

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

تقویت سازه‌های بتنی مسلح با FRP

J. G. Teng
G. F. Chen
S. T. Smit
L. Lam

مترجمین:
مهندس حسین بابا
مهندس سید احمد میر شریفی

مهندس حسین بابا
مهندس سید احمد میر شریفی

عنوان و نام پدیدآور	تقویت سازه‌های بتنی مسلح با FRP / تالیف جی. جی. تنگ... [و دیگران] : مترجمین حسین بابا، احمد میرشریفی.
مشخصات نشر	تهران : نوآور، ۱۳۹۳.
مشخصات ظاهری	۲۸۸ ص.
شابک	۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۱۷۴-۵
وضعیت فهرست نویسی	فیبا
یادداشت	عنوان اصلی: FRP-strengthened RC structures , c2002
یادداشت	تالیف جی. جی. تنگ، جی. اف. چن، اس. تی. اسمیت، ال. لام.
موضوع	مواد چندسازه
موضوع	بتن تقویت شده با الیاف
موضوع	راه و ساختمان
شناسه افزوده	تنگ، ج. جی.
شناسه افزوده	Teng, J.G.
شناسه افزوده	بابا، حسین، ۱۳۵۵ - مترجم
شناسه افزوده	میرشریفی، احمد، ۱۳۵۵ -
رده بندی کنگره	۱۳۹۳ ت ۹ ج ۹/۴۱۸ TA
رده بندی دیویی	۱۸۳۴۱/۶۲۴
شماره کتابشناسی ملی	۳۴۳۹۴۹۱

تقویت سازه‌های بتنی مسلح با FRP

مهندس حسین بابا، مهندسی سید احمد میرشریفی
 نوآور
 ۱۰۰۰ نسخه
 محمدرضا نصیرنیا
 ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۱۷۴-۵

مترجمین:
 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
 ۹۲-۹۱۹۱۴۸۴۶۶-۰۹۱۲۳۰۷۶۷۴۸

www.noavarpub.com

فروشگاه ۱: تهران خ انقلاب، نش خ ۱۲ فروردین پلاک ۱۳۱۰، کتابفروشی الیاس تلفن: ۶۶۹۵۵۸۷۸ - ۶۶۴۰۵۰۸۴
 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: ۶۶۴۱۳۹۹۸ - ۶۶۴۰۲۵۷۹
 فروشگاه ۴: اصفهان، م انقلاب، خ چهار باغ عباسی ابتدای خ سید علی خان، کتابفروشی مهرگان تلفن: ۰۳۱۱۲۲۱۳۷۵۱
 فروشگاه ۵: تبریز، خ امام، فلکه دانشگاه، اول خ دانشگاه، کتابفروشی علامه تلفن: ۰۴۱۱۳۳۴۱۶۶۹ - ۰۴۱۱۳۳۴۱۹۸۶

کلیه حقوق چاپ و نشر این کتاب مطابق با قانون حقوق مؤلفان و مصنفان مصوب سال ۱۳۴۸ برای ناشر محفوظ و منحصراً متعلق به نشر نوآور می‌باشد. لذا هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از این کتاب (از قبیل هر نوع چاپ، فتوکپی، اسکن، عکس برداری، نشر الکترونیکی، هر نوع انتشار به صورت اینترنتی، سی دی، دی وی، فیلم فایبل صوتی یا تصویری و غیره) بدون اجازه کتبی از نشر نوآور ممنوع بوده و شرعاً حرام است و متخلفین تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

فهرست مطالب

۱- مقدمه	مقدمه مترجمین
۲- روشهای تقویت	فهرست نمادگذاری کتاب
۱-۲ روش عمومی	فصل اول / کامپوزیتهای FRP در تقویت
۲-۲ ورقهای فاقد پیش تنیدگی در وجه تحتانی تیرها	سازههای بتنی مسلح
۳-۲ مهار انتهایی در ورقهای فاقد پیش تنیدگی در وجه تحتانی تیر بتنی مسلح	۱- مقدمه
۴-۲ ورقهای پیش تنیده تحتانی	۲- روشهای تشکیل کامپوزیتهای FRP
۵-۲ سخن پایانی	۳- خواص مکانیکی کامپوزیتهای FRP
۳- رفتار و مودهای خرابی	۴- رزینها
۱-۳ طبقه‌بندی مودهای خرابی	۵- مقایسه عملکردی کامپوزیت‌های FRP در تقویت سازه‌ها
۲-۳ خرابی خمشی	۶- ضرائب جزئی ایمنی
۳-۳ خرابی برشی	۷- سخن پایانی
۴-۳ خرابی به دلیل جدایش در قسمت انتهایی ورق FRP	Reference
۱-۴-۳ جدایی پوشش بتنی	فصل دوم / مقاومت چسبندگی اتصالات FRP به بتن
۲-۴-۳ جدایش بین لایه‌ای انتهایی ورق FRP	۱- مقدمه
۵-۳ جدایش بین لایه‌ای به دلیل ترک در قسمت میانی ورق	۲- روشهای آزمایشی، رفتار و مود خرابی
۱-۵-۳ جدایش بین لایه‌ای به دلیل ترک خمشی در قسمت میانی	۳- مدل‌های مقاومت چسبندگی
۲-۵-۳ جدایش بین لایه‌ای به دلیل ترک برشی - خمشی در قسمت میانی	۱-۳ مدل‌های تجربی
۶-۳ مودهای خرابی جدایشی دیگر	۲-۳ مدل مبتنی بر مکانیک شکست
۷-۳ جنبه‌های دیگری از جدایش	۳-۳ پیشنهادات طراحی
۱-۷-۳ آماده‌سازی سطح بتن	۴-۳ عملکرد مدل‌های مقاومت چسبندگی
	۴- مدل چن و تنگ
	۵- توصیه‌های طراحی
	۶- نتیجه‌گیری
	Reference
	فصل سوم / تقویت خمشی تیرها

- ۳-۷-۲ لایه پیوندساز (چسب)
 ۳-۷-۳ آماده‌سازی سطح FRP
 ۳-۸ مهارهای انتهایی به صورت نوارهای U
 شکل
- ۴- تقویت خمشی
 ۴-۱ کلیات
 ۴-۲ معادلات طراحی
 ۴-۳ اثر پیش بارگذاری
 ۵- تنش‌های بین لایه‌ای
 ۵-۱ کلیات
 ۵-۲ روش‌ها یا راه‌حلهای تحلیلی تقریبی
 ۵-۳ نتایج روش اجزاء محدود
 ۵-۴ روش‌های تحلیلی مرتبه بالاتر
 ۵-۵ ملاحظات
 ۶- مدل‌های مقاومتی جدایش انتهایی ورق
 ۶-۱ کلیات
 ۶-۲ مروری بر مدل‌های مقاومتی جدایش
 ۶-۱-۲ مدل‌های مبتنی بر ظرفیت برشی
 ۶-۲-۲ مدل‌های دندان‌های بتن
 ۶-۳-۲ مدل‌های مبتنی بر تنش بین لایه‌ای
 ۶-۴-۲ مدل‌های محدودیت‌های مدل
 ۶-۳-۶ داده‌های تجربی
 ۶-۳-۶ معیار انتخابی در پایگاه داده‌های
 اسمیت و تنگ
- ۶-۴-۲ مقایسه نموداری مدل‌های مقاومتی
 جدایش
 ۶-۴-۵ سایر ملاحظات در مورد مدل‌های
 مقاومتی جدایش
 ۶-۵ مدل اسمیت و تنگ
 ۶-۵-۱ مدل اهلر
 ۶-۵-۲ مدل اسمیت و تنگ
 ۶-۵-۳ مزایای مدل اسمیت و تنگ
 ۷- مدل مقاومتی جدایش بین لایه‌ای به دلیل
 ترک میانی
 ۷-۱ کلیات
 ۷-۲ جدایش به دلیل ترک خمشی میانی
 ۷-۳ جدایش بین لایه‌ای به دلیل ترک خمشی
 - برشی میانی
 ۸- توصیه‌های طراحی
 ۸-۱ مقاطع بحرانی و مهار انتهایی ورق
 ۸-۲ کنترل مقاومت
 ۸-۳ ضرایب جزئی ایمنی
 ۸-۴ نحوه کاربرد روند طراحی تیرهای ساده
 برای تیرهای نامعین
 ۹- نتیجه‌گیری
 ۱۰- پیوست (الف)
 ۱۱- پیوست (ب)
 ۱۱-۱ مدل‌های مبتنی بر ظرفیت برشی
 ۱۱-۱-۱ مدل اهلر
 ۱۱-۱-۲ مدل جانسنز
 ۱۱-۱-۳ مدل احمد و ون جمرت
 ۱۱-۲ مدل‌های دندان‌های بتن
 ۱۱-۲-۱ مدل رئوف و ژنگ
 ۱۱-۲-۲ مدل ونگ و لینگ
 ۱۱-۲-۳ مدل رئوف و حسانن
- ۶-۳-۲ فرضیات مربوط به خصوصیات
 هندسی و مشخصات مصالح
 ۶-۴ عملکرد مدل‌های مقاومتی جدایش
 ۶-۴-۱ جدائی پوشش بتن: مدل برتر
 ۶-۴-۲ جدائی پوشش بتن: مدل‌های ضعیفتر
 ۶-۴-۳ نتایج همه آزمایشات

۵-۶ طرح تقویت برای تیرهای نامعین
 ۷- مقایسه مدل پیشنهادی با مشاهدات
 تجربی
 ۸- نتیجه‌گیری
 Reference
فصل پنجم / تقویت خمشی دال‌ها

۱- مقدمه
 ۲- روش‌های تقویت
 ۲-۱ کلیات
 ۲-۲ دال‌های یکطرفه یا دوطرفه با تکیه‌گاه
 ساده
 ۲-۳ دال‌های طره‌ای
 ۳- رفتار و مودهای خرابی
 ۳-۱ دال‌های طره‌ای و دال‌های یکطرفه
 ۳-۲ دال‌های دوطرفه
 ۴- توصیه‌های طراحی برای دال‌های یکطرفه
 ۵- توصیه‌های طراحی برای دال‌های دو
 طرفه
 ۵-۱ مقاومت خمشی با روش ضریب لنگر
 ۵-۲ تعیین مقاومت خمشی با تحلیل خطوط
 تسلیم
 ۵-۳ مقاومت‌های جدایشی
 ۵-۴ مهار کردن نوارها یا صفحات FRP
 ۶- نتیجه‌گیری
 Reference

**فصل ششم / تقویت ستون‌ها تحت بار
 محوری و بار خارج از محور**
 ۱- مقدمه
 ۲- روش‌های تقویت
 ۲-۱ کلیات

۱۱-۳ مدل‌های مبتنی بر تنش بین لایه‌ای
 ۱۱-۳-۱ مدل‌های زیرابا و همکاران
 ۱۱-۳-۲ مدل وارسته پور و حاملین
 ۱۱-۳-۳ مدل سعادت‌منش و مالک
 ۱۱-۳-۴ مدل تومیالان و همکاران
 Reference

فصل چهارم / تقویت برشی تیرها
 ۱- مقدمه

۲- روش‌های تقویت
 ۲-۱ طرح‌های تقویت
 ۲-۲ انتخاب روش تقویت
 ۳- مودهای خرابی
 ۳-۱ کلیات
 ۳-۲ خرابی برشی با گسیختگی FRP
 ۳-۳ خرابی برشی بدون گسیختگی FRP
 ۳-۴ خرابی برشی ناشی از جدایش FRP
 ۳-۵ خرابی‌های موضعی در اطراف مهارهای
 مکانیکی
 ۴- تحقیقات موجود در زمینه مدل‌های
 مقاومت برشی
 ۵- مدل مقاومت برشی چن و تنگ
 ۵-۱ کلیات

۵-۲ خرابی برشی کنترل شونده با گسیختگی
 FRP
 ۵-۳ خرابی برشی کنترل شونده با جدایش
 FRP
 ۶- توصیه‌های طراحی

۶-۱ معادلات کلی
 ۶-۲ خرابی برشی کنترل شونده با گسیختگی
 FRP
 ۶-۳ خرابی برشی کنترل شونده با جدایش
 FRP
 ۶-۴ فاصله مورد نیاز برای نوارهای FRP

- ۲-۲ دور پیچ کردن
- ۲-۳ دورپیچ کردن با رشته‌های الیاف یکپارچه
- ۲-۴ مقایسه روش‌های تقویت
- ۲-۶ جنبه‌های ساختمانی
- ۲-۷ اصلاح شکل مقطع
- ۳- مودهای خرابی و نحوه رفتار ستون‌های محصور شده با ورق‌های FRP
- ۳-۱ ستون‌های بتنی با مقطع دایره
- ۳-۲ ستون‌های بتنی با مقطع مستطیلی
- ۳-۳ ستون‌های بتنی با مقطع بیضی
- ۴- مقاومت فشاری ستون‌های محصور شده با FRP
- ۴-۱ کلیات
- ۴-۲ مروری بر مدل‌های مقاومتی
- ۴-۳ داده‌های تجربی
- ۴-۴ بررسی روند داده‌های آزمایشی
- ۴-۵ عملکرد مدل‌های مقاومتی موجود
- ۴-۶ مدل لم و تنگ
- ۵- رفتار تنش-کرنش بتن‌های محصور شده با FRP
- ۵-۱ کلیات
- ۵-۲ مرور مدل‌های تنش-کرنش
- ۵-۳ داده‌های تجربی
- ۵-۴ بررسی روند داده‌های تجربی
- ۵-۴-۱ کرنش محوری نهائی
- ۵-۴-۲ نقطه برخورد قسمت خطی دوم منحنی تنش-کرنش با محور تنش
- ۵-۴-۳ کرنش حلقوی FRP در زمان
- ۵-۵ عملکرد مدل‌های تنش-کرنش موجود
- ۵-۵-۱ کرنش محوری نهائی
- ۵-۵-۲ منحنی‌های تنش-کرنش
- ۵-۵-۳ مدل تنش-کرنش لم و تنگ
- ۵-۶-۱ مدل تنش-کرنش لم و تنگ
- ۵-۶-۲ بهترین برازش مدل تنش-کرنش
- ۵-۶-۳ مدل تنش-کرنش جهت استفاده در مقاصد طراحی
- ۶- ستون‌های بتنی مستطیلی محصور شده با FRP
- ۶-۱ کلیات
- ۶-۲ مدل‌های موجود
- ۶-۲-۱ معادلات کلی
- ۶-۲-۲ ضریب شکل
- ۶-۲-۳ قطر ستون دایروی معادل
- ۶-۳ داده‌های تجربی
- ۶-۴ مدل لم و تنگ
- ۷- ستون‌های بیضوی محصور شده با FRP
- ۸- توصیه‌های طراحی برای ستون‌های تحت بار محور
- ۸-۱ کلیاتی در مورد مقاومت محوری بتن‌های محصور شده با FRP
- ۸-۲ مقاومت نهائی ستون‌های بتن مسلح محصور شده با FRP تحت بارهای محوری
- ۹- توصیه‌های طراحی برای ستون‌های تحت بار خروج از محور
- ۹-۱ کلیات
- ۹-۲ مطالعات موجود روی ستون‌های بتنی مسلح محصور شده با FRP تحت بار خروج

- از محور شده
- ۳-۹ مقاومت نهائی ستون‌های بتنی مسلح محصور شده با FRP تحت بارهای خروج از محور
- ۴-۹ تحلیل لنگر-انحنای ستون‌های بتن مسلح محصور شده با FRP
- ۵-۹ منحنی‌های اندرکنش نمونه ۱۰- نتیجه‌گیری
- Reference
- فصل هفتم / بهسازی لرزه‌ای ستونها**
- ۱- مقدمه
- ۲- مودهای معمول خرابی ستون‌های بتن مسلح تحت اثر بارهای لرزه‌ای
- ۱-۲ کلیات
- ۲-۲ خرابی برشی
- ۳-۲ خرابی ناشی از ایجاد مفصل پلاستیک خمشی
- ۴-۲ خرابی در محل وصله پوششی آرماتورها
- ۵-۲ خرابی برشی-خمشی ستونها در محل قطع آرماتورهای طولی
- ۶-۲ خرابی شالوده
- ۳- روش‌های بهسازی
- ۱-۳ روکش‌های FRP با الیاف افقی
- ۲-۳ ایجاد قید طولی با FRP
- ۴- شکل‌پذیری خمشی ستون‌های بهسازی شده
- ۴-۱ ضرایب شکل‌پذیری
- ۴-۲ شکل‌پذیری ستون‌های بتنی مسلح بهسازی شده
- ۵- حالت یا وضعیت نهائی ستون‌های بهسازی شده
- ۱-۵ کلیات
- ۲-۵ خرابی برشی
- ۳-۵ خرابی ناشی از ایجاد مفصل پلاستیک خمشی
- ۴-۵ خرابی در محل وصله پوششی
- ۵-۵ خرابی خمشی ستون‌های تقویت شده با FRP طولی
- ۶- توصیه‌های طراحی
- ۱-۶ کلیات
- ۲-۶ مقاومت برشی
- ۳-۶ محصور نمودن مفصل پلاستیک خمشی
- ۴-۶ ایجاد محدودیت در محل وصله پوششی
- ۵-۶ جزئیات طراحی
- ۷- نتیجه‌گیری
- Reference
- واژه‌نامه

تلفن: ۲-۶۶۴۸۴۱۹۱

مقدمه مترجمین:

امروزه تقویت سازه‌های بتنی موجود یا دیگر سازه‌ها و یا مرمت آنها به منظور تحمل بارهای مضاعف طراحی، افزایش شکل‌پذیری سازه و ... با استفاده از کامپوزیت‌های پلیمری پلاستیکی مسلح شده با الیاف (FRP) بسیار عمومیت یافته است. در گذشته اغلب، استفاده از صفحات فولادی به صورت پوشش خارجی، غلاف‌های بتنی یا فولادی و پس کشیدگی خارجی در تقویت این سازه‌ها مرسوم بوده است. استفاده از مواد مرکب مسلح شده با الیاف به عنوان یک ضرورت در جایگزینی مصالح سنتی و شیوه‌های متعارف معرفی شده است. این امر بواسطه ضرورت پشتیبانی و بروز رسانی زیرساخت‌های اصلی در اقصی نقاط دنیا و نیز مزایای کاملاً شناخته شده کامپوزیت‌های FRP شامل مقاومت در برابر خوردگی بالا، سهولت حمل مواد در کارگاه به دلیل وزن اندکشان و کاهش مستمر قیمت این کامپوزیت‌ها می‌باشد. رشد قابل ملاحظه در مقالات علمی و تحقیقات صورت گرفته در دنیا گواهی بر گستره شناخت صحیح از اهمیت این فناوری جدید بوده و چه بسا این تحقیقات باعث توسعه روش‌های مقاوم‌سازی نوین با استفاده از کامپوزیت‌های FRP گردد.

هدف از ترجمه این کتاب فراهم ساختن خلاصه‌ای از دانش روز تحقیقات علمی و آزمایشگاهی انجام شده موجود که تأکید آن بر بهسازی عمیق در رفتارهای بنیادین و نیز مقاومت سازه‌های بتنی تقویت شده با FRP است، می‌باشد. آنچه که این کتاب را از دیگر کتب منتشر شده در این زمینه مستثنی می‌سازد، نمایش مجموعه جامعی از توصیه‌های طراحی بدقت پایه‌یزی شده کاربردی می‌باشد. مترجمین امیدوارند که این کتاب به عنوان یک منبع اطلاعاتی مهم و با دانش روز در زمینه FRP در گستره وسیعی مورد توجه خوانندگان، محققین کارآزموده، مهندسان و دانشجویان قرار گیرد. اعتقاد مترجمین بر این است که با تأکید بر بهسازی عمیقی که در رفتارهای زیر بنایی و توصیه‌های طراحی پیشرفته صورت می‌گیرد، کتاب حاضر بتواند بعنوان یک منبع کمکی برای استفاده کنندگان و نویسندگان آئین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های طراحی مفید واقع شود.

شایان ذکر است قبل از انتخاب نوع تقویت با استفاده از کامپوزیت‌های FRP مشاور طراح باید مناسب بودن آن را جهت تقویت عناصر سازه‌ای مورد نظر ارزیابی نماید.

فهرست نمادگذاری کتاب

نمادهای استفاده شده در این کتاب به جز نمادهای بکار رفته در بخش پیوست، در ذیل آورده شده است. در این فهرست هر جا که یک نماد بیشتر از یک تعریف داشته باشد، در صورتی که این تعاریف در فصل‌های مختلف باشد، شماره فصل‌های مربوط به آن تعریف، نیز مشخص شده و در صورتیکه در یک فصل چند تعریف داشته باشد، فقط شماره آن فصل آمده است.

$$A_{bl} = \text{مساحت سطح مقطع یک آرماتور طولی در ستون بتنی مسلح}$$

$$A_c = \text{مساحت سطح مقطع ستون بتنی}$$

$$A_e = \text{مساحت سطح مقطع مؤثر بتن محصور شده (فصل ۶)، مساحت مؤثر برشی (فصل ۷)}$$

$$A_{frp} = \text{مساحت سطح مقطع FRP (فصل ۳)، مساحت سطح مقطع یک جفت نوار FRP (فصل ۴)}$$

$$A_g = \text{مساحت سطح مقطع کل ستون}$$

$$A_s = \text{مساحت سطح مقطع آرماتور کششی تیر}$$

$$A_{sc} = \text{مساحت سطح مقطع آرماتورهای طولی ستون}$$

$$A_{sh} = \text{مساحت سطح مقطع آرماتورهای عرضی (تنگ) ستون}$$

$$A_{si} = \text{مساحت سطح مقطع } i \text{ آمین لایه آرماتورهای تیر (فصل ۳)، مساحت سطح مقطع}$$

$$i \text{ آمین لایه آرماتورهای طولی ستون (فصل ۶)}$$

$$= a \text{ نصف طول قطر اصلی مقطع بیضی}$$

$$= a. \text{ پارامتر تعریف شده با معادله (۲-۷ ه)}$$

شیرنوآور

تلفن: ۲-۶۶۴۸۴۱۹۱

کامپوزیتهای FRP در تقویت سازه‌های بتنی مسلح

۱- مقدمه

یکی از روشهای عمومی که در گذشته در تقویت سازه‌های بتنی مسلح (RC) مورد استفاده قرار می‌گرفته است، اتصال ورقهای فولادی به این نوع سازه‌ها می‌باشد. تحقیقات گسترده‌ای که در سالهای اخیر در زمینه کاربرد ورقهای پلیمری تقویت شده با الیاف (همچنین ورقهای پلاستیکی تقویت شده با الیاف) (FRP) صورت گرفته، باعث جانشینی آن به جای اتصال ورقهای فولادی شده است. همچنین، از FRPها بطور فراوان در تقویت ستونهایی که دچار اعوجاج شده‌اند، استفاده شده است. در حال حاضر گروههای تحقیقاتی زیادی در سرتاسر دنیا در این زمینه به تفحص مشغولند. اخیراً شاو و دروت (۱۹۹۹)، بُناسی و مالج (۲۰۰۰) و هامیلتون و دولان (۲۰۰۰) کاربردهایی از FRP را به تفصیل شرح داده‌اند و این در حالیست که ملاحظات کلی در زمینه کاربردهای FRP توسط کارباری و سیبل (۲۰۰۰) و نیل (۲۰۰۰) ارائه شده است.

تکنولوژی چسباندن ورقهای FRP برای اولین بار توسط میر و همکارانش در سال ۱۹۹۳ مورد بررسی قرار گرفت. آنها در یک آزمایشگاه تحقیقاتی در کشور سوئیس از آزمایشهایی که از سال ۱۹۸۴ بر روی تیرهای RC تقویت شده با ورقهای CFRP آغاز شده بود، به تکنولوژی فوق دست یافتند. در این آزمایشگاه، آزمایشهایی بر روی مواد انجام می‌گرفت. مزایای ورقهای FRP، نسبت مقاومت به وزن بالا و مقاومت در برابر خوردگی بالا می‌باشد. خاصیت اول، منجر به سهولت حمل مواد در کارگاه، کاهش هزینه کارگر و وقفه در سرویس‌دهی و خدمات موجود شده و خاصیت دوم، دوام‌پذیری عملکرد سیستم را تأمین می‌کند. ورقهای FRP معمولاً حداقل دو برابر و بالغ بر ۱۰ برابر از ورقهای فولادی قویتر می‌باشند، در حالیکه وزن آنها فقط ۲۰٪ وزن این ورقها می‌باشد (داری ۱۹۹۹).

کامپوزیتهای FRP در زمینه‌های دیگری همچون صنعت هوافضا چندین سال است که استفاده می‌شود و خواص برتر آنها شناخته شده می‌باشند. با توجه به آنکه استفاده از مواد FRP در مهندسی عمران دارای هزینه‌های بالایی می‌باشد، کاربرد آن در این علم تاکنون محدود بوده است. با این وجود، از آنجا که قیمت این مواد به سرعت رو به کاهش است، باعث کاربردهای

وسیعتر در مهندسی عمران شده است. در مقاومسازی ساختمانها، جایی که تنها هزینه مواد مورد نظر است و شاید این هزینه تنها قسمت کوچکی از هزینه کلی که شامل هزینه کارگر و خسارت ناشی از اختلال در خدمات است، باشد، کامپوزیتهای FRP اغلب بهترین گزینه از نقطه نظر اقتصادی می باشد (هل اوی و لیمینگ ۱۹۹۹).

۲- روشهای تشکیل کامپوزیتهای FRP

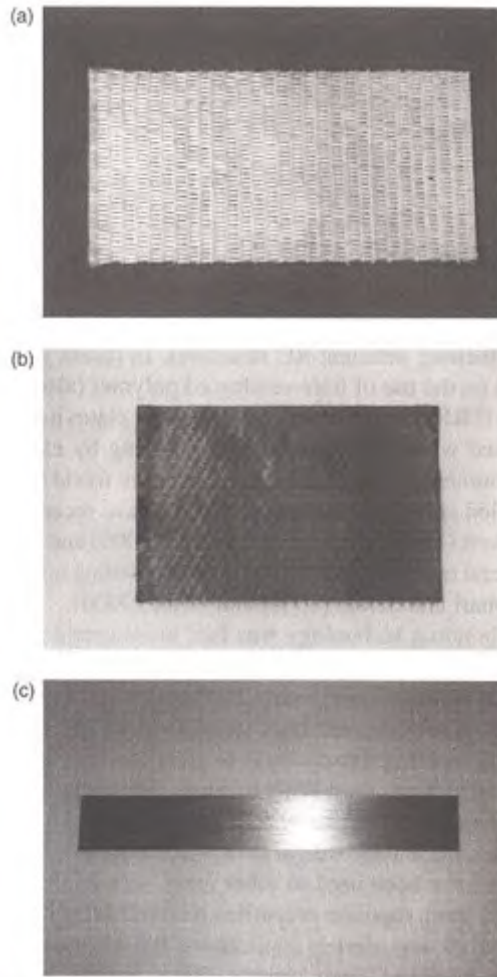
کامپوزیتهای FRP با قرار دادن الیاف یکپارچه در خمیری از رزین که الیاف را به هم می چسباند، تشکیل شده اند. از الیاف متعارفی که در کامپوزیتهای FRP مورد استفاده قرار می گیرد، می توان به الیاف کربن، شیشه و آرامید و همچنین از رزینهای متعارف به رزینهای اپوکسی، پلی استر و وینیل استر اشاره نمود. بسته به الیاف بکار رفته، کامپوزیتهای FRP به سه نوع طبقه بندی می گردد: کامپوزیتهای پلیمری تقویت شده با الیاف شیشه (GFRP)، کامپوزیتهای پلیمری تقویت شده با الیاف کربن (CFRP) و کامپوزیتهای پلیمری تقویت شده با الیاف آرامید (AFRP). برای مطالعه سابقه کلی از ترکیب این مواد و خواص مکانیکی آنها می توان به مرجع ACI 440R-96 (۱۹۹۶) مراجعه نمود.

از روشهای تشکیل کامپوزیتهای FRP دو روش معمول در تقویت سازه های RC مورد استفاده قرار می گیرد. روش اول که عموماً به روش لایه گذاری تر موسوم است و بیشتر مورد استفاده قرار می گیرد، استعمال در جای رزین می باشد که یا به شکل ساختار منسوج (شکل ۱-۱) - ۲ بوده و یا همانند ورق می باشد که در یک جهت کشیده شده باشد (شکل ۱-۱b). در روش دوم کامپوزیتهای FRP در قالبهای مختلفی بصورت پیش ساخته می باشند که شامل پولتروژن^۱ و ورقها جهت تقویت خمشی و رشته های مارپیچی در پوسته ها به منظور تقویت ستونها است. روش لایه گذاری بیشتر در برگیرنده استعمال درجا می باشد که بر اساس اتصال به سطوح خمیده و تاب خوردگی حول گوشه ها است، در حالیکه در روش پیش ساخته (پولتروژن)، کنترل کیفیت بهتر انجام می پذیرد. جزئیات بیشتر روشهای تشکیل FRP با ذکر کاربردهایی از آن در فصول بعدی آمده است. روش سوم تشکیل کامپوزیتهای FRP، تزریق رزین نام دارد که مشخصات آن مشابه روش لایه گذاری تر بوده و کمتر از آن مورد استفاده قرار می گیرد (کارباری وزائو ۱۹۹۸).

مواد FRP معمولاً به شکل بسته بندی شده به بازار عرضه شده و در داخل خود دستورات عمل استفاده توسط کاربر را نیز دارا می باشد. رعایت دستورات عملهای مزبور بویژه در

۱. فرایند ممتدی (شامل کشیدن الیاف از داخل حمام پر شده از رزین و سپس ورود به قالبی که شکل مقطع را تعیین می کند) که برای ساخت کامپوزیتهای دارای مقطع عرضی یکنواخت با پخت آن توسط گرما بکار می رود.

فرایند لایه‌گذاری تر الزامی است.



شکل ۱-۱ روش‌های مختلف تولید کامپوزیت برای کاربردهای مقاوم سازی:
(a) ساختار منسوج شیشه‌ای، (b) صفحات کشیده شده در یک جهت، (c) ورق پولترود شده CFRP

۳- خواص مکانیکی کامپوزیت‌های FRP

در کاربردهای عملی و تحقیقاتی در تقویت سازه‌های RC، هر سه نوع کامپوزیت FRP، یعنی CFRP، GFRP و AFRP مورد استفاده قرار می‌گیرند. جدول ۱-۱ که از کتاب هید (۱۹۹۶) اتخاذ شده است، مقاومت و سختی انواع مختلف کامپوزیت‌های FRP با الیاف یک جهت را نشان می‌دهد. باید به این نکته توجه نمود که محدوده ذکر شده در این جدول بعنوان یک شاخص مطرح بوده و ممکن است یک محصول خاص، بویژه زمانی که مقدار الیاف با محدوده ذکر شده در این جدول متفاوت است، دارای خواص بهتری خارج از این محدوده باشد.

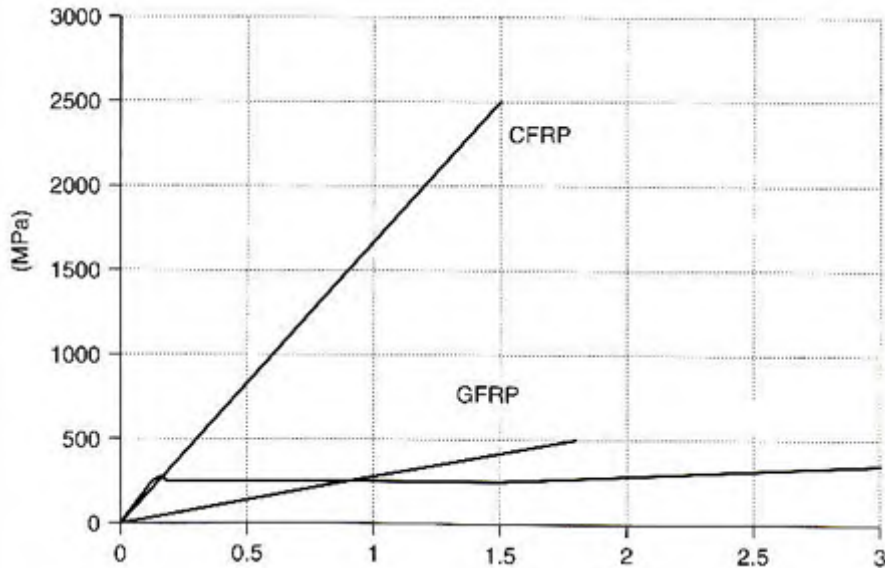
جدول ۱-۱ خواص مکانیکی کامپوزیت‌های CFRP، GFRP و AFRP (۱۹۹۶م.)

مقاومت کششی (Mpa)	مدول کششی طولی (Gpa)	دانسیته (Kg/m ³)	مقدار الیاف (درصد به وزن)	مواد مرکب پیشرفته با الیاف یکجته
۱۸۰۰-۴۰۰	۵۵-۲۰	۲۰۰۰-۱۶۰۰	۸۰-۵۰	لایه GFRP الیاف کربن پلی استر
۲۲۵۰-۱۲۰۰	۲۵۰-۱۲۰	۱۹۰۰-۱۶۰۰	۷۵-۶۵	لایه CFRP الیاف کربن اپوکسی
۱۸۰۰-۱۰۰۰	۱۲۵-۴۰	۱۲۵۰-۱۰۵۰	۷۰-۶۰	لایه AFRP الیاف آرامید اپوکسی

همچنین در توصیف مدول الاستیسیته و مقاومت کششی در کامپوزیت FRP که با فرایند لایه‌گذاری تر تشکیل شده است، کنترل یا تعریف دقیق ضخامت کامپوزیت FRP معمولاً مشکل می‌باشد. این امر باعث می‌شود تا برای تعیین ضخامت کامپوزیت FRP از ضخامت ورق الیاف (احمد و وان جمرت ۱۹۹۹) یا ضخامت پیشنهاد شده توسط شرکت سازنده (تنگ و همکاران ۲۰۰۰b) استفاده گردد. در نتیجه مدول الاستیسیته و مقاومت کششی به تعریف ضخامت کامپوزیت FRP بستگی داشته و لذا این مقادیر می‌تواند خارج از محدوده مقادیر مذکور در جدول ۱-۱ و بزرگتر نیز باشند.

بدون توجه به الیاف بکار رفته در FRP یا روش تشکیل آن، رفتار تنش- کرنش هر سه ماده FRP یکسان می‌باشد؛ یعنی رفتار ارتجاعی خطی تا مرحله پایانی گسیختگی ترد در کشش. ویژگی مزبور خاصیت بسیار مهمی از کامپوزیت‌های FRP به لحاظ کاربرد سازه‌ای می‌باشد. شکل ۱-۲ منحنی تنش- کرنش CFRP، GFRP و فولاد نرمه را نشان می‌دهد. در این شکل علاوه بر اختلافی که در مقاومت این مواد مشاهده می‌شود، تفاوت روشنی نیز بین رفتار شکننده کامپوزیت FRP و رفتار شکل‌پذیری فولاد می‌توان ملاحظه نمود. این موضوع از نظر سازه‌ای دو نتیجه اساسی در پی دارد: اول آنکه کامپوزیت‌های FRP، شکل‌پذیری فولاد را دارا نمی‌باشند و شاید شکنندگی آنها رفتار شکل‌پذیر اعضای RC تقویت شده با کامپوزیت FRP را محدود سازد. با این وجود، زمانی که از آنها در محصور کردن بتن استفاده می‌شود، این مواد می‌توانند مقاومت و شکل‌پذیری ستونها را بسیار افزایش دهند. نتیجه دوم از رفتار شکننده کامپوزیت‌های FRP، محدود شدن بازتوزیع تنش بواسطه عدم شکل‌پذیری آنها می‌باشد. در نتیجه در طرح سازه‌هایی که در آنها از کامپوزیت‌های FRP استفاده شده است نمی‌توان روشهای موجود طراحی سازه‌های RC را که با آرماتورگذاری فولادی مسلح شده‌اند، دنبال کرد. در

عوض، لازم است تا روشهای طراحی سازه‌های RC بر اساس تحقیقات جامع با منظور کردن خاصیت شکنندگی مواد FRP اصلاح گردد. همچنین مسائل کاملاً جدید نیازمند تحقیقات جامع و کاملی می‌باشد.



شکل ۱-۲ نمودارهای تنش - کرنش FRP و فولاد نرمه

خواص کششی کامپوزیت‌های FRP معمولاً از برشهای تختی که از استاندارد آزمایشی مناسبی (یعنی ASTM D3039/D 19953039M-95a) پیروی می‌کند، تعیین می‌شوند؛ در حالیکه در لوله‌های FRP پیش ساخته، آزمایشهای کششی دو نیم کردن که با استفاده از نمونه‌های حلقوی انجام می‌پذیرد (ASTM D2290-921992)، معمول می‌باشند. در آزمایشهای کششی دو نیم کردن نمونه‌های حلقوی، اعتقاد بر این است که برای مقاومت کششی حلقه‌های FRP در جهت حلقه‌ها تخمینهای نزدیکتری زده شود (شاهوی و همکارانش ۲۰۰۰). در آزمایشهای کششی باید هم در آماده‌سازی و هم در آزمایش کردن نمونه‌ها دقت عمل به خرج داد. آزمایشها آنچنان که باید به پراکندگی بزرگی در نتایج منجر نشده و مقاومت‌های کششی کوچکتری نسبت به آزمایشهای دقیق را موجب می‌شوند.

۴- رزینها

رزینهای پلیمری هم بعنوان خمیر FRP و هم بعنوان ماده چسباننده (چسب) جهت چسباندن FRP و بتن مورد استفاده قرار می‌گیرند. کاربرد اخیر رزینها مفهوم خاصی را بیان می‌دارد و آن اینست که مواد چسباننده ضعیف می‌تواند باعث خرابی‌هایی در سطح مشترک گردد. رزینهای اپوکسی معمولاً هنگامی مورد استفاده قرار می‌گیرند که عمل چسباندن رزین .