



دانشگاه تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۰  
نالز شهید چمران - انستیتو مصالح ساختمانی  
پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران



# اولین کنفرانس ملی بتن سبک

## تأثیر الیاف فولادی بازیافتی بر خواص مکانیکی بتن نیمه سبک حاوی رس منبسط شده (لیکا)

رضاعبداله زاده<sup>۱\*</sup>، ملک محمد رنجبر<sup>۲</sup>، رحمت مدندوست<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد مهندسی عمران، گرایش سازه، دانشگاه گیلان

<sup>۲</sup> استادیار گروه مهندسی عمران، عضو هیأت علمی دانشگاه گیلان، دانشکده فنی دانشگاه گیلان

### چکیده

در سازه های بتنی، وزن قسمت عمده ای از کل بار وارده بر سازه را تشکیل می دهد لذا چنانچه بتوان وزن بتن را کاهش داد امتیازات قابل توجهی از جمله سبکی و مقاومت در برابر زلزله کسب خواهد شد. الیاف از جمله مصالحی هستند که با توجه به وزن کم و مقاومت خوب به عنوان ماده تقویت کننده به بتن اضافه می شوند تا در بتن سبکدانه به مقاومت بیشتر دست یافت. در این تحقیق خواص مکانیکی بتن های نیمه سبک و سبک ساخته شده با جایگزینی حجمی ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد سبکدانه لیکا با شن که با الیاف فولادی بازیافتی با درصد های ۰/۵، ۱ و ۱/۵ و در دو نسبت طول به قطر (L/d) ۵۰ و ۳۷/۵ مسلح شده اند مورد مطالعه قرار می گیرد. همچنین از مواد افزودنی نظیر فوق روان کننده برای کاهش آب مصرفی و پوزولان های ریز ساختار مانند میکروسیلیس برای پر کردن خلل و فرج های بتن به جهت ارتقاء مشخصات مکانیکی بتن سبک استفاده شده است. لازم به ذکر است که هدف استفاده از الیاف فولادی بازیافتی امکان استفاده مجدد و رفع مشکلات زیست محیطی ناشی از دفن این ضایعات می باشد. همچنین جهت تعیین مقاومت پیوستگی آرماتور به بتن، آزمایش بیرون کشیدگی انجام گرفته که نتایج آزمایشات کاهش ۹/۸٪ مقاومت پیوستگی آرماتور در بتن سبک فاقد الیاف را نسبت به بتن نرمال نشان می دهد.

**کلمات کلیدی:** بتن سبک، خواص مکانیکی، سبکدانه لیکا، الیاف فولادی بازیافتی، مقاومت پیوستگی

### ۱. مقدمه

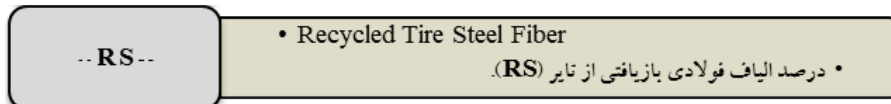
با افزایش تقاضا برای مصرف بتن، پژوهشهای زیادی بر روی این ماده انجام شده و با پیشرفت روز افزون علم، پژوهشگران و محققان سعی بر این داشته اند که بدلیل وزن مخصوص زیاد بتن این مشکل را نیز حل نمایند، در نتیجه آزمایش ها بر روی نمونه

\* کارشناس ارشد مهندسی عمران، گرایش سازه، دانشگاه گیلان

های مختلف بتن برای سبک سازی بتن آغاز شد. با اینکه بتن سبک هزینه بالایی داشت ولی با توجه به کاهش بار مرده سازه، ابعاد پی ساختمان، ابعاد ستون ها، عرض پی ها در زیر دیوار و کاهش ضخامت سقف بهینه تمام شده مقرون به صرفه می نمایاند، اما با کاهش جرم حجمی بتن، خواص مکانیکی بتن نظیر مقاومت فشاری، مقاومت کششی، مدول گسیختگی، مدول الاستیسیته و مقاومت پیوستگی آن در مقایسه با بتن معمولی کاهش می یابد. یکی از روش های غلبه بر این ضعف، مسلح نمودن بتن به الیاف مناسب می باشد [۱]. از اینرو تحقیقی توسط Şemsi Yazıcı و همکارانش [۲]، و Jianming Gao و همکارانش [۳]، در زمینه تاثیر الیاف فولادی با نسبت های طول به قطر متفاوت بر روی خواص مکانیکی بتن انجام گرفته است. Rüstem Gül و همکارانش [۴]، پژوهشی را در زمینه تاثیر الیاف فولادی بر خواص مکانیکی بتن سبک حاوی درصد های مختلف جایگزینی پومیس با سنگدانه انجام دادند. که نکته مشترک همه این مقالات تاکید بر تاثیر مثبت الیاف فولادی بر خواص مکانیکی بتن سبک می باشد. همچنین تحقیقاتی توسط Harajli و همکارانش [۵]، در زمینه تاثیر الیاف فولادی در مقاومت پیوستگی آرماتور به بتن صورت گرفته که بیان گر این مطلب می باشد که وجود الیاف فولادی سبب افزایش مقاومت پیوستگی شده است.

## ۲. برنامه آزمایشگاهی

در این تحقیق خواص مکانیکی بتن های سبک و نیمه سبک ساخته شده با سبکدانه لیکا با جایگزینی ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد حجم شن با لیکا که توسط الیاف فولادی بازیافتی به میزان ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد و با دو نسبت طول به قطر (L/d)؛ ۵۰ و ۳۷/۵ مسلح شده اند، مورد مطالعه قرار می گیرد. لازم بذکر است که در کلیه مخلوط ها نسبت آب به سیمان و اسلامپ به ترتیب برابر با ۰/۴ و ۳ ± ۰/۵ سانتی متر ثابت نگهداشته شده است و عیار مصالح سیمانی ۴۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب در نظر گرفته شده است. همچنین بدلیل استفاده از میکروسلیس، از نسل سوم فوق روان کننده برای کاهش میزان آب اختلاط و افزایش روانی که سبب افزایش خواص مقاومتی بتن و ثابت نگهداشتن اسلامپ در محدوده مورد نظری گردد استفاده شده است. لازم به توضیح می باشد اختلاط ها مطابق شکل (۱) نام گذاری شده اند، که دو رقم سمت چپ بیانگر میزان درصد استفاده از الیاف و دو رقم سمت راست نسبت طول به قطر الیاف را مشخص می نماید [۶].



شکل (۱): طبقه نام گذاری اختلاط ها

### ۲.۱. مصالح مورد استفاده

در این پژوهش برای ساخت نمونه های بتنی از سیمان پرتلند نوع ۲ استفاده شده است. توده ویژه این سیمان ۳۱۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب و سطح مخصوص به روش بلین  $m^2/gr$  ۳۳۵۴/۰ بوده است. همچنین برای ساخت نمونه های بتنی از سبکدانه لیکا (شکل ۲)، شن و ماسه به ترتیب در محدوده مجاز تعریف شده توسط استاندارد های ASTM C 33 و ASTM C 330 با مشخصاتی که در جدول (۱) آمده، استفاده شده است. بزرگترین اندازه سنگدانه های مصرفی ۱۹ mm می باشد.



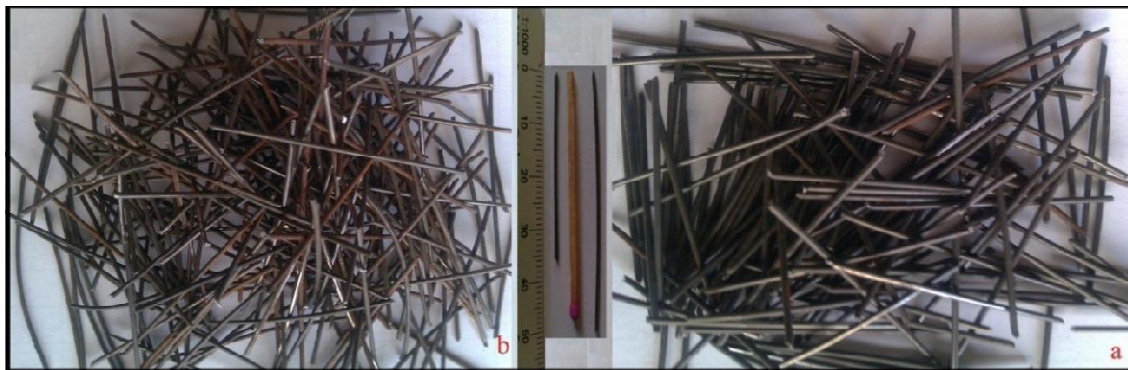
شکل (۲): سبکدانه لیکا

جدول (۱): پارامترهای مصالح کاربردی

لیکا	ماسه	شن	نوع مصالح
۱۱/۵	۳	۱/۵۱	درصد جذب آب (در ۲۴ ساعت)

توده ویژه (تن بر متر مکعب)      ۲/۶۶      ۲/۶۵      ۰/۵۴۵

الیاف فولادی بازیافتی استفاده شده در این پژوهش از بازیافت الیاف فولادی موجود در تایرهای خودرو می باشد. لازم به ذکر است که این الیاف در دو نسبت طول به قطر ۵۰ و ۳۷/۵ همانند شکل (۳) در مخلوط بتن استفاده شده اند. این الیاف به شکل مستقیم و با مقطع دایره ای و دانسیته ۶۴۰۰ کیلو گرم بر متر مکعب می باشند.



شکل (۳): الیاف بازیافتی در دو نسبت طول به قطر (a) ۳۷/۵ و (b) ۵۰

برای عمل آوری بتن و ساخت نمونه ها، از آب موجود در شبکه آبرسانی شهری استفاده شده است و میکروسیلیس بکار رفته در این تحقیق تولید کارخانه فروسیلیس ایران است که دارای وزن مخصوص ۲۲۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و بلین  $2.0/2 \text{ m}^2/\text{gr}$ ، اکسید سیلیسیم حداقل ۹۰٪ و خاصیت اسیدی خنثی می باشد. که در جدول (۲) مشخصات شیمیایی سیمان و میکروسیلیس مصرفی آورده شده است.

جدول (۲): آنالیز شیمیایی سیمان و میکروسیلیس

اکسیدهای تشکیل دهنده	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	LOI
سیمان پرتلند	۲۱/۰۰	۴/۶۰	۳/۲۰	۶۴/۵۰	۲/۰۰	۲/۹۰	۰/۸۰	۱/۰۰
میکروسیلیس	۹۱/۱۰	۱/۵۵	۲/۰۰	۲/۴۲	۰/۰۶	۰/۴۵	۰/۸۰	۱/۶۲

همچنین به منظور کاهش نسبت آب به سیمان و بالا بردن مقاومت از فوق روان کننده پلی کربکسیلات اتری و با مشخصات ارائه شده در جدول (۳) که فاقد یون کلر می باشد استفاده شده است.

جدول (۳): ویژگی فوق روان کننده

نام	ساختار	ظاهر	چگالی در ۲۰ °C	PH
GLENIUM-51P	محلول پلی کربکسیلات اتر	مایع قهوه ای رنگ	۱/۰۸ g/cm <sup>3</sup>	۷ ± ۱

## ۲.۲. طرح مخلوط بتن ها و نحوه اختلاط مصالح

نسبت های اختلاط اجزاء مطابق استاندارد ACI 211-1-91 تعیین گردیده و برای تخمین سنگدانه های سبک از روش حجم مطلق استفاده شده است [۷]. مقادیر اجزاء مخلوط های بتنی در جدول (۴) ارائه شده است. برای مخلوط کردن مصالح ابتدا سنگدانه ها را در بتونیر ریخته و سپس الیاف و بعد سیمان و میکروسیلیس و در انتها آب و فوق روان کننده به مخلوط اضافه گردیده است. لازم بذکر است که با افزایش درصد الیاف زمان اختلاط را بیشتر نموده تا الیاف کاملاً در بتن به طور یکنواخت مخلوط شوند. جهت انجام آزمایشهای مقاومت فشاری، مقاومت کششی (شکافت) و مدول گسیختگی به ترتیب از نمونه های مکعبی ۱۰\*۱۰ سانتی متر، استوانه ای ۱۵\*۳۰ سانتی متر و منشوری ۳۰\*۱۰\*۱۰ سانتی متر استفاده شده است. همچنین جهت تعیین مقاومت پیوستگی آرماتور به بتن، از قالب چوبی استفاده شده است. این قالب از یک مکعب ۱۵ سانتی متری تشکیل شده که در یک وجه آن سوراخی جهت عبور میلگرد تک و در وجه مقابل آن چهار سوراخ در چهار گوشه برای عبور میلگرد خم دار ایجاد شده است. یک صفحه فلزی با ضخامت ۱ سانتی متر تهیه شده که دارای یک میلگرد به قطر ۱۲ میلیمتر در مرکز خود است و

چهار سوراخ که منطبق بر سوراخ های موجود بر روی قالب می باشد در چهار گوشه آن ایجاد شده است (شکل ۴).



شکل (۴): قالب چوبی و صفحه اتصال

جدول (۴): مقادیر اجزاء مخلوط های بتنی ( $\text{Kg/m}^3$ )

شماره طرح	شن	ماسه	لیکا	سیمان	میکروسیلیس	فوق روان کننده (%)	آب	درصد حجمی الیاف فولادی ( $V_f$ )	(L/d)
۱	۸۵۷	۸۹۲	-	۳۷۸	۴۲	۰/۵	۱۶۸	۰	-
۲	۶۲۴	۸۹۲	۵۰/۴	۳۷۸	۴۲	۰/۴۸	۱۶۸	۰	-
۳	۶۲۴	۸۹۲	۵۰/۴	۳۷۸	۴۲	۰/۵۲	۱۶۸	۰/۵	۵۰
۴	۶۲۴	۸۹۲	۵۰/۴	۳۷۸	۴۲	۰/۵۳	۱۶۸	۱/۰	۵۰
۵	۶۲۴	۸۹۲	۵۰/۴	۳۷۸	۴۲	۰/۵۳	۱۶۸	۱/۵	۵۰
۶	۳۷۸	۸۹۲	۱۰۰/۸	۳۷۸	۴۲	۰/۵۱	۱۶۸	۰	-
۷	۳۷۸	۸۹۲	۱۰۰/۸	۳۷۸	۴۲	۰/۵۱	۱۶۸	۰/۵	۵۰
۸	۳۷۸	۸۹۲	۱۰۰/۸	۳۷۸	۴۲	۰/۵۲	۱۶۸	۱/۰	۵۰
۹	۳۷۸	۸۹۲	۱۰۰/۸	۳۷۸	۴۲	۰/۵۳	۱۶۸	۱/۵	۵۰
۱۰	۱۳۲	۲۸۹	۱۵۱/۲	۳۷۸	۴۲	۰/۵۰	۱۶۸	۰	-
۱۱	۱۳۲	۸۹۲	۱۵۱/۲	۳۷۸	۴۲	۰/۵۲	۱۶۸	۰/۵	۵۰
۱۲	۱۳۲	۸۹۲	۱۵۱/۲	۳۷۸	۴۲	۰/۵۲	۱۶۸	۱/۰	۵۰
۱۳	۱۳۲	۸۹۲	۱۵۱/۲	۳۷۸	۴۲	۰/۵۳	۱۶۸	۱/۵	۵۰
۱۴	۶۲۴	۸۹۲	۵۰/۴	۳۷۸	۴۲	۰/۵۱	۱۶۸	۰/۵	۳۷/۵
۱۵	۶۲۴	۸۹۲	۵۰/۴	۳۷۸	۴۲	۰/۵۰	۱۶۸	۱/۰	۳۷/۵
۱۶	۳۷۸	۸۹۲	۱۰۰/۸	۳۷۸	۴۲	۰/۵۱	۱۶۸	۰/۵	۳۷/۵
۱۷	۳۷۸	۸۹۲	۱۰۰/۸	۳۷۸	۴۲	۰/۵۰	۱۶۸	۱/۰	۳۷/۵

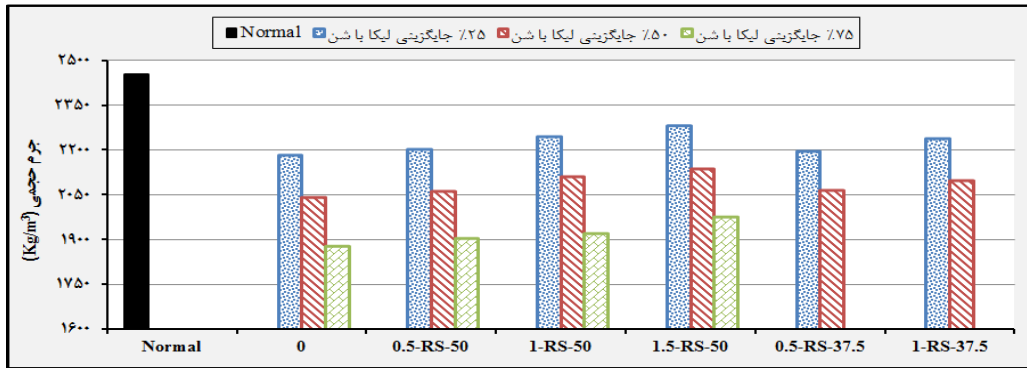
نمونه های حاضر در این تحقیق به گونه ای طراحی شده اند که با دستگاه یونیورسال معمول آزمایش کششی میلگرد، قابل آزمایش باشند. در واقع نمونه ها از یک مکعب بتنی و دو میلگرد در دو طرف مکعب تشکیل شده اند که دو میلگرد در دو فک دستگاه کشش قرار می گیرند و آزمایش انجام می گیرد. بعد از قالب گیری بر روی نمونه ها گونی خیس جهت جلوگیری از تبخیر آب موجود به مدت ۱۰ ساعت قرار داده و در محیط آزمایشگاه به مدت ۲۴ ساعت بر طبق ASTM C511 قرار گرفته و تمامی نمونه ها جهت انجام آزمایش های فوق یک روز پس از بتن ریزی و بعد از قالب برداری در آب با درجه حرارت  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  عمل آوری شده اند. ضمناً از هر مخلوط تعداد ۳ نمونه و در سنین ۷، ۱۴ و ۲۸ روز مورد آزمایش قرار گرفته و مقادیر میانگین گزارش شده اند [۸].

### ۳. بررسی نتایج آزمایش های انجام شده

#### ۳.۱. تاثیر درصدهای مختلف لیکا و الیاف فولادی بر جرم حجمی بتن

جرم حجمی یکی از مهمترین خصوصیات بتن می باشد که بر بسیاری از مشخصات فیزیکی مانند مقاومت فشاری، نفوذ پذیری، مدول الاستیسیته، هدایت حرارتی و مقاومت در برابر درجه حرارت بالا تاثیر گذار است. در بتن سبک ساخته شده با لیکا این ویژگی مستقیماً با میزان و درصد جایگزینی لیکا با مصالح سنگی قابل کنترل است. با افزایش درصد جایگزینی، جرم حجمی بتن کاهش

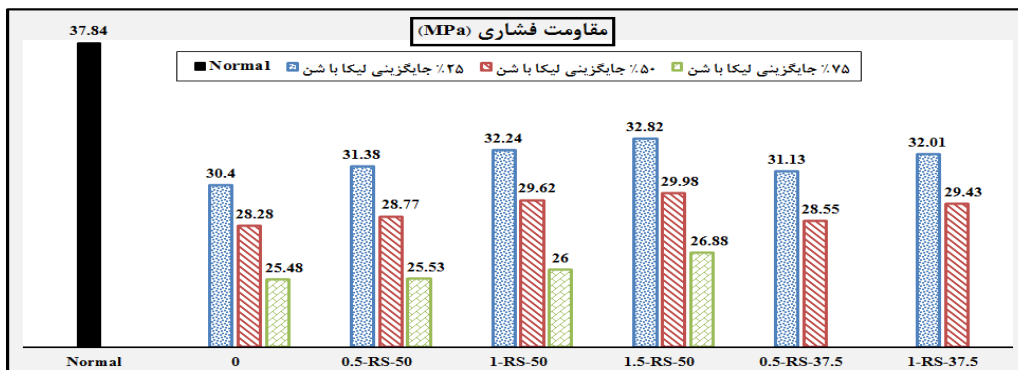
می یابد که علت آن هم وزن کمتر دانه های لیکا نسبت به سنگدانه های طبیعی می باشد. شکل (۵) تاثیر درصد های مختلف لیکا و الیاف فولادی را بر جرم حجمی بتن نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود با افزایش ۷۵٪ جایگزینی لیکا از جرم حجمی بتن حدوداً ۱۹/۵٪ نسبت به بتن نرمال کاسته شده و از طرفی با افزایش ۱/۵٪ الیاف فولادی حدوداً ۵٪ بر جرم حجمی بتن افزوده می شود. همچنین ملاحظه می گردد که نسبت طول به قطر الیاف تاثیر ناچیزی بر جرم حجمی نمونه های بتنی داشته است.



شکل (۵): تاثیر درصد های مختلف لیکا و الیاف فولادی بر جرم حجمی بتن

### ۲.۳. تاثیر درصد مختلف لیکا و الیاف فولادی بر مقاومت فشاری بتن

مقاومت فشاری به عنوان یکی از مهمترین ویژگی های بتن سخت شده برای طبقه بندی در آیین نامه های بین المللی محسوب می شود بررسی آن به خصوص در مورد بتن سبک مورد توجه می باشد. از آنجائیکه در مخلوط های این مطالعه نسبت آب به سیمان و مقدار مصالح چسباننده ثابت می باشد، لذا تاثیر این عوامل در تمام بتن ها یکسان بوده و عامل متغیر میزان جایگزینی لیکا با درشتدانه همچنین درصد های متفاوت و نسبت طول به قطر الیاف در بتن است. در شکل (۶) تغییرات مقاومت فشاری با میزان الیاف فولادی باز یافتی در درصدهای متفاوت جایگزینی لیکا را نشان می دهد.



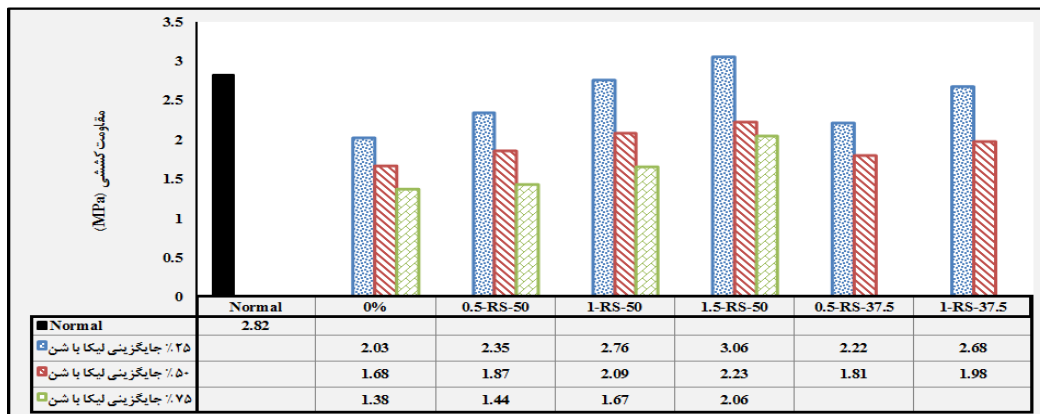
شکل (۶): تاثیر درصد های مختلف لیکا و الیاف فولادی بر مقاومت فشاری بتن

همانطور که مشاهده می شود با افزایش ۷۵٪ جایگزینی لیکا به میزان ۳۲/۶۶٪ از مقاومت فشاری بتن نسبت به بتن نرمال کاسته و این در حالی است که با افزایش ۱/۵٪ الیاف فولادی حدوداً ۵/۵٪ بر مقاومت فشاری بتن سبک افزوده می گردد. همچنین ملاحظه می شود که با افزایش نسبت طول به قطر الیاف، مقاومت فشاری تغییر قابل توجه ای نشان نمی دهد، که این میزان در حدود ۱٪ می باشد.

### ۳.۳. بررسی تغییرات مقاومت کششی (آزمایش شکافت)

در شکل (۷) تغییرات مقاومت کششی با میزان الیاف فولادی در درصدهای متفاوت جایگزینی لیکا نشان داده شده است. ملاحظه می گردد که با افزایش جایگزینی لیکا، مقاومت کششی بتن کاهش می یابد این در حالی است که افزودن الیاف فولادی سبب افزایش در میزان مقاومت کششی بتن های سبک گردیده است. مقاومت کششی بتن سبک فاقد الیاف با ۷۵٪ جایگزینی لیکا نسبت به بتن نرمال ۵۱٪ کاهش یافته که این میزان با اضافه شدن ۱/۵٪ الیاف فولادی به ۲۷٪ تنزل می یابد. در واقع استفاده از ۱/۵٪ الیاف فولادی حدوداً ۴۹/۳٪ مقاومت کششی بتن سبک را ارتقاء می بخشد. همچنین در صورت استفاده از ۱٪ الیاف فولادی

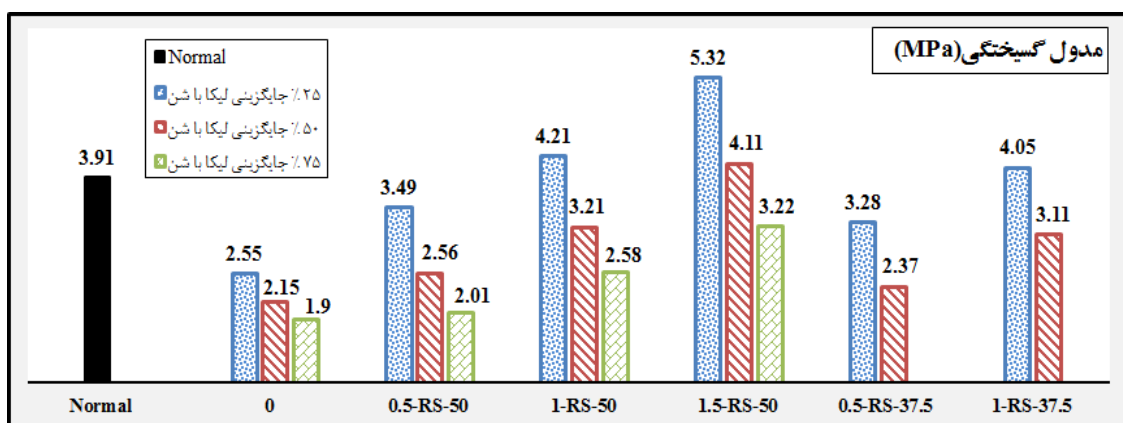
بازیافتی با نسبت های طول به قطر ۳۷/۵ و ۵۰ بترتیب، ۱۷/۸۵٪ و ۲۴/۴٪ افزایش مقاومت کششی را نسبت به بتن نیمه سبک فاقد الیاف با ۵۰٪ جایگزینی لیکا نشان می دهد.



شکل (۷): تاثیر درصد های مختلف لیکا و الیاف فولادی بر مقاومت کششی بتن

#### ۴.۳. تاثیر درصد مختلف لیکا و الیاف فولادی بر مدول گسیختگی بتن

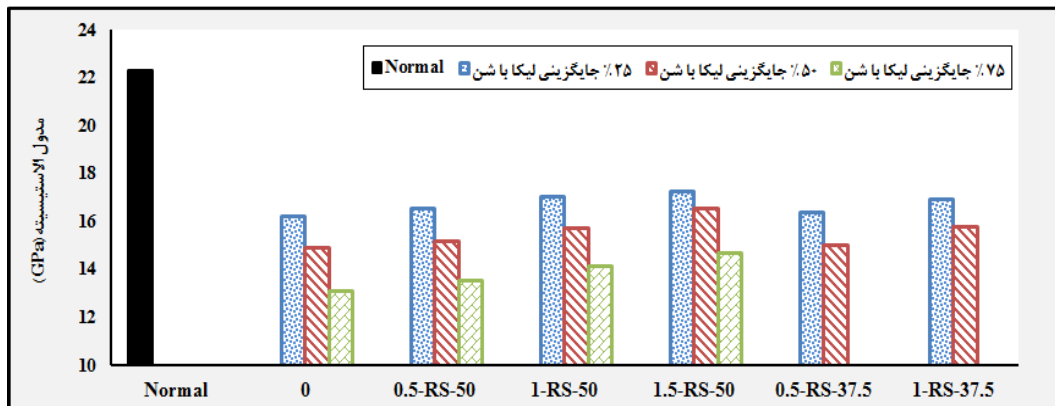
همانند آنچه در ارتباط با سایر مشخصه های بتن های حاوی الیاف فولادی ذکر شد، مدول گسیختگی نیز با افزایش درصد الیاف، ارتقاء می یابد. با توجه به اینکه الیاف به طور تصادفی در بتن پخش شده و ممکن است در محل ترک خوردگی واقع شده باشند، می توانند در برابر انتشار ترک مقاومت کرده و سبب افزایش ظرفیت باربری بتن شوند. در شکل (۸) نتایج حاصل از انجام آزمایش مدول گسیختگی بر روی کلیه طرح ها ارائه شده است. مشاهده می گردد مدول گسیختگی بتن سبک فاقد الیاف با ۷۵٪ جایگزینی لیکا نسبت به بتن نرمال ۵۱/۴٪ کاهش یافته که این میزان با اضافه شدن ۱/۵٪ الیاف فولادی با نسبت طول به قطر ۵۰ به ۱۷/۶٪ تنزل می یابد. این افزایش در میزان مدول گسیختگی دلالت بر اتصال خوب بین الیاف فولادی و ملات بتن دارد و همانطور که انتظار می رود پس از ایجاد اولین ترک در بتن همانند رفتار بتن مسلح، مقاومت توسط الیاف فولادی تحمل می گردد. این در حالی است که در صورت استفاده از ۱٪ الیاف فولادی با نسبت های طول به قطر ۳۷/۵ و ۵۰ بترتیب، ۴۴/۶۵٪ و ۴۹/۳٪ افزایش مدول گسیختگی را نسبت به بتن نیمه سبک فاقد الیاف با ۵۰٪ جایگزینی لیکا را شاهد هستیم. در واقع با کاهش نسبت الیاف، مدول گسیختگی حدوداً ۳/۱ درصد کاهش یافته است.



شکل (۸): تاثیر درصد های مختلف لیکا و الیاف فولادی بر مدول گسیختگی بتن

### ۵.۳. بررسی نتایج مدول الاستیسیته

نتایج آزمایش مدول الاستیسیته بتن های سبک و نیمه سبک حاوی درصد های متفاوت الیاف در شکل (۹) ارائه شده است.

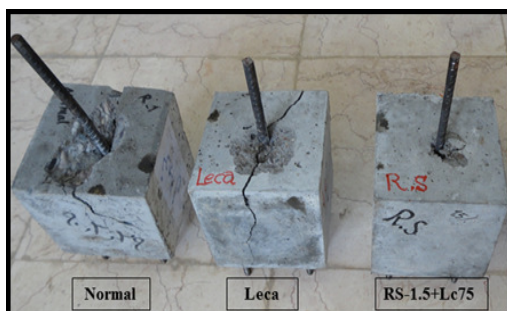


شکل (۹): تاثیر درصد های مختلف لیکا و الیاف فولادی بر مدول الاستیسیته بتن

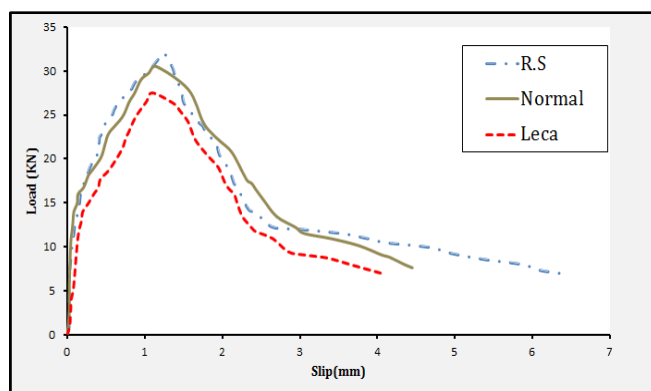
ملاحظه می گردد که با جایگزینی ۷۵٪ سبکدانه لیکا با درشت دانه مدول الاستیسیته حدوداً ۴۱/۳٪ نسبت به بتن نرمال کاهش می یابد. همچنین با اضافه شدن ۱/۵٪ الیاف فولادی مدول الاستیسیته نسبت به نمونه فاقد الیاف حدود ۱۲/۰۶٪ افزایش می یابد که نسبت طول به قطر الیاف تاثیر چندانی بر افزایش مدول الاستیسیته نمونه های بتنی نیمه سبک نداشته است.

### ۶.۳. بررسی نتایج مقاومت پیوستگی آرماتور در بتن

بطور کلی مقاومت پیوستگی وابسته به ماکزیمم بار خروج آرماتور از بتن است. در واقع اوج بار در آزمایش Pull-out در مقابل جابجایی را می توان به عنوان مقاومت پیوستگی در نظر گرفت. در این مطالعه مقاومت پیوستگی سه طرح انتخابی مورد آزمایش قرار گرفته است تا تاثیر وجود الیاف فولادی بر مقاومت پیوستگی آرماتور در بتن سبک در مقایسه با بتن شاهد بررسی شود. به همین جهت بتن سبک حاوی ۷۵٪ جایگزینی لیکا با شن که حاوی ۱/۵٪ الیاف فولادی بازیافتی است با نمونه بتن نرمال و بتن سبک فاقد الیاف تحت آزمایش قرار می گیرد. شکل (۱۰) منحنی بار- لغزش و در شکل (۱۱) نحوه شکست سه نمونه آزمایشی نشان داده شده است.



شکل (۱۱): نحوه شکست سه نمونه آزمایشی



شکل (۱۰): منحنی بار- لغزش در آزمایش مقاومت پیوستگی

مطابق شکل الگوی مشابهی از تغییرات در نمونه های سبک و نرمال مشاهده می گردد همچنین میزان لغزش در نقطه اوج بارگذاری، تفاوت چندانی برای نمونه بتن سبک و نرمال ندارد (بین محدوده ۱/۱ تا ۱/۱۵) و ماکزیمم بار در نمونه سبک فاقد الیاف کمتر از نمونه نرمال می باشد. همچنین از روند منحنی مشخص است که رفتار کلی نمونه های حاوی الیاف و نمونه های شاهد مشابه هم می باشد اما اضافه کردن الیاف سبب افزایش در میزان بار ماکزیمم و تنش پسماند اصطکاکی نمونه های بتنی شده است. در واقع زمانی که مقاومت کششی بر بتن پیرامون آرماتور فائق می آید، الیاف حکم پل را برای ترک های مورب پیدا می

کنند. همچنین مشاهده می‌گردد که نمونه حاوی الیاف فولادی شکست با جاری شدن آرماتور همراه بوده این در حالی است که نمونه‌های فاقد الیاف شکست با ترک خوردن و شکافت بتن همراه می‌باشد. در واقع وجود الیاف سبب پیوستگی بیشتر آرماتور به بتن شده و مانع از جدا شدن آرماتور از بتن می‌گردند. ملاحظه می‌گردد که مقاومت پیوستگی در بتن سبک نسبت به بتن نرمال حدوداً ۹/۸٪ کاهش را نشان می‌دهد این در حالی است که با اضافه شدن الیاف فولادی بازیافتی مقاومت پیوستگی به میزان ۴/۹٪ نسبت به بتن نرمال افزایش می‌یابد.

## ۴. نتیجه گیری

در این مقاله با بکارگیری الیاف فولادی و جایگزینی سبکدانه لیکا با بخشی از درشتدانه، نتایج زیر حاصل شده است:

- \* با افزایش ۷۵٪ جایگزینی لیکا از جرم حجمی بتن حدوداً ۱۹/۵٪ نسبت به بتن نرمال کاسته شده و از طرفی با افزایش ۱/۵٪ الیاف فولادی حدوداً ۵٪ بر جرم حجمی بتن افزوده می‌شود.
- \* با افزایش ۷۵٪ جایگزینی لیکا به میزان ۳۲/۶۶٪ از مقاومت فشاری بتن نسبت به بتن نرمال کاسته و این در حالی است که با افزایش ۱/۵٪ الیاف فولادی حدوداً ۵/۵٪ بر مقاومت فشاری بتن سبک افزوده می‌گردد.
- \* مقاومت کششی بتن سبک فاقد الیاف با ۷۵٪ جایگزینی لیکا نسبت به بتن نرمال ۵۱٪ کاهش یافته که این میزان با اضافه شدن ۱/۵٪ الیاف فولادی به ۲۷٪ تنزل می‌یابد.
- \* مدول گسیختگی بتن سبک فاقد الیاف با ۷۵٪ جایگزینی لیکا نسبت به بتن نرمال ۵۱/۴٪ کاهش یافته که این میزان با اضافه شدن ۱/۵٪ الیاف فولادی با نسبت طول به قطر ۵۰ به ۱۷/۶٪ تنزل می‌یابد.
- \* با افزایش جایگزینی سبکدانه لیکا با درشت دانه مدول الاستیسیته نسبت به بتن نرمال کاهش می‌یابد این در حالی است که با اضافه شدن الیاف فولادی مدول الاستیسیته نسبت به نمونه فاقد الیاف افزایش می‌یابد.
- \* مقاومت پیوستگی آرماتور در بتن سبک نسبت به بتن نرمال پایین تر بوده این در حالی است که با اضافه شدن الیاف میزان مقاومت پیوستگی افزایش می‌یابد.

## ۵- مراجع

۱. صدرالدینی مهرجردی، نورالدین، شناخت طرح و کاربرد بتن سبک در ساختمان، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۶۲.
2. Şemsi, Y.; Gözde, İ.; and Volkan, T.; Effect of aspect ratio and volume fraction of steel fiber on the mechanical properties of SFRC, Elsevier Journal for Construction and Building Materials, 2007, PP 1250–1253.
3. Jianming, G.; Wei, S.; and Keiji, M.; Mechanical Properties of Fiber-reinforced, High-strength, Lightweight Concrete, Elsevier Journal Cement and Concrete Composites, Japan, 1997, PP 307-313.
4. Gül, R.; and Düzgün, A.; Effect of Steel Fibers on the Mechanical Properties of Natural Lightweight Aggregate Concrete, Elsevier Journal for Materials and Design, 2005, PP 3357-3363.
5. Harajli, M.; Hout, M.; and Jalkh, W.; Local bond stress-slip behavior of reinforcing bars embedded in plain and fiber concrete, ACI Materials Journal, 1995, PP 343–53.
۶. عبدالله زاده، ر.، بررسی خواص مهندسی بتن سبک حاوی فیبر فولادی برگرفته از تایرهای ضایعاتی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه گیلان، شهریور ۱۳۹۰.
۷. مهتا، کومار. مونته ئیرو، دی. جی، ریز ساختار، خواص و اجرای بتن، ترجمه علی اکبر رمضانیاپور و پرویز قدوسی و اسماعیل گنجیان، انتشارات دانشگاه صنعتی امیر کبیر، ۱۳۸۳.
۸. باقری، قدوسی، پرهیزکار، کاربرد الیاف در بتن و فرآورده های سیمانی، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.