بر خواص بتن تازه ی خودتراکم. با افزایش در ضریب الیاف، که از حاصل ضرب درصد حجمی در نسبت طول به قطر الیاف به دست می آید، افزایش در زمان تخلیه ی قیف V و کاهش در جریان اسلامپ و درصد پرنندگی جعبه را گزارش کردند [10] این محققین در مطالعه ی دیگری افزایش مقاومت فشاری و کششی بتن های پرمقاومت حاوی الیاف فولادی را گزارش کردند [11].

اثر مقادیر متفاوت الیاف فولادی بر خواص تازه و سخت شده ی بتن خودتراکم حاوی سبکدانه های رس منبسط شده و EPS توسط نویسندگان این مقاله مورد مطالعه قرار گرفته است. مشابه با نتایج دیگر محققین، افزودن الیاف فولادی سبب افت عملکرد بتن در آزمون های جبران پذیری شده اما درعین حال محدوده های مورد نظر EFNARC تامین گردید. حضور الیاف باعث افزایش زمان خروج بتن از قیف گردید

به طوری که با افزایش الیاف از ۰ به ۲۰ و ۴۰ کیلوگرم، افزایش زمان خروج بتن در حدود ۶۰٪ و ۱۲۶٪ برای بتن حاوی لیکا و در حدود ۱۰۵٪ و ۱۷۴٪ برای بتن حاوی EPS افزایش یافت. به صورت مشابه افزودن الیاف به میزان ۲۰ و ۴۰ کیلوگرم، کاهش در میزان H_2/H_1 در آزمایش L-box در حدود ۸٪ و ۱۴٪ را در طرح های حاوی لیکا و در حدود ۱۴٪ و ۲۱٪ در طرح های حاوی EPS نسبت به طرح شاهد سبب شد. همچنین در فاز سخت شده، با افزایش الیاف از ۰ به ۲۰ و ۴۰ کیلوگرم در متر مکعب افزایشی در حدود ۹٪ و ۲۰٪ در بتن حاوی لیکا و در حدود ۵/۹۸٪ و ۹/۸۲٪ در بتن حاوی EPS برای مقاومت فشاری، ۱۹/۴۴٪ و ۲۸٪ در بتن حاوی لیکا و در حدود ۱۶/۲٪ و ۲۴/۳٪ در بتن حاوی EPS برای مقاومت کششی و افزایش ۳۶/۵٪ و ۹۰/۳٪ در بتن حاوی لیکا و در حدود ۴۴/۷٪ و ۸۳/۳٪ در بتن حاوی EPS برای مقاومت خمشی بدست آمد. همچنین حضور الیاف باعث افزایش قابل ملاحظه سطح زیر نمودار بار - تغییر شکل (طاق خمشی) گردید [۲۱]. در مطالعه ی حاضر، امکان ساخت ستون با استفاده از بتن خودتراکم الیافی و دو نوع سبکدانه بررسی شده است.

۲- برنامه آزمایشگاهی:

در بخش آزمایشگاهی این پژوهش ابتدا به ساخت بتن خودتراکمی که محدوده های تعیین شده ی EFNARC [12] 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 ACI213R-87 [13] برای بتن سبک انتخاب گردید. وزن مخصوص اندازه گیری شده برای نمونه های ساخته شده از طرح اختلاط شاهد پس از بازکردن قالب $1700 - 1850 \text{ Kg/m}^3$ اندازه گیری شده است.

۲-۱- مصالح مورد استفاده:

سیمان مورد استفاده در این تحقیق از نوع پرتلند نوع ۲ تولید شده در کارخانه ی سیمان هگمتان بوده که دارای توده ی ویژه ی 3150 Kg/m^3 و سطح مخصوص $2900 \text{ cm}^2/\text{gr}$ می باشد. همچنین از دوده ی سیلیس تولید شده در کارخانه ی صنایع فرو آلیاژ ایران (ازنا) به عنوان مواد پوزولانی در همه ی طرح ها استفاده شد. توده ی ویژه ی دوده ی سیلیس استفاده شده ۲۱۲۰ Kg/m^3 می باشد که مشخصات شیمیایی سیمان و دوده ی سیلیس در جدول ۱ آمده است. آب مصرفی جهت ساخت بتن و همچنین عمل آوری نمونه ها، آب آشامیدنی بوده که ضوابط ASTM D 1129 را برآورده می نماید. شن با وزن مخصوص ظاهری اشباع با سطح خشک ۲/۶۵ و درصد جذب آب ۱/۵۱ درصد و حداکثر اندازه سنگدانه ۱۲ میلی متر در ساخت طرح ها استفاده شده است. همچنین ماسه ی مصرفی با قطر ذرات بین ۴/۷۵ تا ۱/۷۵ و از نوع رودخانه ای بوده که وزن مخصوص ظاهری در حالت SSD و جذب آب آن به ترتیب ۲/۶۵ و ۱/۶ درصد می باشد. الیاف فولادی مورد استفاده در این تحقیق محصول شرکت صنایع مفتولی زنجان می باشد. مشخصات الیاف فولادی در جدول ۲ آمده است. به منظور کسب روانی مطلوب جهت ساخت بتن خودتراکم از فوق روان کننده ی GLENIUM 51P استفاده شده است که مشخصات آن در جدول ۳ آمده است

جدول ۱: آنالیز شیمیایی سیمان و دوده سیلیس

	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃
سیمان	۲۱/۵۴	۶۳/۲۴	۴/۹۵	۳/۸۲	۱/۵۵	۲/۴۲
دوده ی سیلیس	۹۵/۱	۰/۴۹	۱/۳۲	۰/۸۷	۰/۹۷	۰/۱

جدول ۳: مشخصات فوق روان کننده ی مورد استفاده

نام	Glenium 51P
نوع	پلی کربوکسیلیک اتر اصلاح شده
ظاهر	مایع غلیظ قهوه ای کم رنگ
وزن مخصوص (g/cm ³)	۱/۰۶ تا ۱/۰۸ در ۲۰°C
Ph	۶/۶
یون کلر	وجود ندارد

جدول ۲: مشخصات الیاف مصرفی

نام	الیاف فولادی
طول mm	۵۰
قطر mm	۱
وزن مخصوص (g/m ³)	۷۶۱۰
مقاومت کششی (MPa)	۸۰۹
شکل ظاهری	قلابدار

لیکای مصرفی در این تحقیق در دو دانه بندی ریزدانه و درشت دانه در طرح اختلاط بتن سبک بکار گرفته شدند که دانه بندی های ریز و درشت به ترتیب در محدوده ی اسمی (۰-۳) و (۳-۱۰) قرار میگیرند و مشخصات آنها در جدول ۴ آمده است.

جدول ۴: مشخصات سبکدانه های لیکا

SSD			Oven			Leca size
توده ویژه (kg/m ³)	وزن مخصوص فضایی متراکم شده با میله (kg/m ³)	وزن مخصوص فضایی غیرمتراکم (kg/m ³)	توده ویژه (kg/m ³)	وزن مخصوص فضایی متراکم شده با میله (kg/m ³)	وزن مخصوص فضایی غیرمتراکم (kg/m ³)	
۱۷۴۰	۱۱۲۷/۱	۱۰۴۳	۱۶۱۰	۹۶۲/۸	۹۰۱/۱	۰-۳
۱۴۱۹	۹۱۱/۷	۸۶۲/۹	۱۲۶۹	۷۵۶/۹	۷۱۷	۳-۱۰

همچنین به عنوان سبک دانه دوم از EPS، تهیه شده از کارخانه تولید فوم در شهرک صنعتی رشت استفاده شده است. دانه های مورد استفاده در اندازه ۳ میلیمتر جایگزین شن و ماسه گردید.



شکل ۱: سبکدانه ی لیکا، EPS و الیاف مصرفی

۲-۱-۲- طرح های اختلاط و آماده سازی نمونه ها:

در این پروژه نسبت آب به مواد سیمانی در همه ی طرح ها ثابت و برابر ۰/۳۳ در نظر گرفته شده و به میزان ۱۰ درصد از مواد سیمانی با دوده ی سیلیس جایگزین شده است. پس از دستیابی به بتن خودتراکم شاهد با استفاده از سبکدانه ها، الیاف فولادی با طول ۵۰ میلی متر به میزان ۲۰ و ۴۰ کیلوگرم در متر مکعب به طرح اختلاط شاهد اضافه شد.

اختلاط بتن خودتراکم الیافی معمولا به دو گونه ی متفاوت توسط محققین انجام می گیرد. بعضی ابتدا به اختلاط خشک الیاف با مصالح سنگی و سپس افزودن مواد سیمانی و آب پرداخته اند [15,14]. اما بعضی دیگر ابتدا به ساخت بتن خودتراکم بدون الیاف پرداخته و در پایان، الیاف را به مخلوط اضافه می کنند [17,16].

در این پژوهش ترتیب اختلاط مصالح برای ساخت بتن های حاوی لیکا این گونه بود که ابتدا سبکدانه های خشک با قسمتی از آب اختلاط مخلوط شده که جهت پیش مرطوبی سبک دانه ها این مرحله تا ۱۵ دقیقه به طول انجامید. سپس مواد سیمانی که شامل سیمان و دوده ی سیلیس می باشد به مخلوط اضافه و بعد از آن مقدار دیگری از آب به همراه فوق روان کننده به مخلوط اضافه شد. در نهایت ماسه و پودر سنگ به داخل مخلوط کن ریخته شده و باقیمانده ی آب در حین اختلاط مصالح اضافه شد. همچنین در طرح های حاوی EPS ابتدا دانه های EPS به همراه پودر سنگ و ماسه در بتونیر مخلوط شدند، سپس به ترتیب سیمان، میکروسیلیس، آب و روان کننده به مخلوط اضافه شد. بعد از ساخت ملات مناسب، سنگدانه شن و در نهایت الیاف (برای طرح های حاوی الیاف) داخل بتونیر ریخته شدند. در طرح های حاوی الیاف فولادی، 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 در پایان حدود ۳۰ دقیقه از مرطوب شدن سبکدانه ها گذشته 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 در دمای 20 ± 2 °C در محیط آزمایشگاه به مدت ۲۴ ساعت نگهداری شده و بعد از گذشت این زمان و باز کردن قالب ها نمونه ها تا زمان آزمایش تحت عمل آوری مرطوب در دمای آزمایشگاه قرار گرفتند.

جدول ۵: طرح های اختلاط

کد طرح	سیمان	دوده ی سیلیس	پودر سنگ	لیکا درشتدانه	ریزدانه لیکا	ماسه	آب	روان کننده	الیاف
	(Kg/m ³)	(Kg/m ³)	(Kg/m ³)	(Kg/m ³)	(Kg/m ³)	(Kg/m ³)	(Kg/m ³)	(Kg/m ³)	(Kg/m ³)
LC0	۴۵۰	۵۰	۱۵۰	۴۰۰	۱۰۰	۵۷۵	۱۶۵	۴/۷	۰
LC20	۴۵۰	۵۰	۱۵۰	۴۰۰	۱۰۰	۵۷۵	۱۶۵	۴/۷	۲۰
LC40	۴۵۰	۵۰	۱۵۰	۴۰۰	۱۰۰	۵۷۵	۱۶۵	۴/۷	۴۰

ادامه جدول ۵: طرح های اختلاط

کد طرح	سیمان	دوده ی سیلیس	پودر سنگ	شن	EPS	ماسه	آب	روان کننده	الیاف
	(Kg/m ³)	(Kg/m ³)	(Kg/m ³)	(Kg/m ³)	(Kg/m ³)	(Kg/m ³)	(Kg/m ³)	(Kg/m ³)	(Kg/m ³)
EPS0	۴۵۰	۵۰	۲۰۰	۵۱۷	۵	۴۸۶	۱۶۵	۸/۵	۰
EPS20	۴۵۰	۵۰	۲۰۰	۵۱۷	۵	۴۸۶	۱۶۵	۹/۲	۲۰
EPS40	۴۵۰	۵۰	۲۰۰	۵۱۷	۵	۴۸۶	۱۶۵	۱۰	۴۰

۳- جزییات نمونه ها و آزمایش های انجام شده:

۳-۱- خواص بتن تازه:

آزمایش های بتن تازه ی خودتراکم شامل جریان اسلامپ، قیف V، جعبه ی $L(H_2/H_1)$ بر روی طرح های اختلاط بلافاصله پس از پایان مراحل اختلاط انجام گرفت.

۴- نتایج آزمایش ها:

۴-۱- نتایج آزمایش های بتن تازه:

در این قسمت نتایج بدست آمده در آزمایشهای بتن تازه ی ارائه شده است.

جدول ۶: نتایج آزمایشهای بتن تازه ی خودتراکم

Mix code	Slump flow	L-box	V-funnel
LC0	۶۵	۱	۵/۰۴
LC20	۶۵/۵	۰/۹۲	۸/۳
LC40	۶۴/۵	۰/۸۶	۱۱/۴
EPS0	۶۴	۰/۹۸	۵/۰۶
EPS 20	۶۵	۰/۸۴	۱۱/۵
EPS 40	۶۴/۵	۰/۷۷	۱۵/۷

۵- بررسی پراکندگی خواص در ارتفاع ستونهای ساخته شده از بتن سبک خودتراکم:

تفاوت قابل توجه چگالی سبکدانه ها و ملات در بتن های سبکدانه خطر جداشدگی و روزدگی سبکدانه ها و در نتیجه ایجاد یک لایه ی ضعیف در سطح بتن را افزایش می دهد. همچنین حضور الیاف نیز از کارایی بتن کاسته و می تواند از تراکم مناسب بتن تحت اثر وزن خودش جلوگیری نماید. تا کنون روش های متفاوتی جهت اندازه گیری مقاومت بتن های خودتراکم در برابر جداشدگی در آزمایشگاه و کارگاه های عمرانی ارائه شده است.

در این بخش به بررسی اثر پراکندگی خواص سخت شده ی بتن خودتراکم سبک در ارتفاع ستون پرداخته می شود. بدین منظور ستون های نازک با مقطع دایره ای و با قطر و ارتفاع ۱۰ و ۲۰۰ سانتی متر از بتن های خودتراکم الیافی و شاهد حاوی سبکدانه ی لیکا و EPS ساخته شدند. شکل ۲ قالب بندی ستونها را نشان می دهد.

ستون ها بعد از ۹۰ روز عمل آوری در فضای آزاد به ۹ استوانه ی با ارتفاع ۲۰ سانتی متری بریده شدند و هر قطعه مورد آزمایش قرار گرفت. از دو انتهای فوقانی و تحتانی ستون، قطعه ای به ارتفاع ۱۰ سانتیمتر جدا شده و مورد آزمایش قرار نگرفت.

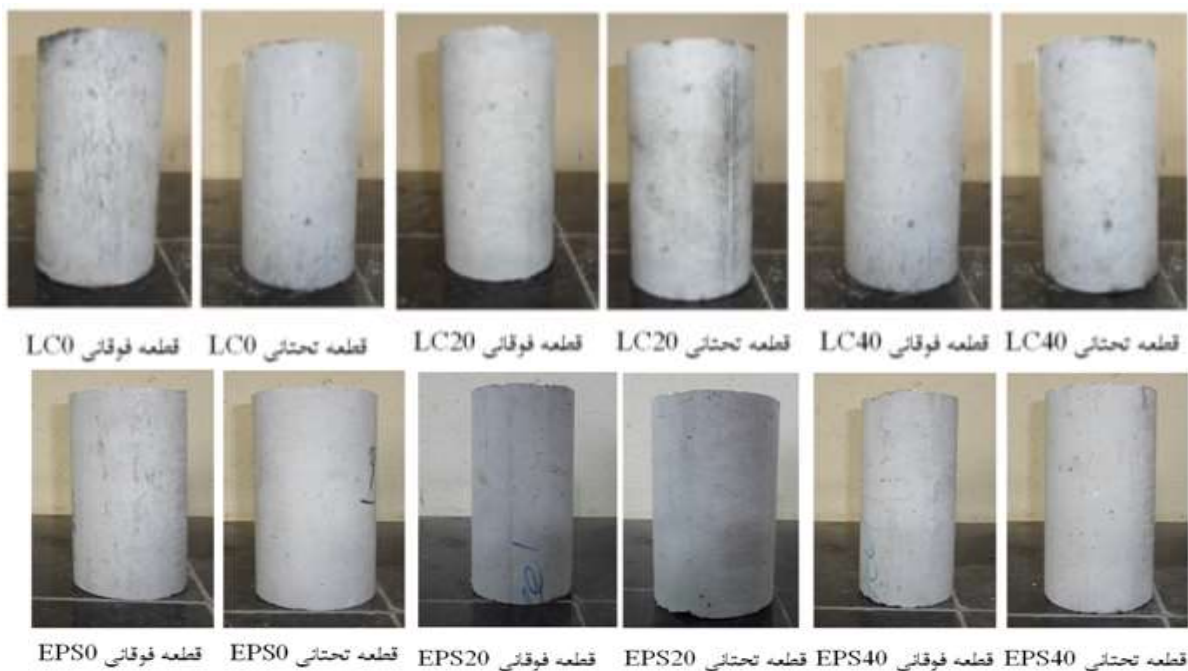


شکل ۲: قالب بندی، قرارگیری ستونها و نمونه ها در هوای آزاد، برش ستونها به نمونه های استوانه ای استاندارد، نحوه نامگذاری نمونه ها در ارتفاع ستون

جهت مطالعه ی نحوه ی پراکندگی سبکدانه ها در ارتفاع ستون ها، آزمایش های مقاومت فشاری، اندازه گیری سرعت عبور امواج التراسونیک، جذب آب و چگالی بر روی هر قطعه بطور جداگانه انجام گرفت. همچنین بازرسی چشمی نیز از سطح خارجی ستونها صورت گرفت تا ظاهر بتن ها از نظر تخلخل و هرگونه نقص در پر شدن قالب بررسی گردد. در شکل ۲ به صورت شماتیک نحوه قرارگیری نمونه ها در ارتفاع ستون را نشان داده شده است. در کنار هر یک از طرح ها، ۴ نمونه ی مکعبی $10 \times 10 \times 10$ سانتی متر نیز جهت مقایسه با نمونه های استوانه ای، ساخته شد.

۱-۵- بررسی ظاهری سطح بتن ها

با توجه به عدم استفاده از لرزاننده در SCC، عمل تراکم تحت اثر وزن بتن صورت می پذیرد. ظاهر سطح تمام شده می تواند بیانگر کیفیت تراکم بتن باشد. سطحی صاف و عاری از تخلخل، نشان می دهد که تمامی قسمت های ستون به خوبی متراکم شده اند. شکل ۳ سطح تمام شده قطعات فوقانی و تحتانی (شماره های ۱ و ۹) از هریک از ستونهای ساخته شده را نشان می دهد.



شکل ۳: سطح ظاهری نمونه ها در قطعه ی ۱ و ۹ ستونها

در تصاویر سطح خارجی ستونهای ساخته شده، سطحی بسیار صاف و صیقلی با تخلخل ناچیز مشاهده می شود که تقریباً عاری از هرگونه تخلخل است. این شرایط را می توان به این دلیل دانست که با توجه به گردگوشه بودن و همچنین محدود شدن حداکثر اندازه سبکدانه ها به ۱۲/۵ میلیمتر در لیکا و ۳ میلیمتر در EPS، ملات بتن به خوبی جابه جا شده و تمام قسمت های قالب را پر کرد.

۲-۵- چگالی

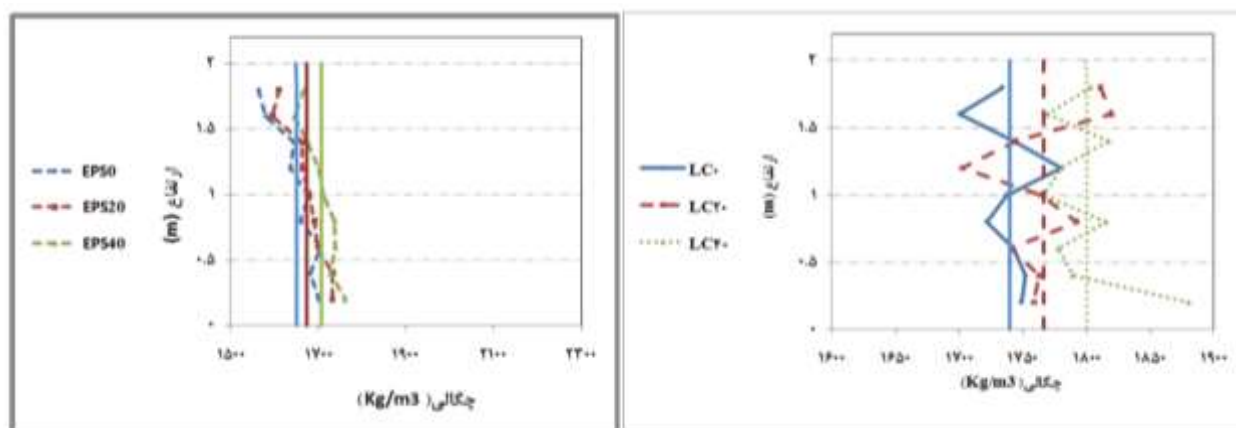
با توجه به خطر روزدگی سبکدانه ها اندازه گیری وزن مخصوص نمونه ها می تواند بیانگر نحوه ی پخش شدگی سبکدانه ها در ارتفاع باشد. جدول ۷ و شکل ۴ مقادیر و روند تغییرات وزن مخصوص بتن را در طول ستون نشان می دهد. خطوط عمودی میانگین نتایج حاصل از هر طرح می باشد.

جدول ۷: نتایج چگالی نمونه ها در طرح های مختلف

چگالی بتن در ترازهای مختلف (Kg/m ³)									طرح اختلاط
۱/۸m	۱/۶m	۱/۴m	۱/۲m	۱m	۰/۸m	۰/۶m	۰/۴m	۰/۲m	
۱۷۳۴	۱۷۰۰	۱۷۴۳	۱۷۸۰	۱۷۳۷	۱۷۲۲	۱۷۴۲	۱۷۵۲	۱۷۴۹	LC0
۱۸۱۱	۱۸۱۹	۱۷۴۴	۱۷۰۳	۱۷۶۴	۱۷۹۲	۱۷۴۰	۱۷۶۳	۱۷۵۹	LC20
۱۸۰۳	۱۷۶۹	۱۸۱۷	۱۷۸۰	۱۷۶۷	۱۸۱۵	۱۷۷۸	۱۷۸۹	۱۸۸۰	LC40
۱۵۶۳	۱۵۸۰	۱۶۴۴	۱۶۳۶	۱۶۷۸	۱۶۵۹	۱۷۰۴	۱۶۸۱	۱۷۰۱	EPS0
۱۶۱۱	۱۵۹۵	۱۶۶۴	۱۶۶۳	۱۶۷۹	۱۶۹۱	۱۶۹۹	۱۷۳۳	۱۷۳۲	EPS20
۱۶۶۸	۱۶۴۵	۱۶۷۵	۱۷۰۲	۱۷۱۱	۱۷۳۷	۱۷۳۹	۱۷۲۷	۱۷۶۰	EPS40

نتایج اندازه گیری وزن مخصوص نمونه ها نشان می دهد که عمدتاً با نزدیک شدن به قسمتهای بالایی ستونها، کمی از وزن مخصوص بتن کاسته می شود که این به دلیل تراکم کمتر در قسمتهای بالایی می باشد [18]. البته اختلاف بین چگالی ستون در ترازهای مختلف چندان قابل توجه نیست به طوری که اختلاف از میانگین برای طرح شاهد، طرح حاوی ۲۰ کیلوگرم در متر مکعب الیاف و طرح حاوی ۴۰ کیلوگرم در متر مکعب الیاف به ترتیب $\pm 0.8\%$ ، $\pm 1.5\%$ و $\pm 1.4\%$ برای بتن حاوی لیکا و $\pm 2.3\%$ ، $\pm 2.1\%$ و $\pm 1.8\%$ برای بتن حاوی EPS بدست آمد. این نتیجه می تواند بیانگر این باشد که سبکدانه ها و الیاف به طور یکنواخت در ارتفاع ستون توزیع شده اند.

چگالی تمامی طرح های بتن سبک در محدوده مجاز وزنی (زیر ۲۰۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب) قرار میگیرد. نتایج نشان می دهد که حضور الیاف باعث افزایش چگالی بتن گردید.



شکل ۴: نمودار تغییرات چگالی در ارتفاع ستونهای ساخته شده

جدول ۸ نیز میانگین نتایج نمونه های استوانه ای را در کنار میانگین نتایج نمونه های مکعبی استاندارد، که در شرایط یکسان نگهداری شده اند را نشان می دهد.

جدول ۸: مقادیر میانگین نتایج نمونه های استوانه ای و مکعبی

میانگین نتایج نمونه های مکعبی استاندارد (Kg/m^3)	میانگین نتایج نمونه های استوانه ای (Kg/m^3)	طرح اختلاط
۱۷۲۵	۱۷۴۰	LC0
۱۷۵۰	۱۷۶۶	LC20
۱۷۸۱	۱۸۰۰	LC40
۱۶۴۹	۱۶۵۰	EPS0
۱۶۶۸	۱۶۷۴	EPS20
۱۷۰۰	۱۷۰۷	EPS40

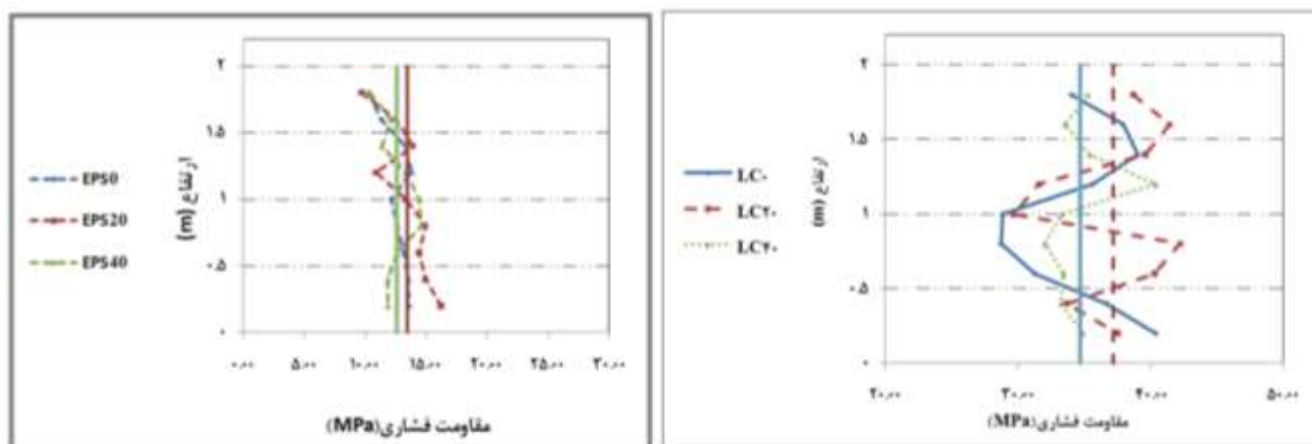
۳-۵- مقاومت فشاری

با توجه به انجام آزمایش مقاومت فشاری روی نمونه های استوانه ای، ابتدا نمونه کلاهدک گذاری و سپس مورد آزمایش قرار گرفتند. نتیجه آزمایش مقاومت فشاری در جدول ۹ آمده است.

جدول ۹: نتایج مقاومت فشاری نمونه ها در طرح های مختلف

مقاومت بتن در ترازهای مختلف (MPa)									طرح اختلاط
۱/۸m	۱/۶m	۱/۴m	۱/۲m	۱m	۰/۸m	۰/۶m	۰/۴m	۰/۲m	
۳۴/۰۴	۳۷/۹۳	۳۹/۰۴	۳۵/۶۵	۲۸/۸۷	۲۸/۷۲	۳۱/۳	۳۶/۷۱	۴۰/۳۹	LC0
۳۸/۷۱	۴۱/۴۲	۳۹/۶	۳۱/۵۹	۲۹/۶۷	۴۲/۲۳	۴۰/۳	۳۳/۶۹	۳۷/۵	LC20
۳۵/۲۷	۳۳/۵۴	۳۵/۴۱	۴۰/۳۶	۳۳/۳۲	۳۲/۰۲	۳۳/۴۴	۳۳/۲۵	۳۴/۸۷	LC40
۱۰/۳۳	۱۱/۳۴	۱۳/۳۴	۱۳/۸	۱۲/۱۳	۱۲/۵۹	۱۳/۲	۱۳/۵۴	۱۳/۶۱	EPS0
۹/۷۳	۱۲/۵۳	۱۳/۹۱	۱۰/۸۸	۱۳/۲۹	۱۴/۹۵	۱۴/۴۲	۱۴/۹۵	۱۶/۲۱	EPS20
۱۰/۴۲	۱۲/۰۹	۱۱/۳۹	۱۳/۳۴	۱۴/۴۳	۱۴/۶۲	۱۲/۶۴	۱۱/۸۸	۱۱/۸۷	EPS40

شکل ۵ تغییرات مقاومت فشاری بتن در ارتفاع را نشان می دهد. البته اختلاف بین مقاومت فشاری در ترازهای مختلف زیر ۱۰٪ بدست آمد و میتوان تقریباً بتن را از این نظر همگن دانست. اختلاف از میانگین برای طرح شاهد، طرح حاوی ۲۰ کیلوگرم در متر مکعب الیاف و طرح حاوی ۴۰ کیلوگرم در متر مکعب الیاف به ترتیب مقدار ۱۰٪، ۱۰٪، ۱۰٪ و ۴/۷٪، ۱۰٪ و ۸/۷٪ برای بتن حاوی EPS بدست آمد.



شکل ۵: نمودار تغییرات مقاومت فشاری در ارتفاع ستون ساخته شده

جدول ۱۰ نیز میانگین نتایج مقاومت فشاری نمونه های استوانه ای را در کنار میانگین نتایج نمونه های مکعبی که در شرایط یکسان نگهداری شدند، را نشان می دهد.

جدول ۱۰: مقادیر میانگین نتایج مقاومت فشاری نمونه های استوانه ای و مکعبی

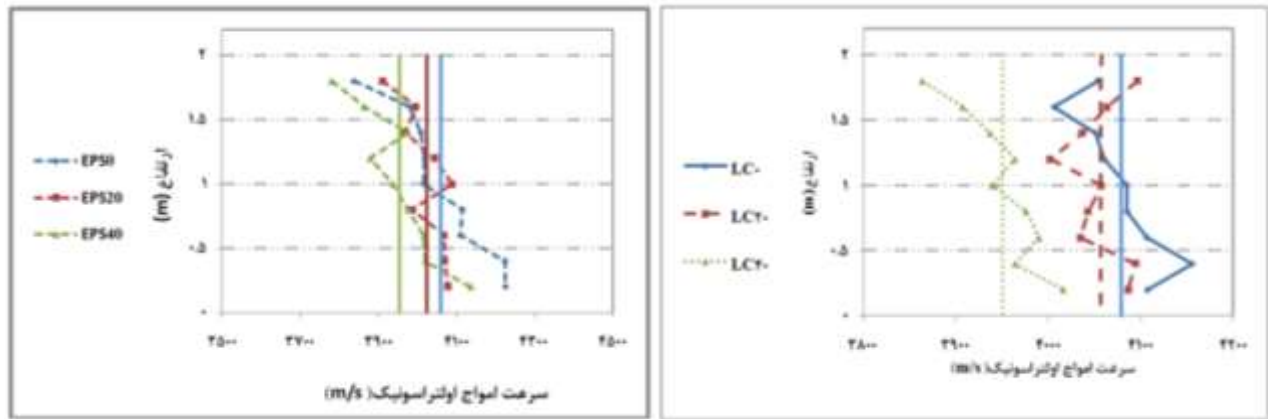
میانگین نتایج نمونه های مکعبی استاندارد (MPa)	میانگین نتایج نمونه های استوانه ای (MPa)	طرح اختلاط
۳۱	۳۴/۷۴	LC0
۳۲,۱	۳۷/۱۹	LC20
۳۵	۳۴/۶۱	LC40
۱۳	۱۲/۶۵	EPS0
۱۳/۷	۱۳/۴۳	EPS20
۱۴	۱۲/۵۲	EPS40

۵-۴- سرعت امواج اولتراسونیک

نتایج اندازه گیری سرعت عبور امواج اولتراسونیک در جدول ۱۱ نشان داده شده است. بر اساس پیشنهاد Whitehurst بتن به ۵ دسته عالی، خوب، مشکوک، ضعیف و خیلی ضعیف بر مبنای میزان سرعت امواج اولتراسونیک به ترتیب ۴۵۰۰ متر بر ثانیه و بالاتر، ۳۵۰۰-۴۵۰۰ متر بر ثانیه، ۳۰۰۰-۳۵۰۰ متر بر ثانیه، ۲۰۰۰-۳۰۰۰ متر بر ثانیه و ۲۰۰۰ متر بر ثانیه و پایینتر، تقسیم بندی می شود [19]. با توجه به طبقه بندی پیشنهادی، تمامی طرح ها در محدوده خوب قرار می گیرند.

جدول ۱۱: نتایج سرعت امواج اولتراسونیک نمونه ها در طرح های مختلف

سرعت امواج اولتراسونیک در ترازهای مختلف (m/s)									طرح اختلاط
۱/۸m	۱/۶m	۱/۴m	۱/۲m	۱m	۰/۸m	۰/۶m	۰/۴m	۰/۲m	
۴۰۵۳	۴۰۰۶	۴۰۵۱	۴۰۶۰	۴۰۸۵	۴۰۸۵	۴۱۰۷	۴۱۵۶	۴۱۰۷	LC0
۴۰۹۶	۴۰۶۴	۴۰۳۷	۴۰۰۲	۴۰۵۷	۴۰۴۳	۴۰۳۵	۴۰۹۴	۴۰۸۶	LC20
۳۸۶۴	۳۹۰۷	۳۹۳۷	۳۹۶۴	۳۹۴۰	۳۹۷۶	۳۹۹۰	۳۹۶۴	۴۰۱۶	LC40
۳۸۳۷	۳۹۸۰	۴۰۰۸	۴۰۱۸	۴۰۱۶	۴۱۱۵	۴۱۰۹	۴۲۲۴	۴۲۲۵	EPS0
۳۹۱۱	۳۹۹۶	۳۹۶۸	۴۰۴۳	۴۰۸۹	۳۹۸۶	۴۰۶۸	۴۰۷۰	۴۰۷۸	EPS20
۳۷۸۰	۳۸۶۳	۳۹۷۶	۳۸۷۹	۳۹۳۷	۳۹۷۶	۴۰۱۶	۴۰۲۰	۴۱۳۶	EPS40



شکل ۶: نمودار تغییرات سرعت امواج اولتراسونیک در ارتفاع ستونهای ساخته شده

اختلاف بین سرعت امواج اولتراسونیک در ترازهای مختلف چندان قابل توجه نیست و میتوان تقریباً بتن را از این نظر همگن دانست. به طوری که اختلاف از میانگین برای طرح شاهد، طرح حاوی ۲۰ کیلوگرم در متر مکعب الیاف و طرح حاوی ۴۰ کیلوگرم در متر مکعب الیاف به ترتیب ± 0.07 ، ± 0.06 و ± 0.09 برای بتن حاوی لیکا و $\pm 0.2/3$ ، $\pm 0.1/3$ و ± 0.2 برای بتن حاوی EPS بدست آمد. Torrijos در تحقیقی مشابه میزان پراکندگی سرعت امواج اولتراسونیک در ارتفاع ستونهای ساخته شده از بتن خودتراکم شاهد، خودتراکم حاوی ۲۵ کیلوگرم و ۵۰ کیلوگرم الیاف فولادی را به ترتیب ۱٪، ۳٪ و ۲٪ گزارش کرد و اختلاف میزان سرعت در ترازهای مختلف را به تغییرات در میزان تراکم نسبت داد [18]. حضور الیاف نیز تأثیر منظمی روی سرعت امواج ندارد. طرح های حاوی ۲۰ کیلوگرم الیاف میزان سرعت امواج را تا حدودی افزایش می دهد ولی طرح های حاوی ۴۰ کیلوگرم الیاف بر خلاف انتظار افزایش محسوسی را در میزان سرعت امواج نمی دهد که این می تواند به دلیل عدم تراکم مناسب تحت حضور الیاف با حجم بالا باشد.

۵-۵- جذب آب

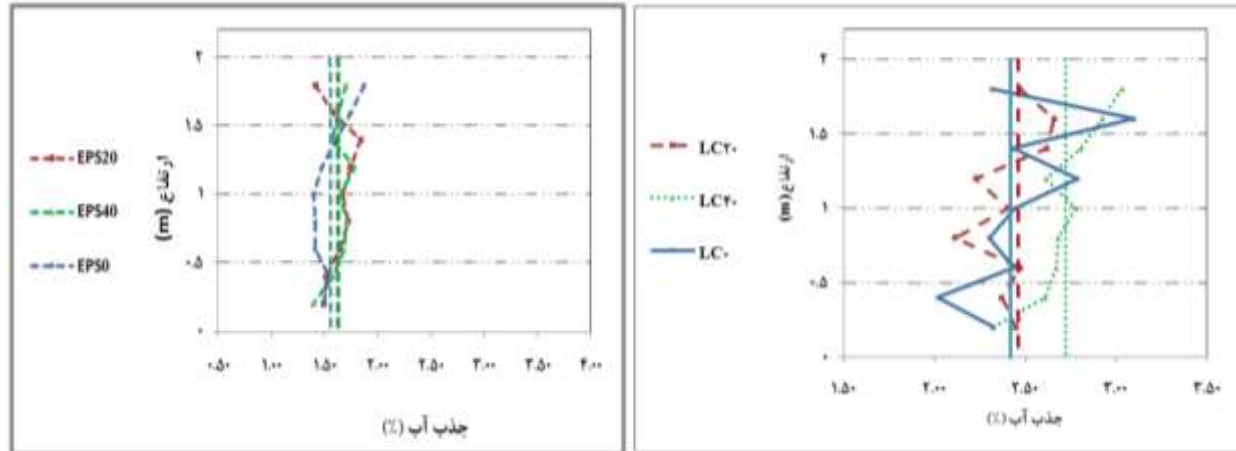
اندازه گیری جذب آب در بتن های سبک از اهمیت ویژه ای برخوردار است. نمونه های استوانه ای پس از قرارگیری در هوای آزاد تا سن مشخص، در دمای ۱۱۰ درجه سانتیگراد تا رسیدن به وزنی ثابت نگهداری شدند. سپس نمونه ها تا زمان جذب نهایی در آب قرار گرفته و میزان آبی که جذب کردند اندازه گیری شد.

جدول ۱۳ مقادیر جذب آب نهایی ستونها را در ترازهای مختلف در سن ۹۰ روزگی نشان می دهد.

جدول ۱۳: نتایج جذب آب نمونه ها در طرح های مختلف

جذب آب بتن در ترازهای مختلف (%)									طرح اختلاط
۲/۳۲	۳/۱	۲/۴۳	۲/۷۹	۲/۴۴	۲/۳	۲/۴۴	۲/۰۲	۲/۳۲	LC0
۲/۴۷	۲/۶۶	۲/۶۲	۲/۲۳	۲/۴	۲/۱۱	۲/۴۷	۲/۳۷	۲/۴۵	LC20
۳/۰۳	۲/۹۲	۲/۸۱	۲/۶۲	۲/۷۸	۲/۶۸	۲/۶۷	۲/۶۱	۲/۳۲	LC40
۱/۸۷	۱/۷۴	۱/۶۱	۱/۴۷	۱/۳۹	۱/۴۱	۱/۴۱	۱/۵۴	۱/۴۹	EPS0
۱/۴۱	۱/۵۸	۱/۸۴	۱/۷۴	۱/۶۶	۱/۷۲	۱/۶۴	۱/۵۲	۱/۴۹	EPS20
۱/۷	۱/۶۳	۱/۵۷	۱/۷۸	۱/۶۵	۱/۷	۱/۶۸	۱/۵۷	۱/۳۹	EPS40

نمودار شکل ۷ تغییرات جذب آب در ارتفاع را نشان می دهد.



شکل ۷: نمودار تغییرات جذب آب در ارتفاع ستونهای ساخته شده

جدول ۱۴ میانگین نتایج جذب آب نمونه های استوانه ای را در کنار میانگین نتایج نمونه های مکعبی را نشان می دهد.

جدول ۱۴: مقادیر میانگین جذب آب نمونه های استوانه ای و مکعبی

طرح اختلاط	میانگین نتایج نمونه های استوانه ای (%)	میانگین نتایج نمونه های مکعبی استاندارد (%)
LC0	۲/۴۶	۱/۷۳
LC20	۲/۴۲	۱/۷۸
LC40	۲/۷۲	۲/۳۱
EPS0	۱/۴۹	۱/۵۴
EPS20	۱/۴۹	۱/۵۲
EPS40	۱/۳۹	۱/۵۷

نتایج جذب آب در ارتفاع ستونها تغییرات قابل ملاحظه ای را نشان نمی دهد. البته بطور کلی با حرکت به سمت بالای ستون، کمی بر میزان جذب آب افزوده شد که این امر ناشی از تخلخل بیشتر قسمت های بالایی می باشد که در نتیجه تراکم کمتر ایجاد شده است. نمونه ها طبق رده بندی CEB در محدوده خوب طبقه بندی می شود [20]. نتایج آزمایش جذب آب با بررسی های صورت گرفته از سطح ظاهری بتن مطابقت دارد. حضور الیاف نیز تا حدودی میزان جذب آب را افزایش می دهد.

۶- نتیجه گیری:

- ۱- عمدتاً با نزدیک شدن به قسمت های بالایی ستونها، از میزان چگالی بتن کاسته شده ولی در مجموع اختلاف چندانی بین چگالی در ترازهای مختلف دیده نشد به طوری که اختلاف از میانگین برای طرح شاهد، طرح حاوی ۲۰ کیلوگرم در متر مکعب الیاف و طرح حاوی ۴۰ کیلوگرم در متر مکعب الیاف به ترتیب مقدار ± 0.08 ، ± 0.15 و ± 0.14 برای طرح لیکا و ± 0.23 ، ± 0.21 و ± 0.18 برای طرح EPS به دست آمد.
- ۲- تمامی ستونها را می توان از نظر تغییرات مقاومت فشاری در ترازهای مختلف برای سبکدانه ها، همگن فرض کرد به طوری که اختلاف از میانگین برای طرح شاهد، طرح حاوی ۲۰ کیلوگرم در متر مکعب الیاف و طرح حاوی ۴۰ کیلوگرم در متر مکعب الیاف به ترتیب مقدار ± 0.10 ، ± 0.07 و ± 0.07 برای بتن حاوی لیکا و مقدار ± 0.07 ، ± 0.10 و ± 0.07 برای بتن حاوی EPS بدست آمد.
- ۳- تمامی نمونه ها در ترازهای مختلف از نظر میزان سرعت عبوری امواج اولتراسونیک در محدوده خوب قرار گرفتند. اختلاف بین سرعت امواج اولتراسونیک در ترازهای مختلف چندان قابل توجه نیست و میتوان تقریباً بتن را از این نظر همگن دانست. به طوری که اختلاف از میانگین برای طرح شاهد، طرح حاوی ۲۰ کیلوگرم در متر مکعب الیاف و طرح حاوی ۴۰ کیلوگرم در متر مکعب الیاف به ترتیب ± 0.09 ، ± 0.06 و ± 0.07 برای بتن حاوی لیکا و ± 0.13 ، ± 0.23 و ± 0.2 برای بتن حاوی EPS محاسبه شد.
- ۴- با حرکت به سمت قسمت های بالایی ستون، بر میزان جذب آب افزوده می شود. که این موضوع با توجه به تراکم کمتر قسمتهای بالایی اتفاق می افتد.
- ۵- نتایج نشان می دهد که ساخت بتن سبک خودتراکم الیافی در مقاطع نازک با حفظ محدوده های جریان پذیری و همچنین تأمین خواص فیزیکی مناسب امکان پذیر است.

مراجع:

- [1]. K.H.Khayat, c.Hu and H.Monty, "Stability of self-consolidating concrete, advantages, and potential applications" 1st International RILEM Symposium on self-Compacting concrete, 13-14 september, stockholm, Sweden.
- [2]. K.H.Khayat, A. Ghezal and M.S. Hadriche, "Utility of statistical models in proportioning self-consolidating concrete" 1st International RILEM Symposium on self-Compacting concrete, 13-14 september, stockholm, Sweden.
- [3]. Bing Chena, Juanyu Liu, "Contribution of hybrid fibers on the properties of the high-strength lightweight concrete having good workability", Cement and Concrete Research 35 (2005) 913-917.
- [4]. Milad .Ahmadyar, "Ductility in Lightweight Concrete with Fiber", Master Thesis Spring 2011, Universitetet I Stavanger
- [5]. Piti Sukontasukkul, "Toughness Evaluation of Steel and Polypropylene Fibre Reinforced Concrete Beams under Bending", Thammasat Int. J. Sc. Tech., V ol. 9, No. 3, July-September 2004
- [6]. G.L.vondran, M.nagabhushanam, V.Ramakrishnan, "Fatigue Strength of Polypropylene Fiber Reinforced Concretes," pp 533-543 in Fiber Reinforced Cements and Concretes, Recent Developments., Edited by Swamy, R.N., Barr, B., September 1989.
- [7]. 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 25 (2011) 351-358.
- [8]. ACI 544.1R-96, "State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete", 2002.
- [9]. ACI 544.4R-88, "Design Considerations for Steel Fiber Reinforced Concrete", 1999.
- [10]. 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 27 (2012) 585-596.
- [11]. A.S. El-Dieb, "Mechanical, durability and microstructural characteristics of ultra-high-strength self-compacting concrete incorporating Steel fiber", Materials and Design 30 (2009) PP 4286-4292.
- [12]. The European guidelines for self-compacting concrete; specification production and use. EFNARC, May 2005.
- [13]. ACI 213R-87, "Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete", 1999.
- [14]. Mustafa Sahmaran, Alperen Yurtseven, Ozgur Yaman, "Workability of hybrid fiber reinforced self-compacting concrete", Building and Environment 40 (2005) PP 1672-1677.
- [15]. Abdulkadir Cu'neyt Aydin, "Self compactability of high volume hybrid fiber reinforced concrete", Construction and Building Materials 21 (2007) PP 1149-1154.
- [16]. Steffen Gru'newald, Joost C. Walraven, "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 (2001) PP 1793-1798.

- [17]. Oguz AkNn Duzgun, Rustem Gul, Abdulkadir Cuneyt Aydin, " Effect of steel fibers on the mechanical properties of natural lightweight aggregate concrete ", *Materials Letters* 59, pp. 3357 – 3363, 2005.
- [18]. M.C. Torrijos, B.E. Barragan, R.L. Zerbino, " Physical–mechanical properties, and mesostructure of plain and fibre reinforced self-compacting concrete ", *Construction and Building Materials* 22, pp.1780–1788, 2008.
- [19]. Whitehurst EA., " Soniscope tests concrete structures ", *J Am Concr Inst*;47:443–4, 1951.
- [20]. CEB-FIP, " Diagnosis and assessment of concrete structures – state of the art report ", *CEB Bull* 192; 1989: 83–5.
- [۲۱]. محمد آرایشگر، " بررسی خواص مهندسی بتن خودتراکم حاوی انواع سبکدانه و الیاف فولادی "، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه گیلان، دانشکده فنی، دی ماه