

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

# بتن‌های الیافی

تالیف:

انجمن سیمان پرتلند (PCA)

مترجم:

مهندس نیره اکبرزاده

مدرس دانشگاه آزاد اسلامی



نشر نوآور

تلفن: ۰۲۱-۶۶۴۸۲۶۹۶

عنوان و نام پدیدآور	: بتن‌های الیافی/تالیف انجمن سیمان پرتلند (PCA)؛ مترجم نیره اکبرزاده.
مشخصات نشر	: تهران: نوآور، ۱۳۹۲.
مشخصات ظاهری	: ۱۲۸ ص.
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۱۴۵-۵
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
یادداشت	: عنوان اصلی: Fiber reinforced concrete. 1991, c
موضوع	: بتن تقویت‌شده با الیاف
شناسه افزوده	: اکبرزاده، نیره، ۱۳۵۸- مترجم
شناسه افزوده	: انجمن سیمان پرتلند
شناسه افزوده	: Portland Cement Association
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۲ ب۲ الف/۴۴۴ TA
رده بندی دیویی	: ۱۳۷/۶۲۰
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۲۳۴۸۱۶

## بتن‌های الیافی

انجمن سیمان پرتلند (PCA)

مهندس نیره اکبرزاده

نوآور

۱۰۰۰ نسخه

محمدرضا نصیرنیا

۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۱۴۵-۵

تألیف:

مترجم:

ناشر:

شمارگان:

ناظر چاپ:

نوبت چاپ:

شابک:



### نمایشگاه دائمی و مرکز فروش:

نوآور: تهران - خ انقلاب، خ فخررازی، خ شهدای ژاندارمری  
نرسیده به خ دانشگاه ساختمان ایرانیان، پلاک ۵۸، طبقه دوم، واحد ۶

۰۹۱۲۶۰۶۲۳۸۳ - ۶۶۴۸۴۱۹۱-۹۲

www.noavarpub.com

فروشگاه ۱: تهران خ انقلاب، نیش خ ۱۲ فروردین پلاک ۱۳۱۰، کتابفروشی الیاس تلفن: ۶۶۴۰۵۰۸۴ - ۶۶۹۵۵۸۷۸  
فروشگاه ۲: تهران خ انقلاب، بین خ ۱۲ فروردین و اردیبهشت، پلاک ۱۳۱۲، کتابفروشی صانعی تلفن: ۶۶۴۰۹۹۲۴ - ۶۶۴۰۵۳۸۵  
فروشگاه ۳: تهران خ انقلاب، مقابل دانشگاه تهران، جنب بانک ملت، پلاک ۱۲۱۲، کتابفروشی گوتنبرگ تلفن: ۶۶۴۰۲۵۷۹ - ۶۶۴۱۳۹۹۸  
فروشگاه ۴: اصفهان، م انقلاب، خ چهار باغ عباسی ابتدای خ سید علی خان، کتابفروشی مهرگان تلفن: ۰۳۱۱۲۲۱۳۷۵۱

حق چاپ و نشر برای ناشر محفوظ است.

## فهرست مطالب

واژه نامه

مقدمه

فصل اول: اصول و ساختار بتن های الیافی

۱-۱- کلیات

۱-۲- محاسن و معایب FRC

۱-۳- فهرست مراجع

فصل دوم: انواع بتن های مسلح به الیاف

فصل سوم: بتن های مسلح به الیاف فولادی

۳-۱- تاریخچه

۳-۲- الیاف فولادی

۳-۳- روش های استفاده و تولید

۳-۴- اختلاط معمولی SFRC

۳-۵- SFRC افشانه ای

۳-۶- بتن الیافی با دوغاب نفوذی (SIFCON)

۳-۷- طرح اختلاط

۳-۸- مزایای بتن های مسلح به الیاف فولادی

۳-۹- خصوصیات بتن مسلح به الیاف فولادی

۳-۱۰- مقاومت کششی

۳-۱۱- مقاومت خمشی

۳-۱۲- مقاومت فشاری

۳-۱۳- مقاومت در برابر سایش

۶۶۴۸۴۱۹۱-۲

۱۴-۳- مقاومت خستگی

۱۵-۳- خزش و آب رفتگی

۱۶-۳- پایایی

۱۷-۳- طاقت خمشی

۱۸-۳- تأثیر جهت گیری الیاف

۱۹-۳- روش های طراحی

۲۰-۳- روسازی ها

۲۱-۳- تیرها

۲۲-۳- بتن پاشیدنی

۲۳-۳- نیاز به تحقیق

۲۴-۳- فهرست مراجع

### فصل چهارم: بتن مسلح به الیاف شیشه ای

۱-۴- تاریخچه

۲-۴- بتن های مسلح به الیاف شیشه ای ضدقلیا

۳-۴- ساخت GFRC

۱-۳-۴- فرایند افشانه

۲-۳-۴- فرایند اختلاط از پیش

۴-۴- کاربرد GFRC

۵-۴- خصوصیات GFRC

۶-۴- پایداری مقاومت در درازمدت

۷-۴- پایداری الیاف مقاومت شیشه ای ضدقلیا در درازمدت

۸-۴- بتن مسلح به الیاف شیشه ای اصلاح شده با پلیمر (P-GFRC)

۹-۴- پیشرفت های اخیر برای بهبود پایایی GFRC

۱-۹-۴- اصلاح الیاف شیشه ای

۲-۹-۴- اصلاح ماتریس سیمانی

۴-۱۰- دوام یخ زدن و آب شدن

۴-۱۱- روش های طراحی

۴-۱۲- تنش های طراحی

۴-۱۲-۱- خمشی

۴-۱۲-۲- برشی

۴-۱۲-۳- خیز

۴-۱۲-۴- اتصالات

۴-۱۳- نیاز به تحقیق

۴-۱۴- فهرست مراجع

### فصل پنجم: بتن مسلح به الیاف پلیمری

۵-۱- تاریخچه

۵-۲- بتن مسلح به الیاف پلی پروپیلن

۵-۲-۱- الیاف پلی پروپیلن

۵-۲-۲- ساخت بتن مسلح به الیاف پلی پروپیلن

۵-۲-۳- خصوصیات بتن مسلح به الیاف پلی پروپیلن

۵-۲-۳-۱- مقاومت پیوستگی

۵-۲-۳-۲- فساد حرارتی الیاف پلی پروپیلن در ترکیبات سیمانی

۵-۲-۳-۳- ترکیبات سیمانی حاوی مقدار حجمی پایین الیاف

۵-۲-۳-۴- ترکیبات سیمانی حاوی درصد حجمی بالایی از الیاف

۵-۳- بتن مسلح به الیاف پلی اتیلن

۵-۳-۱- الیاف پلی اتیلن

۵-۳-۲- ساخت بتن مسلح به الیاف پلی اتیلن

۵-۳-۳- خصوصیات بتن مسلح به الیاف پلی اتیلن

۵-۴- بتن مسلح به الیاف پلی استر

۵-۴-۱- الیاف پلی استر

۵-۴-۲- ساخت بتن مسلح به الیاف پلی استر

۵-۴-۳- خصوصیات بتن مسلح به الیاف پلی استر

۵-۵- بتن مسلح به الیاف آکرلیک

۵-۵-۱- الیاف آکرلیک

۵-۵-۲- ساخت بتن مسلح به الیاف آکرلیک

۵-۵-۳- خصوصیات بتن مسلح به الیاف آکرلیک

۵-۶- بتن مسلح به الیاف آرامید

۵-۶-۱- الیاف آرامید

۵-۶-۲- ساخت Aramid FRC

۵-۶-۳- خصوصیات Aramid FRC

۵-۶-۴- نتیجه گیری

۵-۷- کاربردهای بتن مسلح به الیاف پلیمری

۵-۸- نیار به تحقیق

۵-۹- فهرست مراجع

### فصل ششم: بتن مسلح به الیاف کربنی

۶-۱- تاریخچه

۶-۲- الیاف کربنی

۶-۳- ساخت بتن مسلح به الیاف کربنی

۶-۴- خصوصیات بتن مسلح به الیاف کربنی

۶-۵- کاربردها

۶-۶- نیاز به تحقیق

۶-۷- فهرست مراجع

### فصل هفتم: بتن مسلح به الیاف طبیعی

۷-۱- مقدمه

۷-۲- الیاف طبیعی

تلفن: ۰۱۱۹۱۲۴۸۴۴۶۶

- ۳-۷- بتن مسلح با الياف سلولز چوب
- ۱-۳-۷- ساختن بتن مسلح به الياف سلولز چوب
- ۲-۳-۷- خصوصيات بتن مسلح به الياف چوب
- ۴-۷- بتن مسلح به الياف سيزال
- ۱-۴-۷- ساختن بتن مسلح به الياف سيزال
- ۲-۴-۷- خصوصيات بتن مسلح به الياف سيزال
- ۵-۷- بتن مسلح به الياف نارگيل
- ۱-۵-۷- ساختن بتن مسلح به الياف نارگيل
- ۲-۵-۷- خصوصيات بتن مسلح به الياف نارگيل
- ۶-۷- بتن مسلح به الياف خيزران
- ۱-۶-۷- ساختن بتن مسلح به الياف خيزران
- ۲-۶-۷- خصوصيات بتن مسلح به الياف خيزران
- ۷-۷- بتن مسلح به الياف کنف هندی (jute)
- ۱-۷-۷- ساختن بتن مسلح به الياف کنف هندی
- ۲-۷-۷- خصوصيات بتن مسلح به الياف کنف هندی
- ۸-۷- بتن مسلح به الياف آکوارا
- ۱-۸-۷- ساختن بتن مسلح به الياف آکوارا
- ۲-۸-۷- خصوصيات بتن مسلح به الياف آکوارا
- ۹-۷- بتن مسلح به الياف علف فيل
- ۱-۹-۷- ساختن بتن مسلح به الياف علف فيل
- ۲-۹-۷- خصوصيات بتن مسلح به الياف علف فيل
- ۱۰-۷- نیاز به تحقيق

۱۱-۷- فهرست مراجع ۲- ۶۶۴۸۴۱۹۱-۲ تلفن

## واژه نامه

**آب انداختن بتن:** جریان خود به خودی آب اختلاط از درون بتن تازه یا بروز آن از بتن یا ملات تازه ریخته شده که به دلیل ته نشینی مصالح جامد درون جرم بتن ایجاد می شود.

**آبرفتگی:** تغییرات حجم در بتن تازه یا سخت شده همراه با افت رطوبت.

**آبرفتگی پلاستیک:** کاهش حجم بتن قبل از گیرش نهایی مخلوط سیمانی.

**آبرفتگی خشک:** انقباض بتن سخت شده به دلیل از دست دادن رطوبت.

**اسلامپ:** معیاری جهت تعیین روانی بتن تازه مخلوط شده بلافاصله پس از برداشتن مخروط اسلامپ که برابر با میزان اندازه گیری شده نشست بتن می باشد.

**اشباع با سطح خشک:** شرایط یک جزء از سنگدانه یا دیگر مواد جامد متخلخل هنگامی که فضاهای خالی نفوذپذیر، با آب پر شده و سطح ظاهری خشک باشد.

**انعطاف پذیری:** خاصیت یک ماده که باعث می شود تغییر مکان زیادی را بدون اینکه پاره شود، تحمل کند.

**بتن آماده:** بتن تولید شده در حالت پلاستیک و سخت نشده، برای تحویل به مشتری.

**بتن پاشی:** پاشیدن بتن یا ملات با عملیات بادی با سرعت بالا به یک سطح.

**پایایی:** توانایی بتن در مقاومت در برابر عمل هوازدگی، حملات شیمیایی، سایش و دیگر

شرایط سرویس.

تلفن: ۲-۶۶۴۸۴۱۹۱



## مقدمه

بتن های الیافی (بتن مسلح به الیاف) نوعی کامپوزیت است که با بکارگیری الیاف تقویت کننده داخل مخلوط بتن، منجر به بهبود محسوسی از خواص مقاومتی بتن می گردد. با این حال مهمترین مشخصه بتن الیافی خاصیت جذب انرژی، انعطاف پذیری و مقاومت آن در مقابل ضربه است. به همین دلیل امروزه این بتن نقش بسیار جدی در پیشرفت تکنولوژی بتن ایفا کرده است و به عنوان یک ماده جدید و اقتصادی در صنعت ساختمان محسوب می گردد. خاصیت جذب انرژی و طاقت بتن می تواند خطر شکست سازه های بتنی را به خصوص در مناطقی که تحت بارهای مکرر و لرزه ای قرار می گیرند، به طور مطلوبی کاهش دهد. قابلیت انعطافی آن نیز، همانند خواص مواد پلاستیکی، باعث می شود که بتن الیافی گسیختگی نهایی نداشته باشد. همچنین از آنجا که الیاف در بتن در همه جهات پراکنده می شوند، در صورت تشکیل یک ترک، الیاف در جهات مختلف اتصالاتی را بوجود آورده و از گسترش ترک جلوگیری می نمایند. بنابراین رشته های الیاف بطور فعال در محدود کردن عرض ترک وارد عمل شده و با تشکیل ریز ترکهای زیاد قابلیت بهره برداری بتن را افزایش می دهند.

FRC، بتن (یا ملات) است که با الیافی که به طور تصادفی توزیع شده اند، مسلح شده است. و از انواع متعددی از الیاف چه مصنوعی و چه طبیعی در ساخت آن استفاده می گردد. به لحاظ تاریخی استفاده از الیاف طبیعی در بتن به زمانی پیش از ظهور بتن مسلح معمولی برمی گردد. با این حال جنبه های فنی سیستم های FRC قرن های متمادی همچنان توسعه نیافته باقی ماند. طی ۴۰ سال گذشته تحقیقات عمده ای در زمینه FRC صورت گرفته است. امروزه بسیاری از مخلوط های FRC شکل تجاری یافته اند.

این کتاب انواع مختلف الیاف مورد استفاده را معرفی می نماید. بدیهی است به منظور عرضه طویل المدت بتن الیافی (FRC) به عنوان نوعی از مصالح ساختمانی، این ترکیب باید قادر به رقابت اقتصادی با سایر ساختارهای مسلح موجود باشد.

بطور کلی هدف این کتاب ارائه خلاصه گزارش اصلی فناوری FRC و معرفی مواردی

است که در آن نیاز به تحقیق بیشتری می‌باشد. همچنین به فنون ساخت، خصوصیات و کاربردهای مربوط به انواع مختلف ساختارهای FRC پرداخته خواهد شد. اطلاعات موجود در این کتاب بر مبنای متون موجود و ارتباط و تبادل نظر با کارشناسان صنعت می‌باشد.

کتاب حاضر ترجمه کامل کتاب بتن های الیافی می‌باشد که توسط انجمن سیمان پرتلند آمریکا و کانادا، (PORTLAND CEMENT ASSOCIATION) که از جمله موسسات مطرح و شناخته شده در زمینه بتن و سیمان می‌باشد، تهیه و به چاپ رسیده است. امید است مجموعه حاضر مورد توجه بتن شناسان، مهندسين مشاور، پیمانکاران و همچنین دانشجویان علاقمند به صنعت بتن واقع گردد.

نشر نوآور

تلفن: ۲-۶۶۴۸۴۱۹۱

## فصل اول

# اصول و ساختار بتن های یافی

### ۱-۱- کلیات

اصول اساسی ای که بر طراحی بتن های مسلح معمولی حاکم است، در طراحی سیمان ها و بتن های مسلح به الیاف نیز برقرار می باشد. مسلح کردن بتن با میلگرد، سیم و یا الیاف، در نواحی ای که تنش های کششی بالایی اتفاق می افتد، رفتار بتن را اصلاح می کند. در مخلوط هایی که با الیاف اصلاح می شوند، مقاومت کششی، مقاومت خمشی، انعطاف پذیری و کنترل ترک بهبود می یابد. مهمترین عواملی که عملکرد مصالح مخلوط را کنترل می کند، عبارتند از [۱-۱]:

۱- مشخصات فیزیکی تقویت کننده ها و ماتریس

۲- مقاومت پیوستگی بین تقویت کننده و ماتریس

هر چند اصول اساسی حاکم بر ساختارهای بتن معمولی و مسلح به الیاف، مشابهند، با این حال از نظر مشخصات، تفاوت هایی چند بین این دو وجود دارد:

۱- الیاف در سرتاسر مقطع عرضی داده شده، توزیع می شوند در حالیکه میلگردها یا سیمها

فقط در نواحی مورد نیاز قرار داده می شوند.

۲- بیشتر الیاف در مقایسه با میلگردهای ممتد، نسبتاً کوتاه بوده و در فاصله ای نزدیک به هم

قرار دارند.

۳- بطور کلی این امکان وجود ندارد که با استفاده از الیاف بتوان همانند شبکه‌های میلگرد یا سیم‌های تقویت، به یک نسبت بالای تقویت (مساحت تقویت به مساحت بتن) دست یافت. اصلاحات تئوریک پیچیده‌ای در زمینه ساز و کارهای تقویت با الیاف در دسترس می‌باشد [۱-۱]، [۳-۱] که از حوصله این کتاب خارج است. با این حال عوامل وابسته به زمان مانند خصوصیات و مقاومت پیوستگی بین الیاف و ماتریس باعث می‌شوند که نتوان با استفاده از این اصلاحات تئوریک، خصوصیات مخلوط را به دقت پیش بینی نمود. روش‌های طراحی عملی که تا به امروز مورد استفاده قرار می‌گرفته‌اند، بر مبنای داده‌های واقعی آزمایش‌هایی است که از تحقیقات پارامتری حاصل شده‌اند.

### ۱-۲- محاسن و معایب FRC

همانطور که پیش از این گفته شد، الیاف معمولاً در سرتاسر مقطع عرضی FRC توزیع می‌شوند. بنابراین ممکن است برخی از الیاف برای تحمل تنش‌های کششی ناشی از بارهای وارده، به طور ناکارآمدی در بتن قرار گیرند. بسته به روش تولید الیاف، جهت‌گیری تصادفی آنها ممکن است دو بعدی و یا سه بعدی باشد. در روش افشانه، الیاف به صورت دو بعدی جهت‌گیری می‌شوند، در حالی که در روش اختلاط از پیش (یا پیمانانه کردن) جهت‌گیری الیاف، عموماً سه بعدی است. همچنین ممکن است الیاف در عرض ترکها با زاویه‌ای غیر از ۹۰ درجه قرار گرفته باشند و یا طول آنها از آنچه که برای تأمین پیوستگی کافی، لازم است، کمتر باشد.

مهمترین حسن استفاده از ساختارهای مسلح به الیاف، بر خلاف ساختارهای مسلح معمولی از فرآیندهای ساخت آنها درک می‌شود. بتن مسلح به الیاف یا به طور معمولی بتن‌ریزی شده و یا با افشانه تولید می‌شود؛ در نتیجه موجب حذف فعالیت‌های سخت و پر زحمت آرماتوربندی می‌گردد. با این حال، تولید محصولات FRC ممکن است نیاز به تلاش سخت و پر زحمت‌تر نسبت به محصولات پیش ساخته بتن معمولی داشته باشد.

در مواردی که بتن‌ریزی صحیح مقاطع نازک با بتن‌های مسلح معمولی بسیار مشکل باشد، می‌توان از بتن‌های مسلح به الیاف به عنوان بهترین و مناسب‌ترین گزینه استفاده کرد. همچنین بتن پاشی FRC روشی مناسب برای تولید محصولاتی با شکل نامنظم است. علاوه بر آن بتن مسلح به الیاف، جایگزین مناسبی برای بتن غیر مسلح می‌باشد. با استفاده از مقاطع نسبتاً نازک