



دانشگاه تربیت مدرس شهید رجایی

مقاوم سازی سازه های بتنی با الیاف FRP

چاپ دوم

تألیف:

دکتر موسی مظلوم

عضو هیأت علمی دانشگاه تربیت مدرس شهید رجایی

مهندس امیرعلی صفاری

مهندس مرتضی مهروند

سر شناسنامه	: مظلوم، موسی، ۱۳۴۷-
عنوان و نام پدید آور	: مقاوم سازی سازه های بتنی با الیاف FRP / مؤلفین موسی مظلوم، مرتضی مهروند، امیرعلی صفاری،
مشخصات نشر	: تهران؛ دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی، ۱۳۹۲.
مشخصات ظاهری	: ث، ۱۴۳ ص.: مصور، جدول، نمودار.
شابک	: 978-600-6594-25-5
وضعیت فهرست نویسی	: فیا.
موضوع	: بتن تقویت شده با الیاف
موضوع	: پلاستیک تقویت شده با الیاف
موضوع	: ساختمان های بتن مسلح
شناسه افزوده	: مهروند، مرتضی، ۱۳۶۰-
شناسه افزوده	: صفاری، امیرعلی، ۱۳۶۲-
شناسه افزوده	: دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی.
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۲ م۷م / ۴۴۴ TA
رده بندی دیویی	: ۶۲۴/۱۸۳۴۱
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۱۷۲۹۴۸



سازمان اسناد و کتابخانه ملی

عنوان	: مقاوم سازی سازه های بتنی با الیاف FRP
تألیف	: دکتر موسی مظلوم (استادیار دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی)، مهندس مرتضی مهروند، مهندس امیرعلی صفاری
ویراستار	: شهرام طهماسبی
نوبت چاپ	: دوم - تابستان ۱۳۹۴
انتشارات	: دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی
لیتوگرافی	: نگین سبز
چاپ	: برهان
طراح جلد	: مهندس هادی عارفی
ناظر چاپ	: محمد معتمدی نژاد
کارشناس و صفحه آرا	: نیره فیروزی / طاهره کیا / علی رضائی آهوانویی
شمارگان	: ۱۰۰۰ جلد
قیمت	: ۶,۰۰۰ تومان
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۶۵۹۴-۲۵-۵
	: ISBN: 978-600-6594-25-5

کلیه حقوق این اثر برای مؤلفین و دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی محفوظ است.

نشانی: تهران، لویزان - کد پستی ۱۵۸۱۱-۱۶۷۸۸ - صندوق پستی ۱۶۳ - ۱۶۷۸۵ - تلفن: (۲۶۳۲) ۹ - ۲۲۹۷۰۰۶۰.

نمابر: ۲۲۹۷۰۰۰۳، پست الکترونیکی: Publish@sruttu.edu، وب سایت: http://Publish.sruttu.edu

پیشگفتار

بتن و ساختمان‌های بتنی از جمله سیستم‌های ساختمانی می‌باشند که در ایران به وفور مورد استفاده قرار می‌گیرند. این دسته از ساختمان‌ها در اثر ضعف سازه، مرور زمان و همچنین اشکالات اجرایی نیاز مبرمی به بهسازی و مقاومسازی پیدا می‌کنند. روش‌های مختلفی برای بهسازی و مقاومسازی این دسته از ساختمان‌ها موجود است و یکی از این روش‌ها استفاده از الیاف FRP می‌باشد.

با توجه به رشد فزاینده بهسازی و مقاومسازی ساختمان‌های موجود بر آن شدیم تا در زمینه مقاومسازی ساختمان‌های بتنی با استفاده از الیاف FRP این کتاب را به رشته تحریر درآوریم. در کتاب حاضر سعی بر آن شده است که با استفاده از روال گام به گام به همراه مثال‌های متنوع، روند مقاومسازی با الیاف FRP شرح داده شود. با این وجود و علیرغم دقت و بررسی‌های فراوانی که صورت گرفته است، ذکر این نکته ضروری است که مسئولیت طراحی پروژه‌های مهندسی تنها بر عهده مهندسین محاسب و طراح می‌باشد.

در فصل اول این کتاب به بررسی اجمالی الیاف FRP و سیستم‌های مختلف آن پرداخته شده است و ضمن معرفی این گونه سیستم‌ها، اطلاعات مفیدی را در اختیار مهندسین قرار می‌دهد. در فصل دوم به صورت ویژه به بررسی ضوابط مقاومسازی خمشی تیرهای بتنی پرداخته شده است و سعی گردیده است که تمامی ضوابط به همراه مثال‌های متعدد در این بخش گنجانده شوند. فصل سوم به بررسی ضوابط مربوط به مقاومسازی برشی تیرهای بتنی پرداخته است. در این فصل نیز همانند فصل دوم، مدل‌های مختلف مقاومسازی و روند آنها به همراه چندین مثال شرح داده شده است. با توجه به اهمیت مقاومسازی ستون‌ها در ساختمان‌های بتن مسلح، در فصل چهارم ضوابط مربوط به بهسازی ستون‌ها ارائه شده است. این بخش نیز شامل مثال‌های متعدد و متنوع می‌باشد. در فصل پنجم به مراحل گام به گام نحوه مدل‌سازی و آنالیز اجزاء محدود یک تیر بتن مسلح و مقاومسازی آن با استفاده از الیاف FRP در نرم‌افزار آباکوس پرداخته شده است.

امید است که این کتاب مورد توجه اساتید، دانشجویان و مهندسین محترم قرار گیرد. با وجود سعی و تلاش فراوان و بررسی‌های صورت گرفته، بر این باوریم که کاستی‌ها و نواقصی در این مجموعه وجود دارد. بنابراین از کلیه خوانندگان و مهندسین گرامی تقاضا می‌شود نقطه نظرات و پیشنهادات خود را از طریق ایمیل به اطلاع نویسندگان برسانند.

Moospoon@yahoo.com , Mazloom@Srttu.edu

Mehrvand@Gmail.com

Saffari.amirali@Gmail.com

دکتر موسی مظلوم

مهندس مرتضی مهروند

مهندس امیرعلی صفاری

فهرست

صفحه	عنوان
فصل اول: آشنایی با FRP	
۳	۱-۱ مقدمه
۳	۲-۱ معرفی سیستم‌های FRP
۴	۱-۲-۱ مزایای سیستم‌های FRP
۴	۲-۲-۱ معایب سیستم‌های FRP
۵	۳-۱ مشخصات مکانیکی انواع فیبرهای FRP
۵	۴-۱ بررسی دقیق‌تر برخی فیبرهای FRP
۶	۱-۴-۱ الیاف شیشه GFRP
۶	۱-۴-۱-۱ انواع الیاف شیشه و مشخصات آن‌ها
۷	۲-۴-۱ الیاف کربن CFRP
۸	۵-۱ روش‌های ساخت و نصب مصالح FRP
۹	۱-۵-۱ الیاف
۱۰	۲-۵-۱ خمیر (مواد زمینه)
۱۰	۶-۱ انواع روش ساخت FRP
۱۰	۱-۶-۱ اشباع الیاف
۱۱	۲-۶-۱ سیستم کیسه خلأ
۱۳	۷-۱ انواع روش‌های نصب FRP
۱۳	۱-۷-۱ روش نصب تر
۱۴	۲-۷-۱ روش نصب ماشینی
۱۴	۳-۷-۱ روش پیش عمل آوری شده
۱۴	۸-۱ نکات مهم در نصب
فصل دوم: تقویت خمشی تیرها با FRP	
۱۹	۱-۲ تقویت خمشی تیر
۲۱	۲-۲ ضرایب اطمینان یا ضرایب ایمنی جزئی
۲۲	۳-۲ مودهای شکست خمشی
۲۳	۴-۲ روابط طراحی تیر مستطیلی با فولاد کششی بر مبنای نشریه ۳۴۵
۲۵	۵-۲ روابط طراحی تیر مستطیلی دارای فولاد فشاری بر مبنای نشریه ۳۴۵
۲۵	۶-۲ روابط طراحی خمشی مقاطع مستطیل شکل به صورت گام به گام

۳۱	۷-۲ روابط طراحی تیرهای T شکل بر مبنای نشریه ۳۴۵
۳۵	۸-۲ روابط طراحی تیر مستطیلی بر مبنای BS
فصل سوم: تقویت برشی تیرها با FRP	
۴۵	۱-۳ مقدمه
۴۵	۲-۳ انواع حالات شکست برشی تیرهای بتن مسلح
۴۵	۳-۳ انواع روش‌های تقویت برشی تیرهای بتن مسلح
۴۷	۴-۳ انتخاب طرح تقویتی برشی مناسب
۴۹	۵-۳ انواع حالات شکست تیرهای تقویت شده با FRP
۴۹	۱-۵-۳ شکست برشی همراه با گسیختگی مصالح FRP
۵۰	۲-۵-۳ شکست برشی بدون گسیختگی مصالح FRP
۵۰	۳-۵-۳ شکست برشی ناشی از ور آمدن FRP
۵۱	۴-۵-۳ شکست نزدیک به مهاربندی‌های مکانیکی
۵۱	۶-۳ انواع مدل‌سازی و طراحی جهت تقویت برشی
۵۱	۱-۶-۳ مدل‌سازی شلال و همکاران
۵۲	۲-۶-۳ مدل‌سازی تریانتافیلو
۵۳	۳-۶-۳ مدل‌سازی برشیو تنگ
۵۳	۴-۶-۳ مدل‌سازی بالاگورا، نانی و جیانکاسپرو
۵۴	۱-۴-۶-۳ محدودیت‌های تقویت برشی
۵۴	۲-۴-۶-۳ حداکثر فاصله تقویت‌ها
۵۵	۷-۳ مراحل طراحی
۵۸	۸-۳ مقاوم‌سازی برشی بر مبنای نشریه ۳۴۵
۶۰	۱-۸-۳ حداکثر فاصله تقویت‌ها
۶۰	۲-۸-۳ حداکثر تقویت برشی
۶۱	۳-۸-۳ حداقل تقویت برشی
فصل چهارم: تقویت ستونها با FRP	
۶۷	۱-۴ مقدمه
۶۸	۲-۴ رفتار بتن محصور شده
۷۰	۳-۴ انواع روش‌های تقویت
۷۰	۱-۳-۴ دورپیچ کردن مقطع ستون
۷۰	۲-۳-۴ پیچیدن الیاف به روش پیچش صنعتی
۷۰	۳-۳-۴ پوشش‌های پیش ساخته
۷۱	۴-۴ رفتار ستون‌های محصور شده با کامپوزیت تحت بار محوری هم محور

۷۱	۴-۴-۱ ستون با سطح مقطع دایره‌ای
۷۳	۴-۴-۲ ستون با سطح مقطع غیر دایره‌ای
۷۴	۴-۵ رفتار ستون‌های محصور شده با کامپوزیت تحت بار محوری برون محور
۷۸	۴-۶ بازسازی ستون‌ها برای مقاومت در برابر زلزله
۷۹	۴-۷ مکانیزم شکست ستون‌های بتن آرمه تحت بار زلزله
۷۹	۴-۷-۱ شکست برشی
۸۰	۴-۷-۲ شکست خمشی به دلیل ایجاد مفصل خمیری
۸۰	۴-۷-۳ شکست در قسمت وصله و همپوشانی آرماتورها
۸۲	۴-۸ روش‌های تقویت ستون‌های بتن آرمه تحت بار زلزله
۸۳	۴-۸-۱ تقویت برشی
۸۶	۴-۸-۲ محاسبه سهم پوشش FRP در افزایش مقاومت برشی
۸۹	۴-۸-۳ تقویت محل مفصل خمیری
۹۱	۴-۸-۴ تقویت وصله آرماتورهای طولی
۹۱	۴-۹ تقویت ستون‌ها بر مبنای ضوابط نشریه ۳۴۵
۹۱	۴-۹-۱ ستون‌های گرد کوتاه تحت فشار خالص
۹۳	۴-۹-۲ ستون‌های مستطیلی کوتاه تحت فشار خالص

فصل پنجم: مدل‌سازی اجزا محدود در نرم‌افزار ABAQUS

۹۹	۵-۱ مقدمه
۹۹	۵-۲ مدل‌سازی تیر بتنی با میلگردهای کششی
۹۹	۵-۳ صورت مسئله
۱۰۰	۵-۴ شروع فرآیند مدل‌سازی
۱۰۴	۵-۵ تعیین مشخصات مصالح
۱۰۷	۵-۶ تعیین نوع مقاطع المان‌ها
۱۰۹	۵-۷ مونتاژ المان‌ها
۱۱۰	۵-۸ ایجاد قید در نرم‌افزار ABAQUS
۱۱۲	۵-۹ بارگذاری و تعیین شرایط تکیه‌گاهی
۱۱۶	۵-۱۰ مش‌بندی
۱۱۸	۵-۱۱ تحلیل مسئله
۱۱۹	۵-۱۲ مشاهده نتایج
۱۲۰	۵-۱۳ شروع روند بهسازی با استفاده از FRP
۱۲۱	۵-۱۴ ساخت المان FRP
۱۲۱	۵-۱۵ تعریف مصالح FRP

۱۲۴	۱۶-۵ مونتاژ نمودن لایه FRP
۱۲۴	۱۷-۵ ایجاد قید بین بتن و لایه FRP
۱۲۵	۱۸-۵ مش‌بندی لایه FRP
۱۲۷	۱۹-۵ نتیجه‌گیری
منابع و مراجع	
۱۲۹	منابع و مراجع
واژه‌نامه	
۱۳۱	واژه‌نامه
فهرست موضوعی	
۱۳۷	فهرست موضوعی

فصل اول

آشنایی با FRP

- ۱-۱ مقدمه
- ۲-۱ معرفی سیستم‌های FRP
- ۱-۲-۱ مزایای سیستم‌های FRP
- ۲-۲-۱ معایب سیستم‌های FRP
- ۳-۱ مشخصات مکانیکی انواع الیاف FRP
- ۴-۱ بررسی دقیق‌تر برخی الیاف FRP
- ۱-۴-۱ الیاف شیشه GFRP
- ۱-۱-۴-۱ انواع الیاف شیشه
- ۲-۱-۴-۱ مشخصات الیاف شیشه
- ۲-۴-۱ الیاف کربن CFRP
- ۵-۱ روش‌های ساخت و نصب مصالح FRP
- ۱-۵-۱ الیاف
- ۲-۵-۱ چسب (مواد زمینه)
- ۶-۱ انواع روش‌های ساخت FRP
- ۱-۶-۱ اشباع الیاف
- ۲-۶-۱ سیستم کیسه خلأ
- ۷-۱ انواع روش‌های نصب
- ۱-۷-۱ روش نصب تر
- ۲-۷-۱ روش نصب ماشینی
- ۳-۷-۱ روش پیش‌عمل‌آوری شده
- ۸-۱ نکات مهم در نصب

۱-۱ مقدمه

مقاوم‌سازی و بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها در کشور ایران که بر روی گسل‌های زلزله واقع است امری مهم و اجتناب ناپذیر می‌باشد. استفاده از فناوری‌های جدید در بهسازی لرزه‌ای سازه‌ها به عنوان رویکرد نوین باید در نظر مهندسان سازه قرار داشته باشد.

از ویژگی‌های اصلی کامپوزیت‌های پلیمری می‌توان مقاومت مناسب در برابر خوردگی، سادگی اجرا در محل نصب و سبکی آنها را برشمرد. عامل دیگر در گسترش کاربری مصالح FRP روند کاهش قیمت این مصالح می‌باشد.

استفاده از مصالح FRP در صنعت ساختمان در مقیاس جهانی سابقه طولانی ندارد و توسعه این فناوری در صنعت ساختمان به حدود سه دهه پیش برمی‌گردد. سابقه استفاده از مصالح FRP در صنعت ساختمان کشور ایران نیز به حدود یک دهه می‌رسد اما امروزه استفاده از کامپوزیت‌های با زمینه پلیمری در بهسازی سازه‌های بتن‌آرمه از رشد قابل توجهی برخوردار بوده است که دلیل اصلی آن نیاز به افزایش عمر بهره‌برداری و ارتقای اساسی زیرساخت‌ها در تمامی نقاط دنیا می‌باشد.

۱-۲ معرفی سیستم‌های FRP

سیستم‌های FRP برای مقاوم‌سازی سازه‌های بتنی از اواسط دهه ۱۹۸۰ مورد استفاده قرار گرفته‌اند. اعضای سازه‌ای که توسط FRP مقاوم می‌گردند [۱]، عبارتند از:

- تیرها
- ستون‌ها
- دال‌ها
- اتصالات
- ساختمان‌های بتنی
- ساختمان‌های چوبی

یک سؤال ممکن است در این مرحله به ذهن خواننده خطور نماید، سؤال این است که به طور کل ایده FRP از کجا شروع شده است؟

تقویت سازه‌های بتنی با افزایش مقطع بتنی با استفاده از پوشش بتنی جدید و همچنین استفاده از صفحات فولادی متداول بوده است، ایده سیستم‌های FRP جایگزینی به جای روش‌های تقویتی دیگر از جمله صفحات فولادی و یا پوشش‌های بتنی می‌باشد.

۱-۲-۱ مزایای سیستم‌های FRP

- مقاومت کششی بالا
- مقاومت و دوام در برابر عوامل شیمیایی
- مقاومت مناسب در حرارت‌های بالا
- وزن کم
- هزینه اجرای مناسب
- امکان استفاده از ترکیب چند نوع FRP جهت بهبود خواص هر کدام از آنها (برای مثال بهبود شاخص‌های مقاومت، خستگی و ضریب ارتجاعی در GFRP با به اضافه نمودن لایه‌هایی از CFRP) [۲، ۳].

۲-۲-۱ معایب سیستم‌های FRP

- هزینه اجرا و حمل این مصالح پایین می‌باشد، ولی قیمت مصالح FRP یکی از عوامل محدود کننده استفاده از آن محسوب می‌گردد [۲].
- پایین بودن ضریب ارتجاعی
- مقاومت کم در برابر پدیده خستگی
- ایجاد پدیده ترد شکنی
- حساسیت به خراش و ساییدگی در هنگام نصب

سیستم‌های FRP از اجزای مشخصی ساخته شده می‌شوند این اجزا عبارتند از:

۱- الیاف مسلح کننده (الیاف FRP)

وظیفه اصلی الیاف فراهم نمودن سختی و مقاومت در عضو تقویت شده می‌باشد.

۲- چسب‌های پلیمری

وظیفه چسب‌ها فراهم نمودن شرایط انتقال تنش و تغییر شکل بین الیاف، افزایش مقاومت در برابر شرایط محیطی و ایجاد سطح محافظ در مقابل سایش و خراشیدگی را برآورده می‌کنند. نکته: برای رسیدن به حداکثر حالت کارایی یا Performance در مقطع تقویت شده باید سطح الیاف یا FRP به طور کامل با چسب آغشته شده و به سطح بتن چسبانده شود. به طور معمول از سه نوع الیاف مسلح کننده استفاده می‌گردد که عبارتند از: