



دانشگاه حکیم نسرواری

اولین کنفرانس بین‌المللی، پنجمین کنفرانس ملی و نمایشگاه جانبی

صنعت سیمان و افق پیش رو

ایران/تهران ۲۰-۱۹ آبان ۱۳۹۸



## ارزیابی پارامترهای مقاومتی الیاف شیشه والیاف سنتتیک در روسازی بتن غلتکی

نجمه غفاری<sup>۱</sup>، محمدرضا کرایچیان<sup>۲</sup>، مرتضی جلیلی قاضی زاده\*

۱- کارشناس ارشد راه و ترابری، موسسه آموزش عالی اقبال لاهوری

۲- کارشناس ارشد راه و ترابری، آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک اداره کل راه و شهرسازی خراسان رضوی

۳- استادیار، گروه عمران، دانشگاه صنعتی قوچان

m.jalili@qiet.ac.ir

### خلاصه

امروزه تقویت بتن غلتکی به جهت کاهش هزینه‌های تعمیر و نگهداری و افزایش طول عمر روسازی مورد توجه محققان قرار گرفته است. در این مقاله به مقایسه پارامترهای مقاومتی الیاف شیشه و الیاف سنتتیک با طول یکسان ۲۴ سانتی‌متر و درصد الیاف به مقدار ۰/۵٪ پرداخته شده است. در این تحقیق نتایج ۲۸ روزه مقاومت فشاری بر روی نمونه‌ها نشان داد که با توزیع یکنواخت الیاف، بتن غلتکی مسلح شده به الیاف سنتتیک ۲۴ میلیمتری دارای مقاومت بیشتری نسبت به بتن مسلح شده به الیاف شیشه می‌باشد. همچنین مقاومت کششی و خمشی ۲۸ روزه در نمونه‌های حاوی الیاف سنتتیک بیشترین مقدار را نتیجه می‌دهد، به نحوی که خط شکافت به صورت یک خط له شدگی بر روی نمونه مشاهده می‌شود. در تست خمش مشاهده گردید که نمونه‌ی شاهد دچار گسیختگی آنی (لحظه‌ای) می‌گردد و در نمونه‌های حاوی الیاف پدیده پل زدگی به مقدار کمی مشهود می‌باشد

**کلمات کلیدی:** بتن غلتکی، بتن مسلح شده به الیاف شیشه، بتن مسلح شده به الیاف سنتتیک



## ۱. مقدمه

بتن غلتکی مخلوطی سفت و نسبتاً خشک و متشکل از سنگدانه‌ها با اندازه حداکثر ۱۹ میلی‌متر دارای کارایی و ظاهری مشابه با مخلوط شن نمدار و یا بتن با اسلامپ صفر است [۱]. بتن در مقابل بار فشاری عملکرد نسبتاً خوبی دارد اما در برابر بارکششی عملکرد ضعیفی دارد و رفتار ترد و شکننده‌ای از خود نشان می‌دهد. از مشکلات عمده روسازی‌های بتنی می‌توان به تنش‌های خمشی ناشی از بارهای ترافیکی و تنش‌های حرارتی (تغییرات دمایی) اشاره کرد که منجر به ایجاد ترک در بتن می‌شود و می‌توان با افزودن الیاف مناسب، جمع شدگی بتن را کاهش و جذب انرژی و دوام را بهبود بخشید [۲].

در مطالعه فامیلی و همکاران خواص مکانیکی مقاومت فشاری، کششی بتن حاوی الیاف شیشه در سنین مختلف مورد بررسی قرار گرفت نسبت وزنی الیاف به سیمان ۰/۵٪ و ۱٪ و نسبت وزنی بتن به ماسه ۰/۶۷ و نسبت وزنی آب به سیمان در کلیه نمونه‌ها برابر ۰/۳۷ در نظر گرفته شد. الیاف شیشه مورد استفاده دارای قطر ۱۰۰ μm و طول ۶ mm می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش درصد الیاف، نرخ رشد مقاومت در سنین اولیه بالا و با افزایش سن بتن، نرخ رشد کمتر شده و تا حدودی اختلاف مقاومت فشاری در سن ۲۸ روزه بین بتن‌های با درصد الیاف مختلف کاهش می‌یابد [۳]. تحقیقات مختلفی نشان داده‌اند که افزودن الیاف شیشه باعث بهبود خواص مختلفی از جمله مقاومت خمشی، کششی، ضربه‌ای، طاقت و شکل‌پذیری می‌شود، با این حال، تأثیر الیاف بر مقاومت فشاری بتن همچنان مورد بحث قرار دارد [۴]. بتن‌های الیافی برخلاف بتن‌های معمولی پس از ترک خوردن مقاومت خود را از دست نداده و قادر به تحمل تغییر شکل‌ها و کرنش کششی و ارائه رفتار سخت شدگی کرنشی می‌باشد [۵]. میرزا و سروشیا تأثیر الیاف شیشه مقاوم قلیایی را بر روی ترک‌خوردگی و مقاومت حرارتی بتن سبک را بررسی کردند. آن‌ها پی بردند که الیاف شیشه باعث کاهش عرض ترک و کاهش تأثیر منفی ناشی از افزایش دما می‌شود [۶].

در بتن الیافی تنش‌ها بوسیله برش محیطی و در صورتی که رویه الیاف آجدار باشد بوسیله مقاومت چسبندگی (درون سطحی) از ماتریس به الیاف منتقل می‌شود. بنابراین مادامی که ماتریس بتن ترک نخورده است، تنش کششی بین الیاف و ماتریس تقسیم می‌شود. پس از ایجاد ترک، همه تنش به الیاف منتقل می‌شود. مهمترین متغیرهایی که بر خواص بتن با الیاف سنتتیک و شیشه اثر می‌گذارد عبارتند از خواص ماتریس بتن، بازدهی الیاف و مقدار الیاف. بازدهی الیاف بوسیله مقاومت الیاف در برابر بیرون کشیده شدن از مخلوط کنترل می‌شود این مقاومت به چسبندگی الیاف و ماتریس بستگی دارد. برای الیاف با مقطع ثابت این مقاومت با افزایش طول، افزایش می‌یابد. بنابراین هر چقدر طول الیاف بیشتر باشد، اثر آن‌ها در بهبود خواص ماتریس بیشتر خواهد شد، چون مقاومت کشیده شدن متناسب با سطح مقطع دو جسم می‌باشد [۷].

تحقیقات مختلفی نشان داده‌اند که افزودن الیاف شیشه باعث بهبود خواص مختلفی از جمله مقاومت خمشی، کششی، ضربه‌ای، طاقت و شکل‌پذیری می‌شود، با این حال، تأثیر الیاف بر مقاومت فشاری بتن همچنان مورد بحث قرار دارد با توجه به اینکه در تحقیقات گذشته کمتر به بررسی تأثیر طول الیاف بر خصوصیات روسازی بتن غلتکی پرداخته شده است؛ در این پژوهش از الیاف شیشه و الیاف سنتتیک استفاده گردید و تأثیر آن بر پارامترهای مختلف مقاومتی بتن غلتکی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

## ۲. برنامه آزمایشگاهی

در این مقاله به جهت آگاهی و شناخت بهتر مصالح سنگی آزمایش‌هایی مطابق استانداردهای موجود، انجام گرفت. سپس با استفاده از نتایج دانه‌بندی و مقدار رطوبت بهینه، طرح اختلاط نهایی تعیین گردید. پس از انجام آزمایش‌های

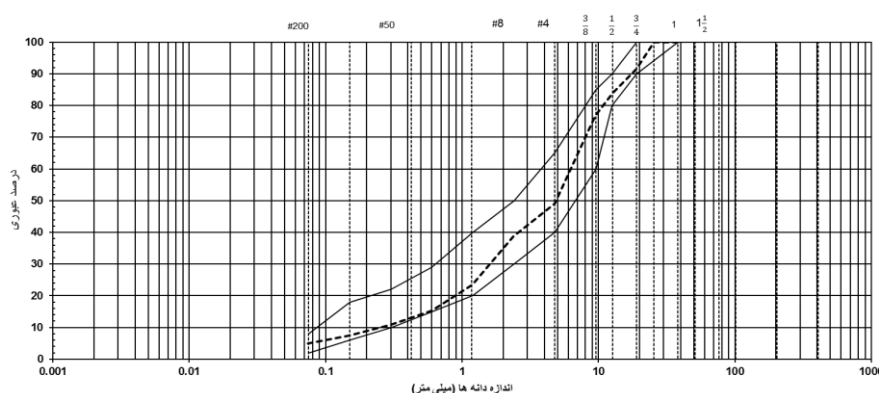


مقدماتی بر روی مصالح سنگی و دستیابی به طرح نهایی اختلاط، ۶ نمونه مکعبی ۱۵۰\*۱۵۰\*۵۰ میلی‌متر مطابق استاندارد ASTM C78 جهت آزمایش مقاومت خمشی و همچنین ۳۶ نمونه استوانه‌ای به قطر ۱۵۰ میلی‌متر و ارتفاع ۳۰۰ میلی‌متر ساخته شد. از چکش ارتعاشی ۱۱ کیلوپی رونی‌کس<sup>۱</sup> با توان ۱۸۰۰ وات و تعداد ۱۰۰۰ تا ۱۹۰۰ ضربه در دقیقه استفاده گردید. آزمایش مقاومت فشاری در سن ۷، ۱۴ و ۲۸ روزه و مقاومت کششی و خمشی در سن ۷ و ۲۸ روزه انجام گرفت.

۲-۱- معرفی مصالح

۲-۱-۱- مصالح سنگی

برای ساخت نمونه‌های مورد آزمایش از دانه‌بندی نهایی مطابق شکل (۱) استفاده شد.



شکل ۱. منحنی دانه‌بندی

۲-۱-۲- سیمان

از سیمان تپ دو استفاده شده است. سیمان مصرفی با مشخصات استاندارد ملی ایران به شماره ۳۹۸ مطابقت کامل دارد. مشخصات فیزیکی و شیمیایی سیمان در جدول (۱) ارائه شده است.

1 Ronix

جدول ۱- مشخصات فیزیکی و شیمیایی سیمان مورد استفاده

| ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی |                                | مشخصات شیمیایی<br>ترکیب شیمیایی (%) |                                |
|----------------------------|--------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|
| ۱۹                         | ۳ روزه                         | ۲۱/۴                                | SiO <sub>2</sub>               |
| ۳۴                         | ۷ روزه                         | ۴/۹۵                                | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| ۵۲/۵                       | ۲۸ روزه                        | ۳/۹۱                                | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |
| ۲/۳                        | وزن مخصوص (g/cm <sup>3</sup> ) | ۶۳/۵                                | CaO                            |
| ۲۹۰۰                       | نرمی (cm <sup>2</sup> /g)      | ۲/۶                                 | MgO                            |
| ۹۰                         | زمان گیرش اولیه (min)          | ۰/۴                                 | Na <sub>2</sub> O              |
|                            |                                | ۰/۵۵                                | K <sub>2</sub> O               |
| ۱۷۰                        | زمان گیرش نهایی (min)          | ۱/۳                                 | SO <sub>3</sub>                |
|                            |                                | ۰/۹                                 | (max)L.O.I                     |
| ۰/۱۵                       | انقباض اتوکلاو (%)             | ۰/۲۵                                | (max)L.R                       |



دانشگاه حکیم نسرواری

اولین کنفرانس بین‌المللی، پنجمین کنفرانس ملی و نمایشگاه جانبی

صنعت سیمان و افق پیش رو

ایران/تهران ۲۰-۱۹ آبان ۱۳۹۸



## ۳-۱-۲- الیاف مصرفی

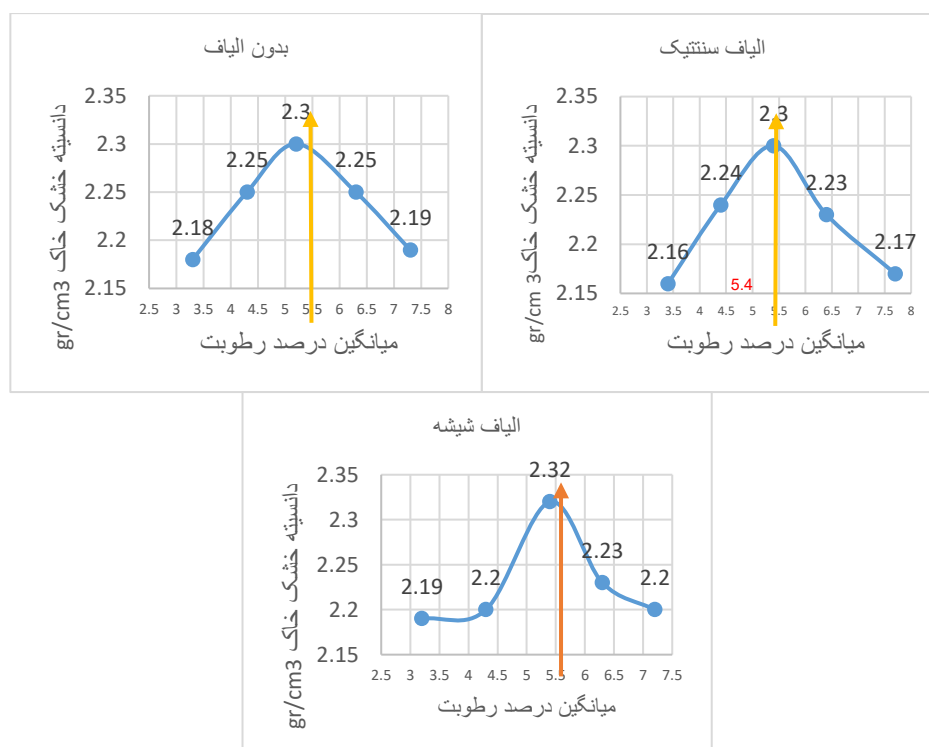
الیاف به کار گرفته شده در این پژوهش الیاف شیشه تک رشته‌ای (سوزنی) و الیاف سنتتیک با طول ۲۴ میلی‌متر تولید شرکت ایران الیاف مطابق می‌باشد. مشخصات الیاف های مورد استفاده در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۲- مشخصات الیاف مصرفی

| نوع الیاف       | قطر (mm) | طول (mm) | مقاومت کششی (MPa) | وزن مخصوص (gr/cm <sup>3</sup> ) | جذب آب (%) | مدول الاستیسیته PSI*10 <sup>3</sup> |
|-----------------|----------|----------|-------------------|---------------------------------|------------|-------------------------------------|
| سنتتیک          | ۰/۲      | ۲۴       | ۶۰۰               | ۰/۹۱                            | ۰/۰-۰/۰۲   | ۰/۵                                 |
| شیشه تک رشته‌ای | ۰/۷      | ۲۴       | ۲۰۰۰              | ۲/۶                             | ۰/۰۳       | ۱/۳-۵/۵                             |

## ۲-۲- طرح اختلاط

در این پژوهش از روش تراکم بیشینه جهت به دست آوردن مقادیر نسبت‌های اختلاط استفاده شد. برای به دست آوردن مقدار چگالی مخلوط در هر یک از درصدهای رطوبت، ۳ عدد نمونه با چکش پروکتور<sup>۱</sup> متراکم گردید. تغییرات رطوبت نیز از ۳٪ تا ۷٪ وزن مصالح سنگی خشک با اختلاف ۱٪ در نظر گرفته شد. مقدار سیمان ثابت و برابر با ۱۴٪ وزن مصالح سنگی خشک (معادل عیار ۳۵۰ کیلوگرم) انتخاب گردید. نمودار رطوبت بهینه در شکل (۲) نشان داده شده است. طبق نمودار مقدار رطوبت بهینه ۵/۳٪ تعیین گردید.



شکل ۲. منحنی تعیین رطوبت بهینه



دانشگاه حکیم بسطامی

اولین کنفرانس بین‌المللی، پنجمین کنفرانس ملی و نمایشگاه جانبی

صنعت سیمان و افق پیش رو

ایران/تهران ۲۰-۱۹ آبان ۱۳۹۸



مقادیر مصالح بکار رفته در ساخت نمونه شاهد طبق جدول (۳) می‌باشد.

جدول ۳- ترکیب مصالح طرح شاهد در یک مترمکعب بتن

| W/C  | ریزدانه ۵۵٪<br>(kg) | درشت‌دانه ۴۵٪ (kg) |        | آب (kg) | سیمان (kg) |
|------|---------------------|--------------------|--------|---------|------------|
|      |                     | نخودی              | بادامی |         |            |
| ۰/۴۴ | ۱۰۵۹/۳              | ۵۲۰/۲              | ۳۴۶/۷  | ۱۵۴     | ۳۵۰        |

#### 1-Proctor

نام‌گذاری ترکیبات به نحوی انجام شد که به‌خوبی بیان‌کننده طول الیاف و درصد الیاف مورداستفاده باشد. برای نمونه شاهد غیرمسلح از PC، نمونه مسلح شده به الیاف شیشه از A و نمونه حاوی الیاف سنتتیک از CG استفاده شده است. که در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول ۴- نام‌گذاری ترکیبات

| نام‌گذاری<br>ترکیبات | درصد مورداستفاده (%) | طول الیاف (mm) |
|----------------------|----------------------|----------------|
| Pc                   | ۰٪                   | ۰              |
| CG-۲۴.٪۰/۵           | ۰٪/۵                 | ۲۴             |
| CS-۲۴.٪۰/۵           | ۰٪/۵                 | ۲۴             |

#### ۳. ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی

ابتدا درشت‌دانه (نخودی و بادامی) به همراه یک‌چهارم آب به مدت ۲ دقیقه مخلوط می‌شود. سپس ریزدانه به مخلوط اضافه می‌گردد و به مدت ۲ دقیقه مخلوط و دو سوم سیمان به همراه یک‌دوم آب مصرفی در بتونیر اضافه می‌گردد و به مدت ۲ دقیقه مخلوط می‌شود. سپس یک‌سوم باقی‌مانده سیمان به همراه باقی‌مانده آب مصرفی در میکسر اضافه می‌گردد و به مدت ۵ دقیقه مخلوط می‌گردد. قابل به ذکر است که در انتها در ترکیبات حاوی الیاف، به‌صورت تدریجی الیاف به بتن اضافه می‌شود و به مدت ۵ دقیقه اختلاط صورت می‌گیرد تا ترکیب یکنواختی به دست آید. کل زمان اختلاط بین ۱۵ تا ۲۰ دقیقه انجام می‌شود.

#### ۴. نتایج و بحث

##### ۴-۱- بتن تازه

آزمایش وزن مخصوص بتن تازه مطابق استاندارد ASTM C138 انجام می‌گیرد. این آزمایش به جهت تعیین وزن مخصوص بتن تازه بعد از تراکم در آزمایشگاه می‌باشد. بدین صورت که نمونه بتن را در ظرفی با حجم مشخص در ۳ لایه



دانشگاه حکیم نسری

اولین کنفرانس بین‌المللی، پنجمین کنفرانس ملی و نمایشگاه جانبی

صنعت سیمان و افق پیش رو

ایران/تهران ۲۰-۱۹ آبان ۱۳۹۸



ریخته و مطابق استانداردهای مذکور بسته به نوع شرایط متراکم می‌گردد. مقدار وزن مخصوص بتن تازه از رابطه (۱) به دست می‌آید و در جدول (۵) ارائه شده است.

$$X = (W_1 - W_0) / V$$

(۱)

$W_1$  = وزن پیمان به همراه بتن بر حسب کیلوگرم

$W_0$  = وزن پیمان بر حسب کیلوگرم

$V$  = حجم پیمان بر حسب مترمکعب

$X$  = وزن مخصوص بتن تازه بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب

#### جدول ۵- نتایج وزن مخصوص بتن تازه

| نوع نمونه  | ترکیب | میانگین وزن مخصوص بتن تازه $g/cm^3$ |
|------------|-------|-------------------------------------|
| مکعبی      | pc    | ۲/۴۲۳                               |
|            | CS-24 | ۲/۴۲۱                               |
|            | CG-24 | ۲/۴۲۴                               |
| استوانه‌ای | pc    | ۲/۴۲۲                               |
|            | CS-24 | ۲/۴۲۱                               |
|            | CG-24 | ۲/۴۲۳                               |

همان‌طور که مشاهده می‌شود، با توجه به وزن مخصوص کمتر الیاف، الیاف حجم بیشتری را اشغال کرده و منجر به سبک‌تر شدن ناچیز بتن می‌شود. تغییر وزن نمونه‌ها می‌تواند ناشی از تراکم بهتر و فضای خالی کمتر در این طول باشد.

#### ۲-۴- بتن سخت شده

۲-۴-۱- آزمایش مقاومت فشاری بر اساس استاندارد ۳۲۰۶ استاندارد ملی ایران

در این استاندارد می‌توان آزمون استوانه‌ای یا مکعبی بکار برد. آزمون استوانه‌ای استاندارد به قطر ۱۵۰ و ارتفاع ۳۰۰ میلی‌متر و آزمون مکعبی استاندارد دارای اضلاع ۱۵۰ میلی‌متری می‌باشد. تهیه نمونه‌ها منطبق بر ضوابط ۳۲۰۲ ملی ایران انجام می‌گیرد [۸، ۹]. در این مطالعه از جک نیمه‌خودکار با ظرفیت ۳۰۰ تن آزمایشگاه مکانیک خاک مشهد استفاده گردید. در آزمایش آزمون‌های استوانه‌ای یا مکعبی، سطح صفحه‌های بارگذاری ترجیحاً باید بزرگ‌تر یا حداقل مساوی سطح باربر آزمون‌ها باشد. در صورت استفاده از صفحات کمکی حداقل ضخامت آن‌ها باید ۲۵ میلی‌متر بوده و عملکردی مشابه صفحات اصلی دستگاه داشته باشد. این صفحات در زیر و یا روی آزمون قرار می‌گیرد.

نمونه‌های فشاری عمل‌آوری شده را با توجه به سن مورد نظراز وان آب‌آهک اشباع‌شده خارج می‌گردد و پس از خشک شدن سطح، نمونه تحت آزمایش قرار می‌گیرد. نیرو باید به‌طور یکنواخت و ممتد و بدون ضربه اعمال شود [۸]. تنش



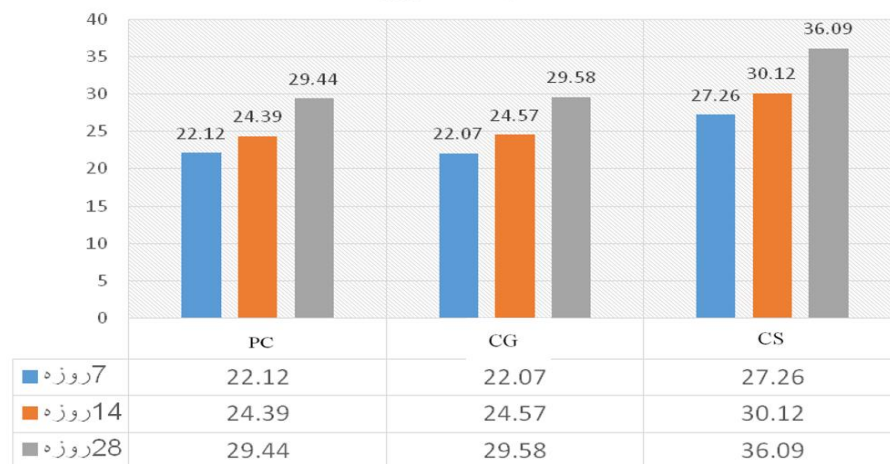
وارد بر نمونه‌های فشاری با نرخ ۶۸۰ کیلو پاسکال در ثانیه اعمال شد. نتایج آزمایش مقاومت فشاری در جدول (۶) ارائه شده است.

جدول ۶. نتایج مقاومت فشاری

| درصد تغییرات مقاومت نسبت به شاهد |         |        | مقاومت فشاری (MPa) |         |        | ترکیب  |
|----------------------------------|---------|--------|--------------------|---------|--------|--------|
| ۲۸ روزه                          | ۱۴ روزه | ۷ روزه | ۲۸ روزه            | ۱۴ روزه | ۷ روزه |        |
| ---                              | ---     | ---    | ۲۹/۴۴              | ۲۴/۳۹   | ۲۲/۱۲  | PC1    |
|                                  |         |        |                    |         |        | PC2    |
|                                  |         |        |                    |         |        | PC3    |
| ۰/۴۷                             | ۰/۸۲    | -۰/۲۲  | ۲۹/۵۸              | ۲۴/۵۷   | ۲۲/۰۷  | CG1-24 |
|                                  |         |        |                    |         |        | CG2-24 |
|                                  |         |        |                    |         |        | CG3-24 |
| ۲۵/۳                             | ۲۳/۴۹   | ۲۳/۲   | ۳۶/۰۹              | ۳۰/۱۲   | ۲۷/۲۶  | CS1-24 |
|                                  |         |        |                    |         |        | CS2-24 |
|                                  |         |        |                    |         |        | CS3-24 |

با توجه به جدول (۶) می‌توان نتیجه گرفت که به‌طور کلی افزودن الیاف شیشه با طول ۲۴ میلی‌متر در سن ۷ روزه نسبت به بتن شاهد به میزان ۰/۲۲ - کاهش مقاومت داشته و در سن ۱۴ و ۲۸ روز افزایش مقاومت ۰/۴۷ تا ۰/۸۲ درصدی نسبت به نمونه شاهد را داشته است. همچنین در نمونه‌های حاوی الیاف سنتتیک با طول ۲۴ میلی‌متر افزایش مقاومت نسبت به بتن شاهد به میزان ۲۳/۲ الی ۲۵/۳ درصد را داشته است. مشاهده نحوه شکست نمونه‌ها نشان داد که نمونه فاقد الیاف دارای شکست cone (شکست مخروطی) می‌باشد و نمونه حاوی الیاف شیشه دارای شکست shear می‌باشد. همچنین مشاهده می‌گردد با تغییر الیاف، ریزترک‌هایی به هنگام گسیختگی ایجاد گردید زیرا پیوستگی بین الیاف و بتن بیشتر گردیده و مانع متلاشی شدن بتن می‌شود. به منظور بررسی سطح داخلی نمونه توسط چکش متلاشی گردید. شکل (۳) روند مقاومت فشاری در نمونه‌ها با دو طول متفاوت را نشان می‌دهد.

مقاومت فشاری



شکل ۳. روند تغییرات مقاومت فشاری





## ASTM C496-90 استاندارد بر اساس

۴-۲-۲-آزمایش مقاومت کششی به روش دو نیم شدن بر اساس استاندارد ASTM C496-90 در این آزمایش با اعمال نیروی فشاری قطری روی نمونه استوانه‌ای با ابعاد ۱۵۰\*۳۰۰ میلی‌متر در سن ۲۸ روزه که به صورت افقی بین دو صفحه دستگاه آزمایش قرار گرفته، مقاومت کششی به روش دونیم شدن تعیین می‌گردد [۱۰]. نمونه‌های مورد آزمایش باید از نظر قالب‌گیری و نگهداری و اندازه، مطابق با استاندارد ASTM C192 باشد. قطر و ارتفاع نمونه‌ها اندازه‌گیری و تا زمان انجام آزمایش تا حد امکان مرطوب نگهداری شود و سپس در محفظه کششی قرار داده می‌شود. بارگذاری به‌طور یکنواخت با سرعتی در محدوده ۶۸۹ تا ۱۳۸۰ کیلو پاسکال بر دقیقه تا هنگام گسیختگی نمونه اعمال می‌شود و بیشترین بار اعمال‌شده در زمان گسیختگی ثبت می‌گردد. سپس مقاومت کششی دونیم شدن نمونه با استفاده از رابطه (۲) محاسبه می‌گردد.

$$T = \frac{2p}{\pi ld} \quad (2)$$

$p$  = بیشترین بار اعمال‌شده بر حسب (kN)

$d$  = قطر نمونه بر حسب (cm)

$l$  = طول نمونه بر حسب (cm)

$T$  = مقاومت کششی دونیم شدن بر حسب (kPa)

همانطور که مشاهده می‌گردد در نمونه فاقد الیاف بعد از بارگذاری جداشدگی در نمونه قابل رویت می‌باشد و عمق و عرض ترک در این نمونه بیشتر از نمونه حاوی الیاف می‌باشد. در نمونه حاوی الیاف شیشه ریز ترک‌هایی روی سطح نمونه ظاهر گردید که بیانگر آن است که نمونه در مقابل ترک از خود عکس العمل نشان داده است تا عرض ترک در هنگام دو نیمه شدن کاهش یابد. همچنین در نمونه حاوی الیاف سنتتیک ترک به صورت ناچیز دیده شد، لازم به ذکر است که بعد از شکست نمونه توسط چکش برای بررسی سطح داخلی متلاشی گردید.

در جدول (۷) نتایج مربوط به مقاومت کششی ارائه شده است.

جدول ۷- نتایج مربوط به مقاومت کششی

| درصد تغییرات مقاومت نسبت به شاهد |        | مقاومت کششی (MPa) |        | ترکیب  |
|----------------------------------|--------|-------------------|--------|--------|
| ۲۸ روزه                          | ۷ روزه | ۲۸ روزه           | ۷ روزه |        |
| --                               | --     | ۲/۹۵              | ۲/۰۷   | PC1    |
|                                  |        |                   |        | PC2    |
|                                  |        |                   |        | PC3    |
| ۱/۰۱                             | ۴/۸۳   | ۲/۹۸              | ۲/۱۷   | CG1-24 |
|                                  |        |                   |        | CG2-24 |
|                                  |        |                   |        | CG3-24 |
| ۲۳/۷۳                            | ۴۵/۴۱  | ۳/۶۵              | ۳/۰۱   | CS1-24 |
|                                  |        |                   |        | CS2-24 |
|                                  |        |                   |        | CS3-24 |





دانشگاه حکیم نسری

اولین کنفرانس بین‌المللی، پنجمین کنفرانس ملی و نمایشگاه جانبی

صنعت سیمان و افق پیش رو

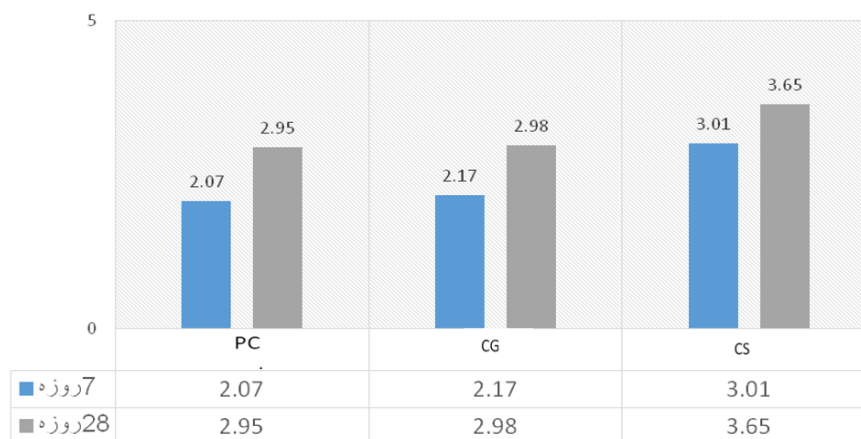
ایران/تهران ۲۰-۱۹ آبان ۱۳۹۸



با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان گفت که با تغییر نوع الیاف از الیاف شیشه به الیاف سنتتیک، مقاومت کششی

نسبت به بتن شاهد و همچنین نسبت به بتن حاوی الیاف شیشه افزایش می‌یابد. علت عدم افزایش مقاومت کششی در الیاف شیشه را می‌توان ناشی از ضخامت کم الیاف شیشه رشته ای و توزیع و جهت قرارگیری الیاف در راستای شکاف دانست. روند تغییرات مقاومت کششی در شکل (۴) ارائه شده است.

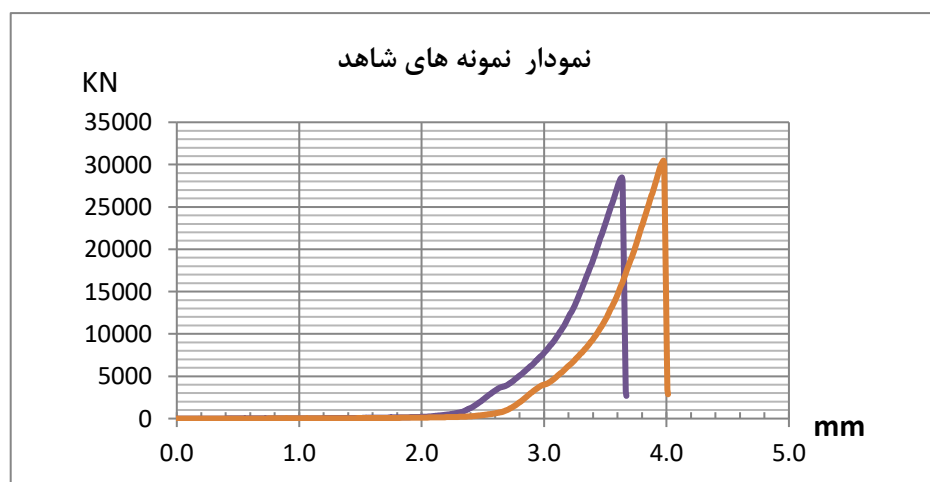
مقاومت کششی



شکل ۴. روند تغییرات مقاومت کششی

۳-۲-۴- آزمایش مقاومت خمشی منطبق بر استاندارد شماره ASTM C78

بر اساس استاندارد می‌توان عرض و عمق نمونه را برابر با ۱۵۰ میلی‌متر و طول نمونه را در صورتی که حداکثر اندازه‌ی سنگ‌دانه بزرگ‌تر از ۱۹ میلی‌متر نباشد، ۵۰۰ میلی‌متر در نظر گرفت. نحوه آزمایش بدین صورت است که نمونه به صورت پیوسته و بدون شوک تا نقطه شکست با نرخ ثابت بارگذاری ۴۰۰ کیلوگرم بر دقیقه و نرخ افزایش تنش  $0.4 \pm 0.6$  نیوتن بر میلی‌مترمورد آزمایش قرار می‌گیرد [۱۱]. این آزمایش تحت نرخ افزایش تنش  $0.4$  با دستگاه zwick roell group مطابق استاندارد شماره ASTM C78 انجام گرفت. در شکل (۵) نمودار نیرو-جابجایی نمونه فاقد الیاف ارائه شده است.



شکل ۵- نمودار نیرو-جابجایی نمونه فاقد الیاف



دانشگاه حکیم نسرواری

اولین کنفرانس بین‌المللی، پنجمین کنفرانس ملی و نمایشگاه جانبی

صنعت سیمان و افق پیش رو

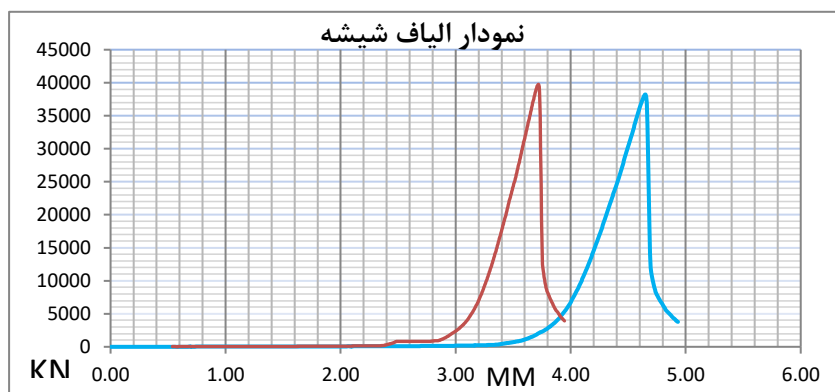
ایران/تهران ۲۰-۱۹ آبان ۱۳۹۸



با مشاهده نمودارهای نیرو جابه‌جایی درمی‌یابیم که نمونه‌های فاقد الیاف در یک سوم اول ناحیه الاستیسیته، مدول

الاستیسیته ای تقریباً برابر با یک دارند و در یک سوم دوم همان‌طور که در شکل دیده می‌شود با افزایش شیب مدول الاستیسیته افزایش یافته است. بالاترین نقطه در نمودار مقاومت نهایی نمونه را نشان می‌دهد. در نمونه PC1 مدت‌زمان بیشتری طول می‌کشد که به  $F_{max}$  برسد به عبارتی جابه‌جایی بیشتری رخ داده است. در ناحیه الاستیسیته شاهد ۲ مرحله (Step) بوده‌ایم که مرحله اول ناحیه الاستیسیته، شاهد شیب ملایم ۴۵ درجه می‌باشیم و پس از جابه‌جایی بسیار کوچکی در حدود ۰/۱ میلی‌متر دوباره ناحیه الاستیسیته با شیب خط بیشتری شروع شده است و تا  $F_{max}$  ادامه پیدا کرده است. در این نمونه‌ها به دلیل عدم وجود الیاف گسیختگی نمونه به صورت آبی اتفاق می‌افتد.

در شکل (۶) نمودار نیرو- جابه‌جایی نمونه‌های دارای الیاف شیشه و همچنین در شکل (۷) نحوه گسیختگی نمونه‌ها ارائه شده است.



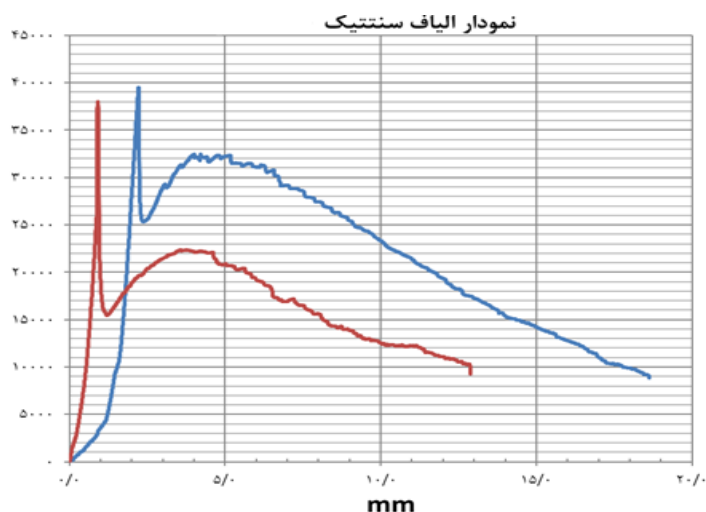
شکل ۶- نمودار نیرو-جابه‌جایی نمونه دارای الیاف شیشه



شکل ۷. نحوه ترک خوردگی نمونه حاوی الیاف شیشه



در شکل (۸) نمودار نیرو- جابه‌جایی نمونه‌های دارای الیاف سنتتیک و همچنین در شکل (۹) نحوه گسیختگی نمونه ها ارائه شده است.



شکل ۸. نمودار نیرو- جابه‌جایی نمونه‌های دارای الیاف سنتتیک



شکل ۹. نحوه ترک خوردگی نمونه حاوی الیاف سنتتیک

در این نمونه‌ها نیز مشاهده می‌گردد که نمونه در ناحیه پلاستیک پس از اینکه نیرو به میزان  $F_{max} / 80\%$  کاهش پیدا کرده است شاهد کشیدگی اندکی در انتهای نمودار می‌باشیم که نشان‌دهنده آن است که بتن الیافی در ناحیه پلاستیک مقاومت بیشتری از خود نشان داده است و کمی جابه‌جایی در ناحیه پلاستیک دارد و بتن کمی شکل پذیر تر است. همانطور که مشاهده می‌گردد با محدود و کنترل ترک ها، نمونه ها به طور کامل به تکه های مجزا تبدیل نمی شوند.



### ۱-۳-۲-۴- محاسبه مقاومت خمشی

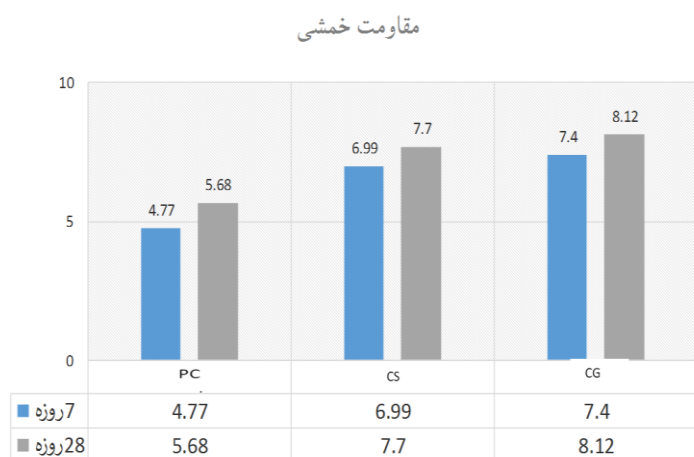
رابطه (۳) برای تخمین مقاومت خمشی استفاده می‌گردد:

$$MR = \frac{3pl}{2bd^2} \quad (3)$$

که در آن  $MR$  مقاومت خمشی،  $p$  بار اعمالی،  $l$  طول دهانه،  $b$  عرض میانگین نمونه،  $d$  عمق میانگین نمونه می‌باشد. نتایج مقاومت خمشی در جدول (۸) ارائه شده است. همچنین روند مقاومت خمشی در شکل (۱۰) ارائه گردید.

جدول ۸- نتایج مقاومت خمشی

| درصد تغییرات مقاومت نسبت به شاهد |        | مقاومت خمشی (MPa) |        | ترکیب |
|----------------------------------|--------|-------------------|--------|-------|
| ۲۸ روزه                          | ۷ روزه | ۲۸ روزه           | ۷ روزه |       |
| --                               | --     | ۵/۶۸              | ۴/۷۷   | PC    |
|                                  |        |                   |        | PC    |
| ۳۵/۵۶                            | ۴۶/۵۴  | ۷/۷               | ۶/۹۹   | CG-۲۴ |
|                                  |        |                   |        | CG-۲۴ |
| ۴۲/۹۵                            | ۵۵/۱۳  | ۸/۱۲              | ۷/۴۰   | CS-۲۴ |
|                                  |        |                   |        | CS-۲۴ |



شکل ۱۰. روند تغییرات مقاومت خمشی



## ۵. نتیجه‌گیری

یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که:

۱. وزن مخصوص بتن تازه با افزودن الیاف به مقدار ناچیز کاهش پیدا می‌کند.
۲. الیاف با پل زدن و ایجاد پیوستگی بیشتر بین مصالح سنگی، گسیختگی بتن را به مقدار قابل توجهی به تعویق انداخته و بتن حالت خمیری‌تری پیدا می‌کند و دچار گسیختگی آنی نمی‌گردد.
۳. افزودن الیاف سنتتیک منجر به افزایش مقاومت فشاری نسبت به نمونه شاهد می‌شود.
۴. بر اساس نتایج ۲۸ روزه مقاومت فشاری نمونه بتن غلتکی با افزودن الیاف سنتتیک افزایش بیشتری نسبت به همان میزان درصد الیاف شیشه دارد.
۵. براساس نتایج مقاومت کششی ۲۸ روزه نمونه غلتکی با افزودن الیاف سنتتیک نسبت به نمونه های دیگر دارای بیشترین مقدار است. به نحوی که خط شکافت به صورت یک خط له شدگی بر روی نمونه مشاهده می‌شود.
۶. بر اساس نتایج مقاومت خمشی ۲۸ روزه بتن غلتکی ساخته شده با الیاف سنتتیک مقاومت خمشی بیشتری نسبت به سایر نمونه های تولید شده دارد.
۷. نتایج آزمایش مقاومت کششی نشان می‌دهد که افزودن الیاف شیشه تاثیر قابل توجهی بر افزایش مقاومت کششی ندارد و این در حالی است که تفاوت معنی داری میان نمونه‌های شاهد و نمونه‌های با الیاف شیشه ملاحظه نمی‌شود. که با توجه به اینکه بتن ماده ناهمگن است و نمی‌توان به‌طور دقیق تشخیص داد که نقاط مختلف نمونه‌ها چگونه ساختاری دارند، علت این پدیده می‌تواند ناشی از توزیع و جهت قرارگیری الیاف در راستای شکاف و یا نحوه تراکم نمونه دانست.
۸. با مقایسه کلی از نمودارهای نیرو - جابجایی می‌توان نتیجه گرفت که نمونه‌های فاقد الیاف دچار گسیختگی آنی (لحظه‌ای) می‌گردد و در نمونه‌های حاوی الیاف سنتتیک پدیده پل زدگی به مقدار کمی مشهود می‌باشد و نمونه نسبت به بتن شاهد و بتن حاوی الیاف شیشه مقداری شکل‌پذیرتر است و با محدود و کنترل کردن ترک‌ها، مدت‌زمان لازم جهت رسیدن به حداکثر بار افزایش می‌یابد و موجب می‌شود نمونه‌ها به‌طور کامل به تکه‌های مجزا تبدیل نگردد.



دانشگاه حکیم بسطامی

اولین کنفرانس بین‌المللی، پنجمین کنفرانس ملی و نمایشگاه جانبی

صنعت سیمان و افق پیش رو

ایران/تهران ۲۰-۱۹ آبان ۱۳۹۸



## ۶. مراجع

۱. معاونت نظارت راهبردی وزارت راه و ترابری (۱۳۸۸): راهنمای طراحی و اجرای بتن غلتکی در روسازی راه‌های کشور؛ نشریه

شماره ۳۵۴

۲. استیون اچ. کسماتکا؛ ویلیام سی. پانارس (۱۳۸۸)، "طراحی و کنترل مخلوط‌های بتن"، ترجمه علیرضا خالو و محمود

ایرجیان، موسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف

۳. فامیلی هرمز و همکاران (۱۳۸۹)، "بررسی خواص مکانیکی و الکتریکی بتن حاوی الیاف شیشه"، دومین کنفرانس ملی

بتن ایران.

4. Jiang, C., Fan, K., Wu, F. Chen, D., (2014). " Experimental study on the mechanical properties and microstructure of chopped basalt fibre reinforced concrete.

5. Li, V.C, Wang, Sh., (2001), "Tensile Strain Hardening of PVECC", ACI material journal.

6. Mirza, F.A., Soroushian, P., (2002), "Effects of alkali-resistant glass fiber reinforcement on crack and temperature resistance of lightweight concrete".

7. Abrams, J. M. and J. L. Jacksha (1987). "An Airport Apron and a County Road." Concrete International: Design & Construction, V. 9, No. 2, PP. 30-36, Feb., 1991.

۸. استاندارد ملی ایران ۳۲۰۶، "تعیین مقاومت فشاری آزمون‌ها"، موسسه استاندارد و تحقیقات ایران

۹. استاندارد ملی ایران ۳۲۰۲، "ابعاد، رو اداری و قابلیت کاربرد نمونه‌های آزمایشی بتن"، موسسه استاندارد و تحقیقات

صنعتی ایران

10. Annual Book of ASTM Standards (2010), Concrete & Aggregates, Volume 04.02

11. ASTM C78 (2015) , "Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading) "