## بتن الیافی (FRC)

بتن متشکل از سیمان هیدرولیکی ، آب ، شن ، ماسه و الیاف مجزا ، بتن الیافی نامیده می شود. در بتن های الیافی می توان از پوزولان ها و سایر مواد همانند بتن معمولی استفاده کرد. الیاف در شکل و اندازه های متفاوت و از جنس فولاد ، خمیری ، شیشه  پروپیلن ، مواد طبیعی و مصنوعی مورد استفاده قرار می گیرد. با این حال ، در بیشتر اعضای سازه ای و غیر سازه ای الیاف فولادی بیش از سایر الیاف استفاده می شود. به دلیل میزان زیاد ترک های مویین در بتن و توسعه سریع آنها تحت تنش های اعمال شده ، مقاومت کششی بتن کم است. در ابتدا گمان می شد که با به کار گیری الیاف در فواصل نزدیک به هم ، از توسعه ترک های مویین جلوگیری شده و مقاومت های کششی و خمشی بتن به مقدار زیادی افزایش می یابد. علاوه بر این الیاف شروع ترک های کششی را به تاخیر انداخته و در نتیجه باعث افزایش مقاومت کششی بتن می شود. اما مطالعات آزمایشگاهی نشان داده اند که استفاده از الیاف با حجم و اندازه های مختلف در ملات یا بتن باعث افزایش مقاومت آن ها به میزان زیاد نمی گردد. با این وجود محققین ، بهبود زیادی را در رفتار بتن های الیافی ، در مرحله پس از ترک خوردگی مشاهد کرده اند. به عبارت دیگر ، با وجود آنکه مقاومت نهایی کششی به مقدار زیادی افزایش نمی یابد ، اما کرنش کششی در هنگام گسیختگی افزایش می یابد. در نتیجه ، در مقایسه با بتن معمولی ، بتن های الیافی سخت تر بوده و در مقابل ضربه مقاومت بیشتری دارند.



## مزایای بتن الیافی

بتن الیافی نوع جدیدی از بتن است که عملکرد مؤثرتری را در مقایسه با همتایان بتنی خود ارائه می‌دهد.  بتن الیافی دارای ویژگی‌های مکانیکی برتری از جمله مقاومت فشاری بیش از 150 مگاپاسکال ، مدول الاستیسیته بالا، حد الاستیک بالا ، استحکام کششی در دامنه 15 تا 15 مگاپاسکال ، سخت شدن کشش در تنش ، انرژی شکست چندین برابر از مقادیر بتن سنتی و ظرفیت بالا پس از ترک‌خوردگی می‌باشد. در ادامه به ذکر برخی مزایای بتن الیافی اشاره شده است:

- شکل پذیری بالا
- مقاومت فوق العاده
- قابلیت جذب انرژی و پایداری در برابر ترک
- مقاومت در مقابل تورق و سایش
- مقاومت در مقابل تنش‌های خستگی

- مقاومت عالی در مقابل ضربه
- قابلیت کششی و ظرفیت زیاد تغییر شکل نسبی
- قابلیت باربری بعد از ترک‌خوردگی
- افزایش در میزان جذب انرژی

قابلیت انعطافی بتن الیافی همانند خواص مواد پلاستیکی باعث می‌شود تا این محصول گسیختگی ناگهانی نداشته باشد. از آنجا که الیاف داخل بتن در تمامی جهات پراکنده می‌شود، در صورت تشکیل یک ترک ، الیاف در جهات مختلف اتصالاتی را به وجود آورده و از گسترش ترک جلوگیری می‌نماید. لذا رشته های الیاف به گونه ای فعال در محدود کردن عرض ترک وارد عمل شده و با تشکیل ترک‌های ریز زیاد قابلیت بهره برداری بتن را افزایش می‌دهند.
مکانیزم تقویت الیاف را می‌توان بدین صورت توجیه کرد که تنش‌ها بوسیله برش محیطی (در صورتیکه رویه الیاف آجدار باشد) و با مقاومت چسبندگی (درون سطحی) از ماتریس به الیاف منتقل می‌شود. بنابراین زمانیکه که ماتریس بتن ترک نخورده است ، تنش کششی بین الیاف و ماتریس تقسیم شده و پس از ایجاد ترک ، تمامی تنش ها به الیاف انتقال می‌یابد.

**مهم‌ترین متغیرهای اثر گذار بر خواص بتن با الیاف عبارت‌اند از :**

- خواص ماتریس بتن
- بازدهی الیاف
- مقدار الیاف

بازدهی الیاف توسط مقاومتی که الیاف در برابر بیرون کشیده شدن از مخلوط دارند، کنترل می‌شود. البته این مقاومت به چسبندگی بین الیاف و ماتریس بستگی دارد. برای الیاف با سطح مقطع ثابت، این مقاومت با افزایش طول افزایش می‌یابد. لذا هر چقدر طول بیشتر باشد، تاثیر آنها بر بهبود خواص ماتریس بیشتر خواهد بود (چون مقاومت در برابر بیرون کشیده شدن متناسب با سطح مقطع دو جسم می باشد).

معمولا الیاف با سطح مقطع گرد با قطر کوچک بیش از الیاف با سطح مقطع گرد با قطر بزرگتر بازدهی دارند. این امر به این دلیل است که الیاف گروه اول سطح بیشتری در واحد حجم را دارا می باشند. لذا هر چه سطح تماس الیاف بیشتر باشد (و یا به عبارت دیگر قطر آنها کوچکتر باشد) بازده چسبندگی آنها بیشتر خواهد بود. در مجموع می توان گفت که نسبت طول به قطر الیاف می بایست به اندازه ای بزرگ باشد تا در هنگام شکست ماتریس، الیاف به حداکثر مقاومت کشش خود نزدیک باشد، که به طور معمول در عمل این کار امکان پذیر نیست . بسیاری از پژوهش ها نشان میدهد در صورتیکه از روش های عادی اختلاط استفاده شود الیاف با نسبت طول به قطر بیش از100 باعث کاهش کارآیی بتن به مقدار قابل ملاحظه ای شده و یا بطور نا همگون در بتن توزیع می گردند.

## کاربرد بتن الیافی

مقاومت فشاری فوق‌العاده بالا بتن الیافی توسط دانه‌بندی مناسبی که به طور همگن مخلوط شده باشد،

بدست می آید. از طرف دیگر، افزایش نیروهای کشش، خمش، شکستگی و کنترل آسیب به طور عمده به دلیل تقسیم به طور تصادفی از فیبرهای تقویت کننده در اختلاط حاصل می‌شود. بنابراین بسیاری از پژوهش ها نشان می‌دهد که بتن الیافی در شرایط بارگذاری دینامیکی نسبت به سایر انواع بتن‌ها ویژگی‌های کنترل آسیب بسیار زیادی دارد. به عنوان مثال در ساخت کف سالن‌های صنعتی، می‌توان از این نوع بتن به جای بتن آرماتوری رایج استفاده نمود. این نوع بتن بهترین گزینه برای ساخت بناهای مقاوم در برابر ضربه، مانند سازه پناهگاه‌ها و انبارهای نگهداری مواد منفجره به شمار می‌رود. همچنین این محصول قابلیت فوق‌العاده‌ای در جذب انرژی ضربه دارد. لذا در ساخت باند فرودگاه‌ها به خوبی می‌توان از این نوع بتن کمک گرفت. از جمله کاربردهای دیگر این محصول ساخت قطعات پیش ساخته ساختمانی مانند پانل‌ها و یا پاشش بتن روی سطوح منحنی سازه می‌باشد. علاوه بر موارد یاد شده این محصول مزایایی همچون عایق بودن سازه در برابر صدا و سرعت بالای اجرا  را نیز دارا می باشد.

## کیفیت الیاف بتن الیافی

وابسته به:

نسبت های مخلوط بتن

مشخصات هندسی الیاف فولادی

نسبت طول به قطر الیاف

مهار مکانیکی و زبری سطح الیاف

مشخصات فیزیکی و جنس الیاف

## انواع الیاف کاربردی در بتن

### الیاف شیشه

این الیاف جزء پرکاربردترین و اقتصادی ترین نوع از الیاف بوده و به برای تعمیر بناها و تقویت سازه‌های صدمه‌دیده بسیار مناسب اند و می‌توانند مقاومت پیچشی و برشی مناسبی نیز پدید آورد. پراکندگی زیاد شیشه در بتن الیافی در حفظ مقاومت‌های فشاری و سایشی بتن تأثیر بسزایی دارد.



## الیاف فولادی

بتن متشکل از الیاف فولادی ، ترکیبی است از سیمان، مصالح سنگی ، آب ، فوق روان کننده ، دوده سیلیس و همچنین درصدی از الیاف فولادی که به‌طور درهم و در جهات مختلف در مخلوط پراکنده شده است. وجود این الیاف ، مشخصات مکانیکی بتن را نسبت به حالت معمولی (ترد و شکنندگی) بهبود بخشیده و سبب بهبود رفتار ترد بتن و تغییر مد شکست آن می گردد. این الیاف می توانند نقش مکملی برای میلگرد داشته و با پخش ترک ها مقابله کرده و مقاومت بتن را در برابر خستگی ، ضربه ، جمع شدگی و تنش های حرارتی را نیز افزایش دهند. از مهم ترین عواملی که بر خواص بتن با الیاف فولادی اثر می‌گذارد می‌توان به خواص ماتریس بتن، بازدهی الیاف و مقدار الیاف اشاره کرد. در بتن سخت شده مقاومت و دوام دو عامل اصلی بوده و هر چه مقاومت فشاری بتن بیشتر شود بتن تردتر شده و در نتیجه مقاومت کششی آن به نسبت افزایش مقاومت فشاری افزایش نیافته همچنین از تحمل کرنش پایین تری برخوردار است. به همین دلیل نیاز به استفاده از الیاف در بتن پر مقاومت کاملاً مشهود است. جهت افزایش مقاومت کششی و جلوگیری از گسترش ترک و به ویژه افزایش نرمی از الیاف در بتن استفاده می‌شود. مقدار افزایش این مقاومت‌ها وابسته شکل الیاف و درصد الیاف است.



در شکل زیر نیز انواع الیاف فولادی با شکل و اندازه های مختلف نشان داده شده است.







## الیاف پلی پروپلین

از ترکیب این با بتن جهت تقویت مخلوط سیمان و گچ و مسطح کردن بتن استفاده می‌شود. الیاف پلی‌پروپلین در برابر نیروهای برشی و سایشی از مقاومت بالایی برخوردار هستند. این نوع الیاف آب گریز بوده و درصد

جذب آنها صفر است لذا نیازی به به افزودن آب اضافی جهت افزایش روانی بتن که منجر به کاهش نسبی مقاومت گردد نمی باشد. همچنین این الیاف برابر آتش سوزی مقاوم می باشند.



## الیاف کربن

از مهمترین مزیت های الیاف کربن می توان به استحکام ، خستگی بالا ، مقاومت در برابر خوردگی و ضریب انبساطی پایین اشاره نمود.



## الیاف مصنوعی

کولار، نایلون و پلی‌استر از جمله الیاف‌های مصنوعی بوده که قابلیت ترکیب شدن با بتن را دارند و معمولا در قطرهای 0.02 تا 0.38 میلی‌متر در دسترس هستند. الیاف مصنوعی دارای نقطه ذوب بالایی بوده لذا در برابر حرارت بسیار مقاوم هستند. از سایر ویژگی‌های الیاف مصنوعی می توان به سبکی ، استحکام پذیری و مقاومت در برابر خوردگی اشاره نمود.



## الیاف آرامید

الیاف آرامید در اشکال مختلفی وجود دارند و مانند الیاف های دیگر می توانند در ساخت کامپوزیت ها استفاده شوند. پلیمر های آرامید دارای خصوصیاتی مانند نقطه ذوب بالا ، سبکی و وزن کم ، پایداری حرارتی بالا ، استحکام کششی بالا ، مدول بالا و مقاومت در برابر شعله می باشند. این نوع الیاف شکل های مختلفی داشته و مقاومت در برابر شعله و غیر قابل حل بودن در بسیاری از حلال‌های آلی از خصوصیات بارز آنها می باشد.



## نحوه عملکرد بتن در بتن الیافی

الیاف ها سنگدانه ها را در بر می گیرند و از جدا شدن سنگدانه های درشت به دلیل لرزاندن و نیروی جاذبه زمین جلوگیری می کنند و پیوستگی بهتر را تضمین می کنند. در نتیجه یک مخلوط یکنواختی که از بتن و الیاف تولید می شود که در هنگام گیرش انتقال آهسته آب به سطح به آرامی صورت می گیرد و در نتیجه ترک ها در بتن کمتر می شوند.

## روش استفاده از الیاف در بتن و میزان مصرف

می توان الیاف را در هر زمان به میکسر اضافه نمود. همچنین می‌توان الیاف را در انتها به آب طرح اختلاط اضافه کرد و داخل میکسر ریخت که در این صورت باید برای رسیدن به مخلوط یکنواخت، ۳ تا ۴ دقیقه دیگر هم زدن ادامه یابد. در صورت تمایل به استفاده از بتن آماده ، می‌توان الیاف را به تدریج داخل تراک میکسر ریخته و هم زدن در دور تند باید به قدری ادامه داشته باشد که از پخش کامل الیاف داخل بتن اطمینان حاصل شود. مقدار مصرف الیاف با توجه به عملکرد مورد نظر ، از ر۰ ۶ تا ۳ کیلوگرم در مترمکعب متغیر خواهد بود.

## بهبود یافتن خواص مکانیکی بتن با استفاده از بتن های الیافی

با استفاده از ۴ درصد الیاف استحکام خمشی بتن به میزان ۲٫۵ برابر افزایش می یابد. بتن حاوی مواد الیاف ، دارای مقاومت در برابر شکست در اثر اعمال تنش حدود ۱۰ تا ۴۰ برابر نسبت به بتن ساده می باشد. استحکام ضربه بتن الیافی به طور کلی ۵ تا۱۰ برابر بیشتر از بتن ساده است که بسته به میزان الیاف مورد استفاده در بتن های مختلف متفاوت می باشد.

## توجیه اقتصادی بتن الیافی

باید اعتراف نمود که استفاده از بتن الیافی همیشه از بتن سنتی به صرفه‌تر نمی باشد. اما بر اساس برآورد هایی که توسط بعضی از متخصصین کشور انجام گرفته است ، زمانیکه که سرعت اجرای بالا مد نظر است و یا نیاز به پاشش بتن (شات کریت) روی سطوحی است که شبکه بندی‌های سنتی مشکل و زمان بر بوده یا جواب گوی کار نیست ، هزینه استفاده از بتن الیافی نسبت به مشابه سنتی خود کمتر می‌باشد.
اگر در کشوری همچون ترکیه، به کارگیری بتن الیافی به جای روش های سنتی، مقرون به صرفه تر از کشور ماست ، ریشه‌های آن را می توان در سرمایه‌گذاری و تلاش سازمان یافته جهت اقتصادی نمودن استفاده از این تکنولوژی یافت.
اما اگر ما از روی آوردن به فناوری جدید به علت ریسک سرمایه گذاری پرهیز کنیم ، خواهیم دید که تکنولوژی سنتی در غیاب بهره‌گیری از فناوری نوین، رقم بسیار بالایی از سرمایه های ما را به هدر خواهد داد. به طور مثال ، ریزدانه های تولید شده در کشور ما که به روش های قدیمی غیر استاندارد تولید می‌شوند ، باعث افزایش درصد سیمان به کار رفته در بنا می‌شود و همین امر موجب ظهور ترک و ضایعات در بتن حاصله نیز می‌گردد.