

بسم الله الرحمن الرحيم

آنالیز و طراحی سازه‌های بتن آرمه تقویت شده با کامپوزیت FRP

(بر اساس آیین نامه‌های ACI 440.2R و fib14)

تألیف:

حسن حسین زاده

کارشناس ارشد سازه

(دانشگاه تبریز)

سرشناسه	حسین زاده، حسن، ۱۳۶۵-
عنوان و نام پدیدآور	آنالیز و طراحی سازه های بتن آرمه تقویت شده با کامپوزیت FRP (بر اساس آیین نامه های ACI 440.2R و fib14) / تألیف حسن حسین زاده
مشخصات نشر	تبریز: انتشارات پژوهش های دانشگاه، ۱۳۹۷.
مشخصات ظاهری	۲۹۰ ص.
شابک	978-600-483-136-9
وضعیت فهرست نویسی	فیبا
یادداشت	کتابنامه: ص. ۲۹۵.
موضوع	بتن تقویت شده با الیاف
موضوع	Fiber reinforced concrete
موضوع	سازه های بتنی - پایداری
موضوع	Concrete structures-- Stability
موضوع	انتشارات پژوهش های دانشگاه
موضوع	University Press Publications
موضوع	۱۳۹۷ هـ/ع - TA۲۴۴
موضوع	۶۳۳/۱۸۳۴۱
موضوع	۵۳۸۵۶۹

عنوان کتاب:	آنالیز و طراحی سازه های بتن آرمه تقویت شده با کامپوزیت FRP
تألیف:	حسن حسین زاده
ناشر:	انتشارات پژوهش های دانشگاه
طراح روی جلد:	امین آقایی نمونه ده
صفحه آرای:	الهام اعرج فدائی
چاپ و مصافح:	مدیران
تیراژ:	۱۰۰۰ جلد
نوبت چاپ:	اول/ ۱۳۹۷
شابک:	۹۷۸-۶۰۰-۴۸۳-۱۳۶-۹
قیمت:	۳۲۰۰۰ تومان



انتشارات پژوهش های دانشگاه

عضو رسمی انجمن ناشران دانشگاهی



انتشارات پژوهش های دانشگاه

دانشگاه تبریز - تبریز

آدرس دفتر مرکزی: آذربایجان شرقی، تبریز، آبرسان، مجتمع تجاری بلور، روبروی کلانتری، داخل حیاط (ضلع شرقی)، پلاک ۳۹
 تلفن های تماس بخش مدیریت: ۰۹۱۴۶۱۴۳۳۴۶/۰۹۱۳۲۲۶۲۱۱۶
 دفتر اهر: شهرستان اهر - میدان معلم - روبروی دارایی - انتشارات پژوهش های دانشگاه / دفتر اهر تلفن: ۰۹۳۰۸۱۴۸۴۸۶
 مرکز بخش: آذربایجان شرقی، تبریز، خیابان امام، روبروی سه راه طالقانی، انتشارات شایسته تلفن: ۰۴۱-۳۵۵۶۱۹۶۱

www.Unpb.org / Info@unpb.org www.Pajohesh-daneshgah.ir / Info@pajohesh-daneshgah.ir

طبق قانون حمایت از حقوق ناشران و مولفان هر شخص حقیقی و حقوقی که تمام یا قسمتی از این اثر را بدون اجازه ناشر و مؤلف، نشر یا عرضه یا تکثیر یا تجدید چاپ نماید مورد پیگیری جدی قانونی خواهد گرفت و مطابق با جرائم قوانین اسلامی برخورد خواهد شد.

سپاس به درگاه ایزد منان که توفیق بی کرانش را نصیب اینجانب فرمود تا همه تلاش خود را به کاربندم و کتاب حاضر را تقدیم جامعه مهندسی عمران نمایم. در جوامع امروزی سازه‌های بسیاری وجود دارند که در دهه‌های گذشته طراحی و اجرا شده‌اند که با توجه به وجود خطاهای طراحی، اجرایی و بهره‌برداری، تغییرات ضوابط آیین‌نامه‌ای و یا توسعه بنا و تغییرات کاربری فاقد ایمنی کافی در برابر اثرات ناشی از زلزله می‌باشند که همین امر ضرورت بحث مقاوم‌سازی و بهسازی سازه‌های موجود را دوچندان نموده است. نحوه شناسایی و برخورد با چنین سازه‌هایی اکنون مقوله بسیار مهمی است که عدم توجه به آن می‌تواند صدمات جبران‌ناپذیری بر این گونه جوامع تحمیل نماید. با توجه به بالا بودن خطر زلزله در ایران و نیز با توجه به اینکه بسیاری از ساختمان‌های موجود در این کشور از لحاظ ساختمان‌های مسکونی و مدارس و بیمارستان‌ها در مناطق مختلف کشور در معرض چنین آسیبی هستند، بنابراین لزوم مقاوم کردن این سازه‌ها باید مورد توجه باشد. امروزه یکی از مؤثرترین راه‌های کاهش خسارت ناشی از زمین‌لرزه‌ها، مقاوم‌سازی ساختمان‌های موجود است. برای مقاوم‌سازی سازه‌ها روش‌ها و مصالح متفاوت وجود دارد، همچنین آیین‌نامه‌های مختلفی نیز در این زمینه منتشر شده است. در این کتاب سعی شده است در ورالعمل‌های مناسب مقاوم‌سازی برای طراحی با کامپوزیت FRP با در نظر گرفتن مشکلات آن بیان شود. ابتدا ما هیم و مطالب مرتبط با کامپوزیت FRP شرح داده می‌شود و سپس مطالب آیین‌نامه‌ای مربوطه بر اساس ACI 440.2R و fib14 اروپا ذکر گردیده و جهت روشن شدن بهتر مطالب مثال‌های کاربردی در انتهای هر فصل ارائه شده است.

بر این اساس این کتاب در ۶ فصل تنظیم شده است که فصل اول آن مقدمه‌ای است به آشنایی با انواع سیستم‌های مقاوم‌سازی FRP، تاریخچه استفاده از این مصالح و کاربردهای آن در سازه‌ها. در فصل دوم سعی شده است تا ساختار کامپوزیت FRP مورد بحث واقع شود و در خصوص الزامات و رزین‌های تشکیل دهنده کامپوزیت و روش‌های مورد استفاده برای نصب این سیستم‌ها در سازه توضیح داده شود. فصل سوم کتاب که یکی از مفصل‌ترین فصل‌های این کتاب است، به معرفی اساس سازه‌های بتن‌آرمه تقویت‌شده با کامپوزیت FRP اختصاص دارد. در این فصل ضمن معرفی کامل روش‌های طراحی در حالت حد نهایی و حد بهره‌برداری، ضوابط آیین‌نامه‌های ACI و fib اروپا مورد بحث واقع می‌شود، همچنین مفهوم ایمنی، شرایط ویژه طراحی و شکل‌پذیری در این فصل توضیح داده شده است و سپس اساس طراحی آیین‌نامه ACI و fib اروپا به‌طور مفصل در بخش‌های جداگانه ارائه شده است. ضرایب کاهش مقاومت، محدودیت‌های مقاوم‌سازی، مدل‌های ارائه‌شده برای رفتار مصالح و شکل‌پذیری اعضای تقویت‌شده از مباحث مبسوط این

فصل است. فصل چهارم کتاب به معرفی، آنالیز و طراحی اعضای خمشی تقویت شده با FRP اختصاص یافته است. در این فصل پس از ارائه رفتار و مدهای خرابی اعضای خمشی تقویت شده، به نحوه طراحی آن بر اساس آیین نامه های ACI و fib اروپا پرداخته شده و در انتهای هر بخش مثال جامعی از تقویت خمشی یک تیر با استفاده از مصالح FRP ارائه شده است. تقویت برشی اعضای بتن آرمه با کامپوزیت FRP در فصل پنجم شرح داده شده است. در این فصل روش های نصب سیستم FRP به این اعضا ارائه شده و روش های تحلیلی و طراحی آیین نامه ای جهت افزایش ظرفیت برشی تیرهای بتنی، ستون ها و دیوارها توضیح داده شده است. فصل ششم این کتاب به بحث محصورسازی اعضای بتنی تحت بارمحوری و یا تحت بارمحوری و خمشی اختصاص دارد، این فصل نیز یکی از مفصل ترین فصل های کتاب حاضر بوده که در آن به روش های مقاوم سازی، تقویت و بهسازی ستون های بتن آرمه پرداخته شده است. محصورسازی با FRP برای افزایش مقاومت در برابر بار محوری و اتصال بتن مسلح و همچنین نواحی اتصال قاب های صلب بتن آرمه بکار می آید. امروزه اکثر کارهای تقویت اعضای بتنی با FRP مربوط به افزایش مقاومت ستون ها به ویژه ستون های بزرگ آزاد راه ها می باشد. از این رو در این فصل به طور مفصل روش های محصورسازی با FRP، رفتار این اعضا و مصالح طراحی آن بر اساس آیین نامه های ACI و fib14 اروپا توضیح داده شده است. در انتهای فصل نیز به منظور تکمیل بحث به ضوابط آیین نامه های موسسه بتن Concrete Society (TR55) و همچنین آیین نامه کانادا 906-02 Canadian Standard Association اشاره ای شده است.

برای تهیه این اثر در مراحل گردآوری منابع، تدوین و تألیف آن، تلاش های زیادی شده است تا مطالب به صورت جامع و با کمترین نقص ارائه شود. با تمام تلاش ها، به سبب غنای موضوع، این کتاب خالی از نقص و ایراد نخواهد بود و امید دارم که مخاطبان گرانقدر نقصان و کاستی های این کتاب را به دیده اغماض نگرسته و بنده را در تکمیل این اثر در چاپ های بعدی یاری دهند.

در پایان لازم میدانم از اساتید بزرگوار دانشکده عمران دانشگاه تبریز، آقای دکتر جمشید اسماعیلی و آقای دکتر مسعود فرزاد تشکر ویژه ای داشته باشم که همواره مشوق و راهگشای بنده در تمام مباحث مربوط به سازه های بتن آرمه بوده و در تهیه این اثر کمک شایانی به بنده نمودند.

حسن حسین زاده

آبان ماه ۱۳۹۷

فهرست مطالب

۳	پیشگفتار
۱۱	فصل اول: آشنایی با مصالح کامپوزیت FRP
۱۱	۱-۱ مقدمه
۱۲	۲-۱ مسلح کننده‌های FRP برای اعضای بتنی جدید
۱۳	۱-۲ آرماتور و مش FRP برای اعضای بتن آرمه
۱۵	۲-۲ کش یا تاندون‌های FRP برای بتن پیش‌تنیده
۱۶	۳-۲-۱ قالب‌ها، ساخته‌شده از کامپوزیت FRP
۱۸	۳-۱ سیستم‌ها-مقاہ سازی FRP برای اعضای سازه‌ای موجود
۲۵	۴-۱ پروفیل‌های FRP در سازه‌های جدید
۲۸	۵-۱ کاربردهای مهم دیگر FRP، مهندسی سازه
۲۹	۶-۱ کاربرد و شرایط استفاده از سیستم‌های FRP
۳۳	فصل دوم: مصالح و روش‌های ساخت
۳۴	۱-۲ مواد خام
۳۵	۲-۲ ویژگی الیاف‌های مسلح کننده
۳۵	۱-۲-۲ الیاف شیشه
۳۷	۲-۲-۲ الیاف کربن
۳۸	۲-۲-۲ الیاف آرامید
۳۹	۳-۲ رزین‌های پلیمری
۴۲	۱-۳-۲ رزین پلی‌استر غیراشباع
۴۳	۲-۳-۲ رزین‌های اپوکسی
۴۴	۳-۳-۲ رزین‌های وینیل‌استر
۴۴	۴-۳-۲ رزین‌های فنولیک
۴۵	۵-۳-۲ رزین‌های پلی‌یورتان
۴۶	۴-۲ روش‌های ساخت
۴۷	۱-۴-۲ پالتروژن
۴۹	۲-۴-۲ روش نصب دستی (یا تر)
۵۱	۵-۲ سیستم‌های فیبری به‌کاررفته در روش نصب دستی
۵۲	۱-۵-۲ شیت‌های فیبر کربنی (TOW SHEET)
۵۳	۲-۵-۲ فابریک الیاف کربن و شیشه
۵۳	۳-۵-۲ سیستم رزین مصرفی در روش نصب تر
۵۵	۴-۵-۲ سیستم‌های پیش‌آغشته

۵۵	۵-۵-۲ سیستم‌های پیش‌عمل‌آوری شده
۵۶	۶-۲ مشخصات کامپوزیت‌های FRP
۵۷	۱-۶-۲ تعیین ویژگی‌ها با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی
۶۳	فصل سوم: اساس طراحی سیستم‌های مقاوم‌سازی FRP
۶۳	۱-۳ مقدمه
۶۶	۲-۳ ویژگی سیستم‌های مقاوم‌سازی
۶۸	۳-۳ شرایط طراحی
۶۹	۱-۳-۳ بررسی حالت حد بهره‌برداری (SLS)
۶۹	۲-۱-۳ بررسی حالت حد نهایی (ULS)
۷۰	۳-۳ وضعیت‌های تصادفی
۷۰	۴-۱-۳ شرایط ویژه طراحی
۷۰	۵-۳-۳ د م
۷۱	۴-۳ ایمنی
۷۱	۱-۴-۳ مفهوم ایمنی با توجه به حالت حد نهایی
۷۱	۲-۴-۳ مفهوم ایمنی با توجه به شرایط تصادفی
۷۲	۵-۳ شکل‌پذیری
۷۲	۴-۳ اساس طراحی آیین‌نامه ACI
۷۲	۱-۴-۳ ضرایب کاهش مقاومت در آیین‌نامه ACI
۷۴	۲-۴-۳ مشخصات مقاومت سیستم FRP
۷۴	۳-۴-۳ اثرات محیطی
۷۶	۴-۴-۳ محدودیت‌های مقاوم‌سازی
۷۶	۱-۴-۴-۳ مقاومت در برابر آتش‌سوزی
۷۸	۵-۳-۳ حد مجاز تنش در سیستم مقاوم‌سازی FRP تحت بارهای بهره‌برداری
۷۹	۶-۴-۳ مقاوم‌سازی فشاری در اعضای خمشی
۷۹	۷-۴-۳ تغییر شکل در سازه‌های تقویت‌شده با FRP
۷۹	۸-۴-۳ محاسبه سطح سیستم مقاوم‌سازی FRP
۷۹	۵-۳ اساس طراحی آیین‌نامه اروپا
۸۰	۱-۵-۳ معرفی
۸۰	۲-۵-۳ بررسی حالت حد نهایی
۸۱	۳-۵-۳ بررسی حالت حد بهره‌برداری
۸۱	۴-۵-۳ مدل‌های ارائه‌شده برای رفتار مصالح سازنده و ضرایب ایمنی مصالح
۸۱	۱-۴-۵-۳ حالت حد بهره‌برداری

۸۱	۲-۴-۵-۳ حالت حد نهایی، عملکرد کامپوزیتی کامل بین بتن و FRP
۸۳	۳-۴-۵-۳ بررسی خرابی ناحیه اتصال در حالت حد نهایی
۸۴	۵-۵-۳ ایمنی
۸۴	۱-۵-۵-۳ مفهوم ایمنی با توجه به حالت حد نهایی
۸۵	۶-۵-۳ شکل پذیری
۸۷	۷-۵-۳ حد مجاز مقاومت سازی
۹۱	فصل چهارم: تقویت خمشی با مصالح FRP
۹۱	۱-۴ مقدمه
۹۵	۲-۴ تقویت خمشی مصالح FRP بر اساس آیین نامه ACI
۹۵	۱-۲-۴ ظرفیت خمشی عضو تقویت شده با FRP
۹۹	۱-۱-۲-۴ کرنش در سازه مقاوم سازی FRP
۱۰۱	۲-۱-۲-۴ تنش در سیستم FRP
۱۰۱	۳-۱-۲-۴ کرنش در آرماتورهای داخل
۱۰۱	۴-۱-۲-۴ عمق تار خنثی
۱۰۲	۵-۱-۲-۴ کرنش موجود در یک عضو خمشی
۱۰۴	۲-۲-۴ تعیین مدهای خرابی و ظرفیت خمشی
۱۰۶	۱-۲-۲-۴ مد 1A: شکست بتن بعد از تسلیم فولادها
۱۰۷	۲-۲-۲-۴ مد 1B: شکست بتن قبل از تسلیم فولادها
۱۰۸	۳-۲-۲-۴ مد 2A: خرابی FRP بعد از تسلیم فولادها
۱۱۱	۴-۲-۲-۴ مد 2B: خرابی FRP قبل از تسلیم فولادها
۱۱۳	۳-۲-۴ وضعیت بالانس
۱۱۶	۴-۲-۴ جزئیات تقویتی سیستم مقاوم سازی خمشی
۱۱۸	۵-۲-۴ روند طراحی برای عضو بتنی تقویت شده
۱۴۷	۶-۲-۴ بررسی اعضای خمشی تقویت شده با FRP در شرایط بهره برداری
۱۴۷	۱-۶-۲-۴ مقطع ترک خورده
۱۵۰	۲-۶-۲-۴ تنش در آرماتورهای فولادی تحت بارهای بهره برداری
۱۵۲	۳-۶-۲-۴ تنش در سیستم FRP تحت بارهای بهره برداری
۱۵۵	۳-۴ مقام سازی خمشی بر اساس آیین نامه fib اروپا
۱۵۵	۱-۳-۴ مقدمه
۱۵۶	۲-۳-۴ وضعیت اولیه عضو
۱۵۷	۳-۳-۴ مدهای خرابی - حالت حد نهایی
۱۵۷	۱-۳-۳-۴ عملکرد کامپوزیتی کامل

۱۵۸.....	۲-۳-۳-۴ فقدان عملکرد کامپوزیتی.....
۱۶۲.....	۴-۳-۴ آنالیز مقاطع در حالت حد نهایی.....
۱۶۲.....	۱-۴-۳-۴ عملکرد کامپوزیتی کامل.....
۱۶۵.....	۲-۴-۳-۴ فقدان عملکرد کامپوزیتی.....
۱۷۴.....	۳-۴-۳-۴ خرابی برشی در انتهای صفحه FRP.....
۱۷۵.....	۵-۳-۴ حالت حد بهره‌برداری.....
۱۷۵.....	۱-۵-۳-۴ اساس محاسبات.....
۱۷۷.....	۲-۵-۳-۴ کنترل تنش در مصالح.....
۱۷۸.....	۳-۵-۳-۴ بررسی خیز.....
۲۰۱.....	۴-۱ ارزیابی روابط ارائه‌شده توسط آیین‌نامه‌های ACI و fib.....
۲۰۶.....	۳-۴ بحث و نتیجه‌گیری.....
۲۰۹.....	فصل پنجم: تقویت برشی اعضای بتن‌آرمه با مصالح FRP
۲۰۹.....	۱-۵ تقویت برشی اعضای بتن‌آرمه با سیستم FRP بر اساس آیین‌نامه ACI 440 2R-02.....
۲۱۰.....	۱-۱-۵ مقدمه.....
۲۱۴.....	۲-۱-۵ ظرفیت برشی عضو تقویت‌شده با FRP.....
۲۱۸.....	۳-۱-۵ کرنش مؤثر FRP در سیستم تقویت برشی.....
۲۱۸.....	۱-۳-۱-۵ پوشش کامل (برای بار) عضو با سیستم FRP.....
۲۱۸.....	۲-۳-۱-۵ پوشش سه وجهی (T) یا دو وجهی عضو بتنی.....
۲۲۱.....	۴-۱-۵ محدودیت تقویت برشی.....
۲۲۱.....	۱-۴-۱-۵ حداکثر فواصل تقویت.....
۲۲۱.....	۲-۴-۱-۵ حداکثر تقویت برشی.....
۲۲۱.....	۱-۵ مثال طراحی: تقویت برشی یک تیر T شکل با FRP.....
۲۲۷.....	۲-۵ مثال طراحی- تقویت برشی یک ستون مربعی شکل.....
۲۲۹.....	۲-۵ تقویت برشی اعضای بتن‌آرمه با سیستم FRP بر اساس آیین‌نامه 1514.....
۲۲۹.....	۱-۲-۵ مقدمه.....
۲۳۲.....	۲-۲-۵ مدل طراحی در حالت حد نهایی (ULS).....
۲۳۲.....	۱-۲-۲-۵ بررسی اعضای با مقطع مستطیلی و T شکل.....
۲۳۵.....	۲-۲-۲-۵ توصیه‌های طراحی.....
۲۳۶.....	۳-۲-۲-۵ اعضای با مقطع دایره‌ای شکل.....
۲۳۷.....	۳-۲-۵ شرایط حد بهره‌برداری.....
۲۳۹.....	۳-۵ نتیجه‌گیری.....

فصل ششم: محصورسازی با سیستم‌های FRP	۲۴۱
۱-۶ کلیات	۲۴۱
۲-۶ مقدمه	۲۴۱
۳-۶ محصورسازی با FRP بر اساس آیین‌نامه ACI 440.2R-02	۲۵۰
۱-۳-۶ محصورسازی به منظور افزایش ظرفیت باربری محوری	۲۵۰
۲-۳-۶ ملاحظات بهره‌برداری برای اعضای محوری تقویت‌شده با سیستم FRP	۲۵۳
۳-۳-۶ تقویت ستون‌های تحت بارمحوری و خمش با استفاده از سیستم FRP	۲۶۰
۴-۶ محصورسازی اعضای بتنی تحت بارمحوری و یا تحت بارمحوری و خمش با FRP بر اساس آیین‌نامه ACI 440.2R-08	۲۷۳
۱-۴-۶ اعضای بتنی تحت بارمحوری خالص	۲۷۳
۱-۱-۴-۶ مقاطع دایره‌ای	۲۷۶
۲-۱-۴-۶ مقاطع غیر دایره‌ای	۲۷۶
۳-۱-۴-۶ ملاحظات بهره‌برداری	۲۷۸
۲-۴-۶ ترکیب بارمحوری و خمش	۲۷۹
۳-۴-۶ افزایش شکل‌پذیری مقطع	۲۸۰
۲-۳-۴-۶ مقاطع مستطیلی شکل	۲۸۱
۳-۴-۶ بارمحوری خالص	۲۸۱
۵-۶ بررسی آیین‌نامه اروپا fib bulletin 14	۲۸۱
مراجع	۲۸۷