



تاریخ برگزاری  
۱۴۰۱/۱۰/۳۰

دومین همایش ملی مهندسی عمران و معماری

2<sup>ND</sup>

NATIONAL CONFERENCE OF CIVIL AND ARCHITECTURAL ENGINEERING

## انواع بتن های حاوی الیاف و خواص بتن های حاوی الیاف پلی پروپیلن

سمیرا سلطانیلو

دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران (مدیریت ساخت)، دانشگاه آل طه

سمیرا سلطانیلو، s.anesthetist@gmail.com

### چکیده

الیاف پلی پروپیلن یا الیاف PP یکی از الیاف جدید شیمیایی است. پلی پروپیلن‌ها در دنیا به مقدار زیادی تولید می‌شوند و بعد از پلی استرها، پلی آمیدها و آکریلیک‌ها در رتبه چهارم از نظر تولید قرار دارند. میزان تولید الیاف پلی پروپیلن در دنیا در حدود ۴ میلیون الیاف در سال است. این الیاف برای اولین بار توسط هیئت مهندسی آمریکا (US Corps of Engineers) در سال ۱۹۶۵ برای ساخت بتن مقاوم به انفجار، مورد استفاده قرار گرفت. این الیاف به مرور مورد استفاده بیشتر قرار گرفت؛ تا جایی که امروزه از این الیاف چاپ شده در بتن، برای مسلح سازی آن مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده از این الیاف در بتن موجب افزایش مقاومت کششی، افزایش مقاومت خمشی، افزایش سفتی، افزایش مقاومت در برابر ضربه و بهبود مود گسیختگی بتن می‌شود.

واژه‌های کلیدی: الیاف، بتن، الیاف پلی پروپیلن، بتن حاوی پلی پروپیلن

### ۱- مقدمه

امروزه بتن به عنوان یکی از پرمصرفترین مصالح جهان و به عنوان ماده ساختمانی قرن بیست و یکم شناخته شده است. ساخت این ماده مرکب با استفاده از ارزانترین و در دسترس ترین مواد ساده از یک سو، انعطاف پذیری، خواص مقاومتی و دوام آن و از سوی دیگر استفاده از موادی در ساخت آن که به پاکسازی و کاهش آلودگی محیط زیست کمک می نماید موجب آن شده است که بتن به عنوان مصالح ممتاز مطرح شود [۱]. بتن ماده ای است که دارای مقاومت زیاد در فشار بوده و از این رو استفاده از آن برای قطعات تحت فشار مانند ستونها و قوسها بسیار مناسب است. لیکن علیرغم مقاومت فشاری قابل توجه، مقاومت کششی کم و شکنندگی نسبتاً زیاد بتن استفاده از آن را برای قطعاتی که تماماً یا به طور موضعی تحت کشش هستند را محدود مینماید [۲]. این عیب اساسی بتن در عمل با مسلح کردن آن با استقرار آرماتورهای فولادی در جهت نیروهای کششی برطرف می گردد. شایان ذکر است که در موارد متعددی جهت این نیروهای کششی به طور دقیق معلوم نیست. همچنین با توجه به اینکه آرماتور بخش کوچکی از مقطع را تشکیل می دهد، تصور اینکه مقطع بتن یک مقطع همگن و ایزوتروپ باشد صحیح نخواهد بود. به منظور ایجاد شرایط ایزوتروپی و کاهش ضعف شکنندگی و تردی بتن تا حد ممکن در چند دهه اخیر استفاده از الیاف نازک و نسبتاً طویل که در تمام حجم بتن پراکنده می شود متداول شده است [۳].

مساله دیگری که اخیراً مورد توجه دانشمندان علم بتن قرار گرفته است استفاده از نانو مواد در بتن بوده است. محققان با آزمایشات مختلف به این نتیجه رسیدند که مشخصات بتن حاوی نانو مواد در مقایسه با بتن معمولی تحت تاثیر واکنش های



تاریخ برگزاری  
۱۴۰۱/۱۰/۳۰

# دوین همایش ملی مهندسی عمران و معماری

2<sup>ND</sup> NATIONAL CONFERENCE OF CIVIL AND ARCHITECTURAL ENGINEERING

شیمیایی نانو مواد با ذرات سیمان و بلورهای هیدروکسید کلسیم موجود در سیمان، عملکرد ماده مرکب بتنی را به شدت تحت تأثیر قرار می-دهد [۴].

## ۲- معرفی بتن الیافی

تعریف: طبق تعریف ACI 544.1R-82، بتن ساخته شده از سیمان هیدرولیکی، آب، شن، ماسه و الیاف، بتن مسلح با الیاف یا بتن الیافی نامیده می شود. در بتن الیافی مانند بتن معمولی می توان از پوزولانها و دیگر مواد مضاعف استفاده کرد. الیاف در شکلها و اندازه های متفاوت، و از جنس فولاد، مواد پلیمری، شیشه و مواد طبیعی مورد استفاده قرار می گیرد [۵].

آیین نامه های معتبر بتن الیافی: علاوه بر مطالعات و پژوهشهایی که بصورت مقالات معتبر در مجلات و یا کنفرانسها ارائه گردیده است. آیین نامه های بتن نیز بخشی از قسمتهای خود را به بتن الیافی اختصاص داده اند. از جمله این آیین نامه ها، آیین نامه ACI (انجمن بتن آمریکا) می باشد که با معرفی کمیته ای جداگانه به نام ACI-544 به بررسی مسائل بتن الیافی پرداخته است. این کمیته اولین گزارش را در سال ۱۹۷۳ ارائه نمود و تاکنون این کمیته با چهار گزارش کلی کار خود را افزایش داده است. گزارش های این کمیته با نامهای فرعی 1R, 2R, 3R و 4R نامیده می شوند.

در گزارش ACI,544-1R اطلاعات کاملی از انواع الیاف و خواص آنها و تاثیر آنها بر روی خواص مکانیکی بتن به علاوه آزمایش اندازه گیری طاقبت بتن الیافی آمده است. در اصل این گزارش بیشتر به شناسایی انواع الیاف قابل کاربرد در بتن پرداخته و آنها را مقایسه کرده است [۶].

در گزارش ACI,544-2R طریقه انجام آزمایشات و استانداردهای لازم آورده شده است و در مواردی همانند آزمایش ضربه و ... حتی طریقه ساخت دستگاه آزمایش نیز توضیح داده شده است [۷].

در گزارش ACI,544-3R در مورد طرح اختلاط و مصالح مناسب برای بتن الیافی توضیح داده شده است. در این گزارش روشی برای طرح اختلاط آورده نشده بلکه دو طرح اختلاط مثال زده شده و پیشنهاداتی برای بهتر شدن خواص بتن الیافی آورده شده است. به عنوان مثال هر چه سنگدانه ها در بتن الیافی کوچکتر باشند نقش الیاف در بتن اثرگذارتر خواهد بود و یا اینکه پیشنهاد گردیده که در بتن الیافی در صورت امکان از سیمان بیشتری استفاده گردد [۸].

در گزارش ACI,544-4R به روشهای طراحی با الیاف فولادی پرداخته شده است. البته نتایج این طراحی ها هنوز در ACI-318 وارد نگردیده است [۹].

از آیین نامه های دیگر، آیین نامه JSCE ژاپن می باشد که روش اندازه گیری طاقبت بتن الیافی که توسط این آیین نامه ارائه گردیده از اهمیت بالایی نزد محققین برخوردار است. در ضمن آیین نامه RILEM در اروپا نیز گزارشهایی در مورد بتن الیافی منتشر کرده است [۱۰].

## ۳- کاربردهای بتن الیافی

بتن مسلح به الیاف را می توان به تنهایی و یا به همراه بتن مسلح معمولی بکار برد. در مواردی که می توان بتن الیافی را به تنهایی بکار گرفت، عبارتند از:

- کف کارخانه ها، توقفگاهها، جایگاههای بنزین و سالنهای صنعتی
- روسازی بتنی بزرگراهها، جاده ها و فرودگاهها
- سازه های ضد انفجار و ضد حریق
- دیواره ها و کف کانالها



تاریخ برگزاری  
۱۴۰۱/۱۰/۳۰

# دوین همایش ملی مهندسی عمران و معماری

2<sup>ND</sup> NATIONAL CONFERENCE OF CIVIL AND ARCHITECTURAL ENGINEERING

- قطعات پیش ساخته
- در دیگر مواردی که می توان بتن مسلح معمولی و یا بتن پیش ساخته به کار برد:
- شالوده برای موتورها و ماشین آلات بزرگ، پرس های بزرگ، ژنراتورهای دیزلی
- قطعات مربوط به تونل سازی و حفاری معادن
- دیوارهای حفاظتی، پناهگاهها
- تیر های پیش تنیده بتنی شمع های ضربه گیر

کاربردهای مهم بتن الیافی عبارتند از [۱۱]:

بتن پرتابی (شاتکریت)

یکی از کاربردهای مهم الیاف در بتن پاشی است، بتن پاشی معمولاً برای اجرای لایه های نازک مناسب است. به طور کلی بتن پاشی به دو روش خشک و تر قابل اجراست. در روش خشک پس از اختلاط مصالح خشک، در حین عبور افشانک آب مورد نیاز اضافه می گردد. در روش تر، مخلوط به طور کامل ساخته می شود و سپس در محفظه پمپ دستگاه بتن پاش قرار می گیرد و از طریق لوله به افشانک انتقال می یابد. در عمده شاتکریت های بتن الیافی از روش خشک استفاده به عمل می آید. از روش تر نیز می توان استفاده کرد، با این وجود توجه بیشتری جهت توزیع الیاف باید به عمل آید. بیشترین استفاده از بتن پاشی با الیاف در نگهداری زیرزمینها، بویژه دیواره تونلها و معادن، سازه های پوسته ای و تعمیرات سازه های دریایی و کانالهای آب می باشد [۱۲، ۱۳].

دالهای روی بستر

دالهای روی بستر حاوی الیاف جهت جلوگیری از شکستهای ناشی از بارهای دینامیکی و متمرکز و ترکهای ناشی از بار و غیر آن (مانند حرارت و جمع شدگی) در کف سالنهای صنعتی مورد استفاده قرار می گیرند و جایگزین دالهای مسلح به آرماتور در اکثر موارد می شوند. این دالها در روسازی جاده ها، پیاده روها، فرودگاهها و بویژه سالنهای صنعتی مورد استفاده قرار می-گیرند. با استفاده از این نوع بتن (بتن الیافی) روسازی فرودگاهها را می توان ۲۵ تا ۴۰ درصد نازکتر از بتن غیر مسلح و با فاصله درزهای اجرایی بیشتر، اجرا کرد.

خستگی خمشی عامل مهمی است که بر عملکرد روسازی اثر می گذارد. اطلاعات موجود نشان می دهد که الیاف، مقاومت بتن را بطور موضعی و کلی در برابر خستگی به نحو قابل ملاحظه ای افزایش میدهند [۱۲].

صنایع نظامی

از بتن مسلح به الیاف در برخی از کشورها در صنایع نظامی استفاده گسترده به عمل می آید. کاربردهای سازه ای آن استفاده از الیاف با و یا بدون تسلیح توسط آرماتورهای معمولی است که در قطعات دالها، دیوارها، کف، تیرها و ستونها انجام می گیرد. نتایج آزمایشها نشان داده است که این گونه قطعات در مقابل انفجار، پخش شدگی و پراکندگی بسیار کمتری در مقایسه با دالهای غیرمسلح به آرماتورهای معمولی ایجاد می کنند [۱۲].

کف سالنهای صنعتی



به علت خاصیت الیاف در افزایش مقاومت ضربه ای، بتن الیاف دار نسبت به بتن معمولی (حدود ۵ تا ۱۰ برابر)، توجه عمده ای در ساخت کف سالنهای صنعتی به الیاف معطوف است زیرا تخریب سریع سالنهای صنعتی، بر اثر بارهای دینامیکی و ضربه ماشین آلات و قطعات سنگین، بزرگترین مشکل در این گونه سازه ها به شمار می رود. افزایش مقاومت ضربه ای، مقاومت بیشتری را در مقابل تورق و هوازگی بتن به وجود می آورد [۱۱].

#### ۴- مزایا و معایب بتن الیافی

الیافی که به طور تصادفی در سرتاسر بتن پخش شده اند می توانند ترکها و افت های حاصل از جمع شدگی پلاستیک را بطور همزمان کنترل کنند. این مواد ترکیبی (بتن الیافی) مقاومت و ظرفیت جذب انرژی بالایی دارند. به طور کلی الیاف نمی توانند جایگزین خوبی برای آرماتورهای مرسوم مورد استفاده در سازه های باربر همانند تیرها و ستونها باشند. الیاف و آرماتور هر کدام نقش خود را در تکنولوژی بتن دارند و نمی توانند جایگزین یکدیگر شوند ولی می توانند در جاهای زیادی با یکدیگر مورد استفاده قرار بگیرند. هر چند در تنشهای کششی بزرگ الیاف در مقایسه با آرماتورهای فولادی کارآمد نیستند ولی الیاف در کنترل ترکها و جمع شدگی بتن بهتر عمل می کنند. در نتیجه آرماتورهای متداول برای ظرفیت باربری عضو بتنی استفاده می شوند ولی الیاف در کنترل ترکها بسیار موثر هستند [۱۱].

به علت این تفاوتها کاربردهای بخصوصی برای الیاف وجود دارد که آنها را از آرماتورهای معمول متمایز کرده است که عبارتند از:

- الیاف نقش مسلح کننده اولیه را بازی می کنند کاری که آرماتورهای فولادی نمی توانند انجام دهند. تراکم الیاف در سازه های پوسته ای نازک معمولا می تواند به میزان حداکثر ۵ درصد حجمی افزایش یابد که این امر موجب افزایش چشمگیری در طاقت و مقاومت ملات و بتن می شود.

- الیاف در سازه هایی که بار یا تغییر شکلهای زیادی را به صورت موضعی تحمل می کنند مثل شمع-های پیش ساخته، دیوارهای پیش ساخته، سازه های مقاوم در برابر انفجار و در تونلها می توانند مورد استفاده قرار بگیرند.
- الیاف در کنترل ترکهایی که بر اثر دما و رطوبت به وجود می آیند از قبیل روسازی راهها و دالها کاربرد دارند.
- استفاده از آرماتورهای فولادی و شبکه های سیمی مستلزم مصرف هزینه های غیر ضروری جهت نیروی انسانی و مصالح می گردد. با جایگزین کردن توزیع پخش تصادفی الیاف کوتاه جهت مسلح کردن بتن، هزینه های نیروی انسانی و مصالح به طور قابل توجهی کاهش می یابد.

- الیاف تغییر شکلهای حاصل از افت پلاستیک و خستگی را کاهش می دهند.
- به طور کلی الیاف یک مسلح کننده موثر برای کنترل عرض ترکها و افت حاصل از جمع شدگی می باشند و زمانی که ترکهای ریز توسط الیاف کنترل می گردند از بوجود آمدن ترکهای بزرگ و مسائل بعدی می توان جلوگیری کرد. مزایای استفاده از بتن الیافی عبارتند از:

- مقاومت ضربه ای و دوام خستگی و مقاومت برشی بتن را افزایش می دهند.
- برای اجرا و نصب آنها تجهیزات خاصی نیاز نمی باشد.
- مقاومت در برابر ترک خوردگی، شکل پذیری بلند مدت، ظرفیت جذب انرژی و طاقت بتن را افزایش میدهند.
- یک بتن مسلح در همه جهات را در اختیار ما قرار می دهند.
- با مواد مضاعف و همه تیپهای سیمان و مواد تشکیل دهنده بتن سازگار می باشند.



تاریخ برگزاری  
۱۴۰۱/۱۰/۳۰

دومین همایش ملی مهندسی عمران و معماری

2<sup>ND</sup> NATIONAL CONFERENCE OF CIVIL AND ARCHITECTURAL ENGINEERING

- مقاومت بتن را در مقابل تورق، سایش و هوازگی سطحی افزایش می دهند [۱۱].

## ۵- جنبه های اقتصادی بتن الیافی

از دید اقتصادی استفاده از الیاف بستگی به کاربرد و شرایط پروژه دارد. الیاف اکنون جایگاه خود را در پروژه های عمرانی پیدا کرده است. و ارزیابی اقتصادی آن بیشتر مربوط به نوع الیاف مصرفی و چگونگی استفاده از آن می باشد. ولی در مواردی که از الیاف به جای مش بندی استفاده می گردد، فقط بحث برابری قیمت الیاف و مش بندی فولادی نمی باشد بلکه نیروی انسانی ماهر، وسایل و تجهیزات و فضای انبار مصالح و ... نیز مطرح می باشد و حتی می توان با آینده نگری به قضیه نگریست. هزینه های تعمیر و نگهداری، شرایط جوی و کاربردهایی که سازه در آینده خواهد داشت تمام اینها عواملی هستند که می توانند مصرف الیاف را از لحاظ اقتصادی توجیه نمایند و یا عکس این موضوع برقرار باشد.

در مواردی ممکن است زمانبندی پروژه بسیار اهمیت داشته باشد و استفاده از الیاف باعث سرعت بخشیدن به روند انجام کار شود و همین موضوع باعث صرفه جویی اقتصادی فراوانی شود مثل زمانی که اجرای یک تونل باعث صرفه جویی زیادی در حمل و نقل می گردد. شاید بحث زمان در پروژه های عمرانی تاکنون در کشور ما مطرح نبوده ولی با پیشرفت روز افزون کشور زمان بندی پروژه ها و برآورد اقتصادی آنها حائز اهمیت شده ده است.

## ۶- مقایسه چند نوع الیاف از نظر هندسه

- باندیا و دابی در سال ۲۰۰۰ با استفاده از روش آزمایش مقاومت پسماند برای اندازه گیری طاقبت بتن الیافی بر حسب نقطه اوج مقاومت پسماند، تحقیقاتی انجام دادند، این روش توانایی داشت تا تأثیر هریک از پارامترهای مختلف الیاف همچون نوع، طول، شکل، درصد حجمی، هندسه و مدول الاستیسیته را مورد بررسی قرار دهد [۱۵]. دو گروه آزمایش انجام گرفت در آزمایش اول دو نوع الیاف پلی پروپیلن یکی ریشه ای و دیگری الیاف منفرد با مقاومت بالا مورد آزمایش قرار گرفتند، جوابها بدین گونه بود که الیاف منفرد (مونوفیلامنت) طاقبت بتن را بهتر از الیاف ریشه ای افزایش دادند. آزمایش دوم نشان داد که الیاف فولادی قلاب دار طاقبت بهتری را نسبت به الیاف فولادی موجدار در بتن الیافی از خود نشان می دهند.

## ۷- مقایسه اثر نوع های مختلف الیاف از نظر جنس در بتن الیافی

سونگ و هوانگ از دانشگاه دفاع ملی تایوان در سال ۲۰۰۴ تحقیقاتی را بر روی خواص مقاومتی بتن مسلح به الیاف پلی پروپیلن و نایلون انجام دادند که در آن توان مقاومتی بتن مسلح به الیاف PP در مقابل بتن مسلح به الیاف نایلون مورد مقایسه قرار گرفت، در این تحقیق از الیاف رشته ای و نازک PP به مقدار ۰/۶ درصد استفاده گردید، در بتن مسلح به الیاف نایلون تنشهای فشاری و کششی و مدول گسیختگی به ترتیب ۶/۳ و ۶/۷ و ۴/۳ درصد نسبت به بتن مسلح به پلی پروپیلن افزایش یافتند. ولی در آزمایش ضربه ایجاد اولین ترک و گسیختگی نهایی در بتن نایلون دار زودتر رخ داد. همچنین در کاهش ترکهای پلاستیک الیاف پلی پروپیلن موثرتر واقع شدند. علت اینکه الیاف نایلون تنش کششی را بیشتر افزایش داد خوب پخش شدن در بتن تشخیص داده شد.

- پری در سال ۲۰۰۳ از الیاف کوتاه و بلند پلی پروپیلن با مقاومت بالا و از نوع منفرد جهت مسلح کردن کف سازی خارجی استفاده کرد. او گزارش داد که فرسایش سطح کف سازی ها موجب در معرض دید قرار گرفتن و بیرون زدگی الیاف فولادی می گردد. چه کف سازی، برای پیاده روها باشد چه برای عبور وسایل نقلیه، این امر می تواند خطرناک باشد. برای این



تاریخ برگزاری  
۱۴۰۱/۱۰/۳۰

# دومین همایش ملی مهندسی عمران و معماری

2<sup>ND</sup> NATIONAL CONFERENCE OF CIVIL AND ARCHITECTURAL ENGINEERING

تحقیق دو آزمایش صورت گرفت، در آزمایش اول یک دال کوچک مخصوص کف سازی خارجی حاوی الیاف فولادی با انتهای قلاب دار و طول ۶۰ میلیمتر به مقدار ۳۰ کیلوگرم بر مترمکعب و یک دال مشابه شامل الیاف پلی پروپیلن به طول ۵۰ میلیمتر به مقدار ۶/۹ کیلوگرم بر مترمکعب ساخته شد. برای آزمایش مقاومت خمشی و طاق خمشی از روش آزمایش سه نقطه ای استفاده گردید. نتایج آزمایش خمش نشان داد که بتن مسلح به الیاف فولادی به اندازه ۵۳ درصد مقاومت خمشی را افزایش داده، در حالی که بتن شامل پلی پروپیلن عدد ۷۸ درصد را به ثبت رساند. همچنین در آزمایش دوم از لحاظ مقاومت خارجی در برابر فرسایش الیاف فولادی ۲۰ درصد و الیاف پلی پروپیلن ۴۱ درصد افزایش را ایجاد کردند. پری نتیجه گرفت که الیاف PP برای ساخت کف سازی ها از لحاظ کنترل ترک ها بهتر از الیاف فولادی عمل می کنند.

• در سال ۲۰۰۰ کیان و استرون از دانشگاه دولتی چین و دانشگاه صنعتی هلند تحقیقاتی در مورد بتن مسلح به الیاف PP و فولادی انجام دادند از الیاف در محدوده ۰ تا ۰/۹۵ درصد حجمی بتن استفاده شد، آزمایش خمشی چهارنقطه ای بر روی تیرهای منشوری به ابعاد  $5 \times 10 \times 10$  cm انجام شد. نتایج پژوهش نشان داد که الیاف فولادی بلند بر روی ظرفیت باربری و سختی شکست در دامنه جابجایی های کوچک اثر مثبت دارند ولی در تغییر مکانهای بزرگ الیاف بلند و محکم فولادی بهتر از الیاف نرم PP و الیاف فولادی کوچک در ظرفیت جذب انرژی می باشند.

## ۸- خواص مکانیکی الیاف

در چند دهه اخیر تکنولوژی تولید و ساخت، شکل هندسی الیاف، همچنین موارد استفاده و کاربرد آن توسعه زیادی یافته است. برای تقویت ماتریسهای سیمانی تاکنون از الیاف مختلفی از قبیل الیاف فولادی، شیشه، نایلون، پلی پروپیلن، کربن و کف و غیره استفاده شده است. با توجه به اینکه عملکرد الیاف در ماتریس سیمانی بستگی به مشخصات فیزیکی و مکانیکی الیاف به کار رفته دارد، در این بخش سعی شده است که با مرور بر تاریخچه استفاده از الیاف، انواع الیاف، تکنولوژی ساخت، ویژگیهای الیاف مناسب در بتن از قبیل شکل، اندازه الیاف، نسبت ظاهری، ضریب ارتجاعی، قابلیت پیوستگی الیاف به ماتریس، خصوصیات بین سطوح، بافت سطحی، کرنش پذیری و نحوه قرار گرفتن الیاف در ماتریس به اختصار توضیح داده شود.

## ۹- انواع الیاف

الیاف برای کنترل ترک در اثر تغییرات حجمی ناشی از انقباض و انبساط و تنشهای حرارتی و نیز جهت افزایش مقاومت کششی، نرمی، قابلیت جذب انرژی و فراهم آوری یک سیستم یکپارچه استفاده می شود. در حال حاضر الیاف زیادی تولید می شود که فقط تعدادی از آنها جهت ساخت بتن مناسب می باشند. الیاف مورد استفاده در بتن در یک تقسیم بندی به: الیاف مصنوعی، الیاف گیاهی و طبیعی و الیاف فلزی تقسیم می شوند، که در این قسمت به طور خلاصه توضیحاتی در مورد هر کدام از آنها ارائه خواهیم نمود

## ۱۰- الیاف پلی پروپیلن

یکی از انواع الیاف مصنوعی پلیمری، الیاف پلی پروپیلن می باشد که استفاده از آن در کاهش ترکهای آبرفتگی، افزایش شکل پذیری و طاق بتن و نیز افزایش مقاومت ضربه ای بتن موثر است. الیاف پلی پروپیلن در سال ۱۹۶۵ توسط گلدفین به عنوان افزودنی بتن برای ساختمان ضد انفجار ارتش آمریکا پیشنهاد شده بود. این الیاف از گرانول که از مشتقات پتروشیمی می باشد تولید می شود. این الیاف در مقابل انواع مواد شیمیایی از جمله مواد اسیدی و قلیایی و کلرید ها مقاوم می باشد.



تاریخ برگزاری  
۱۴۰۱/۱۰/۳۰

# دوین هایش ملی مهندسی عمران و معماری

2<sup>ND</sup> NATIONAL CONFERENCE OF CIVIL AND ARCHITECTURAL ENGINEERING

همچنین خاصیت هدایت الکتریکی و حرارتی پایین دارد و در مقابل اشعه فرابنفش مقاومت دارد. این الیاف آنتی مغناطیس و هیدروفوبیک (آبگریز) می باشد، یعنی جذب آب آن صفر می باشد. وجود الیاف در مخلوط بتن باعث افزایش توان باربری و کاهش عرض ترک خوردگی و افزایش مقاومت‌های خمشی و کششی می شود. نقش اصلی الیاف در ترکیبها، ایجاد طاقت و افزایش انرژی مورد نیاز در مقابل شکست است [۱۵].

در اصل الیاف پلی پروپیلن از سرعت پخش و گسترش ترکها می کاهد و عرض ترکها را کاهش می دهد. خواص این الیاف به شرح زیر است:

- ساختمان اتمی منظم: خنثی بودن از لحاظ شیمیایی که این موضع باعث می شود که مواد شیمیایی موجود در بتن بر روی آن تاثیری نداشته باشند.
- استحکام کششی بالا: سهولت نفوذ خمیر سیمان به درون ساختمان آن که باعث ایجاد پیوندهای مکانیکی بین الیاف و ماتریس می شود.

در میان مصالح و موادی که در مهندسی عمران به کار می روند، فولاد به صورتی قابل توجه در برابر آهنگ تغییر تنش، در حدودی که در سازه ها با آن مواجه هستیم، بی اثر باقی می ماند، در حالی که طبیعت رفتار ویسکوالاستیک الیاف پلی پروپیلن، آن را در برابر آهنگ بار اعمال شده به صورتی ویژه حساس می سازد. چگالی کم الیاف پلی پروپیلن و حساس نبودن آنها به خوردگی، این الیاف را برای کاربردهای مختلفی در مهندسی عمران مطلوب نموده است. داشتن مدول الاستیسیته کم باعث گردیده است که این الیاف تاثیری در افزایش مقاومت خمشی بتن نداشته باشند ولی کرنش گسیختگی بالای این الیاف موجب افزایش طاقت خمشی و کششی بتن می گردد. از دیگر معایب این الیاف حساسیت در مقابل نور خورشید می باشد که باعث اکسیداسیون این الیاف می باشد که طبق تحقیقات انجام شده در صورتی که دما ۲۵ درجه باشد و کاور بتن کافی باشد اکسیداسیون پدید نخواهد آمد. الیاف پلی پروپیلن در کشورهای دارای صنایع نفتی و پتروشیمی به قیمت بسیار نازلی قابل تهیه هستند، علاوه بر آن به دلیل نرمی و شکل پذیری زیاد مشکل شکستن آنها نیز وجود ندارد. برخلاف الیاف شیشه و کربن که ممکن است دچار شکستن گردند. این الیاف به دلیل سبکی در بتن ته نشین نشده و در محیط قلیایی بتن از بین نمی روند بر خلاف پلی استر و شیشه که به مرور زمان در محیط قلیایی بتن از بین میروند [۱۶].

## ۱۱- مزایای الیاف پلی پروپیلن نسبت به مش ضد ترک

۱. کاهش ترک ها و جلوگیری از گسترش ترک ها در حالیکه مش بعد از ایجاد ترک، بتن را در کنار یکدیگر نگه می دارد.
۲. کاهش نفوذ پذیری در بتن در حالیکه مش هیچ تاثیری بر نفوذ پذیری ندارد.
۳. الیاف به راحتی در بتن مخلوط می گردد، بر خلاف مش که نیاز به زمان زیادی برای جایگذاری و نصب دارد.
۴. الیاف در برابر بسیاری از مواد خورنده مانند اسیدها و بازها مقاوم است و تخریب نمی شود.
۵. بتن تقویت شده با الیاف پلی پروپیلن دارای مقاومت ضربه ای بسیار بالاتر نسبت به بتن مسلح به آرماتور می باشد.

## ۱۲- روش و میزان مصرف

حائز اهمیت است که الیاف به طور یکنواخت در بتن توزیع گردند. این عمل طی مرحله مخلوط کردن، ترجیحاً قبل از افزودن آب به مخلوط می تواند انجام پذیرد. برای مخلوط های کوچک آزمایشگاهی ریختن الیاف از میان یک شبکه سیمی مناسب است. برای مخلوط های در حجم زیاد و یا بتن آماده، نحوه مخلوط کردن به روش های زیر امکان پذیر است:



تاریخ برگزاری  
۱۴۰۱/۱۰/۳۰

# دومین همایش ملی مهندسی عمران و معماری

2<sup>ND</sup> NATIONAL CONFERENCE OF CIVIL AND ARCHITECTURAL ENGINEERING

۱. سنگدانه ها و الیاف بر روی تسمه نقاله وارد مخلوط کن می شوند. پس از این مرحله سنگدانه-ها و سپس سیمان اضافه می شود.
  ۲. ابتدا سنگدانه های ریز و درشت در مخلوط کن مخلوط و در حین چرخش مخلوط کن، الیاف اضافه می گردند. سپس سیمان و آب همزمان وارد مخلوط کن می گردد.
  ۳. در مرحله اول سنگدانه ها و مقداری آب را به داخل مخلوط کن ریخته و سپس الیاف به آن اضافه می شوند. پس از این مرحله می توان بقیه آب را اضافه کرد.
  ۴. الیاف پلی پروپیلن را می توان در انتها نیز به مخلوط بتن اضافه کرد. اگر الیاف بعد از مخلوط شدن بتن اضافه گردد باید حدود ۳ تا ۴ دقیقه دیگر برای رسیدن به مخلوط یکنواخت، عمل هم زدن ادامه داشته باشد.
- لازم به ذکر است که افزودن هر نوع الیاف باعث کاهش اسلامپ می شود. اما این کاهش اسلامپ به معنی کاهش کارایی بتن نیست. یعنی بتن تازه به ویبره و تراکم اضافی نیاز ندارد و می توان به راحتی آن را پمپ کرد. مقدار مصرف الیاف بسته به عملکرد مورد نظر از ۰/۵ تا ۳ کیلوگرم در متر مکعب متغیر است و مقدار معمول مصرف حدود یک کیلوگرم در متر مکعب می باشد.

## ۱۳- ویژگیهای بتن الیافی حاوی الیاف پلی پروپیلن

افزودن الیاف جهت جلوگیری از ترک خوردگی و جمع شدگی ایده جدیدی نیست و شواهدی از کاربرد کاه و موی اسب و ... در هزاران سال قبل در گل و ساروج وجود دارد. اصولاً تمامی مخلوط های گچی و سیمانی بطور طبیعی تمایل به جمع شدگی دارند. از اینرو بکارگیری الیاف مذکور در مخلوط های یاد شده تاثیری قابل توجه در جلوگیری از وقوع چنین پدیده ای دارد.

۱. در سنین اولیه بتن (از هنگام بتن ریزی تا ۲۴ ساعت بعد) مقاومت کسب شده توسط بتن ناچیز است و کمترین تنش می تواند منجر به ترک خوردگی شود. مقاومت کششی بسیار زیاد الیاف پلی پروپیلن در این زمان، باعث عدم ترک خوردگی بتن می شود. بکارگیری الیاف پلی پروپیلن برای جلوگیری از جمع شدگی و ترک خوردگی بتن در سنین اولیه (جمع شدگی پلاستیک) از هر راهکار دیگری مناسب تر به نظر می رسد. تعداد بسیار زیاد الیاف در هر مترمکعب (بیش از ۱۰۰ میلیون رشته در مقدار معمول مصرف که قابل مقایسه با سایر الیاف نیست) به معنی اتصال سطح بسیار وسیعی از الیاف به بتن می باشد و فواصل کم الیاف، از ایجاد ترک جلوگیری می کند. الیاف پلی پروپیلن باعث جلوگیری از آب انداختگی بتن شده و از انتقال آب به سطح بتن جلوگیری می کند که نتیجه آن همگن شدن بتن و یکسان بودن نسبت آب به سیمان در تمام بتن و تداوم عمل هیدراتاسیون می باشد. این الیاف نفوذپذیری سطح بتن را کاهش داده و موجب افزایش عمر بتن و افزایش مقاومت سایشی بتن و سطح بتن دچار خردشدگی و ورقه شدن نمی گردد.

۲. الیاف پلی پروپیلن باعث جلوگیری افزایش چشمگیر مقاومت بتن در برابر بارهای ضربه ای می شود که این امر در بارگذاری دینامیکی مانند تند بادها، زلزله، ارتعاش ماشین آلات سنگین و انفجار ... اهمیت دارد.

۳. استفاده از الیاف پلی پروپیلن باعث افزایش مقاومت کششی، خمشی و برشی بتن می شود و بتن بعد از شکست یکپارچه باقی می ماند. افزایش مقاومت در برابر سیکل های ذوب و انجماد که ناشی از کاهش نفوذ پذیری بتن بوده و افزایش مقاومت در برابر خستگی، سایش و کاویتاسیون از دیگر مزایای استفاده از الیاف پلی پروپیلن می باشد [۱۷].

## ۱۴- کاربردهای الیاف پلی پروپیلن





تاریخ برگزاری  
۱۴۰۱/۱۰/۳۰

# دومین همایش ملی مهندسی عمران و معماری

2<sup>ND</sup> NATIONAL CONFERENCE OF CIVIL AND ARCHITECTURAL ENGINEERING

الیاف پلی پروپیلن در اندازه های 3 mm و 6 mm جهت کاربرد در پلاستر، گچ، قطعات نازک و 12 و 18 میلی متر برای بتن و ملاتهای سیمانی تولید می شود. موارد کاربرد الیاف پلی پروپیلن در تمام مخلوط های بتنی، سیمانی و گچی همانند بتن آماده، قطعات پیش-ساخته، کف انبارها و کارگاه های صنعتی، شاتکریت، جدول ها، باند فرودگاه ها، مخازن آب و سازه های دریایی، سقف های کامپوزیت، پل ها، سد ها، تونل ها، بتن سبک و ... می باشد. کاربرد الیاف فوق علاوه بر مزایای ذکر شده، در شاتکریت باعث کاهش ریباند (بازگشت بتن) می-شود. در مواردی که دوام بالا و جلوگیری از ترک خوردگی مد نظر است نظیر ملات ها و لایه های نازک سیمانی برای نما و روسازی می توان به مقدار  $kg/m^2$  استفاده کرد. در جایی که نسبت آب به سیمان زیاد است حتماً باید از الیاف استفاده کرد. زیرا در غیر اینصورت به علت آب انداختگی سطح بتن بسیار ضعیف شده و مقاومت ضربه ای و خمشی، بسیار تأثیر می پذیرد. ضمناً الیاف پلی پروپیلن تا حدودی، جایگزینی مناسب برای آزبست (در ورق های سیمانی موجدار و نظیر آن) می باشد. در مواردی که خطر آتش سوزی وجود دارد، کاربرد الیاف پلی پروپیلن جهت جلوگیری از انفجار قطعات بتنی در آتش بسیار مناسب است. به همین دلیل این الیاف برای تولید قطعات نسوز استفاده می شود تا از انفجار قطعات درون کوره جلوگیری می کند. همچنین کاربرد الیاف در پنل های پیش ساخته گچی از ترک خوردگی قطعات و خرد شدن آنها هنگام جابجایی جلوگیری می کند. به علاوه الیاف پلی-پروپیلن به صورت رنگی جهت کاربرد در پوششهای دیواری تولید می شود [18].

## ۱۵- آزمایش اسلامپ بتن الیافی

آزمایش اسلامپ طبق ACI کمیته ۵۴۴ برای بتن الیافی مناسب نیست و باید از آزمایش اسلامپ وارونه استفاده کرد که این آزمایش تأییدیه ای بر عدم کاهش کارایی بتن الیافی می-باشد. الیاف پلی پروپیلن hydrophobic ( آب گریز ) بوده و جذب آب آن در حد صفر می-باشد ولی سایر الیاف مصنوعی مانند نایلون که دارای جذب آب بوده به مرور زمان پیوند آنها با بتن کم می شود. بنابراین هرگز نباید از افزودن آب اضافی جهت رسیدن به اسلامپ مورد نظر استفاده کرد و اگر در جایی اسلامپ خاصی مورد نظر باشد می توان از فوق روان کننده استفاده نمود [19].

## ۱۶- نتیجه گیری

الیاف پلی پروپیلن یا الیاف PP بتن، الیافی هستند که از پلیمریزاسیون زنجیره ای مونومرهای پروپن و توسط فرآیند ذوب ریسی تولید می-شوند. این الیاف به طور ویژه ای سخت بوده و در برابر حرارت پایدار و مقاومند. علاوه بر این، آنتی استاتیک بوده و غیر مغناطیسی و نارسانا هستند. اما ویژگی بارز این الیافها، طول عمر بالای آنهاست. و با توجه به اینکه این الیاف بی بو بوده و مهربان با پوست هستند، بدون ترید می-توان از آن در صنایع غذایی، دارویی و بهداشتی نیز استفاده نمود. الیاف PP سازگار با محیط زیست بوده و کاملاً بی ضرر هستند. الیاف پلی پروپیلن پ پ ایده آل ترین ماده برای تقویت و کاربرد در بتن و ملاتهای ساختمانی است. استفاده از این الیاف در بتن، شکل گیری ترک انقباضی را به تاخیر انداخته و عرض ترک را کاهش می-دهد و در عین حال، موجب افزایش خواص جذب انرژی و مقاومت در برابر آتش بتن می-شود. اما یکی از فوق العاده ترین مشخصات الیاف پلی پروپیلن، کاهش یا حذف آرماتورها و فولادهای تقویت کننده و افزایش دوام و پایداری سازه است.

## مراجع

۱- مهتا، مونته یرو، ترجمه علی رضانیانپور، پرویز قدسی، اسماعیل گنجیان، (۱۳۹۹)، تکنولوژی بتن پیشرفته، ریز ساختار، خواص و اجزای بتن.



تاریخ برگزاری  
۱۴۰۱/۱۰/۳۰

# دوین همایش ملی مهندسی عمران و معماری

2<sup>ND</sup> NATIONAL CONFERENCE OF CIVIL AND ARCHITECTURAL ENGINEERING

۲ - محمد ابراهیمزاده نجفآبادی، (۱۳۹۶)، تاثیر سه نوع الیاف داخلی بر روی پیوستگی بین فولاد و بتن، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی کرمان.

4- Mostafa. Khanzadi, Mohsen.Tadayon, Hamed.Sepehri and Mohammad.Sepehri, (2019), Influence of Nano-Silica Particles on Mechanical Properties and Permeability of Concrete, Department of Civil Engineering, Science & Technology University of Tehran, Iran

۵ - نویل و بروکس، ترجمه علی اکبر رضانیانپور، محمد رضا شاهنظری، (۱۳۹۹)، تکنولوژی بتن.

6- ACI Committee 544, (2020), State of the Art Report on Fibre reinforced concrete, ACI 544, 1R-96, ACI Manual of Concrete Practice.

7- ACI Committee 544, ( Reapproved 2019), Measurement of properties of Fibre Reinforced concrete, ACI 544,2R-89, ACI Manual of Concrete Practice.

8- ACI Committee 544, (Reapproved 2018), Guide for specifying, proportioning, Mixing, Placing and Finishing Steel Fibre Reinforced Concrete, ACI 544, 3R-93, ACI Manual of Concrete Practice.

9- ACI Committee 544, (Reapproved 2019) , Design Consideration for Steel Fibre Reinforced Concrete, ACI 544, 4R-88, ACI Manual of Concrete Practice.

10- Japan Society of Civil Engineering Standard, JSCE-SF, (2020), Method of making steel fibre reinforced Concrete in laboratory.

۱۱ - ابوالفضل حسینی، سعید محمد، (۱۳۹۷)، تاثیر الیاف فولادی در کنترل ترک های کششی بتن، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، نشریه شماره ۲۶۳.

۱۲ - علیرضا خالو، (۱۳۹۸)، رفتار و کاربرددهای بتن الیافی، کنفرانس تخصصی بتن الیافی، دانشگاه صنعتی شریف.

۱۳ - علیرضا باقری، طیبه پرهیزکار، پرویز قدوسی، افشین طاهری، (۱۳۹۹)، کاربرد الیاف و فرآورده های سیمانی، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن (چاپ اول).

۱۴ - فرزین صمصامی، (۱۳۹۹)، الیاف پلی پروپیلن و کاربرد آن در بتن، مجله راه و ساختمان.

۱۵ - سیما حبیبی، مهدی محمدی شادپور، (۱۳۹۵)، نانوتکنولوژی و پیدایش کاربردهای جدید، انتشارات الماس دانش.

16- W. Sun, H. Chen, X. Luo and H. Qian, (2021), the effect of hybrid fibers and expansive agent on the shrinkage and permeability of high-performance

17- N. Banthia, A. Duby, (2020), Measurement of flexural Toughness of Fibre Reinforced Concrete Using Technique, Part 2, Performance of various Composites, ACI Material Journal, Volume 97, Number 1.

18- P.S. Songa, S. Hawang, B.C. Sheu, (2015), Strength properties of nylon and polypropylene Fibre Reinforced Concrete, Cement & Reserch 35,1546-1550.

19- B. Perry, (2018), Reinforcing external pavements with both larg and small synthetic Fibres, Concrete, p46-47.