# استفاده از بتن الیافی در سقف‌های عرشه فولادی

کیوان کیانفر
کارشناس فنی ساختمان و مدرس دانشگاه

اویس افضلی
دانشجوی دکتری عمران سازه

چکیده: اگرچه امروزه تکنولوژی بتن الیافی به‌صورت گسترده و قابل توجهی در نقاط مختلف دنیا و در پروژه‌های زیربنایی و ساختمان سازی اکثر کشورها مورد استفاده قرار می‌گیرد اما در کشور ما مهندسین و دست اندرکاران صنعت ساخت و ساز آشنایی زیادی با این تکنولوژی ندارند. بتن الیافی می‌تواند با مزایای ویژه خود کاربردهایی گسترده در سطح پروژه‌های عمرانی بزرگ کشور داشته باشد. از جمله این پروژه‌های عمرانی می‌توان به روسازی‌های بتنی مختلف شامل سطح جاده، عرشه پل‌ها، باند فرودگاه‌ها و پارکینگ‌ها، کف‌های صنعتی و حتی شاتکریت تونل‌ها اشاره کرد. در این مقاله سعی داریم به‌صورت خلاصه به معرفی بتن حاوی الیاف پلیمری ماکرو سنتتیک، کاربرد آن در کف‌های صنعتی و سقف‌های عرشه فولادی و نکات و آیین نامه‌های موجود با هدف ترویج امکان استفاده از الیاف ماکرو مصنوعی در سقف‌های عرشه فولادی بپردازیم.

کلمات کلیدی: بتن الیافی، الیاف ماکرو مصنوعی، سقف عرشه فولادی، شبکه مش حرارتی.

**امروزه الیاف مصنوعی (پلیمری) به‌طور قابل ملاحظه‌ای به‌منظور مسلح سازی مصالح سیمانی مورد استفاده قرار می‌گیرند**

## مقدمه و کلیات

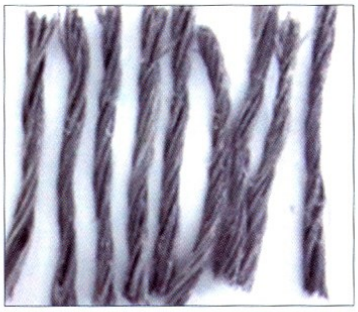
نخستین ماده کامپوزیتی مرکب در دنیای مدرن کامپوزیت سیمان-پنبه کوهی بود، که در سال ۱۹۰۰ توسعه یافت. امروزه از انواع مختلف الیاف برای تقویت مصالح مختلف زیادی مانند اپوکسی، پلاستیک، سرامیک و بتن استفاده می‌شود. یکی از انواع مصالح کامپوزیتی-سیمانی، بتن الیافی است. بتن الیافی در حقیقت نوعی کامپوزیت است که از الیاف رشته‌رشته و جدا از هم که نقش مسلح کنندگی را در ماتریس بتن ایفا می‌کنند تشکیل شده است. این ترکیب کامپوزیتی، یکپارچگی و پیوستگی مناسبی داشته و امکان استفاده از بتن به‌عنوان یک مادهٔ شکل‌پذیر را فراهم می‌آورد. باید توجه داشت که هدف از افزودن الیاف به بتن تنها افزایش مقاومت نیست بلکه نقش اصلی الیاف کنترل رشد ترک‌های بتن است [۱]. پس از استفاده اولیه از الیاف آزبست (پنبه کوهی)، طیف گسترده‌ای از الیاف دیگر به همراه سیمان‌های هیدرولیکی با هدف مسلح سازی مواد مرکب مورد استفاده قرار گرفته است. این انواع الیاف به‌طور قابل توجهی در خصوصیات، تأثیر، هندسه و هزینه باهم تفاوت دارند. به‌منظور اصلاح رفتار بتن، با پیدایش نخستین ترک‌ها، الیاف با پل زدن بین ترک‌ها به شکل‌پذیری بعد از ترک‌خوردگی کمک می‌کنند.

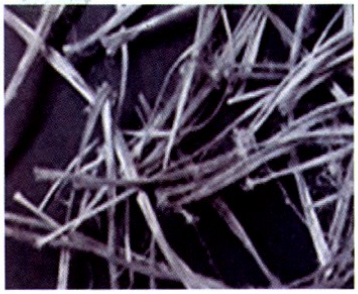
امروزه الیاف مصنوعی (پلیمری) به‌طور قابل ملاحظه‌ای به‌منظور مسلح سازی مصالح سیمانی مورد استفاده قرار می‌گیرند. برخی الیاف مانند پلی‌پروپیلن، به‌طور گسترده‌تری مورد استفاده قرار می‌گیرند و الیاف زیاد دیگری نیز وجود دارند که به‌طور خاص به‌منظور تقویت ملات و بتن تولید می‌شوند.

به‌منظور افزایش مقاومت کامپوزیت‌ها، الیاف باید مدول الاستیسیته بزرگ‌تری نسبت به ماتریس داشته باشند. برای مصالح سیمانی که مدول الاستیسیته در آن‌ها از حدود ۱۵ تا ۴۰ گیگا پاسکال تغییر می‌کند با استفاده از اکثر الیاف مصنوعی دستیابی به این شرایط دشوار است. ازاین‌رو الیاف‌های با مقاومت بالا به‌منظور مسلح سازی بتن گسترش یافتند که عبارت «مقاومت بالا» به الیافی با مدول الاستیسیته و مقاومت بالا نسبت داده می‌شود [۱].

نخستین تحقیقات در خصوص الیاف مصنوعی توسط زنسولد (Zonsveld)، هنات (Hannant) و کرنچل و شاه (Krenchel and Shah) انجام شد. این تحقیقات به لزوم توجه و مقابله با معایب ناشی از مدول الاستیسیته کم الیاف و چسبندگی ضعیف با ملات اشاره داشتند. در ادامه پیشرفت‌های بیشتر در رابطه با الیاف پلی‌پروپیلن زمانی حاصل شد که پژوهش‌های مختلف نقش مثبت این الیاف در کاربری‌های بتن و سیمان را نشان می‌دادند [۴-۲].

الیاف مصنوعی کوتاه ساخته‌شده از پلی الفین‌های اصلاح‌شده و متشکل از رشته‌های بسیار نازک به‌صورت ماکرو، میکرو و مش می‌باشند که از مدول و مقاومت بالایی برخوردار هستند. این الیاف باعث کاهش جمع شدگی بتن تازه، کنترل ترک‌های ایجادشده در بتن و افزایش ویژگی‌هایی همچون طاقت، ضربه‌پذیری و مقاومت در برابر خستگی می‌شوند. در یک دسته‌بندی کلی‌تر این الیاف مصنوعی در دو گروه الیاف ماکرو مصنوعی و میکرو مصنوعی جای می‌گیرند. قطر میکرو الیاف از ۵ تا ۱۰۰ میکرومتر بوده و از طولی برابر ۵ تا نهایتاً ۳۰ میلی‌متر برخوردار هستند. این در حالی است که ماکرو الیاف قطری بالای ۰/۳ میلی‌متر دارند [۵]. الیاف ماکرو مصنوعی مدول و مقاومت بالا در ایران توسط شرکت نانو نخ و گرانول سیرجان با نام الیاف مصنوعی کورتا تولید می‌شوند [۶].





جدول ۱- خواص الیاف پلیمری ماکرو مصنوعی کورتا[۶]

| طول mm | وزن مخصوص gr/cm3 | مدول الاستیسیته MPa | مقاومت کششی MPa | جذب آب | مقاومت در برابر نور | دمای ذوب (c°) | مقاومت اسیدی/ بازی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱۸ تا ۵۲ | ۰/۹۱-۰/۹۳ | ۷۰۰ | ۶۵۰ | ندارد | دارد | تا ۵۰۰ | بی اثر |

شکل ۲- تصویر شماتیک کنترل ترک‌خوردگی در بتن حاوی الیاف ماکرومصنوعی

شکل ۱- الیاف ماکرو مصنوعی کورتا[۶].

به‌صورت خلاصه، مهم‌ترین مزایای بتن مسلح به الیاف پلیمری ماکرو سنتتیک عبارت‌اند از:

افزایش مقاومت خمشی

افزایش میزان انرژی جذب‌شده در طی فرایند خستگی و شکست مخلوط

پل زدن بین ترک‌ها و کمک به یکپارچگی مصالح جلوگیری از شکست ترد

بهبود مقاومت برشی و پیچشی

مقاومت در مقابل تورق، سایش و هوازدگی سطح

مقاومت بسیار عالی در مقابل ضربه

حذف فعالیت‌های سخت و پرزحمت آرماتوربندی مسلح سازی قطعات باضخامت کم

**۲-کاربردها در صنعت ساختمان**

به‌طور کلی الیاف ماکرو مصنوعی در صنعت ساختمان در مواردی همچون سقف‌های عرشه فولادی، کف‌سازی‌های بتنی یا هرجای دیگری که کاهش یا حذف آرماتورهای حرارتی مدنظر باشد کاربرد دارند.

برخی از فاکتورهای مهم در اجرای ساختمان‌ها به روش جدید، سرعت‌بالای اجرا، سبک‌سازی، حذف مصالح و روش‌های قدیمی وقت‌گیر و پرهزینه می‌باشند. مهندسین و معماران در سرتاسر دنیا سبک‌سازی و اجرای سریع را به‌عنوان دو اصل بسیار مهم مورد توجه قرار می‌دهند.

ازجمله بخش‌های ساختمان که اهمیت فوق‌العاده‌ای در سرعت ساخت‌وساز و نیز در وزن سازه دارد، سقف آن است سقف‌های عرشه فولادی از روش‌های نسبتاً جدید اجرای سقف به شمار می‌روند که همواره مورد توجه بوده‌اند. یکی از انواع بتن‌های مدرن، بتن الیافی است. یکی از زمینه‌های کاربرد بتن الیافی که در کشور ما کمتر به آن توجه شده است کاربرد این نوع بتن در سقف‌های عرشه فولادی و کف سازی‌های بتنی است.

همان‌طور که اشاره شد یکی از کاربردهای الیاف ماکرومصنوعی به‌عنوان جایگزین آرماتورهای حرارتی است. به‌عنوان‌مثال سقف‌های عرشه فولادی ازجمله موارد رایج استفاده از آرماتورهای حرارتی هستند. امروزه استفاده از سقف‌های عرشه فولادی در ساختمان‌های با قاب خمشی فولادی به امری مرسوم تبدیل‌شده است.

اگرچه سقف عرشه فولادی اساساً مخصوص ساختمان‌های اسکلت‌فلزی است ولی در ساختمان‌های اسکلت بتنی نیز با اتخاذ تدابیر خاص قابل‌اجرا هست. ورق‌های فولادی موجدار، شبکه مش حرارتی، برشگیر و گلمیخ‌ها اجزای سقف عرشه فولادی را تشکیل می‌دهند. ورق فولادی موجدار هم به عنوان یک قالب

برای نگه‌داشتن بتن تازه و هم جز اصلی دال مسلح پس از سخت شدن بتن به‌حساب می‌آید.
شبکه مش حرارتی نقش مسلح کننده ثانویه را دارد که در جهت کنترل ترک‌های ناشی از انقباض و تغییرات حرارتی عمل می‌کند. الیاف می‌توانند برای جلوگیری از ترک‌های پلاستیک، کنترل عرض ترک‌خوردگی‌ها، افزایش طاقت و جذب انرژی و افزایش ظرفیت باربری دال استفاده شوند. از آنجاکه الیاف در جسم بتن، در همه‌ی جهات پراکنده می‌شوند، در صورت تشکیل یک ترک، الیاف در جهات مختلف اتصالاتی را به وجود آورده و از گسترش بیشتر جلوگیری می‌نماید. بنابراین رشته‌های الیاف به‌طور فعال در محدود کردن عرض ترک وارد عمل شده و قابلیت بهره‌برداری بتن را افزایش می‌دهند.

### ۳- آیین‌نامه‌ها و استانداردها

استانداردها و آیین‌نامه‌های ساختمانی مختلفی با عنوان مرجع در ساخت سقف‌های عرشه فولادی مورداستفاده قرار می‌گیرند [۷-۱۰]. در ادامه به قسمت‌های برگزیده‌ای از این آیین‌نامه‌ها اشاره‌شده است که به مهندسین و طراحان امکان استفاده از الیاف و سیستم الیافی را به‌منظور دستیابی به اهداف پروژه می‌دهد.
استاندارد SDI C-۲۰۱۱ برای دال‌های کامپوزیت با عرشه فولادی، یکی از استانداردهای Steel Deck Institute است که در ۳۰ نوامبر ۲۰۱۱ منتشرشده است [۷]. این استاندارد به‌منظور تعیین مقاومت اسمی و سختی دال کامپوزیت عرشه فولادی استفاده می‌شود. در بخش طراحی این استاندارد (بخش ۲-۴) و قسمت ۱۳ به بیان تقویت سقف در مقابل دما و انقباض پرداخته‌شده و روش‌های مسلح سازی ترک را بیان می‌کند. در این قسمت سه روش مسلح سازی برای کنترل ترک را به‌صورت زیر تعریف می‌کند:

**شبکه میلگردی یا میلگردهای تقویتی**

بتن الیافی با استاندارد ASTMC1116، نوع ۱، حاوی الیاف فولادی مطابق با معیارهای ASTM A820، نوع ۱، نوع ۲، نوع ۵ در یک نرخ معین مقدار تولیدشده با تولیدکننده الیاف و نه کمتر.
بتن الیافی مطابق با استاندارد ASTMC1116، نوع ۳، حاوی الیاف ماکرو مصنوعی و مطابق معیارهای ASTMD7508 در یک نرخ معین مقدار تعیین‌شده توسط تولیدکننده الیاف و نه کمتر.
این استاندارد در ادامه بیان می‌کند که اگر از الیاف در سقف عرشه فولادی استفاده شود، طراح باید شروط کنترل کیفیت الیاف را مطابق با ACI544,3R بر اساس مشخصات پروژه را بررسی کند.
طبق آیین‌نامه انجمن بتن آمریکا ACI360R-10 «طراحی دال‌های بتنی روی کف» موارد زیر قابل توجه است [۸]:
در فصل سوم این آیین نامه و قسمت ۲-۳-۳: برای کنترل عرض ترک در دال‌های مسلح می‌توان از میلگرد، صفحات مش جوش داده شده، الیاف فلزی و الیاف ماکرومصنوعی استفاده شود.

شکل ۳- استفاده از الیاف ماکرو مصنوعی در یک دال عظیم بتنی به جای میلگردهای حرارتی

شکل ۴- استفاده از الیاف ماکرومصنوعی به جای میلگردهای حرارتی در پروژه دانشگاه ایالت اوهایو

شکل ۵- استفاده از الیاف ماکرو مصنوعی به منظور کنترل ترک‌های حرارتی و جمع شدگی در پروژه دادگاه فدرال یوما

فصل یازدهم و بخش ۲-۱۱: استفاده از الیاف ماکرومصنوعی برای کنترل ترک‌های جمع شدگی ناشی از خشک شدن با میزان ۰/۲ - ۱ درصد حجمی و طول ۰/۵ - ۲/۵ اینچ

**بخش ۱-۲-۱۱:** طاقت خمشی بتن با استفاده از الیاف‌های ماکرومصنوعی افزایش چشمگیری خواهد داشت.

**بخش ۳-۲-۱۱:** فواصل بین درزهای کنترلی (انقباضی) بر طبق آیین نامه قدیمی ACI، ۲۴ تا ۳۶ برابر ضخامت دال است اما در آیین نامه جدید برای انواع دال‌های مسلح و غیر مسلح این موضوع تفکیک شده است. به این ترتیب که برای دال‌های غیر مسلح و بتن‌های مسلح شده با الیاف میکرو مصنوعی این فاصله کاهش یافته و در بیشترین مقدار به ۲۴ تا ۳۶ برابر ضخامت دال محدود شده است. موضوع مهم این است که تمامی مقادیر جدید و قدیمی تعیین شده توسط کمیته فنی ACI براساس محاسبات مهندسی نبوده و بلکه براساس تعدادی زیادی از پروژه‌های اجرا شده واقعی موفق و ناموفق تنظیم شده‌اند.

به همین خاطر در ویرایش‌های جدید دست طراحان دال‌های کف باز گذاشته شده تا به یک مقدار مناسب فاصله بین درزها برای کاهش ترک‌ها برسند.

موضوع مهم در آیین نامه جدید این است که بر عملکرد بسیار مناسب الیاف ماکرومصنوعی تاکید شده و بیان شده که استفاده از الیاف ماکرومصنوعی اجازه ایجاد درزهای کنترلی در فوصل بیشتری را می‌دهد. بنابراین با توجه به تأیید این آیین نامه مبنی بر امکان افزایش فاصله درزها در کف سازی‌ها با استفاده از افزایش مصرف الیاف ماکرومصنوعی در بتن دیگر قید و اجباری بر استفاده از درز با فرمول ۲۴ تا ۳۰ برابر ضخامت دال نمی‌باشد.

## ۴-برخی نمونه پروژه‌های اجرا شده (استفاده از الیاف ماکرومصنوعی به عنوان جایگزین میلگرد‌های حرارتی)

بنابر این امروزه به منظور کاهش ترک‌های سطحی بسیار زیاد که در سقف مسلح شده با میلگرد به وجود می‌آید و همچنین افزایش کیفیت و سرعت اجرا و کاهش خطرات ناشی از مصرف میلگرد در پروژه‌های بلند مرتبه که کارگران و مهندسین را بیشتر تهدید می‌کند، استفاده از الیاف ماکرومصنوعی به عنوان جایگزین میلگرد حرارتی افزایش یافته است. در ادامه به تعداد کمی از پروژه‌های بزرگ و پر اهمیت انجام شده اشاره می‌شود.

**پروژه شرکت sigma thermal واقع در GA،Marietta:** این شرکت برای مسلح کردن بتن کف سازی خود با حجم ۶۱۰ مترمکعب و حذف آرماتورهای حرارتی از الیاف ماکرومصنوعی استفاده کرده است.

**پروژه شرکت Amazon:** استفاده از الیاف ماکرومصنوعی به منظور حذف آرماتورهای حرارتی در یک دال عظیم بتنی با مساحت ۲۱۳۳۰ مترمربع (شکل ۳)

**مرکز درمانی wexner در دانشگاه ایالت اوهایو:** در این پروژه و در یک مرکز درمانی ۲۲ طبقه نیاز به اجرای آرماتور در مساحت حدود ۷۲۰۰۰ مترمربع بود که به منظور تسریع در سرعت اجرای پروژه از الیاف ماکرومصنوعی به جای میلگرد‌های حرارتی استفاده شده که از لحاظ اقتصادی نیز بسیار مقرون به صرفه بود (شکل ۴).

**پروژه دادگاه فدرال Yuma در ایالت متحده:** اجرای کف سازی روی زمین برای دادگاه فدرال یوما به دلایل شرایط خاص تعداد زیادی از مهندسین، طراحان و تولید کنندگان بتن را به خود مشغول کرده بود. بخاطر وجود شرایط بد آب و هوا و دمای بالا بتن ریزی در شب انجام شد. برای کنترل ترک‌های حرارتی و جمع شدگی راهکار‌های مختلفی پیشنهاد شد. در نهایت به منظور رفع نگرانی‌ها و اطمینان از الیاف ماکرومصنوعی برای مسلح کردن در برابر ترک‌های حرارتی استفاده شد (شکل ۵).

**مراجع:**


[1[ A. Bentur, S. Mindess, Routledge, Fibre Reinforced Cementitious Composites, Second Edition, November 16, 2006 by CRC Press.

[2[ J.J. Zonsveld, 'Properties and testing of concrete containing fibres other than steel', in A. Neville (ed.) Fibre Reinforced Cement and Concrete, Proc. RILEM Symp., The Construction Press, Lancaster, England, 1975, pp. 217–226.

[3[ D.J. Hannant, 'Polymer fibre reinforced cement and concrete', in D.M. Roy, A.J. Majumdar, S.P. Shah and J.A. Manson, Advances in Cement-Matrix Composites, Proc. Symp. L, Materials Research Society, Pittsburgh, PA, 1980, pp. 171–180.

[4[H. Krenchel and S.P. Shah, 'Synthetic fibres for tough and durable concrete', in R.N. Swamy, R.L. Wagstaffe and D.R. Oakley (eds) Developments in Fibre Reinforced Cement and Concrete, Proc. RILEM Symp. Sheffield, RILEM Technical Committee 49-FTR, 1986, Paper 4.7.

[5[ S. Fallah, M. Nematzadeh,, 'Mechanical properties and durability of high-strength concrete containing macro-polymeric and polypropylene fibers with nano-silica and silica fume', Construction and Building Materials 132 (2017) 170–187

[6[www.sirjannano.com.

[7[ SDI C-2011 Standard for Composite Steel Floor Deck - Slabs.

[8[ ACI 360R-10, Guide to Design of Slabs-on-Ground, Reported by ACI Committee 360, American Concrete Institute, April 2010.

[9[ ASCE (1985), "Specifications for the design and construction of composite slabs." New York, N.Y Davies JM & Fisher J (1979). «The Diaphragm Action of Composite Slabs.» Proc. Institution of Civil Engineers, London, England, 67 (Part2), 891–906.

[10[ Roesler J., Bordelon A., Ioannides A., Beyer M., Wang D. (2008). "Design and Concrete Material Requirements For Ultra-Thin White topping". Illionoise Center for Transportaion.