

## بررسی و بهبود مشخصات مکانیکی بتن نیمه سبک مقاومت بالا با استفاده از الیاف پلی پروپیلن و مقایسه آن با بتن نیمه سبک معمولی با مصالح بومی کرمان (کد C)

مسلم قادری<sup>۱</sup>، لیلا شیروانی<sup>۲</sup>، ریحانه زرآستانی<sup>۳</sup>، زهرا حسنی<sup>۴</sup>، زهرا بابایی<sup>۵</sup>

۱- استاد راهنما، کارشناسی ارشد مکانیک خاک و پی و مدرس دانشگاه فاطمه الزهرا (س) کرمان

۲- مدیر گروه معماری و شهرسازی دانشگاه فاطمه الزهرا (س) کرمان

۳- دانشجوی کاردانی شهرسازی دانشگاه فاطمه الزهرا (س) کرمان

۴- دانشجوی کاردانی شهرسازی دانشگاه فاطمه الزهرا (س) کرمان

۵- دانشجوی کاردانی شهرسازی دانشگاه فاطمه الزهرا (س) کرمان

### چکیده

امروزه افزایش مقاومت و شکل پذیری هرچه بیشتر، مهمترین و پرکاربردترین مصالح ساختمانی یعنی بتن، دغدغه کثیری از محققان و پژوهشگران شده است و در این مقاله نیز بر اساس آزمایشهای صوت گرفته تاثیر الیاف و تغییرات طول الیاف در بتن نیمه سبک مقاومت بالا تسلیح شده یا الیاف پلی پروپیلن مورد بررسی و با بتن معمولی مقایسه گردیده است. همچنین این مقاله در نظر دارد تا با معرفی بتن نیمه سبک مقاومت بالا با الیاف به منظور رفع یکی از بزرگترین معایب بتن نیمه سبک که خاصیت الاستیک پایین می باشد و منجر به مقاومت کششی پایین تر نسبت به بتن معمولی می گردد، تاثیر بسزای آن در جلوگیری از ترک خوردگی و افزایش نرمی را نشان دهد. مهمترین کاربردی که این نوع بتن ویژه نیمه سبک در تیر ها، کف ها، شیبها و محل های خوردگی و فرسایش می باشد. نتایج آزمایشات نشان داد که برای رسیدن به مقاومت بالای کششی و بالا بردن حداکثر تنش در بتن نیمه سبک با الیاف، تغییر طول الیاف تاثیر بسزایی دارد. همچنین استفاده از الیاف پلی پرو پیلن موجب بهبود مشخصات مکانیکی بتن سبک مقاومت بالا نسبت به بتن معمولی می گردد.

**کلمات کلیدی:** بتن نیمه سبک، مواد حباب زا، مقاومت فشاری، پودرسنگ

دولتها دامنه وسیعی از حقوق و وظایف شامل حق امنیت، سلامت و دستیابی به اطلاعات و وظیفه حفاظت محیط زیست، احترام به ایمنی، استقلال و حریم خصوصی دیگران را تعیین می کنند و استانداردها خط مشی های لازم برای استفاده از این حقوق و عمل به این وظایف را روشن می سازند.

کشور ایران از مناطق زلزله خیز جهان محسوب می شود و بحث سبک سازی ابنیه جهت افزایش مقاومت در برابر زلزله از اهمیت بخصوصی برخوردار می باشد. استفاده از بتن به عنوان یکی از پرمصرف ترین مصالح ساختمانی در ابنیه سازه ای همواره دارای مشکل سنگینی بوده است. چگالی بتن معمولی در حدود ۲۲۰۰ تا ۲۶۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب می باشد. در نتیجه وزن مرده قطعات بتنی زیاد است و نسبت زیادی از بار مرده وارد بر سازه را تشکیل می دهد. بکار بردن بتن با چگالی کمتر باعث کاهش بار مرده ساختمان و در نتیجه کوچکتر شدن ابعاد قطعات باربر می گردد. بعلاوه با استفاده از بتن سبکتر قالب نیاز به تحمل فشار کمتری در مقایسه با بتن معمولی دارد و همچنین کل جرمی مصالحی که باید جابه جا گردد کاهش می یابد. همچنین امروزه در کشور ما با توجه به مسائل اجرائی و اقتصادی، استفاده از بتن در سازه های مختلف توسعه چشمگیری یافته است در حالی که هنوز نفوذ پذیری بتن بدلیل تخلخل ذاتی آن از مشکلات اصلی سازه های هیدرولیکی ذر تأسیسات شهری، صنعتی و دریایی است که نه تنها موجب تخریب بتن می گردد بلکه با خوردگی میلگرد های فولادی خسارات زیادی به سازه ها وارد می کند، روش های مختلفی از جمله استفاده از انواع مختلف مواد افزودنی برای کاهش نفوذ پذیری بتن ارائه شده ولی در حالت کلی پدیده نفوذ پذیری چندان تحت کنترل در نیامده است. اخیراً توسط محققان گام های مختلفی جهت کنترل ترک خوردگی، خواص مکانیکی، توزیع تنش و ... با استفاده از الیاف برداشته شده و از آنجائی که انواع الیاف می توانند با ایجاد پل هائی در ساختار بتن و به صورت دوخت و دوز مصالح بتنی مصالح متشکله آن، موجب کنترل انواع ترک ها و کاهش نفوذ پذیری بتن گردند (حسین نژاد، ۱۳۹۳: ۶) بتن و کاربرد آن در سازه های عمرانی به عنوان یکی از مصالح پایه در صنعت ساخت و ساز به شمار می آید. تمایل زیاد به صنعت به استفاده از مصالح بتنی منجر به انجام پژوهش های زیادی در زمینه اصلاح معایب و بهینه شدن آن شده است.

یکی از ضعف های مشهور در بتن، ترد شکنی و عدم شکل پذیری مصالح بتنی می باشد که در حال حاضر تسلیح اعضای بتنی به وسیله آرماتور های فولادی و الیاف گسسته تلاشی برای غلبه بر آن می باشد. (خیری، قاسمی، ۲۰۰۹: ۱) یکی از پرکاربرد ترین الیاف، الیاف پلیمری مصنوعی است که غالباً به دو صورت ژاکت های دور پیچ و ترمیم کننده یا مقاوم سازی و تسلیح بتنی به کار می روند. پلیمر ها چه به عنوان مسلح کننده اصلی به کار می روند و چه به عنوان ترمیم کننده یا مقاوم ساز، دارای خواصی مانند وزن کم، مقاومت بالا، نسبت مقاومت به وزن بالا، سرعت عملیات اجرایی، عدم نیاز به ماشین آلات و تجهیزات خاص، مقاوم بودن در برابر شرایط جوی و خوردگی، اقتصادی بودن مجموع عملیات و ساده بودن اجرای عملیات می باشد (رهگذر، قلعه نوی، عدیلی ۱۳۸۷: ۳) لذا در این مقاله قصد بررسی رفتار بتن سبک پرمقاومت تسلیح شده با الیاف پلیمری داشته تا با نتایج این بررسی تاثیرات آن مورد مطالعه قرار بگیرد.

### ۳- بتن تسلیح شده با الیاف :

طبق تعریف ACI544-IR-82 بتن مسلح با الیاف یا بتن الیافی بتنی است که با سیمان هیدرولیکی مصالح سنگی ریزدانه یا ریزدانه و درشت دانه و الیاف مجزا و غیر پیوسته ساخته می شود. الیاف ممکن است از مصالح طبیعی مانند پنبه نسوز، انواع مخصوص کف و سلولز و یا از محصولات تولیدی مانند شیشه، فولاد، کربن و پلیمر (مانند پلی پروپیلین یا کولار) ساخته شوند. (رضانپور، شاه نظری ۱۳۸۳: ۴۳۵) در این مطالعه مسلح نبودن بتن با الیاف نتایج چشمگیری همچون مقاومت کشش و جلوگیری از توسعه ترک ها و افزایش سختی به وسیله انتقال تنش در عرض مقطع یک ترک را به همراه داشت که میتوان با توجه به این نتایج تغییر شکل های بزرگتری را ایجاد کرد. در این حالت موجود در بتن الیاف باعث جلوگیری شکست آبی بتن بوده و رفتار بتن را کنترل کرده و شیب منحنی تنش- کرنش با شیب ملایمی بالا می رود. بدیهی است بتن سبک پرمقاومت تسلیح شده با الیاف میتواند مزایای بتن سبک با مقاومت بالا و کنترل رفتار بتن را به طور همزمان دارا باشد

بتن الیافی در حقیقت نوعی کامپوزیت است که با بکار گیری الیاف تقویت کننده داخل مخلوط بتن ، مقاومت کششی و فشاری آن فوق العاده افزایش می یابد.

این ترکیب کامپوزیتی ، یکپارچگی و پیوستگی مناسبی داشته و امکان استفاده از بتن به عنوان یک ماده شکل پذیر جهت تولید سطوح مقاوم پر انحنای را می آورد. بتن الیافی از قابلیت جذب انرژی بالایی نیز برخوردار است و تحت اثر بار ضربه ای به راحتی از هم پاشید نمی شود.

طرح تحقیقاتی طراحی بتن سازه ای نیمه سبک با مقاومت فشاری و خمشی بالا، با انگیزه بدست آوردن طرحی با وزن مخصوص بین ۱۸۰۰ تا ۱۹۵۰ کیلوگرم در متر مکعب و مقاومت فشاری بین ۴۰ تا ۷۰ مگا پاسکال برای استفاده و اجرای سازه ای به صورت گسترده پیشنهاد و مورد تحقیق قرار گرفته است.

برای ضعف کششی بتن و کاهش ترک های آن استفاده از میلگرد صورت می پذیرد اما از آنجا که میلگرد بخش کوچکی از مقطع را تشکیل می دهد صحیح نخواهد بود و از این جهت برای ضعف شکنندگی و تردی که بتواند تمام سیستم را به طور یکنواخت حفظ نماید، در سالهای اخیر از رشته های نازکی از الیاف معروف استفاده می کنند.

از جمله محاسن بتن های مسلح با مقاومت بالا ، بهبود خواص مکانیکی و کاهش نفوذ پذیری ، مقاومت شیمیایی بالا در برابر عوامل مخرب و مقاومت در برابر ضربه های مکانیکی شدید می باشد.

در آزمایشات انجام شده قسمت الاستیک خطی پیش از پیک منحنی تنش - کرنش در بتن با استحکام بالای تقویت نشده، به مقدار زیادی افزایش می یابد. پس از رسیدن به پیک بار، منحنی تنش-کرنش شدیداً افت می کند که نشانگر وجود مناطق شکننده می باشد. انرژی جذب شده در فاز الاستیک صرف ایجاد ترک و پخش شدن ترک ها نمی شود، در نتیجه رشد ثابت ترک که منجر به شکست بتن می شود اتفاق نمی افتد. این امر شکست ناگهانی و شدید بتن را به همراه خواهد داشت.

به علاوه، نفوذپذیری بسیار کم بتن های با استحکام بالا مشکلاتی را به همراه خواهد داشت که از جمله آن می توان به مقاومت در برابر آتش اشاره کرد. به هنگام آتش سوزی، دمای بتن به سرعت افزایش می یابد. به علت وجود تعداد اندک روزنه های موئین، آب که هنوز در بتن هیدراته نشده، در فضای داخل بتن محبوس می شود. بدین ترتیب در سطح بتن ترک ایجاد خواهد شد. حتی مولکولهای آب که درگیر پیوند شیمیایی هستند نیز می توانند بخار شوند.

جهت مقابله کردن با این مشکلات، از الیاف پلی پروپیلن با توجه به خواص ویژه و ارزان بودن آن استفاده می شود الیاف پروپیلن باعث کاهش شکنندگی و افزایش مقاومت در برابر آتش خواهند شد. الیاف پلی پروپیلن در دمای ۱۶۰ درجه سانتی گراد ذوب می شوند و در نتیجه به هنگام آتش سوزی کانالهایی را در بتن ایجاد می کنند. بدین ترتیب مایعات و بخار آب امکان خروج از داخل بتن را پیدا می کنند و فشار داخلی کاهش می یابد.

بدین ترتیب از ورقه ورقه شدن سطح بتن جلوگیری به عمل می آید. چنانچه گاز در ساختار داخلی بتن محبوس شود، تنش کششی داخلی در دمای ۳۰۰ درجه سانتی گراد حدود  $8 \text{ N/mm}^3$  خواهد شد. در دمای ۳۵۰ درجه سانتی گراد، این مقدار دو برابر خواهد شد.

پلی پروپیلن از خانواده پلی اولفینهاست. الیاف پلی پروپیلن آبدوست نبوده در نتیجه آب جذب نمی کنند و مخرب نیز نیستند. علاوه بر آن این دسته از الیاف در برابر قلیایی ها و مواد شیمیایی و کلرید مقاوم هستند و خاصیت انتقال حرارتی کمی دارند. با توجه به این خصوصیات الیاف پلی پروپیلن نیاز به آب بتن تازه ندارد و مزاحمتی برای ترکیب سیمان با آب ایجاد نمیکند.

الیاف پلی پروپیلن از طریق کشیدن و بسط دادن فیلم پلاستیکی تهیه می شود و پس از آن بصورت رشته جدا شده به اندازه لازم بریده می شود. الیاف موجود در محدوده طولی حدود  $6/5$  تا  $63/5$  میلیمتر هستند.

### نقش الیاف در بتن :

مزایا و نقش مهم الیاف در بتن الیافی باعث شده که مورد علاقه اکثر مهندسیین و طراحان قرار بگیرد. امکان به کار گیری در اکثر مناطق جغرافیایی استفاده از متریال طبیعی و ارزان دارای هزینه کم در مقایسه با حجم زیاد عملیات و شکل

پذیری آن با توجه به اشکال هندسی طرح و کارایی مناسب و مقاومت بسیار بالا و مقاوم در برابر نیروهای فشاری و کششی و قابلیت جذب انرژی و پایداری در برابر ترک خوردن از ویژگی های بارز این نوع بتن می باشد.

با توجه به کلیه نتایج گرفته شده می توان دلایل زیر را برای استفاده از این نوع بتن بیان کرد :

- ۱- کنترل شیب منحنی تنش - کرنش
- ۲- جلوگیری از گسیختگی و نابودی سازه
- ۳- کاهش وزن اعضا (بارمرده)
- ۴- کاهش ابعاد سازه (افزایش فضای مفید)
- ۵- کاهش هزینه

#### انواع الیافی که در بتن استفاده می شود میتوان به شرح زیر دسته بندی کرد :

- ۱- الیاف فولادی با مقاومت کششی بسیار بالا به قطر ۱ میلی متر و طول ۵ سانتی متر، قطر ۸/۰ و ۶ سانتیمتر
- ۲- الیاف مصنوعی که برای ارتقا و پایداری و عملکرد مکانیکی بتن، بخصوص شاتکریت استفاده می شود.
- ۳- الیاف شیشه ای که جهت مسلح کردن بتن و افزایش مقاومت شیمیایی استفاده می شود.
- ۴- الیاف پلی پروپیلین که به قصد کنترل ترک های مویی، تقویت عملکرد پلاستیکی بتن در دراز مدت (پدیده خزش در ۱۰ روزه) استفاده می شود
- ۵- الیاف پلی پروپیلین که به قصد کنترل ترکهای مویی، تقویت عملکرد پلاستیکی بتن دراز مدت (پدیده خزش در بتن) استفاده میشود

لازم به ذکر است قابلیت انعطافی که بتن الیافی دارد همانند خواص مواد پلاستیکی باعث می شود که بتن الیافی گسیختگی ناگهانی نداشته باشد. از آنجا که الیاف فولادی در جسم بتن در همه جهات پراکنده می شود در صورت تشکیل یک ترک در جهات مختلف الیاف اتصالاتی را بوجود آورده و از گسترش ترک جلوگیری می نماید. بنابراین رشته های الیاف به طور فعال در محدود کردن عرض ترک وارد عمل شده و با تشکیل ریز ترک های زیاد قابلیت بهره برداری بتن را افزایش می دهند. در این مطالعه بتن مسلح به الیاف پلیمری استفاده و همانند بتن معمولی ریخته و متراکم شده و روش طراحی مخلوط آن با در نظر گرفتن برخی ملاحظات برای پخش یکنواخت الیاف و جلوگیری از جداسدگی و پدیده گلوله ای شدن و ایجاد یک مخلوط کارا جهت ریختن تراکم و پرداخت بتن شبیه به روش طراحی مخلوط بتن معمولی انجام شده است. در آزمایشات این مطالعه الیاف بخاطر آسانی پخش به صورت خشک بعد از مخلوط شدن مصالح همچون سیمان، سنگدانه و افزودنی ها اضافه شده است. یکی از موارد مهمی که در حین ساخت بتن باید رعایت شود، جلوگیری از ایجاد گلوله ای شدن الیاف است اغلب این مشکل به دلیل افزایش مقدار الیاف و یا اضافه کردن سریع الیاف به مخلوط ایجاد می شود. در این مواقع الیاف نزدیک به هم جمع شده و سبب کاهش کارایی مخلوط و در نتیجه کاهش مقاومت و نرمی بتن سخت شده میشود. در حالت کلی با افزایش مقدار الیاف و یا افزایش نسبت جذبی آن ها که میتوان از رابطه :

$$\sigma_f = \zeta \frac{l}{d}$$

به دست آورد موجب کاهش کارایی و در نتیجه کاهش مقاومت بتن می شود که در این رابطه :

$\sigma$  برابر با چسبندگی،  $d$  قطر متوسط الیاف و  $l$  طول الیاف می باشد. (رضانپور، شاه نظری، ۱۳۸۳: ۴۳۸).

در آزمایشات این مطالعه که در جدول شماره ۷ نشان داده شده است، رفتار ۱۲ نمونه در ابعاد ۱۰\*۱۰\*۱۰ با نوع سنگ دانه ها و نسبت های مصالح یکسان در درصدها و طول الیاف های پلیمری مختلف در سنین ۷ و ۲۸ روز مورد بررسی قرار گرفت تا بتوان بهینه ترین طول الیافی جهت استفاده در بتن الیافی بدست آورد و با مقایسه تک به تک نمونه ها با هم و در نهایت مقایسه مقاومت در بهینه ترین طول و بتن معمولی نتایج حائز اهمیتی را به دست آورده شد.

با توجه به اینکه ضوابط اساسی در رابطه با طول الیاف در بالا اشاره شد، با متناسب انتخاب کردن اندازه سنگدانه ها و طول های الیاف و همچنین با در نظر گرفتن طول بحرانی الیاف، کمترین خطای ممکن در طول آزمایش صورت پذیرد.

### ۳- مشخصات اجزای تشکیل دهنده بتن

#### ۱. ژل میکرو سیلیس

##### ۱-۱ شرح

استفاده از ژل میکرو سیلیس در بتن ریزی های مجاور سواحل دریاها به طور جدیدی مورد توجه مهندسين ساختمان قرار گرفته است به دليل خصوصيات بارز پوزولاتي میکروسيليس، استفاده از آن جهت بهبود خواص مکانیکی و افزایش دوام بتن در کشور های پیشرفته رو به افزایش است. میکروسيليس یک محصول فرعی از کوره های قوس الکتریکی در جریان تولید آلیاژ های فرو سيليس میباشد. این ماده با داشتن بیش از ۷۰ درصد سيليس با حالت غير کریستالی و به شکل ذرات بی نهایت ریز با قطر متوسط ۱،۰ متوسط میکرون شدیداً پوزولاتي و برای استفاده به عنوان یک ماده سیمانی در بتن بسیار مناسب است و با استاندارد ASTM C1240 مطابقت دارد. پودر میکرو سيليس جهت تقويت خواص آب بندی و دوام سازه های بتنی به خصوص در سازه های ساحلی، آبی و بتن هایی که در معرض حمله شدید سولفات ها و خوردگی آماتور ها قرار دارند. این ماده به رنگ خاکستری روشن است.

##### ۱-۲ مزایای مصرف:

افزودن ژل میکرو سيليس به مخلوط بتن باعث میگردد  $SiO_2$  فعال آن با محلول هیدروکسید کلسیم آزاد در منفذ موئین بتن ترکیب گردد و کریستال سيليكات کلسیم نامحلول تولید نماید و در نهایت باعث تراکم ساختار خمیر سیمان و کاهش نفوذ پذیری و افزایش مقاومت فشاری، الکتریکی، خمشی و کششی بتن، افزایش مقاومت بتن در برابر فرسایش، کاهش مقابل توجه نفوذ پذیری، جلوگیری از نفوذ یون کلر، سولفات ها و سایر مواد شیمیایی مخرب به داخل بتن گردد.

### جدول ۱- آنالیز شیمیایی میکروسيليس شرکت فابیر

( علی خیری، مرتضی دهقان، احسان عدیلی، ۱۳۸۸ )

H2O	۰,۰۸ درصد
Sic	۰,۵ درصد
C	۰,۳ درصد
Si2o	۶۹,۴ درصد
Fe2O3	۰,۸۷ درصد
Al2O3	۱,۳۲ درصد
CaO	۰,۴۹ درصد
MgO	۰,۹۷ درصد
Na2O	۰,۳۱ درصد
K2O	۱,۰۱ درصد
P2O5	۰,۱۶ درصد
SO3	۰,۱۰ درصد
CL	۰,۰۴ درصد

#### ۲. لیکا:

کاربرد لیکا به دو صورت سبکدانه سازه ای و غیر سازه ای در نقاط مختلف جهان است. در صنعت ساختمان به صورت بلوک های بنایی سبک و قطعات پیش ساخته سبک و همچنین بتن سبک و ملات سبک است. یک موضوع

فرعی بسیار جالب این است که بیشترین مصرف این بلوک در دو منطقه از آمریکا با شرایط آب و هوایی کاملا متضاد بوده است:

- در فلوریدا که آب و هوای نسبتا گرم دارد ، ثابت شده است که بلوک بتن سبک راه حل موثر در برابر تند باد های دریایی است.
- در آلاسکا که بسیار سردسیر است، این بلوک ها به دلیل ویژگی های عایق بندی و مقاومت در برابر آتش و نفوذ باران های افقی که از اقیانوس آرام حرکت میکنند، به طور گسترده بکار میروند.

از دیگر ویژگی های بتن سبک میتوان به وزن سبک تر و مقاومت بیشتر، عایق حرارتی و مقاومت در برابر نفوذ رطوبت و... اشاره نمود.

### جدول ۲- وزن مخصوص غیر متراکم سنگدانه های سبک در بتن های سازه ای

(آرش ضیایی ، مسلم شیخ خوشکار و شیما شیبانی ، ۱۳۹۲)

بیشترین چگالی توده ای غیر متراکم خشک در یک متر مکعب بتن ( $Kg/m^3$ )	اندازه سنگدانه ها
۱۱۲۰	ریزدانه
۸۸۰	درشت دانه
۱۰۴۰	مخلوطی از درشت دانه و ریزدانه

### جدول ۳- طبقه بندی لیکا از لحاظ کاربرد

(آرش ضیایی ، مسلم شیخ خوشکار و شیما شیبانی ، ۱۳۹۲)

وزن مخصوص (حداکثر)	دانه بندی	انواع کاربرد های لیکا
$510 \text{ Kg/m}^3$	0-4mm	بتن سبک، بلوک سبک، قطعات پیش ساخته، پرکننده سبک، ملات لیکا، تصفیه آب کشاورزی از قبیل کشت آبی و...
$320 \text{ Kg/m}^3$	4-10mm	بتن سبک، بلوک سبک، قطعات پیش ساخته، کشت آبی، تزئین گلدان های کاشانه ای و فضای سبز
$250 \text{ Kg/m}^3$	10-25mm	بتن سبک پر کننده، تصفیه آب و فاضلاب، زهکشی، کشاورزی از قبیل تزئین، کشت آبی، صیفی جات گلخانه ای، گلدان های کاشانه ای و...
$270 \text{ Kg/m}^3$	0-25mm	شیب بندی و کف سازی، پرکننده سبک، راهسازی و کشاورزی

\*تمامی مقادیر بالا برای یک متر مکعب بتن می باشد

### جدول ۴- درصد جذب آب لیکای مصرفی

(آرش ضیایی ، مسلم شیخ خوشکار و شیما شیبانی ، ۱۳۹۲)

	نیم ساعت	یک ساعت	۲۴ ساعت
نمونه ۱	۱۷	۲۴	۲۸
نمونه ۲	۱۵	۲۰	۲۶

جدول ۵- خلاصه نتایج آزمایش وزن مخصوص توده ای سبک دانه لیکا مصرفی

(آرش ضیایی ، مسلم شیخ خوشکار و شیما شیبانی ، ۱۳۹۲)

سبک دانه لیکا	وزن مخصوص متراکم نشده $Kg/m^3$	وزن مخصوص متراکم شده $Kg/m^3$	میانگین وزن مخصوص متراکم نشده $Kg/m^3$	میانگین وزن مخصوص متراکم شده $Kg/m^3$
نمونه یک	۷۵۱	۷۸۰	۷۳۶	۷۶۸
نمونه دو	۷۱۳	۷۵۵		
نمونه سه	۷۴۵	۷۶۹		

\*تمامی مقادیر بالا برای یک متر مکعب بتن می باشد

۳.سیمان و روان کننده:

سیمان مورد استفاده از کارخانه ممتازان کرمان تهیه شده و سیمان تیپ ۱-۴۲۵ می باشد و روان کننده مورد استفاده بر پایه پلی کربوکسیلات واز شرکت ساختمان شیمی تهیه شده است.

۴- برنامه آزمایشگاهی

در این تحقیق خواص مکانیکی بتن های نیمه سبک ساخته شده از لیکا با ۲۵ ، ۵۰ و ۷۵ درصد جایگزینی لیکا با شن که با الیاف پلی پروپیلن با درصد های ۰/۵ ، ۱ ، ۱/۵ و ۲ درصد 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 ، ۰/۵ و ۶۰ سانتیمتر نگه داشته شده است و عیار مصالح سیمانی ۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب می باشد. و به دلیل استفاده از ژل میکروسیلیس به منظور بالا بردن چسبندگی مصالح و افزایش مقاومت فشاری ، از نسل سوم فوق روان کننده برای کاهش میزان آب اختلاط و افزایش روانی که سبب افزایش خواص مقاومتی بتن و ثابت نگه داشتن اسلامپ در محدوده مورد نظر استفاده می گردد.

۴-۱- طرح مخلوط بتن نیمه سبک و نحوه اختلاط مصالح

نسبتهای اختلاط اجزا مطابق استاندارد ACI 211-1-91 تعیین گردید و برای تخمین سنگدانه های سبک از روش حجم مطلق استفاده شده است. مقادیر اجزاء مخلوط های بتنی نیمه سبک ساخته شده، در جدول زیر ارائه گردیده است. برای مخلوط کردن مصالح ابتدا سنگدانه ها را در میکسر ریخته و سپس الیاف و بعد سیمان و ژل میکروسیلیس و در انتها آب و فوق روان کننده به مخلوط اضافه گردیدند. لازم بذکر است که با افزایش درصد الیاف زمان اختلاط را بیشتر نموده تا الیاف کاملا در بتن به طور یکنواخت مخلوط شود.

جدول ۶- طرح اختلاط بتن نیمه سبک و نتایج مقاومت فشاری، کششی و خمشی برای یک متر مکعب بتن

C				B				A				تیپ
۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	شماره طرح
۳۲	۳۲	۳۲	۳۲	۷۸	۷۸	۷۸	۷۸	۲۲۴	۲۲۴	۲۲۴	۲۲۴	شن
۴۹۲	۴۹۲	۴۹۲	۴۹۲	۴۹۲	۴۹۲	۴۹۲	۴۹۲	۴۹۲	۴۹۲	۴۹۲	۴۹۲	ماسه
۶۶۰	۶۶۰	۶۶۰	۶۶۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۸۰۰	۶۵۰	۶۵۰	۶۵۰	۶۵۰	لیکا
۴۳۰	۴۳۰	۴۳۰	۴۳۰	۳۸۰	۳۸۰	۳۸۰	۳۸۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰	سیمان
۵۸	۵۸	۵۸	۵۸	۵۴	۵۴	۵۴	۵۴	۵۰	۵۰	۵۰	۵۰	ژل میکروسیلیس
۳	۳	۳	۳	۴	۴	۴	۴	۲	۲	۲	۲	فوق روان کننده
۱۶۸	۱۶۸	۱۶۸	۱۶۸	۱۶۸	۱۶۸	۱۶۸	۱۶۸	۱۶۸	۱۶۸	۱۶۸	۱۶۸	آب

درصد حجمی الیاف	۰,۵	۱	۱,۵	۲	۰,۵	۱	۱,۵	۲	۰,۵	۱	۱,۵	۲
۷ روزه	۲۳/۵	۲۵/۲	۲۶/۶	۲۸	۲۸/۸	۳۰	۳۰/۰۹	۳۱	۳۲/۳	۳۵/۹	۳۶/۱۸	۳۷/۱۸
مقاومت فشاری	۲۴/۰۲	۲۵/۱	۲۷	۲۸/۱	۳۰	۳۲/۳	۳۴/۰۸	۳۵/۹	۳۶/۱۸	۳۷/۱۸	۳۹/۹	۴۰/۰۴
۲۸ روزه	۳۳/۰۹	۳۵/۴	۳۷/۳	۳۹	۴/۵۰	۴/۳۲	۶/۹	۷/۵	۷/۱۵	۷/۱۸	۸/۳۴	۸/۷۸
مقاومت کششی ۲۸ روزه	۳/۲۵	۳/۷۵	۴/۰۲	۴/۵۰	۴	۴/۲۳	۴/۸۰	۵/۰۱	۵/۱۸	۵/۱۸	۶/۰۵	۶/۹
مقاومت خمشی ۲۸ روزه	۵/۶۸	۶	۶/۶	۷/۲	۶/۳۲	۶/۹	۷/۱۰	۷/۱۵	۷/۱۸	۸	۸/۳۴	۸/۷۸
وزن مخصوص بتن	۱۹۰۰	۱۹۰۵	۱۹۰۵	۱۹۰۸	۱۹۲۰	۱۹۲۰	۱۹۲۰	۱۹۲۳	۱۹۲۳	۱۹۲۳	۱۹۲۳	۱۹۲۳

\*درصد وزنی بر اساس کیلوگرم بر متر مکعب و مقاومت ها بر اساس مگا پاسکال می باشند

برای انجام آزمایشهای مقاومت فشاری، کششی و خمشی سه نقطه ای به ترتیب از نمونه های مکعبی ۱۰\*۱۰ سانتی متر، استوانه ای ۳۰\*۱۵ سانتی متر استفاده شده است. تمام نمونه های آزمایشی یک روز پس از قالب برداری در آب با درجه حرارت ۲۰ درجه سانتیگراد عمل آوری شده اند. ضمناً از هر مخلوط ۳ نمونه و در سنین ۷، ۱۴ و ۲۸ روز مورد آزمایش قرار گرفته و مقادیر میانگین گزارش شده است.

## ۶- تحلیل و بررسی نتایج آزمایشات

### ۶-۱- تاثیر درصدهای مختلف لیکا و الیاف روی مقاومت فشاری و کششی و خمشی بتن

با افزایش جایگزینی لیکا به نسبت های متفاوت ژل میکروسیلیس و الیاف، مقاومت افزایش می یابد. و این تنها به دلیل جذب بهتر سنگدانه های لیکا نسبت به سنگدانه های معمولی از ژل میکروسیلیس و همچنین تاثیر بهتر سیمان روی آن است. همچنین الیاف استفاده گردیده نیز موجب قفل و بست شدن بیشتر دانه ها و همچنین مقاومت بیشتر آنها شده است. افزایش لیکا موجب کاهش مقاومت خمشی و کششی شده که با تغییر نسبت های الیاف و سیمان و ژل میکروسیلیس همانطور که در نتایج دیده می شود افزایش می یابد و موجب بهبودی این ضعف بتن نیمه سبک می گردد. همچنین خود الیاف مقاومت کششی و خمشی بتن نیمه سبک را به طور چشمگیری افزایش می دهد. نتایج آزمایش اشاره بر رفتار خطی بین مقاومت فشاری و مقاومت کششی بتن در همه نمونه ها دارد. این افزایش در میزان مقاومت خمشی دلالت بر اتصال خوب بین الیاف و ملات بتن دارد و همانطور که انتظار می رود در اولین ترک بتن همانند بتن مسلح مقاومت توسط الیاف تحمل می گردد.



## ۲-۶- بررسی استحکام بتن

هرچه نسبت آب به سیمان کمتر باشد بتن کارآمدتر است این نسبت را می توان با استفاده از روان کننده های مناسب به حداقل رساند. اسلامپ پارامتر مهمی برای تخمین کارامدی بتن تازه می باشد. با استفاده از الیاف پلی پروپیلن مقادیر اسلامپ را می توان کاهش داد. مخلوط بتن تازه بسیار چسبنده است در حین فرآیند اختلاط حرکات برشی مواد سازنده باعث جدا شدن الیاف دسته ای از یکدیگر شده، شبکه ای از تک فیلامنتهای مجزا تشکیل می دهد. الیاف به علت سطح مخصوص زیادشان خواص مکانیکی سیمان را بهبود می بخشد. خوشه الیاف با خمیر سیمان، بدون فشردگی و سخت شدن در مخلوط سیمان شکل می گیرید. تمرکز ناهمگن مواد در مخلوط، به جدا شدن ذرات از هم کمک می کند. همزمان پدیده خروج آب از بتن نیز رخ می دهد. تمام این موارد منجر به کاهش اسلامپ می شود. چنانچه پدیده خروج آب از مخلوط رخ دهد، مواد تشکیل دهنده سیمان نیز به سطح بتن خواهد آمد. بدین ترتیب لایه ای رقیق از سیمان بروی سطح شکل می گیرد. زیرا الیاف بتن را جمع می کند و نشست ذرات سازنده بتن را به تعویق می اندازد.

ته نشین شدن الیاف و یا بروی سطح آمدن آنها در بتن تازه مطلوب نیست. از آنجایی که الیاف دارای مقاومت کششی بالایی می باشد. کاربرد الیاف در بتن باعث افزایش استحکام کششی بتن می شود چنانچه بتن در معرض تنش کششی قرار گیرد الیاف این تنش را پخش می کنند. همچنین الیاف از رشد ترک ها جلوگیری می کند. چنانچه ترکی نیز شکل گیرد الیاف همچون پلی از گسترش ترک جلوگیری می کنند. لازم به ذکر است با توجه به کاهش نرخ خروج آب از بتن حاوی الیاف زمان بیشتری برای خشک شدن نهایی نیاز خواهد بود.

## ۳-۶- تاثیر الیاف پلی پروپیلن بر خواص بتن سخت شده

با توجه به نمودارهای اشکال ۱، ۲ و ۳ می توان نتایج زیر را استخراج نمود:

- الیاف نقش تقویت کننده در مقیاس میکرو را در بتن ایفا می کند لذا خواص مکانیکی بتن بیشتر خواهد شد.
- الیاف با توجه به استحکام کششی زیادشان از تشکیل و پیشرفت ترک ها جلوگیری بعمل می آورند و با نگه داشتن ماتریس سیمانی و یا تشکیل پلی مابین ترکها مانع انتشار آنها می شود. در نتیجه طول و ضخامت ترک رشد نمی کند.
- کرنش نهایی زیاد الیاف، بتن راقادر می سازد تا در برابر تغییر شکلهای زیاد، بدون فرو ریختن ساختار مقاومت کند.
- نتایج آزمایش حاکی از این که با افزایش درصد وزنی الیاف مصرفی، مقاومت فشاری افزایش می یابد.

جدول ۷- نتایج آزمایش بتن الیافی با درصد مقدار الیاف و جدول های متغیر الیاف

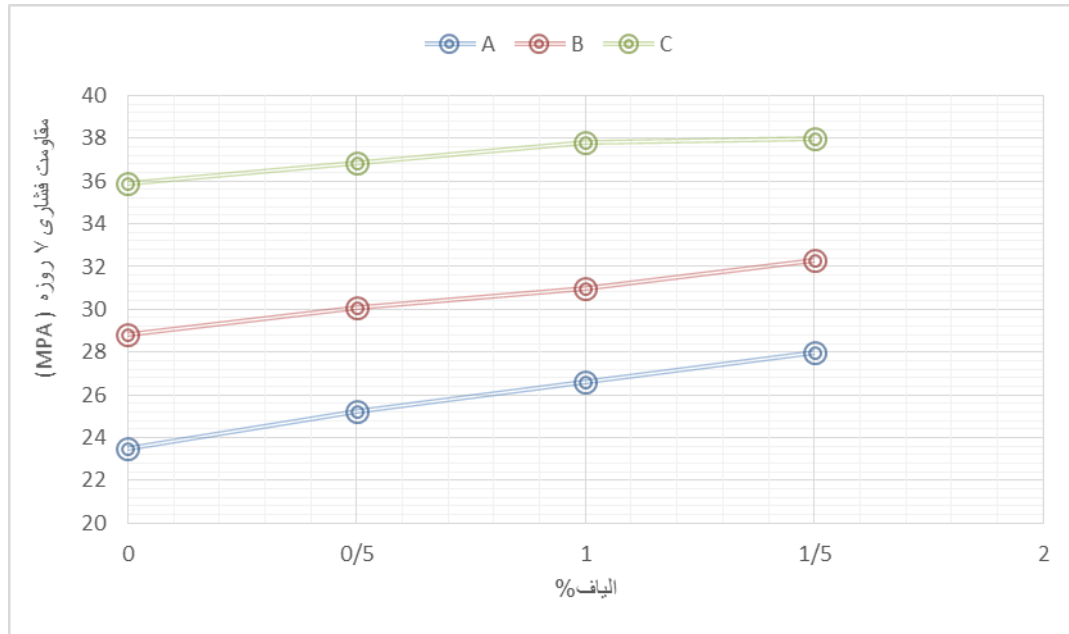
شماره نمونه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
حداکثر مقاومت	۳۳/۰۹	۳۵/۴	۳۷/۳	۳۹	۳۶	۳۷/۵۹	۳۸	۳۹/۹۹	۴۰	۴۳/۹	۴۵/۵۶	۵۰
مقدار الیاف %	۰,۵	۱	۱,۵	۲	۰,۵	۱	۱,۵	۲	۰,۵	۱	۱,۵	۲
طول الیاف	۱	۱	۱	۱	۳	۳	۳	۳	۵	۵	۵	۵

\*تمامی مقادیر بالا برای یک متر مکعب بتن می باشد

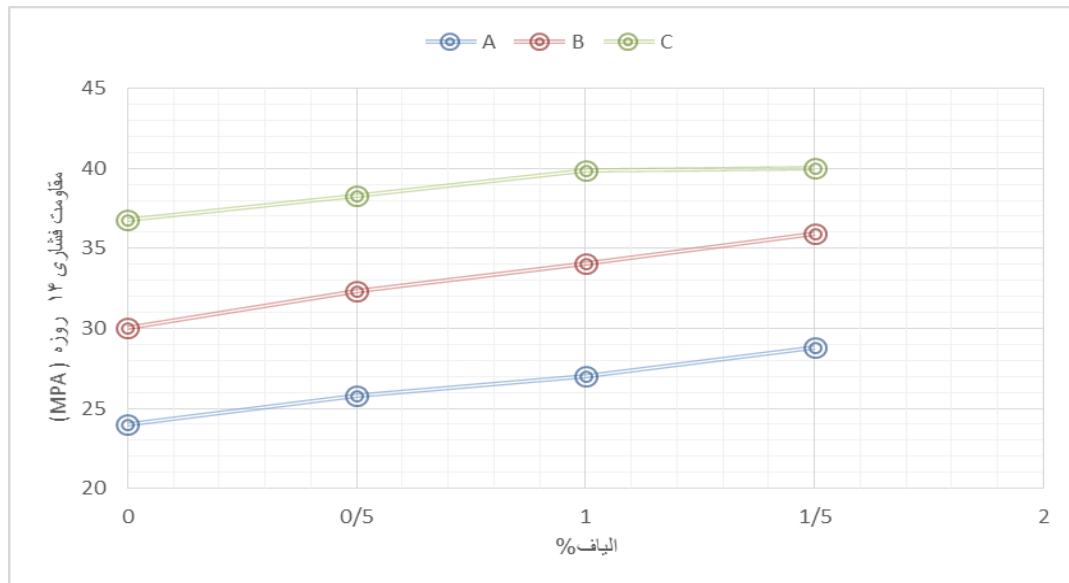
استفاده از الیاف در بتن با استحکام بالا معایبی نیز به شرح زیر به همراه دارد:

- با توجه به مدول لاستیک کمتر الیاف نسبت به ماتریس سیمانی، الیاف خود، آغازگر تشکیل میکروت ترک ها خواهند شد. از اینرو پیوندهای مکانیکی شکل گرفته با ماتریس سیمانی کم است. در نتیجه نه تنها حداکثر استحکام افزایش نمی یابد، بلکه خود عاملی برای تشکیل ترک و تخریب خواهد شد.

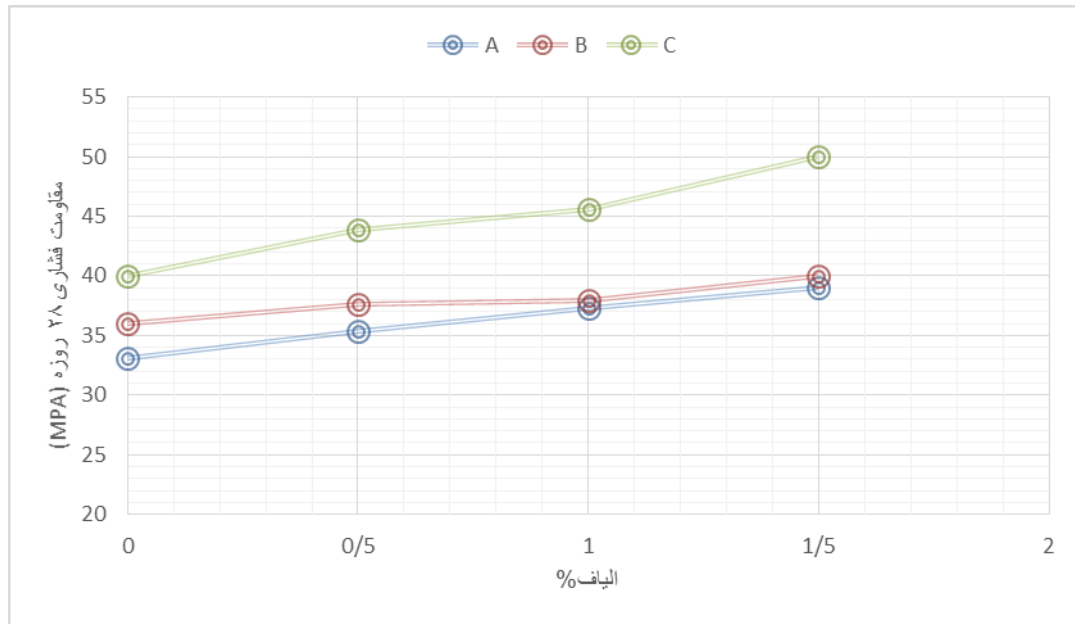
- الیاف با تشکیل معایبی در مقیاس میکرو در ماتریس سیمانی باعث افزایش حجم روزه ها خواهد شد. در آزمایشات نمونه بتن فاقد الیاف در اثر اعمال نیرو کاملاً تخریب شد در صورتی که نمونه حاوی الیاف در اثر اعمال نیروی مشابه شکل خود را حفظ کرده و تخریب نشده است. منتهی شکستگی‌هایی به صورت خطی و محدود در بتن مشاهده گردید. در بتن حاوی الیاف به جای فروریختن ساختار، ترک‌هایی در راستای محور اعمال نیرو ایجاد شده است که در تمام نمونه‌های بتنی تقریباً یکنواخت پخش شده است.



شکل ۱- نمودار تغییرات مقاومت فشاری ۷ روزه طرح‌های اختلاط مختلف با تغییر درصد الیاف



شکل ۲- نمودار تغییرات مقاومت فشاری ۱۴ روزه طرح‌های اختلاط مختلف با تغییر درصد الیاف



شکل ۳- نمودار تغییرات مقاومت فشاری ۲۸ روزه طرح های اختلاط مختلف با تغییر درصد الیاف

#### ۷- نتیجه گیری:

- در این مقاله با بکارگیری الیاف و جایگزینی سبکدانه لیکا با بخشی از مصالح شن و ماسه نتایج زیر حاصل گردید:
- ۱- میانگین افزایش مقاومت فشاری با افزایش میزان الیاف تا ۸/۷ درصد بوده است.
  - ۲- میانگین افزایش مقاومت کششی با افزایش الیاف تا ۶/۲ درصد می باشد که علت آن افزایش چسبندگی بین ماتریس بتن و الیاف است.
  - ۳- متوسط افزایش مقاومت خمشی با افزایش درصد حجمی الیاف تا ۸ درصد می باشد که دلالت بر اتصال خوب بین الیاف با ماتریس بتن دارد.
  - ۴- الیاف با تشکیل شبکه ای مانع از آن می شود که سبکدانه از بقیه مصالح جدا شده و توزیع یکنواختی داشته باشند و در هنگام شکستن نیز مصالح از هم پاشیده نمی شوند.
  - ۵- طرح بتن ساخته شده ستون ۱۲ به عنوان طرح اختلاط سازه ای مناسب پیشنهاد می شود.
  - ۶- همواره استفاده از بتن الیافی به ابتکار طراح در استفاده از مقاومت های استاتیکی، دینامیکی و خستگی بستگی دارد و توزیع یکنواخت الیاف بتن مقطع ایزوتروپیکی را ایجاد می نماید.
  - ۷- با توجه به خواص مطلوب و صرفه اقتصادی الیاف پلی پروپیلن اخیرا استفاده از این نوع الیاف جهت رفع برخی نواقص بتن با استحکام بالا - شکنندگی و عدم مقاومت در برابر آتش- پیشنهاد می شود.
  - ۸- با افزودن الیاف به بتن اسلامپ کم می شود و الیاف دارای سطح مخصوص بالایی بوده ، باعث تقویت مکانیکی خمیره سیمان می شود و بتن را نگه می دارد.
  - ۹- حضور الیاف در بتن باعث بهبود مقاومت حرارتی و عدم ریزش سازه بعلت فشار بخار آب بهنگام آتش سوزی می شود.
  - ۱۰- بتن الیافی تسلیح شده با الیاف مقاومت نسبتا زیادی نسبت به بتن معمولی در برابر تنش های خستگی از خود نشان میدهند.
  - ۱۱- میتوان با توجه به منحنی تنشی که از رفتار بتن الیافی رسم شد نتیجه گرفت که این نوع بتن در برابر ضربه مقاومت بیشتری نسبت به بتن معمولی دارد.
  - ۱۲- بعد از رخ دادن ترک خوردگی در بتن الیافی قابلیت بارگیری قابل توجهی نسبت به بتن معمولی مشاهده می شود.

۱۳- در حین انجام بارگذاری ، با توجه به میزان تحمل تنش ها و کرنش های کششی ثابت ملاحظه ای در بارهای کششی ، میتوان به این نتیجه رسید که بتن پر مقاومت سبک مسلح به الیافی پلیمری کاربرد موثری در طراحی ها میتواند داشته باشد.

۱۴- استفاده از پوزولان های میکروسیلیس به صورت جداگانه در سیمان بتن سبک ، سبب افزایش مقاومت فشاری و کششی و مدول الاستیسیته بتن سبک میشود.

#### ۱۰- مراجع:

- ۱- آرش ضیایی ، مسلم شیخ خوشکار و شیما شیبانی ، ۱۳۹۲، تعیین درصد بهینه اختلاط پوکه های سبک در بتن های سبک پر مقاومت ، هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران ، زاهدان دانشگاه سیستان بلوچستان
- ۲- اشرف ذکری، تاثیر الیاف فولادی بر رفتار بتن با مقاومت بالا، ۱۳۹۰، دانشگاه تبریز
- ۳- علی اکبر رضانیانپور، دکتر محمد رضاشاه نظری ، تکنولوژی بتن، ۱۳۸۳. انتشارات پرهام
- ۴- رضا رهگذر، منصور قلعه نوی، احسان عدیلی، مدلسازی تیرهای بتن مسلح با مقاومت بالا مسلح تحت خمش، ۱۳۸۷، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران دانشگاه تهران
- ۵- علی خیری، مرتضی دهقان، احسان عدیلی، کاربرد بتن های الیافی توانمند در طراحی لرزه ای سازه ها، ۱۳۸۸، همایش بین المللی تکنولوژی بتن، دانشگاه تبریز
- ۶- دانیال رضا زاده عید گاهی ، همومن گلکاریان، محسن سورگی توکلی زاده ، نقش پرلایت در مقاوم سازی بتن، ۱۳۸۸، نخستین همایش عمران و مقاوم سازی
- ۷- صدر الدینی مهرجردی، نور الدینی (۱۳۶۲) ، " شناخت طرح و کاربرد بتن نیمه سبک در ساختمان " مرکز تحقیقات راه، ساختمان و مسکن
- ۸- زیر ساختار ، خواص و اجرای بتن، ترجمه علی اکبر رضانیان پور و پرویز قدوسی و اسماعیل گنجیان
- ۹- باقری، قدوسی، پرهیزگار " کاربرد الیاف در بتن و فراورده های سیمانی "

۱۰- N.banthia, M.sappakittipakorn, Toughness enhancement in steel fibre Reinforced Concrete Through Fibre Hybridization. 2007. Concrete Tesearch.

۱۱- Victor C.Li.Gregore Fischer. 2002 Advance Composite Material in Flexural Member for Auto-Adaptive Strutural Member. Fiber Proceeding of I th Fib Congress.

۱۲- D.Saradhi Babu .K.Ganesh Babu. T.H Wee.T.(2004) Properties of lightweight expanded polystyrene aggregate concretes containing fy ash. CEMENT AND CONCRETE RESEARCH.